

2013-02-26

Slutrapport för forskningsprojekt finansierat av SLF

Titel: **Potentiella nettoreduktioner av växthusgasutsläppen från nordisk mjölkproduktion genom ökad kolinlagring i gräsmarker**

Kontraktssnr: V0930061 (program Mjolk)

## **Bakgrund**

Jordbrukets utsläpp av växthusgaser domineras av lustgas från kvävet omsättning i marken och metan från djurhållningen, medan en mindre del är koldioxid från dieselanvändningen i jordbruket. Ökad kolinlagring i mark bedöms som en intressant åtgärd i jordbrukets klimatarbete och i den senaste utvärderingen från FN:s Klimatpanel om potentialer för utsläppsminskning i jordbrukssektorn beskrivs denna åtgärd som viktig för det globala jordbruk. Uppemot 90 procent av den tekniska potentialen till utsläpps begränsning i jordbruket år 2030 bedöms kunna uppnås genom ökad kolinlagring i mark och vegetation med hjälp av förändrade odlingsåtgärder, ändrad skötsel av betes- och gräsmarker, restaurering av mulljordar och degraderad mark, produktion av bioenergi och förbättrad vattenhushållning (Smith m fl, 2007).

Den kvantitet kol som finns i mark eller vegetation vid ett givet tillfälle benämns *kolförråd*. Kolet är inbyggt i det organiska materialet i marken, dvs i mulden. Cirka 58 procent av mulden (räknad som torrsubstans) består av kol. Odling av framförallt ettåriga grödor leder ofta till att markens organiska material bryts ned och då förlorar marken kol i form av koldioxid. Världens jordbruksmark har varit en källa till kolutsläpp sedan människan började bruka marken för runt 10 000 år sedan och så mycket som 30-75 procent av det ursprungliga markkolet beräknas ha gått förlorat (Lal, 2007). Men odlingsåtgärder kan också leda till att kol byggs in i det organiska materialet och därmed ökar mullhalten och markens kolförråd. Marken blir en *kolsänka* när kolförrådet ökar, förutsatt att detta kol binds in för en lång tid.

Vall- och gräsmarker dominerar markanvändningen i den svenska mjölk- och nötssektorn och denna markanvändning är positiv för att upprätthålla markens organiska material. Gräsmarkernas betydelse för att hålla kolet i marken framkommer även i rikstaxeringens undersökningar av den svenska åkermarken där halten organiskt material genomgående är 0,5-1 procentenhet högre på nötkreatursgårdar jämfört med andra gårdar vilket framförallt bedöms vara en effekt av vallodlingen (Eriksson m fl, 2010). Ett stort antal internationella studier visar att när gräsmarker, särskilt betade sådana, omvandlas till åkermark med årliga grödor minskar markens kolförråd avsevärt medan motsatsen, en transformering av åkermark till gräsmarker, ökar markens kolförråd (Guo och Gifford, 2002).

I detta forskningsprojekt har vi undersökt hur olika foderstater till mjölkkor kan påverka potentialen för kolinlagring i åkermark och vilken betydelse denna kolinlagring har i förhållande till övriga utsläpp av växthusgaser. Detta har vi gjort genom att studera och beräkna kolbalanser i marken vid odlingen av foder i tre olika mjölkfoderstater samt beräkna växthusgasutsläpp från mjölkproduktionen. De tre foderstaterna utgörs av 1) ett basalternativ som representerar utfodringen i en typisk mjölkproduktion av idag; 2) ett majsalternativ som innebär att en del av vallfodret ersätts av majsensilage samt 3) ett alternativ med ökat

vallfoder som innebär en foderstat med hög andel vallfoder av hög kvalitet. Dessa alternativ benämns hädanefter ”basfoderstaten”, ”majs & vall”, ”mera vall”.

