



Foto: Jan Olofsson



Foto: Sofia Bureborn

## Mer och bättre vall till mjölkproduktion och återväxtvall till biogas

Ingrid Strid  
Carina Gunnarsson  
Hanna Karlsson  
Mats Edström  
Jan Bertilsson

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet  
Institutionen för energi och teknik

Mer och bättre vall till mjölkproduktion och återväxtvall till biogas

High quality silage for dairy production and the regrowth for biogas

Ingrid Strid, Carina Gunnarsson, Hanna Karlsson, Mats Edström, Jan Bertilsson

ISSN 1654-9406  
Rapport 050

Uppsala 2012

Nyckelord: Ekonomi, Ensilage, Foder, Gårdssamverkan, Gårdsbaserad biogas, Livscykelanalys, LCA

## Sammanfattning

Behovet av högkvalitativ vall kan förväntas öka i takt med ett större intresse för att använda närproducerat foder i svensk mjölkproduktion. Högkvalitativ vall, framför allt från tidigt skördad förstaskördsvall, kan minska behovet av kraftfoder, och därmed tillhörande miljöproblem. Stora mängder återväxt-vall skulle då bli över, vilket skulle leda till både dålig ekonomi och resurshushållning. Problemet kan därför sammanfattas som att det antingen blir svårt att uppnå tillräcklig foderkvalitet (om alla delskördar ska användas till foder), eller så blir det dålig hushållning med vullen (om bara förstaskörden tas tillvara). Ett sätt att lösa problemet skulle vara att istället utnyttja återväxten till biogasproduktion. Vullen får därmed två funktioner, dels att producera högkvalitativt foder och dels att producera biogasråvara. För att få fram tillräckliga mängder förstaskörds-ensilage, behöver en större areal odlas med vall. Denna nya areal antas i denna studie komma från tidigare spannmålsarealer i ett nyetablerat samarbete med en eller flera intilliggande gårdar. Genom att också gemensamt investera i en ny gårdsbiogasanläggning ges möjligheter att förädla både den producerade råvaran och djurgårdens avfall i form av nötgödsel och kasserat foder.

Med detta projekt vill vi undersöka om gårdar som börjar samverka genom biogasproduktion och samtidigt ändrar strategi för sin vallodling på ovan nämnda sätt, får en lägre miljöbelastning än tidigare. Dessutom vill vi undersöka om intäkter från biogasen, de lägre kostnaderna för bland annat kraftfoder, handelsgödsel och eldningsolja kompenserar för högre vallskördekostnader, förlorade intäkter från spannmål samt biogasinvesteringen.

Ett flertal slutsatser gick att dra från studien:

Den stora miljöpotentialen med det studerade konceptet låg inte i den besparing som gjordes på kraftfodersidan eller på den undvikna gödsellagringen, och inte heller i den kolinlagring som vullen tillförde spannmålsgården, utan fanns i den energi som producerades av biogasanläggningen. Om hela denna användes till att ersätta fossila energikällor, kunde stora vinster göras för primär energianvändning, klimatpåverkan och försurande utsläpp, och i viss mån för gårdens ekonomi. Däremot, om det inte gick att få avsättning för värmen sjönk vinsten miljömässigt, och ekonomiskt vändes vinsten till förlust. Om biogasens el och värme bara kunde ersätta andra förnybara källor uteblev klimatvinsten i princip helt (energimässigt var det dock fortfarande vinst kvar). Det är således viktigt för att kunna dra slutsatser om det studerade konceptet hur den producerade biogasen används. Detta är troligen en generell slutsats om gårdbiogasanläggningar, och något som därför bör beaktas vid beslut om investeringsbidrag till sådana. Ekonomiskt var det en stor förlust att förlora intäkter från spannmålsodlingen (2/5 av växtgårdens areal avsattes till vall istället för höstvetete och raps), så därför skulle det vara intressant att undersöka om den extra vallodlingen istället kunde ske på exempelvis avställd mark. Ett annat intressant spår att undersöka baserat på erfarenheter från detta projekt, är möjligheten att uppgradera biogasen till fordonsgas (lokalt eller i central anläggning) istället för att försöka hitta avsättning för elproduktionens värmebiprodukt, om det i praktiken visar sig lättare att realisera ett sådant alternativ. Sammanfattningsvis kan det studerade konceptet, att använda högkvalitativ vall till mjölkkor och lågkvalitativ vall till biogas, ses som ett sätt att möta utmaningen att få fram högkvalitativt foder och samtidigt stimulera till en ökad svensk biogasproduktion, men behöver utformas på rätt sätt (framför allt så att värmen tas tillvara), för att ske med samma lönsamhet som dagens produktion.

## **Förord**

Detta projekt har utförts i samverkan mellan Institutionen för energi och teknik, SLU och JTI-Institutet för jordbruks- och miljöteknik. Ingrid Strid, SLU, har varit projektledare och ansvarat för livscykelanalysdelen och Hanna Karlsson, SLU, har utfört beräkningar i livscykelanalysdelen med hjälp av mjukvaran SimaPro. Carina Gunnarsson, JTI, har ansvarat för den ekonomiska analysen och Mats Edström, JTI, för delarna om biogasanläggningens utformning och kostnader. Jan Bertilsson, Institutionen för husdjurens utfodring och vård, SLU, har ansvarat för foderstatsberäkningarna.

Ett stort tack till alla som bidragit till projektets genomförande, framför allt nämns Magnus Halling och Alois Kornher, SLU, som tagit fram indata till vallens avkastning och kvalitet. Dessutom tack till teknikagronomstudenten Mårten Svensson som i sitt examensarbete tagit fram underlag till energiberäkningar inom projektet samt Sven Påhlstorp som bidragit med plansiloberäkningar. Tack även till projektets referensgrupp bestående av Ragni Andersson, Jordbruksverket, Anders Månsson, SBI (Swedish Biogas International, numera Hushållningssällskapet Rådgivning Agri), Anna-Karin Modin Edman, Svensk Mjök och Pernilla Tidåker, SLU (initialt Svenskt Sigill).

Projektet finansierades av Formas via bioenergiprogrammet vid Stiftelsen Lantbruksforskning.

Uppsala, 2012-11-29

## Innehåll

Sammanfattning .....	1
Förord .....	2
1 BAKGRUND.....	5
2 MÅL OCH SYFTE.....	5
3 METOD OCH GENOMFÖRANDE .....	6
3.1 Systembeskrivning .....	6
3.2 Rapportens upplägg .....	7
4 DEL 1. SYSTEMUTFORMNING .....	8
4.1 Utformning av odlingsystemet .....	8
4.1.1 Samverkan för mer areal för vallodling.....	8
4.1.2 Vallens sammansättning och kvalitet .....	8
4.1.3 Vallförluster.....	10
4.1.4 Utfodring på mjölkgården .....	11
4.1.5 Växtföljder och arealbehov .....	11
4.1.6 Transportavstånd .....	12
4.1.7 Mängder vall till foder och biogas.....	12
4.2 Användning av gödsel och rötrest.....	13
4.2.1 Producerad mängd gödsel.....	13
4.2.2 Gödselhantering och spridning.....	14
4.2.3 Gödslingsstrategier och gödslingsnivåer .....	15
4.3 Biogasproduktionen .....	19
4.3.1 Användning av producerad elektricitet och värme från biogas ...	21
5 DEL 2. EKONOMISK ANALYS .....	25
5.1 Använd indata till kostnadsberäkningar.....	25
5.2 Spannmålsodling.....	25
5.2.1 Läglighetskostnader för spannmål.....	26
5.2.2 Torkning av spannmål .....	26
5.3 Gödsel- och rötrestspridning.....	26
5.3.1 Lagringskostnader gödsel och rötrest .....	27
5.4 Vallskörd.....	28
5.4.1 Packning och inlastning i plansilo .....	28
5.4.2 Läglighetskostnader för vallskörd .....	30
5.5 Kostnader biogasanläggningen .....	30
5.6 Ersättning för producerad el och värme .....	31
5.7 Resultat av kostnadsberäkningarna.....	32
5.7.1 Känslighetsanalys .....	33
5.7.2 Biogasanläggningen ekonomi.....	36

6	DEL 3. LIVSYKELANALYS.....	37
6.1	Inledning och bakgrund .....	37
6.1.1	Livscykelanalys .....	37
6.1	Definition av Mål och omfattning av LCA studien .....	38
6.1.1	Mål.....	38
6.1.2	Omfattning.....	38
6.2	Inventering av data.....	42
6.2.1	Växtodling .....	42
6.2.2	Djurhållning och lagring av gödsel/rötrest .....	51
6.2.3	Biogasproduktion.....	53
6.3	Resultat .....	57
6.3.1	Systemutvidgning exkluderat .....	58
6.3.2	Systemutvidgning .....	60
6.3.3	Känslighetsanalyser .....	63
7	DISKUSSION.....	66
7.1	Systemutformning.....	66
7.2	Ekonomisk analys .....	68
7.3	Livscykelanalys.....	69
7.4	Kostnaden för att reducera klimatpåverkan .....	71
8	SLUTSATSER .....	72
9	REFERENSER .....	75
9.1	Personliga referenser.....	75
9.2	Internetreferenser .....	75
9.3	Övriga referenser.....	76
10	Bilagor.....	82
10.1	Bilaga 1 Underlag för maskin och läglighetsberäkningar.....	82

## 1 BAKGRUND

Behovet av högkvalitativ vall kan förväntas öka i takt med ett större intresse för att använda närproducerat foder i svensk mjölkproduktion. Att använda vall med en hög kvalitet är en möjlig strategi för att kunna minska behovet av kraftfoder. Inköpt kraftfoder innehåller ofta sojamjöl och palmkärnmjöl, vilka båda är förknippade med flera allvarliga miljöproblem (Flysjö m fl. 2008).

Kvalitetsmässigt är ofta första skörden bäst, mätt som metaboliserbar energi per kg torrsbstans (TS), särskilt om den tas tidigt (Kuoppala, 2008). Andra skörden och en eventuell tredje skörd kommer sällan upp i samma näringsmässiga kvalitet sett ur fodersynpunkt. Ett sätt att minska behovet av kraftfoder skulle kunna vara att odla så stora mängder vall att ensilaget från en tidig första skörd täcker mjölkornas behov av grovfoder. Men, då skulle stora mängder vall bli över när återväxten inte används fullt ut, vilket skulle leda till både dålig ekonomi och resurshushållning.

Problemet kan därför sammanfattas som att det antingen blir svårt att uppnå tillräcklig kvalitet (om hela vallproduktionen ska användas till foder), eller så blir det dålig hushållning med vallen (om i huvudsak bara första skörden tas tillvara). Ett sätt att lösa problemet skulle vara att utnyttja återväxten till biogasproduktion istället, eftersom biogasrötning inte kräver samma höga kvalitet på råvaran.

Vallen får därmed två funktioner, dels att producera högkvalitativt foder och dels att producera ungdjursfoder och biogasråvara. Gödsel utgör en stor potential för att öka biogasproduktionen i Sverige. Genom att också investera i en ny gårdsbiogasanläggning ges möjligheter att förädla både den producerade råvaran och gårdens avfall i form av nötgödsel och kasserat foder. För att få fram tillräckliga mängder första-skörds-ensilage, behöver en större areal odlas med vall, jämfört med utgångsläget när all vallskörd gick till djuren. Denna nya areal antas komma från tidigare spannmålsarealer i ett nyetablerat samarbete med en eller flera intilliggande gårdar.

Med detta projekt vill vi undersöka om gårdar som börjar samverka genom biogasproduktion och samtidigt ändrar strategi för sin, respektive inför, vallodling på ovan nämnda sätt, får en lägre miljöbelastning än tidigare. Dessutom vill vi undersöka om intäkter från biogasen, de lägre kostnaderna för bland annat kraftfoder, handelsgödsel och eldningsolja kompenserar för högre vallskördekostnader, förlorade intäkter från spannmål samt biogasinvesteringen.

## 2 MÅL OCH SYFTE

Målet med detta projekt är att beräkna de ekonomiska och miljömässiga (klimatpåverkan och primär energianvändning) effekterna av ökad vallodling, där den högkvalitativa förstaskörden används till foder och återväxten utnyttjas tillsammans med gödseln för biogasproduktion.

Projektets syfte är att ge beslutsunderlag för mjölkgårdar som vill öka andelen närproducerat foder och samtidigt införa biogasproduktion på gårdsnivå. Ett ytterligare syfte är att exemplifiera hur livsmedels- och bioenergiproduktion kan samverka snarare än konkurrera.

### 3 METOD OCH GENOMFÖRANDE

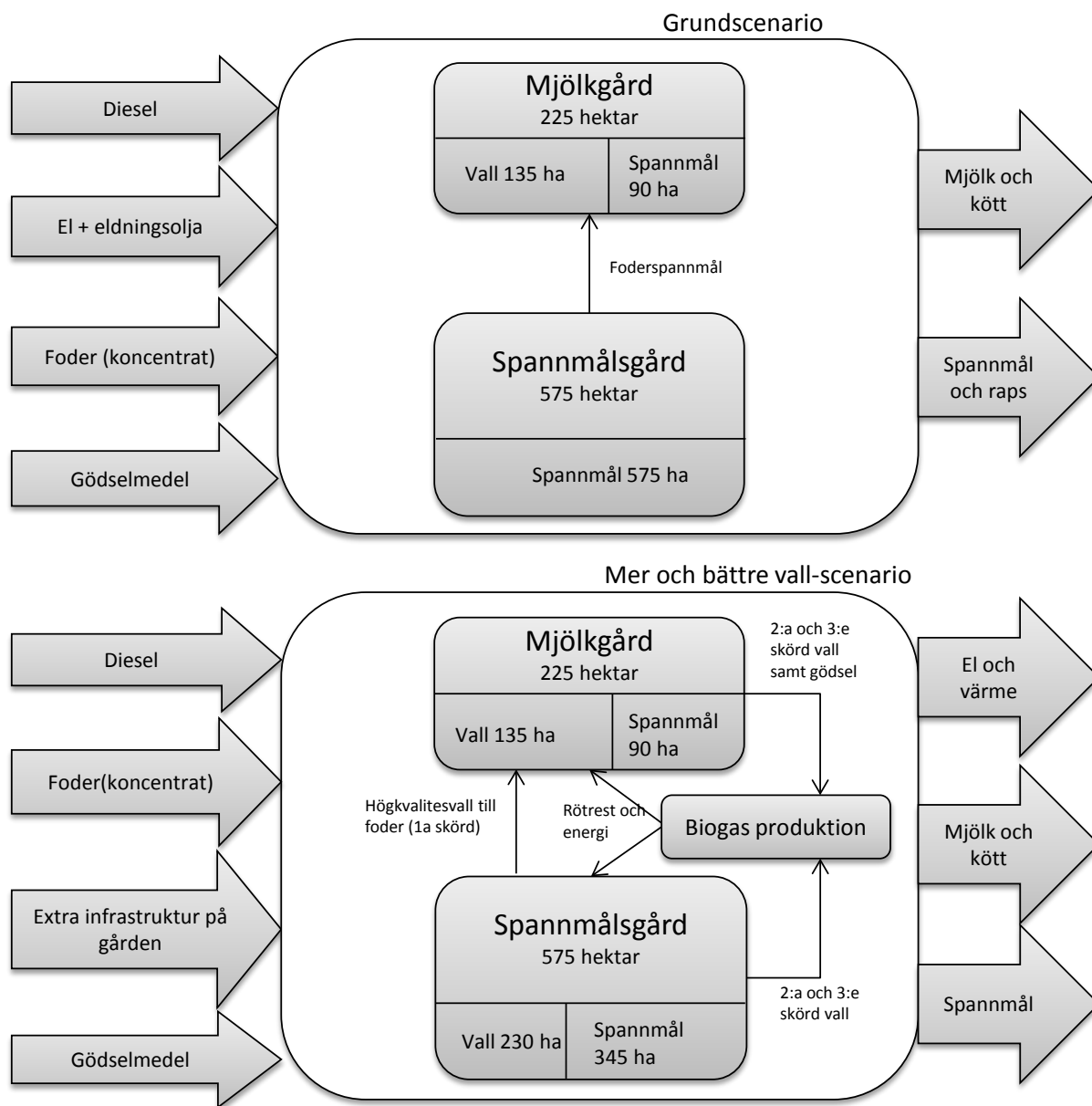
#### 3.1 Systembeskrivning

De modellerade gårdarna antogs vara geografiskt lokaliserade till Uppland. De två scenarierna som studeras framgår av Figur 1 och beskrivs nedan.

Grundscenariot (I) består av en mjölkgård och en växtodlingsgård. Mjölkgården har 240 kor (plus rekrytering), som utfodras med en konventionell foderstat bestående av egenproducerat ensilage och foderspannmål samt med tillägg av inköpt extra foderspannmål och kraftfoderkoncentrat. Gödselhanteringen består av flytgödsel med svämtäcke. Vall och spannmål gödslas med stallgödsel (slangspridning) och handelsgödsel. Värmebehovet för spannmålstorkning täcks genom förbränning av eldningsolja och gårdens elbehov genom inköpt el. Växtodlingsgården inkluderas för att grundscenariot (I) arealmässigt ska bli jämförbart med scenariot mer och bättre vall (II), växtodlingsgården odlar främst spannmål men också raps, och det gödslas enbart med handelsgödsel. För att få ihop den areal som behövs är det tänkbart att växtgården i praktiken utgörs av flera samverkande växtodlingsgårdar.

Mer och bättre vall-scenariot (II) består av samma mjölkgård och växtodlingsgård som i grundscenariot. I jämförelse med grundscenariot (I) innehåller foderstaten för de 240 korna mer och bättre ensilage, mindre spannmål och mindre mängd kraftfoderkoncentrat. Årsproduktionen av mjölk är oförändrad, och gödselhanteringen består av biogasrötning i en gårdsanläggning (dimensionerad för samrötning av gödsel och vall). Rötresten nyttjas som gödsel till vall och spannmålsodling på både mjölkgården och växtodlingsgården. Förutom gödsel rötas även återväxten av vällen. Värmebehovet för uppvärmning och spannmålstorkning liksom mjölkgårdens elbehov försörjs av biogasbaserad kraftvärme. Dessutom ersätts uppvärmning och varmvatten i hushållen på de samverkande gårdarna (mjölkgården och tre växtodlingsgårdar antas). Den extra vallareal som krävs odlas på växtodlingsgården, som inför en tvåårig vall i växtföljden i utbyte mot höstvetete och raps.





Figur 1. Schematisk beskrivning av grundscenariot (I) och mer och bättre vall-scenariot (II).

Även för den ekonomiska analysen antas mjölkgården och växtgården ligga inom samma system, för att flöden av exempelvis vall från växt till mjölkgården samt rötrest från biogasanläggningen till de båda gårdarna, ska kunna betraktas som interna transaktioner som inte behöver specificeras separat.

### 3.2 Rapportens upplägg

Den här rapporten är uppdelad i tre avsnitt och upplagd så att del 3 kan läsas separat från del 1 och 2.

I del 1 beskrivs utformningen av de studerade systemen, samt hur mycket systemen producerar och hur gårdarnas resurser används. I del 2 redovisas systemens kostnader och intäkter. I del 3 redovisas systemens miljöbelastning i form av livscykelanalysresultat.

## 4 DEL 1. SYSTEMUTFORMNING

### 4.1 Utformning av odlingssystemet

#### 4.1.1 *Samverkan för mer areal för vallodling*

Den extra vallareal som behövdes när endast vall från första skörd ska användas för att utfodra mjölkorna förutsätter någon sorts samverkan med närliggande gårdar. Ur växtföljdssynpunkt kan det för växtodlingsgårdar dominerade av spannmålsgrödor vara attraktivt att få in vall i växtföljden (Larsson, 2009; Mellkvist, pers komm, 2010), och då är ett samarbete med en mjölkgård ett intressant alternativ. Fördelar för mjölkgården är säkrare fodertillgång och större areal för gödselspridning. Samverkan ger även möjlighet att sprida stallgödseln eller rötresten på en gröda på växtodlingsgården, såsom spannmål istället för vall, och då få ett bättre växtnäringsutnyttjande. Växtodlingsgårdens fördelar av samverkan med mjölkgården är att vall i en tidigare spannmålsdominerad växtföljd ger positiva växtföljdseffekter och förfruktseffekter. Andra effekter av vall i växtföljden kan förekomma såsom effekter på markstruktur, markkol och ogrästillväxt, men är svårare att värdera, och har därför inte tagits med i denna studie. Den uppenbara nackdelen för spannmålsgården ligger i intäktsförlusterna från den spannmål som inte längre produceras.

Ett alternativ till att använda spannmålsareal för vallproduktion skulle kunna vara att använda mark som ligger i träda, men bedömningen var att det blir svårt att få ihop tillräckliga arealer för vallodlingen inom rimligt avstånd från mjölkgården.

#### 4.1.2 *Vallens sammansättning och kvalitet*

För mjölkgården bestämdes att vallen skulle vara treårig, medan den på växtgården endast skulle ligga i två år. Vid en femårig växtföljd på både mjölkgården och växtgården innebar det att växtgårdens växtföljd fortfarande domineras av spannmålsgrödor. På det sättet kan lantbrukaren på växtodlingsgården även efter samverkan känna sig som i första hand spannmålsodlare. Ofta har de dessutom maskiner samt tork- och lagringskapacitet för en viss spannmålsareal, och vill då även fortsättningsvis få användning för denna.

En förutsättning vid val av vallens sammansättning, kvalitet och avkastning var att det skulle vara en modern vallblandning innehållande arter vanligt förekommande i dagens vallodling som vit- och rödklöver, timotej, ängssvingel och rajgräs. Kvaliteten i första skörden skulle vara tillräckligt högt för att representera ett vallfoder av hög kvalitet. Enligt Vallprognos (2011) är 10,8-11,0 MJ per kg TS lämplig nivå för ett högkvalitativt vallfoder från blandvallar. I Wallman m fl. (2010) är normalt vallfoder satt till 10,6 MJ per kg TS och bättre vallfoder till 11,4 MJ per kg TS. Vallens foderkvalitet bestäms normalt av dess innehåll av energi, råprotein och fiberinnehåll. Baljväxter har jämfört med gräs högre råproteinhalt och lägre fiberinnehåll. Åtminstone vid tidig skörd är dock energiinnehållet högre i gräs än i baljväxter (Jönsson, 1981).

Vallodlingen var i denna studie förlagd till området runt Uppsala. Vallens kvalitet och avkastning hämtades från ett odlingsförsök på SLU (L6-4429), beskrivet i Halling och af Geijerstam (2010) och Andersson och Halling (2008), där intensiva skördesystem testades på 6 platser i södra Sverige (Jönköping, Kalmar och Halland) under tre år. Motsvarande försök saknas för Uppsalaområdet och därför valdes två försöksserier i Tenhult utanför Jönköping (F-13-2004 och F5-2006) ut. Den platsen bedömdes ha likande växt- och klimatförhållande som Uppsala.

Vallfröblandningens sammansättning innehöll 5 % vitklöver, 10 % rödklöver, 30 % timotej, 40 % ängssvingel samt 15 % engelskt rajgräs. Försöket gödslades med 200 kg N/ha uppdelat på 80 kg/ha, 70 kg/ha och 50 kg/ha för första, andra respektive tredje skörd. Denna fördelning mellan skördarna stämmer överens med Jordbruksverkets rekommendationer (Albertsson, 2009).

Genomsnittlig vallkvalitet för första, andra och tredje skörd beräknades som vägda medelvärden för första-, andra- och tredjeårsvallar (Tabell 1), dvs vid beräkning av medelvärden för energi och råprotein togs hänsyn till avkastningen för respektive skörd. Genomsnittliga skördedatum i försöket var 26 maj, 10 juli och 1 september för första, andra respektive tredje skörd. För att relatera en försöksskörd till praktisk odling kan avkastningen reduceras med ca 20% (Jansson 2010). I denna studie reducerades avkastningen från försöket med 25% (Tabell 1) och resulterade i en total avkastning på 9900 kg TS/ha för treårsvallen innan avdrag för förluster.

*Tabell 1. Vallkvalitet och avkastning från försöksdata (L6-4429), beskrivet i Andersson och Halling (2008) och Halling och af Geijerstam (2010) som genomsnitt för vallår 1, 2 och 3*

Vallskörd	Avkastning, kg TS/ha	Avkastning, kg TS/ha, 25% reduktion	Energi, MJ/kg TS	Råprotein, g/kg TS
<b>3-årsvall</b>				
1	5020	3800	11,2	163
2	4160	3100	10,3	187
3	3990	3000	10,0	179
<b>2-årsvall</b>				
1	5400	4000	11,3	161
2	4000	3000	10,4	183
3	4000	3000	10,0	176

I försöket genomfördes det tredje vallåret analyser av avkastning men inte av kvalitet och därför antogs samma kvalitet på tredjeårsvallen (vall III) som för motsvarande skörd på andraårsvallen (vall II). Ett genomsnitt av energi- och råproteininnehållet i andraårsvallen användes för de två försöken i tredjeårsvallen med endast avkastningsuppgifter.

Sett som genomsnitt för alla platser i försöket kunde det observeras att mängden baljväxter i kg/ha minskade i tredjeårsvallen jämfört med i andraårsvallen samtidigt som mängden gräs ökade. Klöverhalten i förstaskörden var 22 % första vallåret, 14% andra vallåret och 18% tredje vallåret. Motsvarande siffror för andra skörden var 20%, 16 % och 10 % och för tredje skörden 26 %, 22 % och 5 % för respektive första-, andra- och tredjeårsvall. Med tanke på sjunkande klöverhalter från andraårsvallen till tredjeårsvallen skulle det kunna innebära att proteinhalten i tredjeårsvallen överskattades något.

Vallens innehåll av fosfor och kalium (Tabell 2) hämtades från Norfor (2010) foderdatabas och utgjorde medelvärdet för de senaste tre årens foderanalyser av ensilage med klöverhalter upp till 50%.

Tabell 2. Vallens innehåll av fosfor och kalium enligt Norfor (2010) foderdatabas

Skörd	1	2	3
P, g/kgTS	2,5	2,6	3,0
K, g/kg TS	21,3	21,1	23,4

Val av indata för vallproduktionen från försöksdata föregicks av undersökningar av möjligheten att använda en valltillväxtmodell för att bestämma vallavkastning och kvalitet. Fördelen med en modell jämfört med försöksdata är att kunna få en bra uppfattning om avkastning och kvalitet vid olika skördetidpunkter samt dess variation mellan år. Möjligheten att använda två olika modeller baserade på samma valltillväxtmodell undersöktes; dels en modell använd för vallberäkningar av Gunnarsson m fl. (2009), dels FOPROQ modellen (Herrmann m fl. 2005). Modellerna är uppbyggda för vallar med rödklöver och timotej vilket inte bedömdes svara mot de vallblandningar som vanligtvis används idag. Brist på lämplig försöksdata skulle försvåra parametrisering av modellen till nya arter och sorter och därför valdes att i detta projekt inte använda tillväxtmodellen för att beräkna vallens avkastning och kvalitet. Istället baserades vallens avkastning och kvalitet på resultat från fältförsök.

#### 4.1.3 Vallförluster

För att bestämma vilken mängd vall som behöver odlas för att täcka djurens foderbehov reducerades vallens avkastning för förluster från fält till foderbord (Tabell 3). En uppdelning gjordes mellan osynliga och synliga förluster där de synliga delvis kan användas som substrat till biogasproduktionen.

Tabell 3. Förluster av torrs substans från fält till foderbord

	Värde	Referens
<b>Fältförluster</b>	<b>5,5-6,0 % av TS</b>	
andning	1 % av TS	Honig, 1980
urlakning	0,5 % av TS	Sundberg ochThylén, 1994
Mekaniska, slätter	2% av grundskörd	Liljenberg m fl., 1995
Mekaniska, vändning	11 kg ts/ha & bearbetning	Liljenberg m fl., 1995
Mekaniska, bärgning	61 kg ts/ha vid 1/3 yttäckning	Liljenberg m fl., 1995
<b>Lagringsförluster inkl kassationer</b>	<b>14,7%</b>	
Osynliga	8,5 % av TS	Liljenberg m fl., 1995
Synliga (kassationer)	6,2% av TS	Seibt, 1991
<b>Uttagsförluster</b>	<b>1,9% av TS</b>	
Osynliga	0,4 % av TS	Seibt, 1991
Synliga (transportspill)	1,5%	Lindström m fl., 2009
<b>Utfodringsförluster</b>	<b>4% av TS</b>	
Synliga	4% av utfodrad mängd	Lindström m fl., 2009

Lindström m fl. (2009) anger de förluster av ensilage som följer med vid avtäckning av silon från plast och sand till 2,3 % av inlagd mängd ensilage. Detta motsvarar ca en tredjedel av de synliga förlusterna i vårt fall. Denna del av kassationerna anses vara svåra att samla upp och använda till biogas. Likaså gjordes antagandet att transportspillet som uppkommer mellan lager och användning är svårt att samla upp och använda till biogas. Kassationer som går att ta tillvara för biogas utgjordes därför av två tredjedelar av synliga förlusterna vid lagring samt alla synliga förluster vid utfodring.

Vallens avkastning efter förluster från fält till foderbord resulterade i en avkastningen tillgänglig för korna på 7500 kgTS/ha. Detta överensstämmer med Gunnarsson (2010, pers komm.) som säger att en rimlig avkastning sett över ett genomsnitt av flera år är 7-7,5 ton TS/ha tillgängligt för korna dvs efter förluster vid skörd och lagring.

#### 4.1.4 *Utfodring på mjölkgården*

Behovet av vall och andra fodermedel till mjölkorna beräknades för en mjölkavkastning av 8998 kg ECM mjölk per år. Foderstaternas innehåll framgår av Tabell 4.

*Tabell 4. Foderstaternas innehåll i grundscenario och mer och bättre vall-scenario*

Fodermedel	Grundscenario	Mer och bättre vall-scenario
	Kg/år	Kg/år
Betfor	275	
Ensilage	3367 <sup>1</sup>	4499 <sup>1</sup>
Spannmål	1620	1068
Unik 52	1196	726

<sup>1</sup> kg TS/år

Foderstaten till rekryteringsdjur hämtades från Agriwise (2011) där deras kalkyler baseras på att vallens energihalt är 10,2 MJ/kg TS. Foderstaten för mjölkorna i grundscenariot beräknades för en genomsnittlig grovfoderkvalitet från första, andra och tredje skörd på 10,6 MJ/kg TS och 175 g råprotein/kg TS.

I scenariot mer och bättre vall beräknades kornas foderstat på grovfoderkvaliteten 11,2-11,3 MJ/kg TS från endast första skörden. Eftersom vällen hålls i tre år på mjölkgården men endast två år på växtodlingsgården påverkar detta vallkvaliteten något men skillnaderna är dock så små att inga justeringar behövde göras av foderstaten.

