

# **MER RAFFINERADE PRODUKTER**

**Vedbaserade bioraffinaderier  
höjer kilovärdet på trädet**



# **Vedbaserade Bioraffinaderier**

**En fördjupningsstudie om  
Vedbaserade Bioraffinaderier inom projektet  
Framsyn och Tillväxtområden  
i svensk exportindustri**



# Förord

Sverige är ett exportberoende land som framgångsrikt skapat tillväxt, jobb och välbefinnande genom att företag har tagit fram lösningar som varit internationellt konkurrenskraftiga. Det är ingenting som kan tas för givet. Innovationer och nya marknader måste ständigt skapas, i en allt starkare global konkurrens. En stor del av näringslivet i Sverige är idag direkt eller indirekt en del av globala marknader. Företagens framtida konkurrenskraft och positioner på dessa marknader kommer att vara avgörande för deras lönsamhet och därmed också för ekonomisk tillväxt och jobbtillväxt i Sverige.

Projektet *Framsyn och tillväxtområden i svensk exportindustri* syftar till att identifiera framväxande globala tillväxtområden – EBOs (Emerging Business Opportunities) – och förutsättningar för svenska exportföretag inom ramen för dessa tillväxtområden. EBOs karaktäriseras av att de är under utveckling, vilket innebär att det ännu inte finns en definierad marknad med väletablerade aktörer eller aktörsroller. Istället karaktäriseras de av stor osäkerhet och därför betydande öppenhet, där nya aktörer och konstellationer växer fram, vilket ofta leder till nya värdesystem där branscher konvergerar och formar nya mönster för värdeskapande och nya aktörsnätverk.

Projektet drivs av Blue Institute, en tankesmedja grundad av Mercuri Urval, med fokus på strategi- och tillväxtfrågor. Mercuri Urval är ett svenskt konsultföretag med verksamhet i ett trettiotal länder, som arbetar för att stärka sina kunders konkurrenskraft genom att identifiera, utveckla och tillföra rätt kompetens och förmåga som gör det möjligt att bygga upp organisatorisk och strategisk styrka.

Analysarbetet och rapporterna inom ramen för *Framsyn och tillväxtområden i svensk exportindustri* är en del av den verksamhet som Blue Institute bedriver för att skapa och sprida kunskap om marknadsutveckling och de strategiska utmaningar som näringslivet står inför. Genom att arbeta utifrån ett industriellt nätverk, med en industriell tidshorisont och i nära samarbete med de företag som är involverade i tillväxtområdena har den kunskapen kontinuerligt validerats och spridits. Det här underlaget bör därigenom hjälpa beslutsfattare att driva strategier som bidrar till olika branschers förmåga att transformera sig i enlighet med konkurrensutvecklingen – för att säkra en långsiktig överlevnad och tillväxt. Programmet drivs med bidrag från VINNOVA.

Förståelse för svenskt näringslivs möjligheter och hinder inom framväxande globala tillväxtområden är av fundamental betydelse för svensk forsknings-, innovations- och tillväxtpolitik. Identifiering och karakterisering av viktiga drivkrafter och motkrafter för värdetillväxt, exporttillväxt och jobbtillväxt inom ramen för framtida tillväxtområden är därför utgångspunkten för VINNOVAs satsningar för att bidra till hållbar till-

växt genom behovsmotiverad forskning och utveckling av effektiva innovationssystem. Därför är en kvalificerad framsynsverksamhet en viktig del i VINNOVAs strategiutveckling.

VINNOVAs framsynsverksamhet fokuserar på framväxande globala tillväxtområden och förutsättningarna för att med offentliga satsningar på forskning, utveckling och innovation bidra till hållbar tillväxt i Sverige inom ramen för dessa. Framsynsverksamheten syftar dessutom till att identifiera andra typer av policyinsatser än investeringar i forskning, utveckling och innovation som är viktiga för att möjliggöra ekonomisk tillväxt och jobbtillväxt inom framväxande tillväxtområden. Därmed bör den kunna utgöra ett viktigt underlag för svensk närings- och tillväxtpolitik.

I de fördjupningsstudier som presenteras i den här skriftserien har avsikten varit att ge en helhetsbild såväl vad gäller områdets plats i ett globalt marknadssystem, vilka drivkrafter och motkrafter som finns, vilka aktörer som kan ta en position, samt de tekniska möjligheterna och statusen på forskning och utveckling.

Föreliggande fördjupningsstudie om vedbaserade bioraffinaderier är en del av en kontinuerligt växande urvalsram bestående av utvecklingsområden som identifierats av näringslivet själva, där företagsledningarna engagerats och identifierat utvecklingsprojekt som är kommersiellt gångbara inom 2 till 5 år. Ett fyrtiotal feasibility studier har genomförts inom urvalsramen. Fördjupningsstudien om vedbaserade bioraffinaderier har utförts av Örjan Larsson och Benjamin Ståhl, Blue Institute. Tidsramen och karaktären i allmänhet av EBOs innebär att rapporten inte gör anspråk på att vara en definitiv beskrivning eller ha svar på alla frågor som väcks. Det är en rapport som beskriver och kommenterar den framväxande marknaden, och syftar till att skapa debatt och underlätta diskussion.

*Göran Liljegren*

Executive Chairman, Blue Institute

*Göran Marklund*

tf Vice Generaldirektör, VINNOVA

# Innehåll

Sammanfattning	7
Inledning	9
Vad är ett Bioraffinaderi?	11
Bioraffinaderiets processer	12
Bioraffinaderiets produkter	20
Marknad	24
Drivkrafter	24
Potential	25
Aktörer	30
Skogsindustrin i förändring	31
Den tekniska leverantörsindustrin	37
Andra aktörer (fordonsindustri, kemisk industri, textilindustri)	39
Råvarumarknaden	41
Offentliga utvecklingssatsningar	43
Sammanfattning och slutsatser	46
Referenser	47
Fördjupningsmaterial	48



## Sammanfattning

Vedbaserade bioraffinaderier har potential att höja förädlingsvärdet av träråvara genom att ta tillvara det som idag ses som restprodukter samt utveckla nya produkter i befintliga produktionsprocesser. Satt i sitt sammanhang av en global utveckling som lett till höga energipriser, miljömässiga överväganden och behovet av bränslen, kemikalier och material som ersättning för den icke förnybara oljan, är förädling av förnybara resurser en central process i samhällsekonomin.

Samtidigt finns det för den allt mer konkurrensutsatt massa- och pappersindustrin ett behov av att finna förnyelse, eftersom ny konkurrens inom befintliga produktområden från länder med bättre förutsättningar för hög produktivitet har skakat om och skakat ut inom branschen. Traditionella kompetenser och positioner inom nordisk skogsindustri håller snabbt på att föråldras. För den petrokemiska och kemiska industrin gäller det också att följa med i de gradvis förändrade förutsättningarna och säkra såväl nya typer av råvaruflöden som processteknik.

Det är ett komplicerat område, med många faktorer att ta hänsyn till och stora osäkerheter. Skogsindustrin i sig består av många olika intressen, där företagen är aktiva i olika delar av värdekedjan. Därtill kommer den petrokemiska, kemiska och finkemiska industrin och energibolagen. Vilka intressen som kan komma att leda utvecklingen mot en biomassebaserad energi-, material- och kemiindustri – där det sannolikt kommer att investeras åtskilliga miljarder kronor – är fortfarande en öppen fråga, men en process där olika delar av värdesystemet nu börjar söka sina positioner är klart skönjbar.

Vedbaserade bioraffinaderier möjliggör en andra generationens utveckling av skogsindustrin i Europa och Nordamerika, samtidigt som delvis nya aktörer ser till att fylla de nya tillväxtmarknadernas snabbt ökande behov av traditionella papper och förpackningsmaterial. Sverige har genom sin befintliga, avancerade, skogsindustri samt dess leverantörer av kemikalier, utrustning och forskning en tät position och därmed möjlighet att ta initiativ inom området. Det finns alltså en betydande marknadspotential som kan komma att vara av stor betydelse för Sveriges ekonomi – om den förverkligas. Det beror i sin tur på ett antal faktorer:

**Helhetsperspektivet** är centralt. Sett från råvarusidan och dess optimala utnyttjande, sett från marknaden och relationen till andra industrier som redan in-tecknat många av de segment som bioraffinaderiet siktar mot samt sett ur ett produktionstekniskt perspektiv, där ett utvecklat plattformstänkande kan vara en tänkbar modell för kraftsamlande utveckling.



**Kommersialiseringen** av teknisk utveckling behöver offentligt stöd under kritiska faser, med en möjlig tyngdpunktsförskjutning av rent forskningsstöd mot demonstratorer i industriell skala. Också behovet av visioner och entreprenörer inom den traditionella skogsindustrin är avgörande faktorer för framgång.

**Ambitioner och kraftsamling** genom kvantitativa mål för till exempel bränslen/kemikalier, men framförallt genom en uttryckt vision som svarar mot den politiska behovsbilden vad gäller till exempel miljö och sysselsättning. Det är en förutsättning för en ökad uppmärksamhet för såväl offentligt som privat riskkapital. Detta skulle kunna uppnås genom att samla de kraftfält som finns runt bioraffinaderier i Sverige.

# Inledning

”Bioraffinaderier” är benämningen på anläggningar och processer som förädlar biomassa. Forsknings- och utvecklingsarbetet med teknik för bioraffinaderier börjar göra genombrott och kommer steg för steg att bli tillgänglig för kommersiellt bruk. När affärsmöjligheterna öppnar sig för nya produkter på nya marknader finns anledning att reflektera kring risker och framgångsfaktorer. Tillverkningsprocesser i sig har inte något värde om man inte förstår drivkrafterna i en framväxande marknad och de affärsmodeller som krävs.

Dagens massabruk är redan bioraffinaderier i viss utsträckning – till exempel genom att producera el och värme för den egna processen samt för en marknad utanför massabruket. Förhoppningen är att mer utpräglade vedbaserade bioraffinaderier kommer att gå mycket längre i att optimera potentialen som finns i trädråvaran. Utvecklingen kan komma att leda till att nästan varje massabruk skulle kunna producera alltifrån fordonsbränslen till ingredienser för läkemedel – förutom pappersmassa.

Det är frågan om en bred och komplex teknisk värld och en lika bred och komplex marknad. Det innebär risker och fallgropar av många slag. För varje tänkbar kemisk produkt från ett bioraffinaderi finns en speciell marknad som grundligt måste förstås i termer av struktur, storlek, utvecklingspotential, marknadskanaler och distributionsvägar. Konkurrensen, konkurrerande och alternativa produkter, patent etc. måste också identifieras och bli värderade. Vad händer inom ett marknadssegment när kemikalier från en ny råvara introduceras, med priser, med konkurrens, med marknadsbalans om flera samtidigt (vilka i sådana fall) ger sig in i en ny marknad? Hur ser försörjningskedjan ut, eller hur bör den se ut för att vara effektiv, när vedämnen har separerats, hur och vem förädlar dem bäst till högre värden? Vilka andra konsekvenser finns att ta hänsyn till, som berör till exempel miljö eller miljöprovning? Dessa och andra frågor är viktiga att ställa – inte bara för företag, utan även för myndigheter och politiker, för att kunna agera. Den här rapporten syftar till att närma sig dessa frågor genom att beskriva den framväxande marknaden. Fokus ligger på områden som redan nått så långt i utvecklingen att ett kommersiellt genombrott ligger nära i tiden. De mer radikala och visionära utblickarna ges därför ett begränsat utrymme.

Rapporten inleder med att beskriva vad ett bioraffinaderi är, vilka processer och produkter som innefattas. Därefter diskuteras hur marknaden ser ut och hur den utvecklas. Eftersom det i stor utsträckning handlar om en marknad som ännu inte finns, så beskrivs den i termer av drivkrafter och intressenter, och som en potential snarare än en säker marknadsuppskattning. Slutligen görs en genomgång av de aktörer som påverkar

marknadens utveckling. Den här rapporten kan konstatera att det finns en stor potential, men att det finns vissa nyckelfrågor som kommer att vara avgörande för om, hur och hur snabbt den potentialen kan realiseras:

- 1 Hur kan ett helhetsperspektiv utvecklas som stödjer och påskyndar en kommersiell utveckling?
- 2 Kan processkunskapen som byggs upp vidareutvecklas i Sverige?
- 3 Kan en tydlig och offentlig ambition påskynda utvecklingen av bioraffinaderier?

## Vad är ett Bioraffinaderi?

Ett bioraffinaderi kan jämföras med ett oljeraffinaderi där råolja fraktioneras till många olika kemikalier genom destillationsprocesser. Biomassa i form av grödor eller ved från skogen kan också separeras till sina beståndsdelar och sedan vidareförädlas. Jämfört med olja är det en mer komplicerad process, vilket gör att merparten av det man i dag kallar bioraffinaderier i regel endast tar tillvara på enstaka produkter, till exempel etanol från sockerrör eller majs. Med en utvecklad teknik finns möjligheten att i samma processflöde och från samma råvara parallellt utvinna flera värdefulla komponenter. Man kan säga att processen går ut på att från *en blandning av värdefulla kemikalier utvinna en värdefull blandning av kemikalier*. Utmaningen är att göra det i kommersiellt hållbara processer.

Visionen för bioraffinaderier är att de ska förmå tillverka nya superstarka fibermaterial med hjälp av nanoteknik, ersätta olja för fordonsbränslen, finkemikalier, läkemedel, functional-foods, kolfiber, värme och elproduktion. Massafabriken är en utomordentlig bas för en sådan diversifierad och storskalig produktion.

I EU:s utvecklingsprogram för skogsindustrin, *Forest-based Sector Technology Platform* (FTP) och dess speciella ”Biorefinery Task Force” har man lagt fast följande definition av ett vedbaserat bioraffinaderi:

*Efficient use of the entire potential of raw materials and by-streams of the forest based industry towards a broad range of high added value products.*

**STFI-Packforsk**, ett ledande FoU företag inom skogsindustrin, har en något annorlunda formulering:

*Full utilization of the incoming biomass for simultaneous production of cellulose/fibers, chemicals and energy*

Det kan noteras att definitionerna inte är identiska, även om de påminner om varandra och i stort innefattar samma processer. Skillnaden är betoningen i **STFI-Packforsks** definition på *simultan* produktion, vilket indikerar framförallt utveckling av teknik och processer inom befintliga massaprocesser, snarare än processer där massaproduktion inte alls förekommer.

I denna rapport används STFI:s definition. Ett vedbaserat bioraffinaderi är således en verksamhet som syftar till att optimera värdet av ingående trädråvara genom att utvinna cellulosa, elenergi, värme, fordonsbränsle, kemikalier o.s.v. i olika delar, ofta i kombinerade processer.

