



# Miljöpåverkansbedömning vid tillverkning av etanol från cellulosabaserade råvaror

- ekologisk gård självförsörjande med drivmedel

Daniel Ulff



---

SLU  
Institutionen för biometri och teknik

Examensarbete 2005:05

SLU  
Department of Biometry and Engineering

Uppsala 2005  
ISSN 1652-3245

---





# Miljöpåverkansbedömning vid tillverkning av etanol från cellulosabaserade råvaror

- ekologisk gård självförsörjande med drivmedel

Daniel Ulf



---

SLU  
Institutionen för biometri och teknik

Examensarbete 2005:05

SLU  
Department of Biometry and Engineering

Uppsala 2005  
ISSN 1652-3245

---



## SAMMANFATTNING

Drivmedel som tillverkas av förnyelsebara råvaror istället för fossila råvaror är naturligtvis av stort intresse. I detta arbete studeras skillnader i miljöpåverkan vid omvandling av olika förnyelsebara råvaror till etanoldrivmedel. Systemet bygger på att biomassa från salix, halm och rörflen används vid produktion av etanol. Cellulosan i biomassan klipps sönder och genom hydrolys blir sockret i cellulosan tillgängligt för jäsning till etanol.

Mängden etanoldrivmedel som behandlas i studien är den mängd drivmedel som går åt för att odla 1000 ha.

Målsättningen för studien är att studera skillnader i emissioner till luft, vatten och miljöpåverkan för de valda systemen. Detta bedöms genom att beräkna växthuseffekt, försurning och övergödning.

Påverkan av växthuseffekten beror i denna studie av utsläppen av CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> och N<sub>2</sub>O. Drivmedlet som används vid odlingen är baserat på etanol men med vissa tillsatser av tändförbättrare med fossilt ursprung. Detta gör att det bara är en liten del av bränslet som bidrar till växthuseffekten, etanolen ses som biologisk och bidrar inte till någon ökad växthuseffekt. Den klart största bidragande faktorn till växthuseffekten är markemissionerna där N<sub>2</sub>O är den bidragande källan.

De största bidragande källorna till försurning kommer från markemissionerna och ångframställningen.

När det gäller övergödning är det markemissionerna som är den största bidragande faktorn. Över 90 procent av den totala övergödningen beror på markemissionerna.

En jämförelse mellan de tre olika systemen visar att halmsystemet är klart bäst med avseende på växthuseffekt, försurning och övergödning. Inget av de andra systemen är i närheten av att kunna jämföra sig med halmen.



## ABSTRACT

Fuel produced from renewable resources is of big interest. In this project the difference between a few different renewable materials are compared on the matter of environmental load when ethanol is produced. The renewable materials that are compared are Salix, straw and reed canary-grass (rörflen). The cellulose in the material is cut down to small pieces and then hydrolysed so that the sugar from the cellulose can be fermented into ethanol.

The amount of ethanol that is studied in this work is the amount of ethanol needed to cultivate 1000 ha. The functional unit in the report is 1000 ha. All the regular crops and the crops for ethanolproduction in the system are organically cultivated.

The goal for this study is to compare the final environmental load for the whole system of ethanol production, cultivation and usage of the ethanol in the end. This is assessed by calculation of global warming potential (GWP), acidification potential (AP) and eutrophication potential (EP).

The impact of GWP is dependant of the amount of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O. The fuel that are used for cultivation is based on ethanol with addition of some ignition improver of fossil origin. Since ethanol is produced from renewable sources the impact of GWP is small despite the ignition improver.. The emissions from soil have the largest impact on GWP.

The two sources that have the largest impact on AP is emissions from soil and the emissions from the steamproduction. Steam is needed during the ethanol production process.

The emissions from the soil have the largest impact on EP. More than 90 percent of the total EP comes from the soil emissions.

A comparison of the three different systems shows that the system with straw has the lowest environmental load.





## **FÖRORD**

Bränslen som kommer från förnybara råvaror är något som verkligen ligger i tiden. Tack vare detta examensarbete har jag fått möjligheten att fördjupa mig i detta ämne, vilket har varit mycket intressant och givande. Jag vill tacka Per-Anders Hansson för att jag fick göra detta examensarbete, som är en bit ur Grön Traktor projektet. Jag vill även tacka Serina Ahlgren för bra handledning och vägledning genom arbetet.

# INNEHÅLL

1 INLEDNING OCH SYFTE .....	7
2 MATERIAL OCH METODER.....	8
2.1 LCA-metodik .....	8
2.2 Miljöeffektskategorier .....	8
2.3 Växthuseffekt .....	8
2.4 Försurning .....	9
2.5 Övergödning.....	9
3 ETANOLFRAMSTÄLLNING .....	10
3.1 Råvaror .....	10
<i>Salix</i> .....	10
<i>Halm</i> .....	11
<i>Rörflen</i> .....	11
3.2 Växtens substans .....	11
<i>Cellulosa</i> .....	12
<i>Hemicellulosa</i> .....	12
<i>Lignin</i> .....	12
3.3 Förbehandling .....	12
<i>Mekanisk bearbetning</i> .....	12
<i>Kemisk bearbetning</i> .....	12
<i>Biologisk bearbetning</i> .....	12
3.4 Process .....	13
<i>Starksyrprocess</i> .....	13
<i>Svagsyrprocess</i> .....	14
<i>Enzymprocess</i> .....	14
3.5 SSF och SHF .....	15
3.6 Slutprodukt.....	15
3.7 Restprodukter .....	15
4 ETANOL SOM DRIVMEDEL.....	16
5 FUNKTIONELL ENHET .....	16
6 INVENTERING .....	17
6.1 Odling.....	17
6.2 Process .....	18
6.4 Drivmedelsåtgång.....	22
7 ALLOKERINGAR.....	22
8 RESULTAT .....	24
8.1 Växthuseffekt .....	24
8.2 Försurning .....	26
8.3 Övergödning.....	28
8.4 Primärenergi.....	29
9 KÄNSLIGHETSANALYS .....	30
9.1 Enkel känslighetsanalys .....	30
<i>Salix</i> .....	30
<i>Halm</i> .....	31
<i>Rörflen</i> .....	31
9.2 Ekonomisk allokering .....	31
9.3 Diesel som drivmedel .....	32
10 DISKUSSION .....	33
11 REFERENSER.....	35
Tryckta referenser .....	35
<i>Referenslistan</i> .....	35
Internetreferenser .....	37

## 1 INLEDNING OCH SYFTE

Vi kommer närmare och närmare den dagen då oljan tar slut. Det finns än så länge ingen hållbar teknik för att kunna tillverka den mängd alternativa drivmedel som kommer att behövas, för att kunna byta ut de inte förnyelsebara drivmedlen.

Fortsätter vi att använda fossila bränslen kommer mängden växthusgaser att öka kraftigt vilket leder till global uppvärmning av jorden. Det beror på att när fossila bränslen används frigörs koldioxid snabbare än vad växtligheten kan ta upp. Fossila bränslen har skapats under många år genom att binda koldioxid.

I april 1999 kom riksdagen fram till 15 miljö kvalitetskrav. För att nå dit har delmål satts upp inom de 15 miljömålen. (Miljömålsportalen, 2005, www)

De 15 miljömålen är:

- Begränsad miljöpåverkan
- Frisk luft
- Myllrande våtmarker
- Giftfri miljö
- Levande sjöar och vattendrag
- Säker strålmiljö
- Ingen övergödning
- Skyddande ozonskikt
- God bebyggd miljö
- Grundvatten av god kvalitet
- Bara naturlig försurning
- Levande skogar
- Ett rikt odlingslandskap
- Storslagen fjällmiljö
- Hav i balans och levande kust och skärgårdar

Etanol framställs på många olika sätt. Det till mängden sett vanligaste och enklaste sättet är att jäsa det lättillgängliga sockret som finns i stärkelse. Grödor som används till den typen av system är t.ex. potatis och vete. Om vi ska kunna få tillräcklig mängd förnyelsebart bränsle måste även andra råvaror kunna användas. Råvaror som är billigare och finns i större mängder.

Exempel på en sådan råvara är restavfall från skogen. För att kunna göra om cellulosabaserade råvaror till etanol måste någon typ av process användas för att omvandla cellulosa till socker. Det finns i stort tre olika typer av processer att tillgå för att bryta ner cellulosa till socker. Dessa är svagsyra-, starksyra- och enzymprocess.

I Örnsköldsvik finns en nystartad pilotanläggning för produktion av etanol från cellulosabaserad råvara. Där ska man under några år utveckla tekniken att tillverka etanol från cellulosaråvor. Under provotiden används sågspån som råvara i processen. När tekniken är utvecklad är det tänkt att även andra råvaror skall kunna användas.

Detta arbete ska studera möjligheterna att göra en ekologisk gård självförsörjande med drivmedel. Drivmedlet skall tillverkas på gården från någon av energigrödorna Salix, halm och rörflen. Totalt finns 1000 ha att tillgå för odling av energigröda och för matproduktion. Beroende på avkastning och utbyte till etanol måste olika areal avsättas till energigröda. En jämförelse görs för dessa system fram till färdig etanol.

## 2 MATERIAL OCH METODER

### 2.1 LCA-metodik

Livscykelanalys kan ses som en process där man följer en viss produkt, eller en jämförelse mellan produkter från vaggan till graven. Med det menas att man följer alla steg som krävs för att få produkten i fråga tillverkad och tills den är förbrukad och resterna omhändertagna. Tillvägagångssättet för en livscykelanalys har standardiserats för att på ett objektivt sätt kunna analysera miljöpåverkan. Delar som ingår i livscykelanalysen är mål, omfattning, inventering, miljöpåverkansbedömning och tolkning. I målen ska syfte och användning av resultat definieras. Produkten eller produkterna som skall ingå i livscykelanalysen förklaras och definieras under omfattning tillsammans med eventuella avgränsningar som analysen har. Under inventering ska alla in- och utflöden definieras och kvantifieras inom de systemgränser som har satts för produkten eller produkternas livscykel. Slutligen genomförs en miljöpåverkansbedömning bland annat för att identifiera de steg i livscykelanalysen som har mest signifikant miljöpåverkan (Rydh, 2002).

### 2.2 Miljöeffektkategorier

Efter inventeringen kan man dela upp systemets miljöpåverkan i olika miljöeffektkategorier. Exempel på miljöeffektkategorier är Förurning (AP – Acidification Potential), Växthuseffekt (GWP – Global Warming Potential) och Övergödning (EP – Eutrophication Potential)

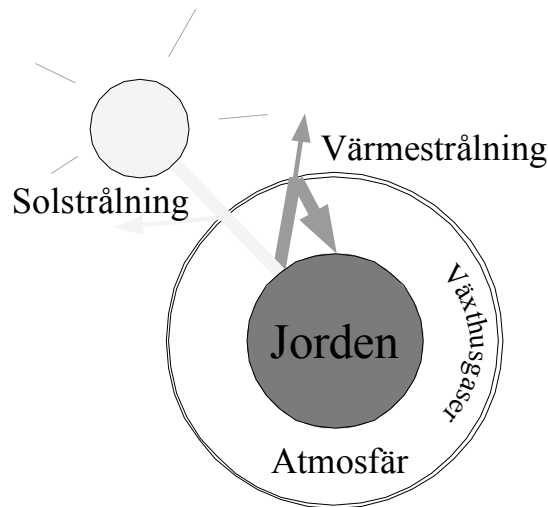
Tabell 1. Valda miljöeffektkategorier i arbetet

Miljöeffektkategori	Förkortning	Ekvivalensfaktor & enhet
Växthuseffekt	GWP (Global Warming Potential)	kg CO <sub>2</sub> (koldioxid) – Ekvivalenter / kg
Förurning	AP (Acidification potential)	kg SO <sub>2</sub> (svaveldioxid)- Ekvivalenter / kg
Eutrofiering	EP (Eutrophication Potential)	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (fosfat) – Ekvivalenter / kg

### 2.3 Växthuseffekt

När solens strålar träffar jordens yta värms den upp. För att kyla av ytan skickar jordens yta ut värmestrålning ut i rymden. På grund av den ökande mängden växthusgaser får strålningen svårare och svårare att försvinna ut i rymden (Klimatsajten, 2005, www). Detta leder till att värmestrålningen reflekteras tillbaka till jorden vilket i sin tur leder till en ökande uppvärmning av jordens yta och atmosfär. Detta illustreras i figur 1. Det finns en naturlig förekommande växthuseffekt, som beror på de klimatpåverkande gaserna vattenånga och koldioxid. Utan dessa skulle jordens medeltemperatur vara – 17 grader Celsius. På grund av människans ökande föroreningsutsläpp förekommer numera olika växthusgaser i stigande grad, vilket leder till att växthuseffekten förstärks på jorden. Förstärkningen av växthuseffekten beror till stor del av att koldioxid frigörs när vi använder fossila bränslen så som olja, stenkol och gas. Koldioxidhalten i atmosfären är ungefär 30 procent högre nu än för

200 år sedan. Men det är inte bara koldioxid som bidrar till den av människan orsakade växthuseffekten, utan även en del fluorföreningar, metan och svavelföreningar (Bernes, 2001).



Figur 1. Förklarande bild av växthuseffekten

## 2.4 Försurning

Vid förbränning av fossila bränslen som t.ex. olja och kol frigörs svavel i form av svavelsyra i luften. Det är den främsta orsaken till försurning av våra marker och vattendrag. I luften sönderdelas svavelsyran till vätejoner och sulfatjoner, dessa följer med regn eller snö ner till jordytan. På grund av den ökande halten vätejoner var det många av våra svenska sjöar och vattendrag som blev försurade kring 1950-talet. De områden som drabbas värst av den sura nederbörden är områden där marken är kalkfattig. Om det finns kalk i marken som kan vittra sönder neutraliserar det den sura nederbörden. Där det inte finns de möjligheterna har Sverige ett utbrett kalkningsprogram för att återställa många av de vattendrag som är påverkade. Även sura kväveföreningar från den ökande biltrafiken bidrar till att försura vår miljö (Bernes, 2001).

## 2.5 Övergödning

Från tätorters avloppsutsläpp tillfördes tidigare vattendrag stora mängder fosfor och kväve, dessa ämnen ledde till att växtligheten tätnade kring stränder och en kraftig tillväxt av planktonalger. Avloppsutsläppen från tätorter är i dag kraftigt reducerade men spåren finns fortfarande kvar. Det finns även andra källor som bidrar med tillväxtreglerande näringsämnen till våra sjöar och vattendrag. Ett exempel är fosforutsläpp från gödslad åkerjord. Under efterkrigstiden tillfördes markerna stora mängder fosfor, detta har gjort att halterna av fosfor har ökat med 30 – 40 procent i marken. I dagsläget är det därför ett mindre behov att fosforgödsla åkermarkerna. På grund av de högre halterna fosfor finns det också större risk att fosfor läcker ut i våra vattendrag vilket leder till övergödning. I dagsläget ligger mer fokus på läckage av kväve från åkermark än fosfor. Detta på grund av de ökande givorna av kvävegödsel som tillförs marken. Även om det mesta av kvävet tas upp i växterna finns en del växtrester kvar på åkern efter skörd, vilket leder till läckage till vatten i form av nitrat (Bernes, 2001).

## 3 ETANOLFRAMSTÄLLNING

### 3.1 Råvaror

Tre olika system med energigrödor kommer att behandlas i denna studie, Salix, halm och rörflen. Anledningen till att dessa valdes som grödor i arbetet beror på olika faktorer. Dels krävs inte allt för stor omläggning för att odla dessa grödor. Eventuellt kan också stora delar av maskinparken användas för produktion av dessa grödorna. Salix och rörflen är grödor som ger hög avkastning per ha vilket ger stor massa cellulosa som kan användas i processen.

Odlingen av de olika grödorna som ingår i rapporten är ekologisk och sker med en viss växtföljd. I varje system får varje gröda lika stor areal förutom energigrödan som optimeras till så liten areal som möjligt. För att odla 1000 ha kommer det att gå åt en stor mängd drivmedel. Drivmedlet skall tillverkas från grödor som odlas på en bit av den arealen. Beroende på avkastning och utbyte av grödan kommer olika arealer att avsättas, detta gäller dock bara Salix och rörflen. För halmsystemet kommer ingen areal att avsättas utan det tas halm från vete för att få ihop tillräcklig mängd.

Torkning av grödorna innan leverans till etanolfabrik har inte räknats med. Detta på grund av bristande uppgifter om vilka vattenhalter som fungerar bäst i processen.

#### *Salix*

Salix är av släktet buskformig pil och har förmåga att producera stor mängd biomassa på kort tid. Odling av Salix är ganska begränsad till södra eller mellersta delarna av Sverige. Vid omläggning till Salix skall extra hänsyn tas för att ta bort ogräs innan marken för att ge Salixplantorna mindre konkurrens. Salixen planteras som sticklingar, det vill säga som pinnar med höjden 20 cm och ca 8 mm i diameter. Ungefär 15 000 sticklingar planteras per ha. De planteras i dubbelrader, med 75 cm radavstånd och 150 cm mellan dubbelraderna. Skörden av Salix görs oftast efter 3 – 4 år, den är då mellan 5 –7 meter hög, och i brösthöjd är diametern ungefär 3 cm. Den vanligaste skördemetoden är direktflisning med en exakthack och följevagn. Näringstillförsel till odlingen kommer att ske i form av biogasslam eller godkända ekologiska gödselmedel.



### ***Halm***

Halmen fås från de grödor som odlas på de 1000 ha som ingår i arbetet. I första hand är det halm från vete som används men även annan halm fungerar för att fylla upp till erforderlig mängd. För att odla vete i detta system brukar man jorden genom plöjning, harvning och eventuell vältning efter sådd. När sedan vetet är moget tröskas det med en tröska. Halmen som tröskan lämnar efter sig tas till vara genom balning.



### ***Rörflen***

Rörflen är mångårig gräsväxt som växer fritt i naturen. Bestånden kan bli ungefär 1,5 – 2 meter höga. Det växer bäst på fuktiga och mullrika jordar. Rörflen behöver ungefär samma förberedelser inför sådd som vete, det som skiljer är att rörflen kräver en vältning innan sådd för att de små fröna ska hamna på rätt djup. Rörflen kan sedan skördas med slätterkross och balning i ungefär 7 år utan omläggning. Skörd sker antingen på hösten eller på våren beroende på vilket som passar bäst in i processen.



### **3.2 Växtens substans**

Hemicellulosa tillsammans med cellulosa är de mest förekommande biopolymererna i naturen och de två tillsammans utgör den största torrsbstansmängden i växter.

## ***Cellulosa***

Ingen annan organisk förening förekommer i större mängd på vår jord än cellulosa. Cellulosa bildas genom att en vattenmolekyl lämnar glykosenheten så att den kan bilda en lång ogrenad kedja. I en sådan kedja kan upp mot 10 000 glykosenheter ingå (Aden, 2002).

## ***Hemicellulosa***

Hemicellulosa är en sammansättning av flera olika sockerarter, pentoser och hexoser. Det är en förgrenad kedja med färre enheter än cellulosa.

## ***Lignin***

Lignin består av en komplex tredimensionell polymer med hög molekylvikt. Lignin är kemiskt stabil, olöslig i vatten och fungerar som bindemedel mellan enskilda celler. Det binder samman cellulosakedjorna i materialet så att de fungerar som armering åt växten. Vid kall temperatur är ligninet hårt men det mjukas upp när temperaturen stiger. Med stigande ålder gulnar ligninet och till sist bryts det ner av ultraviolettt ljus.

### **3.3 Förbehandling**

Innan material kan tillföras till processtegen måste det anpassas för att fungera så bra som möjligt i processen. Någon av metoderna nedan kan användas, valet beror på typ av råvara och dess sammansättning.

#### ***Mekanisk bearbetning***

Materialet som skall användas i processen måste vara av en viss storlek och form för att nå hög utvinning av socker ur råvaran. Genom att behandla råvaran mekaniskt genom malning eller klippning kan detta uppnås. När råvaran krossas eller mals ökas arean på materialet vilket har betydelse i kommande processer (Stenberg, 1999). Efter att materialet har malts eller klippts till mindre storlek siktas och tvättas det för att sortera bort stora bitar, grus och sten. Dessa får inte komma med i processen för då kan de orsaka igensättningar i systemet. Stora bitar återförs till malning eller krossning.

#### ***Kemisk bearbetning***

För att öka utbytet av socker ur hemicellulosa behandlas materialet med ånga och tillsats av en syrakatalysator. Kemisk bearbetning ökar även enzymernas tillgänglighet till materialet ökar under hydrolyssteg. Som katalysator kan svavelsyra eller svaveldioxid användas.

#### ***Biologisk bearbetning***

Genom att tillsätta mikroorganismer till materialet som ett steg i förbehandlingen kan hydrolysen av cellulosan öka. Det tar dock för lång tid att få någon märkbar ökning av utbytet med denna metod för att det ska vara lönsamt att använda industriellt (Stenberg, 1999).



### 3.4 Process

Etanol kan tillverkas från alla material som innehåller cellulosa, utbytet av etanol beror på mängden av socker som kan omvandlas från cellulosan och hemicellulosan. Med hjälp av något av processtegen starksyra-, svagsyra- och enzymprocess kan etanol framställas. Råvara kan vara t.ex. träbyggavfall eller flis från barrved vilket renats (Etek, 2004, www).

Processen att utvinna etanol ur cellulosaråvaran är i princip uppdelad i fyra steg, förbehandling, hydrolys, fermentering och destillation. Efter hydrolyssteget erhålls en vätska innehållande socker. Denna vätska pumpas vidare till jäskar där vanlig bagerijäst tillsätts. Jästsvamparna omvandlar sockret till etanol. När sockret i vätskan har förbrukats av jästsvamparna transporteras den vidare till destillationssteget. Där sker koncentrerings av etanolen genom uppvärmning av vätskan. Vid en viss temperatur avgår etanolen som ånga och kan tas till vara genom avledning till annan behållare efter avkylning av ångan.

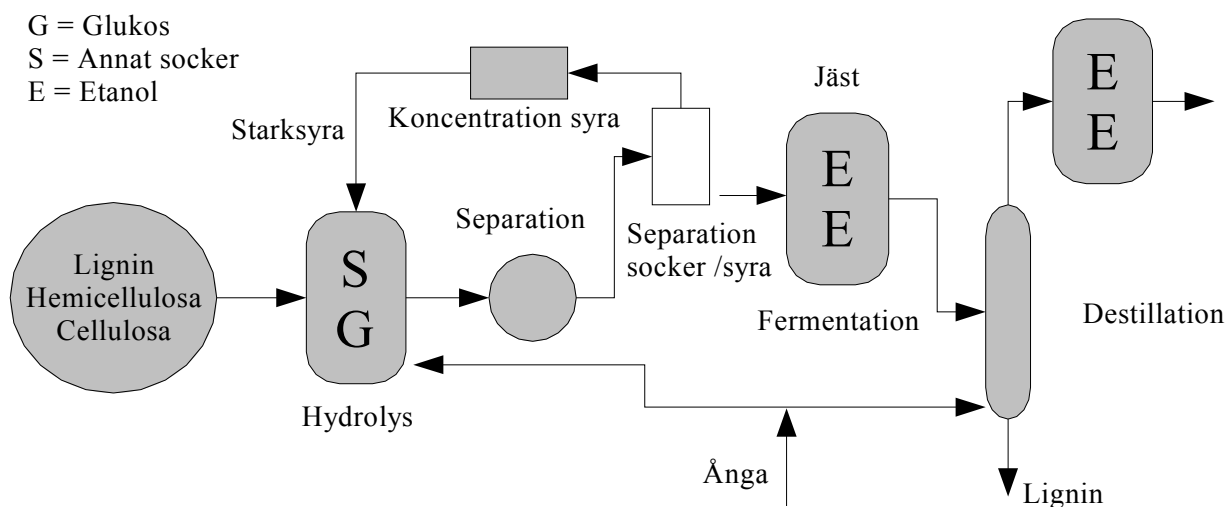
Till fermenteringen kommer både femvärda och sexvärda sockerarter. För att jästsvamparna ska kunna använda sockret i form av pentoser krävs genmodifierade jästsvampar. Om detta görs kan utbytet till etanol ökas med 6 - 7 %, men oftast används vanlig bagerijäst som endast klarar av de sexvärda sockerarterna (Etek, 2004, www).

#### Starksyraprocess

Behandling av cellulosabaserade råvaror genom hydrolys med starksyra är en av de processer som finns att tillgå när socker skall frigöras ur cellulosan. I figur 2 visas processförfarandet för etanolutvinning med starksyra.

Metoden kallas för CHAP (Concentrated Hydrochloric Acid Process) eller starksyrametoden. Hög koncentration och torr råvara används. Nackdelar med starksyrametoden när den användes i Sverige var att det användes saltsyra som katalysator vid processen. Dels fick det stora miljökonsekvenser och dels krävdes det mycket energi för att rena saltsyran efter processen för återvinning.

Metoden med starksyra togs fram för att kunna göra etanol av cellulosabaserade hushållssopor (Etek, 2004, www).

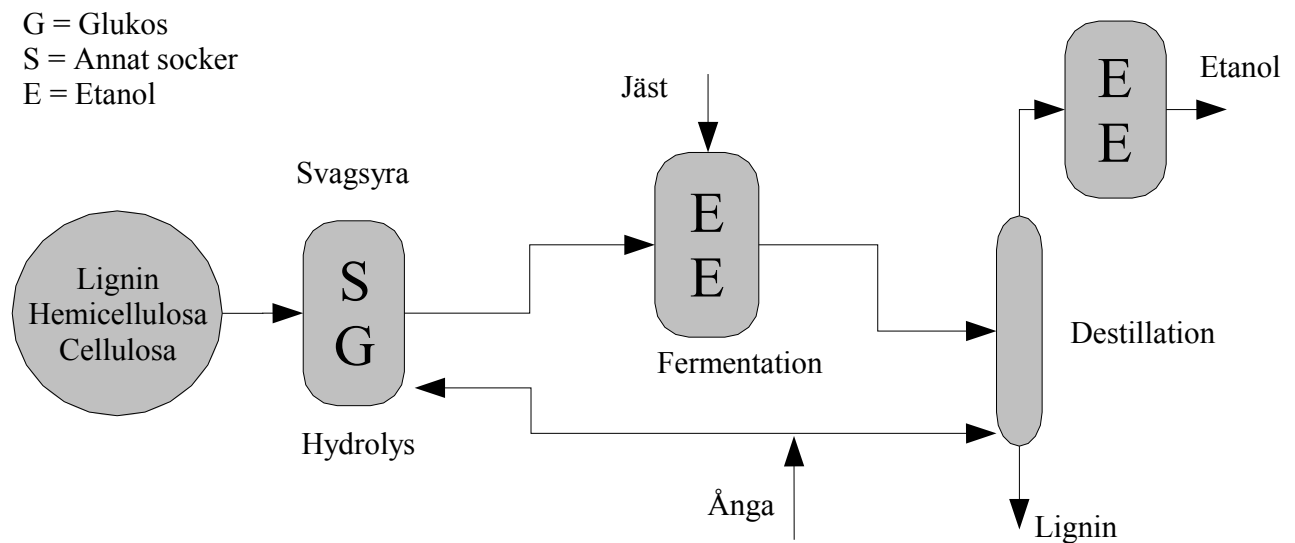


Figur 2. Förenklat flödesschema över en starksyraprocess

### ***Svagsyrprocess***

Den andra metoden som har använts i Sverige är CASH (Canada America Sweden Hydrolysis) eller svagsyrametoden. Materialet impregneras genom att det duschas med svagsyra under lätt tryck. Processen sker i ett eller två hydrolyssteg, i första steget vid 180 °C och 10 bar. Där sönderdelas hemicellulosa och i andra steget cellulosa till socker. Andra steget sker vid 210 – 220 °C och vid 20 bars tryck. Flödesschema över processens steg visas i figur 3.

Utbytet i CASH-studien var ca 17 % (ton 100 procentig etanol/ton ts råvara) på spån från barrved (Etek, 2004, www).

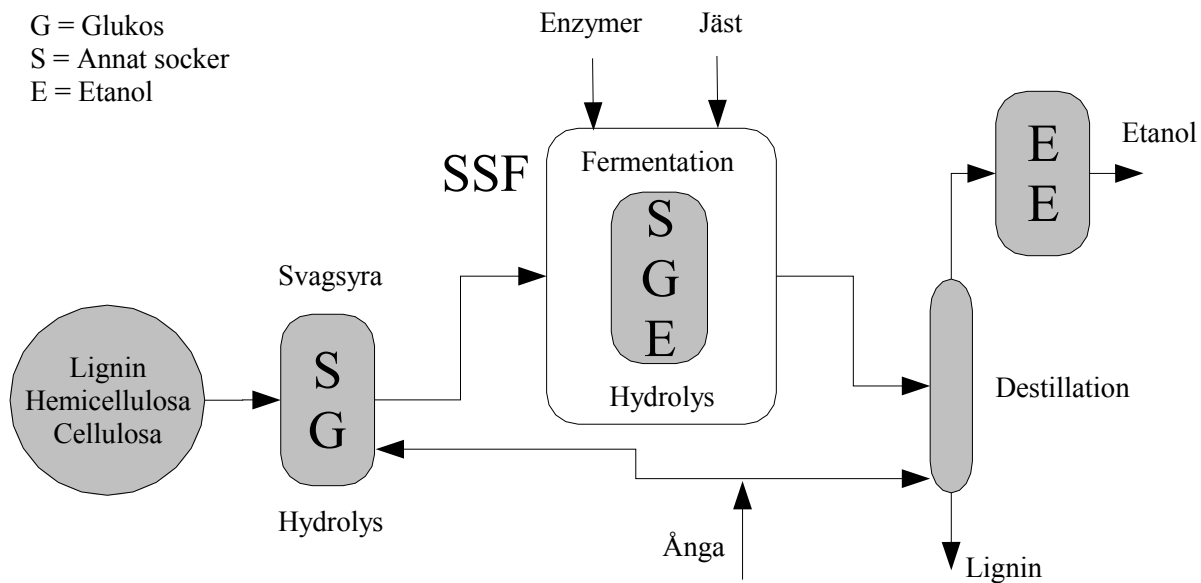


*Figur 3. Förenklat flödesschema över en svagsyrprocess*

### ***Enzymprocess***

Den tredje metoden som testats i Sverige är en enzymprocess som är mycket lik svagsyrametoden. Enzymprocessen har inte svagsyrans andra hydrolyssteg utan det ersätts med enzymer som bearbetar materialet och bryter ner det lättillgängliga sockret. Se figur 4 för processtegen.

Utbytet var ungefär 25 % (ton 100 procentig etanol/ton ts råvara) för lövved (Etek, 2004, www).



Figur 4. Förenklat flödesschema över en enzymprocess

### 3.5 SSF och SHF

Efter första steget med hydrolys av ett material kan metoden SSF (Simultaneous saccharification and fermentation) användas i svagsyra- och enzymprocessen. SSF betyder att hydrolys sker samtidigt som jästbakterier tillverkar etanol i samma kärl. Det blir ett moment mindre i processkedjan genom att använda SSF och även utbytet till etanol blir högre än om dessa steg sker var för sig SHF (Separate hydrolysis and fermentation). Kända nackdelar med samtidig fermentering och hydrolys är att ligninet blandas upp med vätskan och materialet i kärlet. Det kan då vara svårt att skilja ut ligninet efter att processen är klar.

### 3.6 Slutprodukt

Efter alla steg i processen med biomassan erhålls en slutprodukt som innehåller 95 % etanol och 5 % vatten. För att användas som drivmedel i diesel motorer måste tändförbättrare tillsättas och för otto-motorer måste eventuellt tändningen modifieras.

### 3.7 Restprodukter

Vid de olika stegen i processen bildas restprodukter i systemet. Lignin och koldioxid är två restprodukter som kan tas vara på och använda till andra ändamål. Beroende på materialet som används kommer mer eller mindre lignin att finnas som restprodukt. Efterfrågan på lignin för att tillverka pellets för eldning är stort, då lignin ger pellets ett högre värmevärde.

Koldioxiden som bildas under jäsning i processen kan tas till vara och användas vid t.ex. produktion av läskdrycker eller till brandsläckare (Etek, 2004, www). Men på grund av det låga marknadspriset för koldioxid tas den normalt inte till vara.

## 4 ETANOL SOM DRIVMEDEL

Etanol fungerar utmärkt som drivmedel, både i ottomotorer och i dieselmotorer. Viss ombyggnad måste dock göras och tillsatser måste eventuellt tillsättas.

För dieselmotorer som skall köras på etanol krävs en tändförbättrare och eventuellt högre kompression. Som tändförbättrare används Beraid 3555, vilket höjer det låga cetantalet som etanol har. Med fem procent inblandad Beraid i etanolen fås de egenskaper som behövs för att etanolbränslet skall fungera bra i en dieselmotor. Diesel har ett cetantal runt 50 vilket gör att det lätt självständigt under tryck i motorn. Risken för korrosion är större när etanol används som drivmedel jämfört med traditionella drivmedel, därför tillsätts även en viss mängd korrosionsskydd till etanolbränslet.

För att inte etanol skall drickas av människor tillsätts ämnen som gör den olämplig att förtära. Ämnena som tillsätts är MTBE och isobutanol. Dessa ämnen måste även tillsättas för att etanolen skall få kallas för teknisk etanol. Den slutliga bränslesammansättningen finns sammanställd i tabell 2 (Sekab, 2005, www).

*Tabell 2. Bränslesammansättning för drivmedel till dieselmotorer*

Ämne:	Vikt-%
Etanol (95%-ig)	92,2
Tändförbättrare (Beraid 3555)	5,0
MTBE	2,3
Isobutanol	0,5
Korrosionsskydd	90 ppm
Färgämne (rött)	

Vid inblandning av etanol upp till ca 15 procent behöver inga justeringar göras på en ottomotor. Vid högre inblandning krävs modifikation av motor och tändsystem. I Sverige är det dock inte tillåtet att köra med högre inblandning än 5 procent om inte motorn är byggd för ändamålet. För bilar som kör på E85 är bränsleblandningen 85 procent etanol och 15 procent bensin. Inblandning av bensin är viktiga för att lågorna skall synas vid brand. Ren etanol kan brinna utan att det syns.

## 5 FUNKTIONELL ENHET

För att alla resultat ska kunna jämföras krävs att det är för samma mängd eller storlek som resultaten visas. För att underlätta detta bestäms en funktionell enhet som alla beräkningar syftar till. Den funktionella enheten i detta arbete är produktionen av den mängd drivmedel som går åt för att bruka 1000 ha med den valda ekologiska växtföljden.

## 6 INVENTERING

### 6.1 Odling

I denna studie jämförs tre olika system för självförsörjning av en ekologisk gård med etanol från cellulosabaserade råvaror. Det är etanol från Salix, halm och rörflen. Avkastning, utbyte och erforderlig mängd drivmedel styr hur stor del av arealen som måste avsättas till energigröda.

Mängden drivmedel som går åt beräknas genom att summera bränsleförbrukningen för alla operationer för de olika grödorna. Genom att räkna om mängden drivmedel till antal ha energigröda fås hur många ha som måste avsättas till energigrödorna. Med Salix som energigröda går det åt ungefär fyra procent av arealen för att få fram den behövliga mängden drivmedel. För halm är den siffran betydligt större, det går åt närmare 14 procent av arealen. För systemet med halm behöver dock ingen extra areal att avsättas för drivmedelsproduktion utan behövlig mängd tas från den befintliga spannmålsodlingen. Systemet med rörflen som energigröda kommer att behöva ungefär 8 procent av den totala arealen. Se tabell 3 och 4 för fördelning av areal. I figur 5 visas tabell 3 i form av cirkeldiagram.

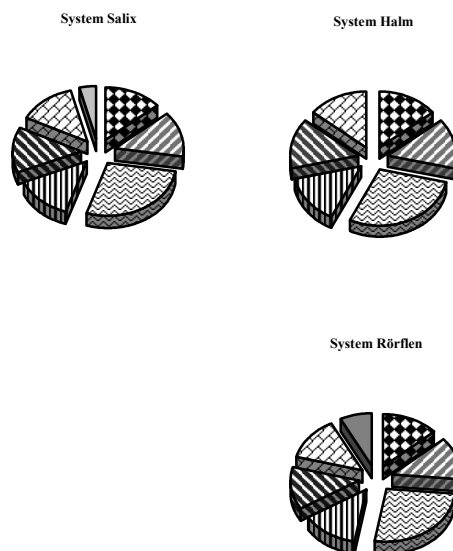
*Tabell 3. Fördelning av areal för de olika självförsörjande systemen*

Gröda	Salix – systemet (ha)	Halm – systemet (ha)	Rörflen – systemet (ha)
Åkerböna	137	143	132
Vete	137	143	132
Havre	137	143	132
Raps	137	143	132
Råg	137	143	132
Gröngödsling	275	286	264
Salix	39		
Halm		138	
Rörflen			75
Total	1000	1000	1000

*Tabell 4. Andel av total areal som går åt för att tillverka erforderlig mängd drivmedel*

System	Procent
Salix	4
Halm	14
Rörflen	8

- ▣ Vete
- ▤ Åkerböna
- ▥ Gröngödsling
- ▦ Havre
- ▧ Råg
- ▨ Raps
- ▩ Salix
- Rörflen



Figur 5. Fördelning av areal för de olika systemen

Både rörflen och Salix är grödor som kommer att ge avkastning mer än ett år utan att omläggning behöver göras. För rörflen är det beräknat att det ger skörd varje år. För Salix är det beräknat med 5 stycken skördar på 15 år vilket ger 3 år mellan skördarna (Jacobson 2001). I tabell 5 och 6 visas avkastningen för de valda grödorna.

Tabell 5. Avkastning otorkad gröda

Gröda	Avkastning (kg / ha.år)
Salix	12000
Halm	2975
Rörflen	5000

Tabell 6. Avkastning torkad gröda

Gröda	Avkastning (kg ts / ha.år)
Salix	6000 <sup>a</sup>
Halm	2529
Rörflen	4300

<sup>a</sup> Jacobson, 2001

## 6.2 Process

Emissionerna som sammanställs i slutet av denna studie är specifikt för detta upplägg av system och material. Systemet i fråga är etanolframställning av cellulosabaserad råvara med förbehandling och hydrolys med enzymer i så kallat SSF system. Förbehandling sker med ånga och impregnering av natriumhydroxid.

I en stor tank tillsätts jäst och enzymer till vätskan från förbehandlingen. När enzymerna bryter ner cellulosan i jäskaret bildas socker som sedan jästsvamparna använder för tillverka etanol.

Utvinnningen av socker från cellulosa fås från glucan, galactan och mannan, utbytet av dessa till etanol är 92 procent (Wingren, 2005). Andel glucan, galactan och mannan i respektive råvara visas i tabell 7. Utbyte till etanol från råvaran som tillförs processen med gällande verkningsgrad för processen presenteras i tabell 7.

*Tabell 7. Utbyte av etanol från respektive råvara*

	Glucan (%)	Galactan (%)	Mannan (%)	Summa (%)	Utbyte (%)	Verkningsgrad (%)	Totalt (Kg etanol / Kg råvara)
Salix	43,8	1,70	3,30	48,8	92,0	71,0	0,32
Halm	32,6	0,75	0,31	33,7	92,0	71,0	0,22
Rörflen	33,0	1,00	0,20	34,2	92,0	71,0	0,22

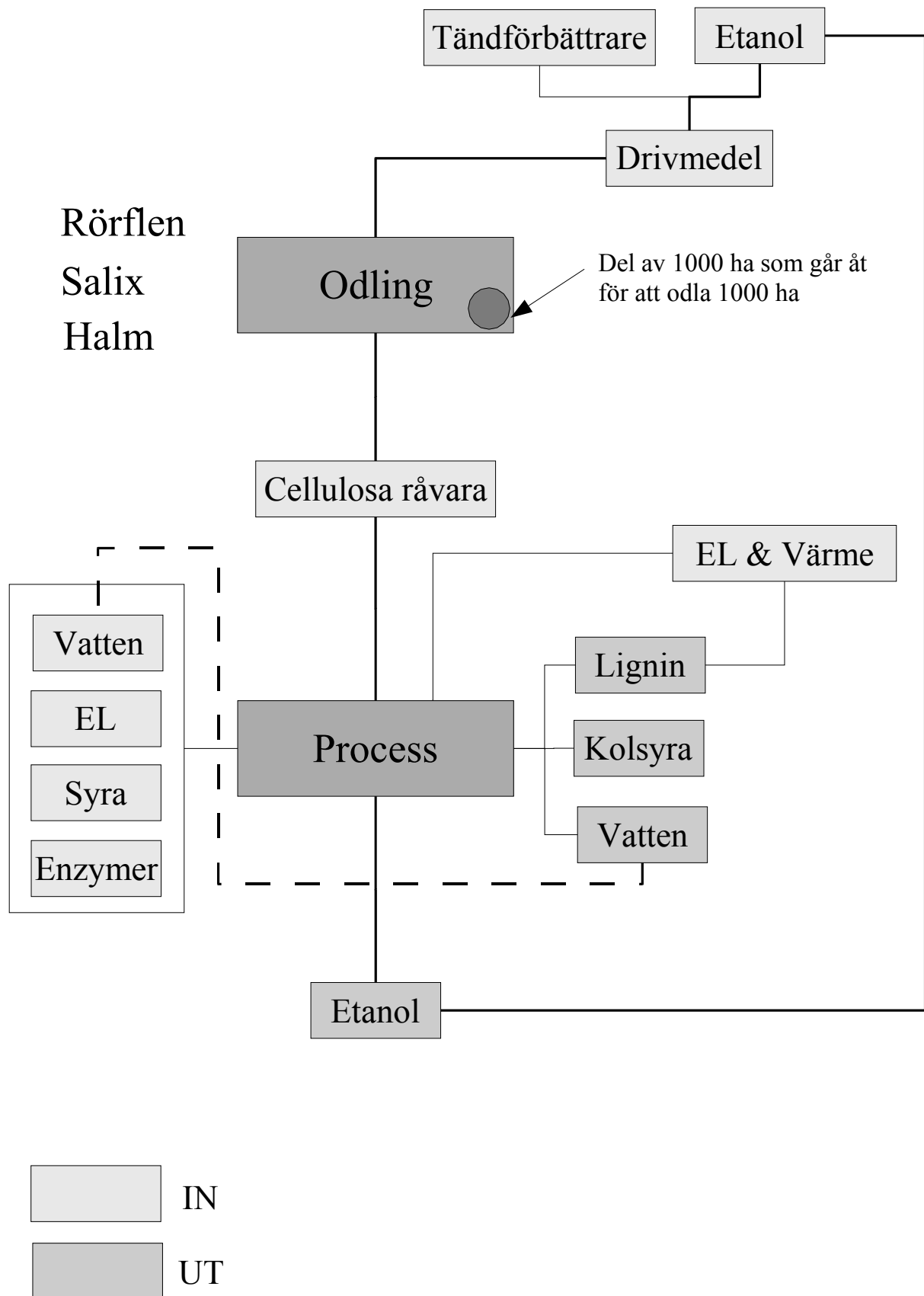
Vätskan från SSF steget centrifugeras och med filterpapper skiljer man den etanolhaltiga vätskan från fibermaterialet. Fibermaterialet som fås vid filtreringen består till 80 procent av lignin och efter torkning har det en torrsubstanshalt på 85 procent.

Mängden fiberråvara som fås från processen är 48 % av mängden råvara som tillförs processen (Wingren, 2005). Detta kan användas till att göra energipellets som i sin tur kan användas vid tillverkning av el och ånga. Energiinnehållet per kg beräknas till ca 18,2 MJ / kg.

Tack vare den stora mängden energipellets som kan tillverkas från processen kan det vara lämpligt med ett värmekraftverk i närheten av etanolanläggningen. Detta för att minska transporterna och optimera användningen av energipelletsen. För att kunna räkna på systemet allokeras fiberråvaran bort ur systemet och liknande bränsle köps in och förbränns i värmeverket. För att beräkna miljöeffekterna från transporterna har ett avstånd till värmeverk satts till 25 km.

För att beräkna emissioner från värmeverk har ett kombinerat ång- och elvärmeverk används. Förhållandet mellan tillverkning av el och ånga är 27 % el och 82 % ånga. Den totala verkningsgraden blir då 109 % vilket beror på att rökgaskondensering utnyttjas.

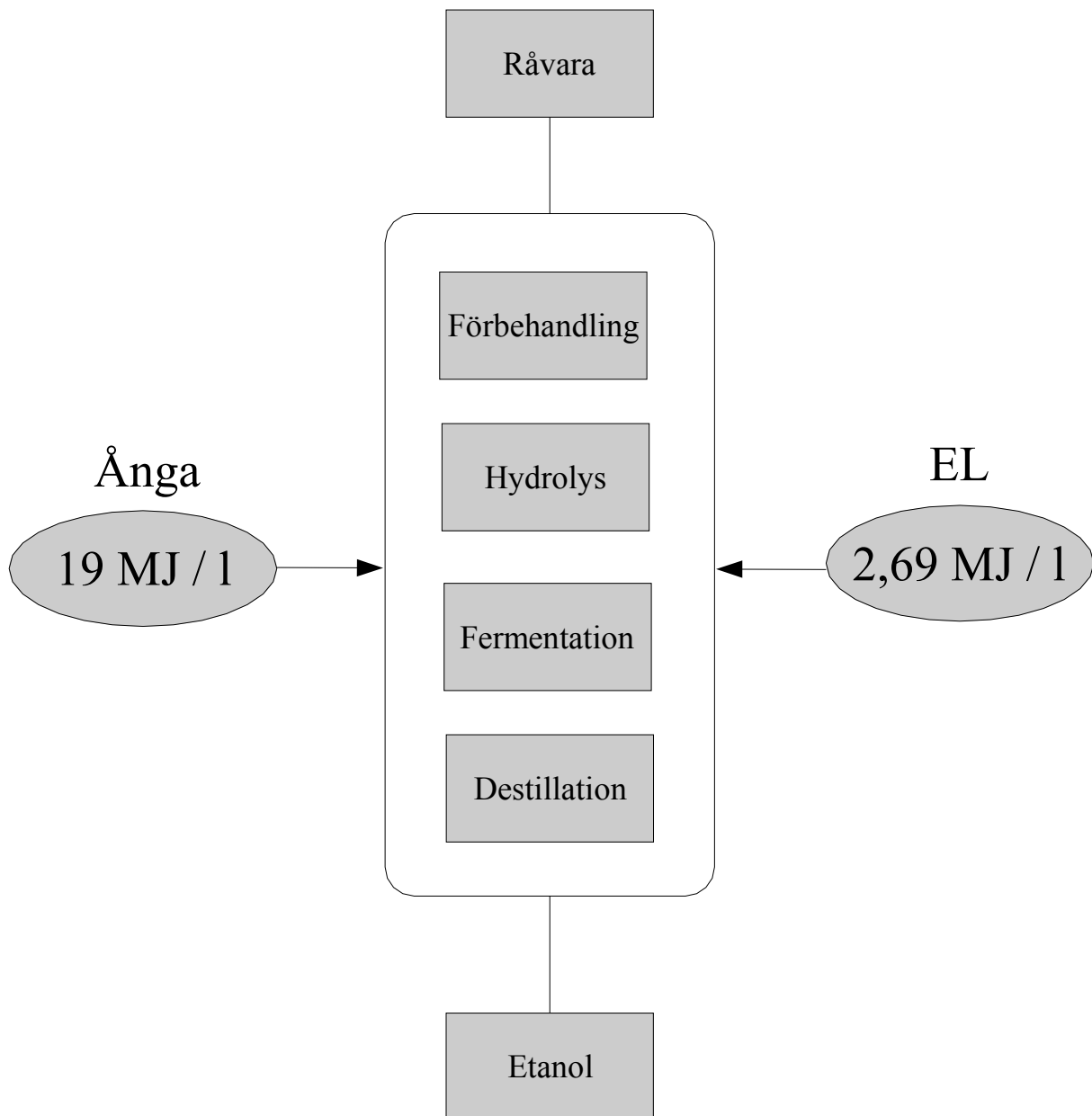
Den etanolhaltiga vätskan efter separeringen destilleras för att erhålla tillräckligt hög koncentration av etanol, i detta system 95 %.



Figur 6. Flödesschema för den totala processen



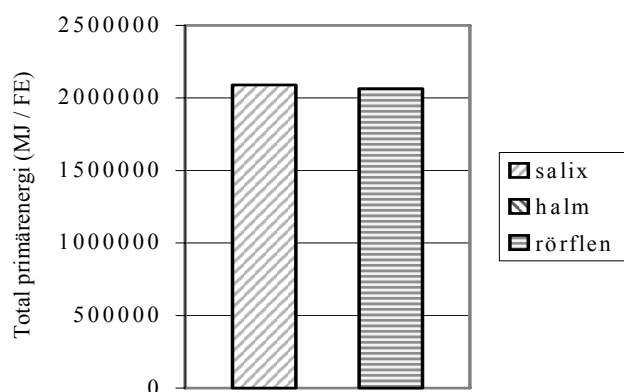
I figur 7 nedan visas de fyra stegen i processen med den totala åtgången av el och ånga. De fyra stegen använder tillsammans 19 MJ ånga / 1 etanol och 2,69 MJ el / 1 etanol.



Figur 7. Total ingående energi i form av el och ånga i processen

## 6.4 Drivmedelsåtgång

Den totala mängden drivmedel som behöver tillverkas i varje system visas i figur 8. Den mängden inkluderar förbrukning vid den vanliga odlingen och energigrödorna. För att odla valda energigrödor krävs olika operationer. Odlingskedja med valda maskiner och dess emissioner visas i bilaga 7 för de olika systemen.



Figur 8. Total mängd drivmedel som går åt för att odla 1000 ha gröda

För att etanolen skall bli ett drivmedel som fungerar i dieselmotorer krävs vissa tillsatser av tändförbättrande medel. Beraid tillsätts för att höja tändvilligheten hos drivmedlet, men även isobutanol och MTBE tillsätts för att göra den otjänlig att förtära och för att den ska få klassas som teknisk etanol. Emissioner från tillverkningen av dessa tillsatser visas i tabell 8.

Tabell 8. Total mängd emissioner från tillverkning av Beraid, Isobutanol och MTBE beräknat från (Bernesson, 2004)

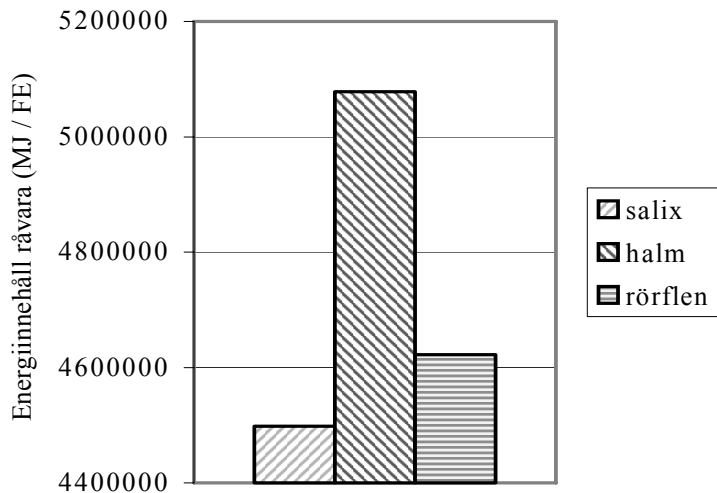
	CO <sub>2</sub> (kg)	CO (kg)	HC (kg)	CH <sub>4</sub> (kg)	NO <sub>x</sub> (kg)	SO <sub>x</sub> (kg)	Partiklar (kg)
Salix	7741,1	2,0	33,3	0,2	22,9	13,4	3,3
Halm	15686,8	2,4	67,4	0,4	36,3	17,0	4,1
Rörflen	14964,7	2,3	64,3	0,4	34,7	16,2	4,0

## 7 ALLOKERINGAR

Allokering används för att fördela emissioner på produktgemensamma processer. För att inte etanolen ska belastas med alla emissionerna från processteget görs en allokering med hänsyn till energi ut. Från processen fås etanol och fiberråvara som innehåller energi. Delar man energin i etanolen på total utgående energi och gör samma sak med fiberråvaran fås ett förhållande mellan dessa. I figur 9 ser man den totala utgående energin uppdelad på etanol och på fiberråvara. Det är det som styr allokeringen i det här fallet. Enligt tabell 10 kommer 48 procent av emissionerna från processen att tillfalla etanolen i Salixsystemet. Fiberråvaran

kommer att få ta 52 procent av emissionerna. Dessa 52 procent allokeras bort från systemet vid leverans av fiberråvara.

För systemet med halm sker även en allokering mellan halm och vetekärna. Den allokeringen grundar sig på ett ekonomiskt förhållande mellan halm och vetekärna. Priset för ekologiskt vete ligger på 1.25 kr / kg och balad vete halm ligger på 0.50 kr / kg. Räknat på avkastning och pris fås att halmen belastas med 25 % av emissionerna från odlingen.



Figur 9. Förhållande av utgående energi uppdelat på produkterna ut från processen

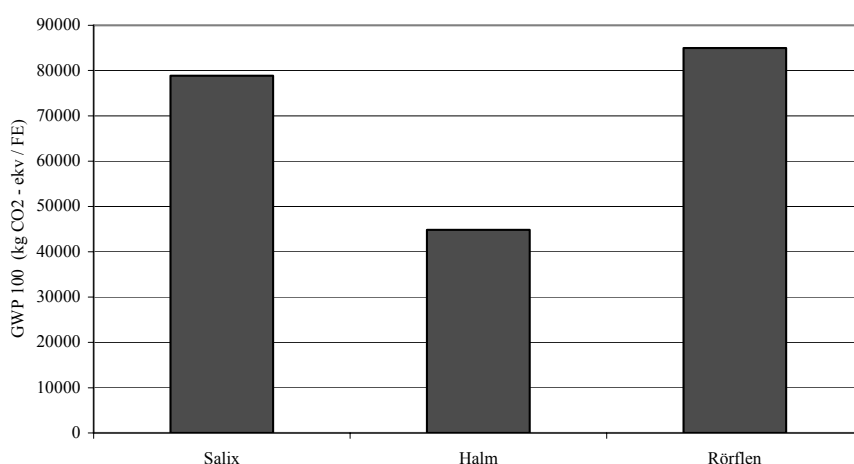
Tabell 10. Förhållande i procent över utgående energi från processen

	Etanol	Fiberråvara
Salix	48%	52%
Halm	39%	61%
Rörflen	39%	61%

## 8 RESULTAT

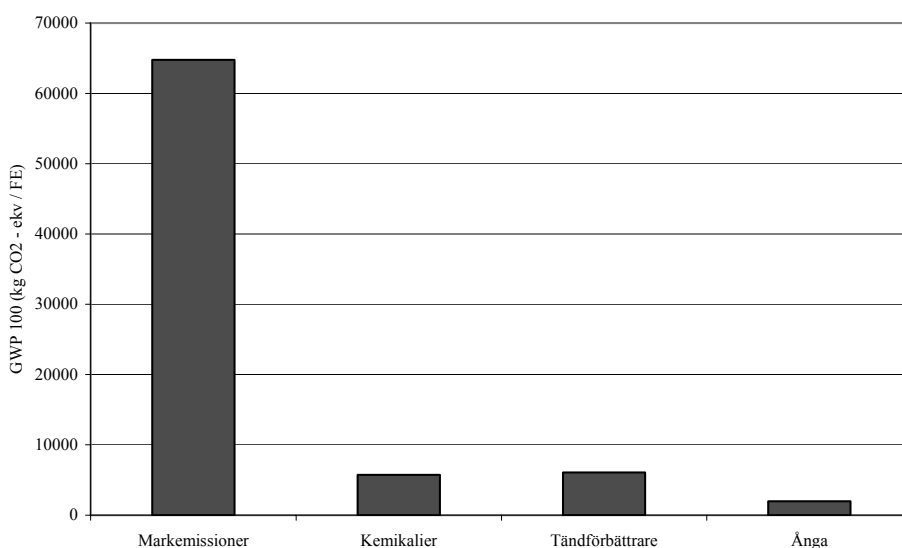
### 8.1 Växthuseffekt

Nedan i figur 10 visas en jämförelse av den totala miljöpåverkan med avseende på GWP 100 för de olika systemen. Figuren visar att halmsystemet är mer fördelaktigt jämfört med Salix- och rörfle-systemen. Det beror på att ingen extra areal avsätts och att stor del av miljöbelastningen allokeras på vetekärnan. Rörflen har en lägre avkastning än Salix varför en större areal måste avsättas till produktion av etanol. Den ökande arealen är anledningen till att GWP100 är något högre för rörflen än för Salix.

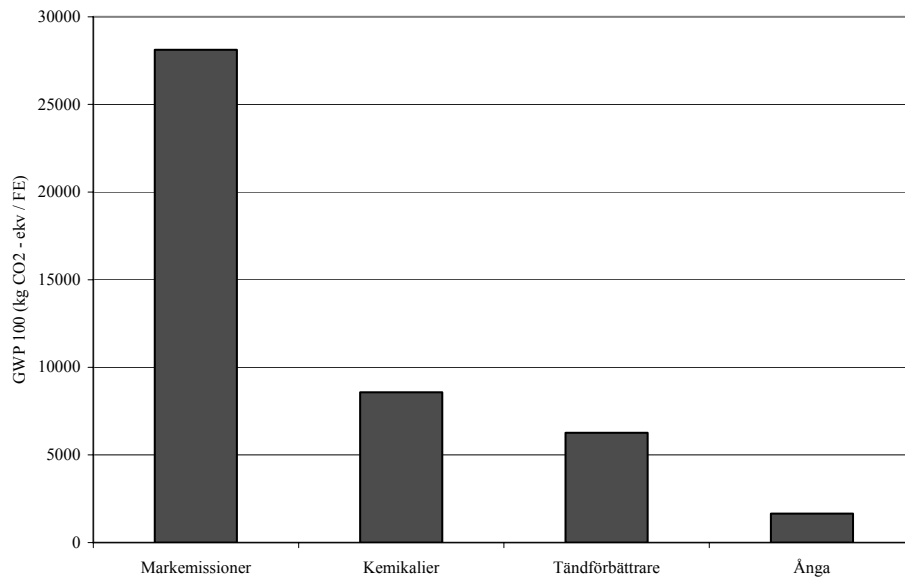


Figur 10. Total miljöpåverkan räknat på GWP 100 för de olika systemen

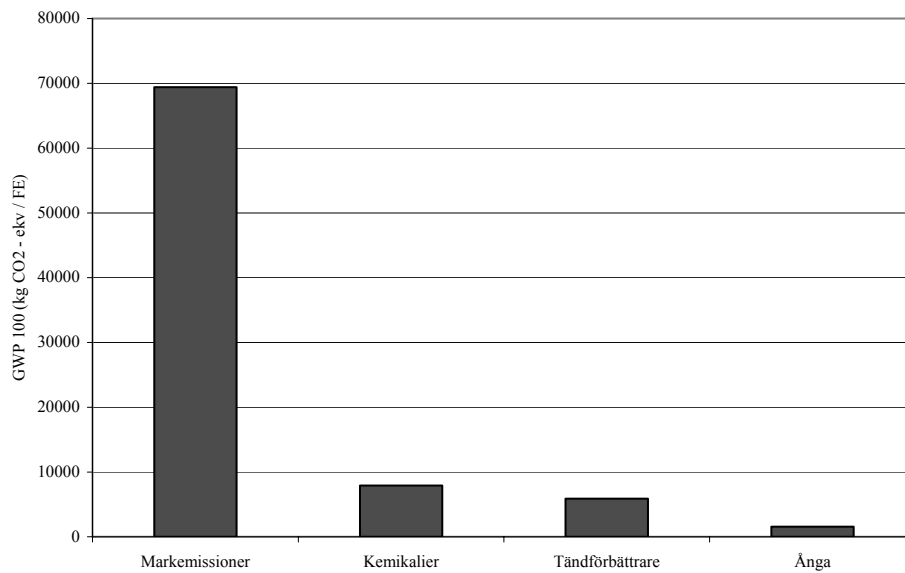
Figurerna nedan visar hur fördelningen ser ut för emissioner som påverkar GWP 100. I figurerna 11, 12 och 13 ses att markemissioner bidrar till en stor del av den totala växthuseffekten. Med kemikalier menas de kemikalier som behövs i processen.



Figur 11. Uppdelning av GWP 100 för Salix på underliggande källor



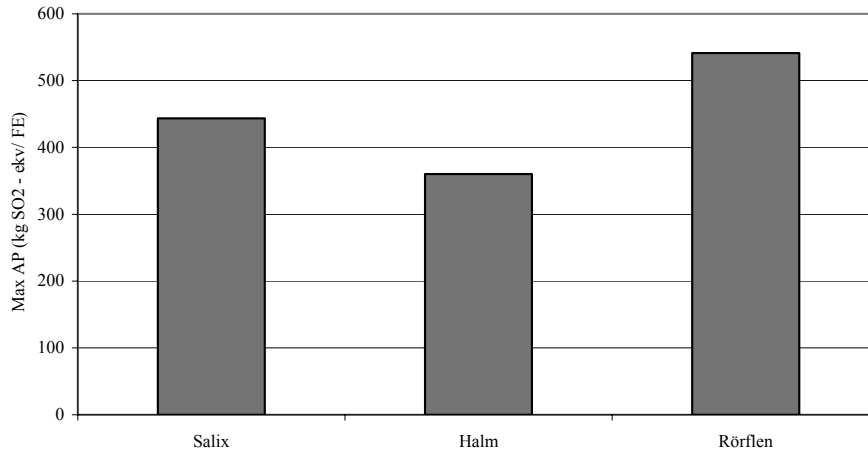
*Figur 12. Uppdelning av GWP 100 för halm på underliggande källor*



*Figur 13. Uppdelning av GWP 100 för rörflen på underliggande källor*

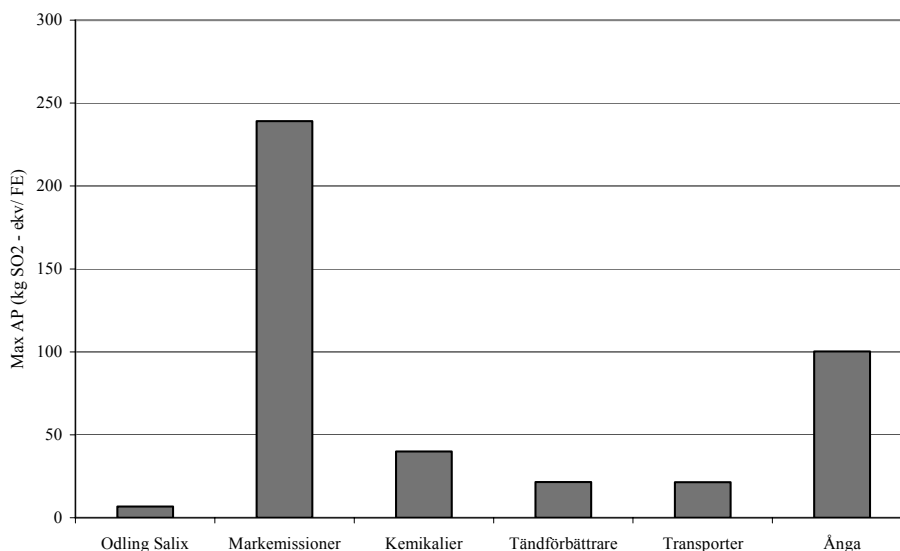
## 8.2 Försurning

I figur 14 visas en jämförelse av den totala miljöpåverkan med avseende på försurning för de olika systemen. I figuren ses att halmsystemet är mer fördelaktigt jämfört med Salix- och rörflensystemen.

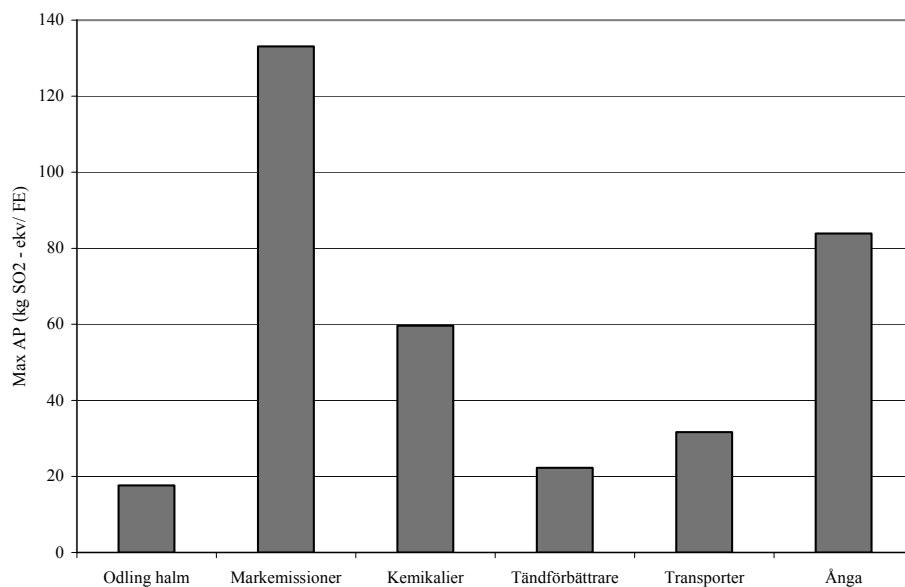


Figur 14. Total miljöpåverkan räknat på försurning för de olika systemen

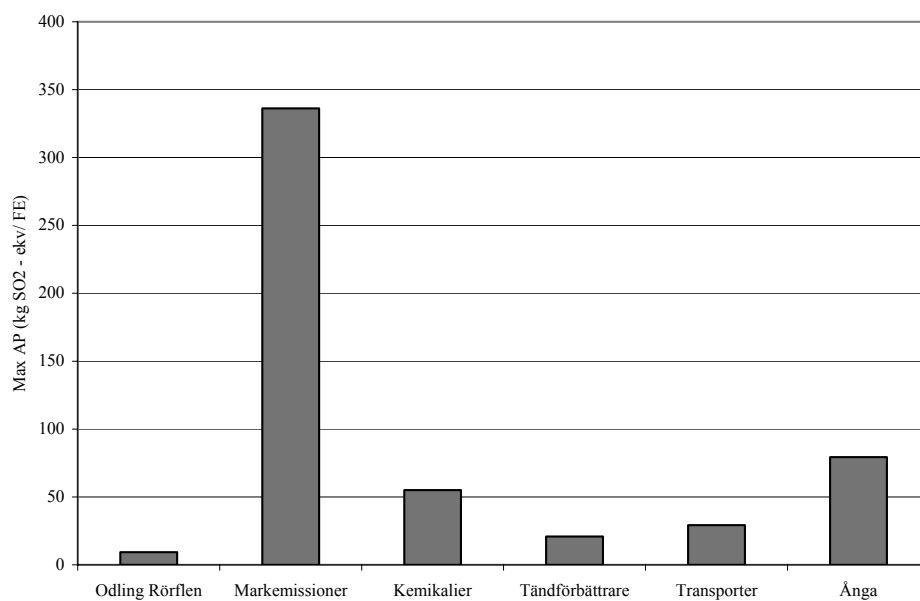
I figurerna 15, 16 och 17 är den totala försurningen uppdelad på de ingående källorna. Den klart största bidragande källan till försurning kommer från markemissioner. Den första stapeln i figurerna 15, 16 och 17 är den försurning kommer från odling av energigröda för att få fram tillräcklig mängd drivmedel. Det är ungefär 28 procent av stapeln för odling av halm som beror på själva bärgningen av halmen, resten beror på odlingen av vete. Med kemikalier menas de kemikalier som behövs i etanolprocessen.



Figur 15. Uppdelning av försurning för Salix på underliggande källor



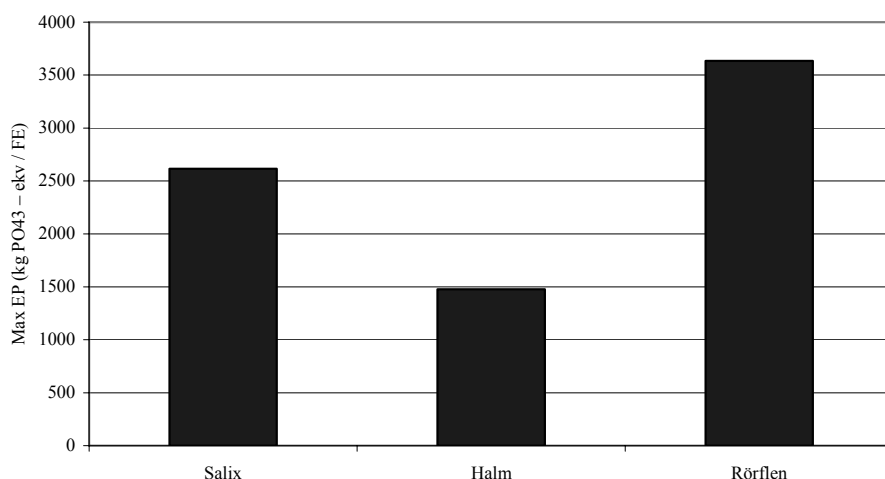
Figur 16. Uppdelning av försurning för halm på underliggande källor



Figur 17. Uppdelning av försurning för rörflen på underliggande källor

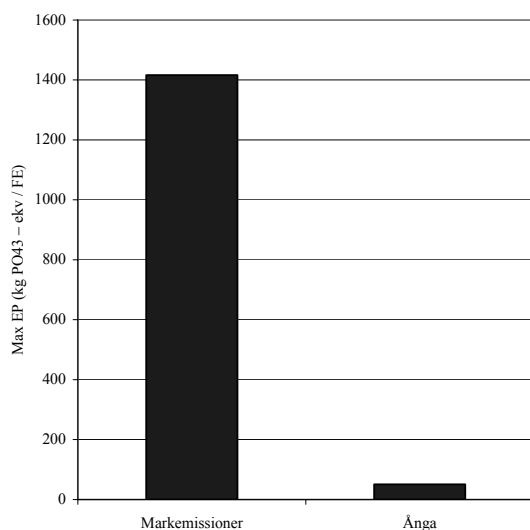
### 8.3 Övergödning

Nedan i figur 18 visas en jämförelse mellan de olika systemen med avseende på övergödning. Figuren visar att halmsystemet är mer fördelaktigt i jämförelse med Salix- och rörlenssystemet.

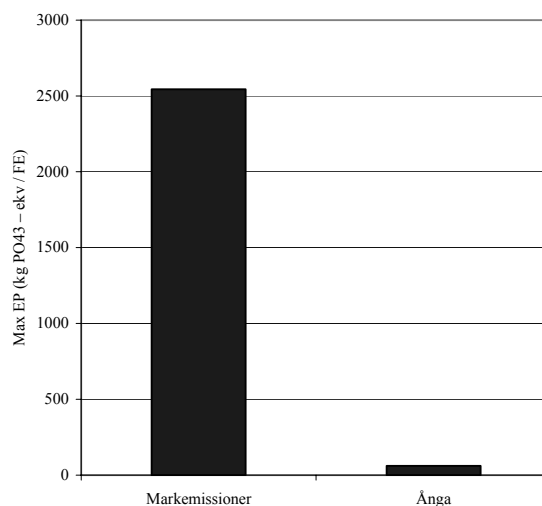


Figur 18. Total miljöpåverkan räknat på övergödning för de olika systemen

I figurerna 19, 20 och 21 visas att det är uteslutande markemissioner som bidrar till den totala övergödningen i de olika systemen. Ånga var den enda andra ingående källan som kom över 1 procent av den totala övergödningen.

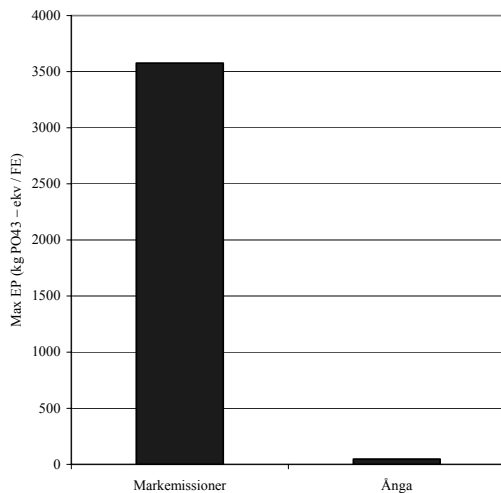


Figur 19. Uppdelning av övergödning för Salix på underliggande källor



Figur 20. Uppdelning av övergödning för halm på underliggande källor





Figur 21. Uppdelning av övergödning för rörfilen på underliggande källor

## 8.4 Primärenergi

För att kunna jämföra studier med varandra är det viktigt att det finns ett gemensamt sätt att göra det på. Därför räknar man om energin som behandlas till primärenergi eller ursprungsenergi. Den energin är inte beroende av energislag. Utan den omräkningen är det svårt att jämföra t.ex. elenergi med etanol. Men tack vare bestämning av hur mycket energi det går åt för att framställa el och etanol kan den jämförelsen göras. I värdena i figur 24 är från grödorna inte inräknade. Mängden energi från råvara visas i figur 23.