#### 4.1.5 *Växtföljder och arealbehov*

När vallavkastning och foderbehov var bestämt var nästa steg att bestämma vilka arealer som behövdes samt växtföljderna för mjölkgården och växtgården. Av Tabell 5 framgår växtföljderna på mjölkgården och växtodlingsgården före och efter samverkan. Mjölkgården hade treåriga vallar och växtodlingsgården tvååriga.

Tabell 5. Växtföljder och arealbehov för mjölkgården och växtodlingsgården

Mjölkgården, grund- och mer och bättre vall-scenario		Växtodlingsgården, grundscenario		Växtodlingsgården, mer och bättre vall-scenario	
Gröda	Areal, ha	Gröda	Areal, ha	Gröda	Areal, ha
Vall I	45	Malkorn	115	Vall I	115
Vall II	45	Höstvete	115	Vall II	115
Vall III	45	Vårraps	115	Höstvete	115
Korn	45	Höstvete	115	Grynhavre	115
Korn m insådd	45	Grynhavre	115	Malkorn m insådd	115

Med hänsyn till foderbehov och vallens avkastning efter förluster till och med foderbord bestämdes arealåtgången för mjölkgården i grundscenario till 135 ha vall och 90 ha spannmål i en femårig växtföljd. När erforderlig areal bestämdes inkluderades ingen extra foderproduktion för överlagring mellan åren pga. exempelvis variationer mellan åren.

I scenariot mer och bättre vall behövdes förutom mjölkgårdens 135 ha vall ytterligare 230 ha vall när endast första skörden ska användas till korna. För en femårig växtföljd med två år vall medförde detta en total vallareal av 550 ha på växtodlingsgården.

#### 4.1.6 Transportavstånd

Framförallt vid skörd av vall samt spridning av stallgödsel respektive rötrest har transportavståndet stor inverkan på kapaciteten. För beräkning av transportavstånd gjordes antagandet att åkermarken var placerad i ett cirkelformat område runt brukningscentrum. Om åkermarken antas jämt fördelad runt brukningscentrum beräknades transportavståndet efter medelradien i en cirkel där medelradien bestämdes som två tredjedelar av maximala radien. Slingrande vägar togs hänsyn till genom att förlänga medelradien med en slingarfaktor som antogs ha värdet 1,2.

För grundscenario resulterade detta i att kostnadsberäkningarna för vallskörd och stallgödelspridning baserades på ett medeltransportavstånd av 0,7 km. För mer och bättre vall scenario antogs att de samverkande växtodlingsgårdar har sin åkerareal jämnt fördelad runt mjölkgården. Kostnadsberäkningar av vallskörd och rötrestspridning på växtodlingsgården baserades på ett medeltransportavstånd av 1,3 km.

Vid transport av vall från fält till gård samt vid spridning av stallgödsel och rötrest antogs att transportavståndet på fält var i genomsnitt 100 m, förutom det ovan uträknade avståndet mellan fält och gård.

#### 4.1.7 Mängder vall till foder och biogas

I Tabell 6 visas mängder vall som ensilerades samt mängder som blev tillgängligt för foder och biogas. Kassationerna som går till biogas är summan av kassationer från foderbordet samt två tredjedelar av de synliga förlusterna från lagring och uttagning.

Tabell 6. Mängder vall som ensileras samt som blir tillgängligt till foder och biogas

	Mjölkgård, grund-scenario	Mjölkgård, mer och bättre vall-scenario	Växtgård, mer och bättre vall-scenario		
	3-årsvall	3-årsvall	2-årsvall		
Areal, ha	135	135	230		
Att ensilera, ton TS efter förluster fält och bärgning					
Första skörd	485	485	872		
Andra skörd	394	394	650		
Tredje skörd	381	381	325 <sup>1</sup>		
Summa	1261	1261	1846		
Tillgängligt efter förluster lagring/utfodring, ton TS	Foder	Foder	Biogas	Foder	Biogas
Första skörd	389	389	-	691	7
Andra skörd	316	193	128		542
Tredje skörd	305		318		271
Kassationer första skörd <sup>2</sup>	36		36		65
Kassationer andra skörd <sup>2</sup>	29		24		27
Kassationer tredje skörd <sup>2</sup>	28		16		13

<sup>1</sup> Mängd baserad endast på halva vallarealen eftersom endast 2 skördar andra vallåret.

<sup>2</sup> Två tredjedelar av synliga förlusterna från lagring samt alla förluster från utfodring.

## 4.2 Användning av gödsel och rötrest

### 4.2.1 Producerad mängd gödsel

Efter samråd med byggnadsrådgivare på Hushållningssällskapet (Karlsson, 2010 pers komm.) antogs att både mjölkkor och rekryteringsdjur hålls i system med flytgödsel. Kalvarna hålls på djupströbädd till och med 4 månaders ålder och därefter i boxar med flytgödsel.

Mängden gödsel reducerades för den tid djuren är på bete. För mjölkorna säger lagkraven att betesperioden ska vara sammanhängande och infalla under tiden 1 maj till 1 oktober.

Mjölkkor ska ha tillgång till utevistelse under minst sex timmar per dygn under minst tre månader för en gård i Uppsala län. Kalvar till och med 4 månaders ålder antogs vistas i stall hela perioden medan äldre rekryteringsdjur antogs ha en betesperiod som omfattar hela dygnet under 5 månader.

Mängden djupströgödsel beräknades från mängden konsumerat foder. Smältbarheten antogs vara 71% för den organiska substansen, dvs mängden torrsubstans minus mängden aska. Askhalten antogs till 6 %.

Mängden kväve per ko och år som hamnar under svans skattades genom att beräkna kväveintaget via foder och sedan dra ifrån mängden kväve som utsöndras i mjölken. Ingen hänsyn togs till den mängd kväve som åtgår till tillväxt och fosterutveckling (Liljeholm m fl., 2009).

För ungdjuren beräknades mängden gödsel enligt schablonvärden från Albertsson (2009). Eftersom gödselmängden ökar med åldern på djuren minskas mängden djupströgödsel för kalvar 0-4 månader med 30 % jämfört med i Albertsson (2009) angiven årlig producerad mängd gödsel för kviga/stut < 1 år vid 4 månaders stallperiod. För ungdjuren beräknades utsöndringen av kväve, fosfor och kalium från Albertsson (2009). Djupströgödsel från nöt antas innan avdrag gjorts för förluster innehålla 60 % av utsöndrat kväve.

#### 4.2.2 Gödselhantering och spridning

Med gårdarna i denna studie lokaliserade till Uppland antogs jordarten både på mjölkgården och växtodlingsgården vara mellanlera med fosforklass (P-A1) III och kaliumklass (K-A1) IV efter bedömning av Salomon (2010 pers komm.).

För att bestämma vilken mängd kväve och även fosfor och kalium som sedan är tillgängligt för växterna efter spridning användes en metod beskriven i Salomon m fl. (2008). Förlusterna av kväve framgår av Tabell 7. Inga förluster av fosfor antogs i stallet, mellan stall och lager samt mellan lager och åkermark.

Tabell 7. Parametrar och förluster vid hantering av gödsel från stall t.o.m. lagring

Parameter	Flyt-gödsel	Djupstr ögödsel	Rötrest	Enhet	Referens
Densitet	1000	500		Kg/m <sup>3</sup>	Albertsson, 2009
TS-halt	9	30	8	%	Albertsson, 2009
N-utsöndring i mjölk	45			Kg per ko & år	Liljeholm m fl., 2009
Ammoniakförluster lösdriftstall	7	20		% av tot N innehåll	Salomon m fl., 2008
Förluster (NH <sub>4</sub> ) under lagring med svämtäcke	3	30	3	% av mängd totalkväve in i behållaren	Karlsson och Rodhe, 2002
Andel ammoniumkväve av totalkväve	50	10	42	% av totalkväve efter lagring	Nordberg och Edström, 1997; Steineck m fl., 2000; Albertsson, 2010

Den växttillgängliga andelen av kvävet i stallgödsel och rötrest har stor betydelse för dess gödselvärde. Stallgödselns innehåll är förhållandesvis väl utforskat, medan det finns relativt få studier som undersökt växttillgängligheten hos rötrest. Nordberg och Edström (1997) har publicerat en studie, där andelen ammoniumkväve av totalkvävet (NH<sub>4</sub>-N/Total-N) var 40 % i rötresten efter första röt-kammaren. Detta värde användes som utgångsvärde, vilket sedan antogs öka till 42 % i rötresten som lämnar andra röt-kammaren.

För samtlig spridning av flytgödsel antogs släpslang. Djupströgödsel och den fasta rötresten bredspreddes. Nedbrukning antogs ske inom 4 h.



Kväveeffekten uttrycks som effekten av stallgödsels ammoniumkväveinnehåll i jämförelse med handelsgödselkväve och framgår för olika spridningstidpunkter och grödor av Tabell 8. Kväveeffekt och spridningsförluster antogs vara densamma för flytgödsel och rötrest.

Tabell 8. Kväveförluster och kväveeffekt vid spridning av gödsel och rötrest

Förluster av kväve	Förluster spridning, % av NH <sub>4</sub> -N	Kväveeffekt, %
<b>Flytgödsel/rötrest</b>		
Vårbruk spannmål	8 <sup>1</sup>	75 <sup>2</sup>
Försommar spannmål	7 <sup>1</sup>	75 <sup>2</sup>
Tidig vår vall	30 <sup>1</sup>	75 <sup>2</sup>
Sen höst vall	15 <sup>1</sup>	35 <sup>3</sup>
<b>Djupströgödsel</b>		
Sen höst på stubb	15 <sup>1</sup>	38 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> enligt Karlsson och Rodhe, 2002

<sup>2</sup> jmf handelsgödselkväve för kvarvarande ammoniumkväve efter spridningsförluster enligt Albertsson (2010).

<sup>3</sup> jmf handelsgödselkväve för kvarvarande ammoniumkväve efter spridningsförluster enligt Stallgödselkalkylator, Greppa Näringen (2010).

#### 4.2.3 Gödslingsstrategier och gödslingsnivåer

Följande spridningsstrategier tillämpades både för mjölkgården i grundscenariot samt för mjölk- och växtgården i mer och bättre vall-scenariot.

- Prioritering 1: Till sådd av korn i samband med vårbruk och i växande gröda på försommar (Salomon m fl., 2008).
- Prioritering 2: Till vall II och III när marken bär, tidig vår (Albertsson, 2009).
- Prioritering 3: Sen höst på vall II och III (Albertsson, 2009).

Efter att i första hand spridit rötresten på spannmål i mer och bättre vall-scenariot spreds av lagringskapacitetskäl resterande rötrest till vall på hösten. Djupströgödseln spreds på hösten på spannmål efter skörd och innan plöjning.

Stallgödsel och rötrest spreds till spannmål och vall med en giva som bestämdes av grödans behov av fosfor med hänsyn till markens fosforklass och grödornas förväntade avkastning enligt Jordbruksverkets riktlinjer för gödsling (Albertsson, 2009). Avkastningsnivån för spannmålsgrödorna hämtades från SCB's normskördar för 2010 och redovisas som femårsmedelvärden för konventionellt odlade arealer (SCB, 2010a). Normskörden anges vid 14 % vattenhalt. Klöverhalten i tabell 10 och 14 nedan är genomsnitt för alla skördar.

För både spannmål och vall på mjölkgården antogs en årlig kväveleverans från marken motsvarande 20 kg N per ha pga. långvarig användning av stallgödsel. För växtodlingsgården antogs ingen mångårig tillförsel av stallgödsel och således inkluderades inte den årliga kväveleveransen på 20 kg per ha.

När spannmål odlas efter vall och oljevaxter togs hänsyn till förfruktseffekten. Albertsson (2009) beräknar olika grödornas förfrukt uttryckta som total kväveefterverkan och som skördeökande verkan. Skördeökning pga förfrukt från vall beräknades första och andra året efter vallbrott medan kväveefterverkan endast beräknades första året efter vallbrott. För raps

beräknades skördeökande verkan och kväveefterverkan första året efter raps. Storleken på skördeökningen pga förfrukseffekt hämtades från Lindén (2008) och för kväveefterverkan användes siffror från SJV riktlinjer (Albertsson, 2009).

Givor av stallgödsel respektive rötrest samt spridningstidpunkt framgår av Tabell 9. De givor som spreds på hösten antogs komma efterkommande gröda tillgodo när kompletterande handelsgödselgiva beräknades.

Tabell 9. Spridningsgivor av gödsel respektive rötrest i grundscenariot och mer och bättre vall- scenariot

Spridningstidpunkt och giva i ton/ha					
<i>Grundscenariot mjölkgården</i>	<i>Vall I</i>	<i>Vall II</i>	<i>Vall III</i>	<i>Korn</i>	<i>Korn m insådd</i>
Djupströ, sen höst				2,3 <sup>1</sup>	
Flytgödsel, vårbruk spannmål				25	25
Flytgödsel, vall tidig vår		30	30		
Flytgödsel, vall sen höst		15			
<i>Mer och bättre vall-scenariot-mjölkgården</i>	<i>Vall I</i>	<i>Vall II</i>	<i>Vall III</i>	<i>Korn</i>	<i>Korn m insådd</i>
Rötrest, vårbruk spannmål				10	19
Rötrest, vall sen höst		20	20		
<i>Mer och bättre vall-scenariot-växtgården</i>	<i>Vall I</i>	<i>Vall II</i>	<i>Höstvete</i>	<i>Grynhavre</i>	<i>Malkorn m insådd</i>
Rötrest, vårbruk spannmål				20	20
Rötrest, försommar i växande gröda spannmål			20		

<sup>1</sup>en giva på 15 ton/ha spreds till 7 ha vilket motsvarar 2,3 ton per ha på 45 ha.

Givan handelsgödsel som behöver tillföras för att komplettera stallgödseln och rötresten beräknades med följande formel (1) från Salomon m fl. (2008) och visas i tabeller 11-16.

$$Hg = B - (Stg + Fix + M) \quad (1)$$

Där Hg= Giva av mineralkväve med handelsgödsel

B= Växternas kvävebehov

Stg= Växttillgängligt kväve i stallgödsel

Fix= Kvävefixering av baljväxter alt kväveefterverkan

M= Kväveleverans från mark

Den mängd kväve som vallen tillgodogör sig med hjälp av kvävefixering från klöver har tagits hänsyn till genom att använda riktgivor för kvävegödsling från Albertsson (2009) med hänsyn till klöverhalt.

Med kaliumklass IV krävs enligt Albertsson (2009) kaliumgödsling endast för höstoljeväxter samt vall för andraårsvallar och äldre. Dessa grödors behov täcktes mer än väl med det kalium som tillförs med stallgödseln och rötresten. Detta innebar att ingen kaliumhandelsgödsling antogs ske på någon av gårdarna.

Fosfor gödslades enligt grödornas behov från Albertsson (2009). Den fosfor som tillfördes med stallgödsel och rötresten kompletterades med handelsfosforgödsel för att nå upp till grödornas behov. Enligt SCB (2008) får högst 22 kg totalfosfor per ha spridningsareal tillföras via stallgödsel eller andra organiska gödningsmedel. Så länge givan 22 kgP/ha i genomsnitt över växtföljden inte överskrider kan fosforgivan vissa år överstiga grödans behov.

Tabell 10. Avkastning för de odlade grödorna på mjölkgården

Gröda	Skördenivå, kg/ha <sup>1</sup>	Merskörd, kg/ha	Klöverhalt, %	Referens
Vall I	9300		22	Halling och af Geijerstam, 2010
Vall II	9300		17	Halling and af Geijerstam, 2010
Vall III	9300		11	Halling and af Geijerstam, 2010
Korn	4300	350		Lindén, 2008; SCB, 2010a
Korn m insådd	4300	350		Lindén, 2008; SCB, 2010a

<sup>1</sup> För vall avses medel över vallåren för bärgad skörd efter skördeförbruk i ton TS per ha

Tabell 11. Växtnäringsbehov och gödslad mängd växttillgängligt kväve för de odlade grödorna på mjölkgården i grundscenariot

Gröda	Riktgiva P, kg/ha	Riktgiva N, kg/ha	N-efter- verkan, kg/ha	N-leverans från mark, kg/ha	N- stallgödsel , kg/ha	N- handels, kg/ha
Vall I	20	196		20	0	176
Vall II	20	212		20	33	159
Vall III	20	231		20	43	168
Korn	14	86 <sup>1</sup>	40	20	46	0
Korn m insådd	14	86 <sup>1</sup>		20	37	30

<sup>1</sup> Inkluderar kvävebehov från merskörden pga förfrukt vall

Tabell 12. Växtnäringsbehov och gödslad mängd växttillgängligt kväve för de odlade grödorna på mjölkgården i mer och bättre vallscenariot

Gröda	Riktgiva P, kg/ha	Riktgiva N, kg/ha	N-efterverkan, kg/ha	N-leverans från mark, kg/ha	N-rötrest, kg/ha	N-handels, kg/ha
Vall I	20	196		20	0	176
Vall II	20	212		20	0	192
Vall III	20	231		20	18	193
Korn	14	86 <sup>1</sup>	40	20	38	0
Korn m insådd	14	86 <sup>1</sup>		20	39	27

<sup>1</sup> Riktgivan inkluderar kvävebehov från merskörden pga förfrukt vall

Tabell 13. Avkastning för de odlade grödorna på växtodlingsgården i grundscenariot

Gröda	Skördenivå, kg/ha <sup>1</sup>	Mer-skörd, kg/ha	Referens
Malkorn	4300		SCB, 2010a
Höstvete	5700		SCB, 2010a
Vårraps	1900		SCB, 2010a
Höstvete	5700	800	SCB, 2010a
Grynhavre	4200		SCB, 2010a

<sup>1</sup> För vall avses medel över vallåren för bärgad skörd efter skördeförluster i ton TS

Tabell 14. Växtnäringsbehov och gödslad mängd växttillgängligt kväve för de odlade grödorna på växtodlingsgården grundscenariot

Gröda	Riktgiva N, kg/ha	Riktgiva P, kg/ha	Kväve-efterverkan, kg/ha	N-leverans från mark, kg/ha	N-handels, kg/ha
Malkorn	81	13		0	81
Höstvete	139	14		0	139
Vårraps	113	15		0	113
Höstvete	151 <sup>1</sup>	17	20	0	131
Grynhavre	74	13		0	74

<sup>1</sup> Riktgivan inkluderar kvävebehov från merskörden pga förfrukt vall

Tabell 15. Avkastning för de odlade grödorna på växtodlingsgården i mer och bättre vallscenariot

Gröda	Skörde-nivå, kg/ha <sup>1</sup>	Merskörd, kg/ha	Klöverhalt, %	Referens
Vall I	9400		22	Halling och af Geijerstam, 2010
Vall II	6600		15	Halling och af Geijerstam, 2010
Höstvete	5700	1000		Lindén, 2008; SCB, 2010a
Grynhavre	4200	500		Lindén, 2008; SCB, 2010a
Malkorn m insådd	4300			SCB, 2010a

<sup>1</sup> För vall avses medel över vallåren för bärgad skörd efter skördeförluster i ton TS

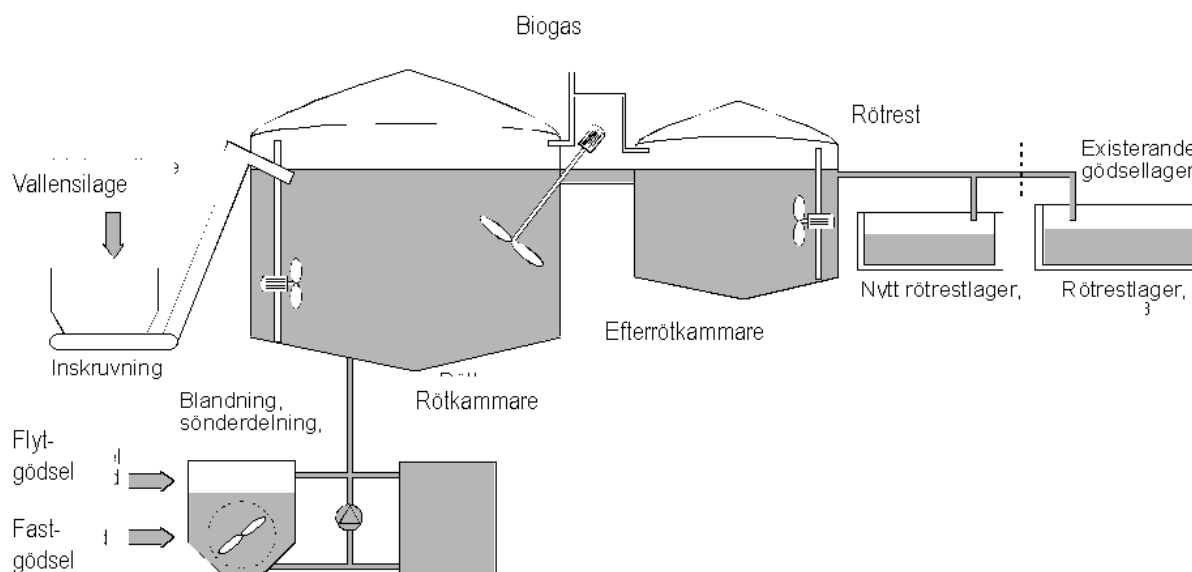
Tabell 16. Växtnäringsbehov och gödslad mängd växttillgängligt kväve för de odlade grödorna på växtodlingsgården i mer och bättre vallscenariot

Gröda	Riktgiva P, kg/ha	Riktgiva N, kg/ha	N-efterverkan, kg/ha	N-leverans från mark, kg/ha	N-rötrest, kg/ha	N-handels, kg/ha
Vall I	20	197			0	197
Vall II	12	124			0	124
Höstvete	17	154 <sup>1</sup>	40		0	42
Grynhavre	14	82 <sup>1</sup>			0	41
Malkorn m insådd	13	76			0	41

<sup>1</sup> Riktgivan inkluderar kvävebehov från merskörden pga förfrukt vall

### 4.3 Biogasproduktionen

Biogasanläggningen (se Figur 2) består av en huvudrötkammare och en efterrötkammare dimensionerade enligt Tabell 17, baserat på Nordberg och Edström (1997). Den kommer att drivas i det mesofila temperaturområdet. Efterrötkammaren bidrar till ytterligare TS-reduktion. Efterrötkammaren antogs öka metanproduktionen med 20 % och minska klimatpåverkan exv. genom sänkt B0-värdet. Endast flytande rötrest med en TS-halt av 7,7 % kommer att erhållas efter rötningen.



Figur 2. Utformning av biogasanläggningen.

Tabell 17. Dimensionering av biogasanläggningen

Parameter	Värde	Enhet
Rötningsteknik <sup>1</sup>	Våt	
Huvudsubstrat	Vall	
Gas, H.-substrat	79	% av tot gasprod
Krafteffekt, installerad	300	kW el
Reaktor 1	1330	m <sup>3</sup> våt volym
Reaktor 2	670	m <sup>3</sup> våt volym
Inflöde, reaktor	30,8	ton/d
TS-halt, inflöde	18,2	% av våtvikt
Utflöde, reaktor 2	27,2	ton/d
TS-halt, rötrest, reaktor 1	9,6	% av våtvikt
TS-halt, rötrest, reaktor 2	7,7	% av våtvikt
Uppehållstid, reaktor 1	49	Dagar
Biogasproduktion, reaktor 1	1,7	m <sup>3</sup> biogas/m <sup>3</sup> reaktor&d
Biogasproduktion, reaktor 2	0,7	m <sup>3</sup> biogas/m <sup>3</sup> reaktor&d
Biogasproduktion	5 587	MWh/år
Tot. elproduktion	2067 <sup>2</sup>	MWh/år
Tot. värmeproduktion	2570 <sup>2</sup>	MWh/år

<sup>1</sup>Med "Våt" menas våtrötning

<sup>2</sup>När all biogas går till kraftvärmedelen

Vallen till biogas, som ett genomsnitt över två (växtgården) eller tre (mjölkgården) vallår delades upp i sju olika fraktioner; en för varje skörd för mjölk- respektive växtodlingsgården samt en sammanslagen fraktion för spill och kassationer från hantering och utfodring till ungdjur och mjölkkor samt från lagringskassationer.

Biogasutbytet för de olika fraktionerna med olika energiinnehåll beräknades genom att relatera biogasutbytet till energiinnehållet i respektive fraktion. Utgångspunkten var en metangasproduktion på 300 Nm<sup>3</sup>/ton VS som ett genomsnittligt värde som använts för vall i tidigare studier (Edström m fl., 2008) när alla skördar använts till biogas. Vägt medelvärde för alla tre skördar på mjölkgården beräknades här till 10,6 MJ/kg TS. Genom relationen 300 lit/kg VS vid 10,6 MJ beräknades biogasproduktionen enligt Tabell 18.

*Tabell 18. Metangasutbyte för de olika vallskördarna*

	Mjölkgården		Växtgården	
	Energiinnehåll MJ/kg TS	Nm <sup>3</sup> /ton VS	Energiinnehåll MJ/kg TS	Nm <sup>3</sup> /ton VS
Första skörd	11,2	318	11,3	321
Andra skörd	10,3	293	10,4	296
Tredje skörd	10,0	284	10,0	284
Medel	10,6	300	10,8	306

Kassationernas innehåll av N, P och K samt biogasutbyte i relation till energiinnehåll bestämdes genom att ta innehållet i den skörd kassationen kom från med hänsyn till dess andel av totala kassationerna. Energiinnehållet på kassationsfraktionen antas vara 10 % lägre pga. eventuell nedbrytning och utsortering på foderbordet. Detta innebar att biogasutbytet reducerades med 10 % och beräknades till 276 Nm<sup>3</sup>/ton VS för de sammanlagda kassationerna.

Nötflytgödseln antogs ha ett metangasutbyte på 200 Nm<sup>3</sup>/ton VS och djupströgödseln antogs ha ett utbyte på 185 Nm<sup>3</sup>/ton VS.

#### **4.3.1 Användning av producerad elektricitet och värme från biogas**

Den i mer och bättre vall-scenariot producerade biogasen användes till kraftvärmeproduktion för att producera el och värme. Ifall värmebehovet överstiger produktionen av värme är ett alternativ till att köra kraftvärmeanläggningen att använda biogasen direkt till exv. torkning av spannmål. En del av producerad el och värme åtgår för att driva biogasprocessen. Biogasproduktionen antogs jämnt fördelad över årets månader. Av producerad biogas har 21 % sitt ursprung i gödseln och resterande mängd i vallensilaget.

Gårdarnas behov av elektricitet och värme för bostadshus (4 st), stall samt spannmålstork antogs kunna ersättas med elektricitet och värme från biogasanläggningen. I analysen inkluderades förutom mjölkgården och dess hushåll även hushåll från tre samverkande växtodlingsgårdar. I Tabell 19 presenteras den indata som ligger till grund för beräkningarna av el- och värmeförbrukning.

Tabell 19 . Indata för att beräkna el och värmeförbrukning på gårdar och i hushåll i mer och bättre vall-scenariot

Indata	Värde	Referens
<b>Spannmålstorkning</b>		
Oljebehov mjölkgård	4609 lit/år	Beräknat
Oljebehov spannmålsgård	19883 lit /år	Beräknat
Elbehov mjölkgård	4185 kWh el/år	Beräknat
Elbehov växtgård	18055 kWh el/år	Beräknat
<b>Kostallet</b>		
Elbehov stall	0,111 kWh el/kg mjölk	Baky m fl., 2010
El till tappvarmvatten	5% av elbehov stall	Hörndahl, 2008
<b>Bostadshuset</b>		
Oljeanvändning för uppvärmning inkl. tappvarmvatten	20 lit/m <sup>2</sup> och år	Energimyndigheten, 2011b
varav tappvarmvatten hushåll	4800 kWh/år	Energimyndigheten, 2011a
Hushållsel	6250 kWh/år och hushåll	Energimyndigheten, 2011b

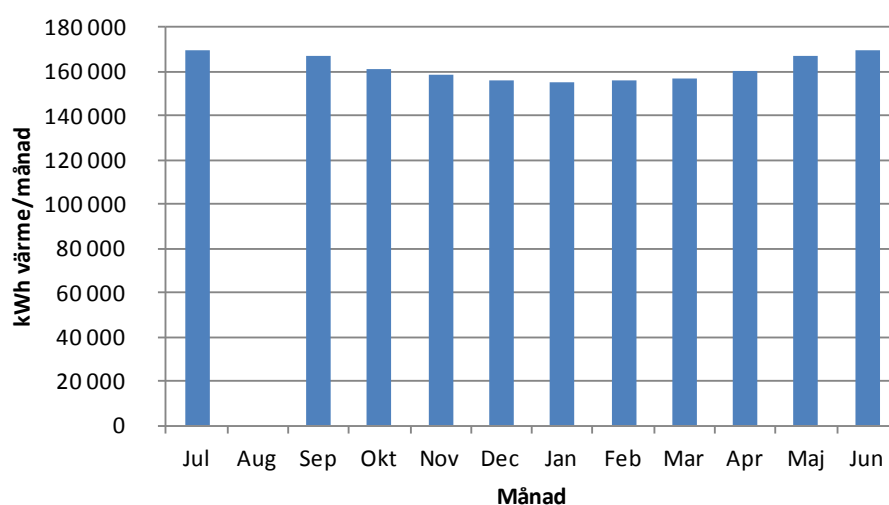
Vid beräkningarna av producerad mängd el och värme antogs att biogasen skulle täcka systemets totala värmebehov även under den månad när spannmålstorkningen pågick. I augusti översteg värmebehovet producerad mängd värme från kraftvärmelanläggningen vilket innebär att en del av biogasen fick användas direkt till spannmålstorkning utan att gå via kraftvärmeproduktionen. Av de 240 267 kWh oljeekv/år värme som åtgår för spannmålstorkning togs 105 842 kWh oljeekv/år direkt från biogas till spannmålstorkning. Det innebär att i augusti gick 22% av den producerade biogasen direkt till pannan för spannmålstorkning istället för till kraftvärmeproduktion. I Tabell 20 sammanställs producerad och använd mängd el och värme samt överskottet. Överskottet av värme är utnyttjat medan överskottet av el säljs till nätet och genererar en intäkt.



