

Foderproduktion och metanbildning i våmmen utgör 85-90% av mjölkens klimatpåverkan

- resultat från studie av mjölkproduktion i Sverige och Nya Zeeland

MARIA HENRIKSSON, ANNA FLYSJO, CHRISTEL CEDERBERG, JAN-ERIC ENGLUND, STEWART LEDGARD

Klimatpåverkan från mjölkproduktionen har varit i fokus de senaste åren, inte minst p g a djurens utsläpp av metan. Mjölkens klimatpåverkan består dock inte enbart av metan från foderomvandling i våmmen. Även foderproduktionen står för en betydande andel av växthusgaserna medan t ex transporter och gårdens elförbrukning utgör små andelar.

För att bestämma en produkts miljöpåverkan (t ex dess bidrag till klimatpåverkan, försurning eller övergödning) används ofta metoden livscykelanalys (LCA, standardiserad enligt ISO 14040 och 14044). LCA innebär att man följer en produkt "från vaggan till graven", dvs från brytning av råvaror till hantering av avfall, och beräknar alla de utsläpp/påverkan på miljön som sker under vägen. När det bara är produktens klimatpåverkan som studeras brukar detta definieras som produktens "carbon footprint" (CF). Livsmedelsproduktion skiljer sig från många andra sektorer, då det största bidraget till klimatpåverkan sker i primärproduktionsledet, till skillnad från t ex energi- och transportsektorn där största påverkan sker i användningsfasen. För mjölk står primärproduktionen för ca 80-90% av de totala utsläppen av växthusgaser och därför analyseras ofta mjölkens klimatpåverkan "från vaggan till gårdsgrind".

Växthusgaserna

De växthusgaser som släpps ut under mjölkens produktion från vaggan till gårdsgrind är i huvudsak metan (CH₄), lustgas (N₂O) och koldioxid (CO₂).

Metan bildas när organiskt material bryts ned i syrefri miljö, vilket i mjölkproduktionen framförallt sker när mikroorganismer bryter ned foder, och då särskilt fibrer i våmmen. Gödsel i stall och under lagring avger också CH₄ och då är avgången störst från djupströ (som lagras länge) och flytgödsel. Svämtäcke i gödselbrunnen anses dock reducera en del av det metan som bildas i den syrefria flytgödselmiljön.



foto: Maria Henriksson

Lustgas bildas framförallt vid mikrobiell omsättning av kväve i mark och gödsel. Lustgasbildningen styrs av flera faktorer där vatten- och syrehalt i marken/gödseln i kombination med tillgång på oorganiskt kväve och kolkälla hör till de viktigaste. Även indirekt lustgasbildning, orsakad av kväve i form av ammoniaknedfall (från gödselhanteringen) och nitrattutlakning (från odlingen), ska räknas med. Dessutom utgör tillverkningen av mineralgödsel, särskilt ammonium- och nitratgödselmedel, en viktig källa för lustgasutsläpp.

Den **koldioxid** som beaktas vid beräkning av klimatpåverkan är framförallt den som kommer från förbränning av fossila bränslen eller ingår ett långvarigt kretslopp (t ex CO₂ som frigörs vid odling av mulljordar eller eventuell förändrad markanvändning). Förbränning av fossila bränslen (diesel och olja) på gården sker i samband med foderproduktion, transporter, ev. spannmålstorkning och uppvärmning. Utanför gården sker utsläppen vid produktion

och transport av insatsvaror (foder, mineralgödsel, drivmedel, energi/elektricitet). Koldioxid som cirkulerar i ett kortvarigt kretslopp, dvs djurens och växternas andning samt årlig nedbrytning av växtrester etc., anses vara mer eller mindre i balans och räknas vanligtvis inte in i klimatpåverkan. Eventuell nettoinbindning av kol i mark (t ex vid odling av långliggande vall) bör beaktas när mjölkens klimatpåverkan ska beräknas men i dagsläget saknas värden och riktlinjer för hur detta kan göras. CO₂-utsläpp vid odling av mulljord eller förändrad markanvändning (t ex avskogning) är också svåra att uppskatta och innebär stora osäkerheter, därför är de ofta exkluderade.

