

# Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 854–2014

## Nya produkter från skogsråvara – En översikt av läget 2014

New products from wood raw material  
– Status report 2014

Birgit Backlund, Innventia och Maria Nordström, Skogforsk

# Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 854–2014

I Arbetsrapporter redovisar Skogforsk resultat och slutsatser från aktuella projekt. Här hittar du bakgrundsmaterial, preliminära resultat, slutsatser och färdiga analyser från vår forskning.

## Titel:

Nya produkter från skogsråvara  
– En översikt av läget 2014.  
New products from wood raw material – Status report 2014.

## Bildtext:

Översikt av potentiella nya skogsbaserade produkter.

## Ämnesord:

Bio-based fuels, materials and chemicals, new cellulosic products, pyrolysis, gasification, lignin.

## Redigering och formgivning:

Ingegerd Hallberg

© Skogforsk 2014

ISSN 1404-305X



**SKOGFORSK**

Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala

Tel: 018-18 85 00 Fax: 018-18 86 00

skogforsk@skogforsk.se

skogforsk.se



**Birgit Backlund**, Tekn. Lic. Birgit Backlund är Senior Research Manager på Innventia. Hon har kemiteknisk bakgrund från KTH och specialområde kemisk massa och bioraffinaderi. Leder för närvarande programmet "Biorefinery Processes and Products" som finansieras av sju europeiska skogsföretag och Energimyndigheten.



**Maria Nordström**, TeknLic. Jobbar med frågor kring virkesvärde på Skogforsk. Fokus ligger på utveckling av dimensionsmätning i skördare, kvalitetssäkring samt användning av skördar-data.

## Abstract

### New products from wood raw material

Increasing focus on reducing greenhouse gas emissions, in combination with rising costs of using fossil raw materials and declining demand for printing and writing paper, is making wood an increasingly attractive feedstock for a wide range of bio-based fuels, materials and chemicals.

Lignin in the black liquor from pulp cooking currently has the greatest potential for refining into new products from the forest industry. Another by-product from the pulp process, tall oil, has long been used as raw material for chemicals and, as a result of subsidies for biofuels, now also as a raw material for biodiesel. Another product group with potential as feedstock for new products is the range of forest fuels from logging activities.

Research and development activities that could result in commercial applications within a decade involve new types of processing, for example production of bio-oil from primary forest fuels by pyrolysis, extraction of bio-active substances from bark, and processing of lignin and hemicellulose from pulp mill waste streams.

# **Nya produkter från skogsråvara**

## **En översikt av läget 2014**

*Birgit Backlund<sup>1</sup>, Maria Nordström<sup>2</sup>*

Innventia Rapport nr. 577  
november 2014

<sup>1</sup>Innventia, <sup>2</sup>Skogforsk

## **Förord**

Denna rapport har sammanställts i samarbete mellan Innventia och Skogforsk.

Projektet har finansierats av Energimyndigheten samt energi- och skogsbranschen genom FoU-programmet "Effektivare skogsbränslesystem", ESS, 2011-2014.

## Innehållsförteckning

	Page
1 Sammanfattning.....	1
2 Inledning.....	3
2.1 Bakgrund.....	3
3 Skogsindustrins materialflöden .....	4
3.1 Krav på råvaror för vidareförädling .....	5
3.2 Kemiska massabruk.....	5
3.3 Mekaniska massabruk .....	7
3.4 Slam från massabruk .....	7
3.5 Skogsbruket .....	8
3.6 Sågverk .....	9
4 Cellulosaprodukter .....	9
4.1 Textilcellulosa.....	9
4.2 Annan specialcellulosa .....	9
4.3 Nanocellulosa.....	9
5 Ligninprodukter .....	10
5.1 Utvinning av lignin från massabruket.....	10
5.2 Lignin från etanoltillverkning .....	12
5.3 Ligninprodukter .....	13
5.4 Biobränsle .....	13
5.5 Bindemedel i bränslepellets .....	14
5.6 Biodrivmedel .....	14
5.7 Vägbeläggning .....	15
5.8 Komplexbildare för t ex jordförbättring .....	15
5.9 Kompositer med cellulosa .....	15
5.10 Fenoler och andra aromater .....	16
5.11 Fenolhartser .....	16
5.12 Fast skum.....	17
5.13 Komponent i termoplaster.....	17
5.14 Kolfiber .....	17
5.15 Aktivt kol.....	20
5.16 Material i bränsleceller .....	21
6 Hemicellulosaprodukter .....	22
6.1 Utvinning av hemicellulosa från massabruket .....	22

6.2	Hemicellulosaprodukter .....	23
6.3	Fiber- och pappersadditiv .....	24
6.4	Barriärmaterial i förpackningar .....	25
6.5	Hydrogeler.....	25
6.6	Fast skum.....	27
6.7	Blandningar av hydroxysyror .....	27
6.8	Furankemikalier.....	28
6.9	Socketprodukter.....	28
6.10	Socket för biokemisk omvandling .....	28
7	Produkter från bark .....	29
7.1	Suberin .....	29
7.2	Betulin .....	29
7.3	Tanniner och andra polyfenoler .....	29
8	Produkter från tallolja .....	30
8.1	Kemikalier .....	30
8.2	Biodiesel.....	30
9	Fasta biobränslen .....	31
10	Biodrivmedel och biokemikalier.....	32
10.1	Biobränslen m m via pyrolys .....	33
10.2	Biodrivmedel m m via förgasning.....	35
10.3	Etanol m m via biokemisk omvandling.....	37
11	Slutsatser.....	46
12	Omräkningsfaktorer .....	49
13	Ordlista .....	49
15	Referenser.....	51
16	Uppgifter för Innventia databas .....	61

## 1 Sammanfattning

Ökande kostnader för att använda fossila råvaror och vikande efterfrågan på skriv- och tryckpapper p g a övergången till digitala media gör att träd blir en allt intressantare råvara för ett brett spektrum av biobaserade bränslen, material och kemikalier. Denna rapport sammanställer översiktligt läget och trender i Sverige och omvärlden när det gäller utvecklingen av och marknaden för nya skogsbaserade produkter. Såväl skogens som massabrukens biprodukter har granskats, se översikt i *figur 1*.

Organisk vedsubstans i svartlut från sulfatmassakokning är idag den största biproduktströmmen från skogsindustrin. En annan stor produktgrupp med förädlingspotential är skogsbränslesortiment från skogsavverkning. Biprodukten tallolja från massatillverkningen används sedan länge som råvara för kemikalier och – till följd av subventioner för biodrivmedel – numera även som råvara för biodiesel.

Den organiska substansen i svartlut används normalt som internt bränsle i massafabriken. Ökande energieffektivitet har gjort att moderna massafabriker inte behöver använda all energi i svartluten. En metod för förädling av svartlut har kommersialiserats: den svenska LignoBoost-tekniken för utvinning av lignin, den dominerande vedkomponenten i svartlut. Ligninprodukten används än så länge endast som energirikt biobränsle för industriella anläggningar.

Förgasning av svartlut till syntesgas (metan och koloxid) är en teknik som är färdig för kommersialisering. En demoanläggning i Sverige framställer DME, ett gasformigt biodrivmedel för dieselmotorer, ur förgasad svartlut.

Skogsbränslesortiment i form av grenar och toppar (grot), stubbar och klena träd från gallring kan upparbetas genom termokemisk omvandling (pyrolys eller förgasning) eller biokemisk omvandling (fermentering). De industriella satsningarna f n går den termokemiska vägen. En fullskaleanläggning för pyrolys av grot har startats i Finland. Pyrolysoljan ersätter där tung eldningsolja i ett kraftvärmeverk. Demoanläggningar för förgasning av vedråvara har startats i Piteå (bränsle till kraftvärmeverk) och Göteborg (naturgasersättning).

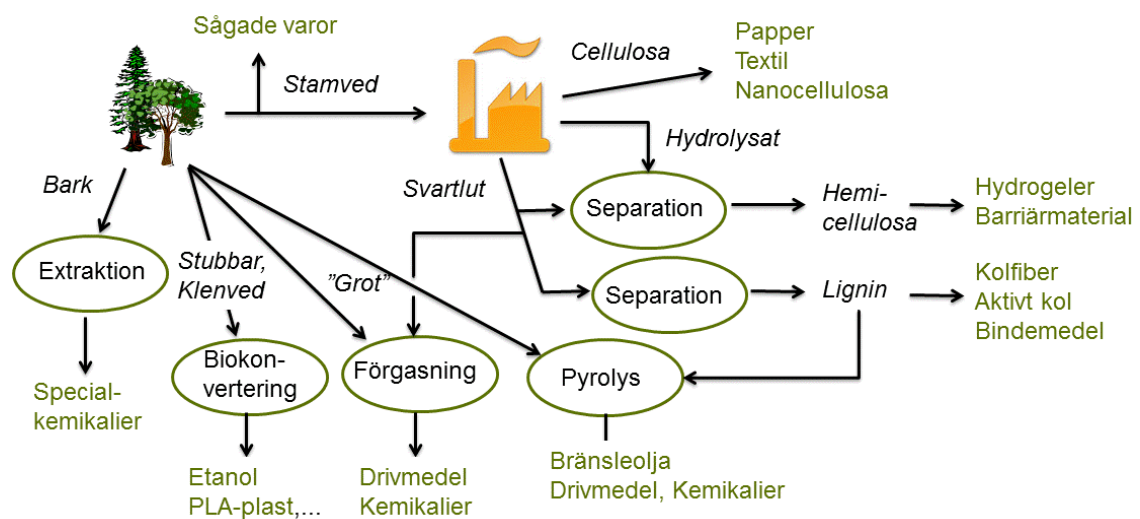
Den biokemiska vägen för vedupparbetning till etanol m m har utvecklats fram till pilotskala, men har ännu inte nått ekonomisk lönsamhet. Biokemiska metoder är generellt känsligare för råvaruegenskaper än termokemiska processer. Önskvärda egenskaper hos ved för biokonvertering är låg halt av lignin, extraktivämen och askämnen (metaller m m). Hemicellulosan har gynnsammare sockersammansättning i barrved än i lövved. För biokemiska metoder såväl som termokemiska eftersträvas små variationer i råvaran.

Lignin som separeras ur svartlut kan – ännu endast på laboratorie/pilotskalestadiet – omvandlas till mer värdefulla produkter än fast biobränsle. Pyrolysolja från lignin har potential att upparbetas till drivmedel t ex i ett oljeraffinaderi. Kolfiber av mellan-kvalitet för tillverkning av lättare, mer bränslesnåla fordon är en möjlig högförädlad produkt under utveckling. Aktiva kolfibrer, d v s aktivt kol i form av fibrer, för t ex lagring av vätgas i bränsleceller är en annan intressant applikation på gång.

Hemicellulosa, den största vedkomponenten efter cellulosa och lignin, kan utvinnas ur svartlut (endast xylan, d v s lövvedshemicellulosa) eller förhydrolysat (endast massabruk som tillverkar textilcellulosa). Ingen av de metoder som utvecklats för utvinning av vedhemicellulosa har ännu kommersialiserats. Konkurrerande råmaterial är hemicellulosa från billiga jordbruksbiprodukter och, för en del av de tänkbara applikationerna, även stärkelse. Intressanta användningsområden för hemicellulosa är hydrogeler för bl.a. livsmedel och medicin samt som barriärmaterial i förpackningar.

Bark innehåller biokemiskt aktiva extraktivämnen som kan ha ett högt värde inom medicin, hälsokost eller kosmetika, även om volymerna är små. Björkbark är rik på suberin och betulin, medan granbark är en möjlig källa till polyfenoler.

Även för vedcellulosa – som är huvudprodukten idag från massabruket – finns möjligheter till nya produktområden bortom papper, kartong och fluff. Mikrofibrillär cellulosa, även kallad nanocellulosa, tillverkas nu i pilotskala, men är fortfarande dyr att framställa. Mikrofibrillerna har extremt hög styrka och stor yta vilket ger en mängd möjliga användningsområden, t ex armering av plaster eller som superabsorbent. Textilcellulosa är en nygammal produkt som i mitten på 1900-talet tillverkades i sulfitfabriker. Bomullens prisbild och miljöfrågetecken gör nu att sulfatmassabruk konverteras till textilcellulosa med ny processteknik.



Figur 1. En översikt av aktuella huvudspår när det gäller utveckling av nya produkter från skogsbruk och kemiska massabruk.



## 2 Inledning

Denna rapport ingår i projektet ”Nya produkter från skogsråvara – en översikt och framtidsspaning” inom FoU-programmet "Effektivare skogsbränslesystem" (ESS) 2011-2014 som koordineras av Skogforsk och finansieras av Energimyndigheten samt energi- och skogsföretag.

Syftet med denna framtidsspaning har varit att översiktligt sammanställa läget och trender i Sverige och omvärlden när det gäller utvecklingen av och marknaden för nya skogsbaserade produkter. Såväl skogens som massabrukens biprodukter har granskats. Målgruppen är i första hand tjänstemän och skogliga ledningsgrupper inom skogsbruket.

Marknads- och prisuppgifter är – när ingen referens uppges – uppskattningar baserade på flera källor.

### 2.1 Bakgrund

Marknaden för papper och andra skogsbaserade produkter är under kraftig förändring. Några viktiga trender:

1. Ändrade läsvanor p g a digital teknik minskar efterfrågan på skriv- och tryckpapper.
2. Dyrare bomull p g a att tillgången på mark lämplig för odling inte längre kan möta efterfrågan och fokus på bomullsodlingens miljöpåverkan gör textilcellulosa intressant igen.
3. Miljölagstiftning, subventioner och konsumenttryck som gynnar biobaserade produkter.

En viktig bakgrund till punkt 3 ovan är den globala uppvärmningen orsakad av ökande halter växthusgaser är ett viktigt motiv för att utveckla biobaserade bränslen och material. I EUs klimatmål ingår att till år 2020:

- höja andelen förnybar energi till 20 procent av all energikonsumtion (27 % till år 2030 i nytt förslag)
- höja andelen biobränsle för transporter till 10 procent

När det gäller bränslen och energipriser så ger den nya utvinningen av skiffergas i USA en konkurrensfördel till Nordamerika, *tabell 1*. Europa kommer att ha den dyraste fossila råvarubasen i världen. Detta gör det ännu viktigare för Europa att ta fram konkurrenskraftiga biobränslen.

Tabell 1. Industriella priser på fossilgas och elenergi (Browne 2014).

	Fossilgas SEK/GJ	El SEK/MWh
<b>Nordamerika</b>	42	340
<b>Europa</b>	120	1 300

Dessa faktorer samverkar till att göra det intressant för skogsindustrin att finna nya produkter från vedråvaran. Speciellt intressant är biprodukterna från de kemiska massabruken. De stora flödena av svartlut från kokningen av vedflis kan förädlas till biodrivmedel, kemikalier och material i bioraffinaderier. Sulfatfabriker som ställer om tillverkningen från pappersmassa till textilcellulosa har ytterligare en stor biproduktström i form av ett förhydrolysat.

Mycket forskning och industriella satsningar har också satts igång på området de senaste åren. Ett par exempel:

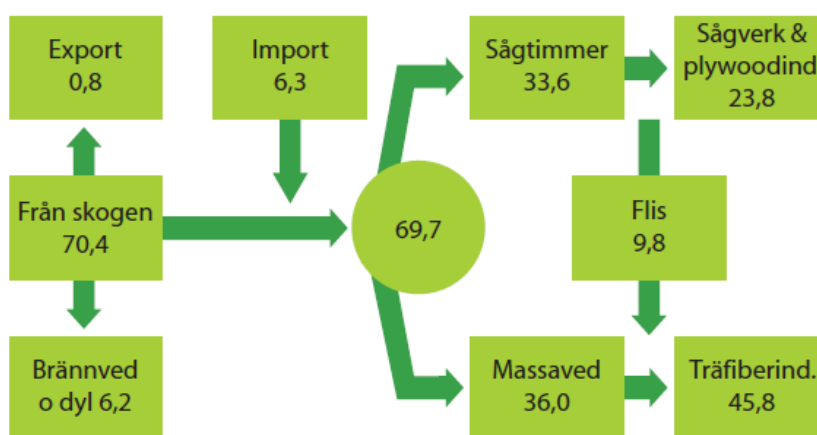
- I april 2014 offentliggjorde Metsä Fibre satsningen på “nästa generations biproduktfabrik” för 1.3 miljarder EUR i Äänekoski, Finland. Anläggningen ska tas i drift 2017 (efter slutgiltigt investeringsbeslut 2015) och förutom 1.3 Mt massa per år producera bioenergi och ett antal andra bioprodukter (med ännu ej offentliggjord teknik) från barrved.
- I maj 2014 offentliggjorde Statkraft och Södra en avsiktsförklaring om att etablera en produktion av biodrivmedel (med ännu ej offentliggjord teknik) baserad på skogsråvara vid den tidigare massafabriken i Tofte i Hurum, Norge.

### 3 Skogsindustrins materialflöden

De två stora produktområdena för svensk skogsindustri idag är sågade trävaror samt massa och papper, *figur 2*. Biproduktflöden som kan förädlas finns framför allt i massabruken men även i skogsbruket och sågverk.

#### Skogsindustrins virkesförsörjning 2012

Miljoner m<sup>3</sup>fub \*



\* Fasta kubikmeter under bark

Figur 2. Flöden av material från skogen i Sverige (Skogsindustrierna 2013).

Vedens huvudsakliga beståndsdelar är cellulosa, lignin och hemicellulosa (främst xylan och glukomannan), *tabell 2*.

Tabell 2. Typisk kemisk sammansättning (vikt-%) hos några vedslag och jordbruksgrödor.

	Softwoods		Hardwoods				Wood residues	Agro/annual	
	Spruce	Pine	Birch	Aspen	Euc. glob.	Euc. uro/gr		Hemp	Bagasse
Cellulose	44	44	45	50	51	50	37	44	44
Lignin	27	28	23	23	24	29	28	25	22
Xylan	9	8	26	20	21	16	24	29	28
Glucomannan	19	18	3	4	4	3	6	2	2
Extractives <sup>1</sup>	1	2	3	2	< 0.5	< 0.5	5	1	5

1. Analysed on dried samples.

### 3.1 Krav på råvaror för vidareförädling

Kraven på egenskaper hos de skogsprodukter som ska förädlas vidare beror givetvis på processer och produkter i förädlingskedjan. Förutom lågt pris så är renhet och jämnhet oftast viktiga egenskaper. Vedmaterial bör vara rent från sten, jord och bark. Det är ofta önskvärt att procesströmmar från massabruk har låga halter av metaller och andra oorganiska ämnen ("aska"). Ibland är låg variation i egenskaperna viktigare än nivån, eftersom processer ofta kan anpassas till en viss nivå föroreningar men kan ha svårt att klara variationer.

I många processer är låg fukthalt hos biomassan önskvärt. Om materialet behöver torkas kan en integrering med ett kemiskt massabruk vara fördelaktigt genom att överskottsvärme från bruket kan användas för torkning.

