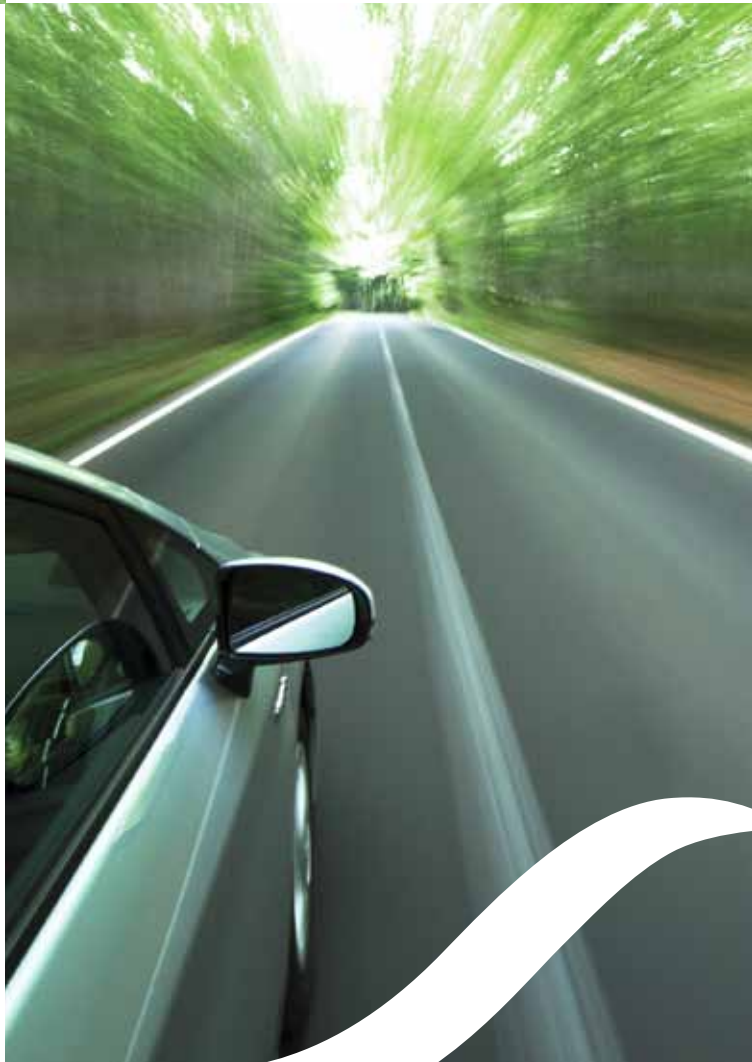


Programmet Etanol från cellulosa

Slutrapport



Publikationer utgivna av Energimyndigheten
kan beställas eller laddas ned via www.energimyndigheten.se
eller beställas genom att skicka e-post till
energimyndigheten@cm.se eller per fax: 08-505 933 99

© Statens energimyndighet

ET2012:52

November 2012

Upplaga: 250 ex

Grafisk form: Granath

Tryck: Arkitektkopia AB

Foto: Shutterstock, Energimyndigheten, Oscar Lüren, Per Westergård

Illustration: Bo Reinerdahl

Förord

Denna slutrapport ges ut av Energimyndigheten och har tillkommit för att ge en sammanfattande bild av det arbete som har utförts inom programmet Etanol från cellulosa. Rapporten riktar sig till beslutsfattare, berörda myndigheter inom transportområdet och övriga aktörer som har ett intresse för utvecklingen av förnybara drivmedel. Programmet har haft en årlig budget på 36 miljoner kronor, totalt 144 miljoner, för den fyraåriga programperioden 2007–2010. Ambitionen har varit att beskriva de huvudsakliga resultaten och aktuella frågeställningar i forskningen, i stället för att ge en detaljerad beskrivning av alla forskningsprojekt som har genomförts. Rapporten vill också spegla hur kunskapen har utvecklats inom programmet olika delar. Slutligen innehåller rapporten också ett översiktligt omvärldsavsnitt för att sätta in den svenska satsningen på utveckling av en cellulosabaserad etanolprocess i ett vidare perspektiv. Texten har skrivits av Lars Vallander, Energimyndigheten, och Anders Östman, Kemiinformation, som båda ingår i programrådet.

Energimyndigheten vill framföra sitt tack till övriga ledamöter i programrådet för deras medverkan i tillkomsten av denna rapport: Urban Bergsten, Sveriges Lantbruksuniversitet Umeå, Lena Dahlman, Svebio, Maria Nyquist, Energimyndigheten, Ebba Tamm, Svenska Petroleum och Biodrivmedel Institutet, Charlotte Tengborg, E.on Värme Sverige AB och Kenneth Werling, Werling Consulting.

Birgitta Palmberger
Avdelningschef
Teknikavdelningen

Sammanfattning

Programmet Etanol från cellulosa är en av Energimyndighetens stora forskningssatsningar inom transportområdet. Det avsattes 144 miljoner kronor för programmet under fyraårsperioden. Tillsammans med de insatser som gjordes året före programstarten, summeras det totala statliga stödet till 162 miljoner kronor. Den totala ekonomiska omfattningen uppgick till 202 miljoner kronor, vilket innebär en genomsnittlig statlig stödandel på 80 procent.

Väsentliga teknikframsteg har gjorts i programmet i utvecklandet av etanolproduktion från cellulosainnehållande råvaror. Programmet omfattar många aktiviteter, alltifrån satsvisa försök i normal laboratorieskala till veckolånga kontinuerliga körningar i Etanolpilotanläggningen i Örnsköldsvik.

Viktiga forskningsområden som behandlats handlar om hur processerna hydrolys och jäsning kan kombineras, ökande torrsubstanshalter, utveckling av organismer som kan jäsa femkolssocker (pentoser), uppodling av dessa liksom pentosjäsning i stor skala. Systemfrågor, där processkoncept omfattande flera processvägar och/eller produkter har börjat bearbetas. Inte minst har utvecklandet av piloten till en väl fungerande försöksanläggning inneburit ett mycket viktigt framsteg som banat väg för processutvecklingen, där flera positiva resultat av betydelse för storskalig produktion har framkommit.

Rapporten redovisar översiktligt resultat som framkommit i programmet men också kvarvarande frågeställningar. Ett beräknings-exempel – inte en prognos – ges för tillverkningskostnaden, som för jämförelsens skull kompletteras med en del pris-/kostnadsuppgifter, som kan vara av betydelse för olika typer av drivmedel, inte bara etanol. Ett omvärldskapitel tar upp faktorer, som kan bli av betydelse i utvecklingen.



Innehåll

Förord	1
Sammanfattning	2
Varför göra etanol från cellulosa?	7
Styrkefaktorer	8
Svagheter	9
Möjligheter	9
Hot	10
Programmets vision och mål	13
Vision	13
Mål	13
Resultat	15
Pilotanläggningen, "Etanolpiloten"	16
Processutvecklingsenheten, "PDU:n", (Process development unit)	20
Etanolprocesser	23
Processsystem och integration: Det handlar inte bara om etanol	27
FoU om vissa teknikfrågor	30
Utveckling av kompetens och försöksutrustning	32
Måluppfyllelse	35
Kostnadsberäkningar för cellulosabaserad etanol i Sverige	41
Exemplet cellulosabaserad etanol 2012	42
Variationer i beräkningsfallet – för att belysa osäkerheterna i kostnadsbedömningar	45

Vad händer i omvärlden med utveckling av etanol från lignocellulosa?	49
Lignocellulosabaserad etanol globalt på kort och lång sikt	53
Drivmedelssituation	55
Transportutvecklingen	57
Klimatet	58
Osäkerheter i världsekonomin	58
Fortsatt svensk etanolutveckling	61
Bilaga	65



Varför göra etanol från cellulosa?

Ett flertal drivmedel kan framställas från cellulosaråvaror med olika tekniker – samtliga under utveckling. Sådana arbeten pågår i Sverige liksom i omvärlden. Etanol är ett av dessa utvecklingsspår och en tung drivkraft är att etanol sedan flera år är etablerat drivmedel i fordon. Den etanol som hittills används är gjord av jordbruksprodukter, som framförallt innehåller socker och stärkelse, och många röster har höjts för en tillverkning som inte konkurrerar med livsmedel. Råvarukostnaden kan i dessa fall också tala mot att använda dem.

Flera av de faktorer som nämns nedan angående etanol ur cellulosa har också betydelse för tillverkningen av andra tänkbara drivmedel. Det går idag inte att säga vilken roll olika drivmedel på sikt kommer att få på den globala marknaden. Man kan emellertid räkna med att transportsektorn kommer att behöva tillförsel av ett flertal olika drivmedel. De senaste åren har bland annat intresset för elektricitet som drivmedel i fordon ökat kraftigt. Verkningsgraden i drivsystemet är hög men den totala verkningsgraden blir en fråga också om hur elektriciteten tillverkas.

På nästa uppslag redovisas ett antal faktorer – positiva som negativa – som bedöms kunna få stor betydelse för den fortsatta utvecklingen i Sverige.

Styrkefaktorer

- Sverige har god tillgång på skoglig biomassa, ”lignocellulosa”.
Det finns också tillgång på cellulosainnehållande jordbruksrester, som halm.
- Det finns stor kunskap liksom infrastruktur, när det gäller hantering av vedråvara, i leden avverkning, transport och konvertering.
- Sverige har framstående forskare och utvecklingsmiljöer.
Det finns en unik kunskap om etanolframställning från barrved.
Vi är framstående när det gäller utvecklingen av etanol från pentoser (femkolsocker).
- Etanol är det helt dominerande förnybara fordonsdrivmedlet globalt. Bränslet kan användas både i bensin- och dieseldrivna fordon.
- Man utnyttjar en universellt befintlig biokemisk processkedja, som omvandlar sockerarter från råvarans kolhydrater till etanol.
- Möjligheten att begränsa climateffekterna med hjälp av etanol bör vara större för cellulosabaserade processer än för traditionell tillverkning.
- Skogen är en tillförlitlig råvarukälla. Den drabbas till exempel mer sällan av ”missväxt” (låg avkastning) än vad jordbruksprodukterna riskerar.

