



Foto: Mats Gerentz

Livscykelanalys (LCA) av ensilage

– jämförelse av tornsilo, plansilo och rundbal

*Ingrid Strid
Anna Flysjö*

Mars 2007



Sammanfattning

Under de senaste åren har en databas för miljöpåverkan av olika fodermedel byggts upp på SIK, till stor del inom forskningsprojektet MAT 21. Dock saknas bra data för vissa fodermedel, däribland grovfoder som hö och ensilage. Detta projekt är ett steg i utvecklandet av en mer komplett foderdatabas. För att utveckla denna databas används verktyget livscykelanalys (LCA) för att beräkna miljöpåverkan i samband med produktion av olika fodermedel. Inom projektet jämförs miljöpåverkan mellan tre olika typer av ensilage: rundbals-, tornsilo- och plansilo-ensilage. Studien beskriver skillnaden i miljöpåverkan mellan de olika produkterna i ett antal miljöpåverkanskategorier: energi, växthuseffekt, försurning och övergödning.

Studien har initierats och finansierats av Institutionen för Husdjurens utfodring och vård, SLU (Sveriges Lantbruksuniversitet) genom forskningsledare Jan Bertilsson, som en del av arbetet inom MAT 21:s Tema Närproducerat Foder. Studien har utförts av FD Ingrid Strid, Institutionen för Biometri och Teknik, SLU tillsammans med Anna Flysjö, SIK (Institutet för Livsmedel och Bioteknik). För att göra beräkningarna har LCA beräkningsprogrammet SimaPro 7.0 använts.

Studien slutsatser finns sammanfattade i nedanstående lista.

- För växthuseffekt, försurning och övergödning var vallodlingen den helt dominerande källan (80-98 %) jämfört med den efterföljande ensilagehanteringskedjan
- För energianvändning hade ensilagehanteringskedjan störst betydelse (60 %)
- Förluster hade stor betydelse för systemens miljöpåverkan, och ensilagehanteringen bör därför optimeras för att minimera dessa
- Innan förluster räknats in var rundbalsssystemet energieffektivast, medan systemen var relativt likvärdiga ur övriga miljöaspekter
- Efter förluster räknats in var systemen energimässigt likvärdiga, medan tornsilosystemet var effektivast ur övriga miljöaspekter
- Energianvändningen för produktion av ensileringsmedel var överraskande stor; 17 % för rundbal, 23 % för tornsilo respektive 28 % för plansilo
- Genom materialåtervinning återficks 57 % av ensilageplastens energi-insats; energianvändningen för plast i rundbalsssystemet uppgick då till 14 %
- Siloanläggningarna kan minska sin miljöbelastning genom längre livslängd, gäller speciellt för tornsilo

Abstract

LCA of Silage – comparison of Tower silo, Bunker silo and Round-bales

The purpose of this study was to investigate the differences in environmental impact from three types of silage (silage from tower silo, bunker silo and round-bales) used in Swedish dairy production. The silage was studied from ley cultivation, via harvesting and silage making up to and including delivery at the feeding table. The environmental impact categories studied were: energy use, global warming potential (GWP), acidification potential (AP) and eutrophication potential (EP). The results showed only small differences between the studied silage alternatives, with round-bale silage as the most energy efficient and tower silage as the least contributing to GWP, AP and EP. Ley cultivation was the dominant source to GWP, AP and EP for all alternatives. For energy use, the subsequent silage handling chain was more important, including a surprisingly high energy use for producing silage agents. A sensitivity analysis indicated that losses can have a large impact on the environmental outcome of silage production, and that the systems therefore should be optimized to reduce losses.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	2
2	DEFINITION AV STUDIENS MÅL OCH OMFATTNING	3
2.1	STUDIENS MÅL OCH SYFTE	3
2.2	STUDIENS OMFATTNING	3
2.3	FUNKTIONELL ENHET	4
2.4	SYSTEMGRÄNSER	4
2.5	ALLOKERING	4
2.6	DATAKVALITET	4
3	INVENTERING	5
3.1	VALLODLING	6
3.1.1	<i>Odlingsbeskrivning</i>	6
3.1.2	<i>Utlakning</i>	7
3.1.3	<i>Emissioner till luft</i>	8
3.2	RUNDBALSSENSILAGE	9
3.2.1	<i>Returhantering av plast</i>	10
3.3	ENSILAGE FRÅN PLANSILO	10
3.3.1	<i>Anläggning av plansilo</i>	10
3.4	ENSILAGE FRÅN TORNSILO	11
3.4.1	<i>Anläggning av tornsilo</i>	12
4	MILJÖPÅVERKANSBEDÖMNING	12
4.1	KLASSIFICERING OCH KARAKTERISERING	13
4.2	BESKRIVNING AV VALDA MILJÖPÅVERKANSKATEGORIER	13
4.2.1	<i>Energi</i>	13
4.2.2	<i>Klimatförändring</i>	13
4.2.3	<i>Utsläpp av försurande ämnen</i>	14
4.2.4	<i>Bidrag till övergödning</i>	14
5	RESULTAT	16
5.1	SYSTEMENS TOTALA BIDRAG TILL RESPEKTIVE MILJÖEFFEKT	18
5.2	HOT-SPOT-ANALYS	18
5.3	KÄNSLIGHETSANALYS AV ENSILERINGSMEDEL	19
5.4	KÄNSLIGHETSANALYS AV FÖRLUSTER	19
6	DISKUSSION	21
7	SLUTSATSER	22
8	REFERENSER	22

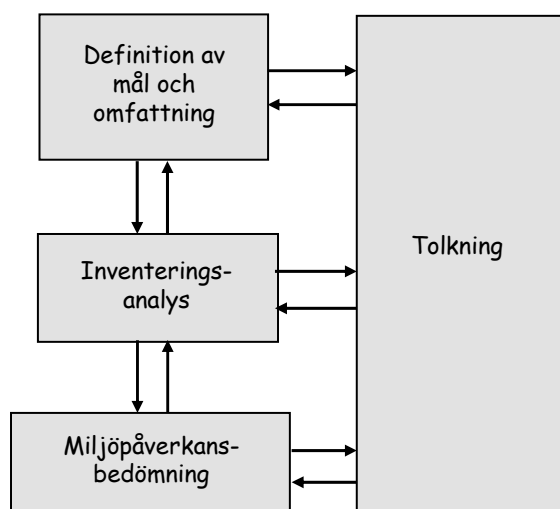
1 Inledning

Under de senaste åren har en databas för miljöpåverkan av olika fodermedel byggts upp på SIK, till stor del inom projektet MAT21. Dock saknas bra data för vissa fodermedel, däribland grovfoder som hö och ensilage. Grovfoder i form av hö, ensilage och bete står för nästan hälften, 46 % av ts, av fodret till svenska mjölkkor, närmast följt av spannmål med 23 % av ts (Emanuelsson, m.fl., 2006). Det är därför angeläget att studera produktionen av grovfoder för att tillsammans med kraftfoderproduktionen bidra till en helhetsbild av fodrets miljöpåverkan.

Detta projekt, som fokuserar på ensilage, är ett steg i utvecklandet av en mer komplett foderdatabas. Studien kommer att följas upp av ett annat, större forskningsprojekt som syftar till att ytterligare utveckla ovan nämnda foderdatabas (finansierat av SLF under 2007-2008). I detta kommande projekt kommer data för hö att tas fram liksom data för fler typer av kraftfoder. Hö-beredningen kommer att baseras på samma vallodling som i denna studie, och blir därmed direkt jämförbar med resultaten i denna studie. För att utveckla denna databas används verktyget livscykelanalys (LCA) för att beräkna miljöpåverkan i samband med produktion av olika fodermedel.

Livscykelanalys (LCA) är en metod där man kartlägger den potentiella miljöbelastningen som orsakas av en produkt¹ under dess livslängd. Genom att följa produkten från ”vaggan till graven”, från utvinning av råmaterial till avfallshantering av produkten, kartläggs resursförbrukning, energianvändning samt utsläpp till luft, vatten och mark för de olika delarna av livscykeln. Metodiken för utförande av LCA finns standardiserad enligt ISO 14040-14043.

I en LCA ingår fyra obligatoriska delsteg, definierade i ISO standarden; definition av mål och omfattning, inventeringsanalys, miljöpåverkansbedömning och slutligen tolkning av resultat, se Figur 1.



Figur 1: LCA-studiens faser enligt ISO 14040 (1997).

¹ Även material, processer eller tjänster kan undersökas med LCA.

I definition av mål och omfattning ska syftet med studien anges, hur resultatet ska användas och skälen till varför studien utförs. En utförlig beskrivning av det undersökta systemet ska finnas med, i vilken systemets funktion, gränsdragningar och antaganden ska beskrivas och motiveras. En räknebas för studien ska definieras till vilken resursförbrukning, energianvändning och emissioner kan relatera. I miljöpåverkansbedömningen åskådliggörs den miljöpåverkan som det undersökta systemet ger upphov till. I det fjärde och sista delsteget, tolkning och resultat, analyseras resultaten från inventeringsanalysen och miljöpåverkansbedömningen mot bakgrund i det som stadgats i den första delen av studien, definition av mål och omfattning.

2 Definition av studiens mål och omfattning

Inom projektet kommer olika alternativ av ensilage att studeras för att ta reda på hur miljöpåverkan i samband med produktion av respektive produkt skiljer sig.

2.1 Studiens mål och syfte

Målet med projektet är att bygga upp en databas för olika typer av grovfoder. De grovfoder som är planerade att studeras är olika typer av ensilage: rundbals-, tornsilo- samt plansilo-ensilage. Syftet är att databasen skall vara uppbyggd på ett sådant sätt att det skall vara möjligt att jämföra miljöpåverkan i samband med produktionen av de olika fodren. Detta sker genom att emissioner och resursanvändning beräknas och analyseras i samband med uttag av insatsvaror för produktion av råmaterial och energianvändning vid tillverkning av produkten. Samtliga fodermedel skall betraktas ur ett livscykelerspektiv, eller från ”vaggan” till ”grind”, eftersom slutprodukten kommer att vara en mängd färdigt foder på gård (användning av den färdiga produkten samt vad som händer efter användning kommer inte att studeras inom ramen för det här projektet). För grovfoder, som antas användas på den gård det produceras på, ingår processer fram till och med utfodring på foderbord.

Studien beskriver skillnaden i miljöpåverkan mellan de olika produkterna i ett antal miljöpåverkanskategorier: energi, växthuseffekt, försurning och övergödning. De metoder som har använts för att beräkna miljöpåverkan för de olika miljöpåverkanskategorierna samt de karakteriseringsindex som använts finns beskrivna under avsnitt 4 Miljöpåverkansbedömning samt i tabell 4.1 till 4.3.

Studien har utförts av SLU (Sveriges Lantbruksuniversitet) och SIK (Institutet för Livsmedel och Bioteknik). För att göra beräkningarna har LCA-beräkningsprogrammet SimaPro 7.0 använts.

2.2 Studiens omfattning

I studien jämförs tre olika ensilage: rundbals-, tornsilo- och plansilo-ensilage. De antas ha följande torrsustanshalt: rundbalsensilage (40%), ensilage från plansilo (30%) och ensilage från tornsilo (35%).

För samtliga ensilage typer börjar livscykeln med utvinning och produktion av råmaterial och energi för framställning av insatsmedel till odlingen, tar med maskinarbeten i alla faser, fortsätter med produktion av siloanläggningar och insatsmedel för ensilagehanteringen och slutar vid utfodring på foderbord. Ingående delsystem finns schematiskt beskrivna i Figur 2.

2.3 Funktionell enhet

Den funktionella enheten utgör studiens räknebas och skall avspegla produktens nytta samt vara praktisk mätbar. I den här studien är den funktionella enheten ett ton ts ensilage levererat på foderbordet.

2.4 Systemgränser

Utgående från måldefinitionen bestäms systemets avgränsningar. Avgränsningarna skall sättas så att målet med studien uppnås. Systemgränserna fokuserar på vad som ej är medtaget i studien medan det i inventeringen beskrivs vad som verkligen ingår i det studerade systemet. Systemgränserna i den här studien utgörs av utvinning och produktion av insatsvaror och energi som används vid produktion av respektive produkt.