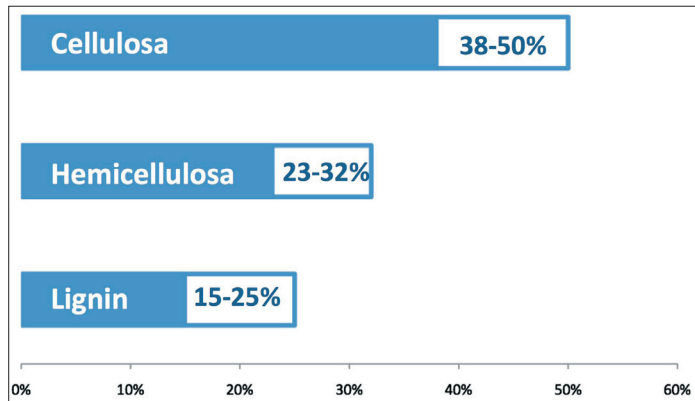
## Bioraffinaderiets processer

En traditionell massafabrik är ett bra exempel på bioraffinering, där cellulosan tas tillvara och förädlas för att bli till papper eller kartong, som egentligen är en form av kompositmaterial. Samtidigt återvinns kemikalier och energi för den egna självförsörjningen och till och med för försäljning. Det är därför grunden för hur ett vedbaserat bioraffinaderi fungerar.

Pappersmassa kan i huvudsak tillverkas på två sätt:

1. Sönderdelning av träfibrer genom mekanisk behandling, även kallad högutbytesmassa då den ger en hög andel massa per använd vedenhet, över 90 %
2. Genom kemiska kokprocesser – sulfat- eller sulfitmetoden där vedens cellulosa framställs i relativt ren form. Det är företrädesvis denna process som är intressant ur bioraffinaderiets perspektiv, även om andra typer av sulfatfria metoder finns på forskningsstadium, till exempel organosolv-processer med olika lösningar av alkoholer eller syror.

I sulfatprocessen kokas flis tillsammans med basiska kemikalier som går under beteckningen *viltlut* och innehåller främst natriumsulfid och natriumhydroxid. Luten löser ut *ligninet* (som är cellulosa-fibrernas bindämne) och en stor del av det som kallas *hemicellulosa*,



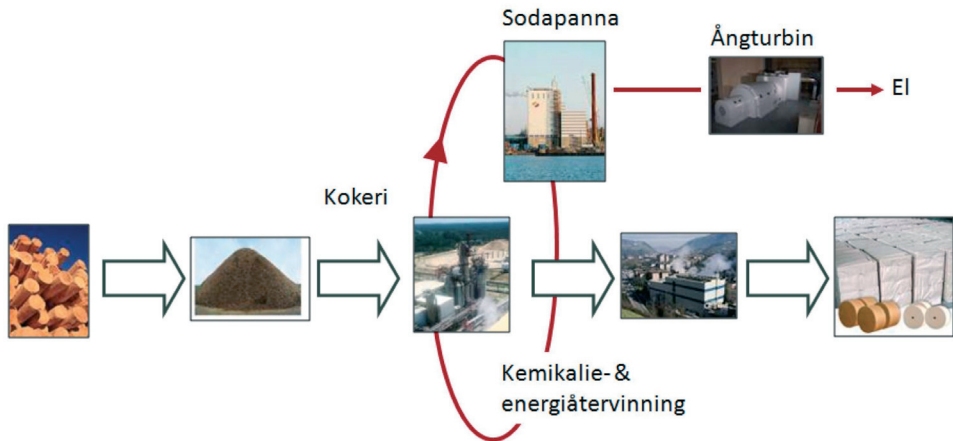
samt *extraktivämnena* till exempel fett- och hartssyror. Kvar blir *cellulosa* som efter tvätt och blekning kan användas för pappersframställning.

Sulfatmetoden ger ett cellulosa-utbyte av veden på drygt 40 %, resterna kallas för *svartlut* och består till stor del av lut, lignin, diverse kolhydrater och vatten. Denna blandning tas till vara och återutnyttjas i form av kemikalier och energiproduktion. Navet i processen är en *sodapanna*. Det är också här som en stor potential finns för ett förfinat och effektivare utbyte av råvaran skog.

I processen är återvinning av kokkemikalier central. Resterna – *svartluten* – innehåller mycket vatten som kokas bort i en värmeväxlaranläggning kallad *indunstning*, så att *torrhalten* ökar. Den nu trögflytande luten förbränns i *sodapannan*, det organiska inne-

hållet som har ett högt energivärde förbränns och omvandlas i pannan till ånga. Ångan används i de interna processerna, men räcker också för att genom turbiner producera el – även för försäljning utanför bruket. Samtidigt regenereras kokkemikalierna i en kemisk process i sodapannan. Resultatet kallas *grönlut* som tappas av för återanvändning, men som först måste genomgå en process som kallas *kausticering* med hjälp av släckt kalk. Även kalken produceras i återvinningsprocessen via en *mesaugn*.

I teorin är tillverkningsprocessen självförsörjande av kemikalier, men i realiteten finns dock förluster på knappt 1 % som gör att depåerna måste fyllas på. Förbränningen i sodapannan och processen i mesaugnen producerar koldioxid, men bidrar inte till växthuseffekten eftersom kolet härstammar från veden. Så länge skogen tillåts växa upp igen kommer koldioxiden endast att cirkulera.



Figur 1: Processen vid massatillverkning

I *sulfitprocessens* kokeri ersätts vitlut med salter; sulfiter och bisulfiter. En annan viktig skillnad i en sulfitprocess är att man kan gå ett steg längre och avlägsna hemicellulosan. Fram till och med sodapannan innebär det processmässigt att det mesta är likt en sulfatprocess. Till skillnad från förfarandet vid sulfatmassatillverkning finns dock inget behov av någon mesaugn. Restprodukten från sulfitbruket, *brunlut*, kan genom sitt innehåll av sockerslag jäsas för etanolproduktion – sulfitsprit. I dag är sulfitprocessen ovanlig för konventionell massaproduktion, eftersom sulfatmassan med moderna blekmetoder ger bättre papperskvaliteter. Ur perspektivet bioraffinering är däremot processen intressant. Redan idag finns några sulfitmassafabriker som gått vidare i processutvecklingen och tillverkar specialmassa för Viskos eller Rayon-fiber, lignin och cellulosabaserade kemikalier. I Norge har **Borregards** anläggning i Sarpsborg genomgått denna utveckling tillsammans med fabriken i Attisholz, Schweiz och i Japan finns Nippon Paper Chemicals. I Europa finns även Lenzing i Österrike. I Sverige använder sig Domsjö Fabriker av sulfitprocessen för tillverkning av *dissolvingmassa* som har en

mängd användningsområden, alltifrån Viskos och Rayon för textilfiber till korvskinn och cellofan. En annan huvudprodukt från Domsjö är lignosulfonat som bl a används som dispergeringsmedel i betong.

Existerande processteknik för massatillverkning skulle alltså redan nu kunna kallas för bioraffinering. Skillnaden är att processerna i massabruket är trubbiga – endast ca hälften av veden förädlas så småningom till papper, resten blir oftast till brännbart bränsle i någon form.

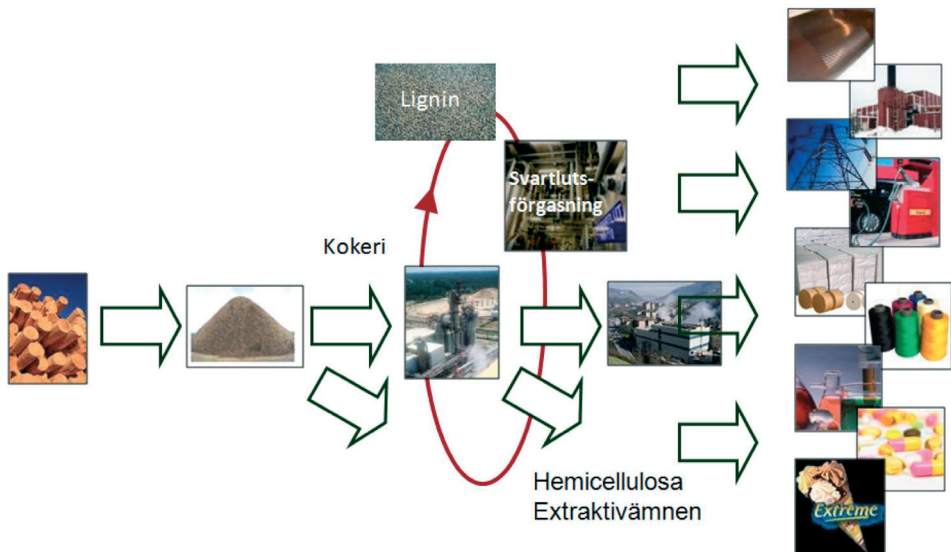
I bioraffinaderiet utvecklas processerna så att de mer precist kan ta tillvara på fler av de komponenter som ved består av och förädla dem vidare till låg marginalkostnad och helst hög marginalintäkt.

Grunden för utvecklingen av bioraffinaderiet är **separation** av cellulosa, hemicellulosa och lignin med fler ämnen, som tillsammans med **förgasningsteknik** kan leda till en rad olika produkter genom att:

- Skapa sidoströmmar där delar av ligninet tas om hand för förädling till t ex: **pellets, fenoler** för plasttillverkning, **kolfiber** eller **livsmedelstillsatser**. Lignin har ett högt energivärde och kan bidra till den energi som krävs för till exempel etanolproduktion från cellulosa.
- Förgasa svartlut (i stället för processen i sodapannan, se nedan) kan ge högre **elproduktion** alternativt produktion av **fordonsbränsle**, DME, alkohol eller via Fisher-Tropsch process till diesel.
- Förgasa ved och grot (grenar och toppar).
- Primärseparera hemicellulosan/socker från flisråvaran, dvs innan den kokas, för konvertering till **etanol** eller **kemikalier** som ättiksyra, petroleumderivatliknande kemikalier, polymerer, adhesiver (lim), färgämnen etc.
- Sekundärt skilja hemicellulosa/socker från svartluten.
- Separera **extraktivämen** från ved och bark som kan ha medicinskt värde som kolesterolsänkande eller fungera som antioxidanter.
- Separera tallolja, som är en etablerad teknik. Oljan kommer från trädets kåda och kan förädlas till tallfettsyra, tallharts och beckolja för bindmedel, tvättmedel, fernissa. Även stannolestrar som används i margarin för att sänka halten kolesterol kan utvinnas.
- Effektivisera och vidareutveckla produktionen av pappersmassa och utveckla cellulosafibern för nya material med hjälp av till exempel nanoteknologi.
- Bryta ner cellulosa genom hydrolys, sur eller enzymatisk (behandling där en sorts proteiner, bryter ner de långa sockermolekylerna till jäsbara, enkla sockerarter) och mikroorganismer för produktion av alkohol.

Valet att producera elkraft, bränslen eller kemikalier kommer att avgöras av brukets struktur, ekonomi och investeringsförmåga samt av geografisk belägenhet och delaktighet i kombinat, dvs integration av produktionen med andra processer. Vilka processer och i vilken takt avgörs av hur offentliga och industriell intressen är beredda att investera i FoU och demonstrationsanläggningar för att ta tekniken i kommersiellt bruk.

Efterfrågan på icke klimatpåverkande produktion kommer sannolikt att öka snabbt i takt med att land efter land förbinder sig till klimatmål och energiomställning. Samtidigt kan politiska styrmedel som främjar elproduktion av biomassa missgynna produktionen av biobaserade kemikalier.



Figur 3: Bioraffinaderiets processer och produkter

I följande avsnitt redovisas ett antal exempel på teknik som möjliggör bioraffinering. Sammanfattningsvis kan sägas att den så kallade **termokemiska plattformen** redan finns i form av demonstrationsanläggningar för förgasning, processen för DME och FT-diesel är känd och inga större forskningsgenombrott är nödvändig. För den **bioke-miska plattformen** finns generellt behov av ytterligare FoU-genombrott för en effektiv konvertering av vedråvara till kemikalier.

## Separation av lignin

LignoBoost är en potentiell produktionsprocess i ett bioraffinaderi som utvecklats av **STFI-Packforsk** tillsammans med **Chalmers**. Processen är verifierad i en demonstrationsanläggning vid **Bäckhammars Bruk** utanför Kristinehamn.



I processen avlastas sodapannan från en delmängd av svartluten, som tas ut ur processen i samband med indunstningen, tvättas och avvattnas till rent lignin med en fukthalt på 30 %. I det läget har ligninet samma värmevärde som träpellets. Torkas det ytterligare ökar värmevärdet till att motsvara kol. Utfällning och separering av lignin har i tidigare processer dragits med betydande svårigheter i form av igensättningsproblem. Genom LignoBoost har detta lösts genom en tvåstegs tvätt och avvattningsprocess som är patentsökt.

Användningsområdena är många – förutom att avlastningen av sodapannan i förekommande fall kan öka mängden massaproduktion – till exempel som biobränsle, tillverkning av kolfiber, fenoler, bindmedel och dispergeringsmedel.

Investeringen kan motiveras redan i kapacitetshöjande syfte där det blir ett billigare alternativ till ombyggnad av sodapannan. Utöver det finns möjligheten som delprocess i ett bioraffinaderi. LignoBoost-konceptet är klart för kommersiell lansering, och bolaget har sålts till teknikleverantören Metso.

## Svartlutsförgasning

**Chemrec AB** har utvecklat en teknik för svartlutsförgasning som särskiljer sig genom att arbeta under högt tryck. Tekniken har potential att ersätta sodapannan i en konventionell process och baseras på att injicera och finfördela svartlut samtidigt med syrgas för att partiellt förbränna lut innehåll. Temperaturen är mycket hög, ca 1 800°C i lågan. De organiska delarna av svartluten omvandlas till syntesgas bestående av väte och kolmonoxid som kan vidareförädlas. De oorganiska delarna smälter till droppar av natriumkarbonat och natriumsulfid – grönlut – som återvinns för kokprocessen.

Fördelen med tekniken är en högre totalverkningsgrad som skulle kunna användas till en större elproduktion från bruken, jämfört med befintliga sodapannor, och samtidigt producera fordonsbränslen. Bränsleproduktion från svartlut genom högtrycksförgasning och påföljande processteg (till exempel Fischer-Tropsch) anses vara mycket gynnsam både ur effektivitets- och miljösynpunkt.

**Chemrecs** provanläggning i samband med **Smurfit Kappas** kraftlinerfabrik i Piteå ska om planerna går i lås börja producera dimetyleter (DME, se nedan). Värme och ångproduktionen för internt bruk måste då ersättas, till exempel med en fastbränslepanna för grot, (dvs grenar och toppar) alternativt en s.k. IGCC – integrerad förgasning och kombicykelturbin. I förlängningen planeras en anläggning i industriell demonstrationskala, vilket krävs för att bevisa tekniken. En sådan installation beräknas kosta 1 200 miljoner kr.

Anledningen till att svartlutsförgasning inte redan har införts beror på flera faktorer

varav industrins krav på bevisad tillgänglighet och robusthet innan man inför ny teknik är en av de viktigaste. En av utmaningarna har varit att hitta material som i kontinuerlig drift klarar den extremt höga temperaturen och den mycket basiska miljön i reaktorn. Ett problem som **Chemrec** nu anser sig ha löst efter många års prov och materialutveckling. Massaindustrin är också angelägen om hur förgasningsprocessen påverkar massaproduktionen, till exempel om det finns risk för anrikning av processfrämmande grundämnen som kan ge beläggningsproblem eller om det kommer att bli nödvändigt att omkonstruera annan processutrustning, även dessa risker anses av leverantören som försumbara.