Svagheter

- Svårighet att få tillgång till finansiellt kapital för att skala upp till kommersiell skala.
- Det finns i dagsläget ingen ekonomiskt, tillräckligt stark industriell aktör.
- Utvärderingar säger att hittills är det dyrare att göra etanol ur cellulosa än ur socker och spannmål – i synnerhet i de första anläggningarna.

Möjligheter

- Styrmedel. EU:s mål för 2020 ställer krav på användning och produktion av förnybara drivmedel.
- Det finns en vikande marknad för vissa traditionella produkter, vilket skapar ett intresse inom massa/pappersindustrin för att komplettera med nya, mer lönsamma produktområden. Intresset för utveckling av bioraffinaderier för produktion av till exempel drivmedel, kemikalier och material är ett uttryck för detta.
- Ökande oljepriser och minskande oljereserver ökar intresset för att hitta alternativa (förnybara) lösningar, innan efterfrågan passerar tillförselkapaciteten, som är fallande.
- Cellulosabaserad etanol konkurrerar inte om livsmedelsråvara.

Hot

- Tiden. Om arbetet med att skaffa kapital för att bygga storskaliga anläggningar drar ut på tiden och en kostnadssänkande produktionsutveckling försenas kan cellulosabaserade processer fortsätta att vara dyrare än när etanol framställs från socker eller stärkelse. Då finns det en risk att intresset för nuvarande utvecklingsarbete minskar eller försvinner.
- Det finns tekniska, ekonomiska och politiska risker förknippade med denna verksamhet. Det sista syftar på att utvecklingen kräver att styrmedel införs, som är effektiva och gäller under lång tid, för att företag och investerare ska våga satsa på sådan produktion.
- Konkurrens om bioråvara, till exempel direkt förbränning för att producera el och värme.





Programmets vision och mål

Vid programmets start formulerades följande vision och mål.

Vision

Programmets vision är att cellulosabaserad etanoltillverkning under nästa decennium, 2010–2019, ska bidra till svensk biodrivmedels-tillförsel och export av kunskap inom detta område.

Mål

Det övergripande målet för programmet är att skapa forsknings-mässiga resultat, av en sådan kvalitet att projektering av en demon-strationsanläggning kan påbörjas efter programmets slut.

Delmål

Ett syntesarbete genomförs för att identifiera några intressanta etanolprocessalternativ.

Kritiska steg i ovan nämnda processer identifieras och forskning och utveckling genomförs med målet att finna tekniskt och ekono-miskt tillfredsställande lösningar på dessa.



Resultat

27 projekt genomfördes. Den totala kostnaden för dem var 202 miljoner kronor, varav Energimyndigheten bidrog med 162 miljoner. Till detta kom fakultetsanslag på 1,5 miljoner kronor till projekt vid Lunds universitet. Externa parter svarade för närmare 19 miljoner kronor, där SEKAB stod för den allra största delen, 85 procent.

Genomsnittskostnaden för ett projekt uppgick till 6,4 miljoner kronor. På grund av den stora kostnaden för pilotprojekten blev mediankostnaden för ett projekt avsevärt lägre, 3,6 miljoner kronor.

Processfokus för pilotanläggningen har förändrats. Inledningsvis, fram till början av 2008, var svagsyrahydrolys det processkoncept som gällde. Under de senaste tre åren har arbetet i den inriktats mot en process med enzymatisk hydrolys.

Projekten finns sammanställda i bilaga 1. Att driva etanlpiloten i Örnsköldsvik är kostsamt. Bemanningen är avsevärt större än på alla övriga ställen där myndigheten stöder etanolprojekt, då den omfattar såväl skiftgående driftpersonal som utvecklingsingenjörer.

Vi har valt att i denna rapport inte särredovisa resultaten från varje enskilt projekt utan de sammanfattas under ett fåtal större, övergripande rubriker, som vi menar ger en bättre bild av vad som har åstadkommits under programtiden. Intentionen har varit att inte bara presentera de positiva resultaten utan även belysa de problem som funnits eller kvarstår i olika fall.

Pilotanläggningen, "Etanolpiloten"

I maj 2004 invigdes etanolpilotanläggningen i Örnsköldsvik av statsminister Göran Persson. Tiden fram till 1 januari 2007, då det nya etanolprogrammet "Etanol från cellulosa" startades, inriktades arbetet på att komma till rätta med olika tekniska problem, till exempel igensättningar, som skapade frekventa driftsstörningar. Det krävdes ombyggnader i stort och smått och många komponenter i utrustningen fick successivt bytas ut. Det skulle dröja ytterligare två år innan anläggningen fungerade på ett tillfredställande sätt, det vill säga att piloten kunde köras kontinuerligt under längre tid. Även om problem var förväntade, det är något som man får räkna med vid uppskalning av en process, visade dessa år klart, att det är betydligt svårare att få en kontinuerlig process att fungera jämfört med en satsvis.

Utvecklingen av drifttid belyser detta. År 2005 nåddes oavbrutna drifttider på i storleksordningen timme, under 2007 kanske en arbetsdag. Drifttiden avsåg då bara delar av anläggningen, inte hela processkedjan från råvaruintag till destillerad etanol.

I beslutet om stöd till verksamheten våren 2008 ställde Energi-myndigheten krav på att tre veckors kontinuerlig drift av hela anläggningen måste demonstreras för att fortsatt stöd skulle kunna komma ifråga därefter. Detta mål nåddes i mars 2009. Sedan dess fungerar anläggningen på ett tillfredsställande sätt.

Inledningsvis användes barrvedsråvara i processen. De senaste åren har även andra råvaror kommit in i bilden. Under 2010 kördes anläggningen på träråvara, gran och björk, samt GROT (grenar och toppar), liksom majscolvar, "corn cobs". Den utgör en av ett fåtal anläggningar i världen, där kontinuerliga körningar kan genomföras och har tilldragit sig internationellt intresse tack vare möjligheten att få försök genomförda där. Med sin storlek är den väl anpassad för provkörningar även om den kräver vissa kompletteringar i intaget för olika råvaror.

Anläggningen har byggts för att vara så flexibel som möjligt. Ursprungligen var SEKABs processidé baserad på svagsyrhydrolys i två steg. Som katalysator kan svaveldioxid och svavelsyra användas – samma eller olika i de båda stegen. Redan från början var anläggningen byggd för att även kunna köra enzymatisk hydrolys, där de inledande hydrolysstegen möjliggör förbehandling inför den enzymatiska cellulosa-hydrolysen. Svagsyrastegen klarar temperaturer (tryck) upp till cirka 180 respektive cirka 220° C och det senare steget kan förbikopplas. Detta medger stor flexibilitet då det gäller förbehandling av råvaror för olika processer.

Anläggningen har successivt utvecklats. Den är sedan några år tillbaka godkänd för att arbeta med muterade mikroorganismer, GMM, den största anläggningen i Norden för detta ändamål. Jäsningsdelen



har kompletterats med ytterligare kärl, som gör det möjligt att odla upp jäst i kubikmeterskala och som också ger möjlighet att kombinera hydrolys och jäsning på olika sätt.

Viktiga mål för en cellulosabaserad etanolprocess är att uppnå ett högt utbyte i omvandlingen av tillförd råvaras kolhydrater till etanol, hög produktivitet (reaktionshastighet), hög etanolhalt efter jäsning, god tolerans mot inhibitorer. Dessa mål ställer krav på processens och apparaturens utformning, liksom egenskaper hos enzymer och jäst.

Betydande framsteg har gjorts under åren 2009–2011.

- Målet för försökringsutbytet vid den enzymatiska processen (hexoser, $C_6H_{12}O_6$, det vill säga glukos och mannos) sattes till 78 procent, vilket uppnåddes (79 procent). I stor laboratorieskala har nivåer en bit över 80 procent uppnåtts. Utbyte – eller tydligare – teoretiskt utbyte avser hur stor andel av en viss råvarukomponent i råvaran som kan omvandlas till etanol.

Om man utgår från 1 ton TS barrträdsråvara som vid fullständig hydrolys ger 650 kg hexoser och 100 procent utbyte i etanoljäsningen kan man maximalt få 330 kg etanol (420 liter), vilket svarar mot 100 procent teoretiskt utbyte.

I takt med att hydrolysen förbättrats har också jäsningsutbytet höjts. Det uppsatta projektmålet var att etanolutbytet skulle uppgå till 70 procent av det teoretiskt möjliga för hexoser i ingående råvara. Målet uppnåddes 2009 (71 procent).