2.5 Allokering

Allokering betyder i LCA sammanhang att fördela miljöpåverkan och resursbehov mellan produkter. Allokeringssituationer uppkommer till exempel när det, som i de flesta produktionsanläggningar, produceras mer än en produkt i en tillverknings process, eller när vi får ut flera produkter från en råvara.

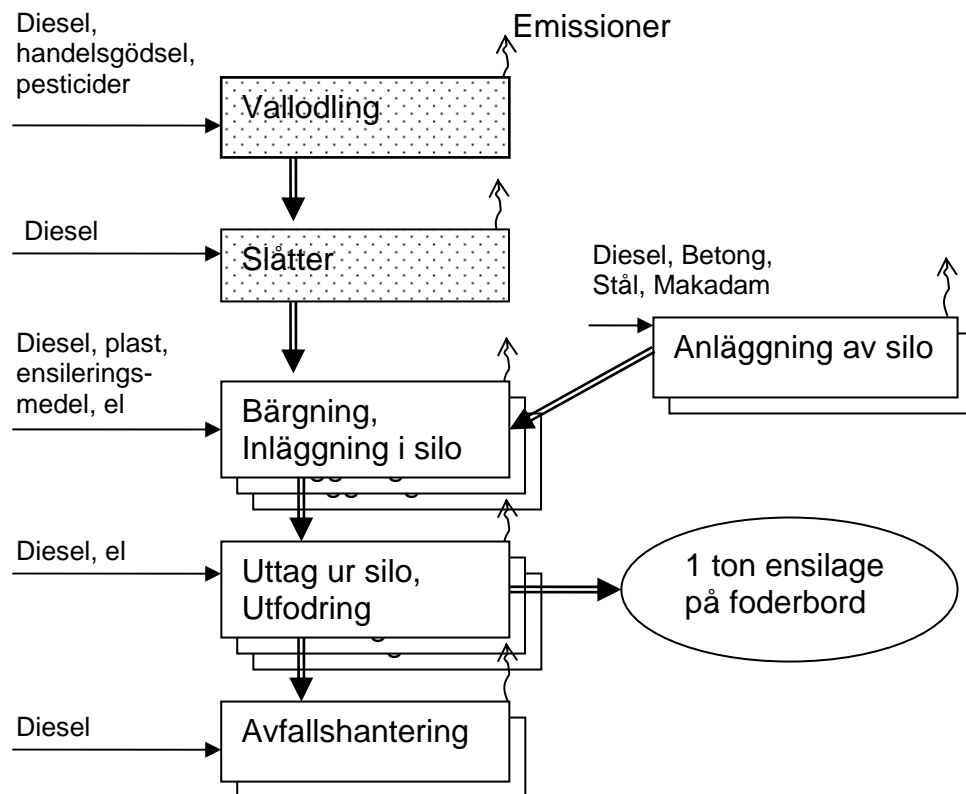
I denna studie uppstod allokeringsbehov vid beräkning av odlingsinsatser för år 0 i växtföljden, då både vårkorn (det årets huvudgröda) och den insådda vallen växte samtidigt. De processer som berördes allokerades med 50 % till kornet respektive vallen, se Tabell 2.

2.6 Datakvalitet

Data skall vara tidsmässigt representativa och beskriva systemet i dagsläget. Data skall även vara geografiskt och teknologiskt representativa, det vill säga ta hänsyn till de specifika systemens geografiska placering och tekniknivå. Den tänkta mjölkgården antogs ligga i Västra götalandregionen, där mjölkproduktion är vanligt förekommande. Gårdens storlek antogs vara ca 100 kor + rekrytering (har ingen direkt betydelse för beräkningarna). Många datauppgifter om t.ex. plasttillverkning och siloanläggning har tagits direkt från tillverkare. Andra uppgifter kommer från vetenskaplig litteratur, rapporter eller personlig kontakt med andra forskare. Data för produktion av handelsgödsel har hämtats ur Davis & Haglund (1999). Data för andra insatsmedel, t ex el, diesel, transporter har hämtats ur en databas i programvaran SimaPro (Pré, 2004): Ecoinvent (2003).

3 Inventering

Systemet delades in i en gemensam vallodlings-slätterdel och tre alternativa bärgnings-ensilerings-utfodringsdelar enligt Figur 2a. I Figur 2b illustreras systemen med fotografier.



Figur 2a. Schematisk bild av de studerade systemen. De första två delprocesserna – vallodling och slätter – är gemensamma för alla system medan de övriga skiljer sig mellan de alternativa ensilagehanterings-sätten. Pilarna symboliserar material- och substansflöden.



Figur 2b. Bilden visar från vänster resp. uppifrån: tornsilo (1200 m³), plansilo (1200 m³/fack) och rundbalar (1,4 m³/bal). Foto: Jan Forsell, Kjell Israelsson resp. Mats Gerentz.

3.1 Vallodling

3.1.1 Odlingsbeskrivning

Data för vallodlingens regionberoende variabler togs från Västra götalandregionen. Skörden antogs vara 7 ton ts/ha, år i en treårig vall med två skördar per år. Växtföljden kring vallen syns i Tabell 1.

Tabell 1. Växtföljd för treårig vall i studien

År	Gröda
0	Vårkorn med vallinsådd
1	Vall I
2	Vall II
3	Vall III
4	Höstvete
5	...

Vallen har en klöverandel på 30%, och ett N-gödselbehov på 75 kg N/ha (SJV, 2005). Enligt SCB:s gödselmedelsundersökning (SCB, 2006), gödslas svenska vallar med i genomsnitt 75,6 kg N/ha. Två tredjedelar av detta kommer från handelsgödsel och en tredjedel från stallgödsel. Stallgödsel ska i första hand enligt Jordbruksverkets riktlinjer för gödsling läggas ut tidig vår när marken bär (SJV, 2005). Antaganden i denna studie bygger på dessa uppgifter, och har därför satts till en totalgiva på 75 kg/ha fördelat på 50 kg handelsgödsel och 25 kg stallgödsel². Med ett N-innehåll i nötgödsel på 15 kg N/10 ton (SJV, 2005) behövs 17 ton stallgödsel, vilken antogs spridas med slangspridare under tidig vår. Resterande 50 kg N applicerades med handelsgödsel efter förstaskörden inför andraskörden.

Vallinsådden gjordes samtidigt med stödgrödan med kombisådd-teknik. Uppgifter om antal körningar kommer från en JTI-rapport om vallodling för biogasändamål (Sundberg m.fl., 1997). Jordbearbetning före, sådd av stödgrödan/vallen liksom ogräsbekämpning under år 0 har belastats vallen med 50% (se Tabell 2). Däremot har gödsling i samband med sådd inte belastats vallen, eftersom vårkornet antas förbruka merparten av detta. Utsädesmängden uppskattades till 5 kg frö/ha (Wallenhammar, 2005), där miljöbelastningen för vallfröodling antas vara proportionell mot vallodling; normalskörd vid vallfröodling är ca 150 kg/ha, vilket ger att utsädesodlingen tillför $[5/150=0,033]$ 3,3% till vallodlingens totala miljöbelastning. Det genomsnittliga antalet maskinkörningar och den genomsnittliga mängden insatsmedel per vallskördeår har använts som bas för miljöpåverkansbedömningen (se avsnitt 4), och visas i den högra kolumnen i Tabell 2.

² På en verklig gård lägger man troligen antingen mer stallgödsel till första skörden (30 ton/ha), eller ingen alls. Syftet med fördelningen i denna studie är att visa en genomsnittlig miljöbelastning för vallodling i Sverige.

Tabell 2. Maskinoperationer och insatsmedel för odling av vall

Vallodling		År 0	Allokering till vall år 0	År 1	År 2	År 3	genomsnitt per ha och skördeår
stubbearbetning (före vårgröda och vall samt vid vallbrott)	Antal körningar	1	0.5	0	0	1	0.5
plöjning (före vårgröda och vall)	Antal körningar	1	0.5	0	0	0	0.17
harvning (före vårgröda och vall)	Antal körningar	2	1	0	0	0	0.33
sådd (insådd med vårgröda; kombisådd)	Antal körningar	1	0.5	0	0	0	0.17
vältning	Antal körningar	1	0.5	0	0	0	0.17
pesticid-besprutning (i vårgröda; Gratil + MCPA)	Antal körningar	1	0.5	0	0	0	0.17
MCPA (Dimetylamidsalt)	g aktiv substans	562	281				94
Gratil (Amidosulfuron)	g aktiv substans	7.5	3.75				1.25
gödsling, handelsgödsel, 50 kg/ha (CaAmNitrat)	Antal körningar			1	1	1	1
gödsling, flytgödsel, tidig vårspridning, släpslang, 17 ton = 25 kg NH ₃ -N	Antal körningar			1	1	1	1
skörd (slätterkross)	Antal körningar			2	2	2	2
vallbrott (glyfosat-besprutning)	Antal körningar			0	0	1	0.33
glyfosat	g aktiv substans					1080	360
utsäde	kg/ha	5	5				1,7

3.1.2 Utlakning

Kväveutlakning beräknades med hjälp av rapporten *Beräkning av olika odlingsåtgärders inverkan på kväveutlakningen* (Aronsson och Torstensson, 2004), som är bakgrundsrapport till STANK in Mind (SJV, 2007). Grundutlakningen för det relativt sett nederbördsrika Västra götaland uppskattades till 50 kg N/ha, efter att ha antagit markens lerhalt till 15-25% lera. Markbearbetningsfaktorn sattes till 0,65 för vall I och vall II (ingen bearbetning) och till 1,07 för vall III (vallbrott tidig höst inför sådd av höstvet). Effekt av gödslingsintensitet uppstår om kvävegivan över- eller understiger rekommenderad giva. Eftersom gödselgivan är uträknad för att stämma med vallens behov tas inte denna effekt med. Effekten av gödslingstidpunkt blir 0,2 gånger stallgödselns innehåll av organiskt kväve eftersom vi antagit tidig vårspridning; detta multipliceras sedan med klimatfaktorn 0,88, utlakningsfaktorn 0,26 och respektive bearbetningsfaktor 0,65/0,65/1,07. Nötgödselns innehåll av N-tot har

uppskattats till 3,9 kg/ton (Steineck, m.fl., 2000), vilket ger ett innehåll av organiskt N på 2,4 kg/ton (3,9 kg N-tot - 1,5 kg NH₃-N). Efterverkansseffekt av årets gröda vid höstvallbrott (inte aktuellt för vall I och II) blir 40 kg N/ha + 0,3 gånger klöverhalt (30%), d.v.s. 49 kg/ha, vilket multipliceras med klimatfaktorn [0,88], bearbetningsfaktorn [1,07] och utlakningsfaktorn [0,26]. Slutligen finns en effekt av grödupptag på hösten, som justeras upp om det finns extra tillgång på N. Eftersom studien fokuserar på vallens processer har vallens grödupptag år 0 tagits med men inte det efterföljande höstvetets upptag år 3.

Sammanfattningsvis har följande aspekter tagits med i denna studies utlakningsberäkningar:

Summa kväveutlakning = (Grundutlakning * Bearbetningseffekt) + Effekt av organiskt kväve från vårgödsling + Efterverkan av vissa grödor + Effekt av grödupptag på hösten

Tabell 3. Beräkning av kväveutlakning

	År 0	År 1	År 2	År 3
Grundutlakning [kg/ha]	-	50	50	50
Bearbetningseffekt [%]	-	0.65	0.65	1.07
Effekt av organiskt kväve från vårgödsling [kg/ha]	-	1.2	1.2	1.2
Efterverkan av vissa grödor [kg/ha]	-	0	0	12
Effekt av grödupptag på hösten [kg/ha]	-7.1	-7.3	-7.3	-
Totalt per år	-7.1	26.4	26.4	66.7
Genomsnitt per vallskördeår	-	37.5	37.5	37.5

Fosforutlakningen har beräknats med modellen ICECREAM (Larsson, m.fl., 2005) som ett genomsnitt för flera delregioner i Västra götaland med ett grödspecifikt värde för vall på 0,54 kg/ha. Som jämförelse har spannmål för samma region 0,78 kg P-förlust/ha.