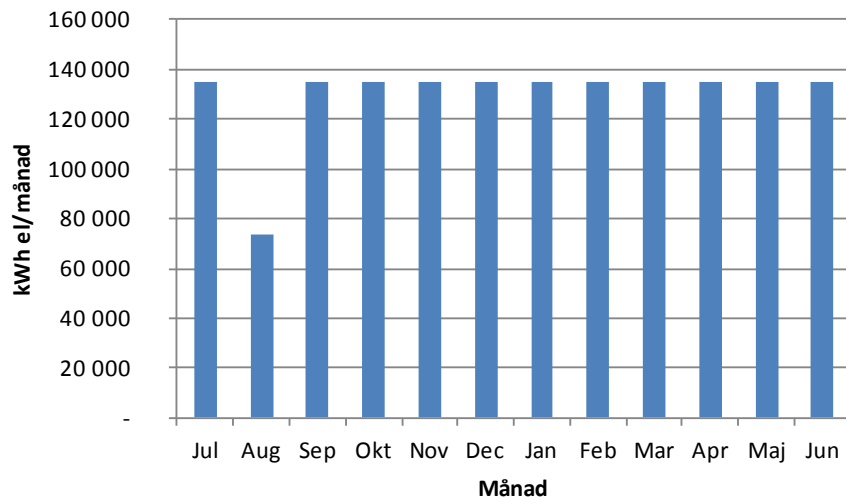
Tabell 20. Sammanställning av producerad och använd mängd el och värme från biogas- och kraftvärmeanläggningen

Specifikation	Mängd	Enhet
<b>Värme</b>		
Biogasproduktion	5 587 071	kWh biogas/år
Kraftvärmeproduktion- värme	2 801 517	kWh oljeekv/år
Biogas direkt till spannmålstorkning	105 853	kWh oljeekv/år
Processvärme rötning	558 707	kWh oljeekv/år
Spannmålstorkning	240 267	kWh oljeekv/år (augusti)
Tappvarmvatten stall	13 317	kWh oljeekv/år
Tappvarmvatten hushåll	21 333	kWh oljeekv/år
Uppvärmning hushåll	98 638	kWh oljeekv/år
Överskott värme	1 975 097	kWh oljeekv/år
Överskott värme	1 777 587	kWh värme/år
<b>El</b>		
Kraftvärmeproduktion- el	2 028 055	kWh el/år
Processel rötning	195 547	kWh el/år
Stall	227 721	kWh el/år
Spannmålstorkning	22 240	kWh el/år
Hushållsel	25 000	kWh el/år
Överskott el	1 557 546	kWh el/år

Sett på årsbasis är värmeutnyttjandet 32 % och definieras som den andel av värmen från biogaskraftvärmeproduktionen som utnyttjas. Under den månad då spannmålstorkningen antas ske är dock utnyttjande graden 100 %. Överskotten av värme och el framgår av Figur 3 och Figur 4.



Figur 3. Överskott av värme från biogasproduktionen i mer och bättre vall- scenariot.



*Figur 4. Överskott av el från biogasproduktionen i mer och bättre vall- scenariot.*

## 5 DEL 2. EKONOMISK ANALYS

Alla kostnader och intäkter anges exklusive moms.

### 5.1 Använd indata till kostnadsberäkningar

Kostnader för fodermedlen hämtades från Agriwise områdeskalkyler för 2011. Intäkten från mjölken beräknades på ett avräkningspris på 3,08 kr/kg ECM (4,2% fett, 3,4% protein) enligt statistik för åren 2006-2010 enligt Svensk Mjök (2011).

Intäkten från försäljning av livkalvar beräknades enligt områdeskalkyler Agriwise (2011) för årligen 120 tjurkalvar och 24 kvigkalvar.

Maskinkostnader beräknades genom att använda timtaxor från Maskinkalkylgruppen (2011) och använda väl utnyttjade maskiner, vilket för exempelvis en traktor innebär en årlig användning på 650 h. Dieselkostnaden för drivmedel sattes till 9,5 kr/l efter återbetalning av koldioxidskatt (restitution) och arbetskostnaden till 240kr/h (Maskinkalkylgruppen, 2011).

Kostnader för utsäde och gödsel hämtades från Agriwise områdeskalkyler för 2011 (Agriwise, 2011). Vid insådd minskades utsädesmängden för korn med 20 kg/ha enligt rekommendationer från Lantmännen.

### 5.2 Spannmålsodling

Antal maskinoperationer som ligger till grund för beräkningarna av odlingskostnader framgår av tabell 1.1-1.4 i bilaga 1 och specifikationer för valda maskiner framgår av tabell 1.5 i bilaga 1.

Bränsleförbrukning för operationerna (tabell 1.5 i bilaga 1) bestämdes från den energikartläggning som JTI genomförde åt Jordbruksverket (Baky m fl. 2010). Bränsleåtgången vid tröskning bestämdes som ett värde för varje gård beräknat från medelskörden för de grödor som ingick i gårdens växtföljd.

Som spannmålspris användes medelpris för åren 2006-2010 enligt slutpris Lantmännen pool 1 för östra Sverige och framgår av Tabell 21. Spannmålspris för beräkningar av läglighetskostnader sattes till 80% av medelpriset eftersom grödan på fält har ett lägre värde än den spannmål som säljs eftersom inga insatser görs för skörd, torkning, transport och lagring.

*Tabell 21. Spannmålspriser använda i studien*

	Medelpris 2006-2010, kr/kg	Pris läglighet, kr/kg
Grynhavre	1,30	1,04
Foderkorn	1,20	0,96
Malkorn	1,52	1,22
Höstvete kvarn	1,55	1,24
Oljevaxter	2,80	2,24

### 5.2.1 Lägghetskostnader för spannmål

Lägghetskostnaderna för sådd och skörd av spannmål och raps beräknades med maskinkalkylprogrammet från Cardoso m fl. (2009) baserat på lägghetsdata enligt tabell 1.6 i bilaga 1. För att undvika förseningar av sådd av vårraps på växtgården antogs att den kunde sås parallellt med spannmålen med en extra såmaskin och därmed undvika höga lägghetskostnader pga. förseningar i start av vårrapsådd.

### 5.2.2 Torkning av spannmål

För torkning av spannmål inkluderades de rörliga kostnaderna för elektricitet och eldningsolja enligt specifikationer i Tabell 22. Dock inkluderades inte investeringskostnaderna för torkanläggningen eftersom de antas oförändrade vid jämförelsen mellan grundscenariot och mer och bättre vall-scenariot. I mer och bättre vall-scenariot inkluderades intäkter för biogasproducerad el och värme för torkning av spannmål. Dessutom inkluderades en torkningskostnad i grundscenariot för den mängd spannmål som skiljer mellan scenarierna. Vattenhalten vid skörd av spannmål sattes till 20 % enligt kalkyler i Agriwise och torkning antogs till 14 % vattenhalt. Raps antas säljas otorkad direkt efter skörd.

Eventuell ombyggnader och installationer exv ledningsdragningsar som krävs för att använda biogas istället för eldningsolja har ej tagits hänsyn till i studien.

Tabell 22. Förutsättningar för beräkningar av kostnader för el och eldningsolja vid spannmålstorkning

Specifikation	Värde
Eldningsoljepris	7,2 kr/ liter <sup>1</sup>
Elpris	0,90 kr/kWh <sup>2</sup>
Eldningsoljeförbrukning ned till 14% vh	
20% ingående vattenhalt	0,15 liter olja/kg borttorkat vatten <sup>3</sup>
Elförbrukning	1 kWh/dt <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Pris efter restitution från Maskinkalkylgruppen (2011)

<sup>2</sup> Pris efter restitution från Nordberg m fl. (2011)

<sup>3</sup> Beräknad från uppgifter från Tornum torktillverkare om borttorkad mängd vatten vid olika ingående vattenhalter samt utnyttjad effekt pannan.

<sup>4</sup> Westlin m fl. (2006)

## 5.3 Gödsel- och rötrestspridning

I likhet med vallskörden innebär spridning av gödsel och rötrest mycket transporter mellan gård och fält. Kostnaderna för gödsel- och rötrestspridning räknades därför på samma sätt som vallskördekostnaderna genom att beräkna maskinkapaciteten med hänsyn till transportavståndet från fält till gård samt maskinens spridningskapacitet (Tabell 23).

Tabell 23. Maskinspecifikationer för gödsel- och rötrestspridning

Parameter	Värde	
	Flytgödsel	Djupströgödsel
Volym, m <sup>3</sup>	18	12
Spridningsbredd, m	12	4,5
Fälteffektivitet, %	70	70
Körhastighet spridning på fält, km/h	7	8
Körhastighet väg, km/h	20	20
Körhastighet fält, km/h	7	7
Medeltransportavstånd väg, km	0,7 mjölkgård; 1,3 växtgård	0,7 mjölkgård
Medeltransportavstånd fält, km	0,1	0,1
Fyllningstid, h	0,1	0,2

### 5.3.1 Lagringskostnader gödsel och rötrest

Flytgödsel och rötrest antogs lagras i betongbehållare och prisuppgifter för behållarna hämtades från A-betong (Påhlstorp, 2010 pers komm.). Kostnaderna inkluderade förutom behållare även kostnader för markarbeten enligt Agriwise (2007) samt gjutning bottenplatta, montering och hantlangning. De behållare som i grundscenariot användes för att lagra flytgödseln antogs i mer och bättre vall-scenariot användas till rötrestlagring. Dock behövdes ytterligare ett lager byggas på grund av den större mängden rötrest (Tabell 24).

Kostnaderna för fastgödsellagret påverkas inte i övergång till biogas och räknades därför inte med i studien.

Tabell 24. Specifikationer för beräkning av kostnader för gödsellager i grundscenariot och rötrestlager i mer och bättre vall-scenariot

Parameter	Grundscenario	Mer och bättre vall- scenario
Gödselmängd, ton vv/år	6323	9999
Lagringsvolym, m <sup>3</sup> per behållare	3040	3040
Antal behållare	2	3
Inv. kostnad, kr/m <sup>3</sup>	346	346
Inv. kostnad, kr totalt	2 104 000	3 156 000
Årlig underhållskostnad, % av återanskaffningsvärde	0	0
Avskrivningstid behållare, år	30	30
Ränta, %	4	4
Total kostnad per år, kr	88126	132189

## 5.4 Vallskörd

Kostnaderna för skörd och inläggning av vallen beräknades separat för mjölkgården och växtodlingsgården. Eftersom allt ensilage antogs lagras på mjölkgården, oavsett om det skulle användas till biogas eller foder, beräknades dock kostnaderna för själva silon inkl. täckning som en gemensam kostnad. På samma sätt antogs skörden för hela vallarealen som en enhet dvs. vallskörden på mjölkgården och växtodlingsgården följde efter varandra och inte parallellt. Läglighetskostnaderna för vallskörden beräknades därför också gemensamt för gårdarnas totala vallareal. Specifikationer för de maskiner som användes framgår av tabell 1.7 i bilaga 1.

Vallen antogs ha en TS-halt på 30 % vid bärgning (exv Sundberg, 2003). Skördearbetet antogs utföras 10 h effektiv tid per dag, dvs. tid för lunch och pauser är borträknade.

Vallen slogs med slätterkross. Efter slätter förtorkades materialet på fält varefter en strängläggare la ihop materialet från två strängar till en. Denna sträng bärgades med en självgående exakthack med parallellt körande traktorer med transportvagnar. Gräset tippades på en platta framför plansilon, lastades in i plansilon och packades med två lastmaskiner.

Med hänsyn till mängden material i strängen justerades exakthackens körhastighet för att säkerställa att den maximala hackkapaciteten inte överskreds. Kapaciteten hos en exakthack bestäms huvudsakligen av tillgänglig motorkapacitet samt strängtjocklek (Schick och Stark, 2002). Dessutom påverkar även fältformen och fältstorleken.

Maskin- och förarkostnader för slätterkross och strängläggare beräknades efter dess praktiska kapacitet, dvs. för den tid de utförde arbete på fältet. Kostnaden för hack, transport och packning bestämdes däremot efter den begränsande kapaciteten, dvs. en timkostnad belastas hacken och lastmaskinerna även när de står och väntar på transport. Däremot beräknades dieselkostnaden för slätter, strängläggning, exakthackning och transport per ton och därmed oberoende av eventuella begränsningar i skördens kapacitet med väntetider som följd. Pga. förluster av torrs substans i de olika stegen justerades mängden som de olika maskinerna hanterade till aktuell avkastning för respektive operation.

### 5.4.1 Packning och inlastning i plansilo

Packningen antogs ske med två lastmaskiner som arbetade parallellt antingen i samma eller i varsitt plansilofack beroende på fackets bredd. Den sammanlagda packningskapaciteten antogs inte underskrida maximala bärgnings- och transportkapaciteten.

Inlastning och packning i silon antogs pågå kontinuerligt så länge skörden pågår och vallfoder levereras till silon. Den begränsande skördekapaciteten med vilken vallfoder transporteras till plansilon varierade något mellan skördarna men beräkningarna av lastmaskinernas dieselförbrukning beräknades för ett medelvärde av kapacitet för de tre skördarna. Efterpackning med lastmaskin efter avslutad inläggning skedde med en kapacitet av 0,055h/ha.

En kostnadsberäkning gjordes för plansilon av Pålhorstorp (pers komm, 2010) och framgår av Tabell 25. Den årliga kostnaden för plansiloinvesteringen beräknades med hjälp av annuitetsmetoden för avskrivningstid och ränta enligt tabell 25. Dessutom tillkom en årlig underhållskostnad för plansilon.

Efter samtal med Thomas Pauly (pers komm, 2010) beräknades kostnader för täckning av plansilo för plast på sidor samt 1 lager tunn plast (0,04 mm) närmast ovanpå gräset, 1 lager

täckplast överst samt 10 cm sand som täckmaterial. Enligt Nilsson (2008) är kostnaden för den tunna plasten ungefär den samma som för standardplasten. Tidsåtgången per silofack beräknades enligt uppskattningar från Nilsson (2008) till 6 h för att hänga upp sidoplasten, 6 h för att täcka med plast och sand samt 20 min/gång för att avtäcka. Tidsåtgången för avtäckning för varje silofack beräknades genom att anta att ensilage förbrukades under hela året och att avtäckning skedde 2 gånger per vecka. Kostnader för plast beräknades från Nilsson (2008) och Olsson (2010) med uppdatering av plastkostnaderna till Lantmännen juni 2010.

I beräkningarna antogs myrsyra användas med dosering enligt Agriwise (2011) till 50 % av ensilaget som användes till foder i både grundscenariot och mer och bättre vall-scenariot. Inget ensileringsmedel antogs användas till ensilaget för biogas.

*Tabell 25. Specifikationer för beräkning av kostnader för plansilo inkl. material och arbete för täckning och avtäckning samt ensileringsmedel*

Parameter	Grundscenariot	Mer och bättre vall-scenariot	Referens
Höjd, m	3 varav höjd efter packning 2,7	3 varav höjd efter packning 2,7	
Längd, m	60 varav effektiv längd 57	60 varav effektiv längd 57	
Antal och bredd per fack, m	1st x 12m, 1st x 9m, 2st x 8m	6st x 12m, 2st x 8m	
Densitet efter packning, kg TS/m <sup>3</sup>	230	230	
Investeringskostnad, inkl. markarbeten <sup>1</sup> , kr	3 140 000	7 047 000	Påhlstorp, pers komm, 2010; Agriwise, 2007
Årlig underhållskostnad, % av investeringskostnaden	0,5	0,5	Agriwise, 2007
Avskrivningstid, år	25	25	Påhlstorp,pers komm, 2010
Ränta, %	4	4	Maskinkalkylgruppen, 2011
Plansilo inv, kr/år	216 718	486 341	
Täckning och avtäckning, mtrl och arbete, kr/år	63 264	135 853	
Ensileringsmedel, kr/år	136 652	147 061	

<sup>1</sup> inkluderade uppräknig av priser från 2006 års nivå med hjälp av tjänsteprisindex (SCBb, 2010).

#### 5.4.2 Lägghetskostnader för vallskörd

Lägghetskostnader beräknades genom att använda lägghetskostnader från Gunnarsson m fl. (2007) för konventionell produktion i Svealands slättbygder. Genom att förlänga skördens tid med en sannolikhetsfaktor för tjänligt väder togs hänsyn till de tider när det inte går att skörda pga. dåligt väder. Sannolikheten för tjänligt väder, dvs. att skörden går att genomföra en viss dag beräknades enligt samma metod och med samma data som i Gunnarsson m fl. (2007), dvs. med väderdata från Uppsala för åren 1980-1994. För ensilering i plansilo antogs att det behövdes en dag utan regn för förtorkning till 30% TS-halt. Sannolikheten beräknades som andelen dagar i skördeperioden utan nederbörd (Tabell 26). Då lägghetsfaktorer saknas för vall till biogas antogs samma som för vall till foder.

Tabell 26. Sannolikhetsfaktorer för tjänligt väder (%) för första, andra och tredje skörden

Skörd	Genomsnittligt skördedatum (dag nr)	Tidsperiod	Sannolikhet, %
1	26 maj (146)	Andra halvan Maj-första halvan juni	72
2	10 juli (191)	Juli	67
3	1 sept (244)	Andra halvan Aug -första halvan sept	58

#### 5.5 Kostnader biogasanläggningen

Tillvägagångssättet för att bedöma investeringen bygger på följande generella metod:

- Kapitalkostnaderna beräknas utifrån annuitetsmetoden med en kalkylränta på 4 %.
- Investeringen för rötningsanläggningar med våt rötningsteknik bygger på Eder och Schulz (2006). Utgående från detta görs ett generellt kostnadspåslag med 15 %.
- Investeringskalkylen kompletteras med en bedömd kostnad för att hantera inklusive sönderdela fastgödsel och vallgröda.
- Investering och elektrisk verkningsgrad för kraftvärmeanläggningen baserar sig på Lantz (2010).
- Avskrivningstiden för rötningdelen i biogasanläggningen antas vara i medel 15 år.
- Avskrivningstiden för motorn i kraftvärmedelen antas vara 4 år och resten av utrustningen kopplat till kraftvärmeproduktionen antas vara 15 år.
- Årlig underhållskostnad för rötningdelen i biogasanläggningen motsvarar 2,3 % av investeringen.
- Årlig underhållskostnad för kraftvärme i biogasanläggningen är beroende på anläggningens storlek enligt Lantz (2010).
- Arbetskostnaden antas vara 250 kr/timme och 455 kr/timme för lastartraktor med förare.
- Försäkringskostnaden motsvarar 0,4 % av investeringen.



Med en investeringsnivå enligt Tabell 27 samt tidigare nämnda antaganden uppgick kapitalkostnaden för rågasanläggningen till 850 000 kr/år och kraftvärmeanläggningen till 474 000 kr/år. Driftskostnaderna för biogasanläggningen blev 451 000 kr/år och driftskostnaden för kraftvärmeanläggningen blev 276 000 kr/år.

I dagsläget finns det även möjlighet att söka investeringsstöd genom landsbygdsprogrammet för investeringar i biogasanläggningar. Stödet är i dagsläget utformat för att täcka 30 % av investeringskostnaden med ett tak på 1,8 miljoner kronor. Det ligger ett förslag på att höja detta tak men det inga beslut är tagna. Ett stöd på 30 % av investeringen utan tak skulle innebära att kapitalkostnaderna för anläggningen minskar med 397 000 kr/år. Om investeringen minskar med 1 800 000 kr reduceras kapitalkostnaden med ungefär 200 000 kr/år.

*Tabell 27. Specifik investering 1 erhålls genom att dividera total investering med anläggningens aktiva rötningsvolym (den del av första rötammaren som är fylld med biomassa som rötas). Specifik investering 2 erhålls genom att dividera total investering med kraftvärmeanläggningens installerade elektriska effekt*

Parameter	Värde	Enhet
Investering (exkl. investeringsstöd)	11,6	M kr
		kk/m <sup>3</sup> våt volym för reaktor
Specifik investering 1	5,8	1
Specifik investering 2	38,0	kk/kW
Elektrisk verkningsgrad, kraftvärmeanläggning	37	%
Bränslebehov, kraftvärmeanläggning	2,7	kWh biogas/kWh el

## 5.6 Ersättning för producerad el och värme

Följande intäkter från el- och värmeproduktion från biogasen har beräknats som möjliga att utnyttja i scenariot med mer och bättre vall (Tabell 28).

Tabell 28. Priser och intäkter för producerad el och värme

<b>Intäkter el</b>	<b>kWh el/år</b>	<b>Kr/kWh</b>	<b>Kr/år</b>
Biogasprocessen	195 547	0,28 <sup>1</sup>	53 776
Torkning spannmål	22 240	1,17	26 065
Stall	227 721	1,17	266 889
Hushållsel	25 000	0,77	19 250
Överskott till nätet	1 557 546	0,77	1 199 310
Summa			1 565 290
<b>Intäkter värme</b>	<b>kWh olja/år</b>		
Torkning spannmål	240 267	0,73	175 395
Uppvärmning hushåll	119 972	1,00	120 020
Tappvarmvatten stall	11 985 kWh el/år	1,17	14 023
Summa			309 438

<sup>1</sup>Elcertifikat och nätnytta

Ersättningen för producerad el och värme baserade sig på priser som hämtades från Nordberg m fl. (2011) enligt följande:

Den egenförbrukning av elektricitet som ersätts med egen biogasproducerad elektricitet värderas till ca 1170 kr/MWh baserat på

- Elkostnad inkl nättariff och energiskatt: 900 kr/MWh
- Elcertifikat: 255kr/MWh
- Nätnytta: 20 kr/MWh

Ersättning för den elektricitet som säljs ut på nätet uppskattades till 770 kr/MWh och inkluderar spotpris och elcertifikat. Den elektricitet som användes i biogasprocessen värderades till 275 kr/MWh och inkluderar då elcertifikat och nätnytta.

Värdet på den biogasvärme som ersätter eldningsolja i gårdens verksamhet uppskattades till 7140 kr/m<sup>3</sup> eller 730 kr/MWh genom att utgår från ett eldningsoljepris på 6000 kr/m<sup>3</sup> samt påslag för energi- och koldioxidskatt efter återbetalning. På motsvarande sätt värderades den biogasvärme som ersätter eldningsolja för gårdens hushåll till 9810 kr/m<sup>3</sup> eller 1000 kr/MWh med den skillnaden att ingen återbetalning av en del av energi- och koldioxidskatten gjordes.

## 5.7 Resultat av kostnadsberäkningarna

Kostnadsberäkningarna i del 1 sammanfattas i tabell 29 och är inte en komplett redovisning av gårdens kostnader. Vissa poster som inte skiljer sig åt mellan de två scenarierna såsom kostnader för mjölkstallet och investeringskostnaden för spannmålstorken har utelämnats.

Tabell 29. Sammanställning av kostnader och intäkter för grundscenariot och mer och bättre vall-scenariot

	Grundscenario	Mer och bättre vall-scenario	Netto (MBV-G)
<b>Intäkter</b>			
Mjök	6 651 332	6 651 332	0
Livkalvar	227 472	227 472	0
Spannmål	4 165 990	2 776 266	-1 389 724
El från biogas		1 565 290	1 565 290
Värme från biogas		309 438	309 438
Inv. stöd biogasanl <sup>1</sup>		200 000	
<i>Summa</i>	<i>11 044 784</i>	<i>11 733 788</i>	<i>689 004</i>
<b>Kostnader</b>			
Insatsmedel odling	1 900 248	1 462 022	-438 226
Fodermedel	1 376 346	732 423	-643 922
Vallskördekostnader	983 583	2 349 373	1 365 790
Övriga maskinkostnader	2 036 693	1 426 609	-610 084
Torkning spannmål	50 768 <sup>2</sup>	0	-50 768
Gödsel/ rötrestlager	88 126	132 189	44 063
Kapitalkostn. röttningsanl.		850 000	850 000
Kapitalkostn. kraftvärme		474 000	474 000
Underhåll och arbete röttningsanläggning		451 000	451 000
Underhåll och arbete kraftvärme		275 939	275 939
<i>Summa</i>	<i>6 435 763</i>	<i>8 153 555</i>	<i>1 717 792</i>
<b>Förändring ekonomiskt utfall (intäkter- kostnader)</b>			<b>-1 028 788</b>

<sup>1</sup> avser 30 % av investeringen med ett tak på 1,8 miljoner kronor under en treårsperiod

<sup>2</sup> avser kostnader för el och eldningsolja för torkning av den mängd spannmål som skiljer mellan grundscenariot och mer och bättre vall-scenariot.

Jämförelsen av kostnader och intäkter mellan grundscenariot och mer och bättre vall-scenariot visade att intäkterna var 689 000 kr högre i mer och bättre vall-scenariot. Kostnaderna var dock 1 700 000kr högre och det ekonomiska utfallet, dvs. skillnaden mellan intäkter och kostnader således ca 1 000 000 kr lägre i mer och bättre vall-scenariot.

### 5.7.1 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys gjordes för parametrar med påverkan på det ekonomiska utfallet vid jämförelse mellan scenarierna och sammanfattas i Tabell 30.

Tabell 30. Analys av variation i vissa antaganden och parametrar med på verkan på det ekonomiska utfallet vid jämförelse mellan grundscenario och mer och bättre vall-scenario

Parameter	Påverkan på ekonomiskt utfall, kr per år
• Investeringsstöd utan tak: 30 % av hela kostnaden för biogas- och kraftvärmeanläggningarna	197 200
• Produktionsstöd för biogas från gödsel	235 000
• Värmeöverskottet ersätter fossila bränslen och genererar en intäkt för biogasanläggningen motsvarande 50% av värmeöverskottets potentiella värde	650 000
• Värmeöverskottet ersätter förnyelsebara bränslen och genererar en intäkt för biogasanläggningen motsvarande 50% av värmeöverskottets potentiella värde	270 000
• Utnyttja hela växtgårdens torckapacitet	12 000
• 10 % reducerade kostnader för vallskördemaskinerna	88 000
• Två skördar istället för tre	328 000
• Exkludera allt ensileringsmedel till första skörd	96 000

För att brytpunkten för gårdarnas sammanlagda lönsamhet ska nås krävs att flera av de undersökta parametrarna infaller. Störst potential har användandet av överskottsvärmen men denna är mycket beroende av vilken energi som ersätts och lokala förutsättningar vad gäller kostnader förknippade med användandet, intresse från potentiella användare etc. Parametrar förknippade med substratkostnaden såsom skördekostnader, antal skördar och tillsatsmedel har också god potential för förbättringar av det ekonomiska resultatet.

#### *Utökad investeringsstöd för biogasanläggningen*

För investering i produktion av biogas kan investeringsstöd för upp till 30 procent med ett tak på 1,8 miljoner/företag fås under en treårsperiod. Om taket tas bort eller höjs till över 3 miljoner kronor skulle det innebära att kapitalkostnaderna för biogasanläggningen minskar med knappt 200 000 kr/år.

#### *Produktionsstöd på biogas från gödsel*

Förslag finns på att införa ett stöd på 20 öre/kWh biogas producerad från gödsel men det har ännu inte introducerats. I scenariet mer och bättre vall har 21 % av biogasproduktionen sitt ursprung i gödsel, resterande kommer från rötning av vall. Införs stödet skulle det medföra 235 000 kr per år i ökade intäkter.

#### *Utnyttja en större del av värmeöverskottet*

En stor potentiell intäkt finns i det värmeöverskott på knappt 1800 MWh per år som ej utnyttjas. Att utnyttja denna värme är förknippat med kostnader i investering i utrustning, ledningar etc. För den möjliga användaren av värmen från biogasen kan det också behövas en morot för att motivera byte till ett nytt bränsle/värmekälla. En rimlig intäkt för biogasanläggningen vid utnyttjande av värmeöverskottet bedömdes därför vara 50% av den potentiella intäkten från hela överskottet av biogasvärmen. Intäkten motsvarande ersättning av eldningsolja för 0,73 kr/kWh skulle då kunna generera en intäkt för biogasanläggningen på 650 000 kr per år. Om överskottsvärmen skulle kunna ersätta förnybara bränslen som

skogsflis, exv levereras till ett närliggande närvärmenät, uppskattas värdet på värmen till 0,30 kr/kWh. Biogasanläggningens intäkter uppskattas då till 270 000 kr per år.

I beräkningarna har vi antagit att gårdarna har egna torkningsanläggningar för spannmål och att deras torkningskapaciteter är desamma i grundscenariot och i mer och bättre vall scenariot. I mer och bättre vall-scenariot odlas dock mindre spannmål på växtgården på bekostnad av vall vilket gör att inte hela torkens kapacitet utnyttjas. Eftersom överskottsvärmen från kraftvärmeproduktionen inte räcker till för torkning av all spannmål blir effekten av att torka mer spannmål på växtgården att mindre elektricitet produceras under den period när spannmålen torkas. Om hela växtgårdens torkningskapacitet skulle utnyttjas vägs de ökade intäkterna från värmen i stort sett upp av minskade intäkter från elproduktionen. Totalt ökar intäkterna med ca 12 000 kr per år.

#### *Två istället för tre skördar*

Vid två vallskördar istället för tre påverkas dels kostnaderna för vallskörden och dels intäkterna från biogasen. Påverkan på vallens avkastning och kvalitet hämtades från Nilsson m fl. (2011) som i fältförsök jämfört avkastning och kvalitet för två respektive tre vallskördar. Antaganden gjordes att i scenariot mer och bättre vall ha första skörden oförändrad eftersom annars vallens kvalitet till mjölkproduktionen påverkades. Tidpunkten för andra skörden senarelades med 10 dagar. Kvalitetsförändringen för den försenade andra skörden hämtades från Nilsson m fl. (2011) och uppgick till 0,036 % avkastningsökning per dag (i förhållande till skörden vid ordinarie skördetid) och 0,068 MJ kvalitetsförsämring per dag. Totala mängden ensilage minskade med 10 % vilket reducerade kostnaderna för ensilering/lagring ensileringsmedel i motsvarande proportion. De sänkta vallskördekostnaderna uppgår till 441 000 kr per år.

Även mängden rötrest påverkades av den minskade mängden ensilage till rötning. Värdet av denna förändring uppskattades genom att bestämma förändringen i rötrestens värde med hänsyn till minskade kostnader för inköp och spridning av handelsgödsel och ökade kostnader för hantering och lagring av rötrest när rötrest ersätter handelsgödsel. I denna studie var kostnaderna för den ökande hanteringen av rötresten större än de minskade kostnaderna för inköp av handelsgödsel. Den minskade mängden rötrest att hantera minskade därmed kostnaderna med ca 5000 kr vid två istället för tre skördar. Intäkterna från försäljning av den producerade elektriciteten minskar med 294 000 kr per år.

Den minskande mängden substrat till biogasanläggningen innebär också att kapital- och driftkostnaderna minskar med sammanlagt 176 000 kr per år. Totalt uppskattas därför att två vallskördar istället för tre minskar kostnaderna med 328 000 kr per år.

#### *Reducerade vallskördekostnader*

I beräkningarna antogs att ensileringsmedel användes till 50% av ensilaget till foder och inte alls till ensilaget till biogas. Behovet av att använda ensileringsmedel är på grund av sämre skördeförhållanden senare på säsongen normalt större vid återväxt jämfört med vid första skörd. Om ensileringsmedel utesluts till första skörden till foder i både grund- och mer och bättre vall-scenariot innebär det att det ekonomiska utfallet för mer och bättre vall-scenariot förbättras med 96 000 kr per år.