Växthusgasernas effekt

Metan, lustgas och koldioxid reflekterar jordens värmestrålning i atmosfären olika effektivt. Utgår man från koldioxid och ett tidsperspektiv på 100 år framåt, så har metan 25 gånger och lustgas nästan 300 gånger starkare

effekt än koldioxid. Växthusgaserna kan utifrån detta räknas om till den gemensamma enheten, koldioxidekvivalenter (CO_2e): $1 \text{ kg CO}_2 = 1 \text{ kg CO}_2\text{e}$, $1 \text{ kg CH}_4 = 25 \text{ kg CO}_2\text{e}$, $1 \text{ kg N}_2\text{O} = 298 \text{ kg CO}_2\text{e}$.

Studie av mjölkens CF

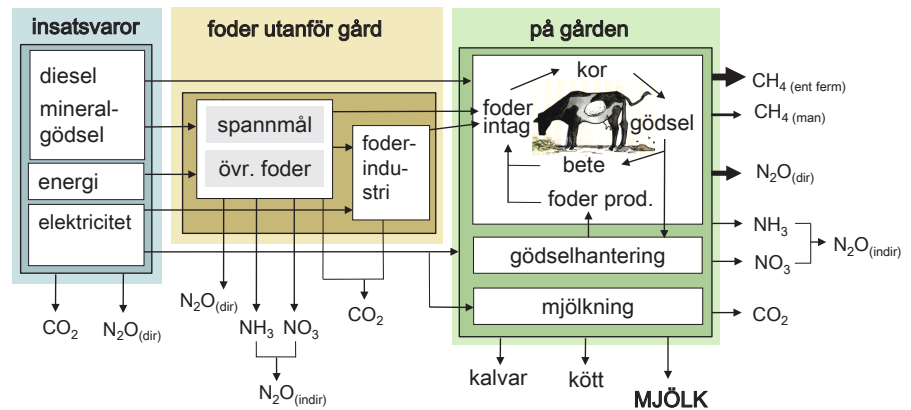
Målet med denna studie var att ta reda på vilken betydelse olika parametrar har för beräkningen av mjölkens klimatpåverkan och hur stor osäkerheten i dessa kan förväntas vara. Beräkningarna byggde på medelvärden för den totala mjölkproduktionen i Sverige respektive Nya Zeeland år 2005 sett i ett "top-down" perspektiv, d v s landets totala mjölkavkastning, foderförbrukning etc. relaterat till totalt djurantal (i motsats till "bottom-up" som bygger på data från enskilda gårdar). Använd data härrör från nationell statistik kompletterat med data från rådgivningsverksamhet, forskningsresultat och handel.

Mjölkproduktionen i Sverige (S) och i Nya Zeeland (NZ) sker i två helt olika system, vilket gör dem intressanta att jämföra. De stora skillnaderna är att i Nya Zeeland får djuren så gott som allt foder via bete medan nästan allt grovfoder Sverige skördas och ensileras. I Sverige utfodras även betydande mängder kraftfoder, vilket bidrar till en ca dubbelt så hög mjölkavkastning som i Nya Zeeland. Den högre mjölkavkastningen påverkas också av ca en månads längre laktationsperiod. Djuren i Sverige hålls på stall största delen av året medan man i Nya Zeeland endast har byggnader för själva mjölkningen.

Våra beräkningar följer mjölken från "vagga till gårdsgrind" och gränserna för systemet framgår av figur 1. Mindre utsläpp (< 1 % av totalutsläppen) från tillverkning av pesticider, mediciner, stallbyggnader är ej medräknade. Det är inte heller koldioxid från mulljordar (då jordtypen inte är specifikt kopplad till mjölkproduktion) eller förändrad markanvändning.

Den funktionella enheten (FU), d v s den enhet som alla emissioner relateras till, är i vår studie ett kg energikorrigerad mjölk (ECM). Mjölkens klimatpåverkan anges alltså i $\text{kg CO}_2\text{e}$ per kg ECM.