3.1.3 Emissioner till luft

Luftemissioner från dieselanvändning har beräknats med hjälp av verktyget SimaPro.

Ammoniakemissioner uppkommer vid gödsling av vallen och i viss utsträckning vid vallskörd. Stallgödselns bidrag till ammoniakemissioner baseras på tidig vårspridning av flytgödsel med släpplangteknik, och är beräknade till 5 kg NH₃-N/ha (Rodhe och Karlsson, 2002). Enligt en Schweizisk studie finns ett dynamiskt utbyte av ammoniak mellan vallen och atmosfären, där vallen under återväxtperioderna fungerar som en sänka för ammoniak, men under framför allt gödslingsperioder även är en emissionskälla (Herrmann, m.fl., 2001). I det Schweiziska fallet var vallen en nettosänka för ammoniak på ca 1 kg NH₃/ha trots att den gödslades med 80-160 kg N/ha. Sänkstyrkan beror dock på många faktorer som tex markens pH, och i denna studie har vi antagit att vallen (förutom vid stallgödslingen) varken är källa eller sänka, genom att emissioner från handelsgödsel och vid vallskörd kvittas mot upptaget under återväxtperioden.

Direkta emissioner av dikväveoxid (N₂O, lustgas) från jordbruksmark har beräknats med hjälp av IPCC:s Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2001), med formeln:

$$N_2O_{\text{direct-N}} = (F_{\text{SN}} + F_{\text{AM}} + F_{\text{BN}}) * EF$$

Där F_{SN} står för tillförsel av syntetiskt N, F_{AM} för tillförsel av organisk gödsel, F_{BN} för tillförsel av N till marken via biologisk N-fixering och EF är en emissionsfaktor på 1,25% kg N₂O-N/tillfört kg N. Mängden tillförd handelsgödsel-N var 50 kg/ha och stallgödsel-N_{tot} 66 kg/ha. N-fixeringen beräknades från Frankow-Lindeberg (2003) till i genomsnitt 57 kg N/ha och vallskördeår. Direkta N₂O-N emissioner blir då: (50+66+57)*0,0125 = 2,2 kg N₂O-N/ha.

De indirekta N₂O-N emissionerna beräknas som 1% av N-innehållet i ammoniakemissioner respektive 2,5% av N-innehållet i nitratutlakning (IPCC, 2001). För vallen innebär detta 0,01*5,5 kg N/ha + 0,025*37,5 kg N/ha = 1.0 kg N₂O-N.

3.2 Rundbalsensilage

Arbetsmoment och insatsmedel som behövs vid framställning av rundbalsensilage (räknat från slätter fram till och med utfodring på foderbord) finns sammanställda i Tabell 4.

Tabell 4. Arbetsmoment och insatsmedel för rundbalsensilage

Rundbalsensilage	Per ha	Per ton ts (vid 7 ton ts/ha)	Referenser
Strängvändning (antas att hälften av skördarna behöver strängvändas) [kg diesel]	2.8	0.4	Lindgren m.fl., 2004
Rundbalspressning [kg diesel]	16.3	2.3	Edström m.fl., 2005
Traktor - lastning och transport från fält till lager [kg diesel]	4.1	0.6	Edström m.fl., 2005
Inplastning o inläggning av balar i lager [kg diesel]	16.3	2.3	Edström m.fl., 2005
Ensileringsmedel, Kofasil Ultra [liter]		10	Hanson & Möhring, 2007
Plast, polyetenfilm [kg]		5,4	Mattsson, 2006
Hämtning av balar från lager till fodervagn [kg diesel]		0.65	eget antagande
Traktordriven foderblandare, rivare [kg diesel]		1.2	Hörndal, 2006
Utfodring med rälshängd vagn [kWh el]		1.2	Hörndal, 2006

3.2.1 Returhantering av plast

Av de ca 16.000 ton ensilageplast som används i Sverige samlas ca 75% in för återvinning. Insamlingens logistikkedja börjar med att den enskilde lantbrukaren kör sin plast till en avtalad insamlingsplats (Persson, 2007). I studien antas att sträckan i genomsnitt är 10 km enkel väg och att den körs med traktor. Från den lokala insamlingsplatsen (vanligtvis ett av lantbruken i trakten) körs plasten med containerlastbil till en regional insamlingsplats där den komprimeras och balas. Därifrån körs plasten vidare med långtradare till Lübeck (som returtransport till andra transporter), varifrån den fraktas med fartyg till Asien, bland annat till Indien. Där återvinns plasten och ersätter ny plastråvara. Se även Figur 14.

3.3 Ensilage från plansilo

Arbetsmoment och insatsmedel som behövs vid framställning av plansiloensilage (räknat från slåtter fram till och med utfodring på foderbord) finns sammanställda i Tabell 6.

Tabell 5. Arbetsmoment och insatsmedel för plansiloensilage

Plansiloensilage	Per ha	Per ton ts (vid 7 ton ts/ha)	Referenser
Exakthack [kg diesel]	22.8	3.3	Edström m.fl., 2005
Traktor – transport från fält till plansilo [kg diesel]	4.1	0.6	Edström m.fl., 2005
Packning av plansilo [kg diesel]	7.5	1.1	Edström m.fl., 2005
Ensileringsmedel, Promyr [liter]		17	Perstorp, 2007
Plast, polyetenfilm [kg]		0.74	Mattson, 2006
Uttag från plansilo till foderblandare [kg diesel]		1.5	Hörndal, 2006
Traktordriven foderblandare, rivare [kg diesel]		1.2	Hörndal, 2006
Utfodring med rälshängd vagn [kWh el]		1.2	Hörndal, 2006

3.3.1 Anläggning av plansilo

Plansilon dimensionerades för att rymma 360 ton ts ensilage (18x30x3 m). Till detta behövs:

- 150 ton prefabricerade betongväggar
- 98 m³ betong till golv
- 22 m³ betong till avlastarplatta och pressränna
- 14 m stålgaller á 6 kg/m till rännan
- 70 st armeringsnät á 26,4 kg stål

Byggmaterialet och anläggningsmaskinerna behöver fraktas till gården och tillbaka. Avståndet från betongväggstillverkaren (Växjö) till gården uppskattades till 150 km enkel väg (Bärneskär, 2006). Vägarna kördes på 5 st lastbilar med släp (24 m, 36 ton lastkapacitet), som drar 0,49 liter diesel/km; sammanlagt åtgick 735 liter diesel för transport av vägarna

(NTMcalc, 2007). Betong till golven (120 m³) kördes med 8 betongpumpbilar från närmsta betongstation, uppskattat till 3 timmar t/r á 10 l/timme. Betongpumpbilarna arbetade 5 timmar var med pumpning/blandning á 10 l/timmen; totalt för betongbilarna 640 l diesel. En mobilkran kördes dit i 4 timmar t/r á 27 l/timmen, och arbetade sedan 15 timmar á 13 l/timmen, tillkommer 1 montör i egen bil (30 l); sammanlagt 333 liter diesel (Wetterberg, m.fl., 2007). Grävning och schaktning av marken antogs utföras av en befintlig traktor på gården i 6 timmar á 10 l/timme; 60 l diesel totalt. Efter grävningen ner till frostfritt djup läggs ett 50 cm makadamlager (Svensson, 2007), som körs dit med 16 grusbilar, 10 mil t/r á 7 l/mil (Hellman, 2007); totalt 1120 l diesel. Den totala dieselåtgången för anläggning samt transport av byggmaterial och maskiner uppgår till 2900 liter diesel.

Plansilor har vanligtvis en livslängd på 30 år (Bärneskär), och bör underhållas varje år med 100 l asfaltfärg. Om underhållet sköts bra kan silon hålla upp till 70 år. I denna studie antas dock 30 års livslängd.

Tabell 6. Dieselförbrukning vid anläggning av plansilo

Plansiloensilage	Per silo	Per år (30 år avskrivningstid)	Per år och ton ts i silon (360 ton)	Referenser
Anläggning inklusive transport av byggmaterial och maskiner [l diesel]	2900	97	0.27	Se ovan

3.4 Ensilage från tornsilo

Arbetsmoment och insatsmedel som behövs vid framställning av tornsiloensilage (räknat från slätter fram till och med utfodring på foderbord) finns sammanställda i Tabell 7.

Tabell 7. Arbetsmoment och insatsmedel för ensilage från tornsilo

Tornsiloensilage	Per ha	Per ton ts (vid 7 ton ts/ha)	Referenser
Exakthack [kg diesel]	22.8	3.3	Edström m.fl., 2005
Traktor – transport från fält till avlastarbord [kg diesel]	4.9	0.7	Edström m.fl., 2005
Fyllning av tornsilo [kg diesel]		1.2	Hörndahl, 2006
Fyllning av tornsilo [kWh el]		2.6	Hörndahl, 2006
Ensileringsmedel, Promyr [liter]		14	Perstorp, 2007
Uttag från tornsilo till foderblandare [kWh el]		10.8	Hörndahl, 2006
Utfodring med rälshängd vagn [kWh el]		1.2	Hörndahl, 2006

3.4.1 Anläggning av tornsilo

Tornsilon dimensionerades för att rymma 250 ton ts ensilage (1000 m³). Till detta behövs:

- 11,5 ton rostfritt stål till väggar
- 1,5 ton stål till fylltömmare, rör, fläktar
- 0,5 ton stål till stegar, plattformar
- 0,5 ton stål till armeringsnät
- 25 m³ betong till fundament

Byggmaterialet och anläggningsmaskinerna behöver fraktas till gården och tillbaka. Avståndet från tornsilotillverkaren (Västerås) till gården uppskattades till 250 km enkel väg (Bjurenwall, 2006). Silodelarna kördes på 1 långtradare med släp (24 m, 36 ton lastkapacitet), som drar 0,49 liter diesel/km; sammanlagt åtgick 245 liter diesel för transport av silodelarna (NTMcalc, 2007). Silon monterades nerifrån och upp med en eldriven lyftmaskin bestående av 8 elmotorer á 3 kW som gick i 30 timmar; sammanlagt 720 kWh el (Bjurenwall, 2006). Betong till fundamentet (25 m³) kördes med 2 betongpumpbilar från närmsta betongstation, uppskattat till 3 timmar t/r á 10 l/timme. Betongpumpbilarna arbetade 5 timmar var med pumpning/blandning á 10 l/timmen; totalt för betongbilarna 160 l diesel. Grävning och schaktning av marken antogs utföras av en befintlig traktor på gården i 2 timmar á 10 l/timme; 20 l diesel totalt. Efter grävningen ner till frostfritt djup läggs ett 50 cm makadamlager, som körs dit med 2 grusbilar, 10 mil t/r á 7 l/mil (Hellman, 2007); totalt 140 l diesel. Den totala dieselåtgången för anläggning samt transport av byggmaterial och maskiner uppgår till 425 liter diesel.

Tornsilons livslängd har uppskattats till 20 år (Bjurenwall, 2006).

Tabell 6. Diesel- och elförbrukning vid anläggning av tornsilo

Tornsiloensilage	Per silo	Per år (20 år avskrivningstid)	Per år och ton ts i silon (250 ton)	Referenser
Anläggning inklusive transport av byggmaterial och maskiner [l diesel]	425	21	0.08	Se ovan
Byggnation [kWh el]	720	36	0.14	Se ovan

4 Miljöpåverkansbedömning

Efter inventeringsanalysen är resultaten omfattande och i miljöpåverkansbedömningen klassificeras och karakteriseras därför informationen från inventeringen, för att ge en samlad bild av bidraget till de olika miljöpåverkanskategorierna. De miljöpåverkanskategorier som har valts att redovisas i den här studien är:

- energi,
- klimatförändringar,
- utsläpp av försurande ämnen samt
- bidrag till övergödning

4.1 Klassificering och karakterisering

Klassificering innebär att resultatet från inventeringen sorteras in under de olika miljöpåverkanskategorierna. En utsläppsparameter kan ge upphov till flera olika miljöeffekter, till exempel kan kväveoxider (NO_x) bidra till både försurning och övergödning.