I sammanhanget ska nämnas att sodapanneutvecklingen inte står helt stilla och de senaste installationerna arbetar under högre tryck och har termiska verkningsgrader på över 80 %. Teoretiskt kan dock högre elproduktion nås med förgasningsteknik och dessutom finns möjligheten till vidareförädling.

## Fischer-Tropsch-processen

Fischer-Tropsch-processen uppfanns 1925 av de tyska forskarna Franz Fischer och Hans Tropsch. Under andra världskriget rädde oljebrist i Tyskland och processen användes för att framställa syntetisk dieselolja. Processen är central för att tillverka diesel från exempelvis svartlut och går ut på att producera kolväten ur en blandning av kolmonoxid och vätgas. Kolmonoxiden och vätgasen fås genom förgasning av svartluten enligt ovan (men även till exempel ved, stenkolk eller brunskolk kan användas – kallas även för indirekt förvätskning) till syntesgas, en blandning av kolmonoxid(CO) och vätgas(H<sub>2</sub>). Syntesgasen förs sedan över en katalysator bestående av järn eller kobolt i en kemisk reaktor och vätskeformiga kolväten bildas.

Fischer-Tropsch-processen kan även använda gasformiga råvaror som naturgas eller biogas, det vill säga metan (CH<sub>4</sub>). Alla råvaror som är energirika kan omvandlas till syntesgas, vilket är den egentliga råvaran till Fischer-Tropsch-processen.

## Separering av Hemicellulosa

Trä innehåller hemicellulosa, en grupp av kolhydrater som består av en blandning av pentoser (socker med 5 kolatomer) och hexoser (socker med 6 kolatomer). Varje vedslag har en typisk sammansättning av hemicelluloser. Att extrahera hemicellulosan ur veden före massakokningen skulle vara en väsentlig innovation eftersom en ren cellulosafiber dels skulle minska behovet av tillsatskemikalier och energi i kokprocessen och dels kan hemicellulosan vidareförädlas till ett antal plattformskemikalier genom till exempel jäsningsprocesser.

## Etanol- och metanoltillverkning

Intresset för cellulosebaserade – eller andra generationens – fordonsbränslen är stor i världen. Orsakerna är dels hög teoretisk energiverkningsgrad i tillverkningen av etanol och metanol från förgasning och dels att råvaran inte konkurrerar med produktion av livsmedel.

Teknologin för andra generationens etanol är under stark utveckling. Processerna kan delas in i s.k. sur hydrolys med hjälp av svaga syror, enzymatiska processer som fortfarande begränsas av tillgången på bra och kostnadseffektiva enzymer, och förgasningsteknik. Totalt pågår i världen ett femtontal projekt främst i USA och Kanada, i varierande grad från pilot till planerade fullskalig industriproduktion.

Etanolframställning från lignocellulosa genom hydrolys måste integreras med t ex kraftvärmeverk eller någon annan form av bioraffinaderi för att uppnå ett ekonomiskt bärkraftigt råvaruutnyttjande. Integrering med produktion av el, pellets och värme ger hög effektivitet med energiutbyten på 75–80 %, helt baserat på 100 % förnybar råvara och grön energi. Det är också den processen som svenska **SEKAB** utvecklar och där man arbetar för en industriell utvecklingsanläggning. Tidigare var målet att sätta verksamheten i drift ca 2010 och vidare mot ett kombinat i demonstrationsskala och slutligen en prognoserad industrialisering runt 2014.

Andra fördelar med skog och ved som etanolbas i jämförelse med andra grödor är ett högt sockerinnehåll och hög bulkdensitet, vilket innebär effektiva transportkostnader av råvaran, bra lagringsförmåga och ett etablerat logistiksystem. Skogen utnyttjar normalt också mindre gödningsmedel än annan växtproduktion.

## Viskos/textilier

Tekniken för att tillverka textilfiber från cellulosa är gammal och uppfanns redan på 1890-talet i England. Under början av nittonhundratalet rönt Viskos stora framgångar inom klädmanufakturen. Under 1960-talet och fram till mitten av åttiotalet investerades också relativt mycket pengar i processutveckling, bl a erbjöd svenska maskinleverantörer teknik för framställning av Viskos eller Rayon som det amerikanska varumärket heter. Under senare år har materialet fått stå tillbaka för en ökad konstfiber-, ull- och bomullsanvändning, och pga. smutsiga tillverkningsprocesser. Men även odling av växtfibrer och storskalig uppfödning av får medför stor miljöbelastning runt om i världen. Syntetfibrer tillverkas av olja som är en ändlig resurs till skillnad från naturfibrer som ingår i ett naturligt kretslopp.

Processutveckling på senare år har gjort det möjligt att tillverka Viskos på sätt som är acceptabla för miljön. Lyocell kallas cellulosafiber framställd genom en modern lös-

ningsmedelsprocess, patenterad så sent som 1993. Denna process är helt svavelfri och återvinningen av lösningsmedlet är hög. Energiåtgången är också lägre än vid traditionell viskostillverkning. Tillverkare idag är **Lenzing** i Österrike. Tillverkningen av dissolvingmassan har genomgått en radikal utveckling, till exempel så har svenska **Domsjö** idag en helt sluten och unik blekningsprocess.

Vid den traditionella tillverkningsprocessen behandlas cellulosan med kaustiksoda till sodacellulosa efter kokning. Resultatet oxideras och behandlas vidare med koldisulfid och kallas "yellow crumb" som i sin tur löses i soda för att forma viskos. Efter filtrering extruderas viskosen, behandlas ytterligare med syra för att sedan sträckas och tvättas.

## Det kombinerade bioraffinaderiet

Tankar finns också på att kunna kombinera det vedbaserade raffinaderiet med agrar bioraffinering. Vinsterna finns i möjlig samordning och uppskalning av vissa processer, till exempel förgasning av trädrester, svartlut och plantrester med efterföljande förädling till etanol eller DME. Definitivt finns kostnadsfördelar med kombinattanken och längre fram i värdekedjan där produktionen möter marknad och distribution är synergierna totala.

Det amerikanska skogsföretaget **Potlatch** startade 2006 en förstudie av ett kombinat med massabruket i Cypress Bend, Arkansas som bas. Studien avsåg att finna en systemdesign som kombinerar massabruket med ett ved och plantbaserat bioraffinaderi för produktion av 10 000 fat fordonsbränsle per dag genom förgasning av biomassa och svartlut. På längre sikt ville man också täcka in möjligheten att extrahera hemicellulosa från flis för jäsnings till etanol.

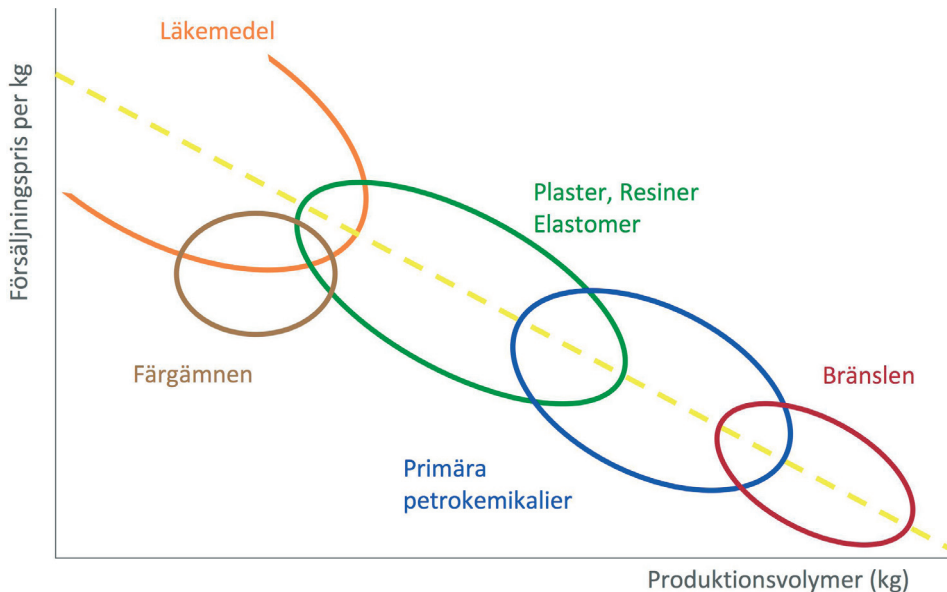
I studien sökte man partners från den traditionella oljeindustrin, inte minst för att skaffa sig kunnande om marknaden och distributionen som ju skiljer sig väsentligt från den traditionella skogsindustrins. Investeringsriskerna i storleksordningen \$ 300 miljoner och frågetecken kring tekniken gjorde att man valde att för närvarande inte gå vidare, men trots allt är det ett gott exempel på hur massaindustrin nu börjar pröva möjligheterna.

Som nämnts är också kombinattanken central i svenska **SEKAB:s** visioner för att produktionen av etanol skall uppnå god ekonomi. Modellen bygger på en råvaruflexibel process baserad på ved eller biogas, där överskott före och efter etanolproduktionen används som fast biobränsle och för biogasproduktion. Den totala energibalansen vid produktion av el, värme och gröna bränslen ger då enligt **SEKAB:s** beräkningar ett energiutbyte på mer än 80 % med en råvara baserad på barrved. Kombinatet bygger på tanken om samlokalisering av etanol och kraftvärmeproduktion.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att vedbaserade bioraffinaderier omfattar många olika processer. I vissa fall är de kompletterande, i andra innebär de val som utesluter andra. Processer i sig är avgörande för vad som kan tillverkas, men det är själva produkterna som ger upphov till en marknad. I vissa fall är det en helt ny marknad som kan uppstå, i andra handlar det om att ersätta eller komplettera befintliga produkter på en befintlig marknad. Följande avsnitt beskriver bioraffinaderiets produkter.

## Bioraffinaderiets produkter

Som nämnts tidigare separeras biomassa i ett bioraffinaderi – som i ett petrokemiskt raffinaderi – till sina beståndsdelar, men det är en betydligt mer komplicerad process och de kommersiella anläggningar som finns i dag producerar i regel enstaka eller ett fåtal produkter samtidigt. Det förutsätter god tillgång till råvara och i många fall subventioner av olika slag. För att öka värdeutbytet är det önskvärt att parallellt kunna separera och förädla kemikalier eller bränslen av olika typer och per-kilo-värden.



Figur 4: Värde- och volymförhållanden för bioraffinaderiets produkter

Gemensamt för de produktslag som kommer från ett bioraffinaderi är dess verkliga eller uppfattade miljöprofil. Prefixet ”grön” har i sammanhanget blivit vedertaget och används både som allmänt begrepp och som marknadsföringsterm. I brist på definitioner antas i denna rapport ”grön” vara liktydigt med att produkten baseras på förnybara råvaror, produceras på ett ansvarsfullt sätt och därmed över tiden och i värdekedjan inte

belastar miljö och klimat. En schematisk indelning av produktslagen tjänar även som indikator på de utvecklingsinriktningar som finns:

<b>Gröna Material</b>	Barriärer, MFC (Microfibrillated cellulose), Kompositer, Aktivt kol, Hydrogeler, Textilier etc.
<b>Gröna Kemikalier</b>	Kemikalier till Lim, Dispergeringsmedel, Mjukgörare, Läkemedelsbas etc.
<b>Gröna Bränslen</b>	Fasta, flytande och gasformiga bränslen
<b>Grön El och Värme</b>	El och värmeproduktion baserade på förnybara resurser

## Gröna Material

Där traditionella kompositer oftast använder råolja som bas kan man istället tillverka nya kompositmaterial med cellulosa från (till exempel) träd och får då biokompositer. De nya materialen får en hållfasthet i klass med kevlarfiberkompositer, men är samtidigt lätta, miljövänliga och inte minst billiga.

När idén kring biokompositer kombineras med den nya nanoteknologin – cellulosa-fiber (30 mikrometer brett, 2–3 millimeter långt) består av fibriller på nanometernivå (4 nm breda, 100–200 nm långa) – får man material som kan skräddarsys för respektive användning – nanokompositer. Typiskt för sådana avancerade MFC-material är höga marknadsvärden räknat i kilopris. Men de kräver ytterligare forskning och utveckling vilket gör att marknadsintroduktionen ligger längre fram i tiden.

Gastäta barriärer är ett annat mycket intressant forskningsområde där beläggingsmaterial i till exempel kartongförpackningar kan ersätta traditionell plast eller metalliska fuktbarriärer.

Möjligheten att framställa plaster av typ hydrogeler och andra polymerer ur ved och processvatten från massatillverkning gör att skogsindustrin visar intresse för den typen av forskning. Hemicellulosabaserade hydrogeler är polymerer som kan framställas med ved i stället för olja som råvara. Hemicellulosans kemiska struktur gör det möjligt att variera egenskaperna och ett användningsområde är för mediciner där det verksamma läkemedlet ska fördelas jämnt över en längre tidsperiod.

Som tidigare nämnts finns goda möjligheter att tillverka textil och andra viskosbaserade material från dissolvingmassa – en högkvalitativ massa som mest består av cellulosa. Karakteristiskt är att marknaden ökar i takt med uppmärksamheten på miljöproblemen kring till exempel bomullsodling. Bomullsodling upptar 2,5 % av jordens odlingsbara yta, men förbrukar över 11 % av världens jordbrukskemikalier och inte mindre än 25 % av alla insektsbekämpningsmedel. För att tillverka ett par jeans går det åt 6 600 liter vatten, 13,2 m<sup>2</sup> mark, 0,5 kg kemikalier och 103 sorters bekämpningsmedel. Det gör att Viskos är ett allt mer attraktivt alternativ, och pristrenden för Viskos är kraftigt ökande.

## Gröna Kemikalier

För kemikalietillverkning finns ett stort antal möjligheter, vilket i sig utgör en komplexitet i valet mellan marknader och produkter från ett bioraffinaderi. Till exempel kännetecknas läkemedelskomponenter av mycket höga per-kilo-värden men samtidigt mycket små kvantiteter och kan därför ses som en värdefull marginalprodukt.

Marknaden för gröna kemikalier växer kraftigt och i regel finns fungerande marknadssystem, även om kunskapen om dem inte finns hos skogsindustrin. Detta driver fram samarbeten, allianser och strukturella förändringar.

Intresset för den gröna kemin bottnar i att traditionell kemi i många stycken är ”brun” genom råoljebasen och förbrukningen av stora mängder organiska lösningsmedel. Dessutom genererar den mycket avfall och hälsovådliga bieffekter.

”Grön kemi” är detsamma som miljöanpassad kemi. Konceptet formulerades i slutet på 1990-talet i USA, där forskarna Paul Anastas och John Warner publicerade tolv principer för grön kemi. I Sverige har begreppet på allvar slagit igenom först de senaste åren. I traditionell mening handlar det inte om en vetenskaplig disciplin, utan snarare om vägledande principer för kemi och kemiteknik. Kärnan i begreppet är förebyggande arbete på molekylär nivå, det vill säga miljöanpassad design av organiska molekyler, reaktioner och processer med så liten påverkan på miljö och människors hälsa som möjligt.