## Material och metoder

### Foderstater och modellering av mjölkgårdar

Foderstater för mjölkkor för olika produktionsnivåer och från olika delar av landet har sammanställts av Liljeholm m fl (2009). I detta arbete ingår en jämförelse av sju modeller för beräkning av metanavgång från djurens fodersmältning samt beräknad utsöndring av kväve och fosfor i stallgödseln för de olika foderstaterna. Från Liljeholms studie valdes tre foderstater för 9 000 kg ECM/ko och år anpassade för Västra Götaland som är en viktig region för den svenska mjölkproduktionen. Foderstaterna framgår ur Tabell 1.

Tabell 1 Foderstater i de tre olika alternativen, produktion 9 000 kg mjölk/ko och år (Liljeholm m fl, 2009)

	I	II	III	Ung kviga 2-12 mån	Äldre kviga 12-28 mån
	Basfoder	Majs&Vall	Mera vall		
	Kg TS foder per ko*år			Kg TS/kviga*år	
Gräsklöverensilage	3 242*	1 542*	4 332**	950	2 190
Bete	125	59	167	110	275
Majsensilage	0	549	0	0	0
HP-massa	0	427	0	0	0
Spannmål	1 409	1 582	876	155	26
Proteinkoncentrat	1 314	1 383	646	204	30
<b>Total</b>	<b>6 090</b>	<b>5 542</b>	<b>6 021</b>	<b>1 419</b>	<b>2 521</b>
<b>Kg mjölk/kg TS foder</b>	<b>1.48</b>	<b>1.62</b>	<b>1.5</b>		

\*10.6MJ kg DM<sup>-1</sup>, 70 g AAT kg DM<sup>-1</sup> \*\*11.4MJ kg DM<sup>-1</sup>, 80 g AAT kg DM<sup>-1</sup>

Mjölkgårdar modellerades enligt följande: Totala foderåtgången baseras på foderstaterna i Tabell 1 och beräknas för en besättning om 120 mjölkkor, 42 yngre kvigor och 67 äldre kvigor, totalt 157 djurenheter. På mjölkgården odlas grovfoder (klöver/gräs- och majsensilage, bete) samt spannmål vilket är typiskt för många svenska mjölkgårdar. Foderprodukter som köps in till gården är proteinkoncentrat och HP-massa. Proteinkoncentrat till svenska mjölkkor består idag av tre huvudingredienser: rapsmjöl, sojamjöl och betfiber, i denna modellberäkning består koncentratet av 36 procent rapsmjöl och 20 procent vardera av sojamjöl och betfiber samt mindre mängder agrodrink, palmkärnexpeller och fettsyror, ca 5 procent vardera. I basfoderstaten adderas 275 kg betfor per ko och år till detta koncentrat och i foderstaten Majs&vall adderas 85 kg soja/ko och år där det dessutom utfodras ensilerad HP-massa för att ersätta en del gräsensilage (Tabell 1)

Skördenivåer av vall, majs och spannmål på de modellerade gårdarna baseras på officiell skördestatistik, fältförsök och även diskussioner med rådgivare. Förluster (respiration och foderspill) inkluderas i beräkningarna och uppgår för vallkejdan till 20 procent av bruttoskörden i fält och 40 procent av bruttoskörden i bete. Den beräknade åkerarealen för de modellerade gårdarna beskrivs i Tabell 2, djurtäthet och grödfördelning i basalalternativet bedöms vara representativa med verkligheten och stämmer väl överens med typiska mjölkgårdar vid en jämförelse med statistik från Greppa Näringen.

Tabell 2 Grödfördelning, total åkerareal och djurtäthet i de tre modellerade gårdarna

	I	II	III
	Basfoder	Majs&vall	Mera vall
<b>Åkermark, ha per gård</b>			
Slåttervall	89	57	115
Betesvall*	7	5	9
Majs	0	7	0
Spannmål	44	51	28
<b>Total</b>	<b>140</b>	<b>120</b>	<b>152</b>
<b>Djurenhet per ha</b>	<b>1.13</b>	<b>1.32</b>	<b>1.04</b>

\*7 ha naturbetesmark där ungdjuren betar tillkommer dessutom, detta är lika för de tre alternativen