Nedan i tabell 11 och figur 24 visas fördelningen av den totala primära energin på ingående källor. Värdet för el och ånga är den energi behövs i processen omvandlad till primärenergi, omvandlingsfaktor är ungefär 1,2. Värdet för etanol är den mängd drivmedel i form av primärenergi som behövs för att odla arealen av energigröda.

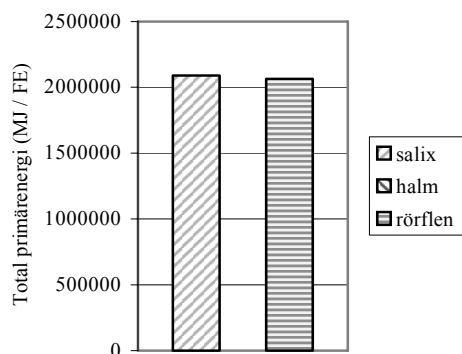
I tabell 12 visas den energi som kommer ut ur processen uppdelad på etanol och fiberråvara.

Tabell 11. Fördelning av primärenergi på de olika systemen och ingående källor

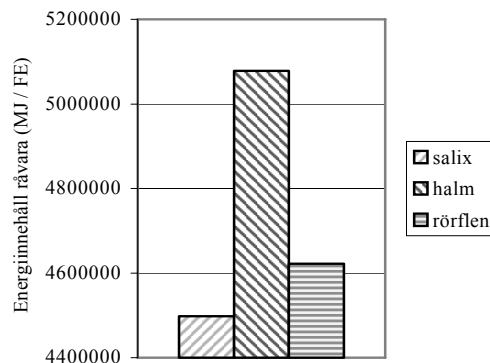
	Salix (MJ)	Halm (MJ)	Rörflen (MJ)
El och ånga	2084699	2150578	2015778
Etanol för odling och skörd	6600	38907	38174
Produktion tändförbättrare	1338	9735	9466
Summa	2092638	2199220	2063418

Tabell 12. Fördelning av energi på utgående produkter

	Etanol (MJ)	Fiberråvara (MJ)
Salix	1874371	2046578
Halm	1933603	3057244
Rörflen	1812403	2823719



Figur 22. Fördelning av primärenergi på de olika systemen



Figur 23. Energiinnehåll råvara in i processen

## 9 KÄNSLIGHETSANALYS

### 9.1 Enkel känslighetsanalys

För att se vilka faktorer som har störst inverkan på miljöpåverkan utfördes en känslighetsanalys. Genom att öka eller minska alla ingående källor med 20 procent kan man se hur stor påverkan är från den aktuella källan. För alla system ses det klart att markemissionerna är den klart största bidragande källan.

#### Salix

Genom att göra en känslighetsanalys på systemet för Salix fås en fördelning av påverkan. Alla ingående källor är medtagna i beräkningarna men bara några är redovisade här. Det på grund av den lilla påverkan som de bidrog till. Resultat från känslighetsanalysen för Salix är redovisade i tabell 13

Tabell 13. Känslighetsanalys Salix

	GWP	AP	EP
Markemissioner	82%	54%	97%
Kemikalier	7%	9%	0%
Tändförbättrare	8%	5%	0%
Ånga	3%	23%	2%

## **Halm**

Halmsystemets fördelning av påverkan är mycket likt Salixsystemet. Även här utgör markemissionerna den största påverkan. Resultat för halm redovisade i tabell 14.

*Tabell 14. Känslighetsanalys halm*

	GWP	AP	EP
Markemissioner	63%	39%	96%
Kemikalier	19%	17%	0%
Täandförbättrare	14%	7%	0%
Ånga	4%	24%	3%

## **Rörflen**

Även systemet med rörflen har väldigt stor påverkan av markemissionerna vid undersökning med känslighetsanalys. Resultat för rörflen är redovisade i tabell 15.

*Tabell 15. Känslighetsanalys rörflen*

	GWP	AP	EP
Markemissioner	82%	62%	98%
Kemikalier	9%	10%	0%
Täandförbättrare	7%	4%	0%
Ånga	2%	15%	1%

## **9.2 Ekonomisk allokering**

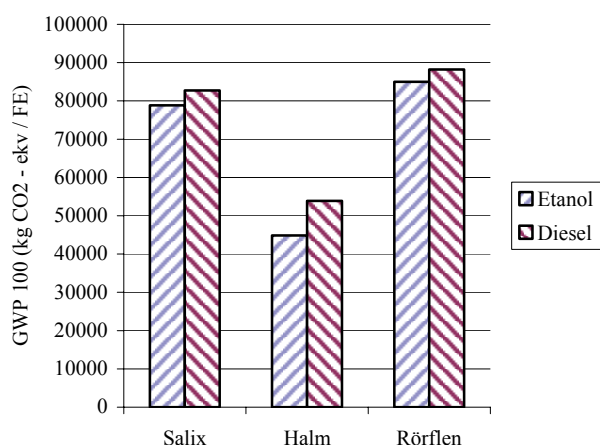
De olika systemen har allokerats efter mängden energi ut ur processen. Även resultatet för en ekonomisk allokering har tagits fram. Fördelningen mellan etanol och fiberråvara blev då lite annorlunda jämfört vid allokering efter energimängd. I detta fall beräknades priset på etanol till 5.53 kr / kg (Baff, 2004, www) och för fiberråvaran 1.87 kr / kg. Fördelningen mellan produkterna visas i tabell 16.

Tabell 16. Fördelning mellan etanol och fiberråvara som grund till ekonomisk allokering (Bernesson, 2004)

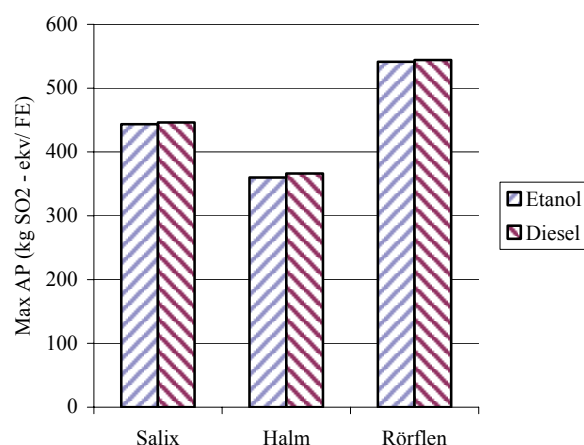
	(kr / kg)	(MJ / kg)	Fördelning
Etanol Salix	5,03	25,1	63 %
Fiberråvara salix	1,87	18,2	37 %
Etanol halm	5,03	25,1	60 %
Fiberråvara halm	1,87	18,2	40 %
Etanol rörflen	5,03	25,1	62 %
Fiberråvara rörflen	1,87	18,2	38 %

### 9.3 Diesel som drivmedel

Om man byter ut etanoldrivmedlet som går åt vid odling av energigrödan mot diesel, ses en ökning i GWP 100 och AP. Den lilla skillnaden som blir beror av att koldioxiden som bildas vid förbränning av diesel har fossilt ursprung. I basscenariot med etanol är koldioxiden klassad som förnybar. I figur 24 och 25 visas värden för när diesel används som drivmedel.



Figur 24. Total GWP 100 när diesel används som drivmedel jämfört med när etanol används vid produktion av energigröda



Figur 25. Total AP när diesel används som drivmedel jämfört med när etanol används vid produktion av energigröda

## 10 DISKUSSION

Av resultaten från denna studie kan man se att systemet med halm är mer fördelaktigt jämfört med systemen för Salix och rörflen. Halmsystemet har lägst miljöpåverkan när man ser till GWP 100, AP och EP. Fördelen med halmen är att man inte behöver avsätta någon areal till odlingen av denna energigröda. Det gör att hela arealen kan användas till att producera mat. Detta kan liknas med systemet för produktion av biogas som behandlas i rapporten Use of on-farm produced biofuels on organic farms- Evaluation of energy balances and environmental load for three possible fuels (Fredriksson H et al, 2005). Där används hela den tillgängliga arealen till att producera mat. Produktionen av biogas kommer från material som tagits från grüngödslingsarealen.

I den ovan nämnda rapporten var det systemet för RME som hade den lägsta miljöpåverkan. För växthuseffekten var den siffran 43 757 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter. I denna studie där etanol från cellulosebaserade råvaror behandlas är det systemet för halm som har lägst miljöpåverkan, siffran för växthuseffekten är 44 852 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter. Skillnaden mellan dessa två är inte så stor. Det tyder på att det finns fler egenproducerade bränslen som kan tillverkas till ungefär samma grad av miljöpåverkan.

I jämförelsen mellan Salix och rörflen framgår att Salixsystemet är något mer fördelaktigt mot rörflen. Skillnaden kommer troligen från att Salix har högre avkastning än rörflen och ett något högre utbyte av socker. Den lägre avkastningen som rörflen har gör att närmare 3,6 % mer areal måste avsättas jämfört med Salixen. På grund av att markemissionerna är så pass höga påverkar den ökade arealen.

För att få acceptabla skördar av Salix krävs att man tillför näring under tiden den växer. I konventionell odling av Salix tillför man näring år 1 eller 2 i varje omdrev. Två sätt att lösa sättet att tillföra näring kan vara spridning av pelleterade godkända ekologiska gödselmedel eller spridning av biogasslam. Pelleterade gödselmedel går bra att sprida med centrifugalspridare. Biogasslam kan tillföras vid varje omdrev och i tillräckliga mängder för den omgången av Salix.

Med tanke på att man måste köpa in gödsel eller annan näring så kanske inte Salix är den bästa grödan i detta system. Salix är även den energigröda som kräver störst omläggning för att odla.

I detta arbete har ekonomisk allokering endast använts för allokeringen mellan halm och vetekärna, inte för allokeringen mellan produkterna ut från processen. Men om man ser till fördelning mellan fiberråvara och etanol i pris skulle etanol att få ta en större del av miljöbelastningen vid ekonomisk allokering. Miljöpåverkan för att framställa etanol kommer att vara större om ekonomisk allokering används.

Hampa är en gröda som både ger hög avkastning och har ett högt utbyte av socker. Den är nästan jämförbar med Salixen i avkastning men har ungefär 10 % högre utbyte av socker från cellulosa. Även odling och omställning till hampa vore enklare än för Salix. Mark där hampa har växt under några år är enklare att bruka om för annan produktion än mark där Salix har vuxit. Under de 20 år som Salix odlas hinner den utveckla stora mängder rötter som kan vara svåra att få bort efter produktionen.

För att beräkna energiåtgång under processens gång användes siffror på småskalig framställning av etanol. Dessa siffror är säkerligen specifika för just den typen av system och utförande. På grund av att det inte finns något storskaligt och i bruk så fick de siffrorna användas.

Om några år finns det säkert ett helt annat underlag för att göra den här typen av undersökning. När rapporter publiceras från pilotanläggningen i Örnsköldsvik kan troligen exaktare beräkningar göras med avseende på processtegen. Det kan då vara möjligt att göra beräkningar gällande lönsamheten att tillverka etanol från cellulosabaserade råvaror.

## 11 REFERENSER

### Tryckta referenser

#### *Referenslistan*

##### *Böcker*

Bernes C. *Läker tiden alla sår? Om spåren efter människans miljöpåverkan*. 2001. Naturvårdverkets förlag. Borås. ISBN: 91-620-1213-4

Cohen A. 2003. *Investigation of modified cellulose and starch via hydrolysis and mass spectrometry*. Lund. ISBN: 91-7422-035-7

Mörtstedt S, Hellsten G. 1999. *Data och diagram*. Liber. Malmö. ISBN: 91-47-00805-9

Rydh C, Lindahl M, Tingström J. 2002. *Livscykelanalys – en metod för miljöbedömning av produkter och tjänster*. Studentlitteratur. Lund. ISBN: 91-44-02447-9

Stenberg K. 1999. *Ethanol from softwood, Process development based on steam pre-treatment and SSF*. Lund. ISBN: 91-628-3583-1

##### *Artiklar*

Aden A, Ruth M, Ibsen K, Jechura J, Neeves K, Sheehan J, Wallace B. 2002. Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics Utilizing Co-Current Dilute Acid Prehydrolysis and Enzymatic Hydrolysis for Corn Stover. *Technical report NREL*

Andersson C, Gilbertsson M, Rogstrand G, Thylén L. 2004. Skördekartering av salix. *JTI-rapport Lantbruk och industri 328*

Ballesteros M, Olivia J M, Manzanares P, Negro M J, Ballesteros I. 2002. Ethanol production from paper material using a simultaneous saccharification and fermentation system in fed-batch basis. *World journal of microbiology and biotechnology* **18**: 559-561

Bernesson S. 2004. Life cycle assessment of rapeseed oil, rape methyl ester and ethanol as fuels – a comparison between large- and small scale production. SLU Institutionen för biometri och teknik. Uppsala.