Eftersom mjölkproduktionen även levererar kött och kalvar för vidare uppfödning är det naturligt att en del av de utsläpp som sker i mjölkproduktionen fördelas (allokeras) på dessa produkter. Detta har dock inte gjorts i denna studie, eftersom det inte påverkar syftet



Figur 1: Mjölkens livscykel från vagga till gårdsgrind i Sverige. Bild: A. Flysjö och M. Henriksson

med studien, d v s vilken betydelse de olika utsläppskällornas har och parametrarnas inverkan. Olika sätt att allokerat utsläpp ger olika resultat för mjölkens CF, vilket vi studerat i en separat studie.

Val av olika modeller

Det är omöjligt att exakt kvantifiera utsläpp av växthusgaser i samband med mjölkproduktion, då de till största delen härrör från komplexa biologiska system (t ex metanbildning i våmmen och kvävet kretslopp i marken). Förenklade modeller, vanligen empiriska som baseras på mätstudier och kunskap om processerna, t ex metan i samband med fodermältning och lustgasemissioner från fält, används för att uppskatta utsläppen. FN:s klimatpanel (IPCC) har tagit fram internationella riktlinjer och rekommendationer för beräkning av växthusgaser på nationell nivå, vilka vi i stort sett har följt i våra beräkningar. Med emissionsfaktorer (EF) menas parametrar i modellerna som ställer utsläpp av en viss växthusgas i relation till en viss aktivitet, t ex lustgasavgång från mark i förhållande till kvävegödsling. IPCC har t ex angett EF för direkt lustgasavgång från mark till 0,01 $\text{kg N}_2\text{O-N}$ per kg N som tillförs marken. För beräkning av metanutsläpp vid fodermältningen finns det många olika beräkningsmodeller vilka alla ger mer eller mindre olika resultat beroende på bl. a. detaljeringsgrad och hur de tar hänsyn till avkastningsnivå, foderintag, foderkomponenternas egenskaper mm. I denna studie har vi använt en empirisk modell från Nya Zeeland som skattar metanavgången till 21,6 g per kg ts-intag . Vi använde samma beräkningssätt för båda länderna för att kunna utvärdera skillnader i resultaten. En svensk modell som används

i Sverige (Lingren, 1980; Bertilsson, 2001) gav ca 5 % lägre CH_4 -avgång.

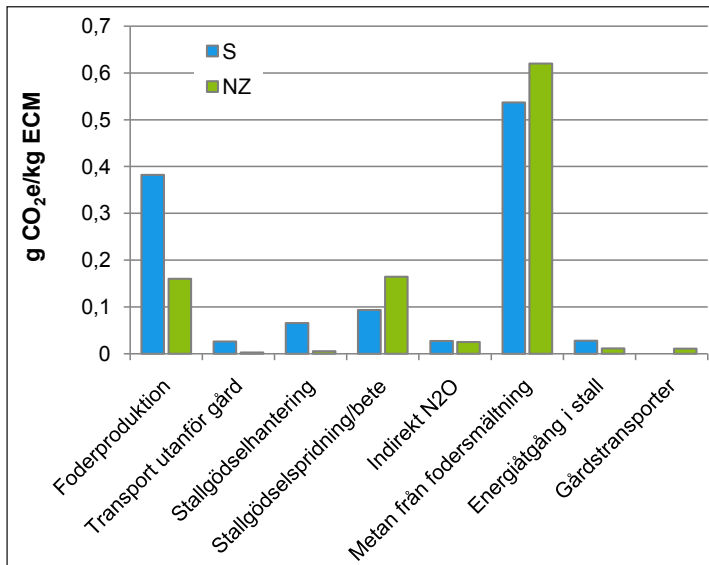
Analys av enskilda parametrar

För att undersöka betydelsen av enskilda parametrar i beräkningen så varierade vi värdet på 13 av dem: foderintag (ts), N-giva av mineralgödsel, N från växtrester, EF för våmmetan, omvandlingsfaktorn för gödselmetan (MCF), EF för direkt lustgasavgång från mark, EF för lustgas från bete, EF för indirekt lustgasavgång, ammoniakavgång från gödsel, diesel förbrukning, elförbrukning, övrig energiavgång samt transporter utanför gård. Parametrarna varierades en åt gången inom rimliga gränser (+10-100%) med avseende på den fastställda mjölkavkastningen för resp land och de olika emissionsfaktorernas osäkerhetsintervall.