Karakterisering är ett sätt att beskriva det potentiella bidraget till en miljöeffekt från specifika parametrar. Detta sker genom att multiplicera karakteriseringsindex för de ämnen som ger upphov till en miljöeffekt med utsläppsmängderna från inventeringsresultaten för motsvarande ämnen. De olika ämnenas bidrag presenteras i en gemensam räknebas som är specifik för varje miljöeffekt.

4.2 Beskrivning av valda miljöpåverkanskategorier

Miljöpåverkanskategorin energi är relaterad till systemets inflöden, medan miljöpåverkanskategorierna klimatförändringar, utsläpp av försurande gaser samt eutrofiering är relaterade till systemets utflöden. Nedan beskrivs de miljöpåverkanskategorier som har studerats, samt de karakteriseringsindex som använts.

4.2.1 Energi

I den här studien redovisas energianvändningen som primärenergi, det vill säga för att till exempel producera 1 MJ el i Sverige går det åt ca 2,4 MJ primärenergi. Energianvändningen är uppdelad på förnybara (vatten, biomassa, vind, sol och geotermisk) och icke-förnybara (kärnkraft och övriga fossila) energikällor. När processer på olika geografiska platser studeras är det viktigt att ta hänsyn till vilken el mix som används. Det är till exempel stor skillnad mellan Sveriges el mix, som till hälften produceras av vatten kraft och hälften kärnkraft, och Europas el mix, där över hälften produceras av kol, gas och olja, ca en tredjedel kärnkraft och kvarstående dryga tiondel är en blandning av förnybara resurser och avfall.

4.2.2 Klimatförändring

Jorden värms upp av direkt solstrålning (huvudsakligen i våglängdsområdet 0,2-0,4 μm). Den uppvärmda jordskorpan avger sedan värmestrålning i det infraröda våglängdsområdet (4-100 μm). Denna strålning absorberas delvis av gaser i jordens atmosfär och en viss del emitteras tillbaka till jordytan och bidrar till en uppvärmning där. Denna effekt är känd som "växthuseffekten". Växthuseffekt är en naturlig effekt som ger konsekvensen att jordens temperatur är 33°C högre än vad den annars skulle vara. Vad som däremot diskuteras är den av människan förstärkta tillförseln av växthusgaser, vilka påverkar jordens strålningsbalans. Ämnen i atmosfären från mänskliga aktiviteter som bidrar till denna effekt är framför allt koldioxid, metan, dikväveoxid (lustgas) och CFC (till exempel freoner). De klimatförändringar som emissionerna kan medföra är en höjning av jordens medeltemperatur som innebär att vissa områden kan drabbas av torra, genom mindre nederbörd. Havsytan kan komma att stiga till följd med att kustområden översvämmas. Vissa havsströmmar kan ändra riktning vilket radikalt kan förändra det lokala klimatet. Den av människan förstärkta växthuseffekten, vilken kan leda till klimatförändringar, är en global miljöeffekt. De karakteriseringsindex som använts vid bedömning av klimatförändringar visas i Tabell 4.1.

Tabell 4.1: Karakteriseringsindex för klimatförändringar (GWP 100 år).

emission	karakteriseringsindex (gram per gram CO ₂)	
koldioxid (CO ₂)	1	luft
metan (CH ₄)	21	luft
lustgas (N ₂ O)	310	luft

Källa: IPCC, 1997

4.2.3 Utsläpp av försurande ämnen

Förbränning av fossila bränslen ger förutom koldioxid upphov även till svaveldioxid och kväveoxider. Dessa gaser omvandlas, förenar sig med vatten och bildar syror. Syrorna sänker pH-värdet i regnvattnet och orsakar försurning av mark och vattendrag. Verkan av försurande ämnen har ett stort geografiskt beroende (huvuddelen av Sverige, med undantag för Öland, Gotland och Skåne, är till exempel extremt känsliga för försurning beroende på den kalkfattiga berggrunden). Försurningen påverkar bland annat träden negativt och leder till att vatten med lågt pH löser ut toxiska kvantiteter aluminium och når sjöar och vattendrag, där växt och djurliv kan drabbas. Försurning är en regional miljöeffekt. De karakteriseringsindex som använts vid bedömning av utsläpp av försurande gaser visas i Tabell 4.2.

Tabell 4.2: Karakteriseringsindex för utsläpp av försurande gaser.

emission	karakteriseringsindex (gram per mol H ⁺)	
ammoniak (NH ₃)	0,0587	luft
vätesulfid (H ₂ S)	0,0588	luft
väteklorid (HCl)	0,0274	
vätefluorid (HF)	0,0500	
kväveoxider (NO _x)	0,0217	luft
kvävedioxid (NO ₂)	0,0217	
svaveldioxid (SO ₂)	0,0312	luft

Källa: Lindfors et al, 1995

4.2.4 Bidrag till övergödning

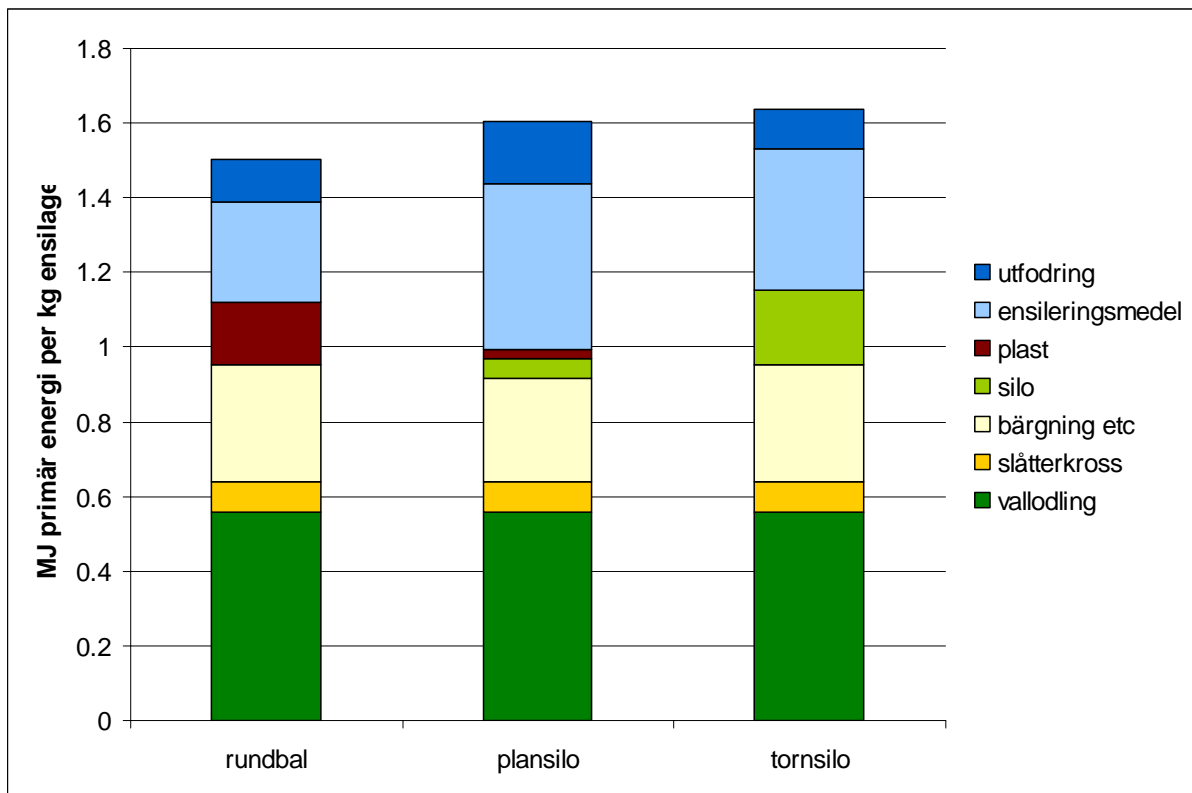
Här beaktas endast övergödning i vattensystem vilket också benämns eutrofiering. Ökad tillförsel av näringsämnen till vattensystem leder till ökad tillväxt för olika arter i systemet. Nedbrytningen av dem samt av annat organiskt material i vattenemissioner kräver syre. Utsläpp av kväveföreningar till luft kan också bidra till ökad tillgång på kväve i vattendrag eftersom kväveföreningar återförs till marken med nederbörd och sedan till viss del hamnar i vattendrag. Den ökade syreförbrukningen kan leda till syrebrist, vilket kan skada både djur och växter. Tillväxten av biomassa i vattendrag begränsas i europeiska system vanligen av tillgången på näring i form av kväve eller fosfor. Fosfor är normalt det begränsande näringsämnet i sjöar och övre delen av Östersjön medan kvävet är det näringsämne som begränsar tillväxten i havet. Övergödning är en regional miljöeffekt. De karakteriseringsindex som använts vid bedömning av eutrofiering visas i Tabell 4.3.

Tabell 4.3: Karakteriseringsindex för eutrofiering.

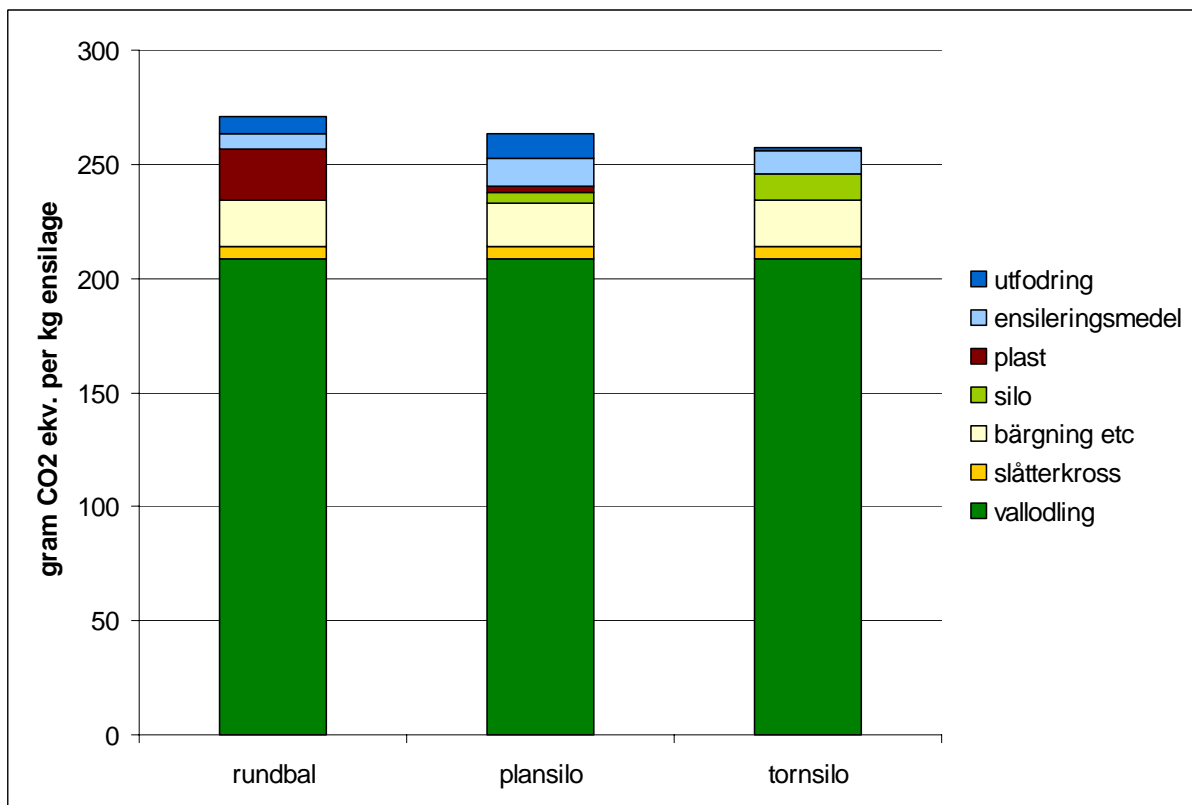
emission	karakteriseringsindex (gram per gram O ₂)	
ammoniak (NH ₃)	16	luft
kväveoxider (NO _x)	6	luft
ammonium (NH ₄ ⁺)	15	
nitrat (NO ₃ ⁻)	4,4	vatten
kväve (N)	20	vatten
fosfat (PO ₄)	46	vatten
fosfor (P)	140	vatten
COD	1	