Även på politisk nivå har grön kemi blivit intressant, bland annat etablerade Bill Clinton i mitten på 1980-talet årliga priser inom disciplinen och liknande uppmuntran finns idag i Italien, Australien och Japan. Sedan slutet på 1990-talet har multinationella organisationer som **OECD** och det internationella kemistsamfundet **IUPAC** engagerat sig för ”sustainable chemistry”. Också de europeiska branschorganisationerna för kemisk (**Cefic**) respektive bioteknisk (**EuropaBio**) industri arbetar sedan ett par år tillbaka för hållbar kemi, genom en gemensam europeisk teknologiplattform stödd av **EU:s** Sjätte ramprogram – The European Technology Platform for Sustainable Chemistry.

Ett exempel på ett svenskt forskningsprogram är **Greenchem** vid **Lunds universitet**. Det startade sommaren 2003 och har som mål att utveckla ”gröna” industrikemikalier. Råvarorna, tillverkningsprocessen och den färdiga produkten ska påverkas genom att biotekniken förs in i kemin.

## Gröna Bränslen

Området fordonsbränsle utmärks av att det finns relativt få typer (alkoholer – etanol eller metanol, dimetyleter (DME) och Fisher-Tropsch Diesel, talloljediesel samt bio-

gas) samtidigt som marknaden är enormt stor. Därför påverkar det biobaserade utbudet marknaden endast i begränsad omfattning, dvs marknadsintroduktionen blir odramatisk. Typiskt är också att fordonsbränslen har betydligt lägre per-kilo-pris än finkemikalier och läkemedelskomponenter.

En tröghet i marknadsintroduktionen utgörs av att det dels krävs nya infrastrukturer i form av tankstationer och dels modifiering av motortekniken. Det verkar dock som marknadskrafterna förvånansvärt snabbt fått fäste och samtliga biltillverkare kommer inom nära framtid ha alternativa motorkonstruktioner både för kommersiella fordon och personbilar. En viktig faktor är att nya drivmedel måste vara kompatibla med traditionella drivmedel och befintliga och nya motorer.

Enligt **EU:s** målsättningar ska 10 % av oljebaserade fordonsbränslen ersättas med biobaserade till 2020 vilket motsvarar 80 miljoner kubikmeter etanol eller 400 TWh. Att utbyggnaden av nya distributionssystem och infrastrukturer kan gå snabbt är Sverige ett gott bevis för i samband med utbyggnaden för E85-bränsle. I USA har bilindustrin själva engagerat sig, och trots bristande lönsamhet planerar **GM** att bidra med produktion genom intressen i bolaget **Coskata** (som lovar att producera etanol till en kostnad under 1 USD per gallon) och genom utbyggnaden av tankställen för E85 i Nordamerika.

## Grön el och värme

Elproduktion via förbränning av svartlut i sodapanna och ångturbiner, eller i framtida förgasningsanläggningar och gasturbin, bidrar till lägre egenkostnader och överskottet kan säljas på elmarknaden. Elproduktion genom ångturbiner är redan nu en biprodukt av massatillverkning i många bruk och i takt med ökade ved- och energipriser har stora investeringar gjorts i effektiva kraftgenereringsanläggningar. Det kan bli fråga om betydande volymer, exempelvis står **Södra Skogsägarna** för 10 % av all förnybar energiproduktion i Sverige (som är berättigad till gröna certifikat).

Restvärme från massabrukets processer kan, vilket sker i en del fall, växlas ut till fjärrvärme och utgöra komplement till värmeverken. Till begreppet hör naturligtvis även traditionell kraftvärmeproduktion baserade på biomassa.



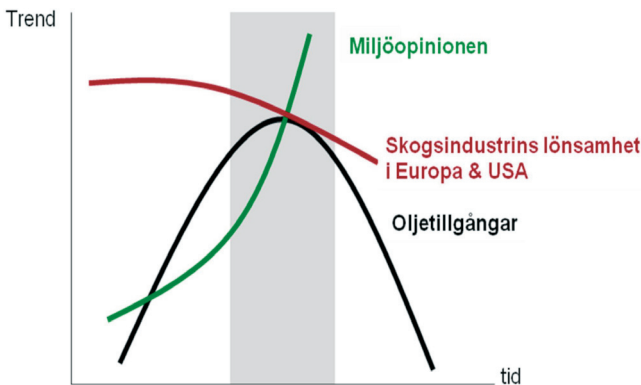
# Marknad

Framväxande marknader är breda och osäkra. Eftersom de är under utveckling så finns de ännu inte i sin helhet och går därför inte att uppskatta exakt. Istället handlar det om att förstå de olika mekanismer som påverkar utvecklingen. Det motsägelsefulla med EBOs är att de representerar möjligheter, som kräver investeringar för att realiseras – samtidigt som osäkerheten gör att underlaget för investeringar inte kan vara exakt. Därför är risktagning en förutsättning för att en marknad skapas överhuvudtaget.

I följande avsnitt beskrivs de stora drivkrafterna som påverkar marknaden för bioraffinaderiers produkter, olika bedömningar av den ekonomiska potential bioraffinaderier innebär, samt de viktigaste aktörerna i utvecklingen.

## Drivkrafter

Utvecklingen av bioraffinaderier har både samhällsekonomiska drivkrafter på makronivå, och industri- och företagsspecifika drivkrafter. Bland de makroekonomiska återfinns främst det trendmässigt höga oljepriset, i sin tur drivet av kraftig efterfrågan i de så kallade 'emerging markets' och spekulationer om oljeproduktionen nått sin kulmen ('peak oil'). Dessutom finns en ökande oro för den globala uppvärmning som förorsakas av utsläpp av fossila bränslen. Vad gäller företagsspecifika drivkrafter återfinns främst en avtagande konkurrenskraft i den norra hemisfärens pappers- och massaindusti, för vilken bioraffinaderi kan innebära ett kraftigt höjt förädlingsvärde. Men även andra industrier gör anspråk på trädråvaran, och ytterligare andra ser möjligheter (eller, i vissa fall, hot) med de produkter som bioraffinaderier möjliggör.

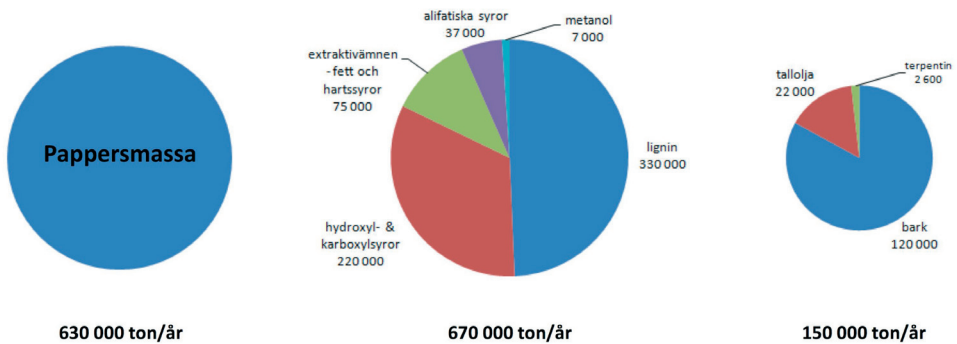


Figur 5: Tänkbara sammanfallande drivkrafter

Framväxten av en ekonomi som söker hållbara alternativ till olja är förutsättningen för att bioraffinaderi ska kunna växa och bli till en affärsmöjlighet. Utvecklingen kräver stora investeringar är tekniskt komplicerad och tar lång. Inom både EU och USA finns omfattande program som är kopplade till såväl närings-, miljö och jordbrukspolitik för att detta ska ske. Några av dem har tydlig bäring på en hållbar utveckling för skogsindustrin, vilket är naturligt då det dels i sig är en stor näringsgren och en av få sektorer som har förutsättningarna att kunna bli helt koldioxidneutrala.

## Potential

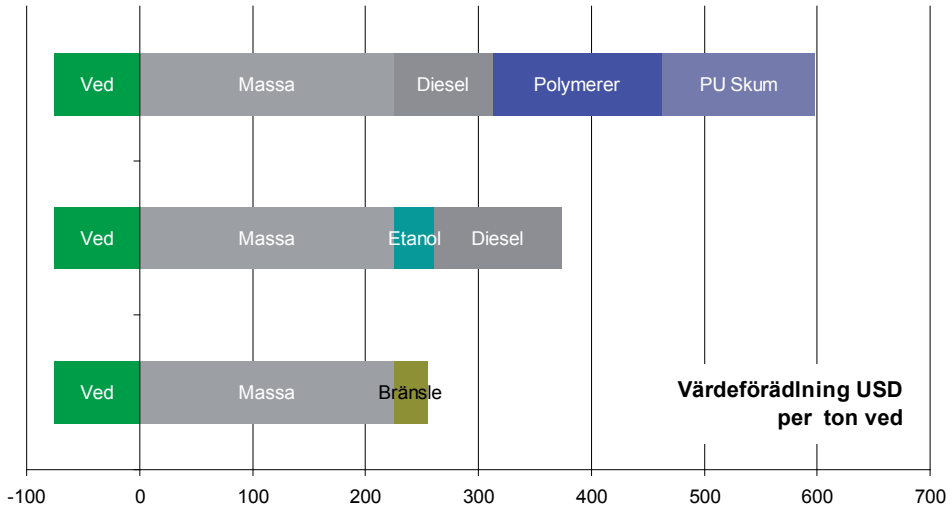
Bioraffinaderiets värdemodell bygger på att mer av råvaran kan tas tillvara och dessutom förädlas till högre värden. Ett försiktigt sätt att beräkna den ekonomiska potentialen för bioraffinaderier är därför utifrån den befintliga produktionen. Ett typiskt massabruk med främsta uppgiften att tillverka drygt 600 000 ton pappersmassa per år skapar också biprodukter av stora mått – i regel mer än huvudprodukten enligt diagrammet nedan. Mycket av detta återvinns till energi och kokkemikalier men potentialen finns för att ytterligare öka värdet. I figuren nedan redovisas ett scenario över hur uttag av ytterligare produkter från samma ingående råvara skulle kunna se ut. Det alternativa scenariot kräver dock intag av energi.



Figur 6: Produktionen från en typisk sulfatmassfabrik med biprodukter

Amerikanska uppskattningar visar möjligheter till flera gånger högre värdeutbyten vid olika relativa användanden av veden. I Figur 7 visas tre scenarion. I den nedersta stapeln tillverkas endast massa och bränsleresterna tas om hand. I det mellersta scenariot tillverkas förutom massa, fordonsbränslen av typ etanol från hemicellulosa och via förgasning, biodiesel och i det översta fallet en mix av massa, kemikalier och bränsle. Beräkningarna baseras på ett typmassabruk som med hjälp av svartlutsförgasning konverteras till ett bioraffinaderi.

Ett annat exempel på potentialberäkning utgörs av lignin. I världen tillverkas ca 100 miljoner ton sulfatmassa per år. Med antagandet om att varje ton massa innehåller 400 kg lignin och att 25 % lignin kan tas tillvara så skulle den totala potentialen vara 10 miljoner ton per år. Vid ett pris på 1 500 kr/ton alltså en global potential runt 15 miljarder kr. Därutöver kan ligninet vidareförädlas och uppnå ännu högre värden.

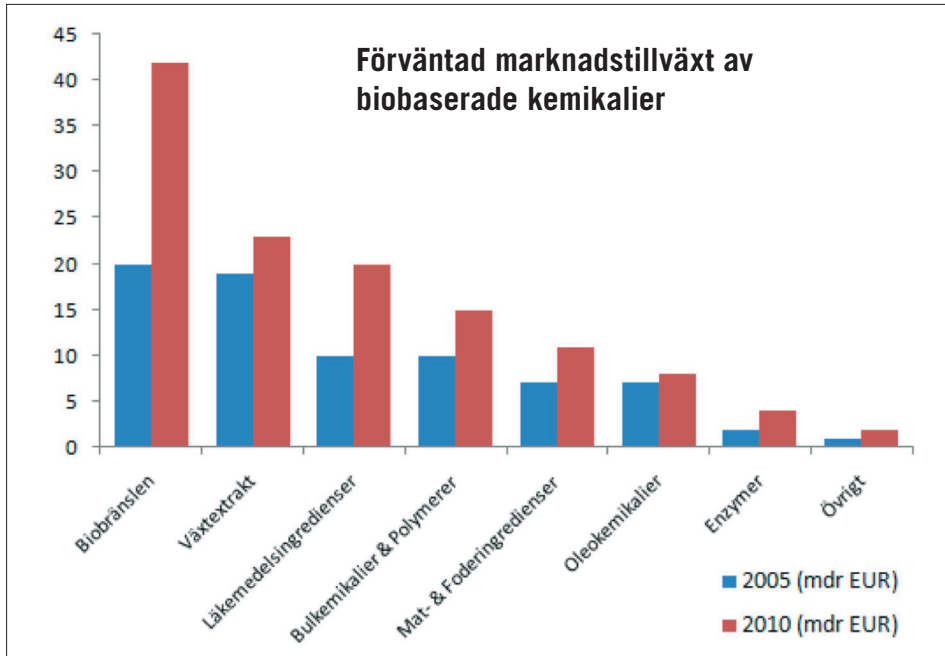


Figur 7: Värdekedjan, scenarion från ett Bioraffinaderi. ( van Heiningen, 2006)

Det exemplet visar dock på svårigheten att beräkna en ekonomisk total potential för bioraffinaderier. Dels är det frågan om väldigt många olika potentiella produkter som i viss utsträckning konkurrerar med varandra, och dels beror värdet på hur långt vidareförädlingen går mot ett högre pris/kg inom själva bioraffinaderiet.

Ytterligare en svårighet uppkommer av att det är svårt att bestämma en optimal mix från ett bioraffinaderi. Det finns många tekniska variablerna att ta hänsyn till, men också marknadsmässiga – till exempel att kombinera cykliska och kontracykliska produktgrupper som kan tjäna till riskminimering över konjunkturen. Kunskap och modeller för att göra sådan bedömning är inte helt utvecklade, men enighet råder om att området är av stor betydelse för den framtida utvecklingen.

Miljöanpassad teknikutveckling som medel för att öka ekonomins konkurrenskraft är vid det här laget väl identifierade möjligheter i både Europa och Nordamerika och det är ett faktum att efterfrågan på biobaserade lösningar tar fart och har potentialen att i grunden påverka flera etablerade marknadssystem. År 2000 var andelen biokemikalier 5 % av hela marknaden, 2005 hade andelen vuxit till 7 % och 2010 förväntas den vara 10 %. I värde innebär det en ökning med nära € 50 miljarder.



Figur 8: Marknadsutveckling (prognos) för biobaserade kemikalier inom EU. (Källa EU FTP SusChem)

I det amerikanska gemensamma initiativet *Advancing the Forest Biorefinery* anger **AF&PA** (skogsindustriorganisationen) och **DoE** (energidepartementet) värdet av en till bioraffinaderier utvecklad massaindusti i USA till ca:

- \$ 9 miljarder i ökade intäkter
- 175 miljoner fat olja/år i minskad energikonsumtion
- 155 miljoner ton i minskade CO2 ekvivalenta utsläpp per år
- 167 tusen nya arbetstillfällen

Bakom dessa siffror finns ett resonemang kring minst fem specifika områden som presenteras närmare nedan. Den strategiska ansatsen är dels att maximera värdet av råvaran in i fabriken, dels att dra nytta av (för massabruken) redan tillgängliga (ekonomiska) resurser. Till detta kan läggas en tredje och kritiskt viktig strategimultipel, samtidig produktion av olika produkter.