### Beräkning av utsläpp av växthusgaser

Utsläpp av växthusgaserna fossil koldioxid, metan och lustgas beräknas per kg mjölk (ECM) och inkluderar utsläpp från alla aktiviteter, fr o m produktionen av gårdens insatsvaror (handelsgödsel, proteinkoncentrat, diesel etc) till aktiviteter på gården (metan från djurens fodermältning, metan och lustgas från stallgödsellager, lustgas från kväveomsättning i mark och stallgödsel samt koldioxid från energianvändningen). All stallgödsel som djuren producerar används i foderodlingen och alla utsläpp från lagring och spridning av stallgödsel ingår därför. Kvävegödsling, utnyttjande av stallgödsel och dieselanvändning modelleras och beräknas i nära samarbete med SLF-projektet ”Klimatsmart mjölkproduktion – hur går vi vidare” (V0830415) och bygger på gödslingsrekommendationer, diskussioner med rådgivare och modeller för energianvändning i växtodling som framtagits av SIK i arbetet med en foderdatabas med livscykelanalysdata ([www.sikfoder.se](http://www.sikfoder.se)).

För foderråvaror som köps in till gårdarna (proteinkoncentrat, HP-massa) hämtas data om växthusgasutsläpp och markanvändning från SIK:s foderdatabas ([www.sikfoder.se](http://www.sikfoder.se)). Ekonomisk allokering används för att fördela miljöbördan mellan foderråvaror som är biprodukter (t ex rapsmjöl) och huvudprodukter (t ex rapsolja).

### Modellering av markkolsförändringar

De tre foderstaterna ger upphov till olika arealbehov av grödor, t ex majsfoderstaten kräver mindre vallodling men i gengäld majs som inte odlas för de två andra foderstaterna (Tabell 2). För att uppskatta de långsiktiga förändringarna i mängden markkol som markanvändningen i foderodling ger upphov till testas och används två modeller: *C-tool* som är utvecklad vid Århus Universitet i Danmark (Petersen, 2010) och *ICBM*, som är utvecklad vid SLU (Andrén and Kätterer 1997). Modellerna har liknande uppbyggnad och beräknar jämviktsmängder i markkol som en funktion av tillförsel av organiskt material (skörderester, stallgödsel), klimat, lerhalt, C/N-kvot och grad av jordbearbetning. Modellerna är kalibrerade efter långtidsförsök från norra Europa, framförallt från Storbritannien, Sverige och Danmark. ICBM omfattar endast matjordsskiktet medan C-tool inkluderar markprofilen till 1 m djup.

Ingångsdata för klimat och jordart baserades på förhållanden för Västra Götaland. Markdata hämtades från svenska jordartskateringen och är representativa för kreatursgårdar i Västra Götaland (Ericsson m fl, 2010).

### *Alternativ markanvändning*

De tre foderstaterna leder till olika slags markanvändning för samma mängd producerad mjölk, dels på gården och dels utanför gården eftersom mängden inköpt proteinkoncentrat skiljer sig åt. Eftersom världens jordbruksareal är starkt begränsad och har en alternativanvändning som är relevant från klimatpolitisk synpunkt, t ex för produktion av bioenergi eller som kolsänka i naturlig (ostörd) vegetation bör eventuella arealskillnader beaktas vid en jämförelse av foderstaternas totala klimatpåverkan på högre systemnivå. I detta projekt hanteras arealskillnader genom att uppskatta markanvändningens "carbon opportunity cost", dvs vilken klimatnytta som skulle erhållas vid en alternativ användning av marken. Två olika alternativanvändningar antas: i) för markanvändning i sojaproducerande regioner, som Brasilien, antogs alternativanvändning vara (fortsatt) naturlig vegetation (i detta fall brasiliansk Cerrado), ii) för markanvändning i Skandinavien antogs alternativanvändningen vara bioenergiogrödor som används för att ersätta fossil energi.