- I början av 2009 nåddes en etanolhalt (medianvärde) på strax över 1 viktprocent. Tekniken förbättrades under hela året. Våren 2010 – ett år senare – hade mediannivån stigit till 4,0 viktprocent, i några fall passerades 4,5 viktsprocenten. Etanolhalten i slutet av jäsningsen är en viktig processparameter, eftersom den bestämmer energibehovet vid destillationen. 3–4 viktprocent är en målnivå som brukar sättas i detta sammanhang.
- För att uppnå tillräcklig etanolhalt måste råvarukoncentrationen, TS-halten (TS = Torrsubstans) i processen vara tillräckligt hög. Tack vare förbättringar i bioreaktorerna kan anläggningen hantera TS-halter på upp till 15 procent. Vid så pass höga nivåer sker matningen normalt med så kallad fed-batch-teknik, det vill säga den förbehandlade råvaran tillsätts successivt till reaktorn.
- Anläggningen har kompletterats och fått godkända tillstånd för innesluten användning av genförändrade mikroorganismer. Det centrala kravet är att jästen måste vara avdödad – under alla driftsförhållanden – innan den lämnar anläggningen.
- Uppodling av jäststammar som kan jäsa pentoser (femkolsocker, $C_5H_{10}O_5$, till exempel xylos) har genomförts i anläggningen i kubikmeterskala och dessa har använts för jäsningsen, dels i EU-projektet NILE (New Improvements in Lignocellulosic Ethanol), dels i ett annat projekt (Taurus Energy). Effektiviteten vid jäsningsen av xylos påverkas av hur mycket av de mer lättjässta hexoserna som finns närvarande. I det senare projektet har man med nyutvecklade mer effektiva jäststammar som bäst omvandlat 90 procent av xylosen till etanol i ett hydrolysat, som hade låg halt av hexoser.

Processutvecklingsenheten, "PDU:n", (Process development unit)

PDU-anläggningen i Lund är 2010 närmast ett rutinmässigt verktyg i stor laboratorieskala, där processutveckling kan bedrivas. Den har i likhet med piloten en fast etablerad organisation som genomför såväl interna försök vid institutionen och för andra aktörer inom etanolprogrammet, som externa uppdrag för beställare inom och utom Sverige. Ett flertal råvaror har testats på olika kunders önskemål.

PDU:n är uppbyggd av ett antal utrustningar för de olika processstegen som förbehandling, hydrolys, jäsning och destillation, samt kringutrustning till dessa enheter. De största kärnen rymmer 100 liter.

Mats Galbe, Kemiteknik, vid förbehandlingsutrustningen som ingår i Processutvecklingsenheten (PDU:n) i Lund.



Såväl svaveldioxid som svavelsyra kan användas i hydrolysen vid temperaturer upp till cirka 220° C. Fokus ligger dock på processer med enzymatisk hydrolys. Enheterna är inte fast kopplade till varandra utan kan kombineras i enlighet med tänkta processutförningar, där material transporteras manuellt mellan reaktorerna.

Med sin satsvisa körteknik är PDU:n ett redskap för framförallt processkemiska studier där olika förbehandlingar, jästtyper, enzymer, med mera kan testas för olika råvaror.

PDU:n är en mångsidig utrustning, som utnyttjas för ett flertal ändamål.

- Resultat i normal laborieutrustning (gram- och literskala) kan behöva verifieras i större skala för att få fram säkrare värden på utbyten liksom säkrare bestämning av materialbalanser.
- PDU:n tar fram olika försöksmaterial som forskargrupper behöver i sina studier
- Inför körningar i etanolpiloten kan lämpliga betingelser utprovas i PDU:n på ett kostnadseffektivt sätt, med ett begränsat antal försök.
- Resultat från olika processteg och processalternativ skapar underlag för tekno-ekonomiska beräkningar. Detta ger underlag för att rangordna olika processlösningar.
- Modellberäkningar kan också skapa underlag för slutsatser om hur nya experiment bör utformas.

Exempel på sådana insatser liksom intressanta resultat under de senaste åren, 2009–2011, är:

- Olika typer av förbehandlingar har studerats.
- Enzymatisk hydrolys vid hög substrathalt har som bäst resulterat i ett hydrolysat med 125 gram/liter (mannos + glukos), vilket teoretiskt kan ge en etanolkoncentration på cirka 57 gram/liter vid ett jäsningsutbyte på 90 procent. Koncentrationen på 57 gram/liter (5,7 procent) klarar med råge kravet på 4 viktprocent etanol i tillflödet till destillationen.
- En etanolkoncentration på 47 gram/liter erhöles vid SSF (samtidig försockring och jäsnings) av majscolvar, med en jäst som kan jäsa både hexoser och pentoser. Utbytet i SSF-steget var då över 77 procent baserat på mängden glukos och xylos.
- Enheten har använts för att utvärdera processkonfigurationer och processbetingelser inför försök i de två svenska pilotprojekten; SEKABs försök i den kontinuerliga Etanolkoliten i Örnköldsvik och NBE Swedens körningar i den satsvisa förbehandlingsreaktorn i Sveq. PDU:n har även använts inom projektet ”Industriell verifiering av pentosjäsnande jäst” för Taurus Energys räkning för att ta fram lämpliga betingelser inför verifieringsförsök i etanolpiloten.
- Uppdrag har utförts åt ett 15-tal externa beställare. Det ska framhållas att dessa körningar inte belastar det stöd som Energi-myndigheten ger till PDU-verksamheten.

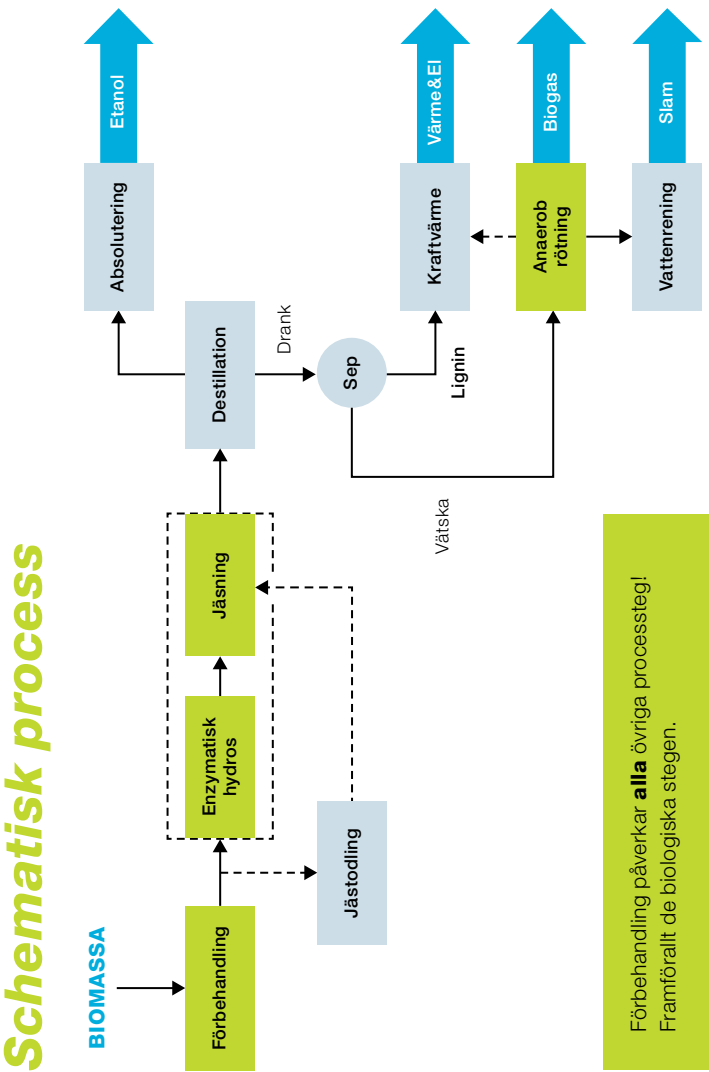
Etanolprocesser

I det laboratoriearbete som genomförts från mitten av 1990-talet framstod svagsyrahydrolysen som ett närmast likvärdigt alternativ till den enzymatiska hydrolysen. Under vissa betingelser drevs hydrolysen till ungefär samma nivåer som enzymerna kunde åstadkomma och enzymatiska processer krävde fortfarande en syrabaserad förbehandling, där råvarans hemicellulosa försockrades.

Den låga syrahalten vid svagsyraprocesser kräver en hög reaktionstemperatur, närmare 200°C och även högre. Under sådana tuffa betingelser sker inte bara önskvärd hydrolys av kolhydrater till jäsbara sockerarter utan även bireaktioner som kan störa processen i senare steg, liksom viss omvandling av sockret till nedbrytningsprodukter. Det bildas jäsningshämmande ämnen, inhibitorer, men detta kan hanteras med en alkalisk behandling, så kallad ”over-liming”. Däremot kan inte SSF-teknik användas (Simultaneous Saccharification and Fermentation), där enzymatisk hydrolys och jäsnings utförs i samma reaktionskärl, vilket också medför en mer komplex anläggning i svagsyrafallet.

Med de erfarenheter som gjordes 2004–2008 i pilotanläggningen förefaller de principiella bekymren med svagsyrahydrolys vara fastslagna. Konsekvensen är att etanolutbytet blir klart lägre än vad som kan uppnås i en enzymatisk process. I framförallt den andra hydrolysreaktorn, där cellulosahydrolysen utförs, kräver processkemin temperaturer på 200°C och högre för att omsättningen ska bli acceptabel. Vid dessa temperaturer erhöles dessvärre ligninbeläggningar som inte kunde bemästras processtekniskt vid kontinuerlig drift.

De mest påtagliga svagheter med enzymatisk hydrolys är den långa hydrolystiden och kostnaden för enzymerna. Till detta kom det begränsade intresse som enzymtillverkarna visade fram till början av 2000-talet.



En omsvängning skedde i början av 2000-talet, då det framkom indikationer om framtida lägre priser på cellulosanedbrytande enzymer (cellulaser). Detta tillsammans med erfarenheterna från utvecklingen av svagsyraprocesser, ledde till en fokusering på enzymatisk process i piloten, till vilket också utvecklingen av processtekniken bidrog. De enzymproducerande företagen Genencor International och Novozymes fick stöd från USAs Biomass Program och i början av 2004 rapporterades att de uppnått en kostnadssänkning med en faktor större än tio, vilket motsvarar en enzymkostnad lägre än 0,50 USD/gallon etanol (1,3 kr/liter etanol, vid en tidigare valutakurs på 10 kr/USD). Fortsatt arbete förväntas ytterligare minska cellulaskostnaden. Erfarenheterna inom Etanolprogrammet är dock hittills inte lika positiva avseende den senare utvecklingen. Se kostnadsbilden som beskrivs på sidorna 42 samt 45.