Osäkerhetsanalys

Det stora problemet med att uppskatta mjölkens klimatpåverkan är de stora osäkerheter som omger beräkningarna av växthusgaser från de biologiska processerna. Störst är osäkerheten kring beräkningen av lustgas från odlad mark och bete. Till följd av den förenklade modell som används (IPCC) spänner osäkerhetsintervallet från 0,003 till 0,03 $\text{kg N}_2\text{O-N/kg}$ tillfört N (IPCC). Osäkerheten för metan från fodermältningen är något mindre och kan grovt uppskattats till ca 20 %. Koldioxid och lustgas från industriella processer och vid förbränning av fossila bränslen kan däremot beräknas med relativt hög säkerhet.

Med hjälp av Monte Carlo analys undersökte vi hur osäkerheten i de fyra mest betydelsefulla EF:erna (för våmmetan, direkt lustgas från mark vid odling respektive bete samt indirekt lustgas från ammoniakavgång)



Figur 2: Beräknade växthusgasutsläpp för olika delar i mjölkens produktionskedja i Sverige (S) och Nya Zeeland (NZ).

Tabell 1: Olika aktiviteter bidrag (i %) till den totala klimatpåverkan beräknad för mjölkproduktion i Sverige och Nya Zeeland

Aktivitet	% CO ₂ e per kg ECM		Påverkande parametrar
	S	NZ	
CH ₄ fodersmältning	46,4	62,0	TS-intag, EF _{vämmetan}
CH ₄ stallgödsel	2,8	1,1	
CH ₄ övrigt	0,9	-	
N ₂ O _{dir} stallgödsel	10,5	15,8	N i gödsel, EF _{N tillf} , EF _{N på bete}
N ₂ O _{dir} mineralgödsel	6,5	5,6	N i min.gödsel, EF _{N tillf}
N ₂ O _{dir} växtrester	4,3	0,8	N i växtrester, EF _{N tillf}
N ₂ O _{indir} NH ₃ fr stallgödsel	2,3	1,7	
N ₂ O _{indir} NH ₃ fr mineralgödsel	0,2	0,6	
N ₂ O _{indir} NO ₃ utlakning	1,6	1,2	
N ₂ O produktion min.gödsel	6,9	-	N i min.gödsel,
CO ₂ diesel på gården	7,6	1,3	dieselförbr.
CO ₂ produktion min.gödsel	3,1	5,0	N i min.gödsel
CO ₂ spridning min.gödsel (urea)	-	2,8	
CO ₂ all el (gård och industri)	0,9	1,4	
CO ₂ olja för torkning mm	2,2	0,4	foderval
CO ₂ transporter (utanför gård)	2,1	0,3	
CO ₂ övrigt (prod kemikalier mm)	1,8	0,0	
Totalt Carbon footprint	100	100	
Vämmetan	46,4	62,0	
Foderproduktion	38,9	31,3	
Tot. Vämmetan + foderprod.	85,3	93,3	

påverkade mjölkens CF. En Monte Carlo analys innebär att enskilda parametrar varierar slumpvis inom fastställda intervall för ett stort antal upprepade beräkningar. I vårt fall kördes 5000 beräkningar på mjölkens CF (för resp land) där värden för ovanstående EF valdes slumpvis inom respektive EF osäkerhetsintervall (fastställt utifrån standardavvikelse och sannolikhetsfördelning).