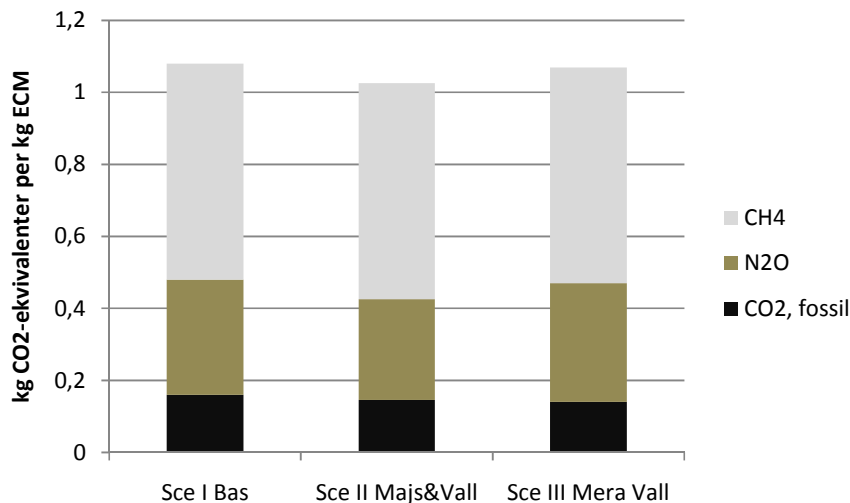
### *Bedömning av klimatpåverkan över tid*

Förändringar i åkermarkens kolförråd sker gradvis och långsamt, med omställningstider till nya jämviktslägen på åtskilliga decennier. Av detta skäl är växthusgasbalanserna (d v s summan av utsläppen av fossil koldioxid, metan och lustgas minus eventuell kolinlagring i marken) för de studerade foderstaterna inte konstanta över tid och därför kan de konventionella omräkningsfaktorerna för metan och lustgas till koldioxidekvivalenter i ett 100-årsperspektiv inte användas. I detta projekt genomförs därför istället en egen dynamisk beräkning av så kallad "integrated radiative forcing" (IRF), vilket är det mest använda begreppet för att uppskatta samlad klimatpåverkan. IRF beräknas för perioden fram till år 2100, eftersom denna tidpunkt är referens för det relativt brett accepterade målet om maximalt två graders höjning av den globala medeltemperaturen.

## **Resultat**

### *Utsläpp av växthusgaser*

Summan av utsläppen av fossil koldioxid, metan och lustgas beräknas till knappt 1,1 kg koldioxidekvivalenter per kg ECM för basfoderstaten och foderstaten "Mera Vall" medan utsläppen från "Majs&Vall" är ca 4% lägre, se Figur 1. Som väntat dominerar metan från djurens fodermältning utsläppsprofilen, för denna växthusgas är det inga skillnader mellan de tre foderstaterna.

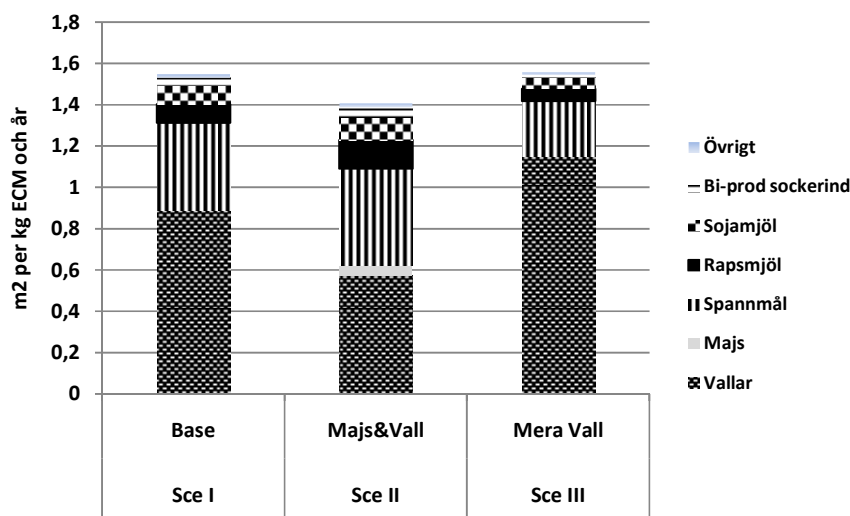


Figur 1 Utsläpp av fossil koldioxid, metan och lustgas i mjölkproduktionen (kg koldioxidekvivalenter per kg ECM) för de tre foderstaterna