Den principiella process, som nu bearbetas, utgör en sammanfattning av den utveckling som skett på lab och i PDU:n i Lund och de erfarenheter som gjorts i piloten. Flera av de erfarenheter som gjorts har lett till patentansökningar och processutformningen lanseras internationellt av SEKAB.



Processsystem och integration: Det handlar inte bara om etanol

Processutvecklingen inom tidigare etanolprogram, perioden 1993–2004, har starkt fokuserat på de enskilda stegen liksom på den processlinje där etanolen framställs. Att etablera cellulosabaserad etanolproduktion i en separat (”stand-alone”) fabrik ses som mindre trolig än en samlokalisering. En integration med annan biomassa-baserad verksamhet bedöms kunna leda till ett effektivare resursutnyttjande och ökad riskspridning.

En integrerad anläggnings kommersiella framgång kommer naturligtvis att påverkas av vilka sidoprodukterna är liksom deras värdering. Värdet kan variera över tid och det påverkas även av vilken marknad en viss produkt riktar sig till. Ett konkret exempel är elproduktion, där värdet av elcertifikat spelar en viktig roll.

Under den senaste programperioden, 2007–2011, har etanolprocessen placerats in i ett större sammanhang i en handfull projekt. De avser dels integration med befintlig etanolproduktion med socker och spannmål som råvara (kallad första generationens eller traditionell), dels lignocellulosabaserade processsystem (andra generationens eller avancerade), där den fasta ligninåterstoden och dranken upparbetas till andra slutprodukter. I båda fallen har försök genomförts i mindre och större skala där resultaten använts i teoretiska utvärderingar av ekonomin.

En utvecklingslinje, oavsett råvara, som studeras är att röta sidoprodukterna till metan och utvinna biogas ur dem. Detta kan göras från drank, men rötningstiderna till ett 50 procentigt energiutbyte har hittills visat sig vara förhållandevis långa, varför en ganska stor del av materialet återstår, som måste omhändertas till exempel genom vattenrening och deponering.

Utrustning för att studera anaerob jäsning har införskaffats i Lund. Den har använts för att utvärdera olika rötslam för produktion

av biogas från dranken vid etanolproduktion från gran i etanolkiloten i Örnköldsvik. Med det bästa rötslammet nåddes en COD-reduktion på 70 procent på två dagar och koncentrationen av metan i produktgasen var cirka 60 procent, vilket är en normal halt.

I ett annat processförslag är tanken att upparbeta sidoprodukterna i ett första steg genom förgasning för att därefter konvertera syntesgasen till önskad produkt, det vill säga drivmedel som metanol, DME eller Fischer-Tropsch-produkter. För att förenkla etanolprocessen och för att undvika problemen med fastmaterialförgasning, inleds detta processförslag med en alkalisk separation av lignocellulosa i en cellulosafraktion och en ligninfraktion. Separationen genomförs på etablerat sätt i en modifierad massaprocess där svavel utesluts. Cellulosafraktionen hydrolyseras och jäses till etanol medan ligninet i svartluten är tänkt att förgasas enligt det koncept som utvecklas i Piteå.

De nämnda slutprodukterna från svartlutslinjen har marknadsvärden i paritet med etanolens; det vill säga i storleksordningen fyra gånger högre än ligninets bränslevärde. Värdestegringen hos sidoprodukten är därmed avsevärd och medför i de teoretiska utvärderingarna att produktionskostnaderna för etanolen och sidoströmmarnas slutprodukt ungefär motsvarar dagens marknadspriser. De praktiska försöken indikerar att mer eller mindre etablerad teknik kan användas.

Problemen med detta koncept hänger mycket ihop med ekonomin. Hur ska värdet hos en massafabrik bedömas? Går det att finna ett företag, som är villigt att konvertera ett sulfatmassabruk till denna inriktning med tanke på det omfattande investeringsbelopp som krävs och osäkerheten i bedömningarna av detta?



FoU om vissa teknikfrågor

Reaktionskemin och processkemin i förbehandlingen var förhållandevis väl dokumenterad redan vid Etanolprogrammets start 2007 och måste 2009 betraktas som i stort sett slutförda vad gäller grundläggande FoU.

Reaktions- och processtekniskt har utvecklingsarbetet fortsatt med ”fed-batch-tekniken” där bland annat strategin för flödena granskats.

Uppodling av och pentosjäsning med genmodifierad jäst har framgångsrikt genomförts i piloten i två olika projekt, vilka redovisats i denna rapport. Utveckling av effektivare pentosjäsare vad gäller utbyte, produktivitet och tolerans och deras anpassning till processutformning är kvarstående utmaningar.

Hur den fasta återstoden efter hydrolys, som huvudsakligen består av lignin, ska användas är inte trivialt. Detsamma gäller den drank som återstår efter etanoldestillationen. Dessa strömmar föreligger som suspensioner (slurries) och vattenlösningar. I de fall de ska utnyttjas som bränslen måste de avvattnas och indunstas, vilket kostar energi i processen. Inom området avvattning återstår fortfarande utvecklingsinsatser att genomföra.

Ytterligare en väsentlig fråga är hur långt man kan pressa ned enzym- och jästhalterna med bibehållen effektivitet.



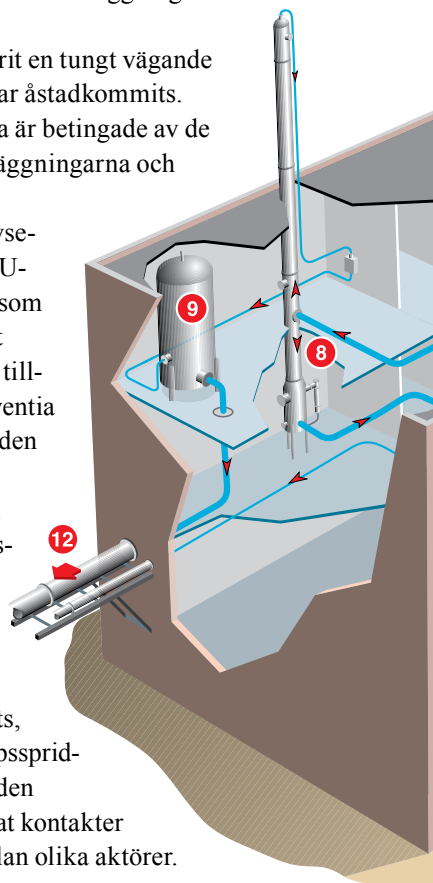
Utveckling av kompetens och försöksutrustning

De största materiella investeringarna som gjorts inom etanolprogrammen berör piloten i Örnsköldsvik och processutvecklingsenheten i Lund. Efter de sammantaget stora grundinvesteringarna har underhåll och en del nyinvesteringar tillkommit, som förbättrat anläggningarnas funktion och användbarhet.

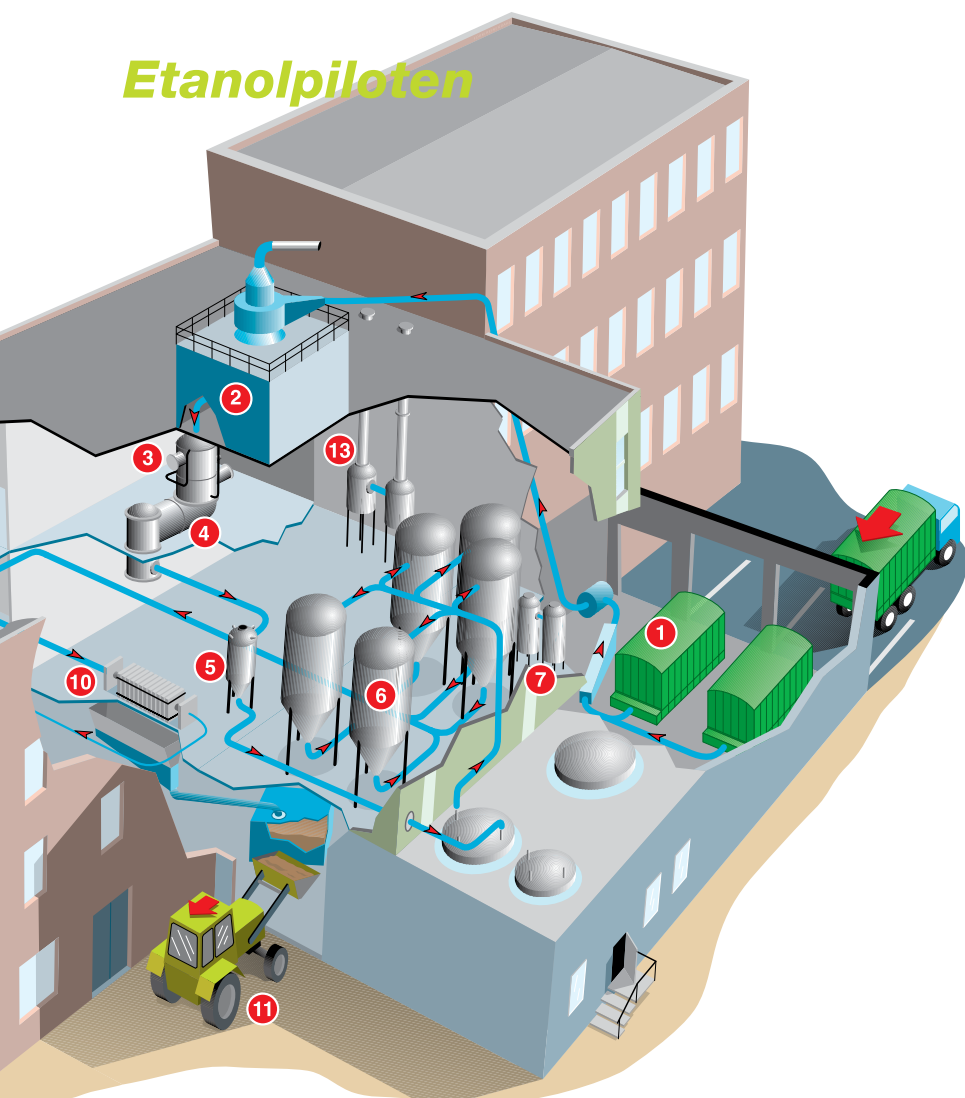
Den apparatmässiga infrastrukturen har varit en tungt vägande förutsättning för den processutveckling som har åstadkommit. Samtidigt är det uppenbart att de reella värdena är betingade av de personella resurser som finns kopplade till anläggningarna och den FoU-kompetens som omger dem.