Enligt beräkningar gjorda inom ramen för *Agenda 2020 Biorefinery Roadmap* ser man till möjligheterna över värdekedjan, från skogsbruket till marknad, i följande steg:

1. Ett högre avkastande, hållbart, skogsbruk med en värdepotential **på flera hundra miljoner dollar årligen.**

2. Extrahera hemicellulosa från flis innan kokning genom ett nytt processteg för att sedan tillverka etanol. Den beräknade potentialen från amerikanska massabruk beräknas till 2 miljarder gallons, dvs ca 7 600 miljoner liter etanol och 2 300 miljoner liter ättiksyra. Årlig intäktström beräknas till **ca \$ 4 miljarder respektive \$ 2,4 miljarder**.
3. Konvertera tallojeproduktionen till biodiesel. Den möjliga produktionen beräknas till ca 140 miljoner gallons per år, dvs ca 530 miljoner liter till ett årligt värde om **ca \$ 500 miljoner**.
4. Ersätta den åldrande parken av sodapannor i Nordamerika till svartlutsförgasning och Fischer-Tropsch-processer för produktion av bränsleråvara. Potentialen per år beräknas till 5 billion gallons, ca 19 miljarder liter med ett värde på mellan **\$ 8,5 – 10,5 miljarder**. Ett alternativ är att generera el via gasturbiner, beräkningen ger då ett eltillskott motsvarande ca 20 GW.
5. Ersätta fastbränslepannor med anläggningar för förgasning av fast bränsle för konvertering av eget och annat bränsle (till exempel jordbruksavfall, eller kommunalt avfall) som ekonomiskt kan motiveras och transporteras till bruket. Här har intäktströmmarna inte beräknats.

Motsvarande analys har inte gjorts i Sverige, men en mycket förenklad omräkning baserat på storleksförhållandena mellan USA:s och Sveriges massaproduktion skulle innebära 10 miljarder kronor i ökade intäkter och 32 000 nya arbetstillfällen. Detta är förstås en lek med siffror då förhållandena mellan USA och Sverige inte är jämförbara. Svenska bruk är till exempel i genomsnitt större, mer välinvesterade och energieffektiva. Dessutom bygger antagandena i stor utsträckning på en fungerande process av svartlutsförgasning, men det ger ändå en aning om att potentialen är betydande.

Ytterligare en "potential" ligger i det miljömässiga som beror på utvecklingen av prisättning för koldioxidutsläpp ur ett livscykelperspektiv.

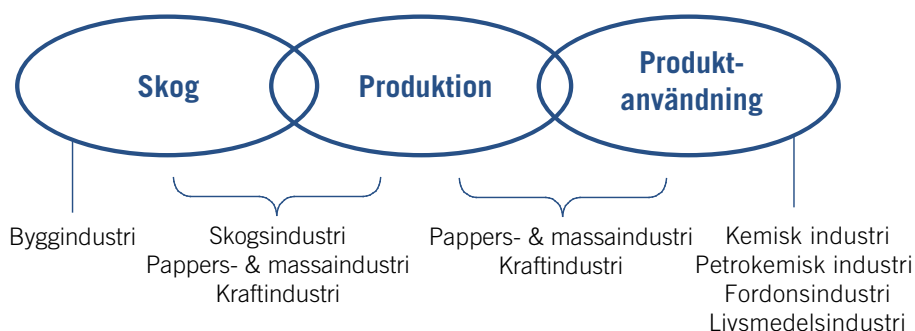
Sammanfattningsvis kan det konstateras att den osäkerhet som kommer av att marknaderna för bioraffinaderiers produkter är framväxande, drastiskt inskränker möjligheten att uppskatta en potential. Teoretiska potentialer kan beräknas i termer av volymer och prisnivåer idag, men de beror dels på vilka processer och produkter som faktiskt kommer att användas. Dessutom kommer ett ökat utbud i sig starkt påverka prisbilden på specifika produktmarknader. Ett helhetsperspektiv saknas.

I de fall man kommer närmast en tydligt uttryckt potential, som exempelvis i Agenda 2020, handlar det om en *ambition*, som är inriktad på specifika områden (främst fordonsbränsle) och som utgår uteslutande från *existerande* branscher och produktmarknader. En tydlig ambition kan vara mycket betydande för utveckling, men det finns också många historiska exempel som visar att ambitioner, målbilder och stöd inte lyckas. De

investeringar och risktagningar som behövs för att skapa marknader kommer att beslutas på företagsnivå, och reflektera de specifika förutsättningar och intressen som olika aktörer har. Följande avsnitt beskriver de aktörer som har anledning att intressera sig för utvecklingen av vedbaserade bioraffinaderier.

## Aktörer

De centrala aktörerna inom utvecklingen av vedbaserade bioraffinaderier är naturligtvis bolag inom skogsindustrin i vid bemärkelse – skogsägare, sågverk, pappers- och massa-industrin, samt deras underleverantörer och kunder. 'Skogsindustrin' omfattar dock en stor grupp företag, som uppvisar stora skillnader i strategi och egenintresse sinsemellan. Vilka företag som har förmågan, viljan och benägenheten att utveckla bioraffinaderier avgörs därför på företagsnivå, inte branschnivå. Dessutom finns det intressenter som traditionellt varit långt ifrån skogsindustrin. Figur 9 sammanfattar aktörer utifrån en värdekedja, som – även om den inte är heltäckande – visar på i vilka delar olika aktörer främst har sina intressen och hur de därför kan tänkas agera. I de följande underavsnitten redogörs för olika aktörers intressen, med tyngdpunkt på skogsindustrin.



Figur 9: Bioraffinaderiets värdekedja och viktiga aktörer

Det är dock viktigt att påpeka att bioraffinaderi inte är ett renodlat skogsindustriprojekt. Ett troligt scenario innebär att nya allianser och strukturer skapas mellan intressenter som äger nödvändiga kunskaper och erfarenheter för att minimera riskerna. Att den petrokemiska och kemiska industrin i sig har all anledning att bevaka vad som sker inom den biotekniska sektorn stärker

### Exempel på branschöverskridande samarbeten

Stora Enso / Neste Oil – 3:e generationens biodiesel – BTL  
 Shell / Choren – 3:e generationens biodiesel  
 Chevron / Weyerhaeuser – cellulosätanol  
 Royal Dutch Shell / Petro Canada / Iogen – cellulosätanol  
 British Petroleum / Dupont chemical – bio-butanol  
 ConocoPhillips / Tyson foods – bio-diesel  
 UPM / Andritz / Carbona – Pilot Biomassförgasning  
 GM / Coskata – cellulosätanol  
 Volvo / Chemrec – svartlutsförgasning – DME – biodiesel

sker sannolikheten för en sådan utveckling. Skogsbolagens styrkor i värdekedjan är de egna skogarna, avancerad vedinköpskompetens, integrerade fabriker med möjlighet att optimera rätt vedfraktion till rätt produkt och samtidigt få en bra energibalans. Brukens

placering, centralt i de stora marknaderna och samtidigt nära råvarukällorna, är också en fördel. Däremot saknar de i många fall kunskap om hur de nyutvecklade produkterna och materialen används, och är därför ofta beroende av andra branscher för sådan kunskap. Sådana branschöverskridande samarbeten är redan nu förekommande främst vad gäller biobaserade bränslen.

## Skogsindustrin i förändring

Skogsindustrin världen över befinner sig i en både omfattande och accelererande strukturomvandling, konsekvenserna är uppenbara för såväl den nordamerikanska som den nordiska massa- och pappersindustrin och ger nästan dagligen upphov till rubriker om fabriksnedläggningar och en bransch i kris. I traditionell mening är det sant – när den gamla världens ekonomier planar ut och ny billig produktion både räcker till att mätta tillväxtländernas behov och samtidigt sätta prisnormer globalt.

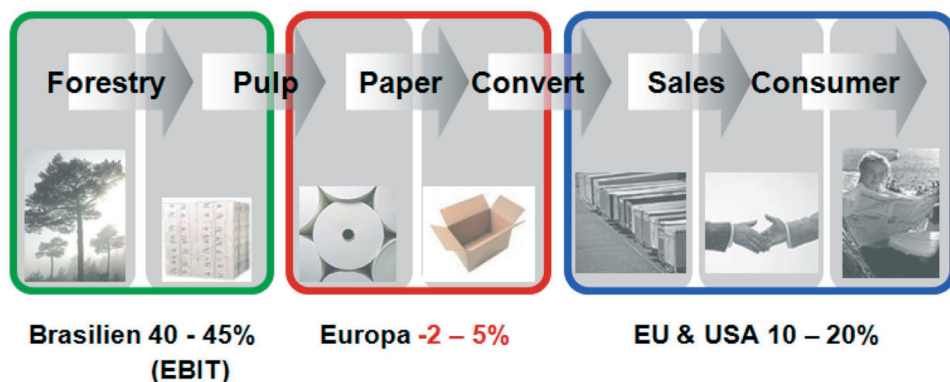
Enligt konsultföretaget **Pöyry** förväntas de ”nya” marknaderna (Kina, övriga Asien, Sydamerika och även östra Europa) ha en årlig tillväxt fram till 2020 på över 4 % i snitt. Det motsvarar investeringarna i ny kapacitet motsvarande 128 miljoner ton papper och kartong. Mycket täcks av returfiber, men trots det beräknar man att 36 miljoner tons massakapacitet behöver installeras till en kostnad av ca 54 miljarder USD. För att försörja denna mängd av massaproduktion kommer ytterligare miljardtals kronor att investeras i skogsplantage för snabbväxande fiber.

Nordamerika och Västeuropa däremot får, enligt **Pöyrys** analyser, nöja sig med en knappt halvprocentig tillväxt. Nyinvinningar av pappers- och massalinjer i Europa liksom USA kommer framöver att vara allt mer sällsynta händelser.

Lönsamheten i den nordiska industrin har, trots en god konjunktur, varit skral med en rörelsemarginal på fyra till fem procent i snitt, även om ett fåtal företag hade en marginal som översteg tio procent. Sett i perspektivet förädlingskedja och i olika världsdelar kan man konstatera att massaproduktion i Sydamerika genererar mycket goda marginaler. Papperstillverkningen i Europa dras med negativa marginaler i snitt. Kinas pappersindustri tjänar mellan 5 till 20 %.

Den totala lönsamheten mätt i avkastning på sysselsatt kapital var för den globala branschen 5,1 % 2006. Då bör man beakta att en stor del av den nordiska skogsindustrins produktionssystem redan är avskrivna, dvs bilden är i realiteten värre och speglar inte vad en produktförnyelse skulle innebära.





Figur 10: Typiska marginaler i värdekedjan & geografiskt

I ett exempel illustrerat av industrikonsulten Ingemar Croon, konstaterar han att en ombyggnad av ett av Sveriges största pappersbruk för tillverkning av en mer konkurrenskraftig produkt skulle fordra alltför höga ombyggnadskostnader för att vara ekonomiskt försvarbart.

Skogsbolagen i Europa och Nordamerikas möjlighet till att försvara positionerna består dels i att delta **genom lokal närvaro**. Därför satsar t ex **SCA, Stora Enso, UPM** och andra hårt på olika former av etablering på de asiatiska och främst kinesiska marknaderna. **Stora Enso** har planer på projektinvesteringar i mångmiljardklass innanför Rysslands gränser. I fallet Ryssland finns dessutom dimensionen av de införda exporttullarna på ved.

En annan strategi är att öka konkurrenskraften med produktivitetsutveckling och att investera bort flaskhalsar. Men som vid alla rationaliseringar finns en över tiden avtagande marginalnytta och frågan är hur mycket mer som går att krama ur en åldrande maskinpark. Jämförelsen med Nordamerika är tänkvärd, där i snitt den tekniska livslängden är runt tio till femton år äldre än den Europeiska enligt konsultbolaget **Pöyrys** analys. Under senare år har maskinparken drastiskt fallit över kanten med massiva nedläggningar som följd.

Hur bolagen på de olika regionala marknaderna förhåller sig till utvecklingen på det biotekniska området och dels till den konventionella massa och pappersindustrin är i grunden avgörande för möjligheten att skapa affärer med det vedbaserade bioraffinaderiet i centrum.

## Nordamerika

Trots att Nordamerikas massa- och pappersindustri sedan många år har gått kräftgång och dess andel av den globala papperskonsumtionen alltså minskar, bidrar man

fortfarande med 70 % av all pappersmassa som produceras i världen. Men en gigantisk omstrukturering pågår med minskad produktion – läs nedläggning av bruk – och förändrade företagsstrukturer. Tydligt är att områden som massa och finpapper lämnas: sedan 1997 har 128 massa och pappersbruk stängts i USA. För svensk massaindustri innebär det en frist, eftersom ett reducerat globalt utbud av långfibrig massa håller priserna uppe till gagn för företag som Södra och Rottneros.

Det intressanta är att iaktta vilka strategiska och mer långsiktiga drag den krisutsatta nordamerikanska skogsindustrin tar tillsammans med kapitalmarknaden. Det handlar om att säkra råvarutillgångar runt om i världen och många miljarder kronor investeras i skog, skogsplantage och en utvecklad, effektivare, skogsnäring.

En tydlig agenda för att öka industrins konkurrenskraft finns på plats och rörelser kan urskiljas där olje- energi- och skogsindustrin närmar sig varandra i skapandet av den nya biomassbaserade energi- och kemiindustrin.

I USA ses numera utvecklingen av den industriella biotekniken som en strategisk kärnfråga. Avsikten är att fundamentalt ändra produktion och användandet av energi, bränsle och kemikalier. Det initiala syftet var att minska beroendet av olja från instabila regioner i världen och skydda det amerikanska samhället, flera s.k. roadmaps som utarbetats av såväl myndigheter som konsulter och akademi pekar på goda möjligheter att påverka den dagliga oljeimportnotan på ca en miljard dollar.

**DoEs** prognoser motsvarar 40 till 56 miljarder liter etanolproduktion från korn eller cellulosa till 2030. Det motsvarar ca 30 % av den globala produktionen men är fortfarande mindre än 10 % av den förväntade konsumtionen i USA. Förra presidenten Bushs *Advanced Energy Initiative* ökar också forskningsanslagen för att göra cellulosäetanol prismässigt konkurrenskraftigt med jordbruksbaserad dito, senast 2012.