Taxorna för vallskördemaskinerna kan variera mellan olika entreprenörer och en analys görs därför av att variera vallskördekostnaderna. Om kostnaderna för vallskördemaskinerna inklusive förare och bränsle (kostnader för plansilo, ensileringsmedel och läglighet exkluderade) reduceras med 10% innebär det att det ekonomiska nettot för mer och bättre vall-scenariot förbättras med 88 000 kr per år.

### 5.7.2 Biogasanläggningen ekonomi

Som ett komplement till jämförelsen av ekonomin för grundscenariot och mer och bättre vallscenariot gjordes en separat analys av biogasanläggningens ekonomi. Utifrån tidigare redovisade kostnadsberäkningar bestämdes substratkostnaden till 0,84 kr/kg ensilage som lämnar lagret och inkluderar insatsmedel och skördekostnader för vallen. Detta motsvarar en kostnad för biogas från denna vall på ca 28 öre/kWh. Dessutom bestämdes rötrestens värde vars ursprung går att härleda till vallgrödan genom att jämföra kostnader för inköp av handelsgödsel och hantering och lagring av rötrest i grundscenariot och mer och bättre vallscenariot. Kostnaderna för inköp av handelsgödsel var mindre i mer och bättre vallscenariot jämfört med i grundscenariot. Kostnaderna för att sprida och lagra rötresten var dock högre jämfört med stallgödseln i grundscenariot. De insparade kostnaderna för inköp av handelsgödsel räckte inte för att täcka de ökade kostnaderna för rötresthanteringen och rötrestens värde blev -69 900 kr/år. Detta framgår av Tabell 31.

Fördelas drift och kapitalkostnaderna ut på producerad gas respektive el fås ett resultat enligt Tabell 31. Om hänsyn tas till kostnaderna för substrat och rötresthantering, enligt tidigare i rapporten, fås en total produktionskostnad för elektricitet på 1,49 kr/kWh<sub>el</sub>. Kostnaden för vallgröda utgör ca 37 % av totala kostnaden. Om hänsyn tas till ett investeringsstöd på 1,8 miljoner kr, vilket representerar 15% av den beräknade investeringen, reduceras den totala produktionskostnaden till 1,39 kr/kWh<sub>el</sub>. Om däremot 30 % investeringsstöd erhålls, reduceras den totala produktionskostnaden till 1,30 kr/kWh<sub>el</sub>.

Tabell 31. Kostnad för att producera rågas till kraftvärmeanläggning, kraftvärmeanläggningens kostnader samt produktionskostnad för elektricitet utan ekonomiskt stöd

Parameter	Kapital, underhåll & arbete <sup>1)</sup>	Traditionell biogaskalkyl <sup>2)</sup>	Enhet
Rågaskostnad	0,23	0,41	kr/kWh biogas
Bränslekostnad <sup>3)</sup>	0,64	1,12	kr bränsle/kWh <sub>el</sub>
Kraftvärmeanläggningens kostnad	0,37	0,37	kr/kWh <sub>el</sub>
Produktionskostnad elektricitet	1,01	1,49	kr/kWh <sub>el</sub>

<sup>1)</sup>Inkluderar bara kostnader för kapital, arbete, försäkring och analyser. Dessa kostnader representerar röttnings- och kraftvärmeanläggningens kostnader i tabell 29.

<sup>2)</sup>Traditionell biogaskalkyl vid kraftvärmeproduktion. Inkluderar förutom kostnader för kapital, arbete, försäkring och analyser även kostnader för vallgröda som rötas, kostnader och intäkter från rötrest samt värdet av den värme som det finns avsättning för på gården.

<sup>3)</sup>Kostnaden för den mängd gas som krävs för att producera 1 kWh<sub>el</sub>

## 6 DEL 3. LIVSYKELANALYS

### 6.1 Inledning och bakgrund

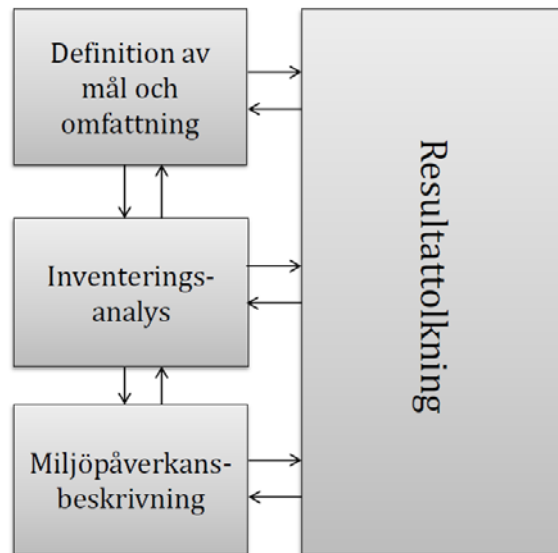
För att uppskatta de miljömässiga konsekvenserna av att införa ökad vallodling och biogasproduktion på en mjölkgård har två scenarior analyserats med metoden livscykelanalys (LCA). Ett *grundscenario (I)* som representerar normalfallet och scenariot *mer och bättre vall (II)* med biogasproduktion på gården, ökad grovfodergiva samt minskad kraftfodergiva.

Tidigare studier på biogasproduktion från vall (Lantz m.fl., 2010) och samrötning av vall och gödsel (Edström m.fl., 2008) har visat på reducerad klimatpåverkan när biogas ersätter fossila bränslen. Till skillnad från tidigare studier fokuserar denna studie på miljöeffekterna av att integrera mjölk- och biogasproduktion. Förhoppningen är att detta system ska innebära ett mer effektivt resursutnyttjande då ökad vallodling leder till mindre kraftfoder- och handelsgödselbehov samtidigt som energi genereras.

LCA studien bygger framför allt på del 1 men även del 2 av denna rapport, men kan även läsas som en fristående del.

#### 6.1.1 Livscykelanalys

Livscykelanalys (LCA) är ett verktyg för att kvantitativt beskriva en produkts eller tjänsts potentiella miljöpåverkan från ”vaggan till graven” – från utvinning av råvara till sluthantering av avfall. Utförandet av en LCA studie är standardiserat i ISO 14040 och 14044 (ISO, 2006) och består av ett antal faser här illustrerade Figur 5. I *definition av mål och omfattning* formuleras studiens mål, anledning till varför studien genomförs samt vem som resultaten ska kommuniceras till. Här fastställs också förutsättningar för den kommande modelleringen. Dessa förutsättningar innefattar bl.a. systemgränser och definition av den funktionella enheten. Den funktionella enheten är den räknebas till vilken alla flöden så som resursförbrukning, energianvändning och emissioner relateras. *Inventeringsanalysen* är den fas då flödesdiagrammet byggs upp och all data samlas in, alla miljörelevanta in- och utflöden kvantifieras och relateras till den funktionella enheten. *Miljöpåverkansbeskrivning* är den fas då de emissionerna som kvantifierats i inventeringsanalysen översätts till miljöpåverkan och delas in i miljöpåverkanskategorier, detta kallas *klassificering*. För att kunna summera de utsläpp som påverkar en miljöpåverkanskategori krävs att emissionerna räknas om med en ekvivalensfaktor. Kvantifieringen av potentiell påverkan för varje miljöpåverkanskategori kallas *karaktärisering*. I *resultattolkningen* presenteras resultaten på ett överskådligt sätt, viktiga miljöaspekter identifieras och slutsatser dras. Här kan även kritiska metodval diskuteras.



Figur 5. Faser i en livscykelanalys. (modifierad från Baumann & Tillman, 2004)

## 6.1 Definition av Mål och omfattning av LCA studien

### 6.1.1 Mål

Målet med LCA- analysen var att skatta miljöeffekter av ökad vallodling på en mjölkgård i samverkan med en spannmålsgård, där den högkvalitativa förstaskörden används som foder för mjölkkor och återväxten används för biogasproduktion. Miljöpåverkan beskrivs med avseende på en potentiell klimatpåverkan, övergödningspotential, primär fossil energianvändning samt försurningspotential.

Studien är en förändringsorienterad LCA med syfte att beskriva de miljömässiga konsekvenserna av förändringar, som ökad vallodling och biogasproduktion på gårdsnivå innebär.

Resultaten är främst menade för forskare inom lantbrukssektorn, lantbrukare, lantbruksnäring, bioenergiproducenter, länsstyrelser, hushållningssällskapet samt studenter.

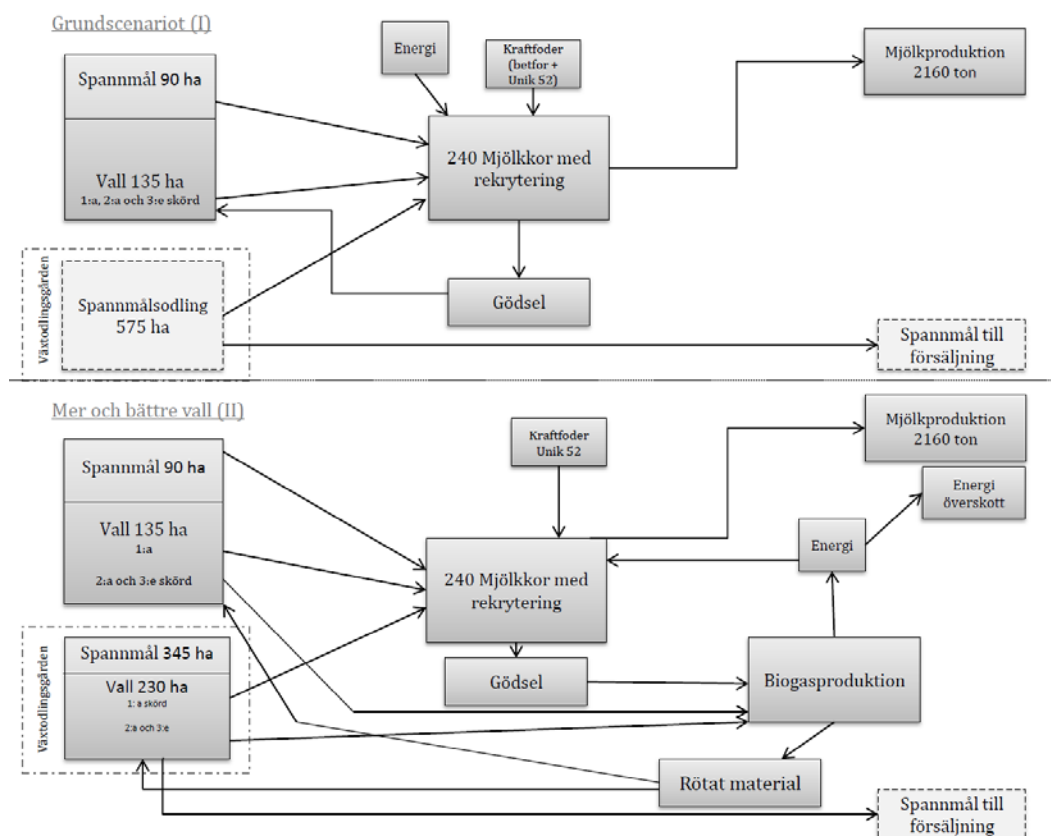
### 6.1.2 Omfattning

De två scenarierna som ingår i studien, grundscenariot (I) och mer och bättre vall (II) samt flödesdiagram beskrivs utförligt på sidan 4-5 i denna rapport.

#### 6.1.2.1 Initiala flödesdiagram

Figur 6 visar förenklade flödesdiagram av grundscenariot (I) och mer och bättre vall (II).





Figur 6. Initiala flödesdiagram för grundscenariot (I) och mer och bättre vall (II).

Tabell 32 visar produktionen från de två scenarierna och de viktigaste skillnaderna i produktion mellan grundscenariot (I) och mer och bättre vall (II). Grundscenariot (I) producerar ett större överskott av spannmål och raps medan mer och bättre vall scenariot (II) producerar ett överskott av energi i form av elektricitet och värme.

Tabell 32. Skillnad i produktion mellan de båda scenarierna

	Grundscenario (I)	Mer och bättre vall (II)
Mjolk [ton/år]	2 160	2 160
Spannmål [ton/år]	1 916 <sup>1</sup>	1 916 <sup>1</sup>
Skillnad [ton/år]	+ 443 <sup>2</sup>	
Raps [ton/år]	+ 219	
Elektricitet [MWh/år]	-	1 557
Värme [MWh/år]	-	1 778

<sup>1</sup>Mjölkgårdens behov av foderspannmål är avdraget från den totala produktionen.

<sup>2</sup>Skillnaden består av en högre produktion höstveten i grundscenariot.

### 6.1.2.2 Funktionell enhet

Den funktionella enheten är den enhet som alla emissioner relateras till; dvs räknebasen för LCA studien. Den funktionella enheten i denna studie sattes till en mjölkproduktion på 2 160 ton ECM från en besättning på 240 mjölkkor plus rekrytering och en spannmålsproduktion på 1 916 ton. Alla skillnader i produktion mellan scenarierna (Tabell 32), så som att scenariet mer och bättre vall (II) producerar energi från biogas, hanteras med systemexpansion (se avsnitt 7.2.2.6 om allokeringsmetoder nedan).

### 6.1.2.3 Miljöpåverkanskategorier

Miljöpåverkanskategorier som inkluderades i denna studie var klimatpåverkan, övergödningspotential, primär fossil energi samt försurningspotential.

Tabell 33. Miljöpåverkanskategorier

Miljöpåverkanskategori	Ekvivalensenhet
Klimatpåverkan	kg CO <sub>2</sub> ekv
Övergödning	kg PO <sub>4</sub> ekv
Primär fossil energi	MJ
Försurningspotential	kg SO <sub>2</sub> ekv

#### 6.1.2.3.1 Analys metoder

För analysen användes programvaran Sima Pro 7.2.4 och metoden CLM basline 2000 (PRé Consultants) samt Culmative energy demand (CED) (Frischknecht m.fl, 2003) för primär fossil energianvändning.

#### 6.1.2.4 Dataval och datakvalitet

De hypotetiska gårdarna antas ligga på Svealands slättbygder, därför eftersträvas representativ data för detta område. Data hämtades från vetenskaplig litteratur, forskningsrapporter, personlig korrespondens med forskare och experter samt offentlig statistik. Den omfattande datainsamlingen som ligger till grund för scenariernas utformning har gjorts av Carina Gunnarsson och presenteras i del 1 och del 2 i denna rapport.

Livscykelanalysdata för produktion av kraftfoder hämtas från *LCA-databas för konventionella fodermedel*, (Flysjö m.fl., 2008).

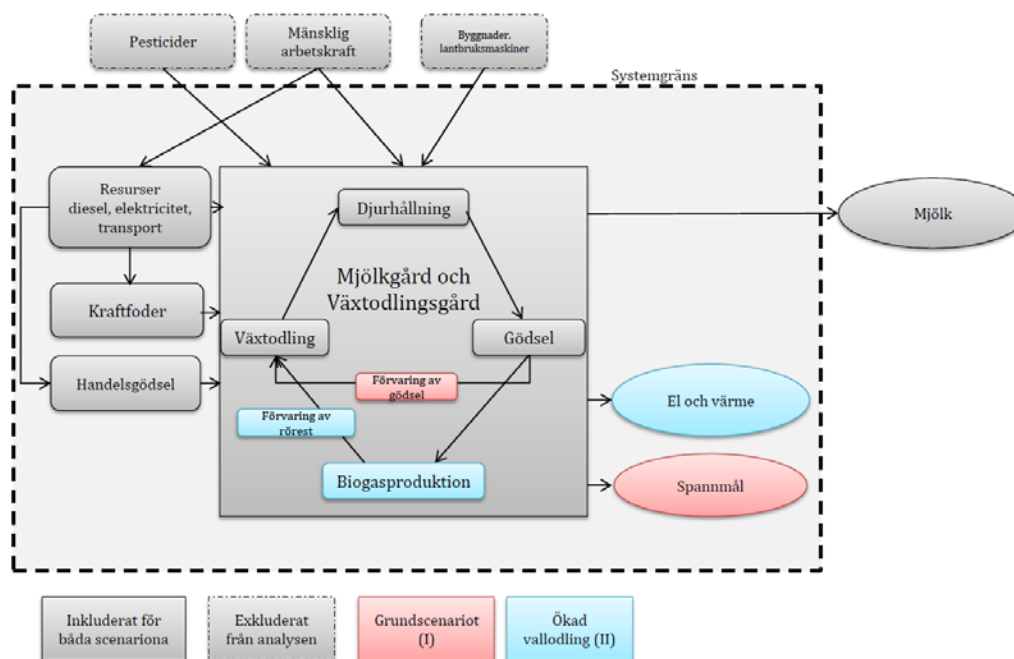
Data för dieselanvändning, nationell elproduktion, värmeproduktion från olja och flis, elproduktion, produktion av betong och stål samt handelsgödsel är hämtat från databasen Ecoinvent (Ecoinvent Centre, 2010). För elkonsumtionen i grundscenariot (I) för bostad, stall och spannmålstork används genomsnittlig svensk elproduktion.

#### 6.1.2.5 Systemavgränsningar

Figur 7 visar vad som är inkluderat i respektive exkluderat i studien. Studien innefattar mjölkgården med djurhållning, växtodling, gödselhantering samt biogasproduktion. Gårdarna producerar mjölk som exporteras från gården, produktionen av spannmål till försäljning (grundscenariot (I)) samt el och värme (mer och bättre vall (II)). Detta är placerat inom systemgränserna för att dessa produkter antas ersätta andra produkter, och miljökonsekvenserna av detta är inkluderat.

Exkluderat:

- Stallbyggnader och annan infrastruktur som antas vara samma för de två scenarierna
- Pesticider, produktion samt spridning (dieselanvändning för att sprida pesticider är inkluderat)
- Produktion av maskiner
- Mänsklig arbetskraft
- Transporter av material för extra plansilo samt gödselbehållare i mer och bättre vall (II)



Figur 7. Systemgränser.

#### 6.1.2.5.1 Geografiska- och tidsgränser

Gårdarna antas ligga på Svealands slättbygder.

Resursanvändning, energianvändning, emissioner och producerade kvantiteter beskrivs baserat på ett kalenderår. Förfruktseffekten från vall och oljeväxter beaktas (skördeökande verkan beaktas 2 år efter vallbrott, kvävefterverkan beaktas 1 år efter vallbrott, för raps beaktas skördeökade verkan och kvävefterverkan 1 år efter rapsodlingen).

#### 6.1.2.6 Allokeringens metoder

Allokering används i LCA när samma system producerar flera produkter eller tjänster (Baumann och Tillman, 2004). I denna studie producerar de två scenarierna delvis olika saker (Tabell 32). Syftet är att jämföra de olika scenarierna. Då behöver miljöeffekter av överskottsproduktionen av biogas-el och biogas-värme samt spannmål hanteras så att scenarierna blir jämförbara.

Denna studie är en förändringsorienterad LCA och då används oftast systemutvidgning som allokeringens metod (Baumann och Tillman, 2004). Systemutvidgning innebär att det antas att överskottsproduktionen av energi (värme och el) i mer och bättre vall (II) ersätter en annan produktion, lika så överskottsproduktionen av spannmål och raps i grundscenariot (I). Detta beskrivs mer utförligt nedan.

Det produceras både elektricitet och värme från kraftvärmeverket. Den producerade elektriciteten och värmen används internt i själva biogasanläggningen samt på gården. Överskottet av elproduktionen från kraftvärmeverket levereras till nätet, där den antas ersätta marginal-el enligt två alternativ (Finnveden 2008). Överskottsvärme från kraftvärmeverket ersätter två alternativ, värmeproduktion från flis och eldningsolja.

Den större spannmålsproduktionen i grundscenariot (I) behandlas som undviken spannmålsproduktion från en ökad areal vete- och rapsproduktion i EU, enligt metoden presenterad i Schmidt (2008).

## 6.2 Inventering av data

### 6.2.1 Växtodling

#### 6.2.1.1 Växtföljder och skördenivåer

Tabell 34 och Tabell 35 visar växtföljder och skördenivåer. Skördenivåerna är justerade för merskörden pga. förfrukten. Totalt produceras 419 ton spannmål (korn) på mjölkgården i de båda scenarierna. Allt detta används till foder. För att täcka foderbehovet i grundscenariot (I) behövs ytterligare 22 ton spannmål, denna spannmål tas ifrån växtodlingsgården i grundscenariot (I). Resterande produktion från växtodlingsgården säljs. När vall introduceras i växtföljden på växtodlingsgården i mer och bättre vall (II) blir spannmålsproduktionen över hela växtföljden lägre. I grundscenariot (I) produceras alltså mer spannmål. Överskottet blir 443 ton höstvetete och 219 ton raps högre i grundscenariot (I).

Tabell 34. Växtföljd och skördenivåer på mjölkgården

Grundscenariot (I) & Mer och bättre vall (II)		
Mjölkgården		
Gröda	Areal, ha	Skörd (kg/ha)
Vall I	45	9 300 <sup>1</sup>
Vall II	45	9 300 <sup>1</sup>
Vall III	45	9 300 <sup>1</sup>
Korn	45	4 650 <sup>2</sup>
Korn m insådd	45	4 650 <sup>2</sup>
Total spannmålsproduktion [ton/år]		419

<sup>1</sup> Växtodlingsförsök

<sup>2</sup> Lindén 2008; SCB 2010a

Tabell 35. Växtföljder och skördenivåer på växtodlingsgårdarna i grundscenariot (I) och mer och bättre vall (II)

Grundscenariot (I)			Mer och bättre vall (II)		
Växtodlingsgården			Växtodlingsgården		
Gröda	Areal, ha	Skörd [kg/ha]	Gröda	Areal, ha	Skörd [kg/ha]
Malkorn	115	4 300	Vall I	115	9 400
Höstvetete	115	5 700	Vall II	115	6 600
Vårraps	115	1 900	Höstvetete	115	6 700
Höstvetete	115	6 500	Grynhavre	115	4 700
Grynhavre	115	4 200	Malkorn m insådd	115	4 300
Total spannmålsproduktion [ton/år]		2 381			1 806

### 6.2.1.2 Gödsling och relaterade emissioner

Kvävegivan i form av handelsgödsel samt stallgödsel/rötrest visas i Tabell 37.

Sammanfattningsvis minskar behovet av N-handelsgödsel från 107 kg N/ha i grundscenariot (I) till 100 kg N/ha i scenariot med mer och bättre vall (I). Det är en minskning sammanlagt med 5,5 ton N-handelsgödsel från grundscenariot (I) för mer och bättre vall (II). Under senare år har handelsgödselproducenter börjat rena sina utsläpp vid produktionen från lustgas, vilket halverar klimatpåverkan från tillverkningen av handelsgödsel från ca. 8,1 kg CO<sub>2</sub>-eq till ca. 3,1 CO<sub>2</sub>-eq /kg N på den svenska marknaden (Yara, 2010a). Företaget Yara som har ca 60 % av marknaden i Sverige garanterar att gödselmedel som säljs i Sverige har ett klimatavtryck som är lägre än 4 kg CO<sub>2</sub>-eq /kg N (Yara, 2010b, DNV, 2010). Kvävegödsel antogs i denna studie komma ifrån fabriker med lustgasrening.

Behovet av P- handelsgödsel minskar i mer och bättre vall (II) när rötresten används som gödsling, sammanfattningsvis minskar behovet från 10,6 kg P/ha till 6,8 kg P/ha. Detta innebär att behovet av P-handelsgödsel är 3 ton mindre i mer och bättre vall (II) jämfört med grundscenariot (I).

Energi- och resursanvändning vid tillverkning och transport av handelsgödsel togs från Ecoinvent (Ecoinvent Center, 2010).

#### 6.2.1.2.1 Kväveförluster vid spridning av gödsel

Ammoniakemissioner vid spridning av stallgödsel beräknades enligt formeln

$$NH_3-N_{utsläpp} = Ef_1 \times N_a \quad (\text{Brentrup m fl 2000})$$

där  $Ef_1$  är en emissionsfaktor som för handelsgödsel uppskattades till 0,01 (Brentrup m fl 2000), för stallgödsel samt rötrest användes emissionsfaktorerna enligt Tabell 36.  $N_a$  är tillfört NH<sub>4</sub>-N. Mer och bättre vall (II) har något högre ammoniakemissioner vid gödselspridning (Tabell 37) pga. den högre givan av stallgödsel (rötrest).

Tabell 36. Emissionsfaktorer för stallgödsel och rötrest

Förluster av kväve	Förluster spridning, % av NH <sub>4</sub> -N (Karlsson och Rodhe 2002)
<b>Flytgödsel/flytande rötrest</b>	
Vårbruk spannmål	8
Försommar spannmål	7
Tidig vår vall	30
Sen höst vall	15
<b>Djupströgödsel</b>	
Sen höst på stubb	15

#### 6.2.1.2.2 Direkta och indirekta lustgasemissioner

Direkta lustgasemissioner från åkermark beräknades enligt IPCCs riktlinjer (IPCC, 2006). Direkta lustgasutsläpp uppskattades genom formeln

$$N_2O-N_{Direkt} = Ef_2 \times (N_a + N_{Skörderester}) \quad (\text{IPCC, 2006 ekvation 11.1})$$

där  $E_{f_2}$  är emissionsfaktorn 0,01 (IPCC, 2006) och  $N_a$  är totalt tillfört kväve. Den kväve som förloras pga. ammoniakförlust vid spridning räknas bort innan lustgasemissionerna beräknas. Tabell 37 visar direkta lustgasemissioner. Anledningen till att mer och bättre vall (II) har högre lustgasemissioner per ha är en högre kvävegiva av totalkväve (även organiskt kväve inkluderas) samt att den ökade andelen vallodling med kvävefixerande klöver bidrar.

Kväve i skörderester beräknades enligt IPCC (2006) kapitel 11, ekvation 11.6. I IPCC's riktlinjer för beräkning av kväveinnehåll i skörderester från vallar antas en klöverhalt på 33 %. I denna studie är klöverhalten något lägre. På mjölkgården med en treårig vall ligger köverhalten på 22-11 % och den tvååriga vallen på växtodlingsgården har en klöverhalt på 22-17 %. Klöverhalten i beräkningarna av kväve i skörderester från vallen justerades därför ner till 17 % i den treåriga vallen och 20 % i den tvååriga vallen.

Tabell 37. Användning av handelsgödsel och stallgödsel/rötrest samt direkta emissioner av  $NH_3$  och  $N_2O$

	Grundscenariot (I)		Mer och bättre vall (II)	
	Mjölkgård	Växtodlingsgård	Mjölkgård	Växtodlingsgård
Handelsgödsel [kg N/år]	23 958	61 870	26 496	53 843
Handelsgödsel [kg N/ha/år]	106	108	118	94
Handelsgödsel [kg P/år]	383	8 131	1 692	3 726
Handelsgödsel [kg P/ha/år]	1,7	14,14	7,52	6,48
	Grundscenariot (I)		Mer och bättre vall (II)	
Stallgödsel och rötrest [kg $N_{total}$ /år & kg $N_{mineral}$ /år]	24 159/13 365 (enbart mjölkgården)		68 544/29 923 (mjölk- och växtodlingsgård)	
Stallgödsel och rötrest [kg $N_{total}$ /ha/år]	107 (enbart mjölkgården)		86 (mjölk- och växtodlingsgård)	
Volatilisering [kg $NH_3$ -N/år]	3 390		3 510	
Volatilisering [kg $NH_3$ -N/ha/år]	4,24		4,38	
<b>Direkta lustgasemissioner</b>				
Lustgas [kg $N_2O$ - $N_{kvävegiva}$ /år]	1 066		1 450	
Lustgas [kg $N_2O$ - $N_{kvävegiva}$ /ha/år]	1,33		1,82	
Lustgas [kg $N_2O$ - $N_{skörderester}$ /år]	408		450	
Lustgas [kg $N_2O$ - $N_{skörderester}$ /ha/år]	0,51		0,56	

#### 6.1.1.1.1 Indirekta lustgasemissioner

Indirekta lustgasemissioner beräknades enligt IPCCs riktlinjer (IPCC, 2006). Indirekta lustgasemissioner är de som genereras från kväve som antingen volataliserat vid gödselspridning eller läckt från åkermarken.

Indirekta lustgasemissioner från volatliserat kväve beräknades enligt formeln

$$N_2O-N_{indirect} = Ef_3 \times N_{vol} \quad (\text{IPCC, 2006 ekvation 11.11})$$

där  $N_2O-N_{indirect}$  är indirekta emissioner från volataliserat kväve,  $Ef_3$  är emissionsfaktorn 0,01 (IPCC 2006) och  $N_{vol}$  är fraktionen som volataliserats [kg  $NH_3-N$ /ha].

Indirekta lustgasemissioner från kväveläckage beräknades enligt formeln

$$N_2O-N_{indirekt} = Ef_4 \times N_{leac} \quad (\text{IPCC, 2006 ekvation 11.10})$$

där  $N_2O-N_{indirekt}$  är den indirekta emissionen från kväveläckage,  $Ef_4$  är emissionsfaktorn 0,0075 (IPCC, 2006) och  $N_{leac}$  är kväveläckage [kg  $NO_3^- -N$ /ha]. För kväveläckage se avsnittet Utlakning, nedan.

Tabell 38. Indirekta emissioner från ammoniak samt utlakning

	Grundscenariot (I)	Mer och bättre vall (II)
Lustgas [Kg $N_2O$ /år $_{vol}$ ]	33,9	35,0
Lustgas [Kg $N_2O$ /ha $_{vol}$ ]	0,04	0,04
Lustgas [Kg $N_2O$ /år $_{utlakning}$ ]	97,5	83,4
Lustgas [Kg $N_2O$ /ha $_{utlakning}$ ]	0,12	0,10

#### 6.2.1.3 Utlakning

##### 6.2.1.3.1 Kväveutlakning

Kväveutlakning uppskattas med hjälp av beräkningsmodellen som presenteras i rapporten: *Beräkningar av olika odlingsåtgärders inverkan på kväveutlakningen* (Aronsson och Torstensson, 2004). De fyra olika växtföljderna i studien analyserades i sin helhet, därav tas hänsyn till förfruktseffekter.