Etanolprogrammet 2007–2011 har i detta avseende fortsatt att utveckla de grundläggande FoU-resurserna i Sverige. Förutom de kärngrupper som fanns i Lund och Göteborg vid utgången av det tidigare programmet 2004, har två nya aktörer tillkommit på kartan: Högskolan i Borås och Innventia i Stockholm. Från SEKABs sida har det hela tiden också funnits en ambition att knyta till sig kompetens på grundläggande etanolforskning i Norrland. Till detta ska läggas att ett flertal forskare, som disputerat med stöd från tidigare etanolprogram, har etablerat sig på högskolor och i företag, som är engagerade inom etanolområdet.

De programkonferenser som har genomförts, vanligtvis vart annat år, har bidragit till kunskapsspridning och diskussion av utvecklingsläget inom den svenska etanolforskningen. De har också skapat kontakter som bidragit till att få till stånd samarbete mellan olika aktörer.



Etanolpiloten





Måluppfyllelse

Den svenska transportforskningen syftar ytterst till att skapa ett uthålligt transportsystem, som en del av ett uthålligt samhälle. Den vision som formulerats i Etanolprogrammets programbeskrivning, berör den samhällsliga nivån, medan målen knyter an till forskningsprogrammet. Det är de senare som tas upp under detta avsnitt.

Bedömning av måluppfyllelsen baseras på uppgifter från flera håll. De två utvärderingarna av programmet, som genomfördes 2011 väger förstås särskilt tungt. Den rådgivande grupp, programrådet, som varit knuten till programmet under hela perioden och medverkat i hur programmet genomförs, med kunskap, bedömningar och rekommendationer spelar också en viktig roll. Processen inom Energimyndigheten, som ledde fram till beslutet att finansiera ett nytt fyraårigt program, ”Etanolprocesser”, (2011–2015) kan ses som en bekräftelse på att resultaten från föregående program varit tillfredsställande och att det finns väsentliga frågeställningar att arbeta vidare med.

Utvärderingarna genomfördes i februari 2011, dels en vetenskaplig utvärdering av 24 projekt, dels en tekno-ekonomisk utvärdering av de tre projekt som SEKAB svarade för i Etanolpiloten i Örnsköldsvik.

Den vetenskapliga utvärderingen framhåller bland annat:

- Detta var ett excellent program och en fortsättning på åtminstone samma nivå som under föregående år rekommenderas starkt.
- Sammanfattningsvis är programmets resultat av internationell klass och flera av projekten (exempelvis PDU-aktiviteterna) ligger i frontlinjen.
- Utbildning av kompetent personal, där en del har gått vidare till industrin, lyfts fram som en viktig aspekt av programmet.

Rapporten bidrar med värdefull återkoppling, förbättringsförslag. Den innehåller många precisa värderingar och specifika förslag inför en ny programperiod. Dessa synpunkter har införlivats i det nya programmet.

Pilotutvärderingen anför att de beviljade pilotprojekten har uppnått en hög grad av måluppfyllnad och demonstrerat en teknik för produktion av cellulosabaserad etanol från olika lignocellulosamaterial som gran och vetealm. SEKAB E-Technology har under hela programperioden säkrat värdefulla immateriella rättigheter (exempelvis patent) liksom byggt upp en högt kompetent teknisk organisation.

En utvecklingslinje för SEKAB är att som stor delägare till en stärkelsebaserad etanolfabrik i Polen komplettera den med en cellulosabaserad process. SEKAB söker stöd för detta inom EU inom ramen för det så kallade NER300-initiativet.

Teknikutvecklingen inom Etanolprogrammet är endast en faktor – om än viktig – i visionen att cellulosabaserad etanoltillverkning ska kunna bidra till svensk biodrivmedelstillförsel 2010–2019. En framgångsrik utveckling är ett nödvändigt men inte tillräckligt villkor för att realisera denna vision. Andra viktiga parametrar handlar om

finansiering, råvarusituation, tillgång på och konkurrens från annan etanoltillverkning, industriellt engagemang, klimatfrågan, politiska beslut i Sverige och EU-direktiv.

Ett delmål i Etanolprogrammets arbete var att identifiera några intressanta etanolprocessalternativ genom ett ”syntesarbete”. Vid programstarten fanns två huvudalternativ för processarbetet; vägen via svagsyrahydrolys och vägen via enzymatisk hydrolys. Det förra konceptet drevs av SEKAB som därmed svarade för ”syntesarbetet” med denna inriktning. Energimyndigheten, inklusive programmens programråd, betonade att FoU-insatserna i pilotanläggningen skulle inriktas mer mot den enzymatiska processen. Sedan 2009 ligger fokus på denna inriktning.



Med de uttalade målsättningarna att realisera och kommersialisera en etanolprocess blir hanteringen av immateriella tillgångar, ”IPR”, som patent och know-how viktig. Detta berör flera aktörer inom etanolområdet:

- SEKAB arbetar med att säkerställa sådana tillgångar och har lämnat in en handfull patentansökningar som berör processernas genomförande. Dessa har tillkommit i samarbete med olika forskare. Praktiska erfarenheter i driften av pilotanläggningen, alltså know-how, systematiseras.
- Taurus Energy AB äger ett antal patent inriktade mot pentosjäsnings, som kommer från grundläggande forskning och utveckling.
- Högskolan i Borås.
- C5 Ligno Technologies i Lund AB (C5LT) är ett nystartat företag, som även de arbetar med utveckling av pentosjäsnande organismer.

Som mer betydelsefulla genombrott i processutvecklingen kan nämnas framgången med pentosjäsnande jäst, såväl uppodling som jäsning och den teknik som utvecklats i anslutning till fed-batch-förfarandet. Tack vare den teknikutveckling som genomförts lyckas man idag att jäsa till etanolhalter på 4 procent eller högre i Etanolpiloten.

Sammantaget har Etanolprogrammet identifierat de (enzymatiska) processalternativ som bedöms intressanta. De har bearbetats i sina kritiska moment och tekniskt tillfredsställande lösningar för dessa har tagits fram. Detta har manifesterats genom att SEKAB i slutet av programmet kunnat projektera en fullskaleanläggning.



95



E10



E85



Kostnadsberäkningar för cellulosabaserad etanol i Sverige

Vad kostar det? är en återkommande fråga i utvecklingssammanhang. Ett rättvisande svar på den frågan får man först, när kommersiell produktion pågått under flera år och driftserfarenheterna lett till högre effektivitet. I det utvecklingsskede där cellulosabaserad etanol nu befinner sig kan bara mer eller mindre översiktliga bedömningar göras.

På nästa uppslag i Tabell 1 finns en sådan beräkning. Det är viktigt att framhålla att denna beräkning bortser från ett flertal faktorer, som påverkar investerings- och produktionskostnad och som är av avgörande betydelse för företag, som överväger att investera i cellulosabaserad etanolproduktion.

Exempel på sådana faktorer är:

- Vilka synergieffekter kan bidra till en effektivare produktion jämfört med en anläggning som bara tillverkar cellulosabaserad etanol (beräkningsfallet)? Det kan handla om lägre investeringskostnader genom samutnyttjande av redan befintlig utrustning, råvaruhantering, miljöskydd, kraft- och värmeförsörjning och lokaler.
- Var ska anläggningen byggas? Hur ser infrastrukturen ut? In- och utförsel av råvara och produkt.
- Hur stor ska etanolprocessens kapacitet vara?
- Vilken framtida produktivitet och effektivitet kan man förvänta sig?
- Anläggningens lokalisering relativt tillgång och kostnad för råvara?

Produktionskostnaden påverkas naturligtvis av råvarupriser med mera. Detta behandlas på nästa uppslag.

Exemplet cellulosabaserad etanol 2012

Ett beräkningsfall som baseras på resultat som uppnåtts inom programmet, ger följande kostnadsbild:

Beroende på råvarans sammansättning har man med enbart hexosjäsning utvunnit 230 liter etanol ur 1 ton TS lignocellulosa (gran). Omvänt innebär det 4,3 kg TS råvara per liter etanol. För 4,3 kg/liter, med råvarukostnaden 16 öre/kWh, motsvarar det en råvarukostnad om 3,5 kr/liter etanol.

Investeringarna för anläggningar som producerar 50–100 000 m³/år har beräknats till 20–30 kr/årsliter etanol vilket med 10 procent annuitet ger en kapitalkostnad om 2–3 kr/liter etanol. Vi räknar här med 2,5 kr/liter.

Bland de rörliga kostnaderna dominerar enzymkostnaden som med en dosering av 5 gram/kg TS råvara och ett ansatt pris om 100 kr/kg enzym ger 2,15 kr/liter etanol. Övriga rörliga kostnader för insatskemikalier och löner har beräknats till cirka 0,5 kr/liter etanol.

Med en elförbrukning om 1 kWh/liter etanol och ett elpris om 50 öre/kWh erhålls motsvarande kostnad till 0,5 kr/liter etanol.