Brännström-Norberg B – M, Dethlefsen U, Johansson R, Setterwall C, Tunbrant S. 1996. Livscykelanalys för Vattenfalls elproduktion. Stockholm

Burvall J, Landstöm S. 1997. Vårskördad rörflen- en kommande energigröda. *Bioenergi nr5*  
Curreli N, Agelli M, Pisu B, Rescigno A, Sanjust E, Rinaldi A. 2002. Complete and efficient hydrolysis of pretreated wheat straw. *Process biochemistry* **37**: 937-941

Dahlberg L. 1998. Chemical composition of reed canary-grass- influence of variety and growth place. Degree projekt in engineering chemistry (20p)

- Elsayed M A, Matthews R, Mortimer N D. 2003. Carbon and energy balances for a range of biofuels options. Projektnummer: B/B6/00784/REP URN 03/836.
- Ericson M, Odéhn G. 1999. A life-cycle assessment on ethanol fuel from wine. Chalmers tekniska högskola. Göteborg.
- Finnveden G, Lindfors L, Stripple H. 1994. Livscykelanalys av etanol ur sorterat hushållsavfall med starksyrahydrolys.
- Galbe M, Zacchi G. 2002. A review of the production of ethanol from softwood. *Applied microbiology and biotechnology* **59**: 618-628
- Fredriksson H, Baky A, Bernesson S, Nordberg A, Nore'n O, Hansson P.-A. 2005. Use of on-farm produced biofuels on organic farms- Evaluation of energy balances and environmental load for three possible fuels
- Jakobsson E. Optimization of the pretreatment of wheat straw for production of bioethanol. Department of chemical engineering, Lund university.
- Landström S, Wik M. 1997. Rörflen Odling, skörd och hantering. *Fakta mark/växter nr1*. ISSN: 0280-7106
- Larsson S, Cuingnet C, Jacobson C, Dawson M, Backlund A, Mavrogianopolus G. 2001. Växthusgasbudget för salixodling i Uppland. SLU.
- Larsson S. 2003. Short-rotation willow biomass plantations irrigated and fertilized with wastewaters. Final report European Commission DG VI, Agriculture
- Lindgren M, Pettersson O, Hansson P, Norén O. 2002. Jordbruks- och anläggningsmaskinernas motorbelastning och avgasemissioner. JTI – institutet för jordbruks- och miljöteknik.
- Mezher B. SSf Study Using Yeast Cultivated On Salix Hydrolysates. Department of chemical engineering. Lunds institute of technology.
- Olsson R, Rosenqvist H, Vinterbäck J, Burvall J, Finell M. 2001. Rörflen som energi- och fiberråvara, en system- och ekonomistudie. *BTK-rapport 2001:4*
- Pahkala K, Partala A, Suokannas A, Klemola E, Kalliomäki T, Kirkkari A M, Sahramaa M, Iso-lahti M, Lindh T, Flyktman M. 2003. Odling och skörd av rörflen för energiproduktion. *Jordbruk och livsmedelsekonomi* **1**: 1-19
- Sedlak M, W.Y.Ho N. 2004. Production of ethanol from cellulosic biomass hydrolysates using genetically engineered *Saccharomyces* yeast capable of cofermenting glucose and xylose. *Applied biochemistry and biotechnology* **113-116**: 403-416
- Sun Y, Cheng J. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production : a review. *Bioresources technology* **83**: 1-11
- Uppenberg S, Almemark M, Brandel M, Lindfors L, Marcus H, Stripple H, Wachtmeister A, Zetterberg L. 2001. Miljöfaktabok för bränslen. Del 1. Huvudrapport.
- Volk A T. 2004. Growing fuel: a sustainability assessment of willow biomass crops. *Front Ecol Environ* **2(8)**: 411–418
- Weimann M. 2003. Lignocellulosic ethanol. Report 2GAVE-03.11NOVEM. Projektnummer: 6247-02-02-01-1010/4700003401
- Wingren A. 2005. Ethanol from softwood – Techno – economic evaluation for development of the enzymatic process. Department of chemical engineering. Lund university.



## Internetreferenser

BioAlcohol and fuel foundation (Baff). 2005. <http://www.baff.info/>

Bio-process. 050414. Enzymatic simultaneous saccharification and fermentation (SSF) of biomass to ethanol in a pilot 130 liter multistage continuous reactor separator. <http://www.bio-process.com>

Energimyndigheten. 050429. Etanol som biodrivmedel. [http://www.stem.se/web/biblshop.nsf/FilAtkomst/ET11\\_04.pdf](http://www.stem.se/web/biblshop.nsf/FilAtkomst/ET11_04.pdf)

Energimyndigheten. 050429. Etanol som drivmedel. <http://www.stem.se>

Etanolteknik AB. 050312. Slutrapport mål 1 NN <http://www.etek.se/dokumentarkiv/Slutrapport Mål 1 NN 041129.pdf>

Etanolteknik AB. 050312. Slutrapport mål 1 SS <http://www.etek.se/dokumentarkiv/Slutrapport Mål 1 SS 041129.pdf>

Etanolteknik AB. 050412. Etanolteknik. <http://www.etek.se/main.cfm?p=Etanolteknik>

Miljömålsportalen. 050913. <http://www.miljomal.nu/>

Phyllis, database for biomass and waste. 050517. <http://www.ecn.nl/phyllis>

Klimatsajten. Stockholms universitet. 2005. <http://www.misu.su.se/klimat/stralning.html>

Svensk Etanol kemi AB Örnköldsvik, 050928, <http://www.sekab.se/word/EtamaxD.pdf>

## Bilaga 1. Indata för odling och vidare beräkningar

---

### Odling

---

Bränsleförbrukning ha medel	92,81	liter
Energiinnehåll etanol	25,1	MJ / kg
Energiinnehåll diesel	43,3	MJ / kg
Densitet etanol	1	kg / liter
Densitet diesel	0,813	kg/ liter

---

---

### Avkastning

---

			kg ts / ha och år		
Salix	12000	kg	50 % vattehalt	=	6000 kg
Halm	2975	kg	15 % vattenhalt	=	2529 kg
Rörflen	5000	kg	14 % vattenhalt	=	4300 kg

---

---

### Värmevärde

---

Salix	19,2	MJ / kg
Halm	14,51	MJ / kg
Rörflen	14,3	MJ / kg

---

## Bilaga 2. Emissioner från tillverkning av el, ånga och tändförbättrare

Uppenberg et al, 2001									
EL	CO2 [kg / MJ]	CO [kg / MJ]	CH4 [kg / MJ]	N2O [kg / MJ]	NOx [kg / MJ]	NH3 [kg / MJ]	SOx [kg / MJ]	COD [kg / MJ]	
	0,0014000	0,0003800	0,0000240	0,0000063	0,0001040	0,0000037	0,0000430		
Salix	162,2099	44,0284	2,7807	0,7299	12,0499	0,4287	4,9822		
Halm	135,6182	36,8107	2,3249	0,6103	10,0745	0,3584	4,1654		
Rörflen	128,2663	34,8151	2,1989	0,5772	9,5284	0,3390	3,9396		
Uppenberg et al, 2001									
Ånga	CO2 [kg / MJ]	CO [kg / MJ]	CH4 [kg / MJ]	N2O [kg / MJ]	NOx [kg / MJ]	NH3 [kg / MJ]	SOx [kg / MJ]	COD [kg / MJ]	
	0,0014000	0,0003800	0,0000240	0,0000063	0,0001040	0,0000037	0,0000430		
Salix	1144,0620	310,5311	19,6125	5,1483	84,9875	3,0236	35,1390	0,00	
Halm	956,5113	259,6245	16,3973	4,3043	71,0551	2,5279	29,3786	0	
Rörflen	904,6583	245,5501	15,5084	4,0710	67,2032	2,3909	27,7859	0	
Bernesson, 2004									
	CO2 [g / kg]	CO [g / kg]	HC [g / kg]	CH4 [g / kg]	NOx [g / kg]	SOx [g / kg]	Partiklar [g / kg]	Energi IN [ MJ / kg]	
Beraid	1024	0,354	4,69	0,0397	3,59	2,38	0,583	34,4	
MTBE	1150	0,069	3,90	0,0093	1,88	0,33	0,121	34,9	
Isobutanol	735	0,028	3,91	0,0243	1,27	0,44	0,064	36,7	
Morpholine	586	0,114	0,00	0,0007	1,41	2,78	0,230	8,7	

### Bilaga 3. Uträkning av emissioner från transporter

#### Transporter

Salix

Transport medelstor tankbil

Transport av:	Sträcka [km]	Mängd [kg]	Totalt [tonkm]
Tändförbättrare	110	5625	809
Etanol	25	74676	1877
Kemikalier	110	16985	2209
Cellulosa råvara	250	234269	69251
Fiberråvara	20	112449	2659
<b>Totalt</b>		<b>512468</b>	<b>76805</b>

Halm

Transport av:	Sträcka [km]	Mängd [kg]	Totalt [tonkm]
Tändförbättrare	110	6009	830
Etanol	25	77036	1926
Kemikalier	110	25372	2542
Cellulosa råvara	250	349959	79690
Fiberråvara	20	167980	3060
<b>Totalt</b>		<b>579461</b>	<b>88049</b>

Transport av:	Sträcka [km]	Mängd [kg]	Totalt [tonkm]
Tändförbättrare	110	6009	830
Etanol	25	77036	1926
Kemikalier	110	25372	2542
Cellulosa råvara	250	349959	79690
Fiberråvara	20	167980	3060
<b>Totalt</b>		<b>579461</b>	<b>88049</b>

Transport av:	Sträcka [km]	Mängd [kg]	Totalt [tonkm]
Tändförbättrare	110	5632	786
Etanol	25	72207	1824
Kemikalier	110	23434	2185
Cellulosa råvara	250	323228	68491
Fiberråvara	20	155149	2630
<b>Totalt</b>		<b>505423</b>	<b>75916</b>

Last	Bränsle [ton]	CO [g / tonkm]	CO [g / tonkm]	NOx [g / tonkm]	NOx [g / tonkm]	HC [g / tonkm]	HC [g / tonkm]	Partiklar [g / tonkm]	Partiklar [g / tonkm]
salix	36,5	23,5	0,206	0,31	0,0101	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013
halm	0	12,9	0,144	0,16	0,0092	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007

Last	Bränsle [ton]	CO [kg]	CO [kg]	NOx [kg]	NOx [kg]	HC [kg]	HC [kg]	Partiklar [kg]	Partiklar [kg]
salix	36,5	1804,9102	15,8218	23,8095	0,7757	0,0998	0,0998	0,0998	0,0998
halm	0	2069,1442	18,1380	27,2951	0,8893	0,1145	0,1145	0,1145	0,1145
rörlflen	36,5	1784,0292	15,6387	23,5340	0,7668	0,0987	0,0987	0,0987	0,0987

salix  
halm  
rörlflen

Last	Bränsle [ton]	CO [kg]	CO [kg]	NOx [kg]	NOx [kg]	HC [kg]	HC [kg]	Partiklar [kg]	Partiklar [kg]
salix	0	990,7805	11,0599	12,2888	0,7066	0,0538	0,0538	0,0538	0,0538
halm	0	1135,8281	12,6790	14,0878	0,8100	0,0616	0,0616	0,0616	0,0616
rörlflen	0	979,3182	10,9319	12,1466	0,6984	0,0531	0,0531	0,0531	0,0531

#### Summa

Bränsle	CO [kg]	CO [kg]	NOx [kg]	NOx [kg]	HC [kg]	HC [kg]	Partiklar [kg]	Partiklar [kg]
salix	2795,6907	26,8816	36,0982	1,4823	0,1536	0,1536	0,1536	0,1536
halm	3204,9723	30,8170	41,3829	1,6993	0,1761	0,1761	0,1761	0,1761
rörlflen	2763,3474	26,5706	35,6806	1,4652	0,1518	0,1518	0,1518	0,1518

## Bilaga 4. Total sammanställning av emissioner från olika källor

System Salix														
Emissioner (kg)														
	CO <sub>2</sub> - bio	CO <sub>2</sub> - fossil	CO	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	HC	COD	N to water	P to water	NO <sub>3</sub> -
Odling salix	3516,601		21,579			9,608								
Markemissioner					218,857								21,201	712,012
Torkning grödor														
Kemikalier		5739,603	2,170	0,009		26,437	21,278	0,074		0,230				
Produktion tändförbättrare		6073,035	1,451	0,173		17,108	9,618			25,670				
Elproduktion	162,210		44,028	2,781	0,730	12,050	4,982	0,429						
Transporter			22,817			30,640				1,258				
Ånga	1144,062		310,531	19,612	5,148	84,987	35,139	3,024						
Summa	4823	11813	403	22,58	225	181	71	131	0	27	0	0	21	712
System Halm														
Emissioner (kg)														
	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> - fossil	CO	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	HC	COD	N to water	P to water	NO <sub>3</sub> -
Odling halm	7618,402		23,945		95,010	23,649		70,795						
Markemissioner													11,799	1386,077
Torkning grödor														
Kemikalier		8574,002	3,241	0,013		39,493	31,785	0,110		0,343				
Produktion tändförbättrare		6264,950	1,497	0,179		17,648	9,921			26,481				
Elproduktion	135,6182		36,811	2,3249	0,610	10,074	4,165	0,358						
Transporter			33,680			45,227				1,857				
Ånga	956,511		259,625	16,397	4,304	71,055	29,379	2,528						
Summa	8711	14839	359	18,91	100	207	75	74	0	29	0	0	12	1386
System Rötflen														
Emissioner (kg)														
	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> - fossil	CO	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	HC	COD	N to water	P to water	NO <sub>3</sub> -
Odling rötflen	2901,494		38,590		234,485	13,285		178,813					29,802	3203,439
Markemissioner														
Torkning grödor														
Kemikalier		7919,082	2,994	0,012		36,476	29,357	0,102		0,317				
Produktion tändförbättrare		5872,258	1,403	0,168		16,542	9,300			24,821				
Elproduktion	128,2663		34,815	2,199	0,577	9,528	3,940	0,339						
Transporter			31,119			41,789				1,716				
Ånga	904,658		245,550	15,508	4,071	67,203	27,786	2,391						
Summa	3934	13791	354	17,89	239	185	70	182	0	27	0	0	30	3203