Källa: Lindfors et al, 1995

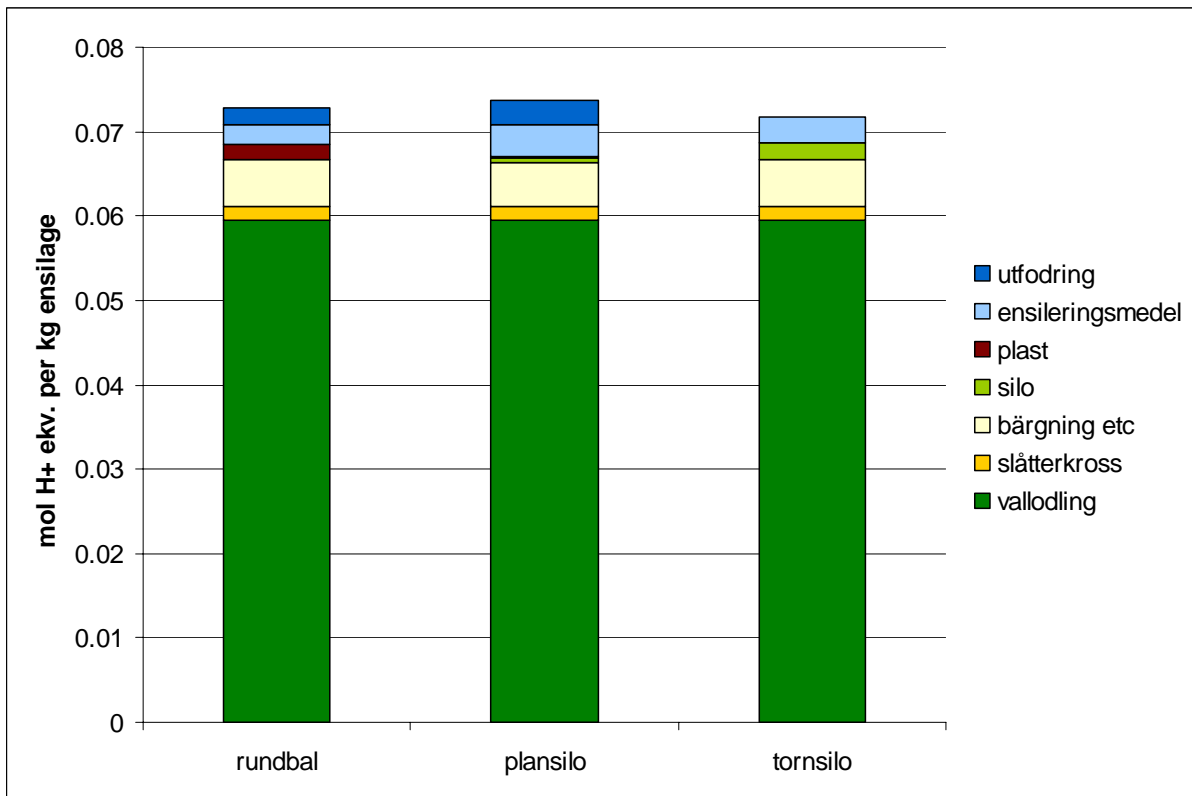
5 Resultat



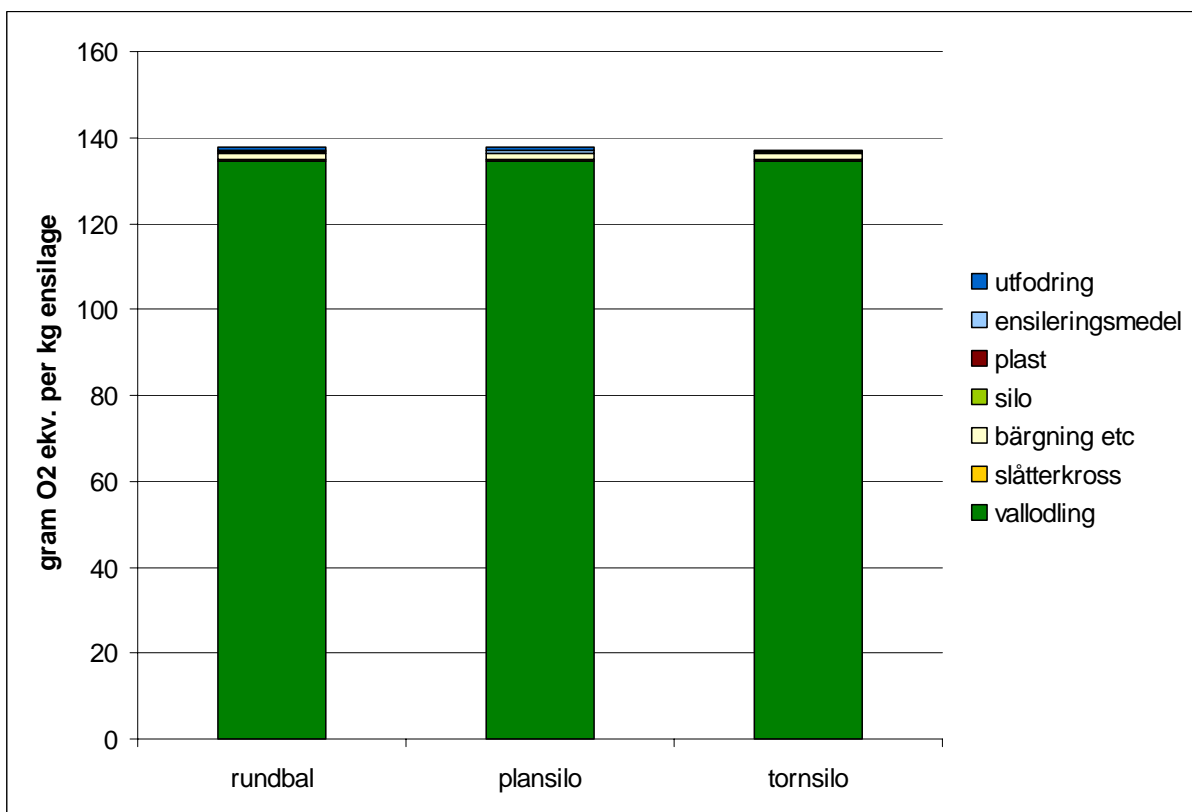
Figur 3. Energianvändning.



Figur 4. Växthuseffekt.



Figur 5. Försurningseffekt.



Figur 6. Övergödningseffekt.

5.1 Systemens totala bidrag till respektive miljöeffekt

Resultaten visar att de tre ensileringsystemen var relativt likvärdiga med avseende på de undersökta miljöaspekterna (se Figur 3-6). Störst skillnad återfanns för energianvändningen, där rundbalssystemet var energieffektivast. Plansiloeffektivet drog 3 % mer energi och tornsiloeffektivet 5 % mer. För bidrag till växthuseffekten var skillnaderna mindre; tornsiloeffektivet gav upphov till minst potentiell växthuseffekt, plansilo gav 2 % mer och rundbalssystemet 1 % mer. För potentiell försurningseffekt var skillnaderna också små; plansiloeffektivet var 2 % sämre och rundbalssystemet 1 % sämre än tornsiloeffektivet. För potentiellt bidrag till övergödning var skillnaderna i princip obefintliga.

5.2 Hot-spot-analys

Resultaten kan även studeras utifrån vilken delprocess som bidrar mest till varje miljöaspekt (s.k. Hot-spot-analys). För övergödningen är vallodlingen helt dominerande. De övergödande utsläppen i form av t.ex. NO_x från dieselförbrukning, är mycket små i jämförelse med N och P utlakning från odlingen.

Även för försurningseffekten har vallodlingen stor inverkan, framförallt via ammoniakutsläpp från stallgödslingen. Dieselförbrukning har viss betydelse för försurningen, och detta är skälet till att tornsilon har lägst bidrag till detta. Genom att en del av arbetet görs med el, som i Sverige baseras på vattenkraft och kärnkraft, istället för diesel kan tornsiloeffektivet spara in något på försurande NO_x och SO_x utsläpp.

Vallodlingen påverkar även bidraget till växthuseffekten i stor utsträckning. I detta fall är det i första hand utsläpp av lustgas (N₂O) från marken (baserat på kvävefixering och gödseltillförsel, samt indirekta effekter från N-utlakning) som ger upphov till potentiell växthuseffekt. Även dieselanvändningen för olika maskinoperationer bidrar till växthuseffekten; särskilt stallgödselspridning, exakthackning, pressning/inplastning av balar och uttag från plansilo/foderrivare.

För energianvändningen är vallodlingen också en stor post, men inte lika dominerande som i de andra fallen. Maskinoperationer och tillverkning av handelsgödsel står för merparten av detta. I plansilo- och tornsilosystemen intar tillverkningen av ensileringsmedel den näst största posten. Trots att ensileringsmedel tillsätts med endast ca 0,5 vikt-% av grönmassans vikt, utgör energianvändningen för tillverkning av ensileringsmedlet ca 28 % av plansiloeffektivet totala energianvändning.

I alla tre systemen är bärgning av ensilaget en relativt energikrävande aktivitet (pressning, inplastning och transport respektive exakthack, transport och packning eller fyllning). I rundbalssystemet kommer plasttillverkning som fjärde post med ca 14 % av energianvändningen, medan för tornsiloeffektivet siloanläggning tar fjärdeplatsen med 12 %. Energianvändningen uppdelat på delkällor visas i Fig. 11-13, i slutet av rapporten.

5.3 Känslighetsanalys av ensileringsmedel

I studien har antagits att alla systemen använder ensileringsmedel fullt ut. Den faktiska användningen av ensileringsmedel är sannolikt lägre för rundbalssystemet, där kanske 30-50 % av balarna tillsätts medel (T. Pauly, pers. med.). Resultatet för energianvändning och bidraget till övriga miljöeffekter skulle, för posten ensileringsmedel, t.ex. minska till hälften om bara 50 % av balarna använder medel. Energinvändningen skulle då bli 0,13 MJ/kg ts ensilage (9 % av rundbalarnas totala energianvändning) jämfört med 0,26 MJ (se Figur 3). Rundbalssystemet skulle då bli det mest energieffektiva systemet, både räknat med och utan förluster.

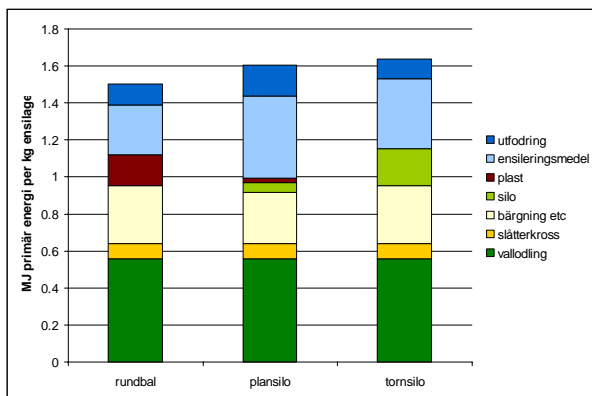
Andra typer än myrsyrabaserade ensileringsmedel finns eller är under utveckling, där ett exempel är *Lactobacillus plantarum* MiLAB 393, en typ av mjölksyrabakterie med svamphämmande effekt (Ström, 2005). Om tillverkningen och användningen av alternativa ensileringsmedel ger upphov till lägre energianvändning kan detta få betydelse för systemens totala energieffektivitet.