På senare tid verkar även själva möjligheten till att bygga en inhemsk biobaserad industri blivit till en utmaning och generator som skapar engagemang hos såväl politiker, som i ett brett forskningsstöd och finansiella initiativ för att starta upp en självgående marknad. Uppskattningen i USA är att ca 5,5 miljarder kilo av biomassa (alla slag) går in i produktion av bioprodukter för industri och konsumtion. Värdet beräknas till 8 miljarder USD

Produktion från biomassa	2001	2010	2020	2030
Kraftgenerering	2 %	3 %	4 %	5 %
Biobränslen för transport	0,5 %	4 %	10 %	20 %
Bioprodukter	5 %	12 %	18 %	25 %

Tabell 1: Andel produktion av biomassa i USA (United States Congress, Biomass Research and Development Act of 2000)

Bioprodukt	Tillverkare	Produkter
Stärkelse och Socker	ADM; Arkenol; Cargill; Cargill Dow; Cargill Corn Milling; Minnesota Corn Processors; Midwest Grain Products; DuPont; Grain Processing Company; Tate & Lyle; A.E. Staley; Williams Bio-Energy	Citric acid; Ethanol; Sorbitol; Ethyl lactate; PLA; Sugar; 1,3-propandiol; Starch
Cellulosa	Dow Chemical; Celanese	Cellulose derivatives
Träbaserade kemikalier	Westvaco; Hercules; Norit America; Arizona Chemical; Georgia Pacific; Akzo Nobel Resins	Activated Carbon; Wood chemicals; Gum rosin
Olja och fettämnen	Cambrex; Vertec Biosolvents, Inc.; AG Environmental Products LLC; West Central Soy; Lonza	Caster oil derivatives; Soy products; Lubricants; Cleaners; Glycerin; Fatty acids

Tabell 2: Större producenter av biokemikalier i USA (Källa: Dutch Network on Biorefinery)

## Europa och Sverige

I jämförelse med Nordamerika är Europas biotekniska industri mer småskalig med över tvåtusen bolag, vilket i sig är fler än motsvarande näring i USA men antalet anställda – runt 100 000 – är ungefär hälften liksom intäkterna på € 19 miljarder. Även beaktat investerade forskningsmedel hamnar EU på efterkälken med ungefär en tredjedel av Amerika (totalt € 6 miljarder).

Den europeiska skogsindustrin kläms mellan höga ved- och energipriser och en allmänt sjunkande pristrend för många kvaliteter. Finpapper är en typisk sådan som tillverkas till avsevärt lägre priser, nedåt hälften, av kortfibrmassa från Sydamerika eller Asien, exporteras till Europa och därmed konkurrensutsätter europeiska bruk mycket hårt. Konsekvenserna är att bruk läggs ner.

En effekt av de ökade elpriserna har varit investeringar i uppgradering av turbin och generatoranläggningar hos massabruken som gjort många till nettoexportörer av grön el. Med hjälp av kommande teknik finns potential för ytterligare energiuttag från dessa anläggningar och kan bli en viktig inkomstkälla för ett bioraffinaderi.

Svensk liksom finsk massa- och pappersindustri karakteriseras produktmässigt av relativt avancerade kvaliteter där i många fall den nordiska fiberråvaran bidrar till värde och konkurrenskraft.

Sverige är världens fjärde största producent och exportör av pappersmassa Produk-

tionsvärdet i skogsindustrin i Sverige var 2005 185 miljarder kronor, där massa- och pappersindustrin svarar för hälften, sågverken för drygt 20 %, trähus- och snickeriindustrin för 15 % och industrin för papperskonvertering för 10 %. Ungefär 60 % av produktionsvärdet utgörs av export, särskilt från massa- och pappersindustri (där 80 % av produktionsvärdet exporteras). Skogsindustrin genererar ett betydande handelsöverskott.



Ur perspektivet bioraffinaderier är det också intressant att notera att de flesta fabriker utöver de rena avsaluproducenterna av kemisk massa har en integrerad sulfatmassaproduktion. Totalt finns 43 massabruk i Sverige och **Domsjö Fabriker** är det enda sulfitbruket. **Domsjö** definierar sig redan i dag som ett bioraffinaderi med en produktion av finkemikalier tillsammans med dissolvingcellulosa, dessutom tillverkas (via **SEKAB**) etanol av restprodukter (sulfitavlutar).

## Asien

Totalt sett har Kina världens snabbast växande massa- och pappersindustri och rankas som världens tredje största producent av massa (inklusive non-wood pulp) och näst störst när det gäller papper och kartongproduktion. Man är också världens största importör av massa: exportöverskottet visavi USA är stort och ökande. Råvaruflödena säkras genom enorma satsningar på nyplantering av barr och snabbväxande lövved (hybridasp och poppel) och det sägs att hundra tusen kineser är sysselsatta med trädplantering.

Även i övriga Asien byggs massafabriker i meganivå på löpande band, en process som påbörjades redan under sent åttital men som stördes av Asienkrisen. Nu tar den emel-

lertid fart igen och den stora Indonesiska aktören **Asian Pulp & Paper** planerar även för expansion i Kina.

I Kina uppskattar **China Centre for Biotechnology Development** att försäljningen av biokemikalier och bränslen motsvarar 1,2 miljarder USD inom landet. Även om Kina för närvarande ligger långt bakom Europa och USA så talar erfarenheterna om snabb tillväxt från andra sektorer för att landet ska bli en stor såväl importör som exportör av biotekniska produkter. De stora jordbruks- och skogsytorna utgör en god grund för framtida expansion.

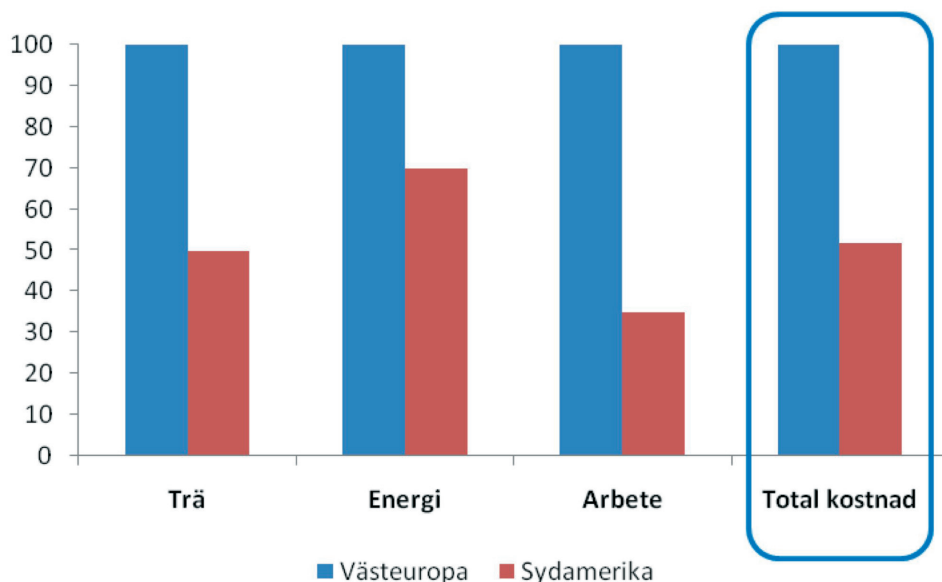
Även här investerar regering och myndigheter i stora forskningsprojekt koordinerat av **Ministeriet för Vetenskap och Teknik**, bl a ett antal stora bioetanolfabriker för fordonsbränsle. Jilin-fabriken med en kapacitet på 600 000 ton per år är en av världens största. Det kan noteras att europeiska aktörer också är aktiva i Asien, till exempel finska **UPM** som i början av 2008 annonserade planer på att bygga ett bioraffinaderi i Kina för produktion av massa och biokemikalier från jordbruksrester.

Indonesien är centrum för den sydostasiatiska massa- och pappersindustrin och rankas som världens åttonde största massaproducent. Potentialen för en betydande ökning av massaproduktionen i Indonesien är enorm och minst i nivå med den i Brasilien. Samtidigt är landet frekvent förekommande i diskussionen om skogsskövling och illegal avverkning.

I Japan finns av tradition ett stort kunnande och en världsklassindustri baserad på mikrobiologi. Den japanska bioindustrin omsatte 2003 motsvarande \$ 15 miljarder men har av naturliga skäl en begränsad egen råvaruförsörjning. Det gör att bioindustrin i landet söker nischer med mycket hög värdeförädling snarare än bulkbränslen och kemikalier. Ett av världens få kommersiella vedbaserade bioraffinaderier finns också i Japan, **Nippon Paper Chemicals**, som utvecklats från massaindustri till en producent av disolvningmassa för Viskos och en lång rad andra biobaserade kemikalier. Företaget samarbetar för övrigt med **Domsjö** kring produktionsprocesser för ligninbaserade produkter.

## Sydamerika

Sydamerika har blivit något av 'världens massafabrik' med flera massalinjer med kapacitet över en miljon ton/år (de största i Sverige tillhör **Södra Skogsägarna** och tillverkar runt sjuhundratusen ton). Det medger skal- och kostnadsfördelar i form av råvaror, personal och energikostnader. Anläggningarna är moderna, med hög produktivitet. Dessutom växer skog i medeltal tio gånger snabbare än i vårt nordiska klimat. En del plantager har en tillväxt som ligger på 20 gånger den svenska tillväxten. Utvecklingen i Sydamerika går mycket snabbt.



Figur 11: Kostnadsjämförelse Europa, Sydamerika

Brasilien är världens ledande producent av kortfibrig avsalumassa och strax efter USA den näst största exportören med en tillväxttakt på mer än 20 % per år. Den biotekniska industrin i Sydamerika är nästan synonym med Brasilien och dess etanolproduktion från sockerrör. Brasiliens världsledande utveckling började tidigt i syfte att minska det interna oljeberoendet, och bilparken i landet drivs idag i stor utsträckning med etanol (40-procentig inblandning i bensinen). Industrin har skapat runt 700 000 direkta jobb och tre gånger så många indirekta arbetstillfällen. I nästa fas införs mekaniserad plantering och skördande av sockerråvaran som ersättning för ett i många fall påfrestande manuellt arbete. Det gör att dagens småskaliga destillationsfabriker i storleksordning 5 000 ton/år ersätts med storskaliga anläggningar för 400 000 – 500 000 ton/år.

## Den tekniska leverantörsindustrin

Utveckling av en underleverantörsindustri för bioraffinadertechnik innebär potentiellt stora ekonomiska värden. Utvecklingen av det vedbaserade bioraffinaderiets processer sker företrädesvis i Sverige, Finland och Nordamerika inklusive Kanada. Sverige har genom sin kvalificerade skogsindustri och forskning en huvudroll, vilket ger goda förutsättningar för en tidig och framgångsrik etablering av en svensk bioraffineringsindustri. Det innebär också att de kunskapsmässiga incitamenten finns för att en underleverantörsindustri (av kunskap och maskinutrustning) ska kunna komma till stånd. Det kunnande som finns i Sverige både avseende traditionell massatillverkning och FoU

kring bioraffinadertechnik har potential att utvecklas till en exportaffär av kunskap, projektering och kontraktstjänster av vedbaserade bioraffinaderier.

När den svenska och nordiska massa- och pappersindustrin blomstrade som mest skedde det i symbios med maskinleverantörerna. Företag som **KMW**, **Götaverken** och **Sunds Defibrator** utvecklade tillsammans med **SCA**, **Stora** och **Södra Skogsägarna** en "state of the art" teknologi i processer och maskiner mot en allt högre och effektivare förädling av skogsråvaran. Troligen bidrar det än idag till den installerade basens konkurrenskraft.

De senaste decennierna har branschen successivt gått igenom en process av konsolidering för att i dag domineras av finska (**Metso**), tyska (**Voith**) och österrikiska (**Andritz**) intressen, samt några japanska leverantörer. Det har också lett till likformighet i tekniska lösningar och prestanda.

På motsvarande sätt som den svenska leverantörs och tillverkningsindustrin gick hand i hand, utvecklas nu processtekniken tillsammans med de nya stora marknadernas aktörer. Den kapacitet som tillkommer i Asien och Sydamerika kännetecknas alltså av högsta teknik och automationsnivå.

En ännu obesvarad fråga är vilka företag som kommer att göra sig gällande på den nya marknad som sakta öppnas för bioraffinadertechnik. Den stora kapacitetstillväxten förväntas komma från fordonsbränsleproduktion. **EU:s** mål är att 10 % av bränsleförbrukningen ska ersättas med t ex etanol, det innebär 80 miljoner kubikmeter eller 400 TWh. **SEKAB** har i en beräkning gjort antagandet att om en bioraffinaderianläggning producerar 100 000 kubikmeter, dvs 0,6 TWh och investeringarna per anläggning är (beroende på teknik) mellan 800 miljoner kr och 2 miljarder kr, så skulle det innebära ett investeringsbehov på mellan ca 500 – 1 200 miljarder kr i byggnader och maskinutrustning. Europa beräknas utgöra en sjättedel av världsmarknaden. Det finns alltså god anledning att verka för att en svensk maskin- och kunskapsindustri utvecklas gynnsamt.

För aktörer som traditionellt inte varit teknikleverantörer, men som har intressen i de produkter som ett bioraffinaderi kan leverera, kan det innebära nya öppningar. Exempel på detta är **BASF** (kemikalieleverantör till massaindustrin) och samarbetet med **STFI-Packforsk**. Andra exempel är **Nippon Paper Chemicals** och **Domsjö, Processum** och **InfraLeuna**.



## Andra aktörer (fordonsindustri, kemisk industri, textilindustri)

En ekonomisk omställning där biobaserad teknik kompletterar eller inom vissa områden ersätter något så centralt som olja och petroleumprodukter, kommer att påverka mer än enstaka näringsgrenar och samtidigt skapa opinion och debatt då de ekonomiska intressena är avsevärda.

Det mest uppenbara exemplet just nu är etanol. Den vällovliga ambitionen att minska klimatpåverkan kontrasteras av beskyllningar för att bidra till svält genom att landtyor lämpliga för matproduktion trängs undan, alternativt att ätliga grödor jäses till sprit. Det finns alltså anledning att lyfta fram det vedbaserade bioraffinaderiets fördelar då det inte kan beskyllas för att påverka livsmedelsförsörjningen och samtidigt, i en genomtänkt produktionsprocess, kan vara ett energieffektivt, miljövänligt och ekonomiskt alternativ till oljebränslen.

En annan kritik är att den totala miljöeffekten – inbegripet förorenande jordbruksmetoder och varutransporter – inte alls är positiv. Produktion baserad på ved är även ur dessa synpunkter att föredra då skogsbruk generellt använder betydligt mindre kemikalier och den höga bulkdensiteten på ved gör transporterna effektiva.

Dessa skäl gör att man kan förvänta sig att den petrokemiska industrins intresse för cellulosabaserade produkter ökar. Som nämnts finns ett engagemang för att skynda på utvecklingen av andra generationens bränslen: i stort sett alla de stora oljebolagen har samarbeten med skogsägarintressen eller massaindustrin.

Ekonomi och politik drar åt samma håll och målet är att skapa en ny industriell infrastruktur för produktion av bränslen och kemikalier. Amerikanska **Weyerhaeusers** allians med **Chevron** ska leda till att en stor del av tillkommande behov av fordonsbränslen i USA ska täckas av produktion från det nya gemensamägda bolaget **Catchlight Energy**. I sammanhanget ska nämnas att svenska **STFI-Packforsk** sedan flera år har ett etablerat kunskapsutbyte kring tekniklösningar med Weyerhaeuser.

Andra exempel som nämnts är **UPM:s** och **Stora Ensos** projekt för biodiesel. **Stora Ensos** samarbete med **Neste Oil** för slutlig raffinering och marknadsföring av bio-bränslen. **Norske Skog** och **Norsk Hydros** gemensamma studie av biodieselproduktion är ytterligare ett exempel.