Kväveutlakning uppskattades enligt formeln

$$\begin{aligned} \text{Kväveutlakning} &= (\text{Grundutlakning} * \text{Beräkningsfaktorn}) + \text{Effekt av vårgödsling} \\ &+ \text{Efterverkan från tidigare gröda} + \text{Effekt av höstgödsling} \\ &+ \text{Effekt av grödupptag på hösten} \end{aligned}$$

Effekten av kvävegivan tas inte med i beräkningen eftersom denna effekt uppstår när givan över- eller understiger grödans behov. Kvävegivan i denna studie är baserad på grödans behov. Grundutlakningen i Uppsalatrakten på mellanlera bestämdes till 18 kg N/ha och utlakningsfaktorn till 0,122. Bearbetningsfaktorn (jordbearbetningsfaktorn) är 0,65 för vårbearbetning och för ingen bearbetning samt 0,9 för sen höstbearbetning och 1,1 för tidig höstbearbetning. Effekten av spridning av stallgödsel och rötrest på våren är relaterat till innehållet av organiskt kväve, som mineraliseras och riskerar att urlakas på hösten. Andelen av den organiska fraktionen N som är tillgänglig för utlakning antogs vara 0,2\*organiska fraktionen kväve. För att beräkna potentiell utlakning multipliceras detta värde med klimatfaktorn och utlakningsfaktorn. I grundscenariot (I) sprids stallgödsel endast på

mjölkgården. Under våren sprids i genomsnitt 42 kg organiskt kväve per ha vall och 53 kg organiskt kväve per ha spannmål. I scenariot mer och bättre vall (II) sprids rötresten från biogasanläggningen på både mjölkgården och växtodlingsgården. Under våren sprids i genomsnitt 23 kg organiskt kväve per ha spannmål men ingenting på vällen.

Efterverkans effekten från föregående gröda är i denna studie aktuellt efter vall samt efter rapsodlingen. Vallarna bryts på hösten, därför blir efterverkan första året 40 kg N/ha+0,3\*klöverhalten (11 % mjölkgården samt 17 % växtodlingsgården) vilket multipliceras med klimatfaktorn, bearbetningsfaktorn, och utlakningsfaktorn. Andra året efter vallbrott beräknas efterverkan vara 7 kg N per ha multiplicerat med klimatfaktorn, bearbetningsfaktorn och utlakningsfaktorn. Rapsens efterverkan ett år efter rapsodlingen antogs vara 20 kg N/ha multiplicerat med klimatfaktorn, bearbetningsfaktorn och utlakningsfaktorn. Ingen effekt antogs för efterföljande år.

Vallarna i studien gödslas på hösten. Effekt av höstgödning beräknas från kvantiteter mineralkväve. I genomsnitt höstgödslas vällen med 18 kg mineralkväve per ha i grundscenariot (I) samt 12,5 kg mineralkväve i scenariot ökad vallodling (II). Dessa värden multipliceras med faktorn 0,8 (för höstgödning i vall), klimatfaktorn och utlakningsfaktorn.

Effekten av grödupptag på hösten blir högre vid extra tillgång på kväve som vid höstgödning, efterverkan från tidigare grödor samt mineralisering av stallgödselgivor som har givits på våren. Värdena i tabellen har justerats upp för dessa faktorer. Grödupptaget för vallar med klöver beräknas ner med 0,3 kg per procentenhet klöver.

Tabell 39. Beräkning av kväveutlakning mjölkgården, grundscenariot (I)

	År 1	År 2	År 3	År 4	År 5
Gröda	Vall	Vall	Vall	Korn	Korn (insådd)
Grundutlakning [kg/ha]	18	18	18	18	18
Utlakningsfaktor (kf)	0,122	0,122	0,122	0,122	0,122
Bearbetningseffekt [%]	0,65	0,65	0,9	0,9	0,65
Effekt av organiskt kväve från vårgödning [kg/ha]	0,50	0,50	0,50	0,63	0,63
Effekt av gödning på hösten [kg/ha]	1,32	1,32	0	0	1,32
Effekt av grödupptag på hösten [kg/ha]	-4,80	-4,98	0	0	-3,34
Efterverkan av vissa grödor <sup>1</sup>	0	0	0	3,57	0,58
Totalt per år [kg N/ha]	8,72	8,54	16,9	20,6	8,98



Tabell 40. Beräkning av kväveutlakning mjölkgården, mer och bättre vall (II)

	År 1	År 2	År 3	År 4	År 5
Gröda	Vall	Vall	Vall	Korn	Korn (insådd)
Grundutlakning [kg/ha]	18	18	18	18	18
Utlakningsfaktor (kf)	0,122	0,122	0,122	0,122	0,122
Bearbetningseffekt [%]	0,65	0,65	0,9	0,9	0,65
Effekt av organiskt kväve från vårgödsling [kg/ha]	0	0	0	0,36	0,27
Effekt av gödsling på hösten [kg/ha]	0,92	0,92	0	0	0,92
Effekt av grödupptag på hösten [kg/ha]	-4,42	-4,60	0	0	-3,18
Efterverkan av vissa grödor	0	0	0	3,57	0,58
Totalt per år [kg N/ha]	8,20	8,02	16,2	20,1	8,79

Tabell 41. Beräkning av kväveutlakning växtodlingsgården, grundscenariot (I)

	År 1	År 2	År 3	År 4	År 5
Gröda	Malkorn	H-vete	V-raps	H-vete	Havre
Grundutlakning [kg/ha]	18	18	18	18	18
Utlakningsfaktor (kf)	0,122	0,122	0,122	0,122	0,122
Bearbetningseffekt [%]	1,1	0,9	1,1	0,9	0,9
Effekt av organiskt kväve från vårgödsling [kg/ha]	0	0	0	0	0
Effekt av gödsling på hösten [kg/ha]	0	0	0	0	0
Effekt av grödupptag på hösten [kg/ha]	-1,83	0	-2,38	0	0
Efterverkan av vissa grödor	0	0	0	2,01	0
Totalt per år [kg N/ha]	18,0	16,2	19,4	16,2	16,2

Tabell 42. Beräkning av kväveutlakning Växtodlingsgård, mer och bättre vall (II)

	År 1	År 2	År 3	År 4	År 5
Gröda	Vall	Vall	H-vete	Havre	Korn (insådd)
Grundutlakning [kg/ha]	18	18	18	18	18
Utlakningsfaktor (kf)	0,122	0,122	0,122	0,122	0,122
Bearbetningseffekt [%]	0,65	1,1	0,9	0,9	0,65
Effekt av organiskt kväve från vårgödsling [kg/ha]	0	0	0,38	0,38	0,27
Effekt av gödsling på hösten [kg/ha]	0,92	0	0	0	0,92
Effekt av grödupptag på hösten [kg/ha]	-4,14	-2,62	0	0	-4,08
Efterverkan av vissa grödor	0	4,07	0,58	0	0
Totalt per år [kg N/ha]	8,47	21,6	17,2	16,6	8,81

### 6.2.1.3.2 Fosforutlakning

Utlakning av fosfor uppskattades från värden i rapporten: *Växtnäringsförluster i små jordbruksdominerade avrinningsområden 2009/2010* (Stjernman Forsberg m.fl., 2011). I rapporten uppskattas fosforläckage från åkermark i Uppsala trakten till 0,6 kg P per ha, vilket antogs för ettåriga grödor. För fleråriga grödor antogs lägre fosforförluster, 0,54 kg P per ha (i enlighet med Flysjö m.fl., 2008).

### 6.2.1.4 Dieselförbrukning

Typ av fältoperation samt antalet redovisas närmare i del 1 av rapporten. Den totala dieselförbrukningen för grundscenariot (I) beräknades till 49 581 liter och för mer och bättre vall (II) till 51 891 liter. Anledningen till att mer och bättre vall (II) har en högre diesel förbrukning är att den skördade kvantiteten av vall är högre vilket innebär mer transporter till gården samt att en högre andel av gödslingen är stallgödsel (rötrest). Emissioner och resursanvändning förknippade med utvinning, raffinering osv. har tagits från Ecoinvent (Ecoinvent Center, 2010). Emissioner vid fältarbete med traktorer se Tabell 43. Energiinnehållet i diesel antogs vara 36 MJ/liter (NTM, 2011) och densiteten 0,815 kg/l (Naturvårdsverket, 2011).

Tabell 43. Emissioner traktorer vid fältarbete per MJ diesel (Flysjö m.fl., 2008)

Emissioner	
Koldioxid [g CO <sub>2</sub> ]	75
Kolmonoxid [g CO]	0,08
Kväveoxider [g NO <sub>x</sub> ]	0,91
Svaveloxid [g SO <sub>2</sub> ]	0,019
Kolväten [HC <sub>(ospec)</sub> ]	0,24

### 6.2.1.5 Utsäde

Utsäde för alla odlingar i båda scenarierna antogs komma ifrån växtodlingsgården innan samverkan (grundscenariot(I)).

Tabell 44. Utsädes behov

Grundscenariot (I) & Mer och bättre vall (II)		Grundscenariot (I)		Mer och bättre vall (II)	
Mjölkgård	Kg utsäde <sup>1</sup>	Växtodlingsgård innan samverkan	Kg utsäde <sup>1</sup>	Växtodlingsgård efter samverkan	Kg utsäde <sup>1</sup>
Vall	1 013 <sup>2</sup>	Malkorn	20 700	Vall	2 587
Korn	16 200	Höstvete	48 300	Höstvete	24 150
		Vårraps	1 265	Havre	23 575
		Havre	23 575	Malkorn	20 700

<sup>1</sup> Lantmännen (2009)

<sup>2</sup> Produktionen av utsäde till vallen antogs vara jämförbart med produktion av höstvete detta antagande kan göra eftersom påverkan från utsäde av vallfrö beräknas vara liten.

### 6.2.1.6 Markkol

Mängden kol i marken påverkas av en mängd faktorer, så som jordbearbetning, stallgödsel tillförsel, gröda osv. (se tex. Singh och Lal, 2005). Förändringarna som görs på växtodlingsgården i scenariot mer och bättre vall (II) efter samverkan då en tvåårig vall införs i växtföljden samt att rötresten används som gödning bidrar med största sannolikhet till ökad

mängd markkol. Denna effekt analyseras i en känslighetsanalys (se nedan). Men i den slutgiltiga analysen så tas inte hänsyn till denna effekt. Osäkerheten angående hur mycket kol som faktiskt binds in i marken är stor, det saknas långtgående försök med effekten av rötrest på markkol. Scenariot mer och bättre vall (II) producerar mindre spannmål än grundscenariot (I). Som en konsekvens av den minskade spannmålsproduktion bör denna spannmål produceras någon annanstans. Hur denna produktion skulle ske är mycket svårt att veta. Det kan tänkas ske genom intensifiering av redan befintlig produktion eller genom att mark som inte redan nyttjas för spannmålsodling börjar användas för spannmålsodling. Det senare alternativet skulle kunna innebära att gräsmark eller skogsmark omvandlas till jordbruksmark vilket skulle innebära förluster av markkol. De indirekta effekterna av en minskad spannmålsproduktion kan alltså motverka effekten av att mer kol binds in i marken i mer och bättre vall (II). Effekterna av en ökad mängd markkol är också reversibla, vilket innebär att om man slutar odla vall i växtföljden och att tillföra stallgödsel, så kommer mängden kol i marken att minska igen.

För känslighetsanalysen så uppskattades skillnaden mellan växtodlingsgården i grundscenariot (I) och mer och bättre vall (II) med hjälp av de mellansvenska bördighetsförsöken. Dessa försök som pågått sedan 60-talet jämför en sexårig växtföljd med tvåårig vall och stallgödsel med en sexårig växtföljd utan vall och utan stallgödsel. Skillnaden uppskattades till 125 kg C per ha och år (Kätterer, pers. comm. 2011).

#### *6.2.1.7 Grundscenariot (I) undviken produktion av vete och raps*

Produktionen av vete och raps är högre i grundscenariot (I) än i mer och bättre vall (II). Produktionen av vete är 442 ton högre och produktionen av raps 219 ton högre. I Schmidt (2008) presenteras fyra alternativ för systemutvidgning för att uppskatta miljöeffekten av ökad eller minskad produktion av spannmål. I denna studie antogs den högre produktionen i grundscenariot (I) ersätta ökad produktion av vete och raps inom EU, produktionsökningen antas åstadkommas genom ökning av arealen i vete och rapsproduktion. Prognoser visar att produktionsökningen inom EU förväntas komma dels från högre skördar och dels genom ökad åkerareal i vete- och rapsproduktionen (FARPI, 2006). Därför har en känslighetsanalys gjorts där skördeökning jämförs med arealökning (se nedan). Tabell 45 visar data och antaganden för vete- och rapsproduktion på ny areal i EU. Utöver resursanvändning och emissioner i tabellen nedan, så antogs liknande dieselåtgång som för växtodlingsgården i grundscenariot (I) (ca. 55 liter diesel per ha) samt lika stort behov av eldningsolja för uppvärmning av spannmålstork samt elektricitet för denna. Rapsen antas ej torkas på gården, varken i grundscenariot (I) eller för EU produktion.

Tabell 45. Produktion av vete och raps på ny areal i EU

	Referens	
<b>Vete</b>		
Medelskörd (2005/6) [kg N/ha]	5 400	(FAO, 2006 i Schmidt, 2008)
Uppskattat areal behov [ha]	82	Egen beräkning
N-handelsgödsel [kg N/ha]	125	(Schmidt, 2008)
Nitratläckage [kg NO <sub>3</sub> /ha]	120	(Schmidt, 2008)
Ammoniak [kg NH <sub>4</sub> /ha]	9,1	(Schmidt, 2008)
Lustgas direkt [kg N <sub>2</sub> O-N/ha]	1,75	Egen beräkning (IPCC, 2006)
Lustgas indirekt [kg N <sub>2</sub> O-N/ha]	0,3	Egen beräkning (IPCC, 2006)
P- handelsgödsel [kg P/ha]	13,3	Samma som grundscenariot (I) <sup>1</sup>
<b>Raps</b>		
Medelskörd (2005/6) [kg N/ha]	3 280	(FARPI, 2006)
Uppskattat areal behov [ha]	66,8	Egen beräkning
N-handelsgödsel [kg N/ha]	147	(Pedersen, 2005 i Schmidt, 2008)
Nitratläckage [kg NO <sub>3</sub> /ha]	120	Antagande samma som för vete
Ammoniak [kg NH <sub>4</sub> /ha]	9,1	Antagande samma som för vete
Lustgas direkt [kg N <sub>2</sub> O-N/ha]	1,83	Egen beräkning (IPCC, 2006)
Lustgas indirekt [kg N <sub>2</sub> O-N/ha]*	0,3	Egen beräkning (IPCC, 2006)
P- handelsgödsel [kg P/ha]*	25,9	Samma som grundscenariot (I) <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Relaterat till skörden.

I känslighetsanalysen antogs skördeökningen för vete i EU vara 31,3 kg/ha och år från 2005/06 fram till 2015/16. För att åstadkomma denna skördeökning antas en högre N-giva på 2,6 kg N/ha. (Schmidt, 2008) Fosforläckage antogs förbli oförändrat trots intensifieringen. Nitratläckage är i Schmidt (2008) uppskattat genom en N- balans.

Skördeökningen för raps antogs vara 34 kg/ha och år från 2005/6 till 2005/16 (FARPI, 2006). Handelsgödselgivan antogs i genomsnitt vara 147 kg N/ha (IFA, 2009; FARPI, 2006). Baserat på en dansk studie om skörderespons från N-givan (Pedersen, 2005 i Schmidt, 2008), uppskattades att 3,8 kg N-gödning behövs för att åstadkomma skördeökningen.

Behov av diesel och eldningsolja antogs på samma sätt som för ”ökad EU produktion ny areal” ovan. Tabell 46 visar data och antaganden för känslighetsanalysen.

Tabell 46. Intensifiering av vete och raps produktion i EU

	Referens	
<b>Vete</b>		
Medelskörd (2005/6) [kg N/ha]	5 400	(FAO, 2006 i Schmidt, 2008)
Uppskattad skördeökning [kg/ha]	31,3	(FARPI, 2006 i Schmidt, 2008)
Uppskattat areal behov [ha]	14 121	Egen beräkning
N-handelsgödsel [kg N/ha] <sup>1</sup>	2,6	(Pedersen, 2005 i Schmidt, 2008)
Nitratläckage (ökning) [kg NO <sub>3</sub> /ha] <sup>1</sup>	9	(Schmidt, 2008)
Ammoniak (ökning) [kg NH <sub>4</sub> /ha] <sup>1</sup>	0,1	(Schmidt, 2008)
Lustgas direkt [g N <sub>2</sub> O-N/ha] <sup>1</sup>	32	Egen beräkning (IPCC, 2006)
Lustgas indirekt [g N <sub>2</sub> O-N/ha] <sup>1</sup>	16	Egen beräkning (IPCC, 2006)
P- handelsgödsel [kg P/ha] <sup>1</sup>	0,01	Samma som grundscenariot (I) <sup>2</sup>
<b>Raps</b>		
Medelskörd (2005/6) [kg N/ha]	3 280	(FARPI, 2006)
Uppskattad skördeökning [kg/ha]	34	(FARPI, 2006)
Uppskattat areal behov [ha]	6 441	Egen beräkning
N-handelsgödsel [kg N/ha] <sup>1</sup>	3,8	(Pedersen, 2005 i Schmidt, 2008)
Nitratläckage (ökning) [kg NO <sub>3</sub> /ha] <sup>1</sup>	9	Antagande samma som för vete
Ammoniak (ökning) [kg NH <sub>4</sub> /ha] <sup>1</sup>	0,1	Antagande samma som för vete
Lustgas direkt [g N <sub>2</sub> O-N/ha] <sup>1</sup>	44	Egen beräkning (IPCC, 2006)
Lustgas indirekt [g N <sub>2</sub> O-N/ha] <sup>1</sup>	16	Egen beräkning (IPCC, 2006)
P- handelsgödsel [kg P/ha] <sup>1</sup>	0,27	Samma som grundscenariot (I) <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Resursanvändning och emissioner [per ha] på grund av intensifieringen.

<sup>2</sup> Relaterat skörden.

## 6.2.2 Djurhållning och lagring av gödsel/rötrest

### 6.2.2.1 Kraftfoder

I mer och bättre vall (II) är grovfodergivan högre och kvaliteten på grovfodret är bättre eftersom endast första skörden ges till djuren, då andra och tredje skörden används i biogasproduktionen. Därför är kraftfodergivan lägre i mer och bättre vall (II), se Tabell 47.

Tabell 47. Total konsumtion av kraftfoder

	Grundscenariot (I)	Mer och bättre vall (II)	Skillnad
Betfor [ton/år]	66	0	66
Unik 52 [ton/år]	296	183	113
Spannmål [ton/år]	440	308	132

Spannmål till djuren odlas på mjölkgården och delvis på växtodlingsgården i grundscenariot (I). I mer och bättre vall (II) odlas spannmål till djuren endast på mjölkgården. Emissioner och resursanvändning i samband med produktion av Betfor och Unik 52 (odling, transport samt fabriksprocess) är tagna från rapporten *LCA databas för konventionella fodermedel* (Flysjö m. fl., 2008) där det antagits att foderfabriken är belägen i Lidköping. Därför har transport från Lidköping inkluderats i denna studie. Avståndet mellan Lidköping och Uppsala uppskattades mha google maps (2011) till 331 km.

### 6.2.2.2 Emissioner från stallar samt gödsel förvaring

Från stallar och vid lagring av gödsel sker emissioner av ammoniak, metan och lustgas samt indirekta emissioner av lustgas från ammoniakemissioner.

#### 6.2.2.2.1 Ammoniak från stallar och lagring av gödsel samt rötrest

Förluster av ammoniak uppskattades enligt Tabell 48. Ammoniakemissioner ifrån gödsel på bete beräknades med emissionsfaktorn 8 % av totalkvävet (Cederberg m.fl., 2007).

Tabell 48. Emissionsfaktorer för ammoniakförluster från stall och lagring av stallgödsel/rötrest

Parameter	Flyt- gödsel	Djupströ gödsel	Rötrest	Enhet	Referens
Ammoniakförluster lösdriftstall	7	20		% av tot N innehåll	Linder från (Salomon m fl. 2008) & manual stank 4.2
Ammoniakförluster lagring med svämtäcke	3	30	3	% av tot N innehåll	Karlsson och Rodhe 2002

Indirekta lustgasemissioner från ammoniakemissioner från stall, lagring och gödsel på betesmarker uppskattades enligt IPCC (2006), till 1 % av NH<sub>3</sub>-N.

Tabell 49. Ammoniak från stall, lagring och gödsel på betesmark

	Grundscenariot (I)	Mer och bättre vall (II)
NH <sub>3</sub> -N <sub>stall</sub> [kg/år]	2 159	2 285
NH <sub>3</sub> -N <sub>lagring</sub> [kg/år]	925 (gödsel)	919 (rötrest)
NH <sub>3</sub> -N <sub>bete</sub> [kg/år]	381	390
N <sub>2</sub> O-N <sub>indirekt</sub> [kg/år]	34,7	36,0

6.2.2.2.2 Metan och lustgas från lagring av stallgödsel/rötrest och gödsel på bete  
Metan från lagring av stallgödsel i grundscenariot (I) uppskattades enligt formeln

$$CH_4 = VS * B_o * 067 * MCF$$

(IPCC , 2006)

**VS** (Volatile Solids) är det organiska materialet i stallgödseln. VS uttrycks i andel av TS, i denna studie användes 83 % för flytgödseln samt 86 % för djupströgödseln. Kvantiteten TS uppskattades till 9 % av vikten för flytgödsel och 30 % för djupströ. **Bo** är maximal metanproduktionskapacitet [m<sup>3</sup>/kg VS], vilket hämtades från IPCC (2006) och bestämdes till 0,24 för mjölkkor och 0,18 för ungdjuren. **MCF** (Methane Conversion Factor) beskriver den faktiska metanproduktionen som varje gödselslag har. MCF uppskattades i denna studie till 3 % för flytgödsel i enlighet det uppmätta värdet för flytgödsel förvaring i Uppsalatrakten (omkring 3%; vilket kan jämföras med IPCC:s schablonvärde på 10% för kalla klimat) (Rodhe m fl, 2008). För djupströgödsel användes värdet 17 % från IPCC, (2006). För gödsel på bete användes MCF: 1 % från IPCC (2006). **0.67** är en konstant för att räkna om volymer m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> till kg.

Direkta lustgasemissioner från lagring av gödsel i grundscenariot (I) uppskattades till 0,1 % av kväveinnehållet i gödseln (IPCC, 2006).

Studier har visat att metan- och lustgasförluster vid lagring av rötrest är lägre än förluster vid konventionell lagring av flytgödsel (Lantz m.fl., 2009; Börjesson och Berglund, 2007; Clemens m.fl., 2006). Metanutsläpp vid lagring av rötrest uppskattades till 0,15 kg CH<sub>4</sub> per ton rötrest, denna siffra är baserad på beräkningar av rötad gödsel (Lantz m.fl., 2009). I denna studie består rötresten av en blandning av vall och gödsel. Uppskattningen av metangasutsläppen är därför väldigt grov. Direkta lustgasemissioner vid lagring av rötrest har antagits vara försumbara i enlighet med Lantz (2009) och IPCC (2006). Det bör dock noteras att även denna uppskattning är mycket grov, i avsaknad av emissionsdata från lagring av rötrest generellt och specifikt för lagring av rötrest från samrötat gödsel och vall.

Direkta lustgasemissioner från gödsel på bete uppskattades till 2 % av kväveinnehållet i gödseln för grundscenariot (I) och för mer och bättre vall (II) (IPCC, 2006).

Tabell 50. Metanemissioner och direkta lustgasemissioner från lagring av gödsel/rötrest

	Grundscenariot (I)	Mer och bättre vall (II)
Metan lagring [kg CH <sub>4</sub> /år]	2 727	1 499
Metan bete [kg CH <sub>4</sub> /år]	119	119
Lustgas lagring [kgN <sub>2</sub> O-N/år]	-	28
Lustgas bete [kgN <sub>2</sub> O-N/år]	95	98

### 6.2.2.3 Metan från kor

Mer grovfoder i foderstaten ger upphov till högre metanemissioner från djurens fodermältning. Liljeholm m.fl. (2009) jämförde olika foderstater för mjölkkor, foderstaten med högre grovfodergiva gav upphov till 2 kg mer metanutsläpp per ko per år. Metanemissioner från djurens fodermältning hämtades från denna rapport (Liljeholm m.fl., 2009) enligt Tabell 51.

Tabell 51. Metan från djuren [kg CH<sub>4</sub>/år och år]

Besättningen	Antal	Grundscenariot(I)	Mer och bättre vall (II)
		CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub>
Mjölkcor	240	129	131
Ungdjur > 1 år	128	50 <sup>1</sup>	50 <sup>1</sup>
Ungdjur 5-12 månader	96	50 <sup>1</sup>	50 <sup>1</sup>
Kalvar 0-4 månader	96	50 <sup>1</sup>	50 <sup>1</sup>
Totalt [kg CH <sub>4</sub> /år]		46 960	47 440

<sup>1</sup>Medelvärde för ungdjuren (Natutvårdsverket, 2002)

## 6.2.3 Biogasproduktion

### 6.2.3.1 Grundläggande antaganden

I grundscenariot (I) antas värmebehovet täckas av eldningsolja och panneffekten antas vara 90 %. Elbehovet i grundscenariot (I) antas täckas av svensk elmix (Ecoinvent, 2010). Hela el- och värmebehovet mer och bättre vall (II) antas täckas av kraftvärmeproduktionen. Tabell 52 visar grundläggande antagandena för energikalkylerna.

Tabell 52. Generella data för energikalkyler

	Värde	Referens
Energiinnehåll i metan	35,33 MJ/nm <sup>3</sup>	Edström m.fl. (2008)
Densitet metan	0,708 kg/nm <sup>3</sup>	Edström m.fl. (2008)
Densitet eldningsolja	0,93 kg/l	Mörtstedt & Hellsten (1999)
Energiinnehåll eldningsolja	9,81 kWh/l (10)	Preem, 2012

### 6.2.3.2 Biogasproduktionen

Biogasproduktionen i scenariot mer och bättre vall (II) från rötchammare 1 och 2 är 2 781 m<sup>3</sup> per dag. Metaninnehållet antas vara 56,1 % av biogasen och energiinnehållet i metangas 35,33 MJ/m<sup>3</sup>. Vilket motsvarar en årlig produktion på 5 587 MWh<sub>biogas</sub>/år.

Biogasen förbränns i ett kraftvärmeverk med elverkningsgrad på 37 % och termiskverkningsgrad på 46 % (Lantz, 2010). Produktionen av elektricitet och värme presenteras i Tabell 55.

Emissioner i samband med förbränning av biogasen antogs enligt Tabell 53.

Tabell 53. Emissioner vid slutanvändning av biogas i kraftvärmeverk per MJ motoreffekt (Börjesson och Berglund, 2003)

Emissioner	
Metan [mg CH <sub>4</sub> /MJ]	4
Koldioxid [mg CO <sub>2</sub> /MJ]	0
Kolmonoxid [mg CO/MJ]	2
Kväveoxider [mg NO <sub>x</sub> /MJ]	59
Svaveloxider [mg SO <sub>x</sub> /MJ]	2
Kolväten [mg HC/MJ]	3
Partiklar [mg /MJ]	2

Metanläckage från biogasanläggningen antogs vara 1 % av totala produktionen Edström m.fl. (2008), vilket ger ett metan utsläpp ca 200 mg/MJ motoreffekt.

#### 6.2.3.2.1 Processbehov

Det interna elbehovet för biogasanläggningen antogs vara 0,035 kWh<sub>el</sub>/kWh<sub>biogas</sub> (Edström m.fl., 2008). Samt ett värmebehov på 0,09 kWh<sub>värme</sub>/kWh<sub>biogas</sub> (pers. komm. Edström, 2011).

#### 6.2.3.3 Internt energibehov på gården

Gårdarnas behov av elektricitet och värme för bostadshus (fyra stycken), stall samt spannmålstork antogs vara i princip samma för de två scenarierna. Dock är energibehovet för spannmålstorken lite större i grundscenariot (I) pga. den högre spannmålsproduktionen. Tabellen nedan visar el- och värmebehovet för de båda scenarierna samt hur denna energi antas produceras.



Tabell 54. Gårdarnas behov av el och värme

	Grundscenariot (I)	Produktion	Mer och bättre vall (II)	Produktion
Bostad (fyra bostadshus)				
El [MWh/år]	25	Svensk elmix	25	Biogas
Värme [MWh/år]	108	Eldningsolja	108	Biogas
Stall				
El [MWh/år]	239	Svensk elmix	228	Biogas
Värme [MWh/år]			12	Biogas
Spannmålstork				
El [MWh/år]	28 <sup>1</sup>	Svensk elmix	22 <sup>1</sup>	Biogas
Värme [MWh/år]		Eldningsolja	216 <sup>1</sup>	Biogas
	272 <sup>1</sup>			

<sup>1</sup> Justerat för kvantiteten producerat spannmål av Carina Gunnarsson, 2011.

Den producerade elektriciteten och värmen används alltså dels i själva biogasanläggningen för uppvärmningen av substrat samt delning av substrat, omrörning osv. och på gården för elektricitet och värme till stall, spannmålstork (mjölkgård och växtodlingsgård) samt till fyra bostadshus som antas ligga i nära anslutning till gården med biogasanläggningen. Överskottet av elektricitet och värme blir ändå betydande (se Tabell 55).

Tabell 55. Energibalans för mer och bättre vall (II)

	Elektricitet	Värme
Bruttoenergi [MWh/år]	2 028	2 616
Internet behov, biogasanläggningen [MWh/år]	196	503
Behov på gården och fyra bostadshus [MWh/år]	275	336
Överskott [MWh/år]	1 557	1 778

#### 6.2.3.4 Undviken produktion av elektricitet och värme

Överskottsdel från kraftvärmeverket antas levereras till elnätet. För att bedöma miljöeffekter av att elektricitet som produceras från biogas ersätter annan elektricitet konstruerades två elproduktionsmixer enligt Finnveden (2008). Att analysera vad som är marginalel, alltså vilken elproduktion som skulle minska om elproduktionen från t.ex. biogas ökar, är mycket komplicerat. Finnveden (2008) diskuterar effekter av handel med utsläppsrätter och att den kan resultera i att den marginella elproduktionen blir koldioxidneutral. Finnveden (2008) menar att mer kunskap behövs för att bestämma marginal elproduktion. Under tiden föreslås att man använder två elproduktionsmixer, en med relativt höga koldioxidutsläpp och en med lägre utsläpp. Elmixerna i Tabell 56 har använts i denna studie (namnet på elmixerna har bytts ut).