De lägre totala utsläppen för foderstaten Majs&Vall beror på lägre utsläpp av fossil koldioxid och lustgas. Detta är bl a en effekt av några positiva effekter av majsodling jämför med vallodling, lägre dieselanvändning per kg foder, mindre ammoniakförluster vid stallgödselspridning (direkt nedbrukning) och mindre förluster. Majs&Vall foderstaten inkluderar också HP-massa vilket är en foderprodukt med låga utsläpp.

#### Markanvändning

Det totala årliga behovet av åkermark uppgår till 1,55 m<sup>2</sup> per kg ECM för basfoderstaten och foderstaten "Mera Vall", medan majsfoderstaten har nästan 8 procent lägre årlig markanvändning (1,43 m<sup>2</sup>/kg ECM och år), se Figur 2. De tre foderstaterna uppvisar tämligen stora skillnader i grödfördelning: markanvändningen för basfoderstaten utgörs till 58 procent av vall och av det totala arealbehovet finns 15 procent utanför gården där odling av raps och soja till proteinkoncentrat utgör den största delen. "Mera Vall" har nära 75 procent av totala markanvändningen i form av vall och endast 9 procent av arealbehovet är utanför gården eftersom mängden koncentrat är lägre i denna foderstat. Majs&Vall har endast 40 procent av markanvändningen som vall och så mycket som 22 procent av foderarealen utanför gården.



Figur 2 Markanvändning ( $m^2/kg$  ECM och år) för de tre foderstaterna

### Förändringar i markens kolförråd och alternativ markanvändning

Förändringar i kolförråd i marken är liten i förhållande till utsläppen av fossil koldioxid, metan och lustgas, ca 3-5 procent av summan av dessa. För alternativet "Mera Vall" är det en tendens till större markkolsinlagring och om skillnaderna i areal inte beaktas har detta alternativ något lägre total klimatpåverkan då markkolsförändringar inkluderas, skillnaden är dock liten i förhållande till de andra två alternativen.

Om det emellertid tas i beaktande att foderstaten Majs&Vall kräver mindre markareal (se Figur 2) och att denna inbesparade areal används för producera bioenergi, kan "majsfoderstaten" ha en lägre total klimatpåverkan än övriga alternativ. Detta beror dock i mycket hög grad på vilka antaganden som görs om vilken slags bioenergröda som produceras på den inbesparade marken, och vilken slags fossil energi som ersätts. Störst blir klimatnyttan om marken används för lignocellulosagrödor (t ex Salix) som används för att producera el som ersätter kolkraft. Klimatnyttan av överskottsmarken blir dock nästan obetydlig om den används för raps eller spannmål som används för att producera drivmedel (biodiesel eller etanol).

### Diskussion

Ökad kolinlagring i mark (så kallad kolsänka) är en åtgärd som allt mer lyfts fram i jordbrukets klimatarbete. Men åtgärden har begränsningar (Smith, 2012): för det första är potentialen att lagra in kol i jordbruksmark inte oändlig, dvs kolsänkan blir mättad när marken har nått ett jämviktsläge. För det andra kan kolsänkan göras reversibel genom förändrade odlingsinsatser, t ex när man övergår från vallodling till endast ettåriga grödor.