**Preem**, **Sveaskog** och **Södra** engagerar sig när svenska **SunPine** bygger en produktionsanläggning i Piteå för talloljebaserad diesel. Företagen har tecknat avtal om att förvärva ca 60 % av aktierna i **SunPine** och anläggning i Piteå gör att Sverige blir först i världen med att producera grön diesel från skogsråvara i industriell skala. Den



inledande produktionen blir 100 000 kubikmeter råtalldiesel på årsbasis, motsvarande ca 100 000 dieselfordons förbrukning vid snittkörsträckan 1 000 mil per år. **Sveaskog** och **Södra** äger råvarubasen och **Södras** massabruk kommer att leverera råvaran. Talldieseloljan tas om hand i **Preems** raffinaderier som upparbetar och maximerar produkten som drivmedel. **Preem** avser att blanda traditionell diesel med talldiesel på motsvarande sätt som etanol läginblandas i bensin. **Preem** säkrar på detta sätt långsiktig tillgång till råvaran. Andra biodieselinstitutiv är **Lantmännens** biodieselfabrik i Karlshamn som är hälften så stor. I Stenungsund byggs en anläggning som är större, 170 miljoner liter.

Steget till fordonsindustrin är inte långt och de flesta av världens biltillverkare framhåller att biobaserade bränslen, må vara etanol, metanol, dimetyleter – DME eller diesel (dock ej framställd på palmolja), är ett steg mot eller dellösning på världens oljeproblem av både knapphets- och miljökaraktär. Även här finns anledning tro att den imagekänsliga bilindustrin kommer att visa preferens för cellulosebaserade alternativa bränslen.

**General Motors** engagemang i **Coskatas** utveckling av förgasningsteknik och designade mikroorganismer för etanoltillverkning från ved och avfall är ett belysande exempel som följts upp med ytterligare ett strategiskt samarbete med **Mascoma Corp.** som utvecklar en process för etanol från cellulosa baserad på enzymteknik och mikroorganismer. Intresset förklaras bl a av att tre- av sju miljoner flexifuel fordon på amerikanska vägar kommer från GM. I Sverige har SAAB spelat en roll genom sitt motortekniska kunnande och sin marknadsföring av BioPower konceptet.

Tillsammans med en aktiv politisk agenda har det och andra initiativ bidragit till att det i dag finns dryga hundra tusen flexifuelbilar i Sverige, närmare tusen tankställen och att 20 % av nya sålda bilar är så kallade miljöbilar. Noterbart är även att det i Sverige finns uppemot sex hundra bioetanoldrivna bussar – bussar som går på E95, dvs utan bensin men med några procent tändförstärkande ämnen.

I vidare bemärkelse kan nya material baserade på biofiber spela en stor roll inom fordonsindustrin, Ford har till exempel sedan 2000 använt polypropylen och kenaffiberkompositer för interiöra dörrpaneler på flera bilmodeller och de flesta biltillverkare har något exempel på detaljer som innehåller kompositmaterial från växtriket. Växtfibern är böjlig, splitterfri och därför hållbar, men framförallt har den goda viktegenskaper (5–10 % bättre än glasfibermaterial). Viktoptimering är en av bilindustrins stora utmaningar i ambitionen att sänka förbrukning och utsläpp.

**John Deere** använder i vissa traktormodeller kompositer där resiner baserade på sojaolja ersätter konventionella bindmedel. Sådana kompositer skulle kunna vara 100 % biobaserade om till exempel glasfiber ersätts med naturliga växtfibrer.

Generellt sett kommer bränsle att bli den första stora produkten från bioraffinaderier, men när infrastrukturerna är på plats finns möjligheterna att även tillverka volymkemikalier (dvs miljontals ton per år) som bensen och fenoler. Det innebär även att den kemiska industrin vill ha god beredskap för ett skifte till en biobaserad råvarubas. **BASF** söker till exempel aktivt partners för att på motsvarande sätt som sker inom bränsleindustrin, bygga industri-, kunskaps- och råvarustrukturer. Det annonserade samarbetet med **STFI-Packforsk** är ett exempel på hur **BASF:s** nya bioraffinaderigrupp arbetar med allianser för att förstå de nya och nödvändigt storskaliga, råvaruströmmarna baserade på biomassa.

**BASF** är inte ensam: även **Dow Chemicals**, **DuPont**, **Akzo Nobel** har insikten om att ett skifte mot förnyelsebara råvarukällor är en fråga om *när*, inte *om*. **DuPonts** uttalande mål till 2010 är att 25 % av företagets affärsintäkter skall vara baserade på förnybara resurser.

Överlag blir det allt tydligare att skogsindustrin och den petrokemiska industrin bjuder upp varandra i syfte att hitta den rätta partnern i uppbyggnaden av en grön industri – och det sker nu.

Inom textilindustrin har, som tidigare nämnts, en ökad efterfrågan på Rayon och därmed stigande priser på dissolvingmassa kunnat observeras. Orsakerna är ökad efterfrågan i Kina men troligen också större medvetenhet om bomullsodlingens stora förbrukning av jordbrukskemikalier och insektsgifter. Att ersätta petroleumbaserade konstfibrer med växtbaserade är en tydlig utvecklingsinriktning. Till exempel är Ingeo ett varumärke för den första kommersiellt tillverkade konstfibern baserad helt på årligen förnybara resurser (majs). Processen för att tillverka Ingeo använder kol och andra ämnen som finns naturligt lagrad i plantan genom fotosyntes, i en jäsnings och separeringsprocess skapas biopolymerer som sedan kan extruderas och spinnas för att ingå i textilier.

**DuPont** och **Tate & Lyle** har påbörjat tillverkning av en polymer (Sorona) i Loudon, Tennessee som framställs genom liknande processer med majs som utgångsråvara. Produkten kan användas i klädesplagg, mattor och andra textilier, och ger ett högre utbyte och lägre kostnad jämfört med oljebaserade råvaror.

## Råvarumarknaden

I ett globalt perspektiv går ungefär 45 % av världens totala vedförsörjning till massaindustrin, med koncentration till de gamla industriländerna där Nordamerika och Europa tillsammans förbrukar ca 70 %. Naturligt nog är Indonesien, Kina, Brasilien, Argentina och Chile i stark expansion och tar en ökande del av det globala virkesflödet. Den globala massaindustrin har genom certifiering och spårningssystem en god kon-

troll över råvarufångsten och enligt **AF&PA** kan endast 2 % av massaveden i världen hänföras till kategorin ”illegal logging”.

#### Fakta om skogsindustrin

- 728 miljoner kubikmeter ved används för massaproduktion globalt
- Ca 38 % av veden kommer från plantage
- 64 % är långfibriga träslag (soft wood) och 36 % kortfibriga (hard wood)
- Tillväxten i världen mellan 1993 och 2004 motsvarade 18 %, vilket var 111 miljoner kubikmeter
- Sverige importerar ca 20 % av massaveden, främst från Baltikum
- Finland importerar ca 24 %, större delen från Ryssland
- 90 % av världens industriella vedproduktion kommer från 25 länder

I takt med att det globala behovet av papper kraftigt ökar blir jordens skogar en allt hetare resurs, omställningen av världens energisystem kommer att ytterligare spetsa till frågan om tillgång och efterfrågan. Men tillgången på biomassa kommer inte att räcka för att uppnå **EU:s** bioenergimål om 10 % av alla bränsleslag till år 2020. Det saknas så mycket som 200–260 miljoner kubikmeter råvara visar en rapport som **McKinsey** har gjort på uppdrag av den europeiska skogsindustrin.

Tillgängligheten av skogsresurser är emellertid inte bara en fråga om tillgång utan även om betalningsförmåga. I dagsläget har etanoltillverkning låga lönsamhetsmarginaler och framstår inte som någon omedelbart konkurrent till massaindustrin. Istället är kraftvärmesektorn ett betydligt starkare hot. Styrmedel såsom koldioxidskatt och elcertifikat har bidragit till att kraftvärmeverken idag har en betalningsförmåga som ligger i nivå med massaindustrins. Samtidigt har det lett till att bioenergianvändningen i Sverige är den högsta i Europa och har ökat från dryga 10 procent under 1980-talet till närmare 19 procent (eller 116 TWh) av Sveriges totala energianvändning år 2006. Merparten av ökningen kan hänföras till fjärrvärmeverken.

Om det är så att kraftvärme har en artificiell lönsamhet som gör att investeringar i biobaserade material och kemikalier åsidosätts, förgås chansen att utveckla affärsverksamhet med ett högre förädlingsvärde. I så fall är det fråga om vilka politiska mål som prioriteras och hur styrmedel utformas.

Idealt borde rimligen biomassorna först användas för produktion av ”gröna” material och kemikalier och först när det inte är möjligt att ytterligare cirkulera/återanvända dem, användas som bränsle. I en lång värdekedja av trä och fiber, kemikalier, energi och ”koleffektivitet” skapas teoretiskt maximalt värde, men det ska också ställas i relation till investering i FoU och anläggningskapital och kostnader för alternativa energislag.

## Offentliga utvecklingsatsningar

För att utveckla bioraffinaderier är riktad forskning en nödvändighet. När det gäller kompetens och forskning kring vedbaserade bioraffinaderier kan Sverige tillsammans med Finland och USA sägas vara världsledande, och i dessa regioner har olika program formerats.

I Sverige satsar massa- och pappersindustrin årligen runt 1,7 miljarder kronor på forskning, vilket dock främst riktas mot traditionella processer. **STFI-Packforsk** utgör i många avseende ett nav i Sverige med **Chalmers**, **LTH** och **KTH** som viktiga kompetenspartners. Även **Processum** i Örnsköldsvik har en ambition att samordna forskning och affärsutveckling bl.a. med kopplingar mot **KTH**, **LTH**, **Mittuniversitetet** och **Umeå Universitet**. Projektet *Framtidens Bioraffinaderi* som drivs av **Processum** utsågs nyligen till vinnare av **VINNOVA:s** VINNVÄXT-program som identifierar starka tillväxtinitiativ i Sverige. I Finland har **VTT** en motsvarande nationell roll med **Åbo Akademi** som viktig och avancerad forskningsaktör.

**NRA** (National Research Agenda) som samordnat lagts fram av **VINNOVA**, **Skogsindustrierna**, **Energimyndigheten** och **Formas**, utgör en annan bas som täcker hela värdeförädlingskedjan, från effektivare skogsskötsel för långsiktig råvaruförsörjning, via energieffektiva produktionsprocesser till nya produktslag i form av till exempel interaktiva förpackningar, fiberbaserade kompositer och gröna kemikalier. Skogens roll som energikälla ges också framträdande betydelse, i form av grön el eller flytande biobränslen. Energiomställningen i samhället har många konsekvenser och **NRA** ger utrymme för ett tvärvetenskapligt perspektiv och konsekvensanalyser. En del av **NRA** berör, som nämnts inledningsvis, området Bioraffinaderier.

Runt svartlutsförgasning har ett omfattande program satts upp, där ett forskningsnätverk bestående av **Luleå Universitet**, **Mittuniversitetet**, **Umeå Universitet**, **STFI-Packforsk**, **Korrosionsinstitutet** tillsammans med **Chemrec** utgör huvudparterna. Finansieringen uppgår till över 300 miljoner kr från **Mistra**, skogsindustrin, **Vattenfall**, **Volvo** och **Energimyndigheten**. I centrum står en demonstrationsanläggning i Piteå.

Parallellt sker också forskning kring nya biomassebaserade material. Vid **Biofibre Materials Centre – BiMaC** vid **KTH**, arbetar svenska forskare med att ge träråvaran helt nya egenskaper, bland annat med hjälp av nanoteknologi. Visionen är att skapa nya och förbättrade träfiberbaserade produkter genom bl a att använda nya ytmodifieringsteknologier. Pengar kommer främst från **Skogsindustrierna** som satsat 60 miljoner kr.

I Örnsköldsvik finns en pilotanläggning för produktion av cellulosätanol. **Etanol-Piloten i Sverige AB (EPAB)** är ägare till pilotanläggningen. **EPAB** ägs av universitetet i Umeå och Luleå genom respektive holdingbolag samt till en mindre del av

**SEKAB E-Technology.** Investeringen har finansierats av **Energimyndigheten** (112 miljoner kr), **Europeisk Regionala utvecklingsfonden** (25 miljoner kr) och näringslivsintressen (11 miljoner kr) – alltså en total finansiering på 148 miljoner kr. Kostnaden för drift och utvecklingsarbete uppgår till ca 20 miljoner kr per år och finansieras med såväl företagsmedel som offentliga medel (**Energimyndigheten, EU:s ramprogram, EU:s regionala fonder, MISTRA**).

Under ledning av **AF&PA** drivs ett stort och mycket ambitiöst nationellt program kallat *Agenda 2020* som samlar industrin, myndigheter och forskning i USA mot en vida-reutvecklad och konkurrenskraftig skogsindustri. Det är således en bred agenda som avser att finna nya teknikbaserade affärsmodeller. Bland de viktigare plattformarna finns

- Advancing the Forest Biorefinery:
- Nanotechnology for the Forest Products Industry:
- Next Generation Fiber Recovery and Utilization
- Sustainable Forest Productivity
- Technologically Advanced Workforce:

Generellt sätt är den amerikanska energimyndigheten, **DoE**, mycket aktiva inom fram-förallt etanolprojekt och stödjer bl a genom garantier på \$ 385 miljoner sex pågående bioraffineringsprojekt baserade på ved, grödor, biomassa- och övrigt avfall.

1. Abengoa Bioenergy Biomass of Kansas, LLC of Chesterfield, Missouri, upp till \$ 76 miljoner. Anläggningen kommer att producera ca 43 000 m<sup>3</sup> etanol årligen. Anläggningen kommer att använda ca 700 ton råvara per dag (ca 245 000 ton/y), (corn stover, wheat straw, milo stubble, switchgrass). Klarar energiförsörjningen el/värme med biprodukter.
2. ALICO, Inc. of LaBelle, Florida, upp till \$ 33 miljoner. Anläggningen kommer att producera ca 53 000 m<sup>3</sup> etanol per år och 6,255 kilowatt elkraft, liksom 8.8 tons of vätgas och 50 ton ammoniak per dag. Som råvara kommer ca 770 ton per dag till anläggningen (270 000 ton/år), ved och biomasseavfall och eventuellt ”energycane, a tall, stiff stemmed bunchgrass”.
3. BlueFire Ethanol, Inc. of Irvine, California, upp till \$ 40 miljoner. Anläggningen placeras vid en befintlig deponi och producerar ca 72 000 m<sup>3</sup> etanol per år. Som råvara skall anläggningen använda 700 ton per dag sorterad grönt avfall och ved avfall från deponier.
4. Broin Companies of Sioux Falls, South Dakota, upp till \$ 80 miljoner. Anläggningen ligger i Emmetsburg, Palo Alto County, Iowa och skall efter expansion producera ca 475 000 m<sup>3</sup> etanol per år, av vilket ca 25 procent blir cellulosa-base-

- rad etanol. Som råvara i produktionen förväntas anläggningen nyttja ca 842 ton per dag ”corn fiber, cobs and stalks”.
5. Iogen Biorefinery Partners, LLC, of Arlington, Virginia, upp till \$ 80 miljoner. Den föreslagna anläggningen byggs i Shelley, Idaho, nära Idaho Falls, och kommer att producera 68 000 m<sup>3</sup> etanol per år. Anläggningen kommer att använda ca 700 ton per dag, agrara rester inkluderande halm från vete och korn, majsstjälk, switchgrass, och ris halm som råvara.
  6. Range Fuels, tidigare Kergy Inc., of Broomfield, Colorado, upp till \$ 76 miljoner. Den föreslagna anläggningen byggs i Soperton, Treutlen County, Georgia. Produktionen blir ca 150 000 m<sup>3</sup> etanol och 34 000 m<sup>3</sup> per år metanol. Som råvara kommer anläggningen att använda ca 1,200 ton per dag av ved rester och energi skog.