Resultat och diskussion

Olika aktiviteter klimatpåverkan

Den enskilda aktivitet i mjölkens produktionskedja som hade störst betydelse för klimatpåverkan (fram till gårdsgrind) var metanproduktionen vid fodersmältningen. Den stod för 46 resp 62 % av mjölkens totala klimatpåverkan för S resp NZ (tabell 1 och figur 2). Därefter kom foderproduktionen, dvs odlingen inkl. tillverkning av mineralgödsel och drivmedel, vilken bidrog med ca en tredjedel eller mer. För foderproduktionen utgjorde lustgasemissioner från marken mer än hälften följt av koldioxid från förbränning av diesel och därpå lustgas och koldioxid vid framställning av mineralgödsel. Den indirekta lustgasavgången som orsakas av nitratutlakning och nedfall av ammoniak från stall, gödsellagring och -spridning, stod för mindre än 5 % av den totala klimatpåverkan. Koldioxid från transporter och annan energiåtgång (exkl. foderproduktionen) stod för mindre än en tiondel.

Skillnader och likheter

Skillnader i mjölkens klimatpåverkan mellan Nya Zeeland och i Sverige var främst att NZ hade högre metanavgång från fodersmältningen p.g.a. en lägre mjölkavkastning medan foderproduktionen bidrog med mer växthusgaser i S än i NZ där korna själv skördar sitt foder på bete. Det senare framgår bl. a av högre koldioxidutsläpp från diesel i samband med odling samt energiåtgång mm vid torkning och i foderindustri (Tabell 1). Att lustgasutsläppen från mineralgödseltillverkningen är obefintliga i NZ beror inte på en lägre mineralgödselanvändning utan på val av gödselslag. Den genomsnittliga mineralgödsel givan i N/ha var tvärtom betydligt högre i NZ än i S, vilket kan bero på att man i NZ använder urea (lägre verkningsgrad p.g.a. högre ammoniakavgång) och inte kan utnyttja gödsel från djuren på samma sätt som i S då nästan all denna (94 %) släpps direkt på bete.

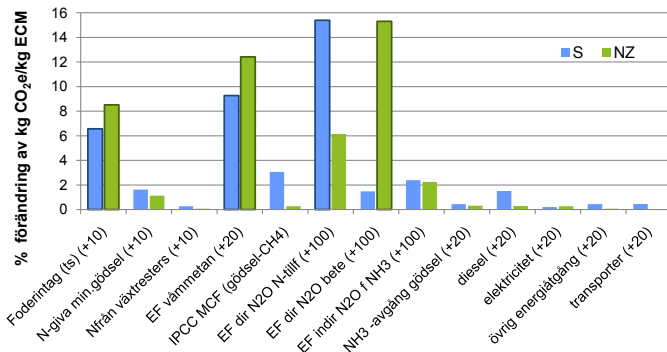
Känslighetsanalys av parametrar

När värdet ökades för en parameter i taget visade det att den totala klimatpåverkan kunde öka med upp till 15 % (figur 3). Störst påverkan hade EF för lustgas från mark som när den fördubblades till 0,02 kg N₂O-N/kg tillfört N (inom osäkerhetsintervallet) ökade mängden CO₂e/kg ECM med nästan en sjuandedel. Därefter kom EF för vämmetan som ökade mängden CO₂e/kg ECM med 12 % (NZ) respektive 9 % (S).

Stort osäkerhetsintervall

Mjölkens klimatpåverkan beräknades i medeltill 1,16 kg CO₂e/kg ECM för Sverige och 1,00 kg CO₂e/kg ECM för Nya Zeeland. Till följd av osäkerheten i de fyra mest betydelsefulla EF:erna (för vämmetan, direkt lustgas från mark vid odling resp. bete samt indirekt lustgas från ammoniakavgång) var osäkerhetsintervallen stora. För S varierade mjölkens CF mellan 0,83–1,56 kg CO₂e/kg ECM och för NZ mellan 0,60–1,52 kg CO₂e/kg ECM (konfidensintervall 2,5–97,5 %) enligt resultat från Monte Carlo analysen (figur 4).

I denna osäkerhetsanalys tog vi bara hänsyn till några av de mest betydelsefulla EF:ernas påverkan på mjölkens CF, men osäkerheter finns även i produktionsdata som t.ex. foderintag och dieselförbrukning. I denna studie beräknades mjölkens CF som nationella medelvärden, men till följd av skillnader i t.ex. management varierar detta mellan gårdar (se kommande faktablad).