Resultaten i denna studie visar på en relativt liten potential för ökad kolinlagring i svensk åkermark som en åtgärd för att minska mjölkens totala klimatbelastning. En trolig förklaring till de små utslagen är att åkermarken i utgångsläget redan har ett högt kolförråd som kan vara nära eller i ett jämviktsläge. Den svenska åkerkarteringen visar att nötkreatursgårdar i Västra Götaland har ca 4,1- 4,3 procent organiskt material (mullhalt) i åkerns matjordsskikt vilket motsvarar en kolhalt på ca 2,5 procent. Mängden organiskt material är genomgående 0,5-1 procentenheter högre på nötkreatursgårdar än på växtodlings- och svingårdar (Eriksson m fl,

2010). Gårdar med nötkreatur har sannolikt haft denna inriktning med vall och stallgödsel under relativt lång tid och kontinuerligt byggt upp kolförrådet. Att dessa jordar sannolikt är nära ett jämviktsläge understöds av jämförelsen mellan markprover i åkerkarteringen uttagna med två omdrev om 10 år där inga säkra förändringar i markegenskaper har funnits mellan de två provtagningarna. Å andra sidan, om odlingsinriktningen skulle ställas om på vallgårdar med nötkreatur och istället inriktas på en växtodling med ettåriga grödor, så skulle det mycket troligt ske kolutsläpp som en följd av den förändrade markanvändningen.

För att beräkna markkolsförändringar över tid används så kallade ”process-baserade” modeller som delar in markens humus i olika pooler och som simulerar effekter av olika odlingsåtgärder och klimat på omsättningen av det organiska materialet, C-tool och ICBM är exempel på sådana modeller. Även om modellerna är kalibrerade mot långtidsförsök så finns det ännu betydande osäkerheter i beräkningar av markkol. Kunskapsläget för dynamiken av organiskt material i jordbruksmark är fortfarande relativt svagt, och det finns stora osäkerheter kring de mest grundläggande aspekter, som t ex vilka faktorer som styr hur lång livslängd markkolet har (Dungait m fl, 2012). En annan betydande källa till osäkerhet är hur stor koltillförseln till marksystemet är för gräsmarker och vallar, och detta gör det svårt att modellera effekten av olika typer av vallar (t ex gräsvallar kontra baljväxtvallar eller liggtiden för vallar). Ytterligare en oklar faktor är i vilken grad begränsad jordbearbetning (så kallad ”no-till”) leder till ökad kolinlagring, något som tidigare har setts som en potentiell åtgärd för få mera kolsänkor men där effekten nu ifrågasätts under senare år. I en nyligen publicerad översikt om kunskapsläget om jordbruksmarken som kolsänka och om hur olika processer och aktiviteter i jordbruket kan styras mot ökade kolsänkor framgår det tydligt att detta är ett dynamiskt kunskapsområde där många frågetecken ännu kvarstår (Stockman m fl, 2013).

Resultaten visar att foderstaten där majsensilage och HP-massa ersätter en del vallensilage kräver något mindre mark för att producera samma mängd mjölk som basfoderstaten och foderstaten med mera och bättre vall. Det finns ingen självklar metod för hur man ska hantera denna skillnad i en miljösystemanalys men uppenbart är att majsfoderstaten tillgodoser samma nytta (samma mängd mjölk) med ett lägre behov av den viktiga resursen mark. Om man antar att den inbesparade markresursen kan användas till att producera bioenergi som kan ersätta fossilbränsle och därmed att utsläpp av fossil koldioxid kan krediteras majsfoderstaten så blir klimatnyttan bättre för denna foderstat, förutsatt att bioenergi med hög klimateffektivitet (salix som ersätter kol i värmekraftverk) blir den alternativa markanvändningen på överskottsmarken. Svagheter i detta betraktelsesätt är naturligtvis att om man drar slutsatsen att ökad majsodling på bekostnad av vall är en bra klimatåtgärd för att frigöra mark för bioenergiproduktion så finns det ingen som helst garanti för 1) den friställda åkermarken verkligen används till bioenergiproduktion och 2) den producerade bioenergin verkligen ersätter kol eller olja, d v s vilken marginaleffekt som uppstår i energisystemet.

Slutligen, denna studie fokuserar enbart på mjölkens bidrag till växthusgasutsläpp med ett fokus på markkolsförändringar som en konsekvens av olika foderstater och olika markanvändning. Det ska betonas att även andra miljöeffekter påverkas av de olika foderstaternas markanvändning och en analys av dessa effekter inte har ingått i denna studie. Foderstaten ”Mera Vall” har en betydligt större andel vall vilket är positivt för minskat kväveläckage. Även toxiska effekter från bekämpningsmedelsanvändning skiljer sig högst sannolikt mellan de tre foderstaterna. Vall är en gröda med mycket liten kemikalieanvändning, i foderstaten ”Mera Vall” ingår mindre spannmål och proteinkoncentrat, där särskilt sojagrödan innebär stor pesticidanvändning. I foderstaten ”Majs&Vall” å andra sidan, minskas vallodlingen på bekostnad av den ettåriga majsgrödan som kräver årlig

ogräsbekämpning och i denna foderstat ingår också mera spannmål och proteinkoncentrat som totalt ökar pesticidanvändningen i foderodlingen.

### **Publikationer från projektet**

Wirsenius S, Cederberg C, Henriksson M. 2013. Soil carbon sequestration as a climate change mitigation option in Swedish dairy production. Manus. För inskickning till *Agriculture, Ecosystems & Environment*

Cederberg C, Landquist B, Berglund M. 2012. Potentialer för jordbruket som kolsänka. SIK-rapport 850, Institutet för Livsmedel och Bioteknik, Göteborg. <http://www.sik.se/archive/pdf-filer-katalog/SR850.pdf>

### **Övrig resultatförmedling**

Cederberg C. 2013. *Potential för jordbruket som kolsänka*. Presentation vid seminarium anordnat av Miljö- och jordbruksutskottet och Naturskyddsföreningen i Riksdagen, 30 januari 2013.

Cederberg, C. 2012. *Potentials for soil carbon sequestration in different livestock feed strategies*. Presentation vid seminarium anordnat av SIANI, Focali och Naturskyddsföreningen, Göteborg, 26 oktober 2012.

Cederberg C och Wirsenius S. 2012. *Including emissions from land use change and soil carbon in greenhouse gas balances for animal food products*. Presentation vid Bertebo-prisets konferens anordnat av Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien i Falkenberg, 10 september 2012.

I projektet har ingått planeringen av seminarium *Carbon Sequestration in agriculture* i samarbete med KSLA och SIANI vilket kommer att ske den 24 maj 2013 i Stockholm. Internationella experter/forskare i ämnet ”Jordbrukets potential att binda mera kol i mark och vegetation” kommer att delta vid detta seminarium. Föreliggande forskningsprojekt kommer att presenteras vid seminariet.

### **Ekonomisk redovisning - kommentar**

Som framgår av den ekonomiska redovisningen blev det ekonomiska utfallet för projektet negativt, med ett underskott på 132 tkr. Detta underskott har finansierats av fakultetsmedel från Avdelningen för fysisk resursteori, Chalmers.

### **Referenser**

Andrén O, Kätterer T (1997) ICBM: The introductory carbon balance model for exploration of soil carbon balances. *Ecological Applications* 7:1226-1236



Baker, J.M., Ochsner, T.E, Venterea, R.T., Griffis, T.J. (2007) Tillage and soil carbon sequestration—What do we really know? *Agriculture, Ecosystems and Environment* **118**:1–5

Dungait, J.A.J., Hopkins, D.W., Gregory, A.S., Whitmore, A. (2012) Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance: Invited review. *Global Change Biology* **18**:1781-1796

Eriksson J, Mattsson L, Söderström M. 2010. *Tillståndet i svensk åkermark och gröda, data från 2001-2007*. Rapport 6349, Naturvårdsverket, Stockholm.

Guo L B and Gifford M. 2002. Soil Carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology*, 8, 345-360.

Lal R, Follet R F, Stewart B A, Kimble J M. 2007. Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. *Soil Science* 172(12), 943-956.

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. ISSN 0347-9837.

Petersen BM. 2010. *A model for the carbon dynamics in agricultural mineral soils*. Faculty of Agricultural Sciences, Aarhus University, Aarhus, Danmark.

Smith, P., D. Martino, Z. Cai, *m fl.* (2007a). Agriculture. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Smith P. 2012. Soils and climate change. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 4, 539-544.

Stockman U et al. 2013. The known, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 164, 80-99.