5.4 Känslighetsanalys av förluster

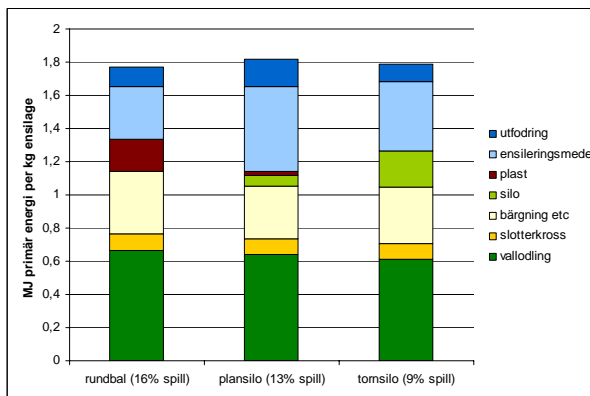
En viktig men osäker faktor i denna LCA-studie är förluster av ensilage. I varje ensileringsystem uppkommer förluster, dels på grund av själva ensileringsprocessen där sockerarter bryts ner till koldioxid och vatten, och dels på grund av kassationer till följd av t.ex. skador på balar eller rötat ensilage längs kanterna i plansilon. Förlustfaktorerna för de olika alternativen har i en känslighetsanalys satts till (Savoie och Jofriet, 2002):

rundbalsensilage	16 % förlust
plansiloensilage	13 % förlust
tornsiloensilage	9 % förlust

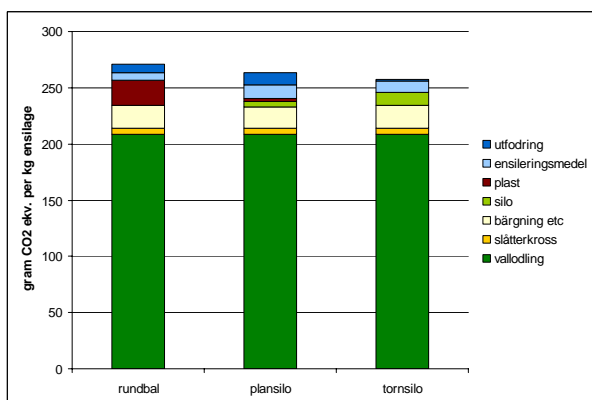
Av de 7 ton ts som skördas/ha kommer 5,9 ton, 6,1 ton och 6,4 ton för respektive system att hamna på foderbordet och därmed utgöra grund för studiens funktionella enhet (1 ton ts ensilage vid foderbord). Studiens resultat kommer när förlusterna räknas in att ändras på följande sätt (för axelrubriker, förklaringar, etc., se ovan):



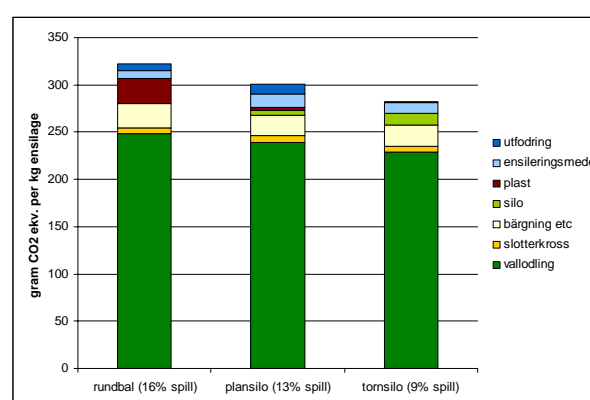
Figur 7a. Energianvändning utan förluster.



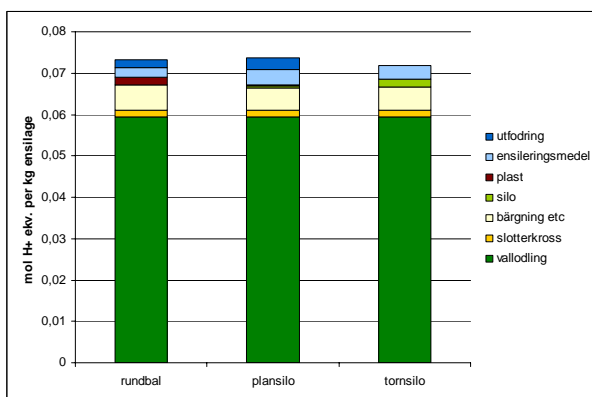
Figur 7b. Energianvändning efter förluster.



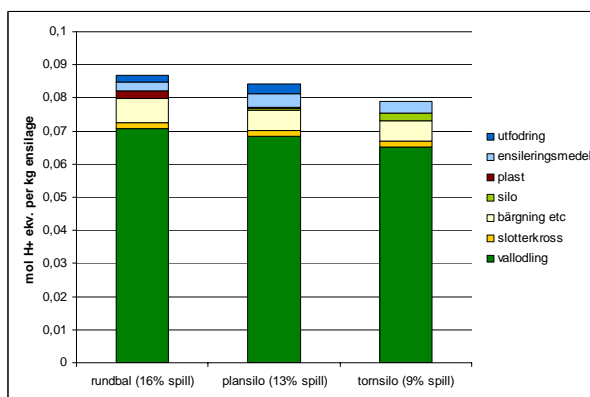
Figur 8a. Växthuseffekt utan förluster.



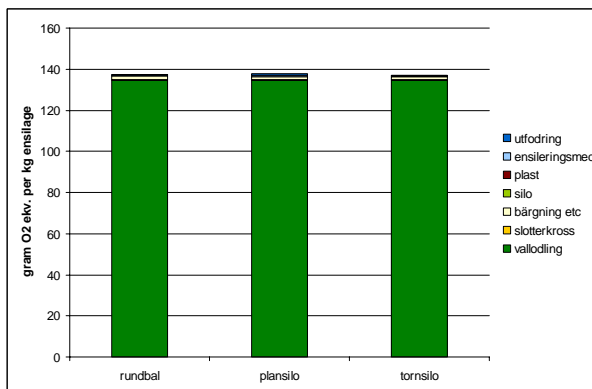
Figur 8b. Växthuseffekt efter förluster.



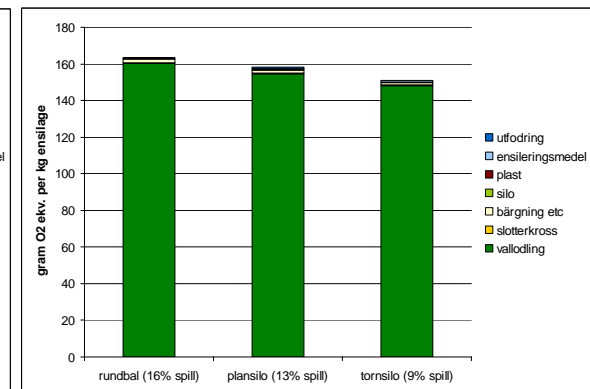
Figur 9a. Försurning utan förluster.



Figur 9b. Försurning efter förluster.



Figur 10a. Övergödning utan förluster.



Figur 10b. Övergödning efter förluster.

6 Diskussion

Vallodling och skörd står för en stor del av ensilagens miljöbelastning. Energimässigt står dessa första, och för de tre alternativa systemen, gemensamma processtegen för ca 40% av energianvändningen. För potentiell växthuseffekt, försurning och övergödning står vallodling/skörd för 80-98%. Detta kan jämföras med andra jordbruksprodukter som uppvisar liknande mönster, t.ex. mjöl och mjölk där primärproduktionen står för merparten av miljöbelastningen medan efterföljande transporter och malning/mejerihantering står för en mindre del (Berlin, 2005; LRF, 2002). Ensileringsystemet i sig kommer därför att spela en relativt liten roll sett ur ensilagens hela livscykel. Val av ensilagesystem kan däremot ha stor betydelse för uppkomsten av förluster i systemet, som i sin tur kan påverka resultatet mycket. I denna studie är de studerade alternativen relativt likvärdiga innan förlusterna räknats med, varför skillnader i förluster kommer att vara avgörande för resultatet.

Det saknas bra undersökningar om faktiska förluster för svensk ensilageproduktion som inkluderar både omsättningsförluster och kassationer. De studier som finns behandlar ofta omsättningsförluster. En Irländsk studie har konstaterat att skador på rundbalar i första hand orsakas av fåglar och tamkatter och att antalet skadade balar uppskattades till ca 7 % (McNamara, 2002). Kassationsförluster beror till stor del på lantbrukarens skicklighet, men där risken för misstag möjligen är olika stor i de olika ensilagesystemen. En studie som undersöker de totala förlusterna med respektive ensilagesystem, liksom ger förslag på förbättringsmöjligheter skulle tillföra mycket kunskap i sammanhanget.

Förluster i ett system innebär alltid merkostnader ur miljösynpunkt eftersom den miljökostnad som finns ackumulerad hittills i processen måste bäras av en mindre mängd nyttigheter i slutänden. Hanteringsstrategier för ensilage bör därför optimeras för att minska förlusterna (gäller både kvantitetsmässigt och kvalitetsmässigt). Miljökostnaden för hjälpmedel såsom plast och ensileringsmedel kan i flera fall bäras upp om förlusterna kan minimeras.

Tillverkning av ensileringsmedel var ungefär dubbelt så energikrävande som tillverkningen av ensilageplast. Med anledning av den relativt stora energiåtgång för framställning av ensileringsmedel bör användningen av detta ske med eftertanke, det vill säga där användningen kan förväntas leda till mindre förluster. Samma resonemang gäller i princip även för plasten, men där kan användningen vara generösare för att uppnå samma förlustreduktion. Som räkneexempel kan uppges att 1% minskad förlust av ensilage i rundbalssystemet kan bära en 7 % ökning av plastanvändningen, medan 1 % minskad förlust i plansilosystemet bara kan bära en 3 % ökning av ensileringsmedel. Retursystemet för ensilageplasten bidrar till att plasten inte får större inverkan på resultatet än den har. Drygt hälften av energianvändningen återfås vid plaståtervinningen (se Figur 14, sist i rapporten).

Anläggning av en silo kräver momentant stora resurser. För tornsilon uppstår en stor del av miljöbelastningen vid produktion av byggmaterialet (mestadels stål), medan för plansilon de tunga transporterna av prefabricerat byggmaterial och anläggningsmaskiner står för en betydande del. Men, eftersom siloanläggningarna rymmer stora volymer och har lång livslängd kommer bidraget till varje ton producerat ensilage ändå bli relativt litet. Systemet gynnas av lång livslängd på siloanläggningarna, där särskilt tornsilon, som har drygt 3 gånger så stor energikostnad som plansilon, skulle vinna på att öka sin livslängd. I beräkningarna ingår återvinning av skrotat stål från nedmonterade silo-torn, vilket är en förutsättning för att inte få en högre energianvändning för torn-silon i studien. Om stålet inte materialåtervinns ökar siloanläggningen sin energianvändning med 13%.