Figur 3: Känslighetsanalys: procentuell förändring av mjölkens klimatpåverkan (kg CO₂e/kg ECM) när värdet på enskilda parametrar ändras (inom parentes anges ökning i % för resp parameter).

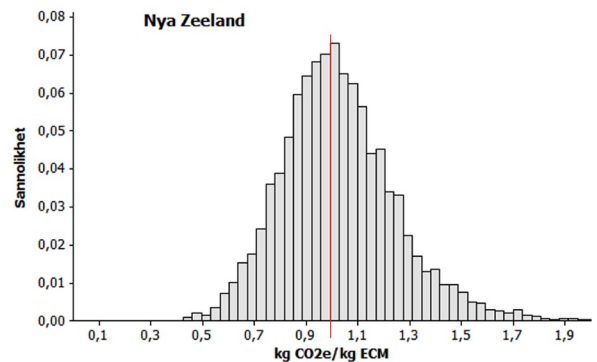
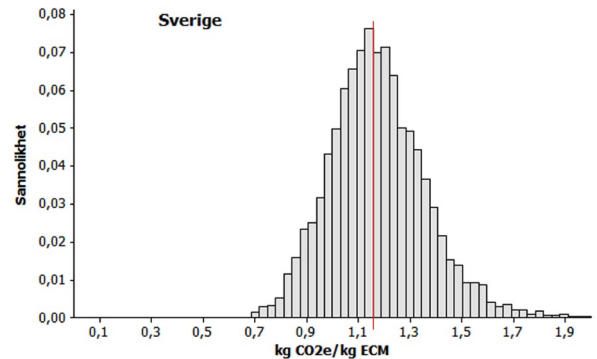
Slutsatser

- Störst betydelse för mjölkens klimatpåverkan har metanavgång från djuren, det är därför viktigt med en effektiv produktion som ger mycket mjölk per mängd producerat metan.
- Foderproduktionen har stor betydelse för mjölkens klimatpåverkan, därför är ett effektivt foderutnyttjande viktigt samt att stallgödsel och mineralgödsel utnyttjas väl i odlingen och grödorna ges optimala odlingsbetingelser.
- Beräknat värde på mjölkens klimatpåverkan (CF) har ett stort osäkerhetsintervall och det är därför olämpligt att använda "kg CO₂e/ kg produkt" som märkning av mejerivaror.
- Beräkningar av mjölks klimatpåverkan bör bara jämföras om de utförts på samma sätt, skillnader kan annars bero på metodval och inte på faktiska skillnader i mjölkproduktionen.

Läs mer i:

Flysjö A., Henriksson M., Cederberg C., Ledgard SF and Englund J-E., 2011. The impact of various parameter on the carbon footprint of milk production in New Zealand and Sweden. Agricultural systems. In press.

Flysjö, A., Cederberg, C., Henriksson, M. and Ledgard, S. 2011. How does co-product handling affect the carbon footprint of milk? – case study of milk production in New Zealand and Sweden. Int J Life Cycle Assess DOI 10.1007/s11367-011-0283-9.



Figur 4: Sannolikhetsfördelning för mjölkens klimatpåverkan i Sverige resp Nya Zeeland när hänsyn tagits till osäkerhetsintervallen för emissionsfaktorer för vämmetan, direkt lustgas från mark vid odling och bete samt indirekt lustgas från ammoniakavgång (resultat av Monte Carlo analys).

Förkortningar

CF	Carbon footprint
CO ₂ e	Koldioxidekvivalenter
ECM	Energikorrigerad mjölk
EF	Emissionsfaktor
FU	Funktionell enhet
LCA	Livscykelanalys

Projektet har genomförts vid Lantbrukets Byggnadsteknik (LBT) SLU-Alnarp samt Arla Foods och Aarhus Universitet i Danmark och är finansierat av Stiftelsen lantbruksforskning (SLF) samt Forsknings och Innovationsstyrelsen i Danmark och Arla Foods.

Kontaktpersoner:

Maria Henriksson, SLU, LBT, Box 59, 230 53 Alnarp, maria.henriksson@slu.se
Anna Flysjö, Arla Foods och Aarhus universitet, anna.flysjö@arlafoods.com

epsilon.slu.se