För fast material som vedflis och lignin kan partikelstorleken vara viktig, dels för kemiska reaktioner och dels för lagring och hantering. Förfördelning kostar energi, men kan ge en fördel i form av högre reaktionshastighet i vidare kemiska omvandlingar. En mindre partikelstorlek kan dock göra materialet besvärligare att lagra och mer lättantändligt. (Joelsson 2014)

### 3.2 Kemiska massabruk

Kemisk massaframställning är inriktad på att ta bort vedens lignin men lämna cellulosan och den huvudsakliga delen av hemicellulosorna intakta i vedfibrerna. Eftersom massautbytet endast är ca 50 % i kemiska massaprocesser finns det stora mängder organiskt material i relativt hög koncentration i kokluten, *tabell 3*. Svartluten består av ett stort antal – mer eller mindre nedbrutna – komponenter som förekommer naturligt i träet. Dessutom innehåller luten kokkemikalier som återvinns via indunstning och förbränning av luten.

Tabell 3. Exempel från Innventia på halter och mängder av utlöst vedsubstans i svartlut från sulfatkokning av barrved

	Halt (g/l)	Andel av ingående ved (vikt-%)
Lignin	74.2	25
Kolhydrater (främst hemicellulosa)	6.2	20
Extraktivämnen	0.5	1.5

De enorma volymer ved som passerar massabruken innebär att sidoströmmarna är en potentiell stor källa till biokemikalier och biobränslen, *tabell 4*.

Tabell 4. Producerade mängder primärprodukter i Europas massafabriker. (Suurnäkki 2014)

Produkt	Producerat / Utnyttjat 2007 (kt)	Applikationer 2008
Massa	28 000 / 28 000	Papper, förpackningar
Lignin	14 000 / <5	Bränsle, kemikalier
Hydroxysyror	7 500 / 0	Inga
Hemicellulosa: xylan, glukomannan	2 000 / 0	Inga
Myrsyra, ättiksyra	3 500 / 0	Inga
Extraktivämnen	1 500 / 500	Talolja, terpentin

Det finns två huvudsakliga processer för kemisk massa: sulfat(kraft)- och sulfitkokning. Sulfatkokning är den dominerande processen, medan mindre än 10 % av den kemiska pappersmassan kommer från sulfitprocesser.

Vid sulfatkokning av barrved tas terpentin och tallolja tillvara för förädling till kemikalier. Sulfitprocessernas låga pH gör att mer extraktivämnen blir kvar i massan. Lignin från sulfitprocesser (lignosulfonat) har avlägsnats och använts under flera decennier, t ex för produktion av vanillin.

I alla kemiska massaprocesser går dock merparten av lignin och hemicellulosa i kokluten ("svartluten") till indunstning och förbränning i en sodapanna för återvinning av kokkemikalier och energi i form av ånga, vilken oftast till en del används för elproduktion.

Papper och kartong är de vanligaste huvudprodukterna från kemiska massabruk, men produktionen av textilcellulosa verkar få en renässans. Tidigare tillverkades dissolvingmassa för textil och andra specialcellulosor via sulfatkokning, men ny teknik möjliggör tillverkning av dissolvingmassa även via sulfatprocessen. Då inleds behandlingen av vedflisen med en förhydrolys där hemicellulosa löses ut. Förhydrolysaten är alltså en ny tänkbar råvara för utvinning av hemicellulosa (Dahlman m fl 2009).

### 3.3 Mekaniska massabruk

Mekanisk massa framställs genom mekanisk bearbetning (malning) av ved. Slipmassa framställs genom nedslipning av hela stockar och termomekanisk massa (TMP) genom malning av flis i närvaro av ånga. I CTMP-processen (kemitermomekanisk massa) tillsätts dessutom natriumsulfid.

90-97 % av vreden blir pappersprodukt. Återstoden (max ca 90 kg/ADt massa) består huvudsakligen av extraktivämnen och lättlösliga kolhydrater, främst glukomannan eftersom vedråvaran utgörs av barrved. Detta material går till största delen med processvattnet till vattenrecipient efter rening. Processvatten från mekaniska massabruk är en möjlig källa till hemicellulosa, men koncentrationen är låg vilket skulle göra utvinning dyr. TMP-processvattens innehåll av glukomannan motsvarar 1-2 % av vedens vikt (Persson och Jönsson 2010). Koncentrationen av hemicellulosa i TMP-vatten är ca 1 g/l (att jämföra med ca 6 g/l i svartlut från sulfatkokning). Det innehåller dessutom ca 0.6 g/l lignin. Den huvudsakliga metodik för isolering som har använts i laboratorie- och pilotskala koncentrerar glukomannan med ultrafiltrering i flera steg följt av selektiv utfällning.

### 3.4 Slam från massabruk

Andra biproduktströmmar från kemiska och mekaniska massabruk (ibland med integrerade pappersbruk) som innehåller organiskt material är fiberslam, kemslam (från kemisk rening av avloppsvatten) och bioslam (från biologisk rening av avloppsvatten). Från returpappersanläggningar kommer dessutom avsvärtnings slam. Totalt producerar massa- och pappersindustrin ca 380 000 t (TS) slam per år, *tabell 5*.

De låga halterna av vedämnen i dessa strömmar (60-80 % vattenhalt) gör dem ofta besvärliga att upparbeta. De kan dessutom ha hög askhalt från t ex fällningskemikalier eller fyllmedel. Vanligtvis förbränns slammet i biobränslepanna eller används som täckningsmaterial för deponier som eller jordförbättring. Nya idéer finns dock och försök har gjorts i demoskala med att odla mikroorganismer i fiberslam för användning som fiskfoder, se avsnitt 10.3.5. Fiberrika slam är dessutom en intressant källa till nanocellulosa (Jonoobi m fl 2012). Energiförbrukningen är lägre och utbytet högre jämfört med utvinning av nanocellulosa ur trä eller kemisk massa (Karlsson-Ottosson 2012).

Tabell 5. Slammängder och medelvärde för TS-halt inom svensk skogsindustri (pappers- och massabruk) år 2010 (Henriksson m fl 2012)

Typ av slam	Mängd (ton TS/år)	Medelvärde TS-halt (%)
Fiberslam	125 000	30
Kemslam	30 000	40
Bioslam	55 000	25
Avsvärtningslam	170 000	60
<b>Summa</b>	<b>380 000</b>	

### 3.5 Skogsbruket

Idag tas ca 3 Mt grenar, toppar, stubbar och klena träd till vara som biobränsle, *tabell 6*.

Tabell 6. Uttag av primära skogsbränslen direkt från skogen i Sverige 2010 (Bergström 2013).

Sortiment	MtTS/år	TWh/år
Grenar och toppar (grot) från slutavverkning	1.67	8.9
Bränsleved (t ex vrakad massaved)	0.98	5.2
Klena träd (från t ex sen röjning eller klen gallring)	0.49	2.6
Stubbar från slutavverkning	0.11	0.6
<b>Summa</b>	<b>3.24</b>	<b>17.3</b>

Det finns dock potential att ta till vara mer, *tabell 7*. Spännvidden i uppskattningarna beror främst på olika uppfattningar om vad som är tekniskt och ekologiskt möjligt.

Tabell 7. Potential för uttag av skogsbränsle i Sverige enligt olika källor.

Källa	Uppskattad biobränslepotential	
	Mt <sub>TS</sub> /år	TWh/år
<b>Thuresson 2010</b>	9	49
<b>Hagström 2006</b>	14	75
<b>Skogforsk 2012</b>	16	85
<b>Matisons m fl 2012; Räisenen och Athanassiadis 2012</b>	22	117

En stor potential finns i stubbar, som tas till vara i liten grad idag. Mer klena träd skulle dessutom kunna tas ut med effektivare logistik. Mer grot skulle också kunna tas tillvara, om det finns ekonomiska incitament att samla in partier som är mindre lättillgängliga ur insamlings- och transportsynpunkt.

### **3.6 Sågverk**

Ca 1.6 Mt TS sågspån produceras årligen i svenska sågverk (Hagström 2006). Materialet används främst i spånskivor och biobränslepellets. Flis och grovt spån från sågverk används även som råvara i massafabriker.

## **4 Cellulosaprodukter**

Ett sätt att möta den minskande efterfrågan på skriv- och tryckpapper är att konvertera produktionen till andra produktsegment, t ex förpackningsmaterial. Intresset ökar dessutom för specialcellulosa till t ex textil- eller nanocellulosa.

### **4.1 Textilcellulosa**

Dissolvingmassa är en mycket ren cellulosa produkt där även hemicellulosa har avlägsnats. Hittills har produktionen baserats på sulfitprocessen. Största applikationsområdet är tillverkning av textilfibrer, t ex viskos. Dissolvingmassa används också till cellofan, wettexdukar och hygienartiklar.

Den växande marknaden i Asien kombinerat med miljöaspekterna på bomullsodling (stort behov av grundvatten och bekämpningsmedel) har medfört ett nytt intresse för produktion av dissolvingmassa; nu baserad på sulfatprocessen med teknik (med förhydrolys som ett steg) som kan tillämpas i befintliga sulfatbruk. Södra som var först med denna teknik konverterade 2012 ett av sina massabruk till produktion av textilcellulosa. Idag produceras totalt ca 4 Mt massa för textil. Det utgör 4-5 % av världens textilproduktion, men textilcellulosan har potential att ta en betydligt större andel. Enligt vissa beräkningar kommer efterfrågan på textilfiber att tredubblas till 2040 (Edström 2013)

### **4.2 Annan specialcellulosa**

Andra specialprodukter kan också framställas genom modifiering av massaprocessen. I laboratorieskala har en massa som är ännu renare (>98 % cellulosa) än dissolvingmassa framställts genom förhydrolys följt av sodakokning och syrgasblekning (Karlström m fl 2014). Sodaprocessen är en industriellt etablerad kokprocess som liksom sulfatprocessen är alkalisk men inte innehåller svavel. Den används dock sällan till papperskvaliteter eftersom massastyrka och utbyte blir sämre. Efter kemisk behandling (triacytylering) kan specialmassan användas som material i LCD-skärmar. Idag tillverkas sådana av allt dyrare bomullsfibrer.

### **4.3 Nanocellulosa**

Mikrofibrillär cellulosa (MFC), även kallad nanocellulosa, kan friläggas från vanlig massa med hjälp av högt tryck, hög temperatur och starka skjuvkrafter. Helt frilagda mikrofibriller har formen av en mycket trögflytande gel. Mikrofibrillerna har högt

längd-breddförhållande och mycket stor tillgänglig yta per viktenhet. Det ger dem exceptionella styrkeegenskaper i nivå med kevlar (Nelson 2014) och stor förmåga att interagera med andra material. Därmed är de mycket intressanta som armeringsfiber i pappersprodukter och kompositmaterial. De kan också användas som superabsorbenter i hygienprodukter, i hydrogelapplikationer och som barriärfilm i vätskekartong.

Tillverkningsprocessen är energikrävande och nanocellulosa tillverkas ännu inte kommersiellt. Mycket forskning pågår dock runt om i världen både på produkt- och processutveckling. Innventia har utvecklat en metod att kraftigt minska energiåtgången och driver sedan 2011 en pilotanläggning med kapacitet 100 kg MFC/dag (www.innventia.com). Se även avsnitt 3.4 om MFC ur fiberslam.

American Process startade upp en demonstrationsanläggning i mars 2013 i Thomaston, Georgia, USA, för tillverkning av nanocellulosa enligt Avap-processen (Nelson 2014). Kapaciteten är 3-10 t TS biomassa per dygn. Processen bygger på behandling av biomassa med svaveldioxid och etanol.

Borregaard planerar produktion av nanocellulosa vid sulfitfabriken i Sarpsborg, Norge med start 2016 (www.borregaard.no). Råvaran är specialcellulosa och kapaciteten blir 3 t/dygn.

En möjlig tillämpning av nanocellulosans superabsorberande egenskaper är sanering av oljeutsläpp. Det schweiziska materialforskningsinstitutet Empa har tillverkat oleofila ”tvättsvampar” av kemiskt modifierad nanocellulosa. Materialet har i laborietester visat sig kunna suga upp 50 gånger sin egen vikt av mineral- eller motorolja. Det flyter på vatten även när det är mättat med olja och kan därmed enkelt plockas upp ur vattnet efter användning. (www.empa.ch)

USDA (amerikanska jordbruksverket) uppskattar att den globala marknaden för nanocellulosa år 2035 kommer att ligga kring 34 Mt/år och stadigt fortsätta ta marknadsandelar från plastmaterial. (Nelson 2014)

## 5 Ligninprodukter

Eftersom stora mängder vedlignin passerar genom de kemiska massabruken är de potentiella producenter av ligninråvara för biobaserade produkter. Ligninets komplexa struktur med aromatiska enheter, hög kolhalt och högt energiinnehåll gör det till en lämplig råvara för många produkter som idag är fossilbaserade.

### 5.1 Utvinning av lignin från massabruket

Svartlut från barrved innehåller ca 600 kg lignin per ton producerad massa. Motsvarande siffra för björkvedskokning är ca 470 kt/t. Utan tillförsel av extra biobränsle till massafabriken kan ca 25 % av svartlutsligninet utvinnas, motsvarande 150-180 kg/t massa för barrved.

Utvinning av lignin från sulfatmassabruk har introducerats i industriell skala genom LignoBoost-processen som utvecklats av Chalmers och Innventia (Öhman 2006, Tomani 2008). Metoden är baserad på utfällning av lignin ur svartlut med koldioxid. En viktig drivkraft för att separera lignin är att belastningen på sodapannan minskar vilket möjliggör ökad produktionskapacitet i massafabriken när sodapannan är en flaskhals.



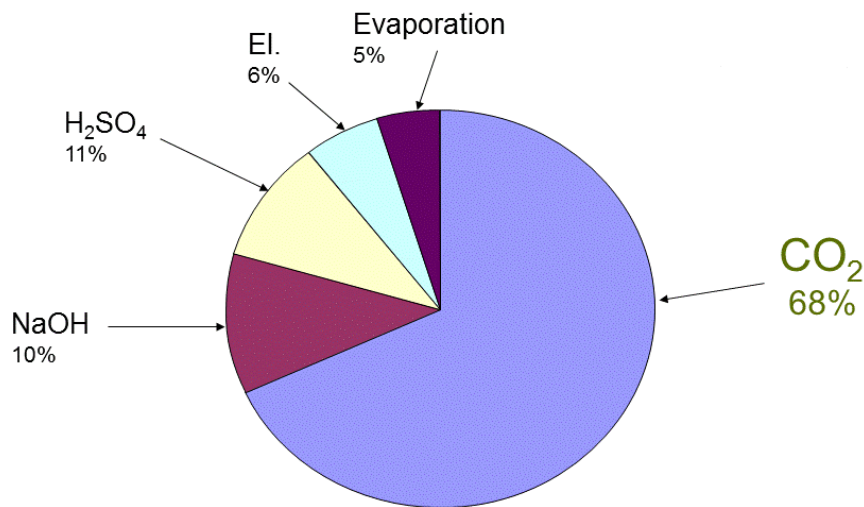
Den totala potentialen för tillverkning av lignin från sulfatmassabruk är ca 40 Mt/år, *tabell 8*. Motsvarande siffra för Sverige är ca 1.6 Mt/år Utan tillförsel av externt biobränsle för att täcka fabriken eget energibehov är potentialen ca 22 Mt/år (ca 0.9 Mt i Sverige).

Tabell 8. Potential för utvinning av lignin under förutsättning att maximal mängd tas ut och energiunderskott täcks med t ex skogsbränslen.

Massatyp	Efterfrågan Mt/år	Ligninpotential kg/t massa	Ligninpotential Mt/år
Marknadsmassa lövved	28	225	6.3
Marknadsmassa barrved	24	325	7.8
Marknadsmassa totalt	52		14.1
Integrerat med papperstillverkning	115	225	25.9
<b>Total potential</b>			<b>40.0</b>

Den första kommersiella LignoBoost-anläggningen startade upp i en av Domtars fabriker i USA 2013 och producerar ca 30 000 t/år. Anläggning nr 2 planeras vid Stora Enso's Sunila-fabrik nära Kotka i Finland med uppstart i början av 2015 och en kapacitet på 50 000 t lignin/år. De två anläggningarna motsvarar alltså tillsammans mindre än en halv procent av potentialen för ligninutvinning ur sulfatfabriker. I bägge fallen används ligninet till att börja med som – i första hand internt – biobränsle. I nästa steg i produktutvecklingen ser Stora Enso ersättning för fenol i lim för plywood och spånskivor och som ersättning för polyoler i skummaterial ([www.storaenso.com](http://www.storaenso.com)).

Investeringskostnaden för ligninutvinning är måttlig; den största posten är pressen för avvattning av ligninet. Den största driftskostnaden är f n koldioxiden för utfällningen, *figur 3*.



Figur 3. Uppskattad fördelning av driftskostnader för ligninavskiljning med LignoBoost-metoden vid en produktion av 50 000 t lignin/år (Tomani 2014)

Även andra metoder för utvinning av lignin ur svartlut är på gång. LignoForce och SLRP har utvecklats i Kanada respektive USA och är liksom LignoBoost baserade på utfällning av lignin genom pH-sänkning med CO<sub>2</sub>.

I LignoForce-processen oxideras svartluten innan fällning för att förbättra ligninets filterbarhet (Kousini m fl 2012, Kousini 2014). En första kommersiell anläggning planeras i Kanada (FPInnovations 2014).

SLRP-processen (Sequential Liquid-Lignin Recovery and Purification) är trycksatt, vilket ger en tung flytande ligninfas som avskiljs genom dekantering. Metoden har körts i pilotskala i USA (Lake och Blackburn 2014).

Fysikalisk avskiljning genom ultrafiltrering (Wallberg 2005) är en approach som nu testas i större skala i Sverige i projekten SunMembrane 2013-2015 (Vinnova 2014) och GreenGasoline 2012-2014 (Mistra Innovation 2014).

## 5.2 Lignin från etanoltillverkning

Tillverkning av etanol ur ved (se avsnitt 10.3) ger en ligninhaltig restprodukt med sammansättning som beror av processen. Den vanligaste metoden där veden först hydrolyseras med syra ger ett lignin som har högt filtermotstånd, d v s det är besvärligt att avvattna ligninet (Dingwell m fl 2011). Etanol tillverkas ännu inte kommersiellt med ved som råvara, men om en storskalig sådan industri skulle bli verklighet vore det en intressant källa till lignin med tanke på att lignin utgör en fjärdedel av veden.

### 5.3 Ligninprodukter

Marknadsvärdet för några potentiella ligninapplikationer exemplifieras i *tabell 9* och *10*. Förädlingsvärdet ökar betydligt när man går från användning som bränsle till råvara för kemikalier eller avancerade material som kolfiber.

Tabell 9. Marknadsvärde för några potentiella ligninapplikationer.

Produkt	Marknadpris (€/ton)
Fast bränsle	200-250
Tillsats i asfalt	300
Råligninolja	500 – 900
Ytaktiva produkter	750
Kresylsyra (blandning av fenoler)	2 800
Kolfiber	17 000 – 520 000
Aktiva kolfibrer	50 000 – 100 000

Uppskattningar baserade på flera källor.

Tabell 10. Marknadpriser & prognos för produktionsvolym (Tomani 2014)

Applikation	Världsmarknad 2010 (t/år)	Förväntad volym (t/år)	Marknadpris 2010 (USD/t)
Kolfiber	45 000	100 000 (2015)	15 000 – 25 000*
Aktivt kol	1 100 000	2 300 000 (2017)	500 – 3 000
Fenol	7 900 000	11 600 000 (2020)	Ca 2 000

\* Industriktvalitet lämpad för bilar

### 5.4 Biobränsle

Lignin är ett biobränsle med hög energidensitet: ca 27 MJ/kg TS att jämföra med ca 19 MJ/kg TS för vanliga biobränslen. En annan fördel jämfört med träbränslen är att ligninet är vattenfrånstötande vilket underlättar lagring och transport. I *tabell 11* jämförs sulfatligninets egenskaper med kol och vedbränslen.

Tabell 11. Bränsleegenskaper hos sulfatlignin från LignoBoostprocessen (Tomani 2014)

		Lignin	Kol	Vedflis	Barkpellets
<b>Fukthalt</b>	%	30-40	9	50	10.3
<b>Askhalt</b>	%	0.02-1	11.7	2-3	3.6
<b>Kalorimetriskt värmevärde</b>	MJ/kg	26-27	29.8	20	21
<b>Effektivt värmevärde</b>	MJ/kg	17-19	25.9	7.7	17.7
<b>Svavel, S</b>	% torrt	2-3	0.4	0.05	0.04
<b>Klor, Cl</b>	%	<0.01	0.04	0.03	0.02
<b>Bulkdensitet</b>	kg/m <sup>3</sup>	500-600*	800	200-300	550-700

\*Fuktiga ligninkakor. Bulkdensiteten hos torrt ligninpulver är 630-720 kg/m<sup>3</sup>.

Lignin är främst intressant för stora förbränningsanläggningar som kan ta hand om – och t o m ha en fördel av – svavelinnehållet. Lyckade fullskaleförsök med inblandning av lignin i kol har utförts vid ett kraftvärmeverk i Stockholm (Lindman 2008). Ligninet kan hanteras som pulver eller pelleteras.

Den mest uppenbara bränsletillämpningen för lignin är för att ersätta fossila bränslen i massabruket självt. Mesaugnen är den största användaren av fossila bränslen (olja) i massafabriker. Fullskaleförsök vid en svensk massafabrik har visat att mesaugnen med gott resultat kan eldas med upp till 100 % ligninpulver istället (Berglin m fl 2010). Detta är en mycket stor marknad globalt där värdet motsvarar priset för eldningsolja eller naturgas. I Nordamerika där billig skiffergas och relativt billig olja finns som alternativ är värdet 150-300 USD/t lignin.

## 5.5 Bindemedel i bränslepellets

Inblandning av lignin vid tillverkning av vedbränslepellets ger flera fördelar: Energidensiteten ökar och materialet får bättre hållfasthet och fukttålighet. D v s liknande produktförbättringar som erhålls vid torrefiering av biobränslepellets. Svavlet i sulfatlignin begränsar användningen till storskaliga förbränningsanläggningar, vilket fortfarande är en mycket stor marknad. Ligninets värde i denna tillämpning är i USA ca 600 USD/t med en potentiell marknad på ca 600 000 t/år (Kousini 2014)

## 5.6 Biodrivmedel

På laboriestedium studeras hur lignin kan upparbetas till bensin eller diesel i ett vanligt oljeraffineri. Se även avsnitt 5.10 om aromatiska kemikalier.

Ett svenskt företag, Ren Fuel, har i laboratorieskala utvecklat en metod för katalytisk nedbrytning av lignin vid atmosfärstryck till en flytande ”ligninolja” som skulle kunna raffineras vidare till biodrivmedel ([www.renfuel.se](http://www.renfuel.se)).

Det svenska projektet GreenGasoline löper 2012-2014. Ligninet utvinns ur svartlut via membranfiltrering och fällning. Ligninet omvandlas katalytiskt till flytande ligninolja som kan hanteras i ett bioraffinaderi. Om befintlig oljeraffinaderiutrustning kan användas skulle konceptet kunna bli verklighet på några få år. För Sveriges del skulle 5 TWh/år av dagens användning av fordonsbränslen (ca 100 TWh/år) kunna ersättas med lignin. (Mistra Innovation 2014). Biodrivmedel diskuteras närmare i avsnitt 10.

### **5.7 Vägbeläggning**

Lignin har testats i full skala för att delvis ersätta bitumen i asfalt. Ligninet gör att asfalten kan läggas vid lägre temperatur vilket är en fördel ur arbetsmiljösynpunkt. Asfaltemulsionen blir dessutom stabilare och mindre energitillförsel behövs för omblandning (Thorstensson 2008). Produktvärde ca 300 €/t. Användningen idag är ca 500 kt/år, men det finns en marknadspotential kring 22 Mt/år.

### **5.8 Komplexbildare för t ex jordförbättring**

Såväl lignin som lignosulfonat kan binda metalljoner och därmed hindra dem från att reagera med andra föreningar eller fällas ut (Bailey m fl 1999; Babel och Kurniawan 2003). Ligninets egenskap att kunna bilda kemiska komplex med metalljoner skulle kunna utnyttjas för att binda och avskilja tungmetaller i avloppsvatten och sediment, utvinna sällsynta metaller eller rena radioaktivt avfall.

Metalljoner som binds till lignin hålls lösta i vätskefas. Det utnyttjas idag genom att använda lignosulfonat för att göra mikronäringsämnen tillgängliga för växter i växtförbättringsmedel. Samma effekt utnyttjas när lignosulfonat ingår i medel för att förebygga kalkavlagringar i vattensystem. ([www.lignin.org](http://www.lignin.org))

Värdet som jordförbättringsmedel är i storleksordningen 300 €/t och marknadspotentialen ca 22 Mt/år. Idag används ca 150 kt lignosulfonat/år i sådana applikationer.

### **5.9 Kompositter med cellulosa**

Sulfatlignin är vattenfrånstötande och skulle kunna användas för att ge t ex kartong eller textilier en hydrofob yta som dessutom skyddar mot UV-ljus.

American Process har på laboratoriet testat att ytbelägga cellulosa-nanofibriller med lignin. Resultatet blev förbättrad vattenfrånstötande förmåga och bättre vidhäftningsförmåga till polymerer som brukar användas som matrismaterial i kompositter. Det innebär möjligheter att tillverka mycket starka biobaserade kompositmaterial. (Nelson 2014)

Även tillsammans med vanliga cellulosa-fibrer skulle lignin kunna vara intressant som matrismaterial. Det finska forskningsprogrammet FuBio har i laboratorieskala tillverkat termoplastiska lignin-cellulosakompositter genom formpressning eller formsprutning. Materialet har lika goda styrkeegenskaper som motsvarande kompositter med PLA eller PP som matris. (Leskelä m fl 2014)

## 5.10 Fenoler och andra aromater

Lignin är ett mycket intressant alternativ som råmaterial för biobaserade aromater som bensen, toluen, xylen och fenol. Det finns dock ännu inte tillräckligt bra metoder att industriellt omvandla tekniska ligniner (Voitl m fl 2007).

Katalytisk hydrokrackning (nedbrytning i närvaro av vätgas) av lignin resulterar i en blandning av fenol, kresol, xylenol och andra fenoler. Dessa blandningar liknar kresylsyra som idag framställs genom destillation av stenkoltjära eller förgasning av kol och används bl a som lösningsmedel vid isolering av magnetiska ledningar. Marknadpriset för kresylsyra är ca 2 800 €/ton och marknaden ca 475 kt/år.

Biochemtex i Italien utvecklar en teknologi kallad MOGHI för katalytisk konvertering av lignin till fenolära föreningar och bionafta (en blandning av flytande kolväten med 5-10 kol) som kan förädlas vidare i ett oljeraffinaderi. En demoanläggning planeras bli klar under 2014 i Modugno, Italien. ([www.biochemtex.com](http://www.biochemtex.com))

”Lignin Platform”-nätverket i Nederländerna, koordinerat av Wageningen, studerar både enzymatisk och kemisk nedbrytning av lignin till fenoler (Didde 2014). Med en palladiumkatalysator har man omvandlat lignin till en fenolblandning i 10 % utbyte.

Ett annat Nederländerna-baserat projekt som satsar på biobaserade aromater är Biorizon ([www.biorizon.eu](http://www.biorizon.eu)). Processen bygger på katalytisk pyrolys av lignin. Enligt deras ”roadmap” kommer lignin-baserad BTX (bensen/toluen/xylen) att tillverkas i demokala framåt 2016-2019.

Andra forskargrupper som studerar nedbrytning av lignin via katalytisk pyrolys finns bl a vid Chalmers i Sverige (Nguyen m fl 2014) och vid CERTH i Grekland (Lappas 2013).

## 5.11 Fenolhartser

Fenol-formaldehydharts är en typ av hårdplast som tillverkas genom reaktion mellan fenol och formaldehyd. Materialets vatten- och värmetålighet har gjort det populärt för utomhusapplikationer. Inom träindustrin är fenol-formaldehydharts det viktigaste bindemedlet för t ex spånskivor och plywood.

Fenol som råvara har dock flera nackdelar:

- Toxicitet (gäller även formaldehyd)
- Högt pris, ca 1 640 €/t (Wang m fl 2014)
- Fossilbaserad

Lignin, som ju är en polymer uppbyggd av fenolära beståndsdelar, är därför ett intressant substitut för fenol i denna applikation. Forskning på detta pågår vid bl a Innventia i Sverige (Wang m fl 2014) och FPInnovations i Canada. Den största utmaningen är ligninets dåliga reaktivitet jämfört med fenol. FPInnovations har på laboratoriet lyckats ersätta 50 % av fenolet med lignin i fenolformaldehydharts för plywood och OSB (oriented strand board). Ligninets värde i denna applikation är över 1 500 USD/t och marknaden är i storleksordningen 100 000 t/år. (Kouisni 2014)

Se även avsnitt 6.8 om ersättning av formaldehyden i fenol-formaldehydharts med vedbaserad furfural.

## 5.12 Fast skum

Fast skum består av gasbubblor dispergerade i ett fast medium, vanligen en polymer-matris. Det finns naturliga fast skum som pimpsten, men det som oftast avses med termen är skumplast. En av de viktigaste skumplasterna är polyuretan(PU-)skum som bl a används för vibrationsisolering, Uretanplast har god värme- och nötningsbeständighet samtidigt som den har goda elektriskt isolerande egenskaper.

PU-skum tillverkas idag av petroleumbaserade polyoler (polyfunktionella alkoholer) och isocyanat. Lignin är en naturlig polyol. Laboratorieförsök har gjorts med att ersätta en del av polymermaterialet i polyuretanskum med lignin (Suurnäkki 2011; Kousini 2014). Upp till 30 % polyol har kunnat ersättas med lignin. Marknaden beräknas vara ca 280 000 t lignin/år och skulle ge ligninet ett värde på över 2 000 USD/t

## 5.13 Komponent i termoplaster

Lignin kan blandas med termoplaster med hjälp av lämpliga tvärbindningskemikalier och därmed öka andelen biobaserad råvara i plasten. Utvecklingen är ännu på laboratoriestadiet. FPInnovations har lyckats blanda in 20 % lignin i polypropylenplast. Ett par av utmaningarna är lukten vid tillverkning och från produkten samt den färg ligninet ger plasten.

Den potentiella marknaden är mycket stor, omkring 1.3 Mt/år. Det är 1 % av den totala marknaden för polyeten och polypropylen (130 Mt/år) och motsvarar 74 massafabriker som vardera producerar 50 t lignin/dygn. Ligninets värde i denna applikation är 1 500 - 2 000 USD/t. (Kousini 2014)

## 5.14 Kolfiber

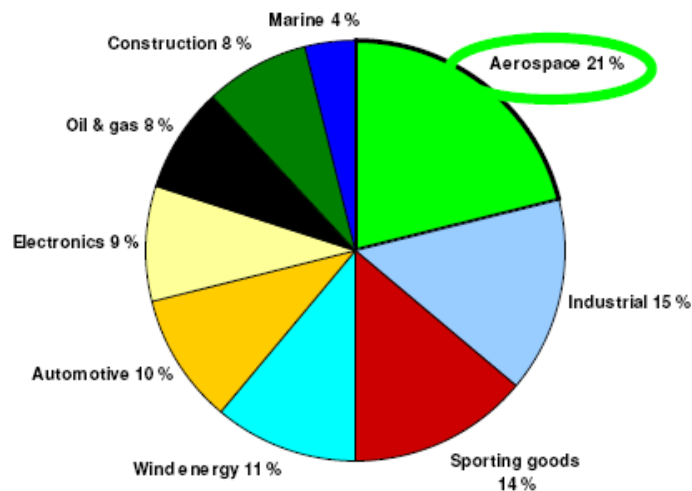
Kolfiber är f n den mest högförädlade potentiella produkten från lignin. Kolfibers styrka och lätthet gör den intressant i många tillämpningar, men det höga priset begränsar idag användningen till huvudsakligen rymd- och flygfarkoster och sportredskap. Den höga produktionskostnaden utgörs till ca 50 procent av den petroleumbaserade råvaran polyakrylnitril, PAN. En ökad tillgång på kolfiber skulle innebära att fler produkter kan göras i högpresterande lättviktsmaterial. Lignin är intressant som kolfiberråvara eftersom det är biobaserat, har hög kolhalt och kan utvinnas i stora mängder från sulfatmassafabriker till en konkurrenskraftig kostnad. Utmaningen ligger i att med en så inhomogen råvara som lignin tillverka kolfiber med tillräckligt hög styrka. I flera applikationer behövs dock inte kolfiber av toppkvalitet.

### 5.14.1 Marknad

Den totala kolfiberproduktionen uppgick till ca 45 000 ton/år 2011 och förväntas fördubblas till 2015 och därifrån till 2022 fördubblas på nytt.

Flyg- och rymdsektorn är f n den största användaren av kolfiber (21 %), *figur 4*. Ett område med förväntad stor expansion de närmaste åren är rotorblad i vindkraftverk. Om de tillverkas av kolfiber istället för glasfiber kan storleken och därmed effekten ökas

avsevärt. På lite längre sikt (5-10 år) förväntas en stor ökad användning av kolfiber i bilar (Pichler 2014). Bägge dessa applikationsområden bör vara aktuella för den kolfiberkvalitet som kan förväntas uppnås med ligninbaserad kolfiber.



Figur 4. Användning av kolfiber fördelad på marknadssegment 2007 (Nordin 2011)

Bilindustrin är en mycket stor potentiell marknad på sikt. Kolfiberkompositerna i bilar är inget nytt, men användningen har varit begränsad till exklusiva sportbilar i små serier. Strävan efter att minska bilars bränsleförbrukning gör att det finns en enorm marknad för att ersätta stål i fordon med kolfiberkompositerna av medelkvalitet. Ligninbaserad kolfiber har potential att uppnå styrke- och kostnadskraven för denna tillämpning ([www.innventia.com/kolfiber](http://www.innventia.com/kolfiber)). Flera biltillverkare har planer för kolfiberkompositerna i den nya generationens lätta elbilar. Av de material som används i bilar står stål för ca 40 %. Om en bils vikt reduceras med 10 % genom ersättning av stål med kolfiberkomposit så motsvarar det, extrapolerat till hela Europas biltillverkning, ett potentiellt behov av ca 50 000 ton kolfiber/år, *tabell 12*.

Tabell 12. Potentialen för kolfiber i bilproduktion uppskattas till ca 50 000 ton kolfiber/år i Europa.

Bilproduktion, Västeuropa 2010 <sup>1</sup>	886 000
Fordonsvikt, kg	1 500
Densitet – Stål <sup>2</sup> , g/cm <sup>3</sup>	8
Densitet – Kolfiber <sup>3</sup> , g/cm <sup>3</sup>	2

<sup>1</sup> [www.teknikforetagen.se](http://www.teknikforetagen.se) 2010

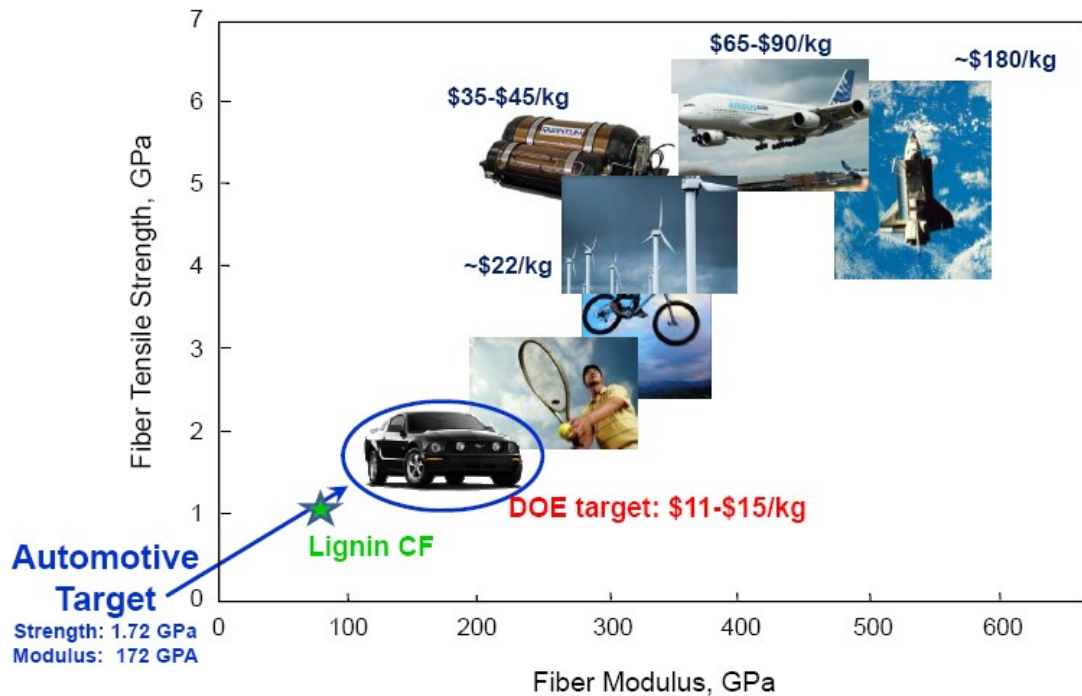
<sup>2</sup> Ståldensiteten varierar med legeringens sammansättning men ligger normalt mellan 7.75 och 8.05 g/cm<sup>3</sup> ([www.wikipedia](http://www.wikipedia))

<sup>3</sup> [www.azom.com](http://www.azom.com)

*Figur 5* sammanfattar hur ligninbaserad kolfiber står f n när det gäller priskrav och kvalitet, jämfört med kommersiella kolfibrer. Produktionskostnaden för ligninbaserade



kolfibrer (råvarukostnaden ingår ej) uppskattas till 8.16 USD/kg (5.6 €/kg) (Baker 2011). För PAN-baserade kolfiber (> 96 % av kolfiber marknaden) utgör råvarukostnaden ca 50 % av den totala kolfiber kostnaden (13-18 USD/kg, 2011). Industriella priser för kolfiber av mellankvalitet låg 2012 mellan 15 och 25 €/kg.



Figur 5. Styrkekrav för olika strukturella kolfiberapplikationer. Den gröna stjärnan markerar de bästa resultat som rapporterats med lignin. I diagrammet visas även prisindikationer, inklusive det mål som satts av DOE (Department of Energy, USA). (Baker 2011)

#### 5.14.2 Tillgång på lignin för kolfiber

Idag är endast 12 företag kapabla att massproducera kolfiber. Fyra av dem svarar för mer än 65 % av produktionen: Toray, Toho Tenax, Zoltek och Mitsubishi Rayon. Prognossiffrorna för 2014, det vill säga cirka 100 000 ton/år, visar på ett stort gap mellan efterfrågan i framtiden och nuvarande produktion. Det indikerar ett behov av nya kolfiberråvaror. De höga kostnaderna för framställning av kolfibrer begränsar dock applikationsområdena, d v s billigare råvaror behövs.

Baserat på produktionen av marknadssulfatmassa i Sverige är cirka 500 000 ton lignin per år tillgängligt för produktion av kolfiber. En grov beräkning baserad på världsproduktion av avsalumassa under 2009, d v s 40 Mton/år, ger siffran ca 4-5 Mt lignin/år tillgängligt som kemisk råvara.

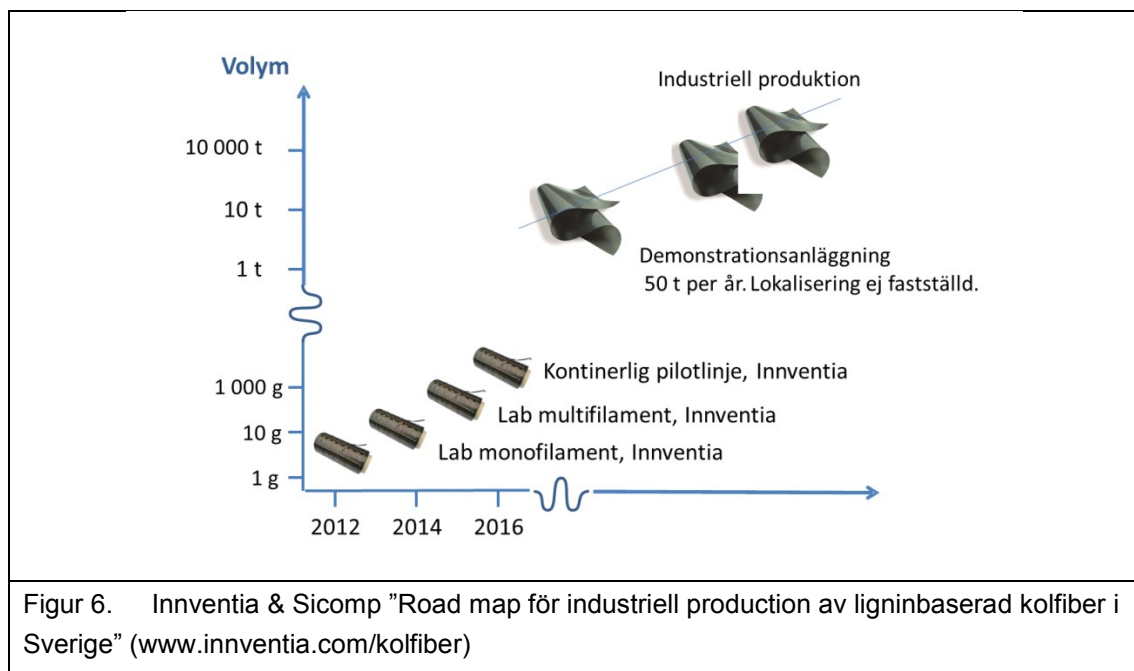
År 2010 tillverkades ca 45 000 t kolfiber (Sloan 2011). Med ett kolfiberutbyte från lignin på ca 50 % (Baker 201, Wimby 2011) skulle cirka 90 000 ton lignin krävas för att täcka den kolfiberproduktionen. D v s mängden lignin som finns tillgänglig ifrån

massafabriker är idag långt utöver behovet av råvara för kolfiber och kan även i framtiden stå för en stor del av råvarubehovet

### 5.14.3 Utvecklingsläge ligninbaserad kolfiber

Kolfiber tillverkas ur lignin genom att ligninet smälts och spinns till tråd som karboniserar till kolfiber. Viktiga aktörer inom utvecklingen är ORNL (Oak Ridge National Laboratory) i USA och Innventia i Sverige. Innventia har lyckats med att tillverka kolfiber från barrvedslignin, något som tidigare inte ansetts möjligt. En stor del av dagens verksamhet är inriktad på att möjliggöra uppskalning, men också mer processtekniska frågeställningar kopplade till sambandet mellan lignin- och kolfiberegenskaper. En utmaning är att nå tillräckligt hög styrka hos kolfibern med ett så inhomogent råmaterial som lignin.

De svenska forskningsinstituterna Innventia och Swerea Sicomp har formulerat en "roadmap" för att nå fram till industriell produktion av ligninbaserad kolfiber inom 10 år, figur 6.



### 5.15 Aktivt kol

Aktivt kol är en av de viktigaste kommersiella adsorbenterna på grund av sin höga ytarea som i kombination med den kemiska strukturen ger en hög adsorptionsförmåga

Världsförbrukningen av aktivt kol var i storleksordningen 1.1 Mt/år under 2010 (Greiner m fl 2010). Merparten tillverkas av fossila kolkällor. Produktionen från förnybara material, med trä och kokosskal dominerande, är ca 200 000 t/år. Tillverkningen av aktivt kol är koncentrerad hos ett litet antal stora producenter. Den globala marknaden för aktivt kol förutses nå en marknadsstorlek på 2.3 miljoner ton fram till år 2017 (Global Industry Analysts 2011). En faktor bakom tillväxten är de ökade kraven i USA på att minska utsläppen av kvicksilver till luft från koleldade kraftverk. Andra

ökande applikationsområden globalt är vattenrening och medicinska ändamål.  
([www.freedoniagroup.com](http://www.freedoniagroup.com))

Det finns en stark tillväxt i efterfrågan på aktivt kol – cirka 9 %/år – på den kinesiska marknaden som ett resultat av den goda ekonomiska tillväxten i landet. När det gäller applikationer fortsätter vattenbehandling att vara det största området för aktivt kol globalt.

Eftersom lignin har en hög kolhalt och en molekylstruktur som liknar bituminösa kol är det ett lämpligt utgångsmaterial för aktivt kol. I laboratorieskala har man tillverkat ligninbaserat aktivt kol med ytegenskaper i nivå med kommersiella aktiva kol (Carrot och Carrott 2007). Ligninbaserat aktivt kol visar en kapacitet jämförbar med kommersiella aktiva kol när det gäller att avlägsna metallföroreningar i vattenfas (Ragan och Megonell 2011). LignoBoost-lignin har omvandlats till aktiverat kol med 40 % högre utbyte än vad man får med kokosnötsskal. En nackdel ur arbetsmiljösynpunkt är sulfatligninets svavelinnehåll som ger svavelhaltiga gaser vid karboniseringen. (Ragan och Megonell 2011)

Aktiverat kol varierar i pris från 0.5 till 3 USD/kg. Priset på aktivt kol bestäms av hög energiförbrukning i produktionsprocessen och kostnaden för råmaterial. Aktivt kol från risskal har ett värde av ca 0.75 USD/kg och från kokosnötsskal ett värde på ca 1-1.5 USD/kg ([www.esrla.com](http://www.esrla.com)). Som råvara för aktivt kol uppskattas lignin ha ett värde av 1 000-2 000 USD/t och en marknad på ca 200 000 t/år. (Kousini 2014)

#### **5.15.1 Aktiva kolfibrer**

Det låga priset på kokosnötsskal gör att lignin kan ha svårt att hävda sig ekonomiskt som biobaserad råvara för ordinärt aktivt kol. En intressantare framtida applikation är aktiva kolfibrer (ACF), eftersom lignin – till skillnad mot kokosnötsskal och annan biomassa – kan smältspinnas till trådar. Aktivt kol i fiberform har större kapacitet och ger snabbare adsorption än pulver eller granuler. Den huvudsakliga råvaran idag är rayonfibrer. Aktiverad kolfiber är speciellt användbart i t ex gasrening (Chen och Zeng 2002) eller för att lagra vätgas i bränsleceller. Aktiva kolfibrer är en intressant högförädlad produkt för lignin eftersom styrkekraven inte är lika höga som för strukturella kolfibrer för armeringsändamål. Forskning har gjorts på ACF från organosolv-lignin (Uraki m fl 1997, Uraki m fl 2001). Vid Innventia pågår forskning i laboratorieskala på ACF från sulfatlignin ([www.innventia.com](http://www.innventia.com)).

Aktiva kolfibrer har f n ett mycket högt marknadspris, kring 50-100 €/kg. Produkten är dock relativt ny och volymerna fortfarande små.

#### **5.16 Material i bränsleceller**

Ligninets relativt höga kolinnehåll gör det till ett möjligt fast biobaserat bränsle i bränsleceller av DCFC-typ (Direct Carbon Fuel Cell). Laboratorieresultat visar att tekniken fungerar med både sulfatlignin (LignoBoost) och lignosulfonat från sulfitprocessen (Lima 2014). Höga svavel- och askhalter i ligninet försämrar funktionen. Ligninets hydrofilicitet är en annan viktig faktor att kontrollera.

## 6 Hemicellulosaprodukter

Hemicellulosor är den näst mest förekommande kolhydraten i naturen efter cellulosa. De är polysackarider uppbyggda av vissa pentoser (enkla socker med 5 kol) och hexoser (enkla socker med 6 kol). Hemicellulosa skiljer sig från cellulosa i tre avseenden:

1. Innehåller flera olika sockerenheter medan cellulosa endast innehåller glukos.
2. Betydande grad av kedjeförgrening med sidogrupper.
3. Lägre polymerisationsgrad.

Hemicellulosor är mycket hydrofila. De flesta är lösliga i alkali och lätt hydrolyserbara i syror. Barrvedshemicellulosa skiljer sig från lövvedshemicellulosa beträffande sammansättning och struktur. Glukuronoxylan (15-30 vikt-%) är den viktigaste hemicellulosan i lövved medan galaktoglukomannaner (20 vikt-%) är den viktigaste hemicellulosan i barrved. Dessutom innehåller barrved 5-10 vikt-% arabinoglukuronoxylan (Sjöström 1993).

Huvudkonkurrenten till vedbaserad xylan är xylaner som kan produceras i stora mängder ur skörderester från t.ex. majs, sojabönor eller vete. För vissa applikationer är även stärkelse från t ex majs en billig konkurrent. Vedhemicellulosor har dock en fördel i att inte härstamma från en jordbruksgröda, d v s konkurrerar inte med livsmedelsproduktion.

### 6.1 Utvinning av hemicellulosa från massabruket

Det finns idag ingen kommersiell process för utvinning av vedhemicellulosa, men flera möjligheter studeras i laboratorieskala.

Xylan – som främst finns i lövved – är motståndskraftigt mot alkalisk nedbrytning och kan därför utvinnas i polymer form ur lövvedssvartlut i sulfatfabriker. Övriga hemicellulosor bryts ned till lågmolekylära hydroxysyror i den alkaliska miljön. Svartlut från björk innehåller ca 260 kg xylan per ton massa, av vilket hälften kan utvinnas, d v s ca 130 kg/t massa. Teknik har utvecklats som bygger på ultrafiltrering och selektiv utfällning i närvaro av etanol eller metanol (Dahlman m fl 2008). Tekniken har verifierats i pilotskala, men det återstår att hitta xylanprodukter som motiverar kostnaden för utvinningen. I *tabell 13* jämförs olika källor för xylan i sulfatfabriken.

En ny möjlighet att utvinna vedhemicellulosa har uppstått i och med introduktionen av dissolvingmassaproduktion i sulfatfabriker (se även avsnitt 4.1 Textilcellulosa). En förhydrolys med vatten görs i syfte just att avlägsna hemicellulosa från cellulosa-produkten och det resulterande hydrolysatet är en tänkbar hemicellulosakälla (Dahlman m fl 2009). Förhydrolys är i praktiken endast intressant vid tillverkning av dissolving-massa. Vid vanlig pappersmassatillverkning påverkas massautbytet och -kvaliteten alltför ogynnsamt. Utvinning av hemicellulosa ur den färdiga massan är av samma skäl inte heller tillämpligt för dagens pappersmassakvaliteter.

Tabell 13. En jämförelse av olika uttagspositioner för xylan i sulfatfabriken. Baserad på (Öhman och Danielsson 2011)

Extraction positions	Before cooking	Early cooking liquor	Weak black liquor	LignoBoost filtrate	Bleached pulp
<i>Impurities</i>	Relatively pure	Low amounts of lignin	Significant lignin	Lignin, significant inorganics	Pure system
<i>Process conditions</i>	Depending on conditions	140-160 °C, strongly alkaline	<100 °C, strongly alkaline	50-60 °C, pH 10	~20 C (example)
<i>Xylan properties</i>	Depending on conditions	High MW, HexA, more MeGlcA	More degraded, HexA	More degraded, HexA	High MW, few side groups
<i>Example potential*</i>	~ 40 kg/ADt	~ 50 kg/ADt	~ 40 kg/ADt	~ 10 kg/ADt	~ 60 kg/ADt (100-180 kg/ADt extracted)
<i>Effects on fibre line</i>	Affects pulp yield and quality	Can effect pulp yield and quality	Disconnected	Disconnected	Direct effects on quality and yield (1 tonne xylan= 1 tonne pulp)
<i>Possible products</i>	Barrier films	Paper additive Barriers and more	Needs likely further upgrading	Needs likely further upgrading	Xylitol Hydrogels etc (easy to reach very high purities)
<i>Problems to be solved</i>	Needs likely process changes in the fibre line to get the calculated amounts.	Sometimes difficult to find suitable extraction point in existing continuous digesters.	Lignin and ash contents	High ash content	To produce an appropriate cellulose product

\* Varies with process conditions and e.g. type of digester in the mill.

## 6.2 Hemicellulosaprodukter

Det finns flera intressanta möjliga applikationer för **polymer hemicellulosa**, *tabell 14*. Barriärfilmer för förpackningar har en mycket stor marknad. Olika typer av hydrogel-applikationer, inklusive mikroinkapsling och livsmedelstillsatser, kan ha höga förädlingsvärden.

Hemicellulosor skulle dessutom kunna brytas ned till olika sockersyror för kemisk eller biokemisk omvandling till **kemikalier** som är byggstenar för kemikalieindustrin. Speciellt intressanta när det gäller hemicellulosa är:

- Propionsyra
- Fumarsyra
- Levulinsyra
- Furfural
- 2,5- furandikarboxylsyra
- Maleinsyra
- Mjölksyra (2-hydroxi-propionsyra)
- Bärnstensyra
- Xylitol

Dessa är ett urval ur den ”top 12”-lista (Werpy och Petersen 2004) som amerikanska Department of Energy (DOE) har kommit fram till när det gäller framtida kolhydratbaserade kemikalier från jordbruksgrödor eller ved.

Tabell 14. Några möjliga applikationsområden för hemicellulosa och deras potentiella marknad och värde. (Suurnäkki 2014)

Applikation	Hinder	Drivkraft	Potentiell volym [t/år]	Potentiellt värde [€/t]
<b>Förpackningsfilm</b> Nuvarande teknologi	Begränsad användbarhet	Ökande oljepris	4 000	1000
<b>Förpackningsfilm</b> Framtida teknologi	Teknisk genomförbarhet	Ökande oljepris	300 000	1000
<b>Hydrogel</b> Jordförbättring	Hållbarhet, blandbarhet	Goda egenskaper	5 000	10000
<b>Mikroinkapsling</b> Nischprodukt	Registrering & godkännande	Goda egenskaper	500	8000
<b>Mikroinkapsling</b> Bulkprodukt	Registrering & godkännande al	-	5 000	3000
<b>Livsmedelstillsats</b> Nischprodukt	Registrering & godkännande l	Goda egenskaper	3 000	5000
<b>Livsmedelstillsats</b> Bulkprodukt	Registrering & godkännande	Goda egenskaper	20 000	2000
<b>Komplexbildare</b> Stor volym	Okända egenskaper	Biologiskt nedbrytbar	15 000	800
<b>Komplexbildare</b> Högt värde	Okända egenskaper	Biologiskt nedbrytbar	500	4000

### 6.3 Fiber- och pappersadditiv

Halten hemicellulosa är en av de avgörande faktorerna för de fysikaliska egenskaperna hos pappersmassa, såsom drag, riv-och sprängstyrka (Molin och Teder 2002). Både xylaner och glukomannaner kan användas som fibertillsats för att förbättra massans malbarhet och fiber-fiberbindningsförmåga. (Suurnäkki m fl 2001). Hemicellulosa-tillsats kan alltså förbättra vissa av de egenskaper som är särskilt viktiga för förpackningskvaliteter, t.ex. drag-och sprängstyrka och vikmotståndskraft.

Förutom användning som fibertillsats, kan hemicellulosa ersätta stärkelse vid limning av förpackningspapperskvaliteter. Derivat av hemicellulosa har också undersökts för applikationer som limningsadditiv och bindemedel vid pappersframställning.

Stärkelse har ett marknadspris på ca 600 €/t. Marknaden som pappersadditiv är över 9 Mt/år. Som ersättare för limningskemikalier skulle värdet av hemicellulosa dock vara

högre. AKD (alkylketendimer) och ASA (alkenylbarnstenssyraanhydrider) har priser kring 3 000 - 4 000 €/t.

#### 6.4 Barriärmaterial i förpackningar

Hemicellulosa kan användas som biobaserat barriärmaterial i livsmedelsförpackningar (Gröndahl m fl 2004). Filmer och bstrykningskikt av hemicellulosa har bra barriäregenskaper mot syre och andra gaser, men däremot inte mot fukt. Materialet mjuknar dessutom inte vid uppvärmning vilket innebär att det inte kan formas genom extrudering eller gjutning. Hemicellulosa kan dock ges både fukttåliga egenskaper och termisk formbarhet genom modifiering (Persson m fl 2012). Mjölksyra framställs idag genom bakteriell fermentering av rörsocker eller majsstärkelse, men skulle även kunna framställas ur vedsocker (se avsnitt 10.3.5).

Användning av xylan som barriärmaterial har testats i pilotskala ([www.xylophane.com](http://www.xylophane.com)) men det finns ännu ingen kommersiell produktion. Produktvärdet ligger kring 1 000 €/t och marknaden är ca 300 000 t/år.

#### 6.5 Hydrogeler

Tvärbinding av xylan kan skapa hydrofila nätverk, s k hydrogeler. De kan absorbera stora mängder vatten utan att lösas upp. Hydrogeler har flera biologiska och biomedicinska tillämpningar på grund av vätskeupptaget i kombination med biokompatibilitet.

Huvudkonkurrenten till vedbaserad xylan är xylaner som kan produceras i stora mängder ur skörderester från t ex majs, sojaböner eller vete. När tvärbinding eftersträvas har vedxylan dock fördelen av att innehålla glukuronsyrarester som tillför negativt laddade grupper på polymeren.

Vanliga hydrogelråvaror idag är polyakrylamid och polyakrylat. I motsats till biobaserade råvaror, är monomererna giftiga och inte biologiskt nedbrytbara (Pohjanlehto m fl 2011). Exempel på biobaserade råvaror som används idag: celluloderivat, alginat, stärkelse, pektin, kasein och kollagen.

Hydrogeler har producerats av vedhemicellulosa i laboratorieskala med olika tvärbindingmetoder (Gabrielii och Gatenholm 1998; Lindblad m fl 2001; Voepel m fl 2009).

Viktiga egenskaper för hydrogeler:

- Absorptionskapacitet och -hastighet
- Svällningsbeteende
- Hållbarhet / stabilitet / styvhet
- Giftfritt och miljövänligt

Xylan som utvinns genom alkalisk extraktion av växter är biokompatibla, nedbrytbara och uppfyller giftfrihets krav (da Silva m fl 2012).

Den nuvarande världsmarknaden för hydrogeler är över 30 000 t/år. Marknadpriset för hydrogeler varierar mellan 5 000 och 25 000 €/ton (2010).

### 6.5.1 Medicinska produkter

Exempel på medicinska tillämpningar: behandling av brännskador eller andra svårläkta sår, sårkompresser, sårgel, nässpray och kontaktlinser. Hydrogelers flexibilitet och höga vattenhalt påminner om egenskaperna hos naturlig vävnad, vilket gör dem lämpliga för biomaterialtillämpningar, t ex som stomme i biovävnadsteknik.

### 6.5.2 Hygien och kosmetik

Förmågan hos hydrogeler att absorbera stora mängder vätska gör dem användbara om "superabsorbenter" i t.ex. blöjor och inkontinensprodukter. Andra områden där hydrogeler kan hittas är som förtjockningsmedel och emulgeringsstabilisator i duschtvål, hudkräm, schampo och glidmedel.

### 6.5.3 Färg och tryck

Hydrogeler är en viktig ingrediens i moderna vattenbaserade färger och tryckfärger. Hydrogelen fungerar som förtjockningsmedel och ger lämpliga reologiska egenskaper. Dessutom förhindrar det pigmenten från att sedimentera i botten av behållaren.

### 6.5.4 Jordförbättring

Hydrogeler används till jordförbättringstillämpningar inom flera områden:

- Planttillväxtmedium i trädgårds- och jordbruk. Hydrogeler kan ge en kontrollerad frisättning av gödningsmedel över en tidsperiod. De har också förmågan att hålla markfuktigheten i torra områden
- Landskapsarkitektur: t ex golfbanor och gröna takbeläggningar
- Miljöåtgärder som t ex sanering av oljeutsläpp: Hydrogelen reagerar med oljan och bildar gummiliknande fasta ämnen. Den geléartade koagulerade oljan kan sedan tas bort från vattenytan genom skumning, suganordningar eller nät (Jadhav m fl 2010)

För jordförbättringsapplikationer är marknadspriset oftast över 10 000 €/t (2012).

### 6.5.5 Mikroinkapsling

Mikroinkapsling är en metod för att innesluta en substans i ett polymermaterial. En viktig tillämpning är kontrollerad frisättning av orala läkemedel. Dessutom kan inkapsling användas för att maskera obehaglig smak av läkemedel och minska doser och biverkningar (da Silva m fl 2012). Mikroinkapsling används också inom livsmedelsindustrin för att skydda ingredienser eller förbättra deras bearbetbarhet (Desai och Park 2005).

Kapselmaterial är redan nu ofta baserade på kolhydrater (stärkelse och cellulosa) (Desai och Park 2005). Xylan är ett intressant alternativt material eftersom den är speciellt lämpligt för tvärbinding tack vare sina funktionella grupper (da Silva m fl 2012). Xylanmikrokapslar med god läkemedelsinkapslingseffektivitet har framställts i laboratorieskala (Nagashima m fl 2008; da Silva m fl 2012).

Marknadspriset för mikroinkapslingsmaterial ligger i intervallet 1 000 till 10 000 €/t. Världsmarknaden kan grovt uppskattas till ca 5 000 t/år. (2012). Ett hinder för att komma in på läkemedels- och kosttillskottsmarknaden med en ny produkt är kostnaderna för registrering och godkännande.



### 6.5.6 Livsmedelstillsatser

Egenskaperna hos tvärbundna hemicellulosor gör dem användbara i livsmedelsprodukter. Xylan från sojaböna (E426) används idag som stabilisator, emulgeringsmedel, förtjockningsmedel och klumpförebyggande medel i livsmedel. Gummi arabicum (E414) utvinns ur akaciaträd och består i huvudsak av hemicellulosa arabinogalaktan. Det används som förtjockningsmedel och kostfiber ("lösliga fibrer"). Arabinogalactan utvinns även ur lärkträd för kostfiberändamål (Stern m fl 2009). Glukomannan från konjakrot används på liknande sätt som råvara i "nollkalori"-nudlar, en dietprodukt (Hui 2006).

Idag är förtjockningsmedel, bindemedel och kostfibrer i mat ofta baserade på cellulosa från trä eller växter. Stärkelse från potatis eller spannmål är en annan vanlig råvara för kostfibrer ("resistent stärkelse").

Marknadspriset för de typer av livsmedelstillsatser som diskuterats ovan är i intervallet 1 000 - 5 000 €/t. Ett exempel på ett svenskt återförsäljarpris 2013: 12 €/kg för glukomannan-baserade "noll kalori-nudlar", det vill säga 12 000 €/t. Världsmarknaden för dessa typer av livsmedelstillsatser är stor, åtminstone i storleksordningen 1 000 000 t/år (2012). Ett hinder för att komma in i marknaden för livsmedels-, foder- och kosttillskott med en ny produkt är kostnaderna för registrering och godkännande.

### 6.6 Fast skum

Ett forskningsprojekt som ska pågå 2014-2018 vid Chalmers studerar hur hemicellulosa kan omvandlas till styva skum för användning i förpackningar och som absorbentmaterial. Man ska bl a undersöka hur hemicellulosans vattenbeständighet kan förbättras med kemisk modifiering och mekanisk stabilisering av skummet med cellulosa-baserade fibermaterial. (Larsson 2013)

### 6.7 Blandningar av hydroxysyror

28-29 % av det organiska materialet i svartlut utgörs av lågmolekylära (2-5 kolatomer) hydroxysyror ("sockersyror") som är nedbrytningsprodukter av främst hemicellulosa. Årligen produceras ca 30 Mt (varav 7.5 Mt i Europa) hydroxysyror i massafabrikernas svartlut. Det är en komplex blandning av olika föreningar, varav 6-10 stycken dominerar. Vissa av hydroxysyrorna är välkända med industriella tillämpningar medan andra inte har något känt användningsområde. Barrvedslut har glukoisosackarinsyra och mjölksyra som största hydroxysyrakomponenter medan björklut dominerar av 2-hydroxybutansyra, glukoisosackarinsyra och mjölksyra. Mjölksyra är principiellt intressant att utvinna, eftersom det är en etablerad industriell råvara för bioplast, med en produktion på ca 250 000 t/år.

Separation och uppberedning av hydroxysyror befinner sig fortfarande på laboratoriestadiet. En effektiv isolering av hydroxysyror från svartlut och separation av enskilda komponenter kräver sannolikt en kombination av flera separationsmetoder och skulle inte vara ekonomiskt lönsam.

En fraktion av blandade hydroxysyror kan däremot någorlunda enkelt framställas genom att avlägsna lignin och oorganiska ämnen ur svartluten. Ett möjligt användningsområde för en sådan blandning är som smältlim för pappersförpackningar som inte ska ha

kontakt med livsmedel (Hytönen 2014). Värdet som lågvärdig komplexbildare för t ex vattenrening är ca 800 €/t med en marknad på ca 15 000 t/år. Elektrodialys kan vara intressant för ytterligare separation av hydroxysyror om tillräckligt värdefulla applikationer kan hittas.

## 6.8 Furankemikalier

Pentos-och hexossocker från hemicellulosa kan omvandlas kemiskt (d v s utan mikroorganismen eller enzymer) till furanderivatbaserade plattformskemikalier som kan ersätta kemikalier och material som idag är petroleumbaserade. PEF-plast (furanpolyester) kan ersätta PET för t ex läskflaskor och kan på laboratoriet tillverkas via FDCA (furandikarboxylsyra) ([www.avantium.com](http://www.avantium.com)).

**Barrved:** Ur barrvedshemicellulosa (eller från cellulosa) kan DMF (2,5-dimetylfuran) framställas, som har potential som biodrivmedel, och FDCA (furandikarboxylsyra) ur vilken polyestrar av PET-typ (för t ex plastflaskor) kan tillverkas. Marknaden för PET-plast (idag petroleumbaserad) är mycket stor, ca 70 Mt/år. Mycket forskning har gjorts på omvandling av hexoser till furankemikalier. Trots detta finns ännu ingen metod som ger tillräckligt bra utbyte för en kommersiell process.

**Lövved:** Ur lövvedshemicellulosa kan furfurylalkohol framställas som används bl a som träbehandlingsmedel (giftfritt alternativ till tryckimpregnerat trä). Det kan också omvandlas till biodrivmedel. Idag produceras furfurylalkohol ur bagass av ett fåtal stora producenter. Stora variationer i efterfrågan på den kinesiska marknaden får priset att fluktuera avsevärt. Denna process har dessutom miljömässiga nackdelar i form av utsläpp av syreförbrukande material till vatten och långa transporter till Europa.

Mellanprodukten furfural kan, åtminstone delvis, ersätta formaldehyd i fenol-formaldehydharts (Pizzi 1994). Denna typ av hårdplast är populär i bl a utomhusapplikationer p g a sin tålighet mot vatten och höga temperaturer, men råvarorna är giftiga och petroleumbaserade. Ett helt vedbaserat alternativ skulle kunna tillverkas av lignin, se avsnitt 5.11, och furfural (Johansson 1981).

Marknaden för furfural är idag ca 200 000 t/år med ett pris på ca 1 020 USD/t.

## 6.9 Sockerprodukter

Xylos, det socker som erhålls vid nedbrytning av xylan, kan reduceras till xylitol som används som sötningsmedel. Xylitol framställs idag ur xylanrikt material som majscolvar, bagass eller lövved (främst björk). I Europa används även svartlut från kemisk massatillverkning som råvara (Danisco 2012). Marknaden för xylitol är ca 125 000 t/år och marknadsvärdet ca 5 USD/kg (da Silva och Chandel 2012).

## 6.10 Socker för biokemisk omvandling

Hemicellulosor kan konverteras till enkla socker. Beroende på typ av hemicellulosa erhålls huvudsakligen hexoser (6 kol) eller pentoser (5 kol). De förra är lätta att omvandla biokemiskt (jäsa) till t ex etanol, medan de senare är besvärligare och kräver speciella mikroorganismer. Biokemisk omvandling av vedsocker diskuteras i avsnitt 10.3.

## 7 Produkter från bark

Totalt utgörs ett träd av 10-15 % bark. Hos våra nordiska barrträd utgör stammens bark – dvs den bark som avskiljs som en separat fraktion idag – 4-5 vikt-%, medan en björk består av ca 10 % stambark. Stora mängder bark produceras alltså av skogsindustrin. Idag används den huvudsakligen som bränsle i massabrukens barkpannor och andra förbränningsanläggningar som klarar barkens naturligt höga metallhalter. Mindre mängder används i trädgårdsskötsel och som jordförbättringsmedel. Bark innehåller en mängd kemiska ämnen som skulle kunna användas inom områden som läkemedels-, livsmedels- och kosmetikaindustrin.

### 7.1 Suberin

Bark från lövvedsträd innehåller den naturliga polyestern suberin som är uppbyggd av fettsyror. Suberinet kemiska sammansättning med reaktiva epoxygrupper gör den till en intressant råvara för skräddarsydda specialpolymerer. Metodik för utvinning finns på laboratoriestadiet (Iversen m fl 2010).

Björk har speciellt hög suberinhalt; ca 30 % av ytterbarken (som i sin tur utgör ca 20 % av barken). Det industriella processandet av björk i Sverige och Finland ger årligen ca 255 000 t björkytterbark som biprodukt. I storleksordningen 75 000 t suberinsyror skulle kunna framställas ur detta. Marknadsvärdet är ca 800 €/t.

### 7.2 Betulin

Bark innehåller ett stort antal olika extraktivämnen såsom terpenier och steroler. En funktion är att skydda trädet från skadliga mikroorganismer, något som indikerar att vissa extraktivämnen kan vara medicinskt intressanta.

En stor del av barken, speciellt hos björk, utgörs av triterpenen betulin (betulinol) som ger björkstammen dess vita färg. Betulin utvinns av ett fåtal företag i USA och Ryssland och används bl a som pigment i kosmetikaindustrin. Ämnet är biologiskt aktivt och deltar i att skydda trädet från bakterier och svampar. Betulin kan därför även vara intressant för läkemedelsindustrin.

Som pigment har betulin ett värde av ca 1 500 €/t. Som antioxidant i t ex hälsopreparat är värdet högre, omkring 3 600 €/t. Marknaden för pigment i kosmetiska produkter är ca 5 Mt/år medan den för antioxidanter i hälsokost är mindre, ca 500 000 t/år.

### 7.3 Tanniner och andra polyfenoler

Bark från gran och tall innehåller omkring 6 % kondenserade tanniner som kan lakas ut med vatten eller etanol. Bara i Finland producerar skogsbruket 1Mt TS granbark per år.

Tanniner är polyfenoliska ämnen som bl a används till garvning av läder och som bindemedel och dispergeringsmedel. Antioxidativa egenskaper gör dem intressanta som livsmedelstillsats. I laboratorieskala har isoleringskum tillverkats av tanniner från granbark tillsammans med furfurylalkohol (som också kan produceras från ved, se avsnitt 6.8) (Kempainen m fl 2014).

Dagens framställning av ca 200 000 t/år tanniner i Sydafrika, Brasilien och Argentina kommer från lakning med alkalisk sulfid av bark från acacia, schinopsis och kastanj.

Kosmetiska produkter är ett område där polyfenoler kan ha ett mycket högt värde, kring 500 000 €/t (Suurnäkki 2014).

## 8 Produkter från tallolja

Tallolja utvinns som en biprodukt från sulfatkokning av barrved och består av bl a fettsyror, hartssyror och steroler. Talloljan tas redan idag till vara fullt ut som råvara till kemikalier och drivmedel. Svenska massabruk producerar årligen ca 280 000 t tallolja (Johansson 2007).

### 8.1 Kemikalier

Sedan länge raffinerar tallolja – till olika kemikalier för användning i tryckfärger, som bindemedel, smörjmedel och gummitillsats m m. (Holmberg 2011). Restprodukten tallbeckolja utgör ca 40 % av talloljan och används som biobränsle. Vissa beståndsdelar i tallolja har speciellt högt värde. Några procent av råttalloljan utgörs av steroler som är eftertraktade inom hälsokost och har ett värde på ca 130 000 €/t. (Suurnäkki 2014). Växtsteroler säljs t ex som en livsmedelstillsats som sänker kolesterolvärdet ([www.becel.se](http://www.becel.se)). Denna egenskap tillskrivs även lignaner från grankvistnötter (Holmbom m fl 2008)

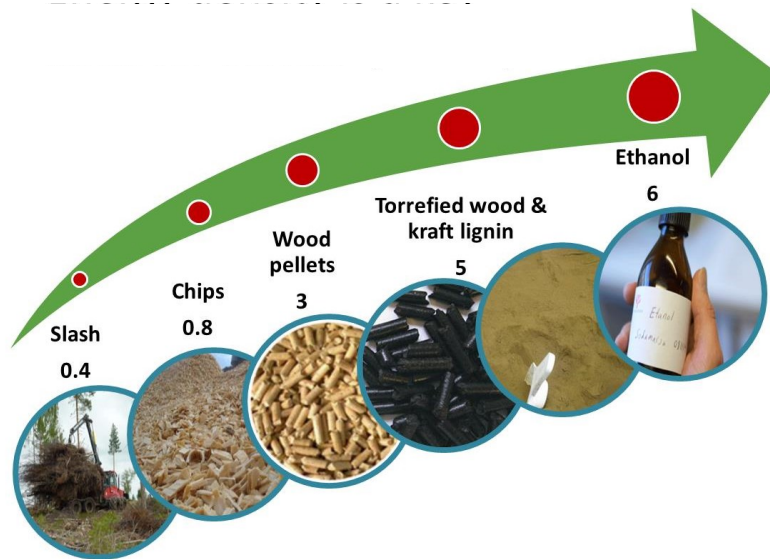
### 8.2 Biodiesel

De senaste åren har stigande bränslepriser och statliga subventioner till biodrivmedel gjort det attraktivt att konvertera tallolja till biodiesel istället för att tillverka olika typer av kemikalier. 2010 invigdes den första kommersiella anläggningen för talloljediesel, Sunpine utanför Piteå. Anläggningen har kapacitet för 100 000 m<sup>3</sup> råttalldiesel/år och drivs av Södra, Sveaskog och Preem. Volymen motsvarar 2.5 % av Sveriges dieselanvändning. Råttalldieseln förädlas till dieselbränsle vid ett andra processteg vid Preems raffinaderi i Göteborg. 55 % av råttalloljan blir biodiesel och resterande 45 % är tallbeckolja som används som biobränsle. (Stigson 2011)

UPM planerar uppstart under 2014 av en kommersiell anläggning för 120 000 m<sup>3</sup> (100 000 ton) per år biodiesel från tallolja i Lappeenranta, Finland.

## 9 Fasta biobränslen

Efterfrågan på fasta biobränslen ökar stadigt i takt med samhällets strävan att minska användningen av fossila bränslen. Biobränslets värde ökar med dess energitäthet. Högre energidensitet innebär effektivare transport, lagring, hantering och förbränning. *Figur 7* illustrerar hur energitätheten kan ökas med flisning, pelletering och torrefiering.



Figur 7. Biobränslets värde ökar med energitätheten. Enhet: MWh/m<sup>3</sup>

**Torrefiering** innebär att biobränslet behandlas vid temperaturer på 250-350 °C i frånvaro av syre/luft. Processen ökar bränslets energidensitet och värmevärde. Sådana svarta pellets kan användas av kolkraftverk då de blir lättare att mala i kraftverkens bränslekvarnar. Dessutom förbättras lagringsegenskaperna jämfört med vanliga träpellets eftersom torrefieringen ger en mindre vattenkänslig produkt. En demonstrationsanläggning för torrefiering av grot är under uppförande i Holmsund. Anläggningen finansieras av Energimyndigheten, Umeå Energi och SCA och ska stå klar under 2014. Kapaciteten blir ungefär 1/10 av en realistisk kommersiell anläggning. I Stendrup, Danmark startades en mindre pilotanläggning upp 2012, finansierad av Andritz och ett danskt teknikutvecklingsprogram. Under 2013 levererades ca 400 t torrefierade pellets till kraftbolag. (Sherrard 2013).

**Lignin** har hög energidensitet, men det som utvinns från massafabriker med sulfat- eller sulfitkokprocess har för högt svavelinnehåll för att användas i småskalig förbränning. Stora energianläggningar däremot kan hantera och t o m dra nytta av svavelinnehållet i lignin, se avsnitt 5.4.

## 10 Biodrivmedel och biokemikalier

Ett större förädlingssteg krävs för att konvertera biomassa till bränslen för fordon. Efterfrågan på biodrivmedel såsom bioetanol och biodiesel har de senaste åren stadigt ökat i Sverige, till stor del som ett resultat av statliga ekonomiska subventioner. I Sveriges nuvarande klimatpolitik föreslår regeringen som en prioritering en fordonsflotta som är oberoende av fossil energi år 2030 (Naturvårdsverket 2013). E85 och biogas är n skattebefriade. Sedan januari 2013 beläggs däremot biodrivmedel vid låginblandning över 5 % med samma energiskatt som gäller för bensin och diesel. I budgetpropositionen för 2014 föreslog regeringen ett kvotpliktssystem som skulle fördubbla etanolblandningen i bensin (minst 4.8 vol-% inblandning av biodrivmedel i bensin och 9.5 vol-% inblandning i diesel). I april 2014 meddelades dock att åtgärden skjuts upp på obestämd tid. Inte heller den planerade befrielsen från koldioxidskatt för alla biodrivmedel trädde i kraft 1 maj 2014 som det hade planerats. Ekonomin i att använda och producera biodrivmedel den närmaste framtiden är alltså oklar.

Biomassa kan omvandlas till biodrivmedel och/eller biokemikalier via termokemisk behandling (pyrolys eller förgasning) eller biokonvertering (jäsnings av socker).

Termokemisk omvandling av vedmaterial är den väg där man kommit längst, med fullskaleprojekt på gång på både pyrolys och förgasning. Dessa processer är jämförelsevis okänsliga för sammansättningen på råmaterialet, d v s fungerar med alla typer av skogsbiomassa. Förgasning av svartlut har däremot ännu inte fått någon första kommersiell anläggning. En orsak är att processen integreras med massabrukets kemikalieåtervinning (ersätter sodapannan), vilket gör systemet känsligare för störningar.

Det har hittills varit svårt att få ekonomi i etanoltillverkning ur ved. Energiutbytet är sämre än i de termokemiska alternativen, *tabell 15* Bidragande orsaker är att ved (till skillnad mot t ex sockerrör eller majsstärkelse) kräver förbehandling och att bark- och vedämnen som är giftiga för mikroorganismerna måste renas bort samt den uppkoncentration/rening som alltid krävs efter jäsnings till etanol. Som drivmedel har etanol en nackdel i att bara kunna användas i låg inblandning i vanliga bensinmotorer.

Tabell 15. Energiutbyte och systemverkningsgrad för drivmedel via förgasning respektive jäsnings (Skogsindustrierna 2012)

Process	Energiutbyte <sup>1</sup> , %	Systemverkningsgrad <sup>2</sup> , %	
		Fristående	Integrerad <sup>3</sup>
Jäsning av ved till etanol	22-27	50-60	-
Förgasning av ved till DME/metanol	57	50	55-70
Förgasning av svartlut till DME/metanol	56	56	55-70

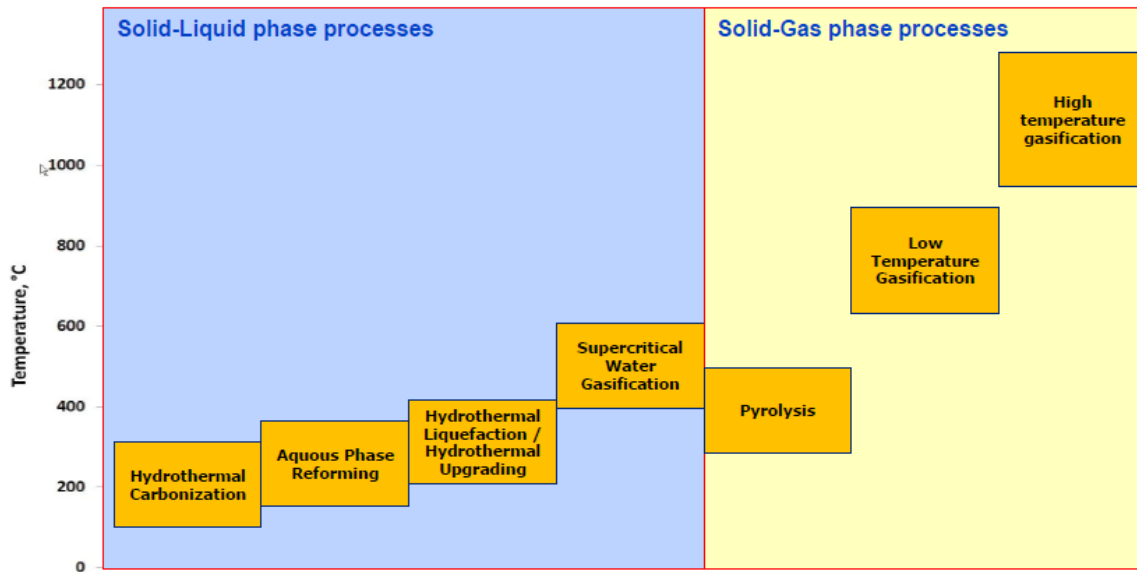
<sup>1</sup> Energi i drivmedel / energi i ved

<sup>2</sup> Totalt i systemet nyttiggjord energi / energi i ved

<sup>3</sup> Med kraftvärmeanläggning

## 10.1 Biobränslen m m via pyrolysis

Med pyrolysis menas vanligen upphettning av biomassa i frånvaro av syre/luft vid högre temperatur (400-500 °C) än vid torrefiering. Huvudprodukten är en s k pyrolysolja som är en blandning av nedbrytningsprodukter. En liknande omvandling av biomassa kan erhållas med s k våtpyrolysismetoder vid lägre temperatur och i närvaro av en vätskefas, *figur 8*.



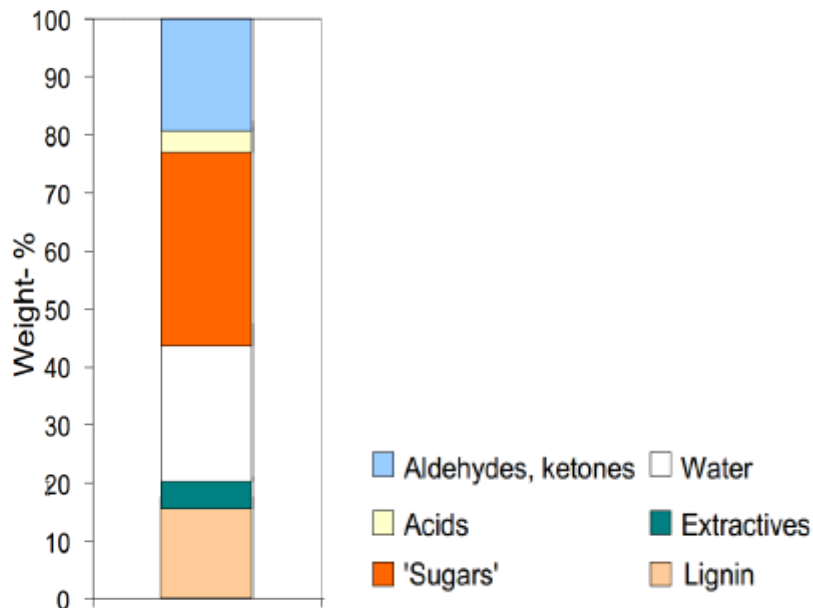
Figur 8. Termokemiska omvandlingsmetoder (Löwnertz 2014)

Pyrolysis i gasfas är en etablerad metod och anläggningar för pyrolysis av skogsbiomassa är under uppförande. Våtpyrolysismetoderna är i allmänhet dyrare och i olika stadier av utveckling.

### 10.1.1 Pyrolysisprocessen

Den ”normala”, torra pyrolysisprocessen innebär upphettning i frånvaro av luft vid 300-500 °C och 1-3.5 MPa. Ibland tillsätts katalysatorer eller vätgas. Viss förbehandling behövs för vedmaterial: Torkning till <10 % torrhalt och krossning till < 5 mm partikelstorlek ([www.metso.com](http://www.metso.com)).

Huvudprodukten kondenseras till en vätska, pyrolysolja. Övriga produkter är tjära och icke-kondenserbara gaser. Sammensättningen hos produktmixen varierar med betingelserna. Ett exempel på huvudbeståndsdelarna i pyrolysolja från ved visas i *figur 9*. Den vattenolösliga – och mest energitäta – fraktionen består i huvudsak av lignin och extraktivännen.



Figur 9. Exempel på sammansättning hos pyrolysolja (Löwnertz 2014)

### 10.1.2 Råvarukrav

I princip alla typer av biomassa kan pyrolyseras. Ur energiekonomisynpunkt är hög torrhalt en fördel. Fukthalten får inte vara högre än 10 %. Snabbpyrolys kräver en mindre partikelstorlek, under 3 mm. (Joelsson 2014).

Ju homogenare råvaran är desto mindre diversifierad blir produktblandningen, vilket oftast är önskvärt. Jämnhet över tid i sammansättningen är viktig för att minimera variationer i pyrolysisprodukten.

### 10.1.3 Produkter och marknad

Pyrolysolja har högre energidensitet (ca 4 MWh/m<sup>3</sup>) än vedråmaterialet (ca 1 MWh/m<sup>3</sup>) och är därmed billigare att transportera. Eftersom den är flytande kan pyrolysolja – till skillnad mot fasta biobränslen – dessutom användas i oljeeldade kraftvärmeverk och industriella oljepannor.

Pyrolysolja kan – än så länge i laboratorieskala – förädlas till fordonsbränslen eller kemikalier. Upparbetning av pyrolysolja (via t ex hydrokrackning) till fordonsbränslen ligger åtminstone några år framåt i tiden. I princip skulle pyrolysolja kunna omvandlas i raffinaderier på liknande sätt som råolja. Klustret ”Kemiföretagen i Stenungssund” har i sin vision att 2030 ha sin produktion baserad på förnybara råvaror ([www.kemiforetagenistenungssund.se](http://www.kemiforetagenistenungssund.se)). Det Vinnovastödda projektet Skogskemi, där dessa kemiföretag samarbetar med skogsindustriföretag, forskar på tre värdekedjor från skogsråvara: olefiner, butanol och metanol. En möjlighet som det deltagande företaget Borealis ser är att tillverka eten eller andra olefiner ur en biobaserad mellanprodukt, ”bionafte”, i sin befintliga kracker som idag använder fossila råvaror (Matthis 2013). Den bionafte som finns dag är rapsolja-baserad. Projektets andra fas slutrapporteras i december 2014.



#### 10.1.4 Pyrolys av lignin

Lignin som isolerats från massabruk kan vara intressant att pyrolysera för att framställa fenolära föreningar eller bionafte, se avsnitt 5.10. Drivmedelsbolaget Preem bedriver forskning för att utveckla syntetisk bensin genom katalytisk pyrolys av lignin (Svärd 2014) och beräknar att fullskalig produktion skulle kunna vara igång två år efter ett investeringsbeslut. Långsiktiga politiska styrmedel för att gynna biodrivmedel uppges vara en förutsättning för satsning på ”ligninbensin” i dagsläget.

#### 10.1.5 Aktuella projekt

Investeringskostnaden för pyrolys är måttlig, jämfört med t ex förgasning, och det pågår redan fullskalig aktivitet på skogsråvara:

Fortums pyrolysanläggning i Joensuu startade november 2013 och kan tillverka 50 000 t bioolja per år från skogsbränslen. Pyrolysoljan ersätter tung eldningsolja. Anläggningen är integrerad med ett befintligt kraftvärmeverk.

Empyrokonsortiet med nio partners bygger med EU-stöd en pyrolysanläggning för grot i Hengelo, Nederländerna under 2014. Anläggningen ska förse ett industrikombinat med bränsleolja, ånga, el och organiska syror. Kapaciteten blir 20 million l (ca 20 000 t) pyrolysolja per år.

Valmet, VTT och UPM samarbetar i det Tekes-stödda projektet LignoCat 2014-2019 med utveckling av katalyserad pyrolys i syfte att tillverka fordonsbränslen från skogsråvara.

BillerudKorsnäs fick klartecken från miljömyndigheter 2013 att tillverka en anläggning för snabb pyrolys av grot vid Skärblacka bruk, men annonserade i slutet av 2013 att man lägger ned satsningen tills vidare. Som motivering uppgavs att de kommersiella förutsättningarna under nuvarande förhållanden, och med uppskattad framtida utveckling på kort till medellång sikt, inte är tillräckligt stabila.

Anläggningen var planerad att starta tidigast 2016 med kapacitet 200 000 t pyrolysolja per år. Produkten var tänkt att ersätta eldningsolja i storskaliga förbränningsanläggningar. Processen har utarbetats i pilotskala vid ETC i Piteå. Projektet Pyrogrot för att genomföra den industriella anläggningen hade beviljats 31 M€ i EU-stöd inom ramen för NER300-programmet.

## 10.2 Biodrivmedel m m via förgasning

Förgasning innebär liksom pyrolys upphettning av organiskt material i närvaro av en kontrollerad mängd syre och/eller vattenånga. Temperaturen är dock högre än vid pyrolys, se figur 8, och produkten är en gasformig blandning av kolmonoxid och vätgas. Kolmonoxid och vätgas i förhållande från 1:1 upp till cirka 1:2 kallas syntesgas.

### 10.2.1 Råvarukrav

Ur energiekonomisynpunkt är hög torrhalt en fördel. Fukthalten får inte vara högre än 10-20 %. Lämplig partikelstorlek varierar med reaktortyp, från max 0.5 mm för flamförgasare till max 50 mm för fluidiserad bädd. (Joelsson 2014). Det är alltså en fördel om materialet är lätt att finfördela, speciellt för flamförgasareaktorer.

Halterna av svavel, fosfor och alkali ska vara låga i råvaran eftersom dessa ämnen stör den katalytiska omvandlingen. Även halterna av andra oorganiska ämnen kan vara viktiga. Liten variation i egenskaperna är också önskvärt.

### 10.2.2 Produkter

Syntesgas kan användas som bränsle i t ex kraftvärmeverk som ersättning för annan biogas eller för fossilgas. Om gasen ska blandas in i befintliga gasnät omvandlas vätet och kolmonoxiden katalytiskt till metan, s k syntetisk naturgas (SNG).

Syntesgas blir dessutom allt mer intressant som råvara för flytande biodrivmedel. Förgasning är den energieffektivaste metoden idag att omvandla biomassa till biodrivmedel (KVA 2013). Minst energiförlust ger produktion av metanol, följd av DME. Metanol kan i sig användas som biobränsle, t ex för inblandning i bensin. Dessutom kan metanol enkelt omvandlas till dimetyleter, DME, som kan ersätta diesel i befintliga dieselmotorer. DME är gasformigt vid rumstemperatur och kräver en trycksatt bränsletank, vilket innebär att bränslet är mest lämpat för lastbilar och bussar.

Via den s k Fischer-Tropsch-processen kan syntesgas konverteras till flytande FT-diesel för befintliga dieselmotorer. Processen innebär att syntesgasen omvandlas till vätskeformiga kolväten med hjälp av en järn- eller koboltkatalysator.

Några viktiga baskemikalier som kan tillverkas ur syntesgas:

- *Ammoniak*: Används främst till konstgödsel e (ammonium salter, nitrat, urea) men även till aminer in kemisk syntes. Marknad: ca 175 Mt/år (2013)
- *Metanol*: Biodrivmedel samt råvara för ättiksyra, formaldehyd och olefiner. Marknad: ca 62 Mt/år (2013).
- *Oxokemikalier*: Syntesgas kan tillsammans med olefiner ge aldehyder som konverteras till bl a alkoholer. Marknad: Ca 10 Mt/år (2012) där n-butanol och 2-ethylhexanol utgör 70 %.
- *Kolväten*: Via Fischer-Tropsch-processen kan syntesgas konverteras katalytiskt till kolväten i olika mängder och former för användning som ersättning för olika typer av idag petroleumbaserade produkter.

### 10.2.3 Förgasning av ved och annan biomassa

Kraftvärmeverket i Hortlax utanför Piteå förgasar vedpellets i liten skala sedan början av 2013 (Haaker 2013). Kapaciteten är 960 kg pellets i timmen vilket ger 1.3 MW el och 2.4 MW värme, d v s 28 % elverkningsgrad. Meva som levererat anläggningen har i pilotskala testat tekniken även med bl a bark.

GobiGas har byggt en förgasningsanläggning på 20 MW i drift i Göteborg med stöd från Energimyndigheten. Anläggningen invigdes i mars 2014 med vedpellets. Tanken är att så småningom övergå till grot som råvara. Produkten är syntetisk naturgas (SNG), d v s metan, tänkt för användning i gasnätet eller som fordonsbränsle. I full drift kan anläggningen producera 160 GWh/år vilket kan försörja 15 000- 20 000 bilar. De blir därmed störst i världen på förgasning av biobränsle (Ny Teknik 2014). Trots att biogas, i motsats till t.ex. metanol, slipper både energiskatt och koldioxidskatt är anläggningen ändå inte lönsam; en större skala krävs för en kommersiell anläggning.

Sydkrafts försöksanläggning i Värnamo togs i drift 1992/93. Där användes gasen för att producera el i ett kraftvärmeverk. Sydkraft, numera E.ON, kunde efter några års drift konstatera att tekniken fungerade, men lade anläggningen i malpåse eftersom elpriserna var så låga att elproduktionen inte var lönsam.

Även E.ON undersöker möjligheterna att bygga en förgasningsanläggning för produktion av bio-SNG. Anläggningen planeras för upp till 200 MW – eller 1,6 TWh producerad energi årligen, ursprungligen med möjlig driftsättning år 2015. Arbetet drevs i ett projekt, kallat Bio2G, som har utrett olika lokaliseringalternativ. Efter genomförda samråd enligt miljöbalken utkristalliserade sig Malmö och Landskrona som möjliga etableringsorter. Bio2G finns på reservplats för stöd från Europa via NER300, men E.ON avvaktar med att ta nästa steg i projektet, med hänvisning till osäkerhet kring finansieringen och att regeringen ännu inte definierat en strategi för omställningen av transportsektorn i Sverige. ([www.eon.se](http://www.eon.se))

UPM har planer på en förgasningsanläggning för produktion av FT-diesel. De har tilldelats EUR 170 million i EU-stöd inom ramen för NER300-programmet för att genomföra en industriell anläggning i Strasbourg, Frankrike.

#### **10.2.4 Förgasning av svartlut**

Förgasning av svartlut innebär att massafabrikens sodapanna kan ersättas. Metoden har hög totalverkningsgrad och har potential att ge 60-70 % mer el än moderna sodapannor. För att ersätta den svartlutsenergi som idag används för ångproduktion i massabruken behöver biopannor installeras som eldas med ett lågvärdigt biobränsle som t ex hyggesavfall.

En demoanläggning för svartlutsförgasning finns vid SmurfitKappa Kraftliner i Piteå. Produkten är DME (dimetyleter) för användning som biodrivmedel. Kapaciteten är drygt 4 ton DME/dygn. Oktober 2013 hade anläggningen producerat 600 t DME. Anläggningen drivs vidare i BioSyngas-programmet.

Det var nära att en första anläggning i full skala för tillverkning av fordonsbränslen (metanol och DME) ur svartlut byggdes vid Domsjöfabriken i Örnsköldsvik. Man bedömde dock till sist att de tekniska riskerna med uppskalningen var för stora. En faktor är att massafabrikens kemikalieåtervinning integreras i processen. I kombination med de långsiktigt osäkra villkoren för biodrivmedel i Sverige att beslöt ägaren Aditya Birla att avbryta planerna. (Winter 2012)

### **10.3 Etanol m m via biokemisk omvandling**

Efterfrågan på bioetanol och andra biodrivmedel har de senaste åren stadigt ökat i Sverige. Etanol är dessutom en viktig baskemikalie, framför allt för eten till polyetenplast. Projektet Skogskemi, där kemi- och skogsföretag samarbetar (se avsnitt 10.1.3), studerar bl a tillverkning av eten via vedbaserad etanol (Matthis 2013).

Stora mängder sockeretanol produceras i dag. De huvudsakliga biobaserade råvarorna är sackaros från sockerrör (Brasilien) och stärkelse från majs (USA). En avsevärd del av etanolen på marknaden är dock fossilbaserad, producerad från eten tillverkad av petroleumråvara.

Lignocellulosa från trä, ettåriga växter och jordbruksrester utgör stora potentiella volymer råvara för etanolproduktion. Mycket forskning har gjorts på dessa råvaror, inklusive pilotskala, men det finns fortfarande ingen kommersiell produktion av etanol från ved. I den svenska utvecklingen av vedbaserade etanol har en pilotanläggning i Domsjö med kapacitet 150-200 m<sup>3</sup> etanol/år varit ett viktigt verktyg.

Skogsindustrins biprodukter är attraktiva etanolråvaror ur hållbarhetssynpunkt eftersom skogsbruket normalt inte konkurrerar med livsmedelsgrödor om mark eller förändrar markanvändningen.

Förutom etanol finns det fler kemiska produkter som kan produceras genom jäsnings av socker från biomassa, t ex mjölksyra, butanol och bärnstenssyra. De är intressanta som byggstenar för biopolymerer och som baskemikalier för andra biobaserade produkter.

### **10.3.1 Ved som råvara för biokonvertering**

Stärkelse är lätt att hydrolysera till jäsbar glukos via sur eller enzymatisk hydrolys. Vedcellulosa är svårare att bryta ned till jäsbart socker än stärkelse på grund av den höga kristalliniteten hos cellulosa och närvaron av hemicellulosa och lignin i ved, vilket försvårar åtkomsten till cellulosan. Ett förbehandlingssteg är nödvändigt för att göra cellulosa mer tillgänglig för hydrolys och för att avlägsna lignin. Ofta avlägsnas samtidigt hemicellulosa vid förbehandlingen. Den förbehandlade cellulosan (med eller utan hemicellulosa) hydrolyseras därefter till monomera sockerarter med svag syra eller enzymer. En komplikation vid användning av ved är att förbehandlings- och hydrolysstegen samtidigt bildar ämnen som hämmar jäsningsen.

Den vanligaste hanteringen av hemicellulosa är att separera den och jäsa dess socker separat. Ett alternativ är att jäsa en blandning av cellulosa- och hemicellulosasocker. Socker från hemicellulosor utgörs av både hexoser, som är lätta att jäsa, och pentoser, för vilka det inte finns någon jäst i storskalig kommersiell användning idag. Barrved har fördelen av att ha hemicellulosa som huvudsakligen består av hexossocker. Lövveds-hemicellulosa består huvudsakligen av pentossocker. Den mesta forskningen på att göra etanol från hemicellulosa har utförts på pentossockret xylan, eftersom denna typ av hemicellulosa är vanlig i många av jordbrukets restprodukter.

En lämplig förbehandlingsmetod är förmodligen nyckeln till bioomvandling av olika sortiment av restmaterial från skogsbruket, eftersom dessa material oftast har en ännu mindre fördelaktig kemisk sammansättning än stamved. De hittills mest använda förbehandlingsmetoderna för selektiv nedbrytning av hemicellulosa i t ex ved är syror (svavelsyra eller svaveldioxid) eller vatten (vätska eller ånga). Superkritiskt vatten eller CO<sub>2</sub> är effektiva men mindre testade förbehandlingsmedel (Kim och Hong 2001, Gu 2013). Alkali eller organiska lösningsmedel kan också användas, men dessa löser även upp ligninet. Joniska vätskor möjliggör god upplösning och separation av de olika vedkomponenterna (Kilpeläinen 2007, Gírio m fl 2010, Leu m fl 2013), men är dyra i dag.

### **10.3.2 Önskvärda egenskaper hos vedråvaran**

Följande egenskaper är önskvärda för ett vedsortiment som skall användas som råvara för produktion av etanol eller andra produkter genom biokemisk omvandling:

### **Biokemisk processbarhet**

- *Låg halt av extraktivämnen*

Extraktivämnen (finns framförallt i bark) kan innehålla substanser som hämmar jäsningen.

- *Låg ligninhalt*

Nedbrutet lignin innehåller ämnen som hämmar jäsningen.

- *Högt hexos/pentos-förhållande*

Hexos-socker är lättare att jäsa än pentos-socker. Detta innebär att barrved har en fördel framför lövträd.

- *Låg halt av metaller och andra askämnen*

Det är inte helt klarlagt hur mängd och sammansättning av askämnen påverkar biokemisk omvandling (jäsning eller rötning). Det har dock visat sig att vissa oorganiska ämnen i biomassa kan hämma jäsningsprocessen och att toleransen varierar mellan olika mikroorganismer. (Biomass Energy 2014)

### **Andra processbarhetsegenskaper**

- *Lågt oorganiskt innehåll (aska)*

Ur miljö-och hållbarhetssynpunkt bör metalljoner inte släppas ut till vattenrecipient. Restvätskeströmmar kan därför behöva renas från vissa metalljoner och andra oorganiska ämnen. En del oorganiska ämnen tenderar dessutom att anrikas inuti processer och orsaka problem med utfällning av salter. Askmaterial kan återföras till skogen, men separation av salter från vattenströmmar genom t.ex. avdunstning är dyrt.

Om restprodukter från processen ska användas som fast biobränsle är det en fördel om de har låg askhalt, eftersom aska minskar värmevärdet och orsakar förbränningsproblem.

Den naturliga halten av askkomponenter i ved består huvudsakligen av Ca, K, Si, Mg, Na, Al och Fe. Dessutom kan materialet förorenas med olika grundämnen under hantering. Vid användning av ved som råvara för biokonvertering kommer de flesta av askämnen att separeras i förbehandlingssteget. Om förbehandlingen innebär att hemicellulosa separeras från cellulosa så kommer askan i huvudsak att följa hemicellulosaströmmen.

### **Kostnader för skörd, transport och hantering**

- *Stora mängder per skogsareal tillgängliga*

Kostnaderna för skörd, transport och hantering av skogsbiomassa är en funktion av hur utspritt materialet är i skogsmarken, dels inom varje bestånd och dels när det gäller avståndet till etanolanläggningen. Biomassan måste finnas i tillräckliga mängder på ett maximalt avstånd från etanolfabriken. Den minsta storleken för en kommersiell etanolanläggning anses vara 30 000 - 60 000 m<sup>3</sup> etanol/år. Den mest sannolika storleken för en anläggning som ska byggas i Sverige är 100 000 - 150 000 m<sup>3</sup>/år (Sekab 2013).

- *Hög bulkdensitet*

En låg bulkdensitet hos biomassan innebär dålig transporteffektivitet. Bulkdensiteten hos grot kan ökas genom kompaktering.

- *Möjlighet att skörda/samla effektivt*

Logistikekonomi kräver att biomassan bör vara möjlig att hantera och transportera fram till väggkant i samband med gallring eller avverkning.

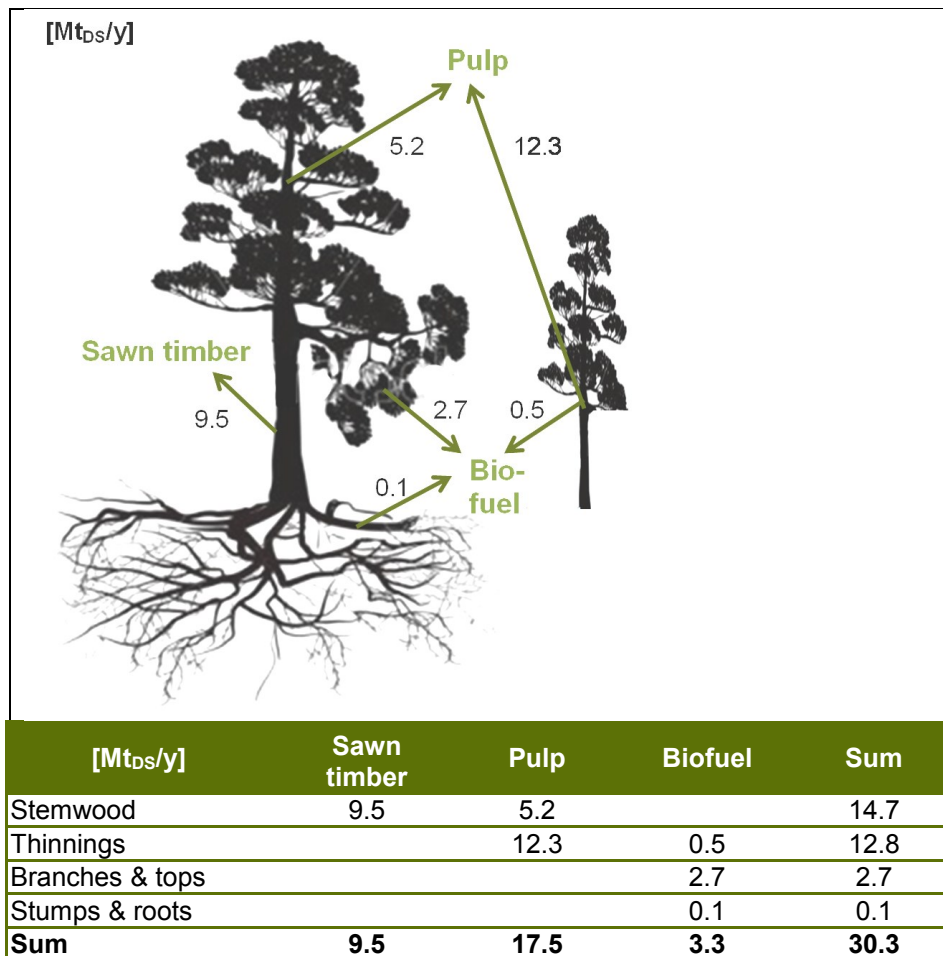
### 10.3.3 Lämpliga vedsortiment

En billig vedråvara är nödvändig för att möjliggöra etanoltillverkning från ved. Råvaran bör alltså hämtas ur det som idag är biobränslesortiment. Med hänsyn till råvarukraven som specificeras i avsnitt 10.3.2 finns det tänkbara framtida specialsortiment som skulle kunna vara intressanta (Backlund 2014):

- Stubbar, speciellt om bark och små rötter kan avlägsnas, skulle kunna vara en intressant råvara för biokemisk omvandling. Denna träddel tas tillvara i mycket liten utsträckning idag och potentialen i Sverige är upp till 5 miljoner ton/år (inklusive rötter och bark).
- Kvistade, och – helst – avbarkade, klena träd (av tidig gallringsstorlek) kan vara ett annat intressant sortiment. Den svenska potentialen är ca 2 miljoner ton/år (inklusive grenar och bark). Modifierade avverknings- och transporttekniker för gallring skulle kunna möjliggöra produktion av specialsortiment från gallring.
- Utveckling av en effektiv och flexibel barkseparationsmetod för ”skogsbränslen” skulle underlätta framtagandet av lämpliga biokonverteringssortiment.

### 10.3.4 Ett svenskt bioetanol-scenario

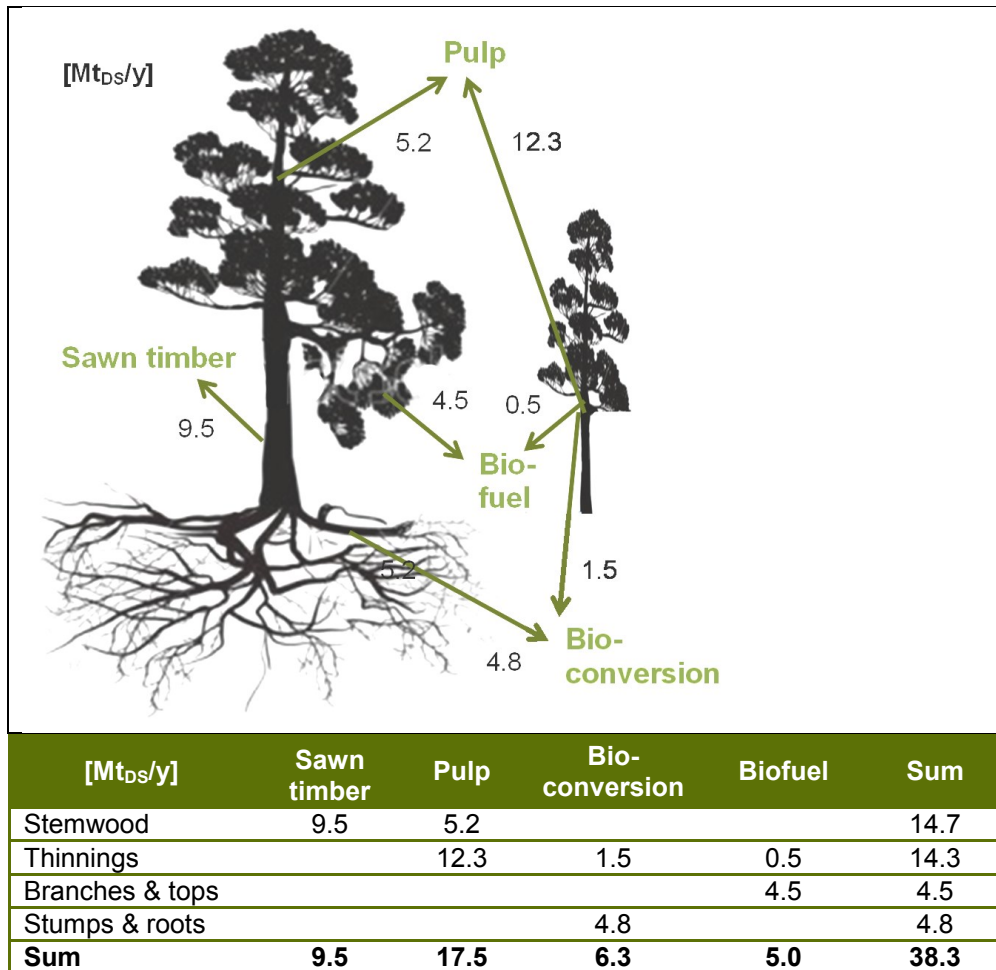
Användningen av avverkad skog (exklusive bark) i Sverige sammanfattas grovt i *figur 10*. Unga träd från gallring används huvudsakligen som massaved. En liten andel skördas tidigt och blir bränsle. Stamved från slutavverkning går i huvudsak till sågade trävaror medan stamvedsdelar av låg kvalitet och sågspån huvudsakligen används som massaved. Grenar och toppar utgör det största biobränslesortimentet. Endast några få procent av den tekniskt tillgängliga mängden stubbar och rötter används, och då som bränsle.



Figur 10. Användning av ved (exklusive bark) i dag i Sverige, grovt indelad i vedsortiment. Ungefärliga flöden baserade på (Riksskogstaxeringen 2012; Skogsindustrierna 2013; Bergström 2013).

Ett möjligt framtida scenario för uttag av ett vedsortiment för biokonvertering skissas i *figur 11* (Backlund 2014). Scenariot bygger på antagandet att effektivare avverknings-, transport- och sorteringsteknik gör det möjligt att öka uttaget av gallringsved samt grenar och toppar. Det antas också att en betydande del av de stubbar och rötter som nu blir kvar i skogen vid slutavverkning kommer att utnyttjas.

I dagsläget outnyttjade 4.8 Mt stubbar och rötter kunde, tillsammans med ett extra uttag av 1.5 Mt gallringsved, vara lämplig råvara för bioomvandling. Dessa 6.3 miljoner ton biomassa skulle teoretiskt kunna användas för en etanolproduktion på ca 12 TWh/år. Det motsvarar 13 % av allt transportbränsle som används i Sverige; 90.1 TWh (www.energimyndigheten.se).



Figur 11. Ett scenario för framtida framställning av ved (exklusive bark) i Sverige, med ett sortiment för biokonvertering (Backlund 2014). Ungefärliga flöden baserade på (Riksskogstaxeringen 2012; Skogsindustrierna 2013; Bergström 2013)

### 10.3.5 Några intressanta biokemiska produkter utöver etanol

Förutom etanol finns det fler kemiska produkter som kan produceras genom jäsnings av socker från biomassa, t ex mjölksyra, butanol och bärnstenssyra. Liksom etanol är de intressanta som byggstenar för biopolymerer och som biokemikalier för andra biobaserade produkter.

#### *Etanolbaserad PET-plast*

Ur etanol kan PET-plast tillverkas med teknik som används kommersiellt. Braskem utvecklade 2007 en metod för PET ur sockerrörsetanol och startade 2009 kommersiell produktion i Brasilien med kapacitet på f n 200 000 t/år. ([www.braskem.com.br](http://www.braskem.com.br))



### *Mjölksyrebaserad PLA-plast*

Mjölksyra är en intressant produkt som i framtiden skulle kunna framställas biokemiskt från ved. Mjölksyra är sedan 1990-talet en etablerad industriell råvara för PLA, som är en av de största bioplasterna idag med en produktion på ca 250 000 t/år. Idag tillverkas mjölksyra genom bakteriell fermentering av bl a majs och sockerrör (www.purac.com).

### *Adipinsyrebaserad nylon*

Ett projekt vid Chalmers 2014-2017 studerar biokemisk tillverkning av adipinsyra (butan-1,4-dikarboxylsyra) ur grot (Olsson 2013). Adipinsyra – idag fossilbaserad – är startmaterial för tillverkning av nylon men används även till mjukgörare, smörjmedel och livsmedelstillsatser. Genetiskt modifierade jäststammar för cellulosa- och hemicellulosasocker ska tas fram som klarar de inhiberande biprodukter som bildas vid den nödvändiga förbehandlingen av veden (se avsnitt 10.3.1).

### *Single-cell-protein (fiskfoder)*

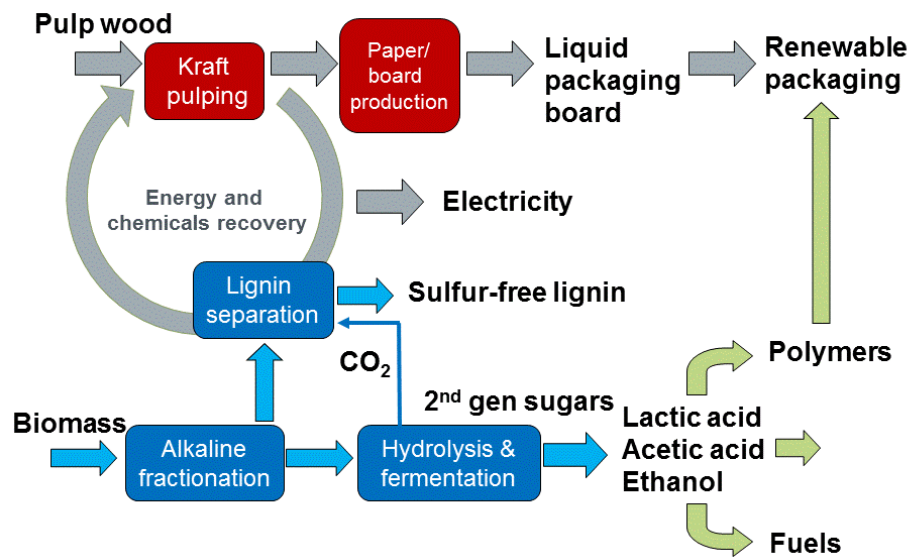
Sulfitfabriken i Domsjö som tillverkar textilcellulosa och etanol har undersökt förutsättningarna för att använda massafabrikens restvärme och vattenrenningskapacitet för odling av matfisk, närmare bestämt den tropiska sötvattenfisken Tilapia (Engström m fl 2012). Slutsatsen blev att fiskproduktionen skulle löna sig över en viss volym, men i Domsjös fall finns inte nog med plats tillräckligt nära fabriken.

Även fiskarnas foder skulle kunna framställas ut massafabrikens restströmmar (Alriksson 2014). Domsjö har testat fiberslam, kokavlut, drank från etanoltillverkning och hydrolysat som substrat för proteinrika mikroorganismer. Dessa har i sin tur utvärderats som fiskfoder. Försök i lab-, pilot- och demoskala med tilapiafisk visade bättre fisktillväxt när 68 % av fiskmjölsreferensen ersattes med "massafabriksfoder".

### *Integrering av etanol- och sulfatmassatillverkning*

Ett svensk-brasilianskt konsortium utvecklar en idé att integrera ett vanligt sulfatmassabruk med tillverkning av etanol eller andra baskemikalier ur bagass eller skogsavverkningsrester (Berglin 2014). De flesta processerna för biokemisk omvandling av lignocellulosa använder sur hydrolys som förbehandling. Den s k Polynolprocessen (figur 12) bygger i stället på alkalisk förbehandling, vilket innebär att ligninet löses ut och kan skickas in i massafabrikens svartlutcykel för utvinning av ligninet i fast form med LignoBoost-processen.

Inköpt koldioxid är idag en stor del av kostnaden för ligninavskiljning. Här kan i stället den koldioxid som produceras i fermenteringsprocessen användas. Konceptet skulle kunna användas för att integrerat tillverka helt biobaserade förpackningsmaterial: Den producerade etanolen eller mjölksyran omvandlas till bioplast som används som barriärmaterial till den vätskekartong som massabruket tillverkar. Projektet är i den första fasen (2013-2016) av tre, där fas två är tänkt att innebära pilotskaleförsök och fas 3 siktar mot en större demoanläggning.



Figur 12. Polynolprocessen för integrerad tillverkning av helt biobaserat förpackningsmaterial (Berglin 2014).

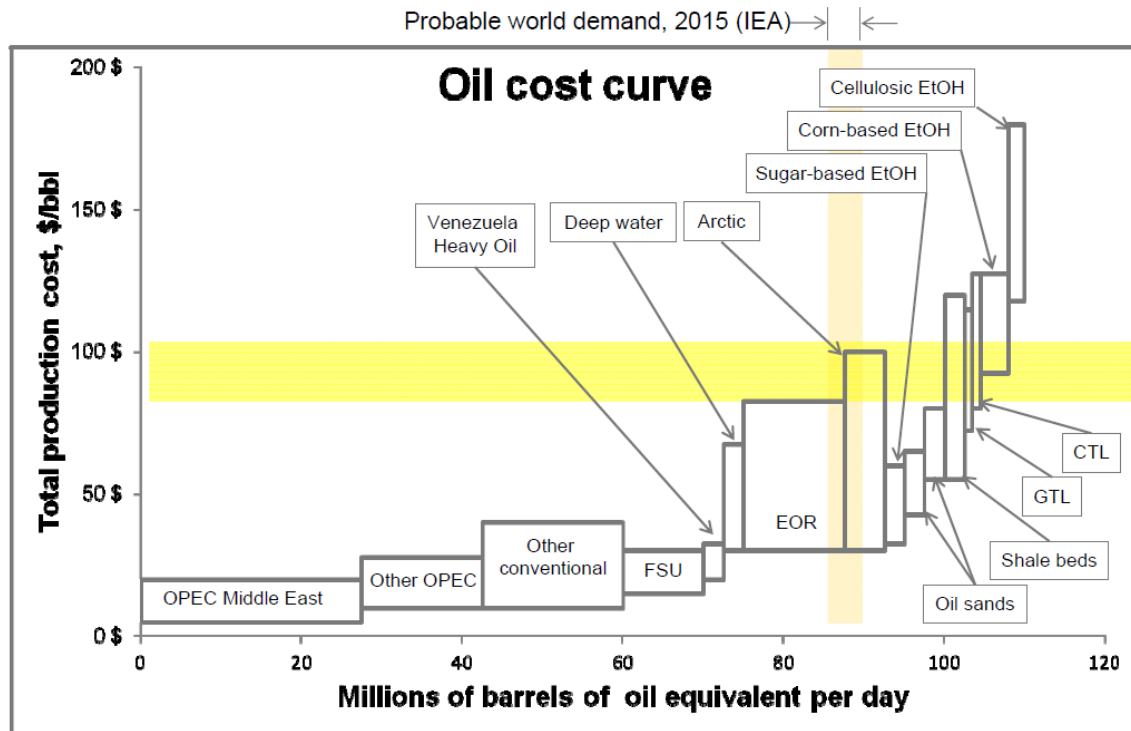
### 10.3.6 Marknad

#### Etanol

Det finns fortfarande ingen kommersiell produktion av etanol från ved. Utan subventioner har vedbaserad etanol svårt att konkurrera ekonomiskt med oljebaserade bränslen eller med agrobaserad etanol. Marginalkostnaden för utvinning av olja (t ex skifferolja) är ca 100 USD/bbl (4 100 SEK/m<sup>3</sup>). Som framgår av *figur 13* kan etanol ur sockerrör eller majs vara konkurrenskraftig med detta idag, medan cellulosebaserad etanol ännu är för dyr att framställa. Med dagens metoder krävs ett vedråvarupris på max ca 200 SEK/t<sub>TS</sub> (Browne 2013) för att konkurrera med andra etanolråvaror, d v s ca hälften av dagens svenska prisnivå på energibränslen från skog.

I USA har den stora satsningen på bioetanol kommit av sig (McAleavey 2014). Minskade subventioner och ifrågasatt miljönytta av den hittills majsbaserade etanolen är två viktiga orsaker. 2007 satte myndigheterna som mål att USA skulle producera 500 miljoner gallon cellulosebaserad etanol år 2014. De tekniska och affärsmässiga problemen har dock varit större än väntat för denna ”andra generationens” etanol, och produktionskapaciteten 2014 förväntas stanna vid 44 miljoner gallon.

I Sverige föreslog den förra regeringen i budgetpropositionen för 2014 ett kvotplikts-system som skulle fördubbla etanolblandning i bensin. I april 2014 meddelades dock att åtgärden skjuts upp på obestämd tid. Den nya regeringen hösten 2014 har ännu inte tillkännagivit någon överenskommelse om biodrivmedel. Ekonomin i att producera etanol för användning biodrivmedel den närmaste framtiden alltså är oklar.



Adapted from Dow analysis of DOE data, reported in Chemical Engineering Progress, November 2011, p.6.

Figur 13. Produktionskostnad för etanol från olika råvaror i jämförelse med olja från olika källor. Den gula horisontella linjen markerar marginalkostnaden för att utvinna olja: ca 100 USD/bbl (Browne 2013).

### Andra produkter

Mjölksyra beräknas kunna produceras i ca 38 % utbyte från ved till en kostnad av i storleksordningen 430 €/t i polynolprocessen integrerad med en massafabrik, se avsnitt 10.3.5. Marknadpriset för mjölksyra är ca 1 000 €/t. Efterfrågan ökar f n 7-9 % per år. (Robertsson 2014)

Bioplaster är ett mycket expansivt område med en tillväxt på 24 % per år globalt. Marknaden idag motsvarar ca 3.6 miljarder USD. (Berglin 2014)

## 11 Slutsatser

Ökande kostnader för att använda fossila råvaror och vikande efterfrågan på skriv- och tryckpapper p g a övergång till digitala medier gör att träd blir en allt intressantare råvara för ett brett spektrum av biobaserade bränslen, material och kemikalier. Organisk vedsubstans i svartlut från sulfatmassakokning är idag den största biproduktströmmen från skogsindustrin. En annan underutnyttjad biprodukt är primära skogsbränslen från skogsavverkning. Biprodukten tallolja från massatillverkningen används sedan länge som råvara för kemikalier och – till följd av subventioner för biodrivmedel – numera även som råvara för biodiesel.

Den organiska substansen i svartlut används normalt som internt bränsle i massafabriken. Ökande energieffektivitet har gjort att moderna massafabriker inte behöver all energi i svartluten. En metod för förädling av svartlut har kommersialiserats: den svenska LignoBoost-tekniken för utvinning av lignin, den dominerande vedkomponenten i svartlut. Ligninprodukten används än så länge endast som energirikt biobränsle för industriella anläggningar.

Förgasning av svartlut till syntesgas (metan och koloxid) är en teknik som är färdig för kommersialisering. I Sverige har DME, ett gasformigt biodrivmedel för dieselmotorer, framställts ur förgasad svartlut vid en demoanläggning. Tekniken kompliceras av att processen integreras med massabrukets energi- och kemikalieåtervinning och ersätter sodapannan.

Skogsbränslesortiment i form av grenar och toppar (grot), stubbar och klena träd från gallring kan uppgrävas genom termokemisk omvandling (pyrolys eller förgasning) eller biokemisk omvandling (fermentering). De industriella satsningarna f n går den termokemiska vägen. Bidragande orsaker är högre energiverkningsgrad, flexibilitet beträffande produkter och mindre känslighet för råvarans sammansättning, jämfört med biokemiska metoder. En fullskaleanläggning för pyrolys av skogsbränslen har startats i Finland. Pyrolysoljan ersätter tung eldningsolja i ett kraftvärmeverk. Demoanläggningar för förgasning av vedråvara har startats i Piteå (bränsle till kraftvärmeverk) och Göteborg (naturgasersättning).

Den biokemiska vägen för veduppgrävning till etanol m m har utvecklats fram till pilotskala, men har hård konkurrens från billiga råvaror som bagass och majsrester som är enklare att processa. Biokemiska metoder är generellt känsligare för råvaruegenskaper än termokemiska processer. Önskvärda egenskaper hos ved för biokonvertering är låg halt av lignin, extraktivämnen och askämnen (metaller m m). Hemicellulosan har gynnsammare sockersammansättning i barrved än i lövved. För biokemiska metoder såväl som termokemiska eftersträvas små variationer i råvaran.

Lignin som separeras ur svartlut kan – ännu endast på laboratorie/pilotskalestadiet – omvandlas till mer värdefulla produkter än biobränsle. Via pyrolys kan t ex en ligninråolja framställas som skulle kunna raffineras till drivmedel. Kolfiber av mellan-kvalitet för tillverkning av lättare, mer bränslesnåla fordon är en möjlig högförädlad produkt under utveckling. Aktiva kolfibrer, d v s aktivt kol i form av fibrer, för t ex lagring av vätgas i bränsleceller är en annan högförädlad applikation på gång.

Hemicellulosa, den största vedkomponenten efter cellulosa och lignin, kan utvinnas ur svartlut (endast xylan, dvs lövvedshemicellulosa) eller förhydrolysat (endast massa- bruk som tillverkar textilcellulosa). Det är dock svårt att nå hög produktrenhet till rimlig kostnad, och ingen av de metoder som utvecklats för utvinning av vedhemicellulosa har ännu kommersialiserats. Konkurrerande billiga råmaterial är hemicellulosa från biprodukter från jordbruksgrödor och, för en del av de tänkbara applikationerna, även stärkelse. Intressanta användningsområden för hemicellulosa är hydrogeler för bl a livsmedel och medicin samt som barriärmaterial i förpackningar.

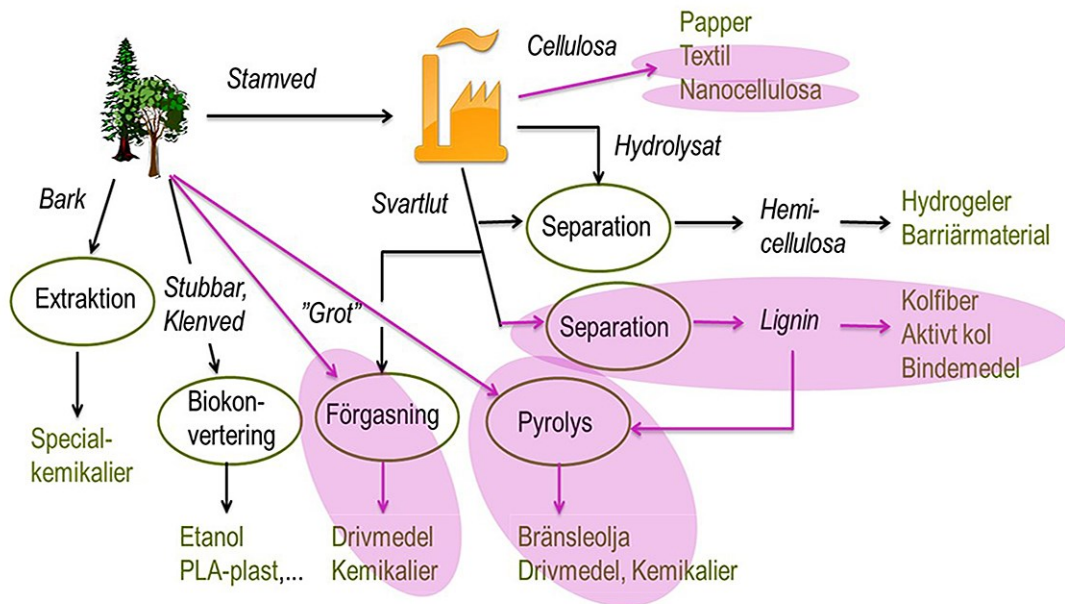
Bark innehåller biokemiskt aktiva extraktivämnen som kan ha ett högt värde inom medicin, hälsokost eller kosmetika, även om volymerna är små. Björkbark är rik på suberin och betulin, medan granbark är en möjlig källa till polyfenoler. I huvudsak är detta område ännu på laboriestadiet.

Även för vedcellulosa – som är huvudprodukten idag från massabruket – finns möjligheter till nya produktområden bortom papper, kartong och fluff. Mikrofibrillär cellulosa, även kallad nanocellulosa, tillverkas nu i pilotskala, men är fortfarande dyr att tillverka. Mikrofibrillerna har extremt hög styrka och stor yta vilket ger en mängd möjliga användningsområden, t ex armering av papper och plaster eller som superabsorbent. Textilcellulosa är en nygamal produkt som i mitten på 1900-talet tillverkades i sulfatfabriker. Bomullens prisbild och miljöfrågetecken gör nu att sulfatmassabruk konverteras till textilcellulosa med ny processteknik.

Med siktet på kommersiell tillämpning inom en tioårsperiod utkristalliserar sig några nya förädlingsvägar som speciellt intressanta just nu): Nya cellulosa produkter, förädling av skogsbränslen via pyrolys och förgasning och utvinning och förädling av svartlutslignin (*Tabell 16 och figur 14*).

Tabell 16 De kanske intressantaste möjligheterna f n när det gäller nya skogsbaserade produkter.

Råvara	Process	Produkt	Tidshorisont
<b>Skogsavfall</b>	Pyrolys	Bränsleolja	I startgruperna
	Förgasning	Drivmedel	I startgruperna
<b>Lignin från svartlut</b>	Pyrolys	Drivmedel	5 år
	Smältspinning	Lastbärande kolfibrer av "bilkvalitet"	10 år
	Smältspinning	Aktiva kolfibrer för avancerad gasabsorption	10år
<b>Special-cellulosa</b>	Ny process för sulfatbruk	Textilier	I startgruperna
	Uppsplintning av cellulosa fibrer	Nanocellulosa för avancerade nya material	5 år



Figur 14. Översikt av potentiella nya skogsbaserade produkter, med urvalet i Tabell 16 färgmarkerade.

Om produktion av drivmedel från ved blir kommersiellt intressant (genom t ex politiska beslut att långsiktigt subventionera biodrivmedel) kommer givetvis efterfrågan på primära skogsbränslen etc. att öka. Även ligninutvinning kan komma att öka efterfrågan på ved. Förädling av lignin är intressant för många massabruk eftersom relativt liten investering behövs och uttaget ibland dessutom eliminerar en flaskhals för kapacitetsökning. Om biodrivmedelstