



Grönt ljus för gröna kemikalier? Pilotstudie om hållbar etylenoxid

**Green light for green chemicals? Pilot study on sustainable
ethylene oxide**

Erik Ingmar

**Arbetsrapport 367 2012
Examensarbete 15hp C
Jägmästarprogrammet**

**Handledare:
Dimitris Athanassiadis
Hans Ekvall**

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skoglig resurshushållning
901 83 UMEÅ
www.slu.se/srh
Tfn: 090-786 81 00



ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-367-SE

Grönt ljus för gröna kemikalier? Pilotstudie om hållbar etylenoxid

Green light for green chemicals? Pilot study on sustainable ethylene oxide

Erik Ingmar

Kandidatarbete i Skogshushållning vid institutionen för skoglig resurshushållning, 15hp
Jägmästarprogrammet
EX0593

Handledare: Dimitris Athanassiadis, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, teknologi

Handledare: Hans Ekvall, SLU, Institutionen för skogsekonomi

Examinator: Anders Roos, SLU, Institutionen för skogensprodukter

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skoglig resurshushållning
Utgivningsort: Umeå
Utgivningsår: 2012

ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-367-SE

Förord till kandidatarbete i skogsvetenskap med företagsekonomisk inriktning

Denna C-uppsats omfattar 15 högskolepoäng och ingår i Jägmästarprogrammet med inriktning mot företagsekonomi. Programmets tre första år läses i Umeå, och de återstående två åren studeras på Institutionen för skogens produkter i Uppsala.

Jag vill tacka mina handledare Dimitris Athanassiadis Anders Roos, och Hans Ekvall ovärderlig feedback och handledning genom denna uppsats.

Tack till David Blomberg och Yvonne Söderström på Processum i Örnsköldsvik som har inspirerat till ämnet och bidragit med hjälp under uppsatsskrivandet.

Tack också till Mikael Hörlin och Agneta Sjöberg på Akzo Nobel för ert utmärkta samarbete.

Slutligen vill jag tacka Anna Ahlgren som har hjälpt till med korrekturläsning av arbetet.

Erik Ingmar
Umeå april 2012

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	4
Abstract.....	5
Inledning.....	6
Mål.....	9
Material och metoder.....	10
Teori	10
Grundinvestering för en fristående etylenoxidfabrik.....	12
Resultat	15
Känslighetsanalyser	15
Etanolförbrukning.....	18
Referenser.....	23

Sammanfattning

Nya produkter måste till om den svenska massa- och pappersindustrin ska behålla konkurrenskraften gentemot utländska producenter. Biokemikalier är en trolig framtida marknad för skogsindustrin, och den här rapporten fokuserar på möjligheten att investera i en mindre, lokal fabrik som producerar etylenoxid genom direkt oxidation av etanol.

Målet med studien är att svara på frågeställningarna; Hur hög grundinvestering kan tillåtas vid anläggning av en lokal etylenoxidfabrik? Hur förändras grundinvesteringen när vissa ekonomiska antaganden varierar? Hur mycket etanol kommer den tänkta etylenoxidfabriken att förbruka?

Utöver dessa tre mål diskuteras även integration av etylenoxidfabriken med ett vedbaserat bioetanolraffinaderi.

En skattning av den maximala grundinvesteringen har genomförts med nettonuvärdesmetoden. Kalkylränta, driftkostnader och marknadspris har varierats i en känslighetsanalys. Vidare har förbrukningen av etanol beräknats baserat på litteratur. Relevant litteratur om lignocellulistiska bioraffinaderier har även studerats för att kunna diskutera rimligheten i att integrera den tänkta etylenoxidfabriken med ett andra generationens bioraffinaderi.

Resultaten visar, givet vissa grundläggande ekonomiska antaganden, att en etylenoxidfabrik kan anläggas för 20,2 miljoner dollar. Känslighetsanalysen visar att grundinvesteringen varierar mellan 9,3–41,5 miljoner dollar. Etanolförbrukningen för den tänkta fabriken beräknades till 18,3 miljoner liter etanol årligen, vilket motsvarar produktionen av bioetanol hos Domsjö fabriker i Örnsköldsvik.

Driftskostnader är den variabel som bör undersökas närmare, samt teknoekonomiska analyser måste till för att fastställa den exakta grundinvesteringen. Konverterade massa- och pappersbruk kommer troligen att producera mindre mängder etanol i framtiden, och här har integration med en etylenoxidfabrik stor potential.

Nyckelord: Etylenoxid, biokemikalier, grundinvestering, bioraffinaderi

Abstract

In order for Swedish pulp and paper industry to remain competitive against foreign producers, new products must be introduced. Biochemicals is a growing market, and hold potential to increase the value of wood-based products. This paper focus on ethylene oxide produced by one-step conversion of bioethanol.

The objectives of this paper are to economically evaluate a possible ethanol-based ethylene oxide plant located in Örnsköldsvik by answering the following questions; how big capital investment may be permitted at the construction of a local ethanol-based ethylene oxide plant? How does the maximum capital investment vary, if certain economic assumptions are varied? What is the probable feedstock consumption of the proposed plant?

Integration of the ethylene oxide plant and a second generation bioethanol refinery is also discussed.

The maximum capital investment was calculated through a net present value calculation. A sensitivity analysis has been done, where operating costs, rate, and ethylene oxide market price is varied. Furthermore, the feedstock (ethanol) consumption has been estimated based on literature. Relevant literature of lignocellulistiska biorefineries have been studied in order to discuss the feasibility of integrating the proposed ethylene oxide plant with a second generation biorefinery.

The results show that, given certain basic economic assumptions, an ethylene oxide plant can be built for a maximum capital investment of \$20.2 million. The sensitivity analysis shows that the capital investment ranges from \$9.3 to \$41.5 million. The annual feedstock consumption for the proposed plant was estimated to 18.3 million liters of ethanol, which corresponds to the production of bioethanol in Domsjö Fabriker in Örnsköldsvik.

Operating costs should be explored further, and techno-economic analysis is needed in order to determine the capital investment. In the near future, converted pulp- and paper mills are likely produce smaller amounts of ethanol, and this is where integration of an ethylene oxide plant holds great potential.

Keywords: Ethylene oxide, biochemicals, basic investment, biorefinery

Inledning

Svensk skogsindustri

Sverige är idag världens näst största exportör av papper, pappersmassa och sågade trävaror (Skogsindustrierna, 2011). Trots detta står den svenska massa- och pappersindustrin inför stora utmaningar. Produktionen av papper och massa minskade 2011 och sortimentet tidningspapper minskade med nästan två procent samma år. Den svenska exporten av papper minskade med fem procent fjärde kvartalet 2011 jämfört med året innan (Skogsindustrierna, 2012).