Tabell 56. Elmixer enligt Mattsson m. fl. (2003) i Finnveden (2008)

	Elmix hög CO <sub>2</sub>	Elmix låg CO <sub>2</sub>
Vind	11,32	21,79
Kärnkraft	0	23,09
Biomassa CHP	0,53	35,72
Kolkraft CHP	59,99	0,77
Olja	3,03	-1,41
Naturgas CHP	25,33	19,95
Vattenkraft	-0,21	0,10

Överskottsvärmen är svårt att hitta avsättning för (Edström m. fl. 2008). I denna studie görs därför tre olika varianter på mer och bättre vall scenariet: två med antagandet att det finns avsättning för allt värmeöverskott, och att överskottsvärmen i likhet med elproduktionen antas ersätta värme som producerats på två sätt, från eldningsolja eller från träflis. Den tredje varianten visar resultatet från en situation där överskottsvärmen inte kan avsättas alls, dvs samma situation som de ekonomiska resultaten representerar.

#### 6.2.3.5 Extra materialbehov i scenariot mer och bättre vall (II).

I stora drag antas byggnader och maskiner vara samma i mer och bättre vall (II) som i grundscenariot (I). I scenariot mer och bättre vall (II) behövs utöver det som behövs i grundscenariot (I) större plansilo, samt gödselbehållare och en biogasanläggning. Det extra materialbehovet i mer och bättre vall (II) är inkluderat i analysen.

Tabell 57. Behov av byggnader och maskiner

Infrastruktur	Grundscenario (I)	Mer och bättre vall (II)
Plansilo	Ja	Större
Kraftvärmeverket	Nej	Ja
Stallar	Samma	Samma
Maskiner	Samma	Samma
Gödselbehållare	Ja	Större

#### 6.2.3.5.1 Plansilo

Volymbehovet för plansilo beräknades öka med 9 180 m<sup>3</sup> för scenariot mer och bättre vall (II) i jämförelse med grundscenariot (I). Materialanvändning för det extra behovet av plansilo i mer och bättre vall (II) uppskattades från Strid och Flysjö, (2007) som uppskattade materialtillgången till en plansilo med volymen 1 620 m<sup>3</sup>. Livstiden på plansilon antogs vara 30 år.

Tabell 58. Material extra för plansilo i mer och bättre vall (II)

Material	
Prefabricerade betongväggar	890 ton
Betong till golv	710 m <sup>3</sup>
Stål	11,4 ton

#### 6.2.3.5.2 Kraftvärmeverket

Material till kraftvärmeverket är taget från databasen Ecoinvent (Ecoinvent Center, 2007).

#### 6.2.3.5.3 Gödsel/rötrest-behållare

Extra volymbehov för mer och bättre vall (II) uppskattades till 3 040 m<sup>3</sup>. Bottenplattan för en gödselbehållare som rymmer 3 000 m<sup>3</sup> är 1 030 m<sup>2</sup>, 48 prefabricerade betongväggar á 1,7 ton behövs också (Abetong AB, 2011). Stålbehovet antogs vara det samma som för plansilon.

*Tabell 59. Material för extra gödselbehållare i mer och bättre vall (II)*

Material	
Prefabricerade betongväggar	82 ton
Betong till golv	200 m <sup>3</sup>
Stål	3,9 ton

### 6.3 Resultat

Resultaten har delats in under ett antal delprocesser för att tydliggöra vad det är som påverkar de olika miljöpåverkanskategorierna. Tabell 60 beskriver vad det är som ingår under varje delprocess.

Nedan presenteras resultaten först utan systemutvidgning, dvs. innan någon undviken produktion har inkluderats i analysen och sedan med systemutvidgning.

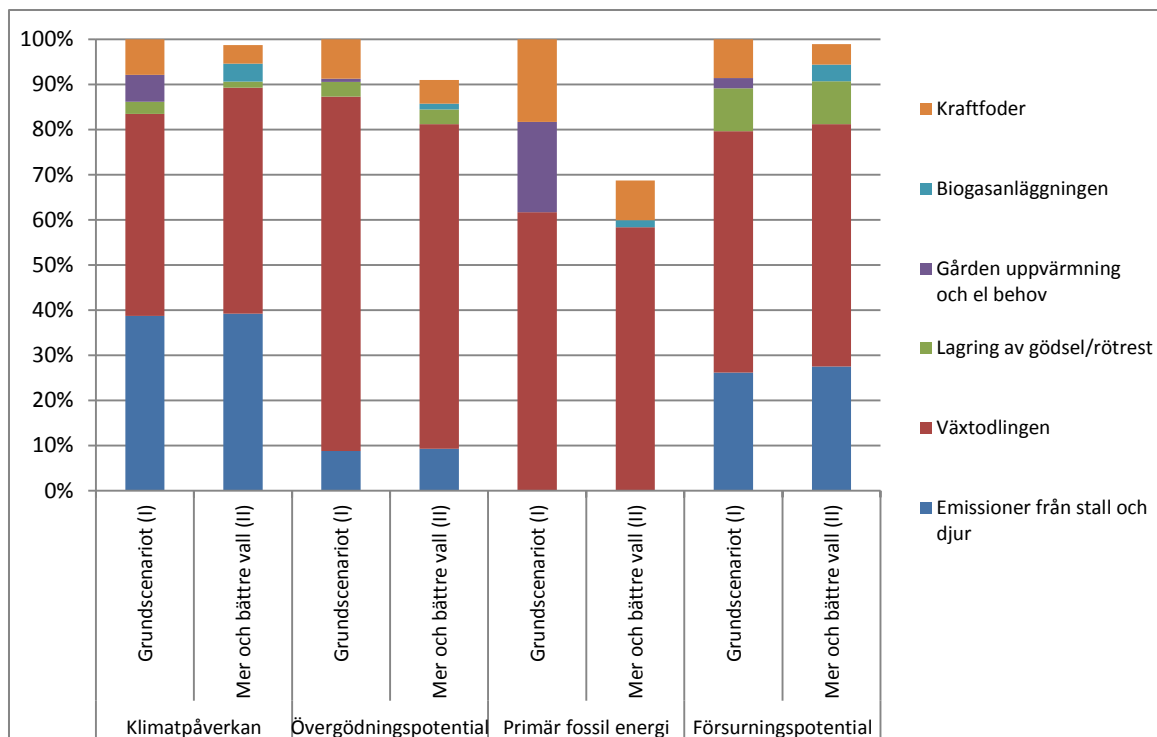
I resultaten har mer och bättre vall (II) delats in i två scenarier. Alternativ 1 där den producerade biogasenergin antas ersätta energi från fossilbaserade källor (elmix hög CO<sub>2</sub> samt värmeproduktion från eldningsolja) och alternativ 2 där den producerade energin antas ersätta energikällor som är mer eller mindre förnyelsebara och generellt resulterar i mindre emissioner (elmix låg CO<sub>2</sub> samt värmeproduktion från träflis). Syftet med detta är att illustrera skillnaden när biogasen ersätter fossila eller förnyelsebara (eller lågemitterande) energikällor.

Tabell 60. Förklaringsstabell för diagrammen

Delprocess	Innefattar
Emissioner från stall och djur	Ammoniak från stallar, indirekta lustgasemissioner samt metan från kornas fodermältning.
Växtodlingen	Dieselanvändning, emissioner (direkta och indirekta) vid användning av handelsgödsel samt stallgödsel/rötrest, skörderester, produktion av utsäde och kväveläckage.
Lagring av gödsel/rötrest	Ammoniak, metan och lustgasemissioner.
Gårdens uppvärmning och el behov	(Grundscenariot (I)), el och värme för stallar, bostadshus och spannmålstork.
Biogasanläggningen	Emissioner under rötning (metan) och slutanvändning av biogasen. Här är även extra materialbehov i form av plansilo, gödselbehållare samt biogasanläggning inkluderat.
Kraftfoder	Odling, förädling och transport av kraftfoder
Und. Spannmål	Undviken produktion av spannmål enligt "Grundscenariot (I) undviken produktion av vete och raps" beskrivet ovan.
Und. El låga CO <sub>2</sub>	Undviken elproduktion med lägre utsläpp enligt "Undviken produktion av elektricitet och värme" beskrivet ovan.
Und. El höga CO <sub>2</sub>	Undviken elproduktion med högre utsläpp enligt "Undviken produktion av elektricitet och värme" beskrivet ovan.
Und. Värme olja	Undviken värmeproduktion från eldningsolja.
Und. Värme flis	Undviken värmeproduktion från träflis.

### 6.3.1 Systemutvidgning exkluderat

Figur 8 visar resultaten för samtliga undersökta miljöpåverkanskategorier. Ingen undviken produktion har tagits med i analysen. Det är alltså viktigt att tänka på att de olika scenarierna producerar olika saker. Grundscenariot (I) producerar mer spannmål och mer och bättre vall (II) producerar ett överskott på elektricitet och värme. Resultaten innan systemutvidgningen är relativt lika för klimatpåverkan och försurningspotential mellan de två scenarierna, för primär fossil energianvändning ca 30 % lägre för mer och bättre vall (II) och övergödningspotential som är 10 % lägre.



Figur 8. Resultat innan systemutvidgning.

#### 6.3.1.1 Klimatpåverkan

Klimatpåverkan domineras av växtodlingen och emissionerna från stall och djur. Påverkan är något högre för mer och bättre vall (II) för dessa två delprocesser. Det beror på att metanutsläpp från kornas matsmältning är något högre, kvävegödslingen är också något högre i mer och bättre vall (II) vilket leder till högre lustgasutsläpp. Dock gör energianvändningen på gården samt den högre kraftfoder importen att grundscenariot (I) har marginellt högre klimatpåverkan.

#### 6.3.1.2 Övergödningspotential

Växtnäringsutlakning är den absolut viktigaste faktorn. Kväve- och fosforutlakningen är lägre i mer och bättre vall (II) främst för att vallen som är flerårig minskar både kväve- och fosforutlakningen. Kraftfoderimporten i mer och bättre vall (II) är också lägre vilket minskar övergödningspotentialen.

#### 6.3.1.3 Användning av primär fossil energi

Användningen av primär fossil energi i växtodling är något högre i grundscenariot (I) på grund av den högre handelsgödselgivan. Att fossil energi används för uppvärmning på gården i grundscenariot (I) samt den högre kraftfoder givan är annars den största skillnaden mellan scenarierna.

#### 6.3.1.4 Försurningspotential

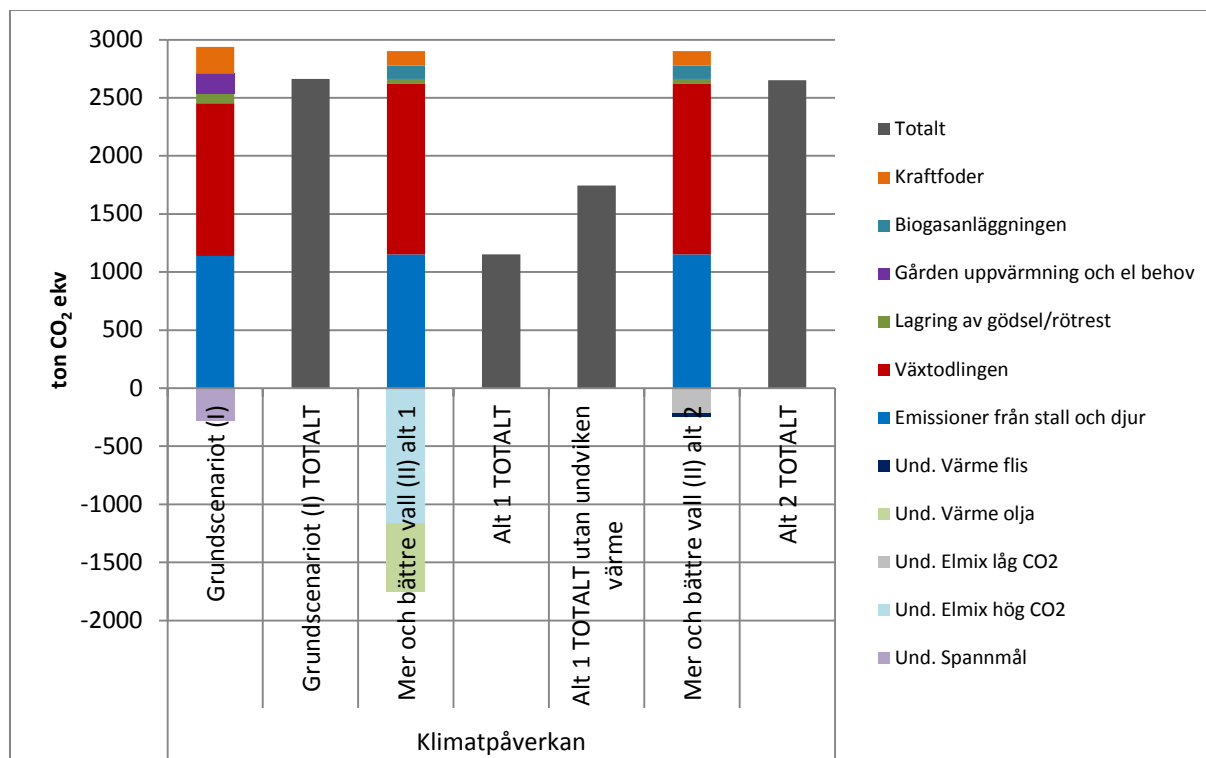
Ammoniak från stallar, lagring av gödsel samt spridning av gödning, specifikt stallgödsel dominerar påverkan. Därför har mer och bättre vall (II) en något högre försurningspotential för växtodlingen eftersom en högre andel av gödningen är stallgödsel (rötrest) i detta scenario. Påverkan från biogasanläggningen beror främst på utsläpp av kväveoxider vid förbränning av biogas. Den högre kraftfoder importen gör dock att grundscenariot (I) har en marginellt högre total försurningspotential.

## 6.3.2 Systemutvidgning

### 6.3.2.1 Klimatpåverkan

Figur 9 visar att skillnaden mellan alternativ 1 och alternativ 2 av mer och bättre vall (II) kan vara stor beroende på vilken sorts energi biogasenergin antas ersätta. Om biogasenergin ersätter fossila bränslen som i alternativ 1 så mer än halveras den totala klimatpåverkan.

Påverkan från den undvikna spannmålsproduktionen (EU produktion) i grundscenariot (I) är i samma storleksordning som den undvikna elektricitet och värme produktionen i mer och bättre vall (II) alt. 2. Vilket gör att grundscenariot (I) totalt och mer och bättre vall (II) alternativ 2 totalt har ungefär samma klimatpåverkan.

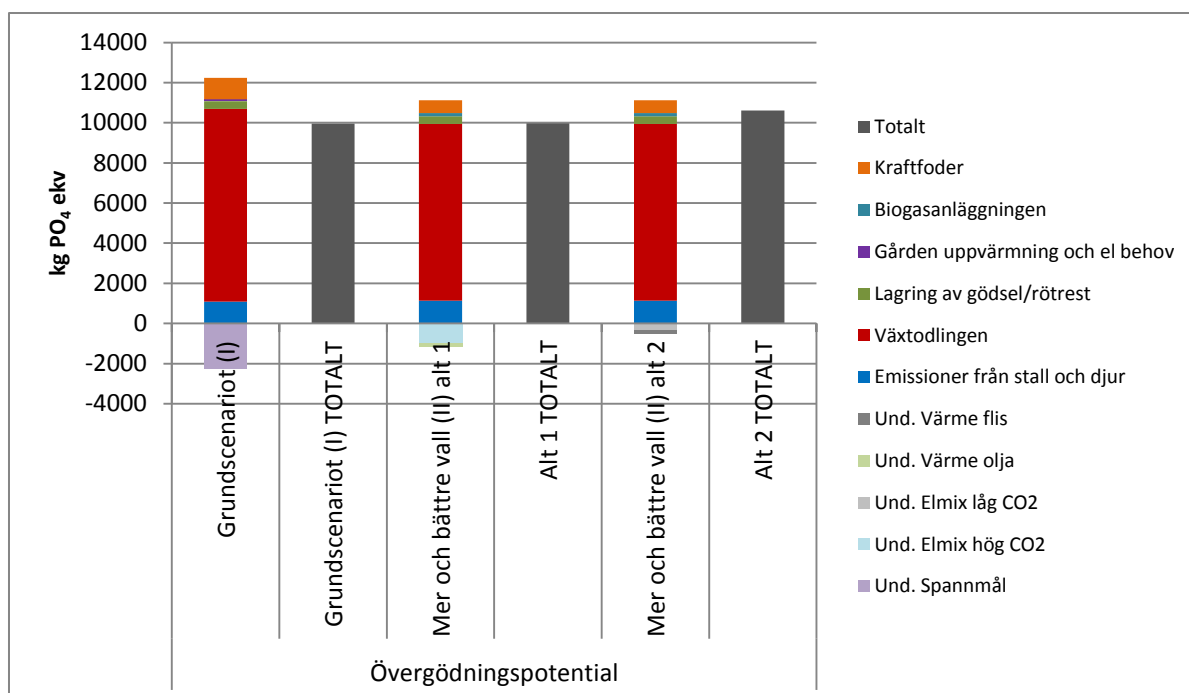


Figur 9. Klimatpåverkan.

### 6.3.2.2 Övergödningspotential

Den undvikna spannmålsproduktionen (EU produktion mer mark) bidrar med ett relativt stort avdrag i grundscenariot (I). Det är dock viktigt att vara medveten om att kväveutlakningen för undviken EU produktion är uppskattad med en annan metod än för växtodlingen i grundscenariot (I) och mer och bättre vall (II). Därför bör dessa resultat tolka med försiktighet.

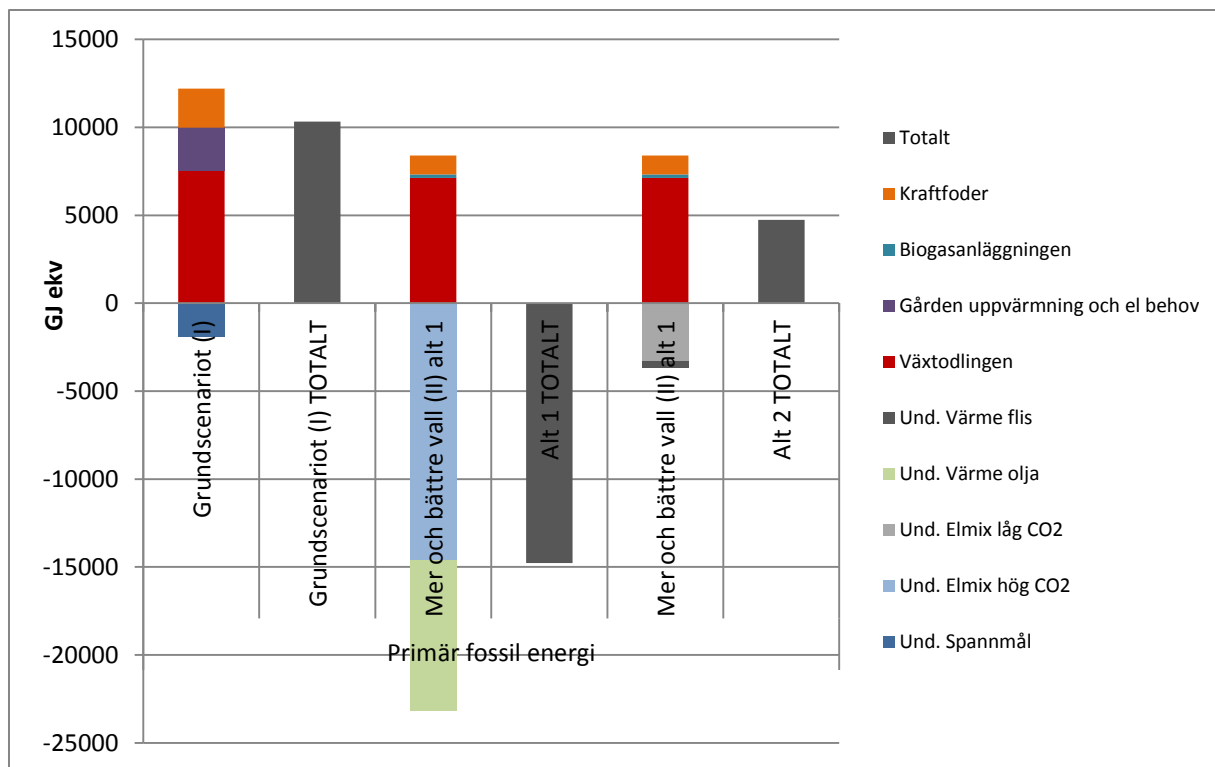
För elmix hög CO<sub>2</sub> i alternativ 1 är det undviken elproduktion från kol som är den viktigaste faktorn, där kolbrytning (el från kolkraft antas täcka ca. 60 %) resulterar i läckage av fosfor och kväve till vatten. Från undviken värmeproduktion är det primärt kväveoxider till luft vid förbränning av bränslen som bidrar.



Figur 10. Övergödningspotential.

### 6.3.2.3 Primär fossil energi

I mer och bättre vall (II) alternativ 1 där biogasenergin antas ersätta främst fossila bränslen (elmix hög CO<sub>2</sub> och oljebaserad värme produktion) blir inverkan från den undvikna produktionen stor, så pass stor att det vida kompenserar för den fossila energi som används på gården. Den totala påverkan blir negativ. I mer och bättre vall (II) alternativ 2 där biogasen antas ersätta mindre fossilintensiva alternativ (elmix låg CO<sub>2</sub> samt träflis) minskar användandet av primär fossil energi med 44 %. Det är framförallt elmixen (låg CO<sub>2</sub>) som påverkar eftersom denna elmix innehåller delvis fossila källor så som naturgas (ca 20 %).

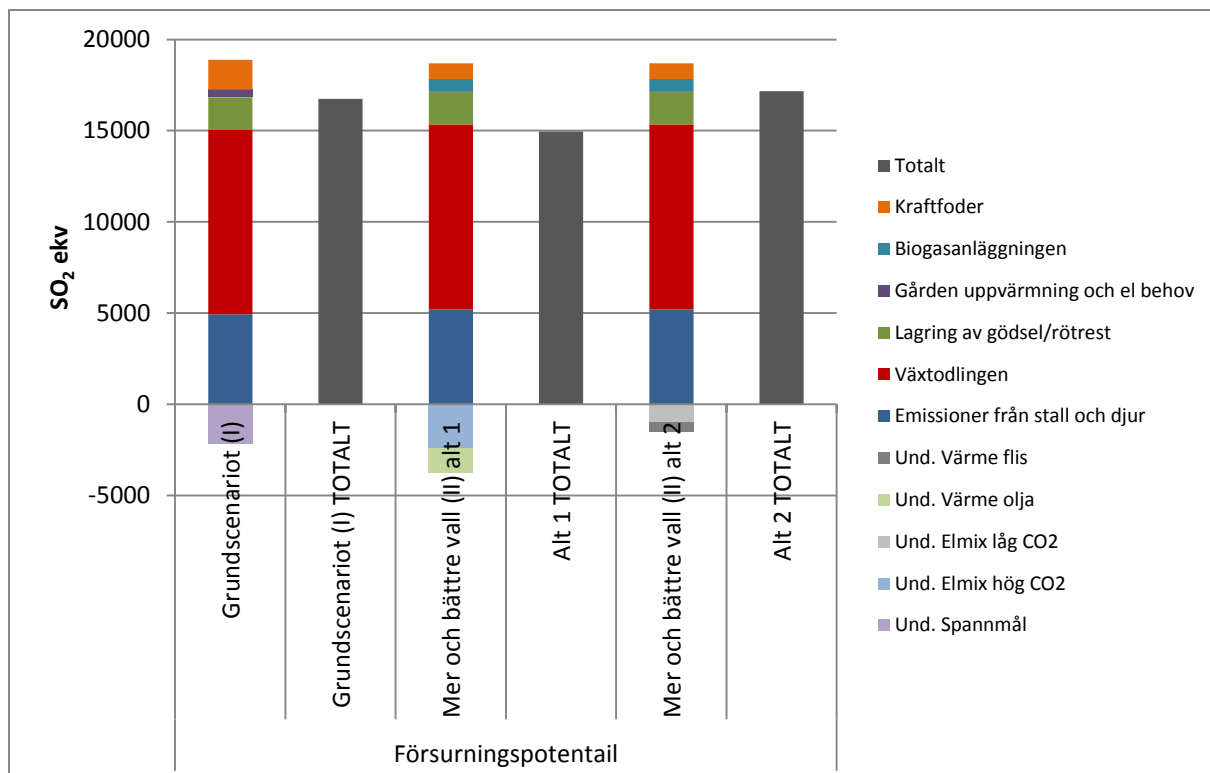


Figur 11. Primär fossil energi.

#### 6.3.2.4 Försumningspotential

Den undvikna energiproduktion från fossila bränslen (mer och bättre vall (II)) alternativ 1 har högre försurande utsläpp av svaveldioxid och kväveoxider. Därför har detta alternativ den lägsta försurningspotentialen. Ammoniak emissioner från växtodling och djurhållning är annars dominerande och den undvikna spannmålsproduktionen i grundscenariot (I) innebär en betydande minskning av försurningspotentialen (ca 13 %).



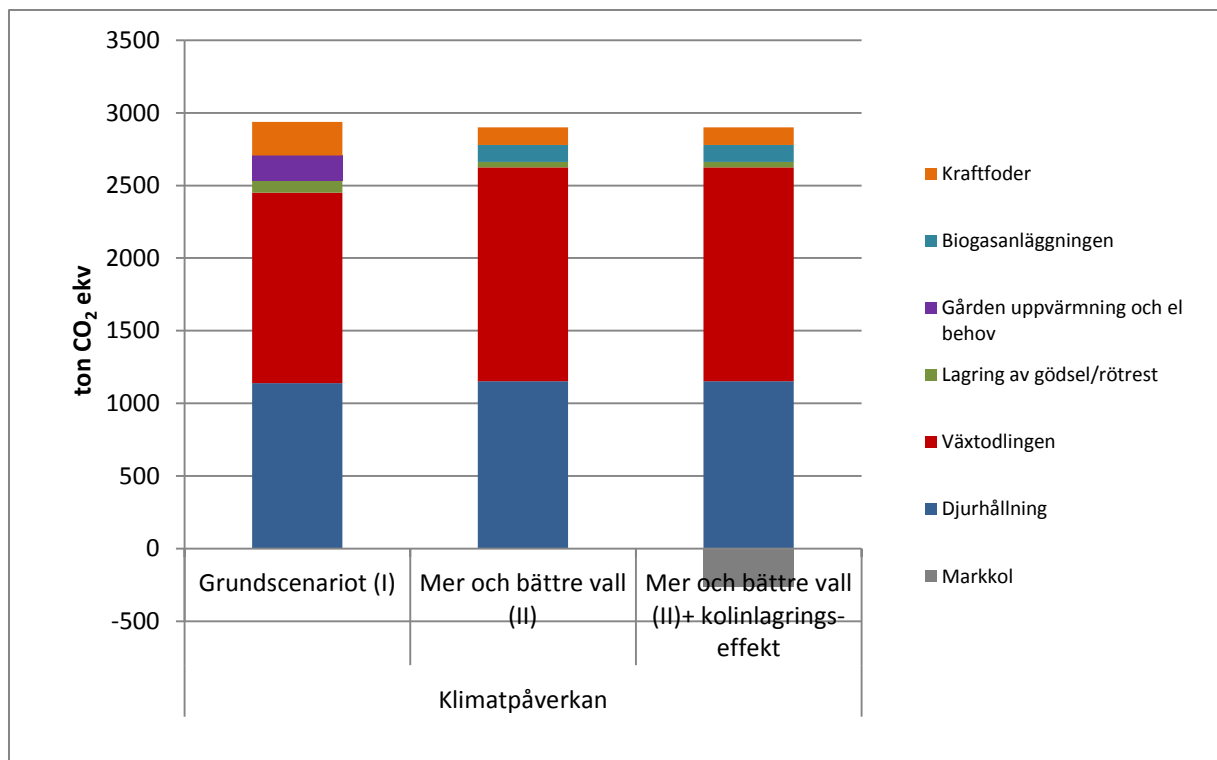


Figur 12. Försurningspotential.

### 6.3.3 Känslighetsanalyser

#### 6.3.3.1 Markkol

När inlagring av kol i marken till följd av införandet av vall i växtföljden på växtodlingsgården i mer och bättre vall (II) inkluderas i analysen minskar hela scenariots klimatpåverkan med ca. 10 % och växtodlingen klimatpåverkan med ca. 18 %.

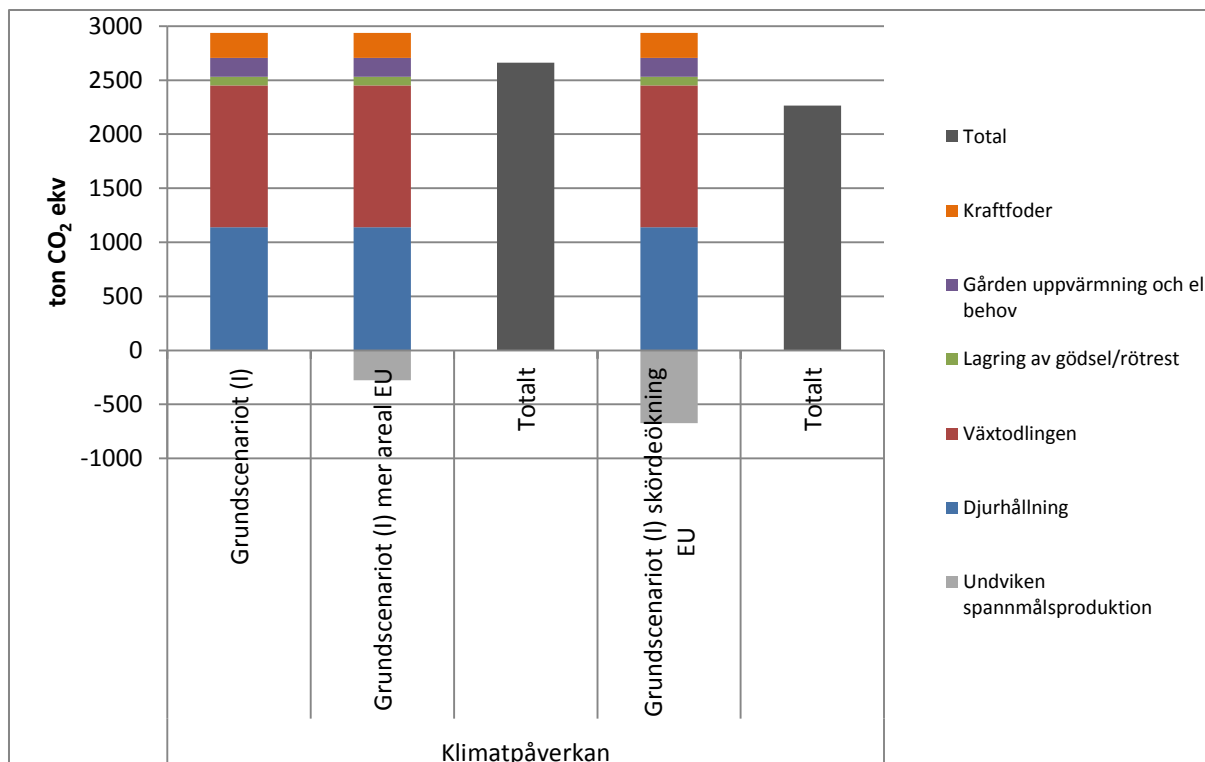


Figur 13. Känslighetsanalys markkol.

### 6.3.3.2 Undviken spannmålsproduktion grundscenariot (I)

#### 6.3.3.2.1 Klimatpåverkan

Klimatpåverkan från intensifierad produktion är mer än dubbelt så hög jämfört med produktion på ny areal. Att miljöpåverkan är mer än dubbelt så hög beror främst på att den högre miljöpåverkan från intensifieringen fördelas enbart på skördeökningen. Det innebär att en ganska liten kvantitet (för raps 34 kg/ha och år samt för vete 31,3 kg/ha och år) belastas med hela klimatpåverkansökningen.

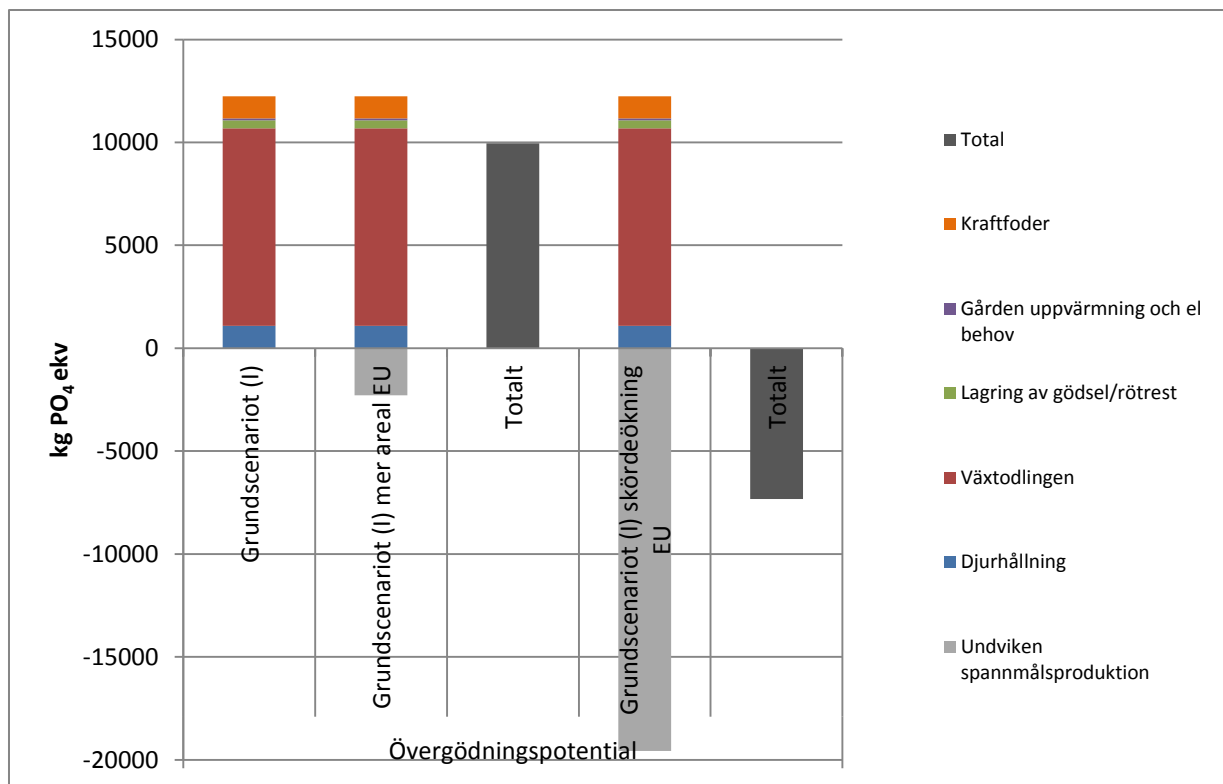


Figur 14. Klimatpåverkan känslighetsanalys undviken EU produktion enligt två metoder.

#### 6.3.3.2.2 Övergödningspotential

Kväveutlakningen antas öka från 27 till 29 NO<sub>3</sub>-N (ca 2 kg NO<sub>3</sub>-N /ha) pga. den högre N-givan för att uppnå skördeökningen. Denna ökade kväveutlakningen fördelas enbart på skördeökningen (för raps 34 kg/ha och år samt för vete 31,3 kg/ha och år) vilket ger ca. 0,06-0,07 kg NO<sub>3</sub>-N /kg skördeökning. Detta kan jämföras med utlakningen på växtodlingsgården i grundscenariot (I) som uppskattades till i genomsnitt 17,2 kg NO<sub>3</sub>-N /ha (se Tabell 39-Tabell 42) vilket för vete blir ca 0,003 NO<sub>3</sub>-N /kg och för raps ca 0,009 NO<sub>3</sub>-N /kg.

Den totala kväveutlakningen från undviken produktion av vete (422 ton) och raps (219 ton) genom intensifiering av EU produktion blir 40 488 kg NO<sub>3</sub>-N, medan den totala kväveutlakningen från växtodlingen för hela grundscenariot (I) (både växtodlingsgården och mjölkgården) uppskattades till 12 760 NO<sub>3</sub>-N.



Figur 15. Övergödningspotential känslighetsanalys undviken EU produktion enligt två metoder.

## 7 DISKUSSION

### 7.1 Systemutformning

I detta projekt undersöktes konceptet att styra vallens användningsområden efter kvaliteten och använda vallen med högre kvalitet, dvs. första skörden, till mjölkproduktion och vallen med lägre kvalitet, dvs återväxten, till biogasproduktion. Detta kräver dock tillgång till större vallareal vilken exempelvis kan fås genom samverkan med växtodlingsgårdar. Faktorer som kan göra samverkan intressant för växtodlingsgårdar är, förutom lönsamheten jämfört med den gröda vallen ersätter, positiva effekter av vallen såsom förfruktsvärde och merskörd för efterföljande gröda. Enligt Larsson (2009) är ett vanligt upplägg att växtodlingsgården köper gödseln (prissättning efter kvävepriset med avdrag för transportkostnad) och mjölkgården köper vallen på rot (per areal eller per skördad mängd). I denna studie har växtgården och mjölkgården i de båda scenarierna setts som ett system och därmed kvantifierades inte de inre flödena i ekonomiska termer. Exempelvis sattes inget ekonomiskt värde på rötresten från mjölkgården till växtgården samt vallen från växtgården till mjölkgården.

Vallarna i denna studie gödslades enligt Jordbruksverkets riktlinjer med hänsyn till avkastning och klöverhalt. Avkastningen och klöverhalten hämtades från försöksdata. Klöverhalten var 22 % i genomsnitt för förstaårsvallen och sjönk till i genomsnitt 11 % i tredjeårsvallen. Beroende på klöverhalt för de olika vallåren varierade den totala kvävegivan per år från 176 kg N/ha till 211 kg N/ha. Samma metod för att bestämma hur mycket kväve som behöver tillföras grödorna tillämpas i en studie om näringsflöden på mjölkgårdar av Salomon m. fl. (2008). Där antas klöverinnehållet i vallen vara 25 % i genomsnitt under vallens liggtid.

Samma gödslingsstrategi tillämpades både i grundscenariet när all vall gick till mjölkproduktion och i mer och bättre vall-scenariot när vallen användes både till mjölk- och biogasproduktion. Vid odling av vall endast till biogasproduktion är det tänkbart att anpassa strategin för gödsling. En lägre kvävegiva till vallen hade sannolikt resulterat i en högre klöverhalt och mindre behov av inköpt handelsgödsel. Enligt rådgivare (Gunnarsson, 2009) är en baljväxthalt på ca 25-30 % att rekommendera om grovfodret ska utfodras som enda grovfoder i ganska stor mängd. Enligt Gunnarsson (pers komm) är det vanligt att vallarna gödslas med handelsgödsel med ca 90 kg N till första skörd, 70 kg till andra och 50 kg till tredje skörd. Därefter kompletteras med nötsväm gödsel på hösten och helst även på våren inför första skörd.

Användningen av maskiner påverkas när spannmålsareal ersätts med vall, dels antalet maskintimmar men även behovet av arbetskraft och när på året maskinerna används. Exempelvis är vallskörden arbetskrävande och i scenariot mer och bättre vall ökade antalet transportekipage som behövs på grund av ökat transportavstånd för vall och rötrest. Dessutom skördades vallen vid tre tillfällen jämfört med spannmålen som skördas en gång per år. Samverkan mellan gårdarna skulle dock kunna innebära att tillgången på arbetskraft vid exempelvis vallskörden ökar. På samma sätt skulle arbetskraft från växtodlingsgården kunna hjälpa till med exv. gödselspridning. I denna studie antogs att skörden utfördes av en extern skördeentreprenör och därmed inte var beroende av tillgången på arbetskraft på gården.

Utifrån erfarenheter från tidigare utrötningsförsök antog vi i denna studie att 42 % av totalkvävet i rötresten efter mesofil rötning utgjordes av ammoniumkväve. Soerensen m fl. (2011) redovisar i pilotförsök med termofil rötning 61 % ammoniumkväve av totalkvävet för rötad gräs/klöverblandning. Motsvarande värde för rötad nötflytgödsel är 61 och 67 % i två försök. För nötflytgödseln har kvoten ökat 12-13 % vid rötning. TS-halten i rötresten är i försöket av Soerensens m fl. (2011) ca 5 % medan rötresten i vår studie hade 8 % TS-halt. Vid ökande TS-halt försämras rötrestens nedträngningsförmåga vid spridning och därmed ökar risken för kväveförluster vid spridning (Soerensen m fl. 2011). En högre mineraliseringsgrad på rötresten skulle i denna studie få effekter förutom på spridningsstrategier och kostnader så även på miljöpåverkan av mindre inköp av handelsgödsel. I grundscenariot utgjordes 93 % av totala kvävetillförseln (handelsgödselkväve samt växttillgängligt kväve från gödsel) av handelsgödsel. Där gödslades dock växtgården uteslutande med handelsgödsel. I mer och bättre vall-scenariot hade denna andel minskat till 81 %.

I detta projekt räknade vi med en mjölkavkastning i nivå med den genomsnittliga för svenska mjölkbesättningar. Om vi hade räknat på en högre mjölkavkastning hade beräkningarna påverkats genom att mer högvastande kor äter mer foder. Potentiellt hade vi då kunnat ersätta mer kraftfoder i foderstaten med vall av hög kvalitet.

Av pedagogiska skäl antogs att de studerade scenarierna skulle ta lika mycket mark i anspråk, vilket ledde till antagandet att mjölkgården skulle samarbeta med en spannmålsgård för att komma åt den extra mängden vall som krävdes, och att spannmålsgårdens areal (med sin ursprungliga verksamhet) därmed fanns med i grundscenariet. Ur hög/lågkvalitetsvall-konceptets synvinkel är det dock inte nödvändigt att den extra vallarealen kommer från tidigare spannmålsmark. Om det i vissa regioner finns tillgång till trädesmark för uppodling till vall är det också ett tänkbart alternativ. Detta skulle leda till andra resultat, bland annat för spannmålsproduktionen och eventuellt för rötrestutnyttjandet, men har inte studerats i detta projekt.

I detta projekt har vi antagit att den producerade biogasen utnyttjas till kraftvärmeproduktion, eftersom detta är det mest sannolika i dagsläget. Men, i takt med att antingen uppgraderingsmetodiken utvecklas för att fungera i mindre skala, eller att metoder för insamling av rågas blir mer lättillgängliga, är det även tänkbart att hög/lågkvalitetsvall-konceptet kan kombineras med biogasproduktion för fordonsändamål. Detta skulle också ge annorlunda resultat, men är inte heller studerat i detta projekt.

## 7.2 Ekonomisk analys

Maskinkostnaderna beräknades i denna studie som fasta timkostnader oberoende av maskinernas årliga användning. Därigenom uteblev effekten på kostnaderna av förändrad årlig användning av maskiner som exempelvis att trösken inte användes lika mycket på växtodlingsgården när spannmålsarealen minskade. Om gården skulle äga sina vallmaskiner skulle på motsvarande sätt de fasta kostnaderna för vallmaskinerna kunna fördelas på fler användningstimmar när vallarealen ökar.

När rötrestens värde med avseende på effekterna på inköp av handelsgödsel och kostnader för hantering och lagring av rötrest i grundscenariot jämfört med i mer och bättre vall-scenariot beräknades blev värdet negativt. Det innebär att kostnaderna för den ökande hanteringen av rötrest inte vägdes upp av minskade kostnader för inköp och spridning av handelsgödsel. En orsak var att rötresten inte ersatte så mycket handelsgödsel. Detta berodde bland annat på tillgängligheten för kvävet i rötresten vilket i sin tur påverkade hur mycket handelsgödselkväve som kunde ersättas med rötrest. Kväveeffekt och spridningsförluster för flytgödsel och rötrest antogs i denna studie vara desamma.

Det ekonomiska resultatet var sämre för mer och bättre vall-scenariot jämfört med grundscenariot. Jämfört med grundscenariot ökade kostnaderna med 27 % och var ca 1,7 miljoner högre i mer och bättre vall-scenariot. Förutom drift- och investeringskostnader för biogasanläggningen ökade vallskördekostnaderna kraftigt. Dessa högre kostnader balanserades inte av ökade intäkterna, vilka var knappt 700 000 kr högre än i grundscenariot. På intäktssidan tillkom intäkter på knappt 1,9 miljoner kr från försäljning av all el som producerades i kraftvärmeanläggningen samt den del av värmen som kunde avsättas på gårdarna. Samtidigt minskade intäkterna från spannmålsförsäljningen med ca 1,4 miljoner.

Att finna avsättning för den kraftvärmebaserade värmen är ofta en begränsande faktor vid gårdsbaserad biogasproduktion (Edström m.fl., 2008). Värmeöverskottet efter att biogasanläggningen samt gårdens behov var tillgodosedda var stort, på årsbasis utnyttjades endast 32 % av värmen från biogaskraftvärmeanläggningen. Känslighetsanalysen visade också att just avsättningen för värmeöverskottet från kraftvärmeproduktionen är en viktig faktor för det ekonomiska resultatet. Det stämmer överens med Svensson m. fl. (2005) som säger att biogasproduktionens lönsamhet är känslig för underutnyttjande av producerad energi.

Värmeöverskottet är en betydande resurs som i teorin t.ex. skulle kunna tillgodose värmebehovet för 66 bostadshus. Men att ta tillvara denna resurs kan vara problematiskt och medföra höga kostnader speciellt om gården är placerad långt från tätorter eller där andra avsättningsmöjligheter finns. Vilken intäkt biogasanläggningen kan få för värmeöverskottet är därför mycket beroende av lokala förutsättningar såsom vilket bränsle som ersätts, kostnader förknippade med användandet, intresse från potentiella användare etc. Antagandet att 50% av överskottsvärmens potentiella värde genererar en intäkt för biogasanläggningen skulle behöva undersökas mer detaljerat.

I studien antog vi att biogasproduktionen var jämnt fördelad över året. Spannmålstorkningen, där det största värmebehovet i studerat system fanns, var dock koncentrerat till en kort period vid spannmålsskörden. Enligt Lantz (2012) har lantbruk ofta begränsad användning av värme, speciellt på sommaren. Möjliga andra användningsområden för överskottsvärmen skulle kunna vara torkning av andra grödor eller biobränslen. Tänkbart är även verksamheter med uppvärmningsbehov som exv. växthus eller bostadshus. Ett annat alternativ skulle vara om överskottsvärmen kan levereras till ett närliggande fjärr- eller närvärmenät. Alternativa avsättningsmöjligheter för biogasen skulle kunna vara att leverera till ett naturgasnät eller att uppgradera gasen så att den kan användas som drivmedel, båda dessa alternativ ställer speciella krav på yttre omständigheter (som närhet till naturgasnät eller möjlighet till samarbete med andra gårdsbiogasanläggningar). Ingen av dessa alternativ undersöktes i denna studie (se t.ex. Edström m.fl., 2008).

Högst ekonomiskt värde får värmen om den kan ersätta ett fossilt energibehov och en intressant möjlighet som undersökts av Brown och Pettersson (2009) är att använda överskottsvärmen som drivvärme för en sorptionskylmaskin för mjölkkyllning. Tekniken finns på marknaden, men är ännu inte anpassad för kylning av mjölk. Pga. högt inköpspris är den i dagsläget mycket dyrare än konventionell teknik och leder därför inte till en förbättring av ekonomin på gården.

En möjlighet med tanke på det stora överskottet av värme från rötningen i denna studie är att välja termofil (ca 55°C) rötning istället för mesofil (ca 37°C) vilket förbrukar mer värme i rötningprocessen, men däremot minskar kapitalkostnaderna för biogasanläggningen eftersom dess storlek kan minskas då uppehållstiden i röttkammaren kortas ned (Lantz 2012; Edström m.fl., 2008).

Ett annat alternativ för att minska värmeöverskottet skulle kunna vara att låta en del av kornas grovfoderintag komma från återväxtvallen. Förslagsvis skulle korna under ca 3-4 månader under sin- och låglaktation kunna utfodras med återväxt istället för vall från första skörden utan att mjölkavkastningen minskar. Eftersom vallarealen som behövs i mer och bättre vallscenariot bestäms av åtgången av vall från första skörden för att utfodra korna skulle vallarealen kunna minskas och därmed även mängden vall att röta, och som ett resultat därav överskottet av värme från biogasen. Dessutom har vi inte antagit något foderintag från bete dvs. hela grovfoderintaget sker med ensilage. Om en del av återväxten hade använts till bete hade mängden vall att skörda minskat. För stora mjölkgårdar uppstår dock lätt problem med sämre betesutnyttjande och långa transportsträckor för korna till och från mjölkning (Salomon m fl. 2008).

Som kunde utläsas av känslighetsanalysen var det mer lönsamt att ta en skörd av återväxtvallen till biogas istället för två. När återväxten endast skördades en gång minskade såväl kvaliteten som mängden vall att skörda och hantera. Kostnadsminskningen för skörd och hantering av vallen var större än intäktsminskningen från elförsäljningen.

### **7.3 Livscykelanalys**

I scenariot mer och bättre vall (II) ökade andelen vallodling på den brukade arealen och enbart högkvalitetsvall gavs som grovfoder medan andra och tredjeskörden rötades tillsammans med stallgödsel. Att enbart första skörden användes till grovfoder minskade behovet av kraftfoder, medan rötningen av andra- och tredjeskörden av vallen genererade el och värme som primärt användes för gårdens behov, men det producerades också ett betydande överskott. Dock producerades mindre spannmål och raps när andelen vallodling ökades. Innan systemutvidgning, dvs. innan undviken produktion av värme, el och spannmål togs hänsyn till

hade mer och bättre vall (II) lägre miljöpåverkan för samtliga analyserade miljöpåverkanskategorier. De största skillnaderna mellan scenarierna återfanns för primär fossil energianvändning där mer och bättre vall hade ca 30 % lägre påverkan samt övergödningspotential, där mer och bättre vall (II) hade 10 % lägre påverkan. För att mer och bättre vall (II) skulle medföra större miljövinster fordrades dels att det finns avsättning för överskottsproduktionen av värme samt att överskottsproduktionen av elektricitet och värme ersatte fossilbaserade alternativ.

När biogasvämen ersatte flisvärme (alternativ 2) var miljövinsterna marginella. Det var när biogasvämen antogs ersätta eldningsolja (alternativ 1) som de potentiella miljövinsterna blev betydande för klimatpåverkan, primär fossil energianvändning och försurningspotential. Avsättningsmöjligheter för vämen är alltså en viktig komponent för att gårdsbaserad biogasproduktion ska ha positiva miljöeffekter men det är också viktigt att ta hänsyn till viken energikälla som biogasvämen ersätter.

Elproduktionen kan levereras till elnätet. Men också för elen är det av stor betydelse vilken produktion som denna antas ersätta. I denna studie användes två elmixer hämtade från Finnveden (2008), en elproduktionsmix baserad på fossila bränslen och en baserad på mer förnyelsebara alternativ.

Sammanfattningsvis är den undvikna påverkan för samtliga analyserade miljöpåverkanskategorier 7-2,5 ggr större om fossila bränslen ersätts (alternativ 1) än om mer förnyelsebara bränslen ersätts (alternativ 2).

Tanken med konsekvensorienterade LCA-studier är att studera vad som händer när en viss förändring genomförs. Därför används, som nämnts tidigare, ofta systemutvidgning som allokeringmetod och ofta görs antagandet att marginalproduktion ersätts. I många LCA-studier har det antagits att marginella energikällor är fossila (Finnveden, 2008). Det finns en mängd faktorer att ta hänsyn till när marginalproduktionen ska bestämmas, då detta ofta beror på komplexa samband och på en mängd faktorer såsom var och när efterfrågan ökar eller minskar, politiskabeslut mm. (se t.ex. Weidema m.fl., 1999). Ett exempel på detta är Finnveden (2008) som menar att införandet av handel med utsläppsrätter kan påverka elproduktionen mot en koldioxidneutral marginalproduktion. I denna studie har ingen djupgående analys gjorts av vilken produktion som ersätts när elektricitet och värme produceras från biogas. Det kan dock konstateras att betydelsen av vilken el-och värmeproduktion som ersätts är stor och avgörande för om det är betydande miljövinster med mer vall odling och biogasproduktion på gården, i jämförelse med konventionell drift (grundscenariot (I)). Resultaten visade att när biogasen antogs ersätta förnyelsebar produktion (flisvärme och elmix låg CO<sub>2</sub>) var resultaten för grundscenariot (I) och mer och bättre vall (II) relativt lika för klimatpåverkan och försurningspotential. Primär fossil energianvändning var dock betydligt lägre för båda alternativen av mer och bättre vall (II) framförallt för alternativ 1, men också alternativ 2.

Grundscenariot (I) producerade mer spannmål och raps än mer och bättre vall (II). Denna produktion antogs ersätta ökad produktion inom EU genom ökad areal i spannmål och rapsproduktion. I likhet med elproduktion är effekten av en ökad eller minskad efterfrågan på en gröda i en viss region komplex (Schmidt, 2008). Känslighetsanalysen visade att hur undviken produktion antas produceras har stor betydelse för resultatet (Figur 14 och Figur 15) och att intensifiering av produktionen medför betydande ökning i klimatpåverkan och övergödningspotentialen. Övergödningspotentialen för grundscenariot (I) var lägre än mer och bättre vall (II) när undviken spannmålsproduktion inkluderades. Näringsläckage från undviken EU produktion uppskattades vara högre per ha och per kg producerat vete eller raps.



Anledningarna är troligtvis dels att olika metoder användes för att uppskatta kväveläckage samt att grundscenariot och mer och bättre vall antogs ligga i Uppland med relativt låg grundutlakning. Kväveutlakning från undviken spannmåls- och raps produktion uppskattades genom en kvävebalans (Schmidt, 2008) medan kväveutlakningen på växtodlingen i grundscenariot (I) och mer och bättre vall (II) uppskattades genom metoden i Aronsson och Torstensson (2004).

I denna studie gjordes bedömningen att förändringar i markkolen inte ska inkluderas i livscykelanalysen. Det bör dock uppmärksammas att bestående förändringar i markanvändningen vid spannmålsproduktion, med mer vallodling i växtföljden skulle kunna motivera att denna effekt togs med i livscykelanalysen. Sådana förändringar skulle kunna drivas av att efterfrågan på spannmål minskade genom att t.ex. köttkonsumtionen minskade och att det finns en avsättning av vallen som t.ex. biogasråvara. Det bör också nämnas att det finns viktiga fördelar med ökat markkol, så som högre bördighet, bättre jordstruktur, vattenhållande kapacitet m.m. (se tex. Reeves, 1997). Det finns också indikationer på att rötat material består av mindre, men stabilare kol och kan tänkas ge en mer beständig förändring av markkolelet i jämförelse med tex. stallgödsel (Kätterer, pers. komm., 2011). Med undantag för ökad bördighet (som avspeglades i denna studie genom en ökad skörd första och andra året efter vallbrott) så uttrycktes inte dessa positiva effekter av mer vallodling och därmed en ökad mängd markkol i resultatet. Inom metoden LCA har det utarbetats metoder för att uppskatta odlingsmetoders påverkan på jordkvaliteten (se t.ex. [www.agroscope.ch](http://www.agroscope.ch)). Mängden organiskt kol i marken har föreslagits som en indikator för jordens kvalitet. Jordkvalitet inkluderas normalt inte som miljöpåverkanskategori i LCA studier av jordbrukssystem, i likhet med tex. påverkan på biodiversitet är dessa effekter svåra att kvantifiera inom ramen för LCA. Utifrån den känslighetsanalys som gjorts kan man konstatera att inte är någon stor vinst ur ett klimatpåverkansperspektiv att förvänta för det studerade konceptet, även om man skulle räkna med markkolsinlagringen.

Varken produktion eller användning av pesticider (bortsett från dieselanvändning vid spridning) har inkluderats i livscykelanalysen. Pesticidanvändning har potentiella effekter på miljöpåverkanskategorierna humantoxicitet och ekotoxicitet, vilka inte inkluderats i denna studie. Mängden aktivsubstans som används i växtodlingen har heller inte kvantifierats. Som framgår av exempelvis tabell 1.1-1.5 (Bilaga 1) har dock växtodling med vall i växtföljden som i mer och bättre vall (II) ett lägre behov av pesticider, eftersom man oftast inte använder bekämpningsmedel i vallen, samt att vall som förfrukt normalt minskar behovet av t.ex. ogräsbekämpning i spannmålen. Betydelsen av de indirekta effekterna, dvs. av att den minskade produktion av spannmål från system med vall i växtföljden ska produceras någon annanstans är dock osäkra. Denna indirekta effekt kan leda till ökad pesticid användning någon annanstans.

#### **7.4 Kostnaden för att reducera klimatpåverkan**

Den ekonomiska analysen visade att lönsamheten försämrades när låg/högkvalitetsvallkonceptet infördes jämfört med grundscenariot. Livscykelanalysen visade samtidigt att miljöpåverkan minskade eller i sämsta fall var oförändrad beroende på vilken typ av energi som biogaskraftvärmen ersätter. Det försämrade ekonomiska resultatet kan då ses som en kostnad för att reducera klimatpåverkan.

I figur 61 redovisas kostnader och utsläpp av klimatgaser för alternativa avsättningsmöjligheter för biogaskraftvärmeproduktionen. I samtliga alternativ finns full avsättning för elektriciteten genom försäljning av överskottet till nätet. Mer och bättre vallscenario (II) alltså innebär att såväl all el som all värme som produceras med

biogaskraftvärmen finns avsättning för och ersätter fossila källor. Mer och bättre vall-scenariot (II) alt 1 utan undviken värme är detsamma som alt 1 med den skillnaden att endast den värme som motsvarar värmebehovet på gårdarna i mer och bättre vall-scenariot finns avsättning för. Mer och bättre vall-scenariot (II) alt 2 innebär att all producerad el och värme från biogaskraftvärmen ersätter förnybara källor. Intäkten från överskottsvärmen är baserad på antagandet att 50% av totala överskottsvärmens värde kommer biogasanläggningen tillgodo.

Tabell 61. Kostnaden för att reducera klimatpåvekan (CO<sub>2</sub>-ekv.)

	Grund-scenariot (I)	Mer- och Bättre vall-scenariot (II) alt 1	Mer- och Bättre vall-scenariot (II) alt 1 utan undviken värme	Mer- och Bättre vall-scenariot (II) alt 2
Kostnad, kr/år	6 435 763	8 153 555	8 153 555	8 153 555
Intäkt, kr/år	11 044 784	12 166 334	11 733 788	11 911 547
Netto, kr/år	4 609 021	4 229 052	3 580 233	3 846 871
Skillnad i netto, kr/år		-379 968	-1 028 788	-762 150
Utsläpp, ton CO <sub>2</sub> -ekv/år	2648	1140	1732	2640
Skillnad utsläpp, ton CO <sub>2</sub> -ekv/år		-1508	-916	-8
Kostnad per insparade utsläpp, kr/kg CO <sub>2</sub> -ekv.		0,25	1,1	95

Om endast den värme som kan utnyttjas på gården, dvs. 32% av totalt producerad värme från biogaskraftvärmeproduktionen avsätts och den ersätter fossila källor resulterar det i en kostnad av 1,1 kr/ kg CO<sub>2</sub>-ekv. Om även resterade värmeöverskott skulle kunna användas och ersätta fossila källor förbättras ekonomin för mer och bättre-vall-scenariot jämfört med grundscenariot och kostnaden minskar till 0,25 kr/ kg CO<sub>2</sub>-ekv. Om all producerad el och värme avsätts och ersätter förnybara källor blir miljövinsten jämfört med grundscenariot marginell och resulterar i en kostnad på 95 kr/ kg CO<sub>2</sub>-ekv.

Detta resultat kan jämföras med Andersson och Wall (2009) som, i en del i JOKER-projektet, som drevs av HS Halland och Växa Halland i samarbete med Odling i Balans och SIK (Institutet för livsmedel och bioteknik), för två svenska gårdar med växtodling respektive grisproduktion räknat ut marginalkostnaden för att reducera klimatpåverkan till 0,2-3 kr per kg CO<sub>2</sub>-ekvivalent.

## 8 SLUTSATSER

- En bra avsättning för biogasen (ersättning av fossil el + värme) var grundläggande för systemets miljöfördelar såväl som för dess ekonomi, jämfört med utgångsläget i grundscenariot. Systemet kan då gå från att vara energikonsument till energiproducent.
- Värmeöverskottet efter att biogasanläggningen samt gårdens behov var tillgodosedda var stort, på årsbasis utnyttjades endast 32 % av värmen från kraftvärmeanläggningen.

Känslighetsanalysen visade också att just avsättningen för värmeöverskottet från kraftvärmeproduktionen var en faktor med stor påverkan på det ekonomiska resultatet.