Ångförbrukningen i processen styrs av förbehandlingen av råvaran (före den enzymatiska hydrolysen) samt avdrivningen/destillationen och har beräknats till 8–10 kg ånga/liter etanol. 8 kg ånga kräver drygt 5 kWh bränsle vilket hämtas ur den ligninhaltiga restprodukten. 5 kWh motsvarar 1 kg TS råvara och kostnaden ligger alltså i råvarukostnaden.

I detta beräkningsfall tas endast hänsyn till jäsning av hexoserna. Det innebär att pentoser, med mera återfinns i dranken efter avdrivningen. Med en råvara som innehåller 45 procent cellulosa, 25 procent hemicellulosa och 25 procent lignin blir pentosmängden i storleksordning 0,5 kg/liter etanol och ligninet drygt 1 kg/liter etanol.

Övrigt material i dranken är extraktivämnena och oorganiska ämnen ur råvaran, syror från hemicellulosa och sidoprodukter ur jäsningsen.

Dranken kan i sin helhet indunstas och användas som bränsle eller omsättas till biogas via en anaerob rötning. I båda fallen åtgår en viss mängd energi för upparbetningen men netto bör cirka 3,5 kWh/liter etanol kunna erhållas i en energibärare (efter avdrag av det bränsle som krävs för ånggenereringen).

Med samma energivärde som råvaran har, innebär det en intäkt om 0,55 kr/liter etanol.

Ovanstående beräkningsfall sammanfattas i Tabell 1 nedan.

Tabell 1. Sammanställning av vissa kostnader för Etanol ur Lignocellulosa – beräkningsfall (ej prognos). De ansatta siffrorna beskrivs närmare i texten.

Kostnadsslag	å pris	Kostnad/liter etanol (kr)
Träråvara, 4,3 kg TS/liter etanol	16 öre/kWh	3,5
Kapitalkostnad, investering = 25 kr/årsliter etanol	10 % annuitet	2,5
Enzymer	100 kr/kg	2,15
Löner och insatskemikalier	Ansatt kostnad	0,5
El, 1 kWh/liter etanol	50 öre/kWh	0,5
Ånga, 8 kg/liter etanol	Räknas av från bränslebiprodukt	–
Intäkt bränslebiprodukt	16 öre/kWh	–0,55
Summa ovanstående kostnader		8,6

Sammantaget indikerar denna grova kostnadsbild en produktionskostnad om närmare 9 kr/liter etanol. Detta är högre än priset på första generationens etanol ur spannmål idag, vilket är förväntat. Dagens pris på första generationens etanol är cirka 5–6 kr/liter, starkt beroende av valutakurserna och spannmålspriserna. Stärkelsen i spannmål är lättnedbrytbar, vilket ger en snabb hydrolys och de aktuella enzymerna, amylaser, är betydligt billigare än de enzymblandningar som krävs för att bryta ned den komplexa lignocellulosens olika komponenter.

De tyngsta posterna är råvara, kapital och enzymer, där de två senare kan påverkas av teknikutvecklingen. Råvarupriset kan möjligen också påverkas genom att teknik för billigare sådan utvecklas.



Variationer i beräkningsfallet – för att belysa osäkerheterna i kostnadsbedömningar

Råvarukostnaden påverkas förutom av råvarupriset även av utbytet av etanol. Beräkningsfallet utgår från ett 70 procentigt utbyte av etanol (av det teoretiskt uppnåbara), motsvarande cirka 80 procent hydrolysverkningsgrad och 90 procent jäsningsverkningsgrad med råvaran gran. I lövved liksom halm, bagass och andra typer av lignocellulosa skiftar såväl cellulosahalten som halten och sammansättningen av hemicellulosan. Mängden kolhydrater uppbyggda av sex-kols-socker varierar en hel del mellan olika råvaror varför etanolutbytet påverkas om endast dessa hexoser jäsas. Inom programmet har emellertid även pentosjäsningen framgångsrikt demonstrerats vilket medför att även för de övriga råvarorna kan etanolutbytet beräknas till samma storleksordning.

I områden där halm, bagass, med mera inte prissätts enligt energipris gäller insamlings- och transportkostnader som pris för råvaran vilket kan vara lägre än 16 öre/kWh. För svensk flis ligger dock priserna snarare omkring 20 öre/kWh. Om prisintervallet sätts till 15–25 öre/kWh blir råvarukostnaden cirka 3,2–5,4 kr/liter etanol. Värdet av bränslebiprodukten blir 50–90 öre/liter etanol. I relation till beräkningsfallet innebär det –25 öre/liter till +1 kr/liter etanol.

I inledningen till detta avsnitt redovisades ett antal övergripande faktorer som har principiell betydelse vid beslut om investering i en tillverkning av etanol ur lignocellulosa. Till detta kan läggas att osäkerheten i investeringsbedömningar i detta skede torde vara –30 procent till +50 procent.

I relation till beräkningsfallets kapitalkostnad motsvarar det –0,75 till +1,25 kr/liter etanol.

Bedömningar av de framtida enzymkostnaderna varierar kraftigt. Tidigare har enzymföretagen angivit realistiska kostnader ned till 0,75 kr/liter etanol. År 2010 annonserade Novozymes offentligt en

kommersiell produkt som i en etanolprocess baserad på halm skulle medföra en enzymkostnad om 0,5 USD/gallon etanol, (0,9 kr/liter). I resultaten från Etanolprogrammet ligger en enzymdosering som uppskattningsvis skulle kosta över 2 kr/liter etanol (2,15 kr?). Med den lägre kostnaden skulle beräkningsfallets kostnad minska med 1,4 kr/liter etanol.

Spridningen i värdena för dessa tre tyngre poster – råvara inklusive bränslebiprodukt, kapital och enzymer – kan därmed ändra beräkningen av produktionskostnaden med något värde i intervallet, –1,8 kr/liter till +2,2 kr/liter etanol. Detta illustrerar osäkerheten i alla försök att för närvarande bedöma framtida kostnader för Etanol ur Lignocellulosa.

Inlagda i Tabell 1 ger variationerna ett intervall enligt Tabell 2.

Tabell 2. Effekter av spridning i ingångsvärden för råvarukostnader, kapital och enzymkostnader på beräkningsfallet. De ansatta siffrorna beskrivs närmare i texten.

Kostnadsslag	Prisintervall	Kostnad/liter etanol (kr)
Träråvara, 4,3 kg TS/liter etanol	15–25 öre/kWh	3,2–5,4
Kapitalkostnad, investering = 17,5–37,5 kr/årsliter etanol	10 % annuitet	1,75–3,75
Enzymer	100 kr/kg	1,4–2,15
Löner och insatskemikalier	Ansatt kostnad	0,5
El, 1 kWh/liter etanol	50 öre/kWh	0,5
Ånga, 8 kg/liter etanol	Räknas av från bränslebiprodukt	–
Intäkt bränslebiprodukt	15–25 öre/kWh	–0,5–0,9
Summa ovanstående kostnader		6,85–11,4

Här är det viktigt att framhålla att den första generationens etanol är en kommersiell produkt som tillverkats under lång tid, där drift-erfarenheter och processutveckling lett till en effektivare produktion (lärkurva). När det gäller andra generationens lignocellulosabaserade etanol, handlar det i dagsläget om teoretiska beräkningar. Om sådan produktion etableras i kommersiell skala, kan man förvänta sig en motsvarande lärkurva, som leder till minskande produktionskostnader.

Beräkningsresultaten är i paritet med det danska företaget Inbicons redovisade produktionskostnad för etanol ur halm. Däremot är de väsentligt högre än vad som hävdats av bland annat POET i Nordamerika. I de senare kalkylerna är råvarukostnaden väsentligt lägre, kapitalkostnaderna något lägre och de rörliga kostnaderna signifikant lägre. Allt beroende av de annorlunda förutsättningarna i Nordamerika.

Avslutningsvis är det viktigt att skilja på pris och kostnad. Här har jämförelsen gjorts mellan en beräknad kostnad för andra generationens etanol och priset i Europa för första generationens etanol. Priset innehåller förutom ett antal ytterligare, ”mindre” kostnader också den vinst som företagen (i bästa fall) kan tillägna sig.



Vad händer i omvärlden med utveckling av etanol från lignocellulosa?

Efter 2000 och framförallt sedan 2005 har intresset för etanol ur lignocellulosa ökat starkt i omvärlden. I USA har ett stort antal projekt startats och drivits fram till pilotanläggningar – i en del fall förverkligade, i andra fall lagda i malpåse – förmodligen beroende på bristande lönsamhet. I ett par omgångar har federalt stöd ställts till förfogande för demonstrationsanläggningar och 5–10 projekt har blivit beviljade sådant.

Det federala stödet är emellertid begränsat till en del av investeringen och flera av de tilltänkta projekten har inte genomförts. I dagsläget (2012) förefaller i huvudsak fyra projekt fortgå:

POET har tillsammans med Royal DSM från Nederländerna bildat ett Joint venture (50/50), och de satsar 250 miljoner USD för att bygga en anläggning i Emmetsburg, Iowa, med produktionsstart 2013. Den statliga lånegaranti som POET tidigare beviljats (105 MUSD) kommer inte att behöva tas i anspråk. De övriga tre projekten avser Abengoa, Lignol och Coskata.

POET-DSMs och Abengoa:s projekt avser storskalig tillverkning av etanol ur halm baserad på enzymteknik medan Lignols projekt innehåller en separering av lignin och cellulosa via lösningsmedelsteknik och en vidareframställning av etanol ur cellulosan med enzymteknik. Coskata genomför en förgasning av råvaran och en biokemisk syntes av gasen till etanol.