7 Slutsatser

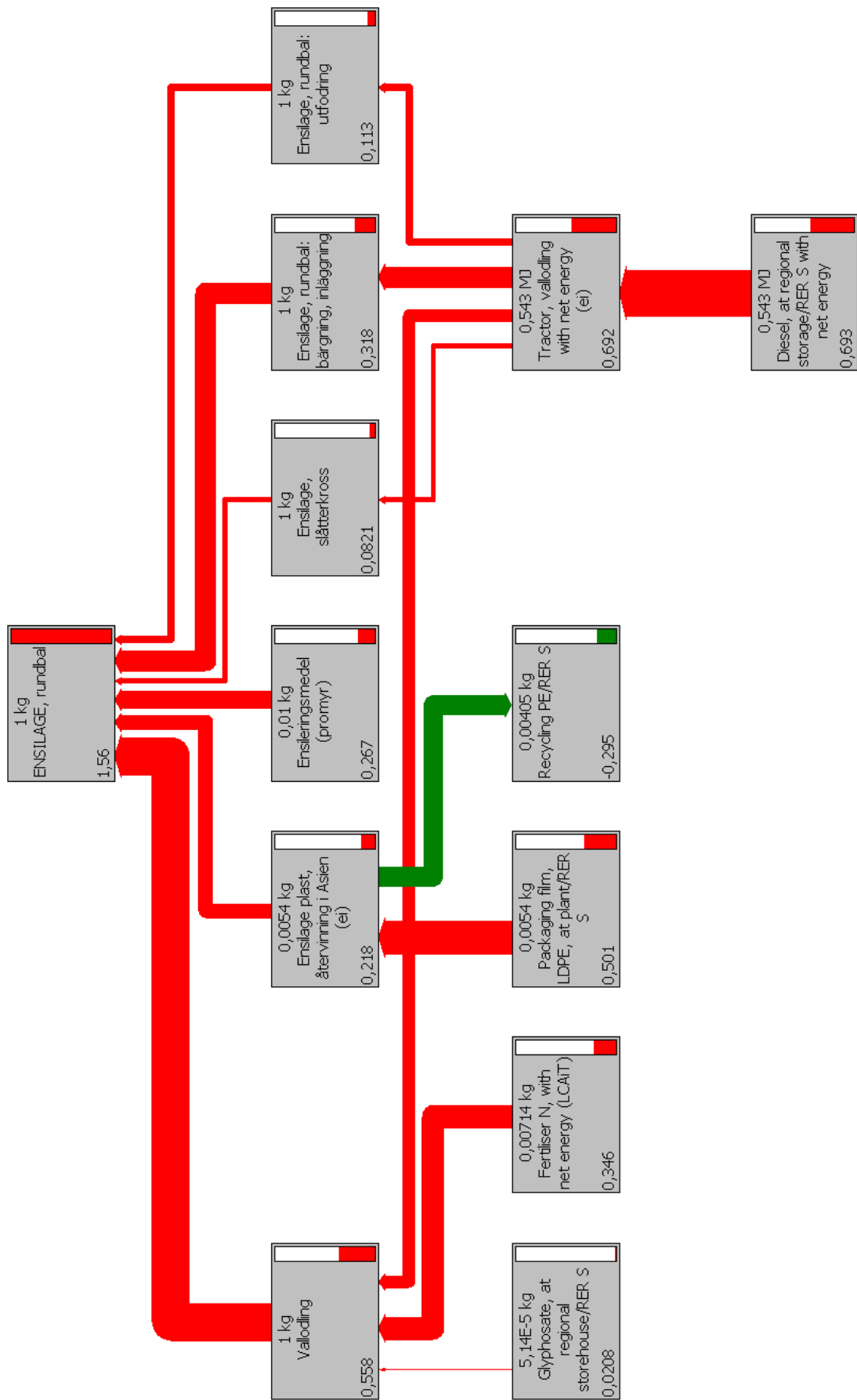
Studien slutsatser finns sammanfattade i nedanstående lista.

- För växthuseffekt, försurning och övergödning var vallodlingen den helt dominerande källan (80-98 %) jämfört med den efterföljande ensilagehanteringskedjan
- För energianvändning hade ensilagehanteringskedjan störst betydelse (60 %)
- Förluster hade stor betydelse för systemens miljöpåverkan, och ensilagehanteringen bör därför optimeras för att minimera dessa
- Innan förluster räknats in var rundbalsssystemet energieffektivast, medan systemen var relativt likvärdiga ur övriga miljöaspekter
- Efter förluster räknats in var systemen energimässigt likvärdiga, medan tornsilosystemet var effektivast ur övriga miljöaspekter
- Energianvändningen för produktion av ensileringsmedel var överraskande stor; 17 % för rundbal, 23 % för tornsilo respektive 28 % för plansilo
- Genom materialåtervinning återficks 57 % av ensilageplastens energi-insats; energianvändningen för plast i rundbalsystemet uppgick då till 14 %
- Siloanläggningarna kan minska sin miljöbelastning genom längre livslängd, gäller speciellt för tornsilo

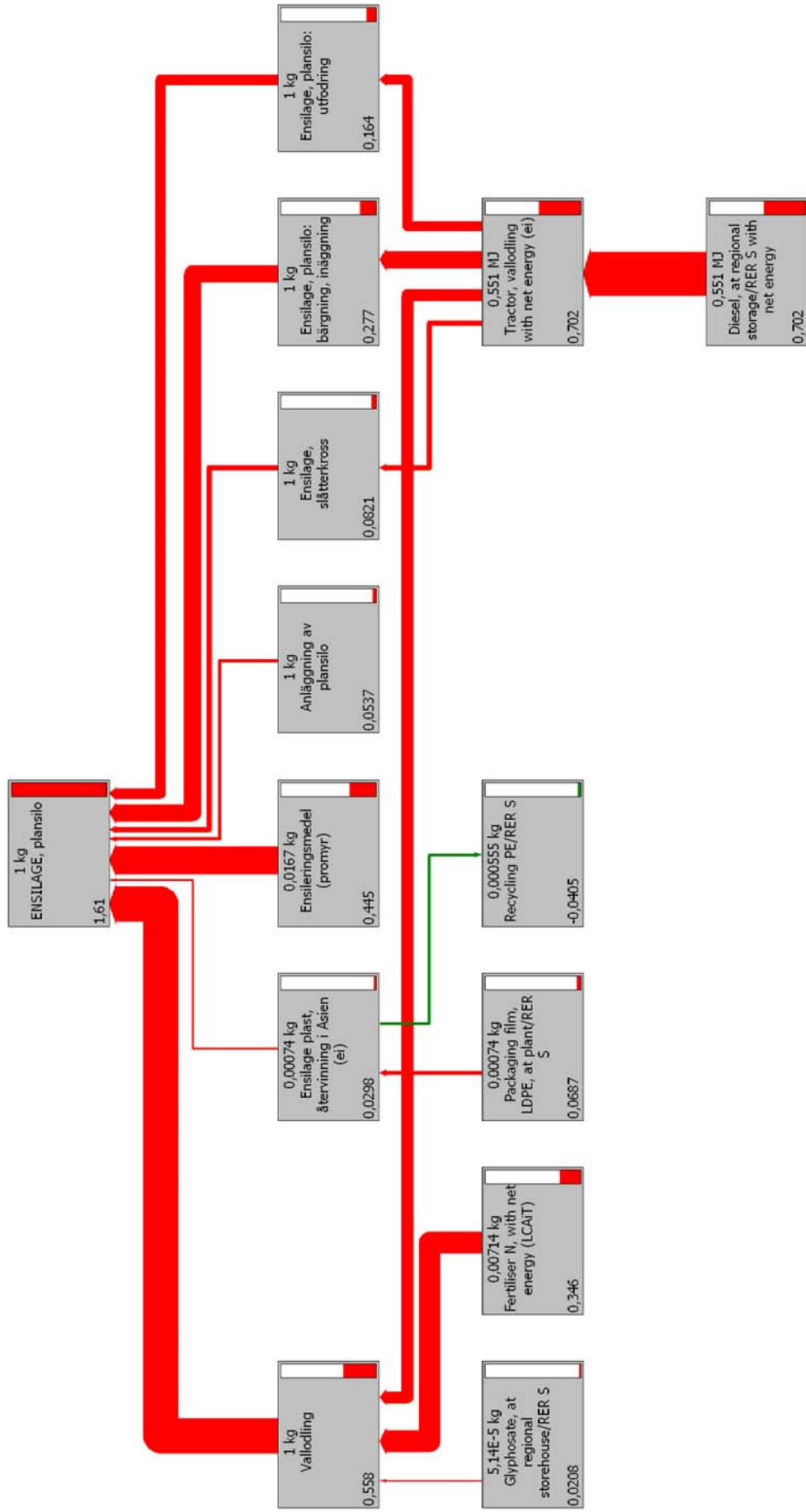
8 Referenser

- Aronsson, H. och Torstensson, G., 2004. Beräkning av olika odlingsåtgärders inverkan på kväveutlakningen. Ekohydrologi 78, Avdelningen för vattenvårdslära, Swedish University of Agricultural Sciences, SLU, Uppsala.
- Berlin, J., 2002. Environmental systems analysis of dairy production, Licentiate thesis, ESA-Report 2002:4. Department of Environmental Systems Analysis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden. 2002, 23 p. + 3 app.
- Bjurenwall, A., 2006. Alf Bjurenwall AB, Kolbäck. Personligt meddelande.
- Bärneskär, R., 2006. A-betong, Uppsala. Personligt meddelande.
- Davis, J. and Haglund, C. 1999. Life Cycle Inventory of Fertiliser Production, SIK rapport 654, SIK, SIK – Institutet för Livsmedel och Bioteknik, Göteborg
- Ecoinvent Centre, 2003, ecoinvenet data v1.01, Final reports ecoinvenet 2000 No.1-15, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2003, CD-ROM
- Edström, M., Pettersson, O., Nilsson, L., Hörndahl, T., 2005. Jordbrukssektorns energianvändning, JTI-rapport 342, Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala
- Emanuelsson, M., Cederberg, C., Bertilsson, J. Och Rietz, H., 2006. Närodlad foder till mjölkkor – en kunskapsuppdatering, rapport 7059-P, Svensk Mjölk, Stockholm
- Frankow-Lindberg, B. E. 2003. Kvantifiering av kvävefixering via baljväxter i fält - förslag till ny modell I rådgivningsprogrammet STANK Rapport • 5, Institutionen för ekologi och växtproduktionslära, SLU, UPPSALA
- Hanson & Möhring, 2007. Kofasil Ultra - doseringsrekommendationer, Hanson & Möhring, Box 222, 301 06 Halmstad Sweden
- Hellman, J., 2007. Jehanders AB, Undersås, Enhörna. Personligt meddelande.
- Herrmann B., Jones, S. K., Fuhrer, J., Feller, U. and Neftel, A., 2001. N budget and NH3 exchange of a grass/clover crop at two levels of N application, Plant and Soil 235(2): 243–252, 2001
- Høgaas Eide, M., 2002. Life cycle assessment (LCA) of industrial milk production, Doctoral thesis, SIK