Därtill gav **DoE** 2003 bidrag på \$ 125 miljoner till forskning kring användning av biomassa och **Department of Agriculture** ytterligare \$ 259 miljoner. För att stödja byggandet av demonstrationsanläggningar för bioraffinaderier ger **DoE** \$ 100 miljoner i bidrag.

#### **Advancing the Forest "Bio-Refinery"**

Transform existing manufacturing infrastructure to develop geographically distributed production centers of renewable "green" bioenergy and bioproducts. Double the return on net assets of exist-ing forest products manufacturing plants by applying technologies that extract new value prior to pulping and produce new, commercially attractive products and power from wood residuals and spent pulping liquors.

Källa: *AF&PA*

Motsvarigheten i Europa är **EU:s Forest Based Sector Technology Platform (FTP)** med dess program och nationella underprogram i form av National Research Agendas. Inom EU finns också utöver tekniskt forskningsstöd, ett initiativ som kallas *Lead Markets* som bland annat berör det biotekniska området. Mening är att stimulera framväxten av marknader som baseras på kommande (emerging) teknologier. Tanken är att dessa initiativ ska verka tvärs över myndigheter, industri och policyområden och påverka både utbuds- och efterfrågesidan genom utfästelser och garantier, investeringsstöd, skatteincentiv, konkurrensregler, offentliga inköp etc.

## Sammanfattning och slutsatser

Den här rapporten konstaterar att utvecklingen mot ytterligare förädling av vedbaserad biomassa är en affärsmöjlighet med stor potential. Satt i sitt sammanhang av en global utveckling som lett till höga energipriser, miljömässiga överväganden och behovet av bränslen, kemikalier och material som ersättning för den icke förnybara oljan, är förädling av förnybara resurser en central process i samhällsekonomin. Vedbaserade bioraffinaderier har potential att höja förädlingsvärdet av trädråvara genom att ta tillvara det som idag ses som restprodukter samt utveckla nya produkter i befintliga produktionsprocesser. En hel del processer har nått, eller är nära kommersialisering. Men det kvarstår osäkerhet och risker. Inte minst beror detta på den osäkerhet som uppstår när industrier, produkter och marknader möts på nya sätt.

Sverige har genom sin befintliga, avancerade, skogsindustri samt dess leverantörer av kemikalier, utrustning och forskning en tätposition och därmed möjlighet att ta initiativ inom området. Det finns alltså en betydande marknadspotential som kan komma att vara av stor betydelse för Sveriges ekonomi – om den förverkligas. Det beror i sin tur på ett antal faktorer:

**Helhetsperspektivet** är centralt. Sett från råvarusidan och dess optimala utnyttjande, sett från marknaden och relationen till andra industrier som redan in-tecknat många av de segment som bioraffinaderiet siktar mot samt sett ur ett produktionstekniskt perspektiv, där ett utvecklat plattformstänkande kan vara en tänkbar modell för kraftsamlande utveckling.

**Kommersialiseringen** av teknisk utveckling behöver offentligt stöd under kritiska faser, med en möjlig tyngdpunktsförskjutning av rent forskningsstöd mot demonstratorer i industriell skala. Också behovet av visioner och entreprenörer inom den traditionella skogsindustrin är avgörande faktorer för framgång.

**Ambitioner och kraftsamling** genom kvantitativa mål för till exempel bränslen/kemikalier, men framförallt genom en uttryckt vision som svarar mot den politiska behovsbilden vad gäller till exempel miljö och sysselsättning. Det är en förutsättning för en ökad uppmärksamhet för såväl offentligt som privat riskkapital. Detta skulle kunna uppnås genom att samla de kraftfält som finns runt bioraffinaderier i Sverige.

## Referenser

Världsnaturfonden WWF 2005, "Bomull – en ren naturprodukt?" samt  
[www.waterfootprint.org](http://www.waterfootprint.org)

Farmer, 2005, "Adaptable Biorefinery: Some Basic Economic Concepts to Guide  
Research Selection"

Thorp, 2004, "The Forest BioRefinery: A Partial View"

Svensk Papperstidning, nr 10, 2007

Skogsindustrierna, Pressmeddelande 070912



## Fördjupningsmaterial

Adaptable Biorefinery: Some Basic Economic Concepts to Guide Research Selection, Michael C. Farmer, Institute of Paper Science and Technology, TAPPI Fall 2005 Technical Conference, Philadelphia, PA, August 28, 2005

Agenda 2020, Integrated Forest Products Biorefineries: Agenda 2020/US Industry Vision and Strategy, Presentation to the Energy Efficiency and CO2 Emission Reductions in the Pulp and Paper Industry: Focus on Technology Systems, 9 October 2006

American Forest & Paper Association, Agenda 2020 Technology Alliance

American Forest & Paper Association, Integrated Forest Products Biorefinery, Agenda 2020 Technology Alliance American Forest & Paper Association

Axegård, P. "THE KRAFT PULP MILL AS A BIOREFINERY, STFI-Packforsk AB

Axegård, P. "Vedbaserade bioraffinaderier", Presentation vid Sundbladssymposium 2007-03-22, STFI-Packforsk AB

Axegård, P. Förprojekt bioraffinaderier, Rapport till Stiftelsen Gunnar Sundblads Forskningsfond, STFI-Packforsk maj 2007

Bioteknik Forum, "Svensk industriell Bioteknik – Nuläge, Vision och Implementering", november 2007

Bravo-Angel, A M, "The next Generation of Biorefineries", A European Technology Platform for Sustainable Chemistry

Bridgwater, T., "Fast pyrolysis based Biorefineries" Bio-Energy Research Group Aston University, Birmingham, 31 August 2005

Burel, C. "European Lead Market on Biobased products", EuropaBio Secretariat SusChem-IB

Börjesson, Pål, "Energibalans för bioetanol, Rapport 59" Lunds Tekniska Högskola 2006

Chalmers Magasin, 1999, "Mat kan vara läkande"

Chemrec, "Booster – Processes for chemicals and energy recovery from black liquor in pulp mills" 2005

Convergence of the Food, Fuel and Fibre Markets: A Forest Sector Perspective, B.C. FORUM Distinguished Lecture Series in Forest Economics and Policy, June 2007, University of British Columbia

Convergence of the Food, Fuel and Fibre Markets: A Forest Sector Perspective. B.C. FORUM Distinguished Lecture Series in Forest Economics and Policy June 2007, University of British Columbia

Culinan, H., "The Forest Biorefinery", Auburn University, May 2006

Dagens Nyheter, 2008-02-09, "Han gör drivmedel av svartlut"

Ekbom, T., Berglin, N. and Lögdberg, S., "Black Liquor Gasification with Motor Fuel Production, a techno economical feasibility study on catalytic Fischer Tropsch synthesis for synthetic diesel production in comparisons with methanol and DME as transport fuels", Energimyndigheten och Nykomb Synergetics december 2005

Ekbom, T., Berglin, N. and Lögdberg, S., "High Efficient Motor Fuel Production from Biomass via Black Liquor Gasification", Nykomb, STFI, KTH

Environmental Protection Agency, US: Introduction to the Concept Of Green Chemistry

European Commission and Industry Directorate General, CONSULTATION DOCUMENT CONCERNING INNOVATIVE AND SUSTAINABLE FOREST-BASED INDUSTRIES IN THE EU, October 2006

Europeiska Unionen, 2006, Forest Based Sector, A Bio-solution to Climate change, Bio refinery processes

Europeiska Unionen, 2006, Forest Based Sector, A strategic research agenda

Europeiska Unionen, 2006, Forest Based Sector, Annex: Extended descriptions of research areas

Europeiska Unionen, The European Technology Platform for Sustainable Chemistry: "Innovation for better future an Executive Summary"

Europeiska Unionen, The European Biofuels Technology Platform: Strategic Research Agenda & Strategy Deployment Document", January 2008

FAO, United Nations, "Forests and energy, Key issues", Rome, 2007

Gravitis, J., Vedernikov, N., Zandersons, J., Kokorevics, A., Mochidzuki, K., Sakoda, A. and M. Suzuki, "CHEMICALS AND BIOFUELS FROM HARDWOODS, FUEL CROPS AND AGRICULTURAL WASTES", United Nations University, Institute of Advanced Studies m fl.

Henriksson, M., "CELLULOSE NANOFIBRIL NETWORKS AND COMPOSITES PREPARATION, STRUCTURE AND PROPERTIES" KTH Chemical Science and Engineering, 2008

Hetemäki, L., "Forest Biorefineries: Current Status & Outlook", IUFRO Division VI Symposium, 14.-20.8.2007

Hetsch, S. "MOBILIZING WOOD RESOURCES: CAN EUROPE'S FORESTS SATISFY THE INCREASING DEMAND FOR RAW MATERIAL AND ENERGY UNDER SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT?" WORKSHOP PROCEEDINGS – JANUARY 2007, GENEVA TIMBER AND FOREST DISCUSSION PAPERS 48, UNITED NATIONS 2007

Hyttinen, A. "Biofuel outlook for the forest industry", Stora Enso

Inside Green Business USA, 2007-01-10, "New Biorefinery Model Would Link Chemical, Forestry Companies"

IVA, Energianvändning i industrin, faktarapport IVA 2002

Kamm, B. and Kamm, M. "Biorefinery – Systems", Research Institute Bioactive Polymer Systems, dec 2003

Kemivärlden – Kemisk Tidskrift nr 6, 2005 "Kemin blir grönare"

Lynd, L.R., Wyman, C., Laser, M., Johnson, D. and R. Landucci, "Strategic Biorefinery Analysis: Analysis of Biorefineries", Dartmouth College & Proforma, Inc., January 24, 2002 – July 1, 2002

MacNeill, C. "Fischer Tropsch Diesel Production Through Black Liquor Gasification", 2006 SAE WISE Intern

NRA-Sweden, En nationell strategisk forskningsagenda för den skogsbaserade näringen i Sverige, nov 2006

Palmér, C.H. "Nya värdekedjor i den nordiska skogen", sammanfattning av en förstudie initierad av Nordiska Ministerrådet, Areca Information

Processum "Framtidens bioraffinaderi med svensk skogsråvara som grund"

Saddler, J. "Back to the Future: Substituting Wood for Oil with the "Forest Biorefinery", UBC Reports, Vol. 53, No. 1, Jan. 4, 2007

Saddler, J.N. "Forest biorefining and implications for future wood energy scenarios", University of British Columbia

Saddler, J.N. "Review of global bioenergy scenarios", University of British Columbia

Lindstedt, J. SEKAB: Omvärldsanalys 2008

Skogsindustrierna, Fordonsbränslen från skogsråvara, Olika tekniker, utvecklingsstatus, kostnader och behov av skogsråvara

Skogsindustrierna, SKOGSINDUSTRIN: En faktsamling, 2006

Soetaert, W. "Success factors and differences between petrochemical and bio-refineries" Universiteit Gent

Statement for the Record U.S. Senate Agriculture, Nutrition, and Forestry Committee

STFI-Packforsk, LignoBoost – new technology that increases capacity, replaces oil and turns pulp mills into significant energy suppliers, 2007

Strengell, M., "Biofuels from forest biomass", Pöyry Magazine 2/2007

Söderqvist – Lindblad, M. "Strategies for building polymer from renewable sources", KTH Polymer and Fiber Technology, 2003

The Integrated Forest Biorefinery, EUROPEAN CONFERENCE on BIOREFINERY RESEARCH, Helsinki, 19 and 20 October 2006, Markku Karlsson UPM-Kymmene Corporation

The Path Forward for Biofuels and Biomaterials, Science vol 311, 27 January 2006

The Role of Rural America in Enhancing National Energy Security, January 10, 2007

Thorpe, B.A. "The Forest BioRefinery: A Partial View", Agenda 2020, June 2004

Thorpe, B., "Biorefinery Offers Industry Leaders Business Model for Major Change" Paperloop, Inc. Nov 2005

TOWARDS, a technology roadmap for the Canadian forest bio refinery, 2006

U.S Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Office of the Biomass Program, "Industrial Bioproducts: Today and Tomorrow, Energetics", July 2003

US Dept. of Energy and American Forest and Paper Association, "A Cost-Benefit Assessment of Gasification-Based Biorefining in the Kraft Pulp and Paper Industry", Volume 1 Main Report, 21 December 2006

US Dept. of Energy, Forest Industry Technology Roadmap, Agenda 2020, AFAP, July 2006

Uttalande om Bioenergi av Energiutskottet och Miljökommittén vid Kungl. Vetenskapsakademien, Uttalande 28 november 2007

van Heiningen, A. "Biorefinery for Ligno-Cellulosics", University of Maine Orono, ME, USA, Maine Biomass and Biofuels Conference Bangor, ME., September 21st, 2006

van Heiningen, A. and Vuorinen, T., "Innovative Forest Products Biorefinery", Helsinki University of Technology Department of Forest Products Technology, January 31, 2007

Végh, S., "The State of Biorefineries & Bioproduction in America BioBusiness America", Intermediate Results Overview Tekes BioRefine Seminar Helsinki, May 29, 2007

Wood for Paper: Fiber Sourcing in the Global Pulp and Paper Industry, Wood Resources International, LLC December, 2007 Rev.

WWF, "The Forest Industry in the 21st Century"

Ylitalo, M., "Liquid Biofuels for Traffic: A Pulp and Paper Company's View", UPM-Kymmene Corp, June 2007

Zakreski, S. "The Great Wall of Wood: China and the Global Wood Market", Metafore 2004

Zwart, R.W.R., "Biorefinery, The worldwide status at the beginning of 2006, Biorefinery.nl 06-03

ÅFORSK – Ångpanneföreningens Forskningsstiftelse, "Slutrapport: Förutsättningar för etanolproduktion från skogsråvara i Sverige", 2007

Svensk exportindustri har en stor och växande betydelse för den svenska välfärdsutvecklingen. Företagens framtida konkurrenskraft och positioner på globala marknader kommer att vara avgörande för deras lönsamhet och därmed också för sysselsättningen och tillväxten i Sverige. Rapportserien Framtida tillväxtområden för Sverige beskriver svenska företags roll i framväxande globala tillväxtområden. Det är områden som karaktäriseras av stor osäkerhet och av en öppenhet där nya aktörer samverkar och nya konstellationer växer fram.

Projektet drivs av Blue Institute, en tankesmedja med fokus på strategi och tillväxtfrågor grundad av Mercuri Urval, och finansieras av VINNOVA. Den här fördjupningsstudien om vedbaserade bioraffinaderier är en del i en serie studier av utvecklingsområden som prioriteras av näringslivet själva, där företagsledningarna engagerats och identifierat utvecklingsprojekt som är kommersiellt gångbara inom 2-5 år.

ISSN 1651-355X, ISBN 978-91-85959-52-5