I Brasilien och Kina bygger man sedan några år upp forskningscentra och planerar pilot- och demonstrationsanläggningar. I Indien

planeras minst en demonstrationsanläggning av ett privat företag. I flertalet av dessa fall utgör restprodukter från jordbruket den tilltänkta råvaran. Vanligen nämns bagass, kolvar/stammar från majsodling och rishalm men även vetealm som råvara.

I Europa har Inbicon i Danmark (huvudägare DONG) byggt en demonstrationsanläggning med kapaciteten 5 000 m³ etanol/år ur halm. Den framställda etanolen har levererats till Statoil. Planerna är att anläggningen nu ska användas för annan försöksverksamhet avseende bioenergi.

I Italien bygger Chemtex en fullstor produktionsanläggning baserad på träråvara och/eller restprodukter från jordbruket.

Intressant i samtliga dessa fall är att det är kommersiella företag, som driver verksamheten. Företagen innefattar flera befintliga etanol-tillverkare (socker- och stärkelsebaserade etanol) – ett energiföretag och ett par engineering- eller byggföretag. Kemiindustrin är fortfarande sparsamt företrädd och oljeindustrin förefaller mestadels vara delaktig för att hålla sig à jour med utvecklingen. Skogsindustrin noterar intresse i något fall (Lignol) och jordbrukets engagemang tycks vara begränsat till råvarusidan. Överlag förefaller dock det politiska intresset vara starkare, medan de kommersiella krafterna är mer försiktiga.

Som framgått tidigare är etanol vid sidan av RME och delvis biogas de enda förnybara drivmedlen som nått en etablerad position. Drivmedelsetanol är idag en kommersiell verklighet åtminstone i låginblandning. Ren etanol, E85, ED95 och liknande, är vanligt i Brasilien. Utanför Brasilien har Sverige en tätposition i sådan användning. I USA och övriga EU förekommer det närmast lokalt eller som försöksverksamhet.

Förklaringen till det ringa företagsintresset kan vara att tillgången på första generationens etanol hittills inte varit begränsad. Läget kan dock komma att ändras relativt snabbt inom EU, då flera länder avser att uppfylla EUs 2020-mål för drivmedel genom etanolimport. De bedömda kostnaderna för att producera andra generationens etanol är för närvarande affärsmässigt besvärliga.



E-7401
Ytkondensor1

Lignocellulosabaserad etanol globalt på kort och lång sikt

Bortsett från POET:s publicerade uppgifter om bedömda tillverkningskostnader för etanol ur majshalm, med mera är bilden för etanol ur lignocellulosa tämligen överensstämmande. De uppnådda resultaten från Etanolprogrammet ligger väl i linje med andra uppgifter och det kan konstateras att tekniskt ligger den svenska utvecklingen internationellt sett i framåndan.

Trots att samstämmiga bedömningar säger att etanol ur lignocellulosa i dagsläget har högre tillverkningskostnader än den första generationens etanol, fortsätter de stora insatserna inom området. Man kan fråga sig varför och svaret ligger naturligtvis i bedömningar av den framtida situationen.

Den globala oljeprisutvecklingen sedan 1990 är välkänd. Trots några tvära kast är trenden otvetydig: Oljan blir allt dyrare. Denna utveckling kan på sikt gynna tillverkningen av förnybara drivmedel, som baseras på mer komplexa råvaror och processer. Samtidigt stiger även råvarukostnaden i dessa fall.

Å andra sidan kan ett ökande oljepris i första hand förväntas leda till minskad efterfrågan inom användningsområden där betalningsviljan är lägre än för transporter. Det utesluter emellertid inte en påverkan på transportsektorn.

De oljeexporterande länderna blir rikare och förväntas öka sin egen konsumtion. Oljeexporten nådde toppen 48 Mb/d (miljoner fat per dag) år 2005 och har därefter minskat till 44 Mb/d (2010). Man ser även en ökande konsumtion av olja i Kina och Indien. Om de senaste fem årens trend fortsätter kommer tillförseln av olja till

oljeimporterande länder inom OECD att minska markant fram till 2020 är bedömningen.

Högre pris på oljan kan medföra större efterfrågan på alternativa drivmedel – förutsatt att deras produktionskostnader inte följer oljeprisutvecklingen. Under alla förhållanden torde oljepriset ha en direkt effekt på etanolpriset. I det korta perspektivet – så länge som den första generationens etanol inte är kapacitetsbegränsad – styrs emellertid det möjliga priset på etanol ur lignocellulosa av priset på den första generationens etanol. Politiska beslut som påverkar värderingarna av första och andra generationens etanol kan dock ändra detta förhållande.

Totalt omfattar idag tillverkningen av bränsleetanol storleksordningen 80–90 miljoner m³ per år. USA är nu (sedan 2007–2008) den



störste producenten liksom exportören av bränsleetanol. Brasiliens sockerbaserade etanolproduktion har minskat, landets export har i dagsläget (2012) i det närmaste upphört.

På längre sikt finns ett stort antal faktorer som påverkar utvecklingen av drivmedel och – mer specifikt – utvecklingen av förnybara sådana samt – i synnerhet – den andra generationens drivmedel. Nedan antyds i korthet några sådana. En betydande svårighet är att värderingen av ett problems betydelse skiftar. En stor politisk utmaning är att skapa konsensus i beskrivningen av problem, att formulera åtgärder, att göra nationella åtaganden och att uppfylla dessa.

Drivmedelssituation

Andelen dieselfordon i fordonsparken ökar i flera länder. I Sverige har försäljningen av dieselmotorer ökat kraftigt på senare tid, vilket lett till en kraftig minskning i nybilsförsäljningen av bensinfordon under de senaste tio åren och därmed minskad efterfrågan på bensin. Detta har medfört en minskning av etanol i låginblandning. Försäljningskurvorna korsade varandra 2007 och sedan dess dominerar försäljningen av dieselmotorer. För ”etanolbilar” (som drivs med E85) är trenden den motsatta och försäljningen har gått ner kraftigt, till följd av ändrade skatteregler (förmånsbeskattning).

Under många år har Europa, med hög andel dieselfordon, exporterat sitt bensinöverskott till USA och fått dieselolja tillbaka. Trenden mot ökande antal dieselfordon ses nu även i USA, vilket medför att den europeiska exporten av bensin till och importen av diesel från USA successivt försvåras.

I befintliga raffinaderier är situationen för bensin relativt diesel komplex eftersom det bland annat handlar om vätebalansen och produktion av väte för till exempel avsvavling. Oljebolag har börjat intressera sig för skogsbaserade komponenter som råvara till sina raffinaderier. Det svenska företaget SunPine producerar tallolje-



metylester i en nyligen invigd anläggning i Piteå. Produkten transporteras till Göteborg och utnyttjas som råvara i Preems dieselbränsleproduktion.

Transportutvecklingen

Transporterna, mätt som antalet fordon och drivmedelsförbrukning har vuxit under decennier och särskilt kraftigt de senaste åren. Hur kommer utvecklingen inom transportområdet se ut framöver? Prognoser har under lång tid pekat mot en fortsatt ökning, men frågan är uppenbarligen svårbedömd. Det finns flera faktorer som kan spela in:

- Peak oil. Vilka konsekvenser kommer vikande oljetillgångar att leda till, när efterfrågekurvan möter och överstiger det möjliga uttaget. Oljan är inte bara en begränsad resurs utan även en storpolitisk maktfaktor. Hur påverkas olika marknader av tillgång och pris?
- Befolkningstillväxten avklingar. I tidigare prognoser bedömdes en fördubbling ske vart trettionde år, vilket pekade på att världens befolkning skulle nå 12 miljarder på 2020-talet. Färskare prognoser pekar mot att folkmängden kommer att stabiliseras och den bedöms uppgå till drygt 9 miljarder år 2050. Enligt FNs befolkningsprognoser är det bara Afrika som kommer att ha en fortsatt befolkningsökning efter 2050.
- Klimatpåverkan visar sig på flera sätt: förhöjning av havsytans nivå till följd av polar issmältning, förändrade nederbördsförhållanden (mer torka, mer skyfall), vattentillgång, tillgänglig jordbruksmark, skördeutfall, konkurrens om skogsmark och jordbruksmark, och konkurrens om de grödor som odlas på dessa för olika ändamål.

- Hur kommer IT-utvecklingen att påverka resandet?
- ”Peak car”, som är ett förhållandevis nytt begrepp och syftar på biltillgång och bilanvändning. Den fråga som ställs är om privat bilåkande har passerat toppen och är på nedgång. Det finns studier som pekar på att bilägandet går ner i USA liksom bilresandet per capita. Japan nådde sin biltopp på 1990-talet. 2004 noteras för väst som helhet början av en trend mot minskat bilresande. Förutom USA nämns flera europeiska länder. För Kina och Indien är däremot ingen topp i sikte.

Klimatet

Det råder knappast någon tvekan om att befolkningen i ett stort antal länder uppfattar klimatfrågan som det största problemet på global nivå. Allt oftare nås vi av rapporter om den pågående klimatförändringen och allt oftare framhåller forskare att läget är allvarligare än de tidigare känt till. Det ställs krav på världens politiker att agera skyndsamt och kraftfullt. Resultaten från de tre senaste klimatkonferenserna i Köpenhamn 2009, Cancun 2010, Durban 2011 har inte infriat de förhoppningar som har uttalats från många håll.

Osäkerheter i världsekonomin

Den ekonomiska utvecklingen har varit och är snabb i BRIC-länderna, det vill säga Brasilien, Ryssland, Indien och Kina. Kina har vuxit till den näst största ekonomin i världen, efter USA. BRIC-gruppen har nu utökats med ett femte land och kallas nu BRICS, där S står för Sydafrika.

USA har ett stort handelsbalansunderskott och det finns i dagsläget ingen politisk samsyn på hur landets ekonomiska problem ska lösas.