**Bilaga 5. Uträkning av total GWP 100, Max AP och Max EP med karaktiseringsfaktorer**

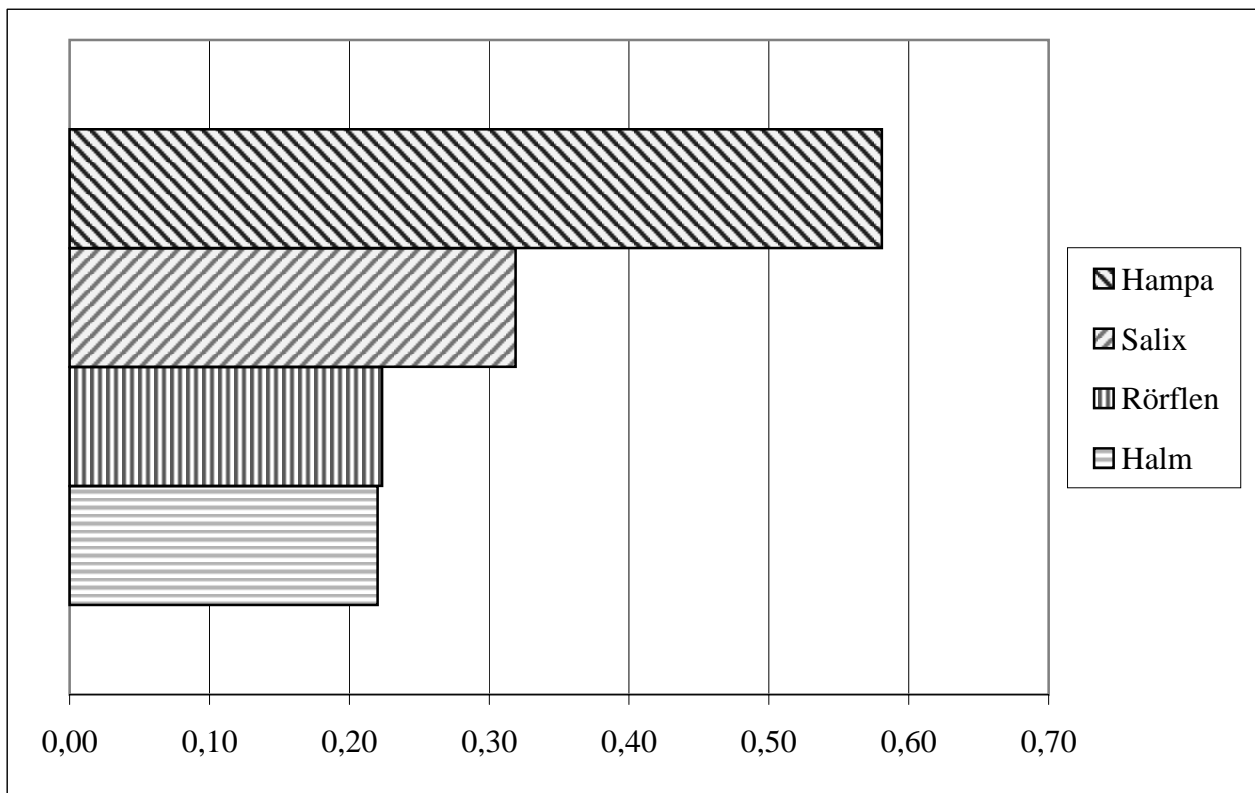
<u>Salix</u>											
Karaktiseringsfaktorer		Klassificering till miljöpåverkan	Kategori	CO2 - Karaktiseringsfaktor	AP - Karaktiseringsfaktor	EP - Karaktiseringsfaktor	Totalt resultat	Totalt resultat	Totalt resultat	Totalt resultat	Totalt resultat
		miljöpåverkan	ekv / kg	Index / kg	Index / kg	Index / kg	GWP	Max AP	GWP	Max AP	Max Ep
CO2, fossil	GWP	1		1			11812,64				
CO2, bio	GWP	0		0			0,00				
CH4	GWP	23		23			519,23				
N2O	GWP	296		296			6652,52				
NH3	AP		1,88		1,88			245,78			
NOx	AP		0,7		0,7			126,58			
SOx	AP		1		1			71,02			
Cl	AP		0,88		0,88			0,00			
N ill Luft	EP					20				2614,66	
COD	EP					1					0,00
Summa:							78853,40	443,38			2614,66
<u>Helin</u>											
Karaktiseringsfaktorer		Klassificering till miljöpåverkan	Kategori	CO2 - Karaktiseringsfaktor	AP - Karaktiseringsfaktor	EP - Karaktiseringsfaktor	Totalt resultat	Totalt resultat	Totalt resultat	Totalt resultat	Totalt resultat
		miljöpåverkan	ekv / kg	Index / kg	Index / kg	Index / kg	GWP	Max AP	GWP	Max AP	Max Ep
CO2, fossil	GWP	1		1			14838,95				
CO2, bio	GWP	0		0			0,00				
CH4	GWP	23		23			435,03				
N2O	GWP	296		296			29577,77				
NH3	AP		1,88		1,88			138,73			
NOx	AP		0,7		0,7			145,00			
SOx	AP		1		1			75,25			
Cl	AP		0,88		0,88			0,00			
N ill Luft	EP					20				1475,84	
COD	EP					1					0,00
Summa:							44851,75	358,98			1475,84
<u>Rötten</u>											
Karaktiseringsfaktorer		Klassificering till miljöpåverkan	Kategori	CO2 - Karaktiseringsfaktor	AP - Karaktiseringsfaktor	EP - Karaktiseringsfaktor	Totalt resultat	Totalt resultat	Totalt resultat	Totalt resultat	Totalt resultat
		miljöpåverkan	ekv / kg	Index / kg	Index / kg	Index / kg	GWP	Max AP	GWP	Max AP	Max Ep
CO2, fossil	GWP	1		1			13791,34				
CO2, bio	GWP	0		0			0,00				
CH4	GWP	23		23			411,40				
N2O	GWP	296		296			70783,42				
NH3	AP		1,88		1,88			341,49			
NOx	AP		0,7		0,7			129,38			
SOx	AP		1		1			70,38			
Cl	AP		0,88		0,88			0,00			
N ill Luft	EP					20				3632,90	
COD	EP					1					0,00
Summa:							84986,17	541,25			3632,90

## Bilaga 6. Teoretiskt utbyte till etanol

	Glucan <sup>a</sup>	Galactan <sup>a</sup>	Mannan <sup>a</sup>	Summa	Utbyte <sup>b</sup>	Verkningsgrad	Totalt
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[Kg etanol / kg råvara]
Halm	32,64%	0,75%	0,31%	33,70%	92,00%	71,00%	0,22
Rörflen	33,00%	1,00%	0,20%	34,20%	92,00%	71,00%	0,22
Salix	43,80%	1,70%	3,30%	48,80%	92,00%	71,00%	0,32
Hampa	83,80%	2,10%	3,00%	88,90%	92,00%	71,00%	0,58

<sup>a</sup> Phyllis, database for biomass and waste. 050517. <http://www.ecn.nl/phyllis>

<sup>b</sup> Wingren A. 2005



## Bilaga 7. Drivmedelsåtgång och emissioner för olika operationer

	Förbrukning	CO	HC	NOx	Partiklar	CO2
Etanol i relation till MK1	1,70	5,45	1,96	0,68	0,37	0,88

Salix		ETANOL (Beräknat i relation till MK1)					
Operation	Antal operationer	Drivmedelsförbrukning (kg/ha)	Energiförbrukning (MJ/ha)	CO2 (kg/ha)	NMHC (kg/ha)	CO (kg/ha)	NOx (kg/ha)
Plöjning	1	24,533	615,782	40,611	0,022	0,178	0,108
Harvning	3,6	17,173	431,047	28,428	0,018	0,110	0,071
Mekanisk ogräsbekämpning	1	4,770	119,735	5,922	0,004	2,695	0,015
Skörd	5	129,084	3240,000	1068,403	0,671	4,118	2,677
Transport	5	11,033	276,931	18,477	0,016	0,183	0,054
Konstgödselspridning	5	3,41	85,53	5,71	0,0069	0,0790	0,0575
Summa:		190,00	4769,02	1167,55	0,74	7,36	2,98
Utspritt på 15 år med 5 skördar		12,67	317,93	77,84	0,05	0,49	0,20

Halm							
Operation	Antal operationer	Drivmedelsförbrukning (kg/ha)	Energiförbrukning (MJ/ha)	CO2 (kg/ha)	NMHC (kg/ha)	CO (kg/ha)	NOx (kg/ha)
strängläggning	1	1,082	27,150	1,811	0,001	0,002	0,006
Balning	1	8,653	217,201	14,492	0,004	0,011	0,053
Insamling/lastning	1	3,029	76,020	5,072	0,003	0,009	0,030
Transport	1	2,207	55,386	3,695	0,001	0,006	0,014
Avlastning/uppläggning på stack	1	3,029	76,020	5,072	0,003	0,009	0,030
Uttag från stack/lastning	1	2,163	54,300	3,623	0,002	0,007	0,022
Transport	1	2,802	70,332	4,693	0,002	0,008	0,018
Avlastning/uppläggning på stack	1	3,029	76,020	5,072	0,003	0,009	0,030
Askhantering	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Summa:		25,99	652	43,5300	0,0185	0,0612	0,2033

Rörflen							
Operation	Antal operationer	Drivmedelsförbrukning (kg/ha)	Energiförbrukning (MJ/ha)	CO2 (kg/ha)	NMHC (kg/ha)	CO (kg/ha)	NOx (kg/ha)
Plöjning	1	24,533	615,782	40,611	0,022	0,178	0,108
Harvning	2	9,541	239,471	28,428	0,018	0,110	0,071
Sådd	1	6,474	162,498	10,717	0,005	0,041	0,031
Vältning	2	12,505	313,878	6,210	0,005	0,055	0,023
Mekanisk ogräsbekämpning	1	4,770	119,735	5,922	0,004	2,695	0,015
Slätter	3	26,066	654,268	43,756	0,022	0,167	0,410
strängläggning	3	3,067	76,973	5,434	0,002	0,007	0,017
Balning	3	26,066	654,268	43,475	0,013	0,032	0,159
Insamling/lastning	3	9,200	230,918	15,216	0,008	0,028	0,091
Transport	3	8,178	205,261	11,086	0,004	0,018	0,042
Avlastning/uppläggning på stack	3	9,200	230,918	15,216	0,008	0,028	0,091
Summa:		139,60	3503,97	226,07	0,11	3,36	1,06
Utspritt på 3 år med 3 skördar		46,53	500,57	32,30	0,02	0,48	0,15



## **TIDIGARE PUBLIKATIONER**

2003-07-01 skedde en sammanslagning av Institutionen för biometri och informatik och Institutionen för lantbruksteknik.

### **Biometri och teknik**

#### *Examensarbeten*

- 2005:01 Hårsmar, D. Bättre enskilda avlopp i Sigtuna kommun – möjligheter för bebyggelse i Odensala socken.
- 2005:02 Svensson, M. Desalination and the environment: Options and considerations for brine disposal in inland and coasted locations.
- 2005:03 Retention av tungmetaller I en anlagd våtmark – Studier av Vattenparken I Enköpings kommun.
- 2005:04 Leonardsson, J. & Östensson, E. Inverkan av torrsbstanshalt och temperatur på kompostens syrabildning.
- 2004:01 Ericsson, N. Uthållig sanitet i Peru – En förstudie i staden Picota.
- 2004:02 Ekvall, C. LCA av dricksvattendesinfektion – en jämförelse av klor och UV-ljus.
- 2004:03 Wertsberg, K. Behandling av lakvatten med kemiska oxidationsmedel för att delvis bryta ned oönskade organiska föreningar – En studie utförd vid Hovgårdens avfallsanläggning i Uppsala.
- 2004:04 Degaart, S. Humanurin till åkermark och grönytor: avsättning och organisation i Göteborgsområdet.
- 2004:05 Westlin, H. Utvärdering av ett silotorksystem för spannmål utrustat med omrörare.

#### *Rapport – miljö, teknik och lantbruk*

- 2005:01 Jönsson, H., Vinnerås, B. & Ericsson, N. Källsorterande toaletter. Brukarnas erfarenheter, problem och lösningar.
- 2005:02 Gebresenbet, G. Effect of transporttime on cattle welfare and meat quality.
- 2005:03 de Toro, A. & Rosenqvist, H. Maskinsamverkan – tre fallstudier.
- 2005:04 Vinnerås, B. Hygienisering av klosettatten för säker växtnäringåterförsl till livsmedelsproduktionen.
- 2005:05 Tidåker, P. Wastewater management integrated with farming – environmental systems analysis of modern city of Surahammar.
- 2005:06 Sundberg, C. Increased generation for improved large-scale composting of low pH-biowaste.
- 2004:01 Bernesson, S. Life cycle assessment of rapeseed oil, rape methyl ester and ethanol as fuels – A comparison between large- and smallscale production.
- 2004:02 Elmquist, H. Decision-Making and Environmental Impacts.

### ***Rapport – biometri***

2004:01 Gustafsson, L. Tools for Statistical Handling of Poisson Simulation: Documentation of StocRes and ParmEst

### ***Licentiatavhandling***

02 Sundberg, C. 2004. Food waste composting – effects of heat, acids and size.

### ***Kompendium***

2004:01 Publicering 2000-2003.

2005:01 Publicering 2000-2004.

## **Biometri och informatik**

### ***Institutionsrapporter***

- 81 Olsson, U. & Sikk, J. Fourth Nordic-Baltic Agrometrics Conference, Uppsala, Sweden, June 15-17, 2003. Conference proceedings.
- 80 Edlund, T. Pluripolar Completeness of Graphs and Pseudocontinuation. Licentiatavhandling.
- 79 Nilsson, K. Macrolide antibiotics – mode of action and resistance mechanisms. Licentiatavhandling.
- 78 Sahlin, U. Analysis of forest field data with a spatial approach. Examensarbete.
- 77 Seeger, P. Nested t by 2 Row-Column-Designs suitable for bridge competitions.
- 76 Wörman, A. Low-Velocity Flows in Constructed Wetlands: Physico-Mathematical Model and Computer Codes in Matlab-Environment.
- 75 Huber, K.T., Moulton, V. & Steel, M. Four characters suffice to convexly define a phylogenetic tree.
- 74 Ekbohm, G. Induktion, biometri, vetenskap.
- 73 Huber, K.T.; Moulton, V. & Semple, C. Replacing cliques by stars in quasi-median graphs.
- 72 Huber, K.T. Recovering trees from well-separated multi-state characters.
- 71 Holland, B.R., Huber, K.T., Dress, A. & Moulton, V.  $\delta$ -plots: A tool for analyzing phylogenetic distance data.

## **Lantbruksteknik**

### ***Institutionsrapporter***

- 255 2003 Nilsson, D. Harvesting and handling of flax for the production of short fibres under Swedish conditions. A literature review.
- 254 2003 Sundberg, C. Food waste composting – effects of heat, acids and size.
- 253 2003 Wikner, I. Environmental conditions in typical cattle transport vehicles in Scandinavia.

### ***Institutionsmeddelanden***

- 03:01 Sjöberg, C. Lokalt omhändertagande av restprodukter från enskilda avlopp i Oxundaåns avrinningsområde.
- 03:02 Nilsson, D. Production and use of flax and hemp fibres. A report from study tours to some European countries.
- 03:03 Rogstrand, G. Beneficial Management for Composting of Poultry Litter and Yard-Trimblings- Environmental Impacts, Compost Product Quality and Food Safety.
- 03:04 Lundborg, M. Inverkan av hastighet och vägförhållande på bränsleförbrukning vid körning med traktor.
- 03:05 Ahlgren, S. Environmental impact of chemical and mechanical weed control in agriculture. A comparing study.
- 03:06 Kihlström, M. Possibilities for intermodal grain transports in the Mälardalen region – environmental and economical aspects.





**2005:05. MILJÖPÅVERKANSBEDÖMNING VID TILLVERKNING AV ETANOL FRÅN CELLULOSABASERADE RÅVAROR**



Denna meddelandeserie som utges av Institutionen för biometri och teknik, inom fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap, SLU, innehåller, examensarbeten samt övriga uppsatser som anses lämpliga att publicera i denna form. Tidigare nummer redovisas på de sista sidorna och kan i mån av tillgång anskaffas från institutionen.

This series is published by the Department of Biometry and Engineering, Swedish University of Agricultural Sciences. It contains field trials as well as other reports or papers considered suitable for publication in this form. Earlier issues are listed on the last pages and can be obtained - if still available - upon application to the Department.

---

DISTRIBUTION:

SLU

Institutionen för biometri och teknik

Box 7032

750 07 UPPSALA

Tel. 018-67 10 00

pdf.fil: [www.bt.slu.se](http://www.bt.slu.se)

SLU

Department of Biometry and Engineering

Box 7032

S-750 07 UPPSALA

SWEDEN

Phone +46 18 671000

---