- Två exempel på osäkra variabler som kan påverka både det ekonomiska resultatet och miljöpåverkan är växttillgängligheten för kvävet i rötresten, som påverkar hur mycket handelsgödsel som behöver tillföras, och transportsträckan vid vallskörd och rötrestspridning, eftersom stora volymer är i omlopp.
- Den potentiella positiva miljöeffekten av ökad vallodling och biogasproduktion berodde i hög grad på vilken energikälla som biogasenergin antogs ersätta. Ersatte biogasenergin bara förnyelsebara alternativ så uppvägdes den positiva miljöeffekten i princip av den indirekta effekten från minskad spannmålsproduktion.
- Miljöpåverkanskategorierna klimatpåverkan, övergödningspotential samt försurningspotential dominerades av gårdarnas växtodling följt av emissioner från stall och djur, till skillnad från inköpt kraftfoder, gårdarnas uppvärmningsbehov, lagring av gödsel, mm.
- Klimatpåverkan var 57 % lägre för mer och bättre vall (II) jämfört med grundscenariot om den producerade elektriciteten och värmen ersatte fossila alternativ, och enbart 0,4 % lägre om den ersatte förnyelsebar energi. Vid antagandet att avsättning för överskottet av den producerade värmen saknas blir klimatpåverkan 35% lägre för mer och bättre vall när överskottselektriciteten ersätter fossila alternativ.
- Övergödningspotentialen var lägst i grundscenariot (I) när hänsyn tagits till undviken spannmålsproduktion. Skillnaden mellan grundscenariot (I) och mer och bättre vall (II) om biogasenergin ersätter fossila energikällor, var dock mycket liten.
- När biogas-el och biogas-värme i mer och bättre vall (II) ersatte fossila bränslen så blev användandet av primär fossil energi negativ, dvs. att den producerade biogasenergin räckte till att kompensera både för den fossila energi som används på gården, och att minska användandet av fossila bränslen på annat håll.
- Försurningspotentialen var 11 % lägre för mer och bättre vall (II) när biogasenergin ersatte fossila bränslen jämfört med grundscenariot (I), men enbart 2,5 % lägre om förnyelsebara alternativ ersattes. Vid antagandet att avsättning för överskottet av den producerade värmen saknas blir försurningspotentialen 2% högre för mer och bättre vall (II) än för grundscenariot (I) när den producerade elen ersätter fossila alternativ.
- Det ekonomiska resultatet var sämre för mer och bättre vall-scenariot jämfört med grundscenariot, eftersom intäkterna inte ökade i samma omfattning som kostnaderna. Förutom drift- och investeringskostnader för biogasanläggningen ökade vallskördekostnaderna. På intäktssidan tillkom intäkter från försäljning av all el som producerades i kraftvärmeanläggningen samt den del av värmen som kunde avsättas på gårdarna. Dock minskade intäkterna från spannmålsförsäljningen.
- Resultaten från denna studie tyder på att två skördar skulle ge ett bättre ekonomiskt utfall än tre skördar när vall ska skördas till biogas. Dock är en osäkerhet påverkan på biogasutbytet av ett senare skördat ensilage, vilket skulle behöva studeras vidare, exempelvis i utrotningsförsök.
- Det sämre ekonomiska resultatet för mer och bättre vall-scenariot kan ses som en kostnad för reducerade emissioner av klimatgaser. Om endast den värme som kan förbrukas på gården utnyttjas och den ersätter fossila källor resulterar det i en kostnad

av 1,1 kr/kg CO<sub>2</sub>-ekv. Om även resterade värmeöverskott skulle kunna användas på gården (exempelvis för uppvärmning av kycklingstallar eller växthus) och ersätta fossila källor, resulterar det i en kostnad på 0,25 kr/kg CO<sub>2</sub>-ekv. Om överskottet istället antas ersätta förnyelsebara källor blir miljövinsten jämfört med grundscenariot marginell och resulterar i en kostnad på 95 kr/kg sparade CO<sub>2</sub>-ekv.

- Om flera av de faktorer som undersöktes i känslighetsanalysen infaller, exempelvis lägre kostnader för vallskörd och ensileringsmedel och högre intäkter från överskottsvärmen, kan en ekonomisk brytpunkt nås, där mer och bättre vallscenariot blir lika lönsamt som grundscenariot, samtidigt som det kan generera flera miljöfördelar.
- Det studerade konceptet, att använda högkvalitetsvall till mjölkkor och lågkvalitetsvall till biogas, kan ses som ett sätt att möta utmaningen att få fram högkvalitativt foder och samtidigt stimulera till en ökad svensk biogasproduktion, men behöver utformas på rätt sätt (framför allt så att värmen tas tillvara), för att ske med samma lönsamhet som dagens produktion.

## 9 REFERENSER

### 9.1 Personliga referenser

Neuman, Lars. LRF Konsult, Ulricehamn.

Gunnarsson, Birgitta. Grovfoderrådgivare, Hushållningssällskapet i Kristianstad.

Mellkvist, Eva. Jordbruksverket, Jönköping.

Salomon, Eva. Forskare, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.

Påhlstorp, Sven. Abetong, Dalby.

Karlsson, Henrik. Hushållningssällskapet Rådgivning Agri, Kalmar.

Pauly, Thomas. Forskare, Husdjurens utfodring och vård, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

Edström, Mats. Forskare, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.

Kätterer, Thomas. Professor, Mark och miljö, F-grupp Växtnäring och markbiologi, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

### 9.2 Internetreferenser

Abetong AB. 2011. *Behållare 4:10 Höjd 3 m, volym 125–2980 m<sup>3</sup>*. Internet, hämtad 2011-11-20.

[http://www.heidelbergcement.com/se/sv/abetong/vara\\_produkter/lantbruk/behallare/index.htm](http://www.heidelbergcement.com/se/sv/abetong/vara_produkter/lantbruk/behallare/index.htm)

Agriwise, 2011. *Områdeskalkyler*. Inst för ekonomi, SLU <http://www.agriwise.org/>.

Agriwise. 2007. *Databoken 2008*.

[http://www.agriwise.org/databoken/databok2k8/databok2008htm/kap11/18\\_kostnadsexempel\\_for\\_plansilo.htm](http://www.agriwise.org/databoken/databok2k8/databok2008htm/kap11/18_kostnadsexempel_for_plansilo.htm).

Energimyndigheten. 2011a. *Varmvatten och varmvattenberedare*.

<http://energimyndigheten.se/sv/hushall/Din-ovriga-energianvandning-i-hemmet/Vatten-och-varmvattenberedare/>

Google Maps (2011). Internet. Hämtad 2011-11-29. <http://maps.google.com/>

Greppa Näringen. 2010. <http://www.greppa.nu/>

Lantmännen. 2009. Rätt utsädesmängd. Internet, hämtad den 1 november 2011.

<http://www.swseed.se/sitebase/Default.aspx?f=content.aspx?menuid=781>

Naturvårdsverket. 2011. Energiinnehåll och densitet för bränslen. Internet, hämtad 2011-12-01. <http://www.naturvardsverket.se/sv/Start/Klimat/Utslappsminskning/Berakna-utslapp/Energiinnehall-och-densitet-for-branslen/>

Nilsson, C. 2008. *Är det ekonomiskt motiverat att vara noggrannare när man täcker sin plansilo?*, <http://www.svenskmjolk.se/Mjolkgarden/Foder/Fodermedel/Vall-och-bete/Ekonomi/Plansilons-tackning---ar-det-motiverat-att-vara-noggrannare/>

Norfor. 2010. <http://www.norfor.info/>

NTM (Nätverket för transport och miljö). 2011. Fuels. Internet, hämtad 2011-12-01.  
<http://www.ntmcalc.se/index.html>

Preem. 2012. Produktblad Eldningsolja 1 E32.  
[http://www.preem.se/templates/ProductInformation\\_\\_\\_1008.aspx](http://www.preem.se/templates/ProductInformation___1008.aspx)

SCB. 2010b. *Tjänsteprisindex, årsförändring*  
[http://www.scb.se/Pages/TableAndChart\\_\\_\\_27089.aspx](http://www.scb.se/Pages/TableAndChart___27089.aspx)

Svensk Mjölk. 2011. <http://www.svenskmjolk.se/>

Vallprognos. 2011. <http://www.vallprognos.se/> senast access 2011-11-17

### 9.3 Övriga referenser

Albertsson, B. 2009. *Riktlinjer för gödning och kalkning 2010*. Jordbruksinformation 13-2009. Jönköping, Jordbruksverket.

Albertsson, B. 2010. *Riktlinjer för gödning och kalkning 2011*. Jordbruksinformation 17-2010. Jönköping, Jordbruksverket.

Andersson, E., Wall, A. 2009. *Restriktioner av växthusgasemissioner – hur påverkas lantbruksföretagens ekonomi och produktionsinriktning?* Degree Thesis in Business Administration 559, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för ekonomi, Uppsala.

Andersson, P. A., Halling, M. 2008. *Vallfröblandningar i intensiva skördesystem*. Försöksrapport 2007 Animaliebältet. Växtodlingsförsök 2007. Resultat från regionala växtodlingsförsök utförda i Jönköping, Kalmar Kronoberg, Blekinge, Gotland och Halland Halmstad, Hushållningssällskapens Multimedia.

Aronsson H & Torstensson G. 2004. *Beräkning av olika odlingsåtgärders inverkan på kväveutlakningen*. Ekohydrologi 78, avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

ASABE, 2006. *Agricultural Machinery Management Data*. ASAE D497.5 FEB2006. St. Joseph, Michigan, USA, American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Baky, A., Sundberg, M., Brown, N. 2010. *Kartläggning av jordbrukets energianvändning*. Ett projekt utfört på uppdrag av Jordbruksverket. JTI Uppdragsrapport. JTI, Uppsala.

Baumann, H. and Tillman, A.-M. 2004. *The Hitch Hiker's Guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application*. Lund, Studentlitteratur.

Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Barraclough, P. and Kuhlmann, H. 2004. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology. II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. *European Journal of Agronomy* Vol. 20, No. 3, 265-279.

Brown, N., Pettersson, O. 2009. *Värmedriven mjölkkyllning i syfte att öka lönsamheten vid gårdsbaserad biogaskraftvärme– Förstudie. [Heat-driven milk cooling with the aim of increasing the profitability of farm-based biogas CHP – Prestudy]*. JTI-rapport Lantbruk & Industri 388, JTI- Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.

- Börjesson, P. och Berglund, M. 2003. *Miljöanalys av biogassystem*. Institutionen för teknik och samhälle, Rapport 45. Lunds tekniska högskola. Lund.
- Börjesson, P. och Berglund, M. 2007. Environmental systems analysis of biogas systems— Part II: The environmental impact of replacing various reference systems. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 31, pp. 326–344.
- Börjesson, P., Tufvesson, L. och Lantz, M., 2010. *Livscykelanalys av svenska biodrivmedel*. Institutionen för teknik och samhälle, Rapport 70. Lunds tekniska högskola. Lund.
- Cardoso, P. M., Olsson, J., deToro, A. 2009. *Manual for the JTI/SLU's Farm Machinery Cost Estimator in Excel*. Report 5, Inst för energi och teknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Clemens J, Trimborn M, Weiland P, Amon B. 2006. Mitigation of greenhouse emissions by anaerobic digestion of cattle slurry. *Agriculture Ecosystems and Environment*, Vol. 112, pp. 171-177.
- Ecoinvent Centre (2010) The Swiss centre for Life Cycle Inventories. Data base included in the software SimaPro.
- Eder, B., Schulz, H. 2006. *Biogas Praxis. Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele, Wirtschaftlichkeit*. Staufen bei Freiburg, Ökobuch Verlag.
- Edström, M., Jansson, L.-E., Lantz, M., Johansson, L.-G., Nordberg, U., Nordberg, Å. 2008. *Gårdsbaserad biogasproduktion- System, ekonomi och klimatpåverkan*. JTI-rapport Kretslopp & Avfall 42, JTI, Uppsala.
- Energimyndigheten. 2011b. *Energistatistik för småhus 2009*. ES 2011:01, Energimyndigheten, Eskilstuna.
- FAO. 2011. Energy-Smart” Food For People and Climate. Issue Paper. Food and Agricultural Organization of United Nations. Rome, Italy. 2011.
- Finnveden, G, 2008. A world with CO2 caps - Electricity production in consequential assessments *Int. J Life Cycle Assess* 2008;13:365–367.
- Flysjö, A., Cederberg, C. och Strid, I. 2008. LCA-databas för konventionella fodermedel -- miljöpåverkan i samband med produktion. Version 1. SIK-rapport nr 772-2008.
- Flysjö, A., Cederberg, C., Strid, I. 2008. *LCA-databas för konventionella fodermedel- miljöpåverkan i samband med produktion*. Version 1. SIK-rapport Nr 772, SIK. Institutet för livsmedel och bioteknik, Göteborg.
- Frischknecht R., Jungbluth N., Altaus H-J., Bauer C., Doka G., Doner R., Hischer R., Hellweg S., Hubert S., Köller T., Loerincik Y., Margni M. och Nemecek T. 2007. *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods*. Report No. 3 Swiss Center for Life Cycle Inventories, Dübendorf, December 2007.
- Gunnarsson, B. 2009. *Mer baljväxter i vallarna ger lägre kostnad för gödning och kraftfoder*. Skånska lantbruk, Nr. 1-2009: 19-20.
- Gunnarsson, C., Spörndly, R., Rosenqvist, H., Sundberg, M., Hansson, P.-A. 2007. *Optimering av maskinsystem för skörd av ensilage med hög kvalitet*. Rapport- miljö, teknik

och lantbruk 2007:06. Uppsala, Institutionen för biometri och teknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

Gunnarsson, C., Spörndly, R., Rosenqvist, H., de Toro, A., Hansson, P.-A. 2009. *A method of estimating timeliness costs in forage harvesting illustrated using harvesting systems in Sweden*. Grass and Forage Science 64: 276-291.

Halling, M., af Geijerstam, L. 2010. *Vallfröblandningar i intensiva skördesystem- Förändringar i artsammansättningen*. Försöksrapport 2009 Animaliebältet. Växtodlingsförsök 2009. Resultat från regionala växtodlingsförsök utförda i Jönköping, Kalmar-Kronoberg, Blekinge, Gotland och Halland. Halmstad, Hushållningssällskapens Multimedia: 16-20.

Harrigan, T. M. 2003. *Time-Motion Analysis of Corn Silage Harvest Systems*. Applied Engineering in Agriculture 19(4): 389-395.

Herrmann, A., Kelm, M., Kornher, A., Taube, F. 2005. *Performance of grassland under different cutting regimes as affected by sward composition, nitrogen input, soil conditions and weather- a simulation study*. European Journal of Agronomy 22: 141-158.

Honig, H. 1980. *Mechanical and respiration losses during pre-wilting of grass*. EGF Symposium 11.

Hörndahl, T. 2008. *Energy Use in Farm Buildings - A study of 16 farms with different enterprises*, Revised and translated edition. Rapport 2008:8 Fakulteten för landskapsplanering, trädgård och jordbruksvetenskap, Sveriges Lantbruksuniversitet, Alnarp.

IPCC (2006) *2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*, Eggleston, H.S., Buendia, L. Miwa, K. Ngara, T. och Tanabe, K. (eds). Volume 4: Agricultural, Forestry and Other Land Use, IGES, Japan.

ISO 14040, 2006. ISO, 14040 – Miljöledning – Livscykelanalys – Principer och struktur, 2006, International Organization for Standardization, Geneve, Schweiz.

ISO 14044, 2006. ISO 14044 – Miljöledning – Livscykelanalys – Krav och vägledning, 2006, International Organization for Standardization, Geneve, Schweiz.

Jansson, J. 2010. *Hykor utnyttjar en hög kväveintensitet*. Vallguiden 2010, Scandinavian Seed. <http://www.e-pages.dk/maskinbladet/289/6>.

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

Jönsson, N. 1981. *Kvalitetsförändringar hos vallväxter. Resultat från skördetidsförsök med olika arter och sorter*. Rapport 93, Inst. för växtodling, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

Karlsson, S. and L. Rodhe (2002). Översyn av Statistiska centralbyråns beräkning av ammoniakavgången i jordbruket- emissionsfaktorer för ammoniak vid lagring och spridning av stallgödsel. ett projekt utfört på uppdrag av Jordbruksverket. JTI Uppdragsrapport, JTI.



- Karlsson, S., Rodhe, L. 2002. *Översyn av Statistiska centralbyråns beräkning av ammoniakavgången i jordbruket- emissionsfaktorer för ammoniak vid lagring och spridning av stallgödsel. Ett projekt utfört på uppdrag av Jordbruksverket. JTI Uppdragsrapport, JTI, Uppsala.*
- Kirchgessner M, Windisch W, Muller H L & Kreuzer M. 1991. Release of methane and carbon dioxide by dairy cattle. *Agribiol. Res.* 44:2-3.
- Kuoppala, K., Rinne, M., Nousiainen, J., Huhtanen, P. 2008. *The effect of cutting time of grass silage in primary growth and regrowth and the interactions between silage quality and concentrate level on milk production of dairy cows.* *Livestock Science*, 116, 171-182.
- Lantz M, Ekman A, Börjesson P (2009). *Systemoptimerad produktion av fordonsgas – En Miljö- och energisystemanalys av Söderåsens biogasanläggning.* Rapport 69, Miljö- och Energisystem, Lunds Universitet, Lund.
- Lantz, M. 2010. *Gårdsbaserad och gårdsnära produktion av kraftvärme från biogas.* Rapport 71. Institutionen för teknik och samhälle, Lunds tekniska högskola, Lund.
- Lantz, M. 2012. *The economic performance of combined heat and power from biogas produced from manure in Sweden – A comparison of different CHP technologies.*, *Appl Energy* (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.04.015>.
- Larsson, L. 2009. *Vall på växtodlingsgården med samverkan.* *Ekologiskt Lantbruk*, 4/2009: 7-9.
- Liljeholm, M., Bertilsson, J., Strid, I. 2009. *Närproducerat foder till svenska mjölkkor- miljöpåverkan från djur.* Rapport 273, Institutionen för husdjurens utfodring och vård, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Liljenberg, R., Sundberg, M., Thylén, A. 1995. *Datorbaserat beslutsstöd för ensilering av vallgrödor. Beskrivning av beräkningsmodellen.* JTI-rapport 212, JTI, Uppsala.
- Lindén, B. 2008. *Efterverkan av olika förfrukter: inverkan på stråsådesgrödors avkastning och kvävetillgång- en litteraturöversikt.* Rapport 14, Avdelningen för precisionsodling, Sveriges Lantbruksuniversitet, Skara.
- Lindström, J., Green, O., Johnsen Höy, J. 2009. *Tab ved håndtering af ensilage på bedriften.* FarmTest Kvaeg nr 69 2009, Dansk landbrugsrådgivning, Århus, Danmark.
- Maskinkalkylgruppen. 2011. *Maskinkostnader 2011.* Maskinkalkylgruppen & HIR Malmöhus, Bjärred.
- Mörtstedt, S-E. och Hellsten, G. 1999. *Data och diagram Energi- och kemitekniska tabeller.* Liber AB. Stockholm.
- Naturvårdsverket. 2002. *Utveckling av metodik för att kvantifiera jordbrukets utsläpp av växthusgaser (Development of methodology for quantifications of emissions of greenhouse gases in agriculture).* Dnr: 108-356-01-Md. Naturvårdsverket (EPA), Stockholm.
- NeueLandwirtschaft. 2003. *Forage harvester or self-loading wagon?* *Neue landwirtschaft* 11-2003: 54-57.

- Nilsson, B., Ericson, L., Martinsson, K. 2011. *Vallens avkastning och kvalitet vid olika skördesystem i norra Sverige*. Nytt från institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap, Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå.
- Nordberg, U., Edström, M., Baky, A. 2011. *Rötning på gårdar i Uppsala och Stockholms län*. Uppdragsrapport, JTI, Uppsala.
- Nordberg, Å., Edström, M. 1997. *Optimering av biogasprocess för lantbruksrelaterade biomassor*. JTI-rapport Kretslopp & Avfall Nr. 11, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala.
- Olsson, A. C. 2010. *Tjäna pengar som gräs på ensilering*. *Husdjur*(8): 26-27.
- Pré Consultants bv. 2006. Amersfoort, Holland. [www.pre.nl](http://www.pre.nl).
- Reeves D.W. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil and Tillage Research*. Nr. 43: 131-167.
- Rodhe L, Ascue J, Tersmeden M, Ringmar A, Nordberg Å (2008). *Växthusgaser från lager med nötflytgödsel – Förhållanden i gårdsbehållare, metodikutveckling av gasmätning samt bestämning av emissioner från nötflytgödsel*. JTI-Rapport 370, Institutet för Jordbruks- och Miljöteknik, Uppsala.
- Salomon, E., Sundberg, M., Spörndly, E., Lindahl, C., Lindgren, K., Gustavsson, A. 2008. *Flöden av kväve och fosfor på stora mjölkgårdar med olika betessystem. Litteraturstudie-Beräkningar- Riskbedömning*. JTI-rapport Lantbruk& Industri 372, JTI, Uppsala.
- SCB. 2008. *Odlingsåtgärder i jordbruket 2008. Träda, slåttervall, vårkorn, havre, höstspannmål, anskaffning av stallgödsel*. MI 30 SM 0901, Statistiska centralbyrån.
- SCB. 2010a. *Normskördar för skördeområden, län och riket 2010*. Statistiska meddelanden JO15SM1001, Jordbruksverket, Jönköping.
- Schick, M., Stark, R. 2002. *Arbeitswirtschaftliche Kennzahlen zur Raufutterernte*. FAT-Berichte Nr. 588, Eidgenössische Forschungsanstalt fuer Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Tänikon TG, Schweiz.
- Schmidt, H. J., 2008. System delimitation in agricultural consequential LCA. *Int J Life Cycle Assess* (2008) 13: 350-364.
- Seibt, J. 1991. *Ensileringsförlusternas beroende av grödans torrsbstanshalt i olika silotyper. Grovfoder*. Grass and Forage Reports nr 1., Särtryck, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Singh, B.R. and Lal, R., 2005. The Potential of Soil Carbon Sequestration Through Improved Management Practicies in Norway. *Environment, Development and Sustainability* (2005): 7: 161-184.
- Soerensen, P., Mejnertsen, P., Moeller, H. B. 2011. *Nitrogen fertilizer value of digestates from anaerobic digestion of animal manures and crops*. NJF Seminar 443 Utilisation of manures and other residues as fertilizers, 29-30 November, Falköping, Sweden.
- Steineck, S., A. Gustafson, A. Richert Stintzing, E. Salomon, Å. Myrbeck, A. AlbiñochM. Sundberg (2000). *Växtnäring i kretslopp*, SLU.

Stjernman Forsberg, L., Kyllmar K. och Andersson, S., 2011. *Växtnäringsförluster i små jordbruksdominerade avrinningsområden 2009/2010* Institutionen för mark och miljö Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala ISSN 0347-9307.

Sundberg, M. 2003. Ensilering av vallfoder. Kvalitetssäkrad mjölkproduktion, Svensk Mjolk: 50.

Sundberg, M., Thylén, A. 1994. *Leaching Losses due to Rain in Macerated and Conditioned Forage*. Journal of agricultural Engineering Research 58: 133-143.

Svensson, L.M., Christensson, K., Björnsson, L., 2005. *Biogas production from crop residues on a farm-scale level: is it economically feasible under conditions in Sweden?* Bioprocess Biosyst Eng 28: 139-148.

Svensson, M., 2010. *Energibalans för biogas på mjölkgård – högkvalitetsvall till mjölkkor och lågkvalitetsvall till biogas*. Examensarbete 2010:04. Institutionen för energi och teknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

Wallman, M., Cederberg, C., Florén, B., Strid, I. 2010. *Livscykelanalys av närproducerade foderstater för mjölkkor*. Report 019, Institutionen för energi och teknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

Weidema, B.P., Frees, N. & Nielsen, A-M. 1999. Marginal Production Technologies for Life Cycle Inventories. *Int. J. LCA*. Nr. 4 (1): 48-56.

Westlin, H., Lundin, G., Anderson, C., Andersson, H. 2006. *Samverkan vid skörd, torkning och lagring av spannmål*. JTI-rapport Lantbruk & Industri 345, JTI- Institutet för jordbruks- och miljöteknik. Uppsala.

## 10 Bilagor

### 10.1 Bilaga 1 Underlag för maskin och läglighetsberäkningar

Tabell 1.1. Årligt antal operationer för växtodlingsgården i grundscenariot

Antal operationer	Korn	Höstvete	Våraps	Höstvete	Havre
Harvning	1	2	1	1	1
Kombisådd	1	1	1	1	1
Vältning	1		1		1
N-handelsgödsling		2		2	
Stallgödsling					
Växtskydd	1	2	2	2	1
Tröskning	1	1	1	1	1
Kultivering		2	2	2	2
Plöjning	1				

Tabell 1.2. Årligt antal operationer för mjölkgården i grundscenariot

Antal operationer	Vall I	Vall II	Vall III	Korn	Korn insådd	
Harvning					2	1
Kombisådd					1	1
Vältning					1	1
N-handelsgödsling	3	3	3			
Stallgödsling, flyt		2	2		1	1
Stallgödsling, djupströ					1	
Växtskydd			1		1	1
Tröskning					1	1
Kultivering					2	
Plöjning			1			

Tabell 1.3. Årligt antal operationer för mjölkgården i Mer och bättre vall-scenariot

Antal operationer	Vall I	Vall II	Vall III	Korn	Korn insådd	
Harvning					2	1
Kombisådd					1	1
Vältning					1	1
N-handelsgödsling	3	3	3			
Rötrest, flyt		1	1		1	1
Växtskydd			1		1	1
Tröskning					1	1
Kultivering					2	
Plöjning			1			

Tabell 1.4. Årligt antal operationer för växtodlingsgården i Mer och bättre vall-scenariot

Antal operationer	Vall I	Vall II	Höstvete	Havre	Korn insådd
Harvning			2	1	1
Kombisådd			1	1	1
Vältning				1	1
N-handelsgödsling	3	2	1		
Rötrest, flyt			1	1	1
Växtskydd		1	2	1	1
Tröskning			1	1	1
Kultivering			2	2	
Plöjning		1			

Tabell. 1.5. Maskinspecifikationer från Cardoso m fl. (2009) och bränsleförbrukning från sammanställning gjord av Baky m fl. (2010)

Operationer	Storlek maskin	körhastighet	FE	Bränsleförbrukning, lit/ha	
Tallrikskultivering	4m		11	0,87	8
Harvning	7m bogserad		8,5	0,92	5
Kombisådd	4m		10	0,65	10
Vältning	9m		7,5	0,85	2
N-handelsgödsling	24m, 3000lit		9	0,67	2
Rötrest, flytgödsel	tankvagn 18 m <sup>3</sup> med 12 m släpslang		7		0,63 lit/ton gödsel <sup>1</sup>
Djupströgödsel	Vertikalspridare 12m <sup>3</sup>		8		0,36 lit/ton gödsel <sup>1</sup>
Växtskydd	Bogserad 3500 lit, 24m		9	0,66	1,5
Tröskning	7,5 m		6	0,70	5 lit/ha+ 2 lit/ton+ 0,55 lit/ton halm spannmål <sup>2</sup>
Plöjning	Växelplog buren 5 skär		7,5	0,83	20,6

<sup>1</sup> Inkluderar lastning eller omrörning/pumpning samt spridning

<sup>2</sup> Spannmålshalmen på mjölkgården antogs ej hackas utan användas till djuren, medan växtgårdens halm hackades vid tröskning.

Tabell 1.6. Datum som anger från vilken dag läglighetskostnader beräknade för sådd och skörd samt läglighetsfaktorer ( kg/ha&dag) för sådd och skörd (Cardoso m.fl., 2009)

Område	Höstvete	Korn	Havre	Höstraps	Vårrops
Sådatum	15-sept	28-apr	28-apr	10-aug	28-apr
Läglighetsfaktor	30	33	30	20	29
Skördedatum	8-aug	22-aug	24-aug	9-aug	6-sept
Läglighetsfaktor	44	35	40	25	28

Tabell 1.7. Maskin- och systemspecifikationer

Parameter	Värde	Kommentar/referens
<i>Slätterkross</i>		
Slätterkross frontmonterad+ bogserad samt bredspridande, arbetsbredd	2,8+3,2	Neuman, pers komm, 2010
Effektbehov, kW	135	Specifikation från tillverkare
Körhastighet, km/h	10	Cardoso m fl., 2009
Fälteffektivitet, %	80	Cardoso m fl., 2009; ASABE, 2006
Praktisk kapacitet, ha/h	4,8	Beräknad
Bränsleförbrukning, l/ton TS	1,75	Beräknat från Flysjö m fl., 2008
<i>Strängläggare, sidläggande</i>		
Arbetsbredd, m	7,5	Sammanläggning till sträng från 12 m slätterbredd
Körhastighet, km/h	10	Cardoso m fl., 2009;
Fälteffektivitet, %	80	ASABE, 2006
Praktisk kapacitet, ha/h	4,8	Beräknad
Fuel consumption, l/ton DM	0,34	Edström, pers komm., 2010
<i>Självgående exakthack</i>		
Max teoretisk kapacitet, (ton vv/h)	100	Edström, pers komm., 2010
Motoreffekt, kW	458	Edström, pers komm., 2010
Max körhastighet, km/h	10	Schick och Stark, 2002
Fälteffektivitet, %	75 <sup>1</sup>	Harrigan, 2003
Praktisk kapacitet, ha/h	5,4-7,2	Beräknad
Bränsleförbrukning, l/ton DM	1,75	Edström, pers komm., 2010
<i>Transportvagnar</i>		
Volym vagnar, m <sup>3</sup>	40	
Fälteffektivitet, %	100	
Antal vagnar	2	Skillnad pga längre transportavstånd
	mjölkgården	
	3 växtgården	

Körhastighet väg km/h	20	Edström, pers komm., 2010
Körhastighet fält, km/h	10	antaganden
Medeltransportavstånd väg, km	0,7	
	mjölgård,	
	1,3 växtgård	
Medeltransportavstånd fält, km	0,1	antaganden
Tid avlastning, min per lass	1,62	Edström, pers komm., 2010
Transport densitet vagn, ton vv/m <sup>3</sup>	0,27	Gunnarsson m fl., 2007
Praktisk kapacitet, ha/h	6,3-10,2	Beräknad
Bränsleförbrukning lastning, l/ton TS	0,24	NeueLandwirtschaft, 2003, Edström, pers komm., 2010
Bränsleförbrukning transport, l/ton TS och km	0,27	Johnsen Höy, 2009
Bränsleförbrukning avlastning, l/ton TS	0,09	Edström, pers komm., 2010
<hr/>		
<i>Lastmaskin 12 ton</i>		
Antal	2	
Effekt, kW	115	
Bränsleförbrukning, l/h	17	Maskinkalkylgruppen, 2011
Densitet i plansilo efter packning, kg TS/m <sup>3</sup>	Ca 220-230	
<hr/>		

SLU  
Institutionen för energi och teknik  
Box 7032  
750 07 UPPSALA  
Tel. 018-67 10 00  
pdf.fil: [www.slu.se/energi och teknik](http://www.slu.se/energi och teknik)

SLU  
Department of Energy and Technology  
Box 7032  
SE-750 07 UPPSALA  
SWEDEN  
Phone +46 18 671000