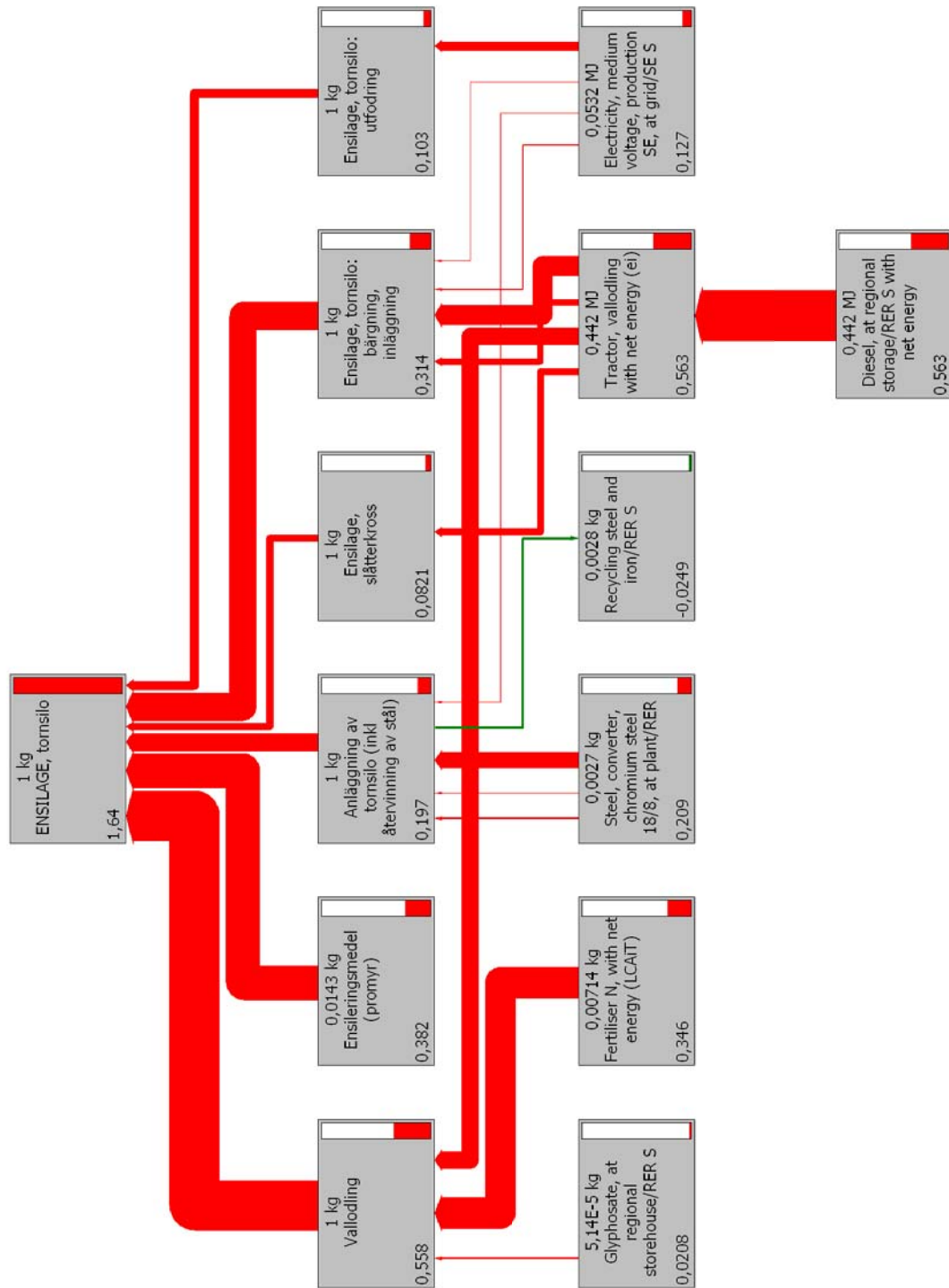
- Hörndahl, T. 2007. Energiförbrukning i jordbrukets driftsbyggnader - en kartläggning av 16 gårdar med olika driftsinriktning. Lantbrukets byggnadsteknik och djurhållning. Fakulteten för landskapsplanering, trädgård och jordbruksvetenskap. Alnarp
- IPCC 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for the National Greenhouse Gas Inventories. The Reference Manual (Volume 3). www.ipcc.ch
- IPCC, 2001: Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 4 - Agriculture. Penman J, Kruger D, Galbally I, Hiraishi T, Nyenzi B, Emmanul S, Buendia L, Hoppaus R, Martinsen T, Meijer J, Miwa K, Tanabe K (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland
- ISO. 1997. ISO 14040: Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. The International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
- Larsson, M.H., Persson, K. & N. Jarvis. 2004. Quantification of phosphorus losses through macroporous soils with a modified ICECREAM model. pp.123-124 In: Tools for assessing phosphorus loss from Nordic agriculture. (Ed. Heckrath, G., Bechmann, M., Ekholm, P., Djodjic, F., Ulén, B., Estrup Andersen, H, Olsen, P.). Conference proceedings, Tema Nord 2005:583, Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- Liljenberg, R., Sundberg, M. och Thylén, A., 1995. Datorbaserat beslutsstöd för ensilering av vallgrödor. JTI-rapport 212, Institutet för jordbruk och miljö, Uppsala.
- Lindfors L-G, Christiansen K, Hoffman L, Virtanen Y, Juntilla V, Hanssen O-J, Rönning A, Ekvall T, Finnveden G. 1995. Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment. Nord 1995:20. The Nordic Council. Köpenhamn
- Lindgren M., Pettersson O., Norén O., Hansson P-A. 2004. Operation specific engine load pattern and exhaust gas emission data from vehicles used in typical Swedish agricultural operations DIAS Report 61 vol 2004 nr 61 89 – 97
- LRF, 2002. Maten och Miljön – Livscykelanalys av sju livsmedel (Food and the Environment – Life Cycle Assessment of seven foods, in Swedish), Lantbrukarnas Riksförbund - Federation of Swedish Farmers, Stockholm, Sweden
- Mattsson, R., 2006. Trioplast AB, Smålandsstenar. Personligt meddelande.
- McNamara, K., O’Kiely, P., Whelan, J., Forristal, P.D. och Lenehan, J.J., 2002. Farm & Food 52
- NMTCalc, 2007. Beräkningsverktyg för transporter. www.ntm.a.se, senast läst 2007-02-09
- Pauly, T., 2006. Institutionen för Husdjurens utfodring och vård, SLU, Uppsala. Personligt meddelande
- Persson, O., 2007. Ekmaco ReAgro AB, Knivsta
- Perstorp, 2007. Promyr NFTM - doseringsrekommendationer, Perstorp Specialty Chemicals AB, SE-284 80 Perstorp, Sweden
- Pré Consultants bv, 2004, Amersfoort, Holland, www.pre.nl
- Rodhe, L. och Karlsson, S., 2002. Översyn av Statistiska centralbyråns beräkning av ammoniakavgången i jordbruket, JTI
- Savoie, P. och Jofriet, J.C., 2002. Silage Storage i Silage Science and Technology, Buxton, D.R., Muck, R.E. och Harrison, J.H. (Eds), 2003. Madison, Wisconsin, USA
- SCB, 2006. Gödselmedel i jordbruket 2004/05. Statistiska meddelanden MI 30 SM 0603, Statistiska centralbyrån, Örebro
- SJV, 2005. Riktlinjer för gödsling och kalkning 2006. Statens Jordbruksverk, Jönköping
- SJV, 2007. STANK in Mind, Dataprogram för miljönriktad växtnäring http://www.sjv.se/, senast 2007-01-15
- Steineck S, Gustafson A, Richert Stinrtzing A, Salomon E, Myrbäck Å, Albihn A, Sundberg M, 2000. Växtnäring i Kretslopp, SLU Kontakt 11. SLU, Uppsala
- Ström, K, 2005. *Fungal inhibitory lactic acid bacteria*. Doctoral diss. Dept. of Microbiology, SLU. Acta Universitatis agriculturae Sueciae vol. 2005:37.
- Sundberg, M., Johansson, W., Hjortsberg, H., Hansson, K., Oostra, H., Berglund, K. och Elmquist, H., 1997. Biogas i framtida lantbruk och kretsloppssamhällen. JTI-rapport Kretslopp & Avfall 12
- Svensson, S-O., 2007. Eliassons Maskin AB, Partille. Personligt meddelande
- Wallenhammar, A-C., 2005. Odlingsteknik i ekologisk vallfröodling. Hushållningssällskapet i Örebro
- Wetterberg, C. Magnusson, R. Lindgren, M. 2007. Utsläpp från större dieseldrivna arbetsmaskiner – inventering, kunskapsuppbyggnad och studier om åtgärder och styrmedel. SMP Svensk Maskinprovning AB, rapport GE 99189/06



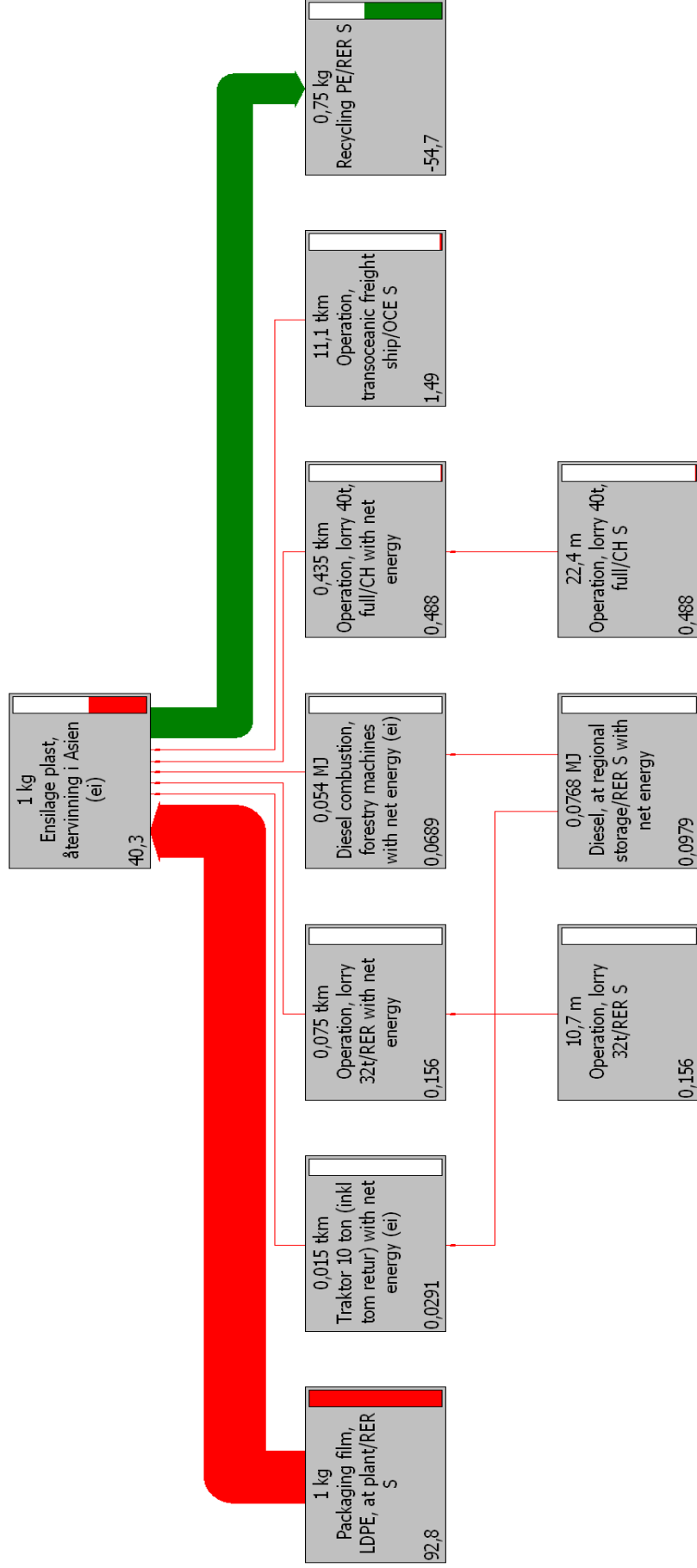
Figur 11. Energianvändning för rundbalsensilage, uppdelat på delkällor.



Figur 12. Energianvändning för plansiloensilage, uppdelat på delkällor.



Figur 13. Energianvändning för tornsiloensilage, uppdelat på delkällor.



Figur 14. Energianvändning för enslageplast, scenario med plaståtervinning i Indien.



Detta är MAT 21

MAT 21 är ett tvärvetenskapligt forskningsprogram kring uthållig livsmedelsproduktion som omspannar hela kedjan från jord till bord. Programmets övergripande mål är att komma fram till lösningar på livsmedelskedjans svaga länkar för att konsumenterna i än högre grad skall uppfatta maten som såväl säker som etiskt och uthålligt producerad. Huvudprojektet startade 1997 och avslutades 2005. MAT 21 fortsätter under åren 2005 till 2008 i form av en "syntesplattform". I ett samarbete mellan universitetet och livsmedelskedjans aktörer genomförs ett antal temaorienterade utredningar i syfte att skapa beslutsunderlag för praktiskt agerande. Exempelvis handlar ett tema om utformningen av ett mer hållbart växtskydd i jordbruket och ett annat om möjligheten att ersätta importerat djurfoder med hemmaproducerat (Tema Närproducerat Foder). Den miljöstrategiska forskningsstiftelsen, MISTRA, har varit och är alltså programmet huvudfinansierare och SLU dess programvärd.

Denna rapport utgör en del av kunskapsunderlaget till Temat Närproducerat Foder. Fler foderråvaror kommer att undersökas inom temat i det kommande forskningsprojektet "Närproducerat foder till svenska mjölkkor - miljöpåverkan från foderproduktion och djur (SLF/MISTRA 2007-2008).

För mer information se www-mat21.slu.se.

Rapport MAT21 nr 3/2007

ISSN:1650-5611

ISBN: 978-91-576-7215-5

Ansvarig utgivare: Rune Andersson
Adress: Inst. för livsmedelsvetenskap, Box 7051, SLU, 750 07 Uppsala.
E-post: rune.andersson@lmv.slu.se

Författarkontakt: Ingrid Strid
Adress: Inst. för biometri och teknik, Box 7032, SLU, 750 07 Uppsala.
E-post: ingrid.strid@bt.slu.se

Författarkontakt: Anna Flysjö
Adress: SIK – Institutet för livsmedel och Bioteknik, Box 5401, 402 29 Göteborg.
E-post: anna.flysjö@sik.se

Distribution: Carina Nylander
Adress: Inst. för livsmedelsvetenskap, Box 7051, SLU, 750 07 Uppsala.
E-post: carina.nylander@lmv.slu.se

Tryck: SLU Service/Repro, Uppsala 2007