Konkurrenter i Sydamerika och Asien utgör ett reellt hot mot den svenska skogsindustrin, då de utländska producenterna arbetar med en billigare råvara och en billigare arbetskraft (Larsson & Ståhl, 2009). Sverige har idag goda förutsättningar att ta initiativ till vidareutveckling av skogliga produkter, med en väl utvecklad skogsindustri, leverantörer av kemikalier, hög utrustningsnivå och forskning. Mycket fokus har tidigare lagts på att utveckla nya tekniker som effektiviserar den befintliga skogsindustrin, men helt nya produkter måste lanseras om svensk skogsindustri ska behålla sin framstående ställning på den internationella marknaden. (Larsson & Ståhl, 2009)

En potentiell marknad för den svenska skogsindustrin är kemikalier producerade från biomassa, så kallade biokemikalier. Domsjö Fabriker i Örnsköldsvik är på ett nationellt plan ensamt om att producera bioetanol från vedråvara (Domsjö, 2012). Kommersialisering av biokemikalier producerade från vedråvara är på stark frammarsch (Regeringskansliet, 2011). En indikation av politiskt intresse för biokemikalier visades när regeringen beviljade 500 miljoner kronor i stöd från energimyndigheten för att utveckla verksamheten hos Domsjö Fabriker ytterligare (ibid).

Bioetanol

En minskad efterfrågan på traditionella skogliga produkter, globalt höga energipriser, ökat fokus mot hållbarhet och miljö samt ett ökande behov av ersättning för den icke förnyelsebara oljan har drivit på utvecklingen av förnyelsebara produkter, biobränslen och biodrivmedel tillverkade från biomassa (Cherubini, 2010; Larsson & Ståhl, 2009).

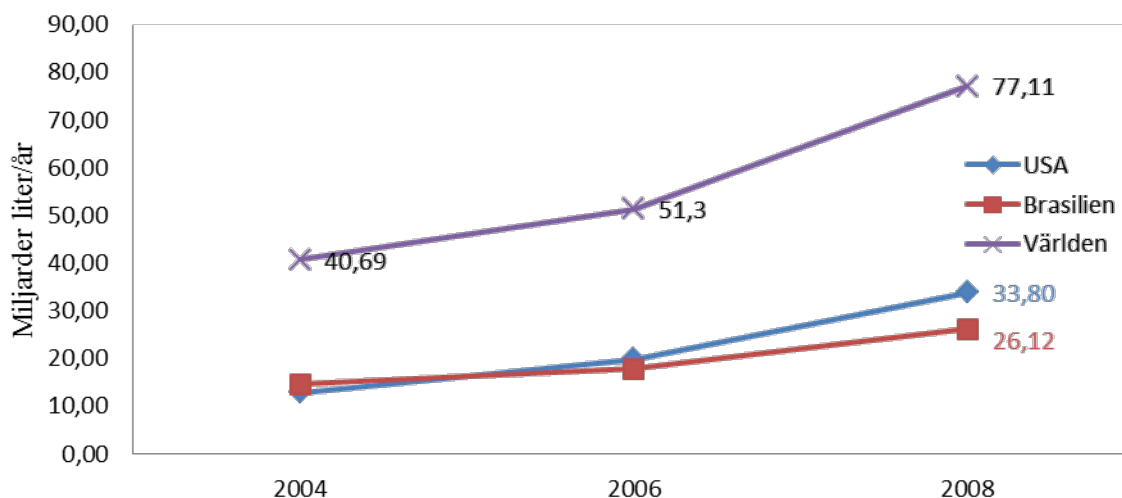
Etanol producerat från lignocellulosa (cellulosa, hemicellulosa och lignin) förväntas slå igenom inom det närmaste årtiondet och delvis ta marknadsandelar från första generationens bioetanol (Gnansounou & Dauriat, 2010). Första generationens bioetanol produceras i huvudsak av majs, sockerrör eller spannmål. Råvaruförsörjningen har kritiserats då den konkurrerar om råvaran med spannmåls- och foderindustrin och därmed driver upp de globala matpriserna. I många fall konsumeras även fossil energi för att tillgodose fabriken energiförsörjning och i dessa fall blir produkten klimatineffektiv. Tillgången på råvara begränsas till vissa delar av växten, vilket ger en låg skörd per hektar odlad mark. Därtill har markförstöring, vatten- och luft föroreningar förknippats med första generationens bioraffinaderier (Gnansounou & Dauriat 2010).

Nackdelarna associerade med första generationens bioraffinaderier undviks i andra generationens bioraffinaderi då lignocellulistik biomassa används som råvara. Lignocellulosa har potential att öka energieffektiviteten hos raffinaderierna och därmed kan mer klimatteffektiva produkter tillverkas i jämförelse med första generationens

bioraffinaderier. Största fördelen med andra generationens bioraffinaderi är dock att råvaran kan odlas på mark som inte direkt konkurrerar med mat- och foderproducenter (Nigam & Singh, 2011). Rester från skogsbruket, energiodlingar, spannmålsavfall, trä och fast avfall genererar ansevärliga mängder lignocellulosa, och en stor del av detta kan utnyttjas till biokemikalier, biobränsle och bioenergi. Detta gör lignocellulosa till en potentiellt billig råvara samtidigt som det i det närmaste finns ett ouslutligt förråd att tillgå om återplantering sker (Demirbas, 2011; U.S. Dept. of Health and Human Services (U.S.HHS), 2011).

Etanolproduktion

Figur 1 visar etanolproduktionen i miljarder liter för USA (största producenten), Brasilien (näst största producenten) samt den totala produktionen i världen för åren 2004, 2006 och 2008. USA och Brasilien stod 2008 för 78 % av den totala produktionen i världen. I EU producerades år 2006 3,44 miljarder liter bioetanol, i huvudsak från sockerrör eller spannmål, vilket motsvarar 6,7 % av den globala produktionen detta år. Den huvudsakliga råvaran är majs i USA, respektive sockerrör för Brasilien (Cherubini, 2010; Demirbas, 2011).



Figur 1. Etanolproduktionen åren 2004, 2006 och 2008 för USA, Brasilien samt världen
Figure 1. Ethanol production 2004, 2006 and 2008 for USA, Brazil and the total world

Etylenoxid från bioetanol

Etanol används till största delen som inblandning i bensen men det kan även vidareförädlas till mer värdefulla biokemikalier som acetaldehyd, citronsyra, etylacetat, dietyleter och etylenoxid (Takashi et al. 2011).

Den här studien fokuserar på etylenoxid, som idag till största delen produceras från fossila bränslen. Idag rankas etylenoxid som en av de 25 mest producerade kemikalierna i världen och år 2008 producerades ca 19 miljoner ton av kemikalien (U.S. HHS, 2011).

Användningsområden

Etylenoxid är idag en av de viktigaste intermediära kemikalierna för framställning av andra produkter. Cirka 60 % av etylenoxiden används för att tillverka etylenglykol vilket används bland annat i kylarvätska, polyetenfibrer, plastflaskor, och polyetylentereftalat (PET) (Lippits & Nieuwenhuys, 2010a, Preem 2012). Andra användningsområden för etylenoxid är icke joniska ytaktiva kemikalier (industriell användning, rengöringsmedel och diskmedel), etanalominer (tvål, lösningsmedel, textil-kemikalier) och sterilisation (sjukhus, tandvård, laboratorier, livsmedel, kläder, möbler, böcker, papper, läder, kosmetika, läkemedel, järnvägsagnar och tobak) (Cherubini, 2011, Preem, 2012).

Tillverkning

Vid konventionell tillverkning av etylenoxid oxideras oljebaserad etylen genom direkt oxidation av luft eller syre på en silverkatalysator (U.S. HHS, 2011). Ungefär 95 % av råvarukostnaden består av inköp av etylen (Teraade Proces, 2009), som 2011 handlades i Europa för ca 1500 dollar per ton (ICIS pricing, 2012b).

Råvaran etylen kan tillverkas från etanol och 2011 handlades etanolen i Europa för cirka 1200 dollar per ton (ICIS pricing, 2011c), vilket visar på etanolens potential som råvara. En tvåstegsreaktion, där etanol konverteras till etylen och sedan oxideras över en silverbaserad katalysator, förekommer hos Chemtex (Chemtex, 2012) samt vid en fabrik lokaliserad i Indien där etanolbaserad etylen oxideras till etylenoxid (Takashi et al. 2011).

Ny forskning har visat att etylenoxid kan tillverkas genom direkt oxidation av etanol över en guldkatalysator (Lippits & Nieuwenhuys, 2010b). Denna studie fokuserar på denna direkta, enstegs-konvertering av etanol till etylenoxid, då mellansteget med etylen försvinner och processen förenklas (Lippits & Nieuwenhuys, 2010b).

Akzo Nobel

Akzo Nobel är idag ensam tillverkare av etylenoxid i Sverige med en årlig tillverkning av ca 110 000 ton runt om i landet. Kemikalien används främst till aminer och ytaktiva ämnen. (Akzo Nobel, 2012c).

Akzo Nobel har en fabrik i Örnsköldsvik som tillverkar förtjockningsmedel till färg och byggspackel baserat på cellulosa. Cellulosas substitueras med etylgrupper (EtCl) och hydroxyetylgrupper (etylenoxid) för att producera EHEC (Etyl-hydroxyEtyl-Cellulosa) som är huvudkomponenten i Bermocoll (Processum, 2012b). Bermocoll används i sin tur i olika industriella produkter, men framför allt i vattenlöslig färg eller byggnadsmateriel (Akzo Nobel, 2012a). År 2011 förbrukade Akzo Nobel 10 500 ton etylenoxid vid fabriken i Örnsköldsvik. Denna etylenoxid baseras på fossila råvaror (Processum, 2012b), men idag

har Akzo Nobel ett intresse av att öka andelen hållbara råvaror i sitt produktsortiment (ibid).

Enligt Lind (2011) ligger introduktion av nya miljövänliga material rätt i tiden, även om industrisidan fortfarande prioriterar priset högst och därefter den tekniska funktionaliteten. Miljöaspekterna blir allt viktigare men industrin är i dagsläget inte villig att betala extra för detta. För att ett nytt material ska vara konkurrenskraftigt måste det vara billigare eller tillföra mer nytta än ursprungsmaterialet (Lind 2011). Om etanol skulle substituera etylen som råvara är etanolen billigare och kan därtill göras hållbar, samtidigt som prisbilden är mer tillförlitlig i jämförelse med oljebaserad etylen. Direkt oxidation av etanol har dessutom potential att sänka tillverkningskostnaden ytterligare jämfört med att först producera etylen från bioetanol och sedan oxidera etylen till etylenoxid.

Det finns ett fåtal studier gjorda på etylenoxid som biokemikalie men fortfarande saknas mycket kunskap. De studier som i dagsläget är gjorda på direkt oxidation av etanol till etylenoxid är på laboratorieskala. Denna studie fokuserar istället på de ekonomiska aspekterna i att producera etylenoxid från etanol.

Mål

Studien har som mål att svara på nedanstående frågeställningar:

- Hur hög grundinvestering kan tillåtas vid anläggning av en etanolbaserad etylenoxidfabrik lokaliserad i Örnsköldsvik?
- Hur förändras grundinvesteringen när vissa ekonomiska antaganden varieras?
- Vilka mängder etanol kommer den tänkta etylenoxidfabriken att förbruka?

Utöver dessa tre mål diskuteras även integration av den tänkta etylenoxidfabriken och ett vedbaserat bioetanolraffinaderi.

Material och metoder

Investeringskalkylering är ett viktigt redskap för att underlätta företagens beslutsfattande vid en investering. Investeringskalkylering används i denna studie för att översiktligt visa på hur stor grundinvestering som kan tillåtas vid en investering i en fristående etanolbaserad etylenoxidfabrik. Fabriken är tänkt att lokaliseras i Domsjö, Örnsköldsvik, och leverera etylenoxid till Akzo Nobels fabrik i samma område vilket är en fördel då etylenoxid är ett farligt ämne att transportera och framtida transportregler kan begränsa vägburna transporter (Milazzo et al, 2002). Domsjö industriområde har en väl utbyggd infrastruktur och tillgång till hamn.

Genom nettonuvärdesberäkningar har den maximala grundinvesteringen skattas för biobaserad framställning av etylenoxid. Viktiga ekonomiska parametrar har varierats i en känslighetsanalys och integration med en bioetanolfabrik diskuteras. Nedan presenteras den ekonomiska teori som används i kalkylen.

Teori

Kalkylränta

Kalkylräntan ska motsvara det avkastningskrav som investeraren har på kapitalet. Vilken ränta som används beror på avkastningskravet från investeraren och kan fastställas genom information om alternativa eller potentiella investeringar. Det kan docka vara svårt att få fram denna information, varför det finns alternativa sätt att fastställa kalkylräntan på. Beroende på hur investeringen finansieras kan följande formel användas:

$$\text{Kalkylräntan} \geq \text{Andel lån} * \text{långivarnas räntekrav} + \text{andel eget kapital} * \text{ägarnas förräntningskrav (Andersson, 2006).}$$

I den här studien används en kalkylränta på 10 %, vilket är ett avkastningskrav som förekommer i flertalet teknoekonomiska rapporter som granskats inför denna studie (Arvidsson & Lundin, 2011; He & Zhang, 2010; Kazi et al. 2010). Investeringen antas även finansieras med externt lån till 100 % och 10 % räntekrav. Kalkylräntan på 10 % följer således Anderssons (2006) formel ovan.

Nettonuvärde - NPV (Net present value)

Nettonuvärdet, eller NPV, används för att jämföra olika investeringar, eller som i det här fallet, beräkna en investerings lönsamhet. Vid investeringsanalys med nettonuvärdesmetoden diskonteras kassaflödet (alla intäkter och kostnader) tillbaka till en bestämd tidpunkt, vanligen vid den tid då investeringen äger rum. Räntan som används vid diskonteringen kallas kalkylränta eller diskonteringsränta, och visar på det avkastningskrav som investeraren väljer att ha på sitt investerade kapital. Investeringen är lönsam om nettonuvärdet är positivt. Vid jämförelse av olika investeringsalternativ indikerar ett högre nettonuvärde en högre lönsamhet (Persson et al., 2007).

Nettonuvärdeskalkyler bygger på tre antaganden (Gong, 2011):

- Perfekt kapitalmarknad. Sparränta är lika stor som låneränta och det går att låna eller spara en obegränsad summa.
- Inga osäkerheter eller risker (alla framtida kostnader och intäkter är kända).
- Inga icke marknadsprissatta nyttigheter. Inom skogsbruk kan detta till exempel vara rekreationsvärde.

I denna studie har nettonuvärdet av kassaflödet beräknats och sedan har grundinvesteringen varierats tills nettonuvärdet är lika med noll, den så kallade "break even"-punkten. När nettonuvärdet är lika med noll motsvarar kalkylräntan den avkastning som investeraren får på sin investering under den ekonomiska livslängden. Nedan presenteras den generella formel som använts vid beräkning av den maximala grundinvesteringen.

NPV = 0, vilket medför

$$0 = -G_{\max} + \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} + \frac{R}{(1+r)^n}$$

- G_{\max} = maximal grundinvestering (investeringskostnad).
- n = investeringens ekonomiska livslängd.
- C_i = kassaflödet vid året i .
- r = kalkylränta.
- R = restvärdet, dvs. det kvarvarande värdet vid slutet av investeringens ekonomiska livslängd.

Grundinvestering för en fristående etylenoxidfabrik

Nuvärdeskalkylen har använts för att beräkna hur stor grundinvesteringen i den tänkta etylenoxidfabriken kan vara. Med "fristående etylenoxidfabrik" menas i detta fall en fabrik som importerar etanol och vidareförädlar detta till etylenoxid.

Tabell 1 nedan visar dataunderlag samt referenser som har använts som grundförutsättningar i nuvärdesberäkningarna.

Tabell 1. Dataunderlag för nuvärdesberäkningarna
Table 1. Data for the net present value calculation

	Värde	Källa
Produktionskapacitet (ton år ⁻¹)	10 500	Akzo Nobel, 2012b
Kalkylränta (%)	10	Kazi et al., 2010
Ekonomisk livslängd (år)	20	Kazi et al., 2010
Antal avskrivningsår	20	Ekvall, 2012
Skatt (%)	26,3	Ekonomifakta, 2011
Låneränta (%)	10	Ekvall, 2012
Restvärde (%)	10	Ekvall, 2012
Driftkostnad (\$ ton ⁻¹)	1468	Arvidsson & Lundin, 2011
Marknadspris (\$ ton ⁻¹)	1900	ICIS pricing, 2012a

I kalkylen antas den årliga försäljningsvolymen vara 10 500 ton etylenoxid, då detta är vad Akzo Nobels fabrik i Örnsköldsvik förbrukar årligen (Akzo Nobel, 2012b). Marknadspriset för etylenoxid antas vara 1900 \$ per ton, fritt levererad till fabrik (ICIS pricing, 2011a). Den ekonomiska livslängden antas vara 20 år i kalkylen, vilket är den livslängd som flera andra studier använt när bioraffinaderier baserade på lignocellulosa analyserats (Arvidsson & Lundin, 2011; Kazi et al., 2010; Wright & Brown, 2007). Investeringen antas vara intjänad när den ekonomiska livslängden löpt ut.

Svensk bolagsskatt på 26,3% av vinsten har använts vid beräkningarna, och investeringen antas finansieras externt med en låneränta på 10 %. Antal avskrivningsår har antagits vara lika med den ekonomiska livslängden. Restvärdet har antagits vara 10 % av grundinvesteringen vid den ekonomiska livslängdens slut.

Driftkostnader

Med driftkostnader menas de rörliga kostnader fabriken har för att producera etylenoxid. I dessa ingår kostnader för råvara, personal, energi och katalysatorer (Arvidsson & Lundin, 2011). Eftersom det saknas teknoekonomiska studier på etylenoxid framställd från etanol är driftkostnaden på 1468 dollar per ton hämtad från Arvidsson & Lundins (2011) teknoekonomiska studie om tillverkning av etylen från etanol.

Det antas i denna studie att driftkostnaden för den tänkta etylenoxidfabriken är lika stor som för etylenfabriken i Arvidsson & Lundins studie. Det bör poängteras att den ekonomiska kalkylen är starkt beroende av detta osäkra värde, varför känslighetsanalyser kommer att utföras på olika driftkostnader.

Känslighetsanalys

Känslighetsanalys innebär att en parameter varieras för att se hur detta påverkar den ekonomiska analysen. I denna studie har kalkylränta, driftkostnad och marknadspris varierats i syfte att se hur grundinvesteringen påverkas. Grundförhållanden, se tabell 1, har angetts i fetstilt i resultatdelen.

Kalkylräntan har varierats med $\pm 5\%$ för att visa på olika avkastningskrav för olika investerare. Driftkostnad har varierats från 1200 upp till 1700 dollar per producerat ton etylenoxid. Marknadspriset, som vid konventionell produktion är starkt beroende av prisläget på oljeproducerad etylen, har varierats med 10 respektive 5 procent upp och nedgång.

Etanolförbrukning

Utbytet av etylenoxid från etanol har beräknats genom att använda data från ett laboratorieförsök där etylenoxid framställts genom direkt oxidation av etanol (Lippits & Nieuwenhuys, 2010b). I tabell 2 presenteras dessa data som beskriver selektivitet och konverteringsgrad för olika katalysatorer och temperaturer. I Lippits och Nieuwenhuys (2010b) studie analyserades tre katalysatorer baserade på guld, silver och koppar. Den guldbaserade katalysatorn fungerade bäst, givet att gastillflödet hade en låg koncentration av O_2 (syrgas).

Tabell 2. Jämförelse av konvertering av etanol och selektiviteten mot etylenoxid i en etanol/ O_2 mix på 1

Table 2. Comparison of conversion of ethanol and selectivities into ethylene oxide in an ethanol/ O_2 mixture of 1

Katalysator	Temperatur ($^{\circ}C$)	Konvertering (%)	Selektivitet (%)
Au/ $Li_2O/\gamma-Al_2O_3$	200	80	95
	300	90	71
	400	100	10
Ag/ $Li_2O/\gamma-Al_2O_3$	200	58	96
	300	90	54
	400	100	30
Cu/ $Li_2O/\gamma-Al_2O_3$	200	70	90
	300	92	15
	400	100	4

Med konvertering menas i detta fall hur mycket av etanolen som konverteras vid en kemisk reaktion. Med selektivitet menas den andel av den konverterade etanolen som reagerar mot etylenoxid. För beräkning av utbyte multiplicerades konverteringsfaktorn med selektiviteten och kvoten (44/46) som är molekylvikten i g/mol för etanol respektive etylenoxid (Processum, 2012), se tabell 8 i resultatdelen.

Närvaro av syrgas är mycket viktigt vid denna reaktion eftersom katalysatorn annars snabbt förbrukas (Lippits & Nieuwenhuys, 201b). Utbyten beräknades för de tre katalysatorerna, varav det högsta kommer att användas i denna rapport.

För att beräkna mängden etanol som förbrukas vid tillverkning av etylenoxid antas i denna studie att samma resultat som uppnåtts i laboratorium kan tillämpas i större skala på en etylenoxidfabrik.

Bioetanol och etylenoxid

Vid anläggning av ett bioraffinaderi som producerar både etanol (från lignocellulosa) och etylenoxid, har kapital- och rörliga kostnader undersökts genom att studera relevant ekonomisk litteratur som behandlar bioraffinaderier baserade på lignocellulosa. Litteratur från 2000-2012 har undersökts. Litteratursökning gjordes i databaserna *Primo*, *Web of Knowledge* samt *Google Scholar* med nyckelorden

Biorefinery, oil, lignocellulosics, biotechnology, biorefinery concept, green chemistry, biofuels, techno-economics, ethanol, pretreatment samt pioneer plant.

Valutaomvandling

Värdena i rapporten anges i USD, då detta är den dominerade valutan i de vetenskapliga artiklar som studerats. Vid omräkning från euro till dollar har omräkningsfaktorn 1 USD=1,327 euro använts vilket hämtades från valuta.se i april 2012. Dollarenheten är USD år 2012 och värdena är justerade för inflationen genom konsumentprisindex för USD (CPI USA, 2012). Vid omräkning från dollar till svenska enkronor, har 1 USD =6,7614 SEK använts, vilket hämtades den 14e april 2012.

Grundinvestering

Med grundinvestering menas i denna studie alla kostnader som uppkommer vid anläggning av den tänkta fabriken. Det värde på grundinvesteringen som beräknas i denna studie är det teoretiskt maximala värdet, följaktligen hur stor summa som kan investeras i en etylenoxidfabrik om de ekonomiska antagandena är uppfyllda. Vilka kostnader som grundinvesteringen omfattar är upp till investeraren och undersöks inte i denna studie.

Resultat

Grundinvestering för en fristående etylenoxidfabrik

Nedan presenteras resultatet från basscenariot i tabell 3. När nettonuvärdet är noll (break even) kan grundinvesteringen maximalt uppgå till ca 20,2 miljoner dollar om investeringen ska vara lönsam. Grundinvesteringen motsvarar cirka 136,3 miljoner SEK.

Tabell 3. Maximal grundinvestering av en fristående etylenoxidfabrik

Table 3. Maximum capital investment of a standalone ethylene oxide plant

Fabriksbeskrivning	
Produktionskapacitet (ton år-1)	10 500
Kalkylränta (%)	10
Ekonomisk livslängd (år)	20
Skatt (%)	26,3
Finansiering	Extern
Ränta lån (%)	10
Driftskostnader (\$ ton-1)	1 468
Marknadspris etylenoxid (\$ ton-1)	1 900
Grundinvestering (\$)	20 152 029
Nettonuvärde (\$)	0

Känslighetsanalyser

Kalkylränta

Olika investerare har olika avkastningskrav på sin investering. I tabell 4 visas grundinvesteringen då kalkylräntan varierats, i övrigt gäller samma förutsättningar som i tabell 3. Grundinvesteringen kan maximalt uppgå till 15,7 miljoner dollar vid en kalkylränta på 15 %, respektive 27,3 miljoner dollar vid en kalkylränta på 5 %.

Tabell 4. Grundinvestering vid olika kalkylräntor

Table 4. Capital investment when rate is varied

Kalkylränta (%)	Grundinvestering (miljoner \$)
5	27,3
10	20,2
15	15,7

Driftkostnad

Driftkostnaden som i grundkalkylen är fast på 1468 dollar per ton etylenoxid har varierats i tabell 5, som visar den högsta tillåtna driftkostnaden för olika investeringsalternativ när nettonuvärde, inklusive grundinvestering, är lika med noll. Övriga parametrar hålls konstanta, se tabell 1. Grundinvesteringen varierar mellan 32,7–9,3 miljoner dollar när driftkostnaden varierar mellan 1200 och 1700 dollar per ton producerad etylenoxid.

Tabell 5. Grundinvestering vid olika driftkostnader. M\$= miljoner USD
Table 5. Capital investment at different operating costs. M\$= million USD

Driftkostnader (\$ ton ⁻¹ år ⁻¹)	Grundinvestering (M\$)
1 200	32,7
1 300	28,0
1 400	23,3
1 468	20,2
1 500	18,7
1 600	14,0
1 700	9,3

Marknadpris

I tabell 6 visas den maximala grundinvesteringen i en fristående etylenoxidfabrik om marknadspriserna varierar med ±5 och 10 %. Beräkningen har utförts på två driftkostnader, 1468 respektive 1200 dollar per ton producerad etylenoxid. I övrigt gäller grundförutsättningarna i tabell 1. När marknadspriset varierar och driftkostnaden uppgår till 1468 dollar per ton etylenoxid är den maximala grundinvesteringen mellan 11,3- 29,0 miljoner dollar. Vid en driftkostnad på 1200 dollar per ton etylenoxid varierar grundinvesteringen mellan 23,8-41,5 miljoner dollar.

Tabell 6. Grundinvestering när marknadspriset varierar. M\$= miljoner USD
Table 6. Capital investment when market price is varied. M\$= million USD

Marknadsspris (\$ ton ⁻¹)	Grundinvestering (M\$) Driftkostnad 1468 \$ton ⁻¹ år ⁻¹	Grundinvestering (M\$) Driftkostnad 1200 \$ton ⁻¹ år ⁻¹	Prisförändring marknadspris (%)
1710	11,3	23,8	- 10
1 805	15,7	28,2	-5
1 900	20,2	32,7	0
1 995	24,6	37,1	+5
2 090	29,0	41,5	+10

En sammanfattning av känslighetsanalysen presenteras i tabell 7. Grundinvesteringen varierar mellan 9,3–41,5 miljoner dollar.

Tabell 7. Sammanfattning av känslighetsanalysen. M\$= miljoner USD

Table 7. Summary of sensitivity analysis. M\$= million USD

ränta (%)	Grundinvestering M\$
5	27,3
10	20,2
15	15,7
Driftkostnad (\$ ton⁻¹år⁻¹)	
1 200	32,7
1 300	28,0
1 400	23,3
1 468	20,2
1 500	18,7
1 600	14,0
1 700	9,3
Marknadspris - driftkostnad 1200 \$ ton⁻¹ år⁻¹	
1 710	23,8
1 805	28,2
1 900	32,7
1 995	37,1
2 090	41,5
Marknadspris - driftkostnad 1468 \$ ton⁻¹ år⁻¹	
1 710	11,3
1 805	15,7
1 900	20,2
1 995	24,6
2 090	29,0

Etanolförbrukning

Utbytet av etylenoxid från etanol har beräknats utifrån resultat av tidigare studier gjorda på laboratorieskala, se tabell 8. Nedan presenteras utbyten för de olika konfigurationerna som genomförts i laboratorieförsök av Lippits & Nieuwenhuys (2010b). Den guldbaserade katalysatorn (Au/Li₂O -Al₂O₃) genererar det högsta utbytet, 72,7 %, vilket innebär att vid en temperatur på 200°C omvandlas 72,7 % av råvaran (etanol) till etylenoxid.

Tabell 8. Jämförelse av utbyte från råvaran (etanol)

Table 8. Comparison of yield from feedstock (ethanol)

Katalysator	Temperatur (°C)	Konvertering(%)	Selektivitet (%)	Utbyte %
Au/Li ₂ O-Al ₂ O ₃	200	80	95	72,7
	300	90	71	61,1
	400	100	10	9,6
Ag/Li ₂ O-Al ₂ O ₃	200	58	96	53,3
	300	90	54	46,5
	400	100	30	28,7
Cu/Li ₂ O-Al ₂ O ₃	200	70	90	60,3
	300	92	15	13,2
	400	100	4	3,8

Utbytet från den guldbaserade katalysatorn på 72,7 % i tabell 8 har använts för att skatta den årliga etanolförbrukningen, se tabell 9. Etanolförbrukningen är omvandlad till liter för att underlätta jämförelse med bioetanolfabriker där produktionskapaciteten vanligtvis anges i miljoner liter etanol per år. Den årliga etanolförbrukningen beräknades till 18,3 miljoner liter etanol vid en produktion av 10 500 ton etylenoxid per år.

Tabell 9. Etanolförbrukning för olika tillverkningsvolymmer av etylenoxid

Table 9. Ethanol consumption when annual production capacity is varied

Etylenoxid ton år ⁻¹	Etanolförbrukning liter år ⁻¹
10 500	18 305 344
25 000	43 584 151
50 000	87 168 303
100 000	174 336 606

Integration av bioetanolraffinaderi och etylenoxidfabrik

Tabell 10 visar tre studier av bioraffinaderier som producerar etanol från lignocellulosa.

Tabell 10. Jämförelse av ekonomiska data från olika referenser. MI= Miljoner liter. M \$= Miljoner dollar

Table 10. Comparison of economical data from different references. MI= Millions of liter. M\$= Million USD

Storlek (MI etanol år ⁻¹)	Grundinvestering (M\$)	Rörliga Kostnader (M\$ år ⁻¹)	Referens
444	470,9	268,2	Arvidsson & Lundin, 2011
189	309,3	37,2	Hamelinck et al., 2005
186	139,5	41,4	He & Zhang, 2010

Arvidsson och Lundins (2011) studie använder svensk gran som råvara och produktionskostnaden för etanol bedömdes till 734 dollar per ton etanol. He & Zhangs (2010) studie indikerar att produktionskostnaden kommer att ligga kring 790 dollar per ton med en råvara som kostar kring 166 dollar per ton vilket är likvärdigt med Arvidsson & Lundins (2011) råvarukostnad.

Diskussion

Grundinvestering

Det finns idag inga tidigare studier på etylenoxid att jämföra resultatet med, men produktionen av etylen från etanol är en beprövad metod, som idag används vid storskalig tillverkning av 200 000 ton polyeten per år vid en fabrik i Brasilien (Braskem, 2012).

Arvidsson & Lundin (2011) har gjort en studie på en etylenfabrik i Stenungssund som använder etanol som råvara. I denna studie har författarna genom en litteraturstudie konstaterat att grundinvesteringen vid etablering av ett fristående etylenbruk som producerar 200 000 ton etylen om året, varierar mellan 83,5-167 miljoner dollar. Notera att detta gäller en större fabrik som producerar ca 19 gånger mer än den tänkta etylenoxidfabriken som behandlas i denna studie. Resultatet i grundscenariot visar att grundinvestering max får uppgå till 20,2 miljoner dollar, vilket väl kan räcka för anläggning av en fabrik. Den faktiska kostnaden för uppförande av fabriken är dock osäker och här måste teknoekonomiska analyser göras.

Med tanke på att direkt oxidation av etanol till etylenoxid hittills endast utförts på laboratorieskala, kommer troligen den första etylenoxidfabriken att bli dyrare att anlägga än en etylenfabrik av motsvarande storlek, och pilotanläggningar bör sannolikt bli det första steget innan fullskalig kommersialisering eventuellt genomförs.

Driftkostnad

Driftkostnaden för att producera etylenoxid antas i grundkalkylen vara 1468 dollar per ton vilket är hämtat från Arvidssons & Lundins (2011) studie på ett etylenbruk i Stenungssund. I Arvidssons & Lundins (2011) studie antas importpriset på etanol vara ca 689 dollar per ton i dagens penningvärde. Idag handlas etanolen kring 1200 dollar per ton (ICIS pricing, 2012c). Skillnaden är påtaglig och antagandet från Andersson & Lundins studie är därför ett osäkert värde. Känslighetsanalysen visade att den maximala grundinvesteringen varierade mellan 9,3 och 18,7 miljoner dollar när driftkostnaderna höjts över 1468 dollar per ton. Om det skulle visa sig att driftkostnaderna kan sänkas visar känslighetsanalysen att minskade driftkostnader med ca 18 % ökade den maximala grundinvesteringen med 62 %.

Marknadspris

Det är troligt att råoljepriset kommer öka ytterligare från dagens prisläge, och resultatet från känslighetsanalysen i denna studie visar att grundinvesteringen kan ökas till 29 miljoner dollar om marknadspriset går upp 10 % och driftkostnaden hålls konstant på 1468 dollar per ton etylenoxid.

Prissättningen på konventionellt tillverkad etylenoxid beror dels på leverantörens tillverkningskostnad och dels på etylenpriset (Akzo Nobel, 2012b). Masih et al. (2010) indikerar att det regionala etylenpriset är beroende av råoljepriset, vilket har fyrdubblats under det senaste årtiondet (BP, 2011). Etylen handlades i slutet av 2011 för omkring 1500 dollar per ton (ICIS pricing, 2011b) och mellan 2010 och 2011 ökade priset på etylen med 17 % (ibid). Etylenoxidpriset ökade mellan 12-23 % samma period (ICIS Pricing, 2012a).

Som nämnts tidigare ligger dagens importpriser på etanol kring 1200 dollar per ton (ICIS pricing, 2012b) vilket är ca 300 dollar per ton lägre än etylen. Det finns alltså potential att konkurrera med råvaran oljebaserad etylen, givet att tillverkningskostnaden hålls nere.

Etanolförbrukning

Utbytet från etanolen beräknades från Lippits & Nieuwenhuys (2010b) studie på direkt oxidation av etylenoxid. Deras studie är utförd på laboratorieskala och värdena får anses osäkra då det idag inte finns någon kommersiell anläggning som använder sig av tekniken. I denna studie har det antagits att försöken går att skala upp i större skala, men här bör ytterligare forskning ske och pilotanläggningar etableras.

Integration av ett bioetanolraffinaderi och en etylenoxidfabrik

Resultatet av känslighetsanalysen indikerar att ca 100 000 ton etylenoxid bör produceras årligen för att täcka förbrukningen hos ett medelstort bioraffinaderi. Akzo Nobel tillverkar idag ca 110 000 ton etylenoxid i Sverige, således skulle en stor etylenoxidfabrik kunna integreras med en bioetanolfabrik för att tillgodose det svenska behovet av etylenoxid. I de teknanalyser som studerats beräknas produktionskostnaden för lignocellulistik etanol ligga mellan 734 och 790 dollar per ton etanol med svenska råvarupriser, vilket är cirka halva råvarupriset jämfört med oljebaserad etylen. Till författarens vetskap finns dock idag inga renodlade lignocellulistiska bioraffinaderier som producerar de etanolmängder som krävs.

Avsaknaden av andra generationens bioetanolfabriker beror på den höga grundinvesteringen som tekniken är associerad med, men också på att det fortfarande finns en del tekniska problem kvar att övervinna, exempelvis är förbehandling av vatten idag alltför kostnadskrävande. Idag finns en stor mängd teknoekonomiska analyser gjorda, men de flesta är fortfarande komplicerade, varför investeringsrisken anses som hög hos privata investerare (Gnansounou & Dauriat 2010). I resultatet visas att grundinvesteringen för en bioetanolfabrik som producerar 186 miljoner liter etanol per år ligger kring 140 miljoner dollar (He & Zhang, 2010). Grundinvesteringen kommer i realiteten vara högre för den första bioetanolfabriken baserad på lignocellulosa, då He & Zhangs (2010) studie visar etableringskostnaden för redan färdigutvecklad teknik (Kazi et al, 2010). Renodlade bioetanolfabriker baserade på lignocellulosa kommer att ha svårt att slå sig in på marknaden innan de tekniska hindren har övervunnits och grundinvesteringen sänkts.

Ett rimligare alternativ är att integrera en etylenoxidfabrik med ett massa- eller pappersbruk som konverterats till ett bioraffinaderi för att möta den ökade konkurrensen om pappersprodukter. Domsjö Fabriker i Örnsköldsvik är Sveriges enda exempel på ett sådant konverterat massabruk, och de producerar andra generationens bioetanol som biprodukt. Domsjö Fabriker tillverkar även specialcellulosa och lignin, vilket får ses som deras huvudprodukter då etanoltillverkningen är relativt sparsam på ca 14 000 ton bioetanol, motsvarande 23,3 miljoner liter etanol årligen. Idag säljer Domsjö sin bioetanol till SEKAB, som sedan vidareförädlar den, bland annat till biodrivmedlet ED95 (Domsjö Fabriker, 2012).

Resultatet visar att 14 000 ton bioetanol kan täcka råvaruförbrukningen hos en lokal etylenoxidfabrik i Örnsköldsvik, vilket påvisar potentialen i att integrera ett konverterat massa- eller pappersbruk med en lokal etylenoxidfabrik.

Slutsats

I grundkalkylen skattades den högsta tillåta grundinvesteringen till 20,2 miljoner dollar och råvaruförbrukningen uppskattas till 18,3 miljoner liter. Känslighetsanalysen visar att

grundinvesteringen varierar mycket beroende på vilka förutsättningar som gäller. Driftkostnaden är den variabel som bör undersökas närmare.

Metoden med direkt oxidation förbrukar troligen motsvarande mängd etanol som produceras vid ett konverterat massa- eller pappersbruk. Integration med lignocellulistiska bioraffinaderier är inom den närmaste framtiden orealistiskt på grund av de höga investeringsriskerna. Det troligaste scenariot är att en hållbar etylenoxidfabrik kan integreras med ett konverterat massa- eller pappersbruk som producerar en mindre mängd etanol.

Det finns en stor potential vid investering i en etylenoxidfabrik då råvaran är billigare än den konventionella etylenen. På makronivå driver oljepriserna på en utveckling mot förnyelsebara kemikalier och på mikronivå präglas norra halvklotets massa- och pappersindustri av en minskande konkurrenskraft. Om skogsindustrin i den närmaste framtiden väljer att satsa mer på biokemikalier, kan produktion av etylenoxid från etanol vara värt att undersöka vidare.

Fortsatt forskning

Direkt oxidation av etanol till etylenoxid är än så länge en obeprövad metod, och ytterligare forskning krävs för att kunna skala upp metoden. Vidare måste teknoekonomiska analyser till för att precisera driftkostnader och grundinvestering ytterligare.

Referenser

Akzo Nobel. 2012a. AkzoNobel Performance Additives – Bermocoll.