Europa präglas av det osäkra ekonomiska läget i flera EU-länder, som har Euro som valuta, och stabilisering av Euron är en högt prioriterad fråga inom EU.

Med ekonomiska problem inom några av de största ekonomierna i världen finns risken att insatser på klimatområdet och andra viktiga frågor blir eftersatta. Å andra sidan ser vissa länder och aktörer långsiktiga affärsmöjligheter i att utveckla förnybar energi- och miljöteknik, som kan säljas på en globalt växande marknad. Vindkraft och solenergi (el) är exempel på detta.



Fortsatt svensk etanolutveckling

Under våren 2011 pågick planläggning för ett nytt etanolprogram. Beslut fattades den 9 juni att starta det fyraåriga programmet Etanolprocesser, som ska löpa fram till 2015-06-30.

130 miljoner kronor har avsatts för hela programperioden. Den totala ekonomiska omfattningen av programmet torde bli större, eftersom aktörer utöver svenska staten förväntas medverka och bidra till finansieringen av olika projekt. Under den föregående programperioden (inklusive några projekt under åren 2005–2006) bidrog staten, till största delen genom anslag från Energimyndigheten, med 162 miljoner kronor vid en totalomsättning på 202 miljoner.

Det första etanolprogrammet startade 1993 och det nya programmet är det fjärde i ordningen. Under denna tid kan man se en betydande utveckling. Kunskaperna har både fördjupats och breddats, viktiga erfarenheter har vunnits genom uppskalning till pilotskala och sådana driftresultat har uppvisats och säkerställts, som krävs för fullskaleanläggningar baserade på enzymatiska etanolprocesser.

Hittills har arbetet varit inriktat mot själva processlinjen för etanol. Kostnaderna för att bygga en cellulosabaserad etanolfabrik är avsevärda, man talar om investeringar i miljardklassen (kronor). I flera år har därför tanken funnits att en sådan processlinje bör integreras och samlokaliseras med annan befintlig verksamhet, för att dra nytta av synergieffekter, som rör infrastruktur såsom råvaruhantering, energiförsörjning och miljöåtgärder, vilket skulle bidra till lägre kapitalkostnader för den nya tillkommande delen. Man kan tänka sig en mångfald utformningar av sådana kombinerade anläggningar, som kan omfatta olika råvaror och produkter. I det nya etanolprogrammet breddas därför perspektivet mot att belysa system-

aspekter, till exempel vad gäller effektivt utnyttjande av råvara, enzymer, jäst och energi liksom processkoncept som omfattar flera produkter.

Råvaruaspekter är viktiga, eftersom det påverkar val av process-teknik. Barrträd dominerar den svenska skogen, varför utveckling av teknik för cellulosabaserad etanolproduktion dominerats av sådan råvara. Många länder i världen med intresse för etanol som drivmedel saknar skogstillgångar av betydelse, men har tillgång till cellulosainnehållande jordbruksrester, som sockerrörslbagass, majscolv-rester, gräs och halm. Att utveckla etanolteknik för sådana råvaror, som ofta innehåller betydande mängder pentoser, har därför ett kommersiellt intresse som kan bidra till intäkter via tekniklicensiering liksom att höja tillförsäkerheten för fordonsbränslen i de länder som förvärvar sådan teknik.

Det gjordes en första utlysning för projektansökningar direkt efter programstarten i juni 2011. Det kom in 23 ansökningar som sammanlagt sökte 205 miljoner kronor i stöd. Ungefär hälften av dessa har beviljats stöd. Det planeras för en andra utlysning under programperioden.





Bilaga

Programmet Etanol från Cellulosa

2007-01-01–2011-04-30

I sammanställning ingår även projekt från 2006, som helt eller delvis har finansierats av programmet. Beloppen avser tusental kronor.

Projekt-nummer	Projekt-ledare	Projekttitel	Projekt-kostnad	Beviljat stöd
Förbehandling				
P31805-1	G Zacchi	Utveckling av förbehandling av lignocellulosa-haltiga jordbruksråvaror och restmaterial för produktion av etanol.	1 809	1 562
P30551-1	F Lundqvist	Förbehandling av biomassa för etanoltillverkning i pilotanläggning i Örnsköldsvik	525	466
Delsumma			2 334	2 028
Förutsättningar för enzymatisk hydrolys				
P32673-1	G Lidén	Karakterisering av materialegenskaper för ökad enzymtillgänglighet efter förbehandling av biomassa	2 000	2 000
Delsumma			2 000	2 000

TABELLEN FORTSÄTTER PÅ FÖLJANDE SIDOR.

Projekt-nummer	Projekt-ledare	Projekttitel	Projekt-kostnad	Beviljat stöd
Samtidig hydrolys och jäsning (SSF)				
P22595-1	G Zacchi	Utveckling av samtidig hydrolys och jäsning (SSF) av lignocellulosa för produktion av etanol	4 042	3 616
P22595-2	G Zacchi	Utveckling av samtidig hydrolys och jäsning (SSF) av lignocellulosa för produktion av etanol	2 348	2 087
P30800-1	G Zacchi	Utveckling av process-teknik för enzymproduktion kombinerat med SSF av lignocellulosa för produktion av etanol	870	756
Delsumma			7 260	6 459
Fermentationsteknik				
P22571-1	G Lidén	Fermentationsteknik för etanolframställning ur lignocellulosa i labbskala, PDU-skala och pilotskala	5 295	5 295
P22571-2	G Lidén	Fermentationsteknik för etanolframställning ur lignocellulosa i lab-skala, PDU-skala och pilot-skala	3 636	3 636
P13872-2	M Taherzadeh	Etanolframställning av cellulosamaterial med inkapslad och flockulerad jäst	3 146	3146
P31796-1	M Taherzadeh	Etanolframställning av cellulosamaterial med zygomyceter	1 350	1296
Delsumma			13 427	13 373

Projekt-nummer	Projekt-ledare	Projekttitel	Projekt-kostnad	Beviljat stöd
Utveckling av pentosjäsande jäststammar				
P20143-3	B Hahn-Hägerdal	Industriella pentosjäsande stammar	9 641	9 641
P20143-4	B Hahn-Hägerdal	Industriella pentosjäsande stammar	6 040	6 040
P30578-1	M F Gorwa-Grauslund	Utveckling av syratolerant pentosjäsande jäst	3 928	3 928
Delsumma			19 609	19 609
Pentosjäsning				
P30805	L Welin	Industriell verifiering av pentosjäsande jäst	7 019	3 505
Delsumma			7 019	3 505
Infektionskontroll				
P30188-1	L Gustafsson	Optimering av process-förhållanden för utveckling av industriell etanolproduktion baserad på lignocellulosa	2 211	2 211
P30188-2	C Larsson	Inhibering av bakterie-tillväxt och stimulering av jäst vid industriell etanol-produktion	1 795	1 795
Delsumma			4 006	4 006

Projekt-nummer	Projekt-ledare	Projekttitel	Projekt-kostnad	Beviljat stöd
Avvattningsstudier				
P30558-1	H Theliander, M Sedin	Filtrering av lignin från lignocellulossabaserad etanoltillverkning	4 145	3 890
Delsumma			4 145	3 890
Processkombinationer				
P30478-1	P Axegård	Etanol ur svensk vedråvara via förenklad alkalisk kokprocess	725	725
P30478-2	P Axegård	Etanol ur lignocellulosa via alkalisk förbehandling	2 580	1540
P30478-3	N Berglin	Verifiering av etanol-processkoncept med alkalisk fraktionering och enzymatisk hydrolys i industriell miljö	3 596	1438
P32822-1	A Elam	A process combination for the production of biofuels from wood	625	437
P30548-1	G Zacchi	Processutveckling av integrerad cellulosa- och stärkebaserad etanolproduktion	3 845	3164
Delsumma			11 371	7 304

Projekt-nummer	Projekt-ledare	Projekttitel	Projekt-kostnad	Beviljat stöd
Processutveckling i PDU:n				
P22572-1	G Zacchi	Processutveckling av etanolproduktion från lignocellulosa i processutvecklingsanläggningen (PDU)	8 800	8 229
P22572-2	G Zacchi	Processutveckling av etanolproduktion från lignocellulosa i processutvecklingsanläggningen (PDU)	6 506	6 054
Delsumma			15 306	14 283
Processutveckling i Etanolpiloten				
P20247-3	G Fransson	Utveckling av etanolprocesser i Örensköldsvik	53 750	40 500
P20247-4	G Fransson	Utveckling av etanolprocesser i Örensköldsvik	46 905	33 800
P33135-1	S Wännström	Utveckling av process för cellulosäetanol integrerad med biogas och fast biobränsle	15 253	11 250
Delsumma			115 908	85 550
Totalsumma			202 385	162 007







Ett hållbart energisystem gynnar samhället

Energimyndigheten arbetar för ett hållbart energisystem, som förenar ekologisk hållbarhet, konkurrenskraft och försörjningstrygghet.

Vi utvecklar och förmedlar kunskap om effektivare energianvändning och andra energifrågor till hushåll, företag och myndigheter.

Förnybara energikällor får utvecklingsstöd, liksom smarta elnät och framtidens fordon och bränslen. Svenskt näringsliv får möjligheter till tillväxt genom att förverkliga sina innovationer och nya affärsidéer.

Vi deltar i internationella samarbeten för att nå klimatmålen, och hanterar olika styrmedel som elcertifikatsystemet och handeln med utsläppsrätter. Vi tar dessutom fram nationella analyser och prognoser, samt Sveriges officiella statistik på energiområdet.



Energimyndigheten, Box 310, 631 04 Eskilstuna

Telefon 016-544 20 00. Fax 016-544 20 99

E-post registrator@energimyndigheten.se

www.energimyndigheten.se