<http://www.akzonobel.com/cs/products/bermocoll/index.aspx>

Hämtad 2012-03-15

Akzo Nobel. 2012b. Årlig förbrukning av etylenoxid i Örnsköldsvik. Pers. komm., Hörlin, M. 2012-04-01

Akzo Nobel. 2012c. Årlig tillverkning av etylenoxid i Sverige. Pers. komm., Sjöberg, A. 2012-04-19

Andersson, G. 2001. Kalkyler som beslutsunderlag. 5e uppl. Lund: Studentlitteratur

Arvidsson, M. & Lundin, B. 2011. Process integration study of a biorefinery producing ethylene from lignocellulosic feedstock for a chemical cluster. Department of Energy and Environment -*Division of Heat and Power Technology*. Chalmers, Göteborg.

BP. 2011. BP Statistical Review of World Energy June 2011.

<http://www.bp.com/sectiongenericarticle800.do?categoryId=9037187&contentId=7068668>

Hämtat 2012-04-23

Braskem. 2012. Green products.

<http://www.braskem.com.br/site.aspx/green-products>

Hämtad 2012-04-15

Chemtex. 2012. Bio-ethylene/ethylene oxide/Ethylene Glycol

http://chemtex.com/templates/renewables_bio-ethylene.html

Hämtad 2012-04-23

Cherubini, F. 2010. The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 51(1):1412-1421.

CIP USA. 2012. Consumer Price Index Data from 1913 to 2012.

<http://www.usinflationcalculator.com/inflation/consumer-price-index-and-annual-percent-changes-from-1913-to-2008/>

Hämtad 2012-04-13

Demirbas, A. 2011. Competitive liquid biofuels from biomass. *Applied Energy*, 88(1)17-28

Domsjö Fabriker. 2012. Vi är en del av den gröna framtiden.

<http://www.domsjoe.com/>

Hämtad 2012-03-15

Ekonomifakta. 2012. Bolagsskatt- Internationell.

<http://www.ekonomifakta.se/sv/Fakta/Skatter/Skatt-pa-foretagande-och-kapital/Bolagsskatt/>

Hämtad 2012-04-13

- Ekvall, H. 2012. Ekonomiska antaganden. Pers. komm., handledare. 2012-04-13.
- Gnansounou, E. & Dauriat, A. 2010. Techno-economic analysis of lignocellulosic ethanol: A review. *Bioresource Technology*, 101(1):4980–4991
- Gong, P. 2012. Ekonomisk lönsamhet av olika skogsskötselmetoder på beståndsnivå. http://slunik.slu.se/kursfiler/F%D60336/30026.1112/handout_del_2b.pdf
Hämtad 2012-03-15
- Hamelinck, C.N., Hooijdonk, G., Faaij, A. 2005. Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle- and long-term. *Biomass and Bioenergy*, 28(4):384-410.
- He, J. & Zhang, W. 2011. Techno-economic evaluation of thermo-chemical biomass-to-ethanol. *Applied Energy*, 88(1):1224–1232
- ICIS pricing, 2011a. Ethylene oxide (Europe). Sample Report. http://www.icispricing.com/il_shared/Samples/SubPage77.asp
Hämtad 2012-04-09
- ICIS pricing, 2011b. Ethylene (Europe). Sample report. http://www.icispricing.com/il_shared/Samples/SubPage49.asp
Hämtad 2012-04-09
- ICIS pricing, 2011c. Ethanol (Europe). Sample report. http://www.icispricing.com/il_shared/Samples/SubPage108.asp
Hämtad 2012-04-09
- Kamm, B. & Kamm, M. 2004. Principles of biorefineries. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 64(2):137-145.
- Kazi, F.K., Fortman, J.A., Anex, R.P., Hsu, D.D., Aden, A., Dutta, A., Kothandaraman, G. 2010. Techno-economic comparison of process technologies for biochemical ethanol production from corn stover. *Fuel*, 89(1):20-28
- Larsson, Ö. & Ståhl, B. 2009. Mer raffinerade produkter. Vedbaserade bioraffinaderier höjer kilovärdet på trädet. VINNOVA Analys VA.
- Lind, E. 2011. Nya skogsbaserade material – Från Labb till Marknad. Dept. of Forest Products. SLU, Umeå. Arbetsrapport 66.
- Lippits, M.J. & Nieuwenhuys, B.E. 2010a. Direct conversion of ethanol into ethylene oxide on copper and silver nanoparticles. *Journal of Catalysis*, 154(1):127-132.
- Lippits, M.J. & Nieuwenhuys, B.E. 2010b. Direct conversion of ethanol into ethylene oxide on gold-based catalysts: Effect of CeO and Li O addition on the selectivity. *Journal of Catalysis*, 274(2):142-149
- Masih, M., Algahtani, I., De Melloc L. 2010. Price dynamics of crude oil and the regional ethylene markets. *Energy Economics*, 32(6):1435–1444

Milazzo, M.F, Lisi, R., Mashio, G., Antonioni, G., Bonvicini, S., Spadoni, G. 2002. HazMat transport through Messina town: from risk analysis suggestions for improving territorial safety. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 15(1):347–356

Nigam, P.S. & Singh, A. 2010. Production of liquid biofuels from renewable resources. *Progress in Energy and Combustion Science*, 37(1):52-68

Persson, K., Posse, G., Rosner, M. 2007. Investeringsbedömning. Fakulteten för ekonomi, kommunikation och IT. KU, Karlstad.

Processum. 2012a. Om Processum.

<http://www.processum.se/sv/processum/om-processum>

Hämtat 2012-04-02

Processum. 2012b. Användningsområden. Pers. komm. Blomberg, D & Söderström, Y

Regeringskansliet. 2011. EU-kommissionen godkänner statligt stöd för att utveckla andra generationens biodrivmedel.

<http://regeringen.se/sb/d/14223/a/159812>

Hämtad 2012-03-15

Skogsindustrierna. 2011a. Branschfakta.

<http://www.skogsindustrierna.org/web/Branschfakta.aspx>

Hämtat 2012-03-19

Skogsindustrierna. 2012b. Kvartalsrapport mars 2012

http://www.skogsindustrierna.org/web/Sa_gar_det_for_skogsindustrin.aspx

Hämtat 2012-04-02

Takashi, T., Norihiko, I., Masatake, M. 2011. Synthesis of Acetaldehyde, Acetic Acid, and Others by the Dehydrogenation and Oxidation of Ethanol. *Catalysis Surveys from Asia*, 15(2):80-88

Teraade Proces 2009. Feedstock cost ethylene oxide manufacturing.

<http://www.teraade.com/articles/2009/05/19/feed-stock-cost-ethylene-oxide-manufacturing/>

Hämtad 2012-04-09

U.S. Dept. of Health and Human Services, Public Health Service (U.S. HHS), National Toxicology Program. 2011. Ethylene oxide, Report on carcinogens: carcinogen profiles, 12(1):188-191.

Wright, M.M. & Brown, R.C. 2007. Comparative economics of biorefineries based on the biochemical and thermochemical platforms. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 1(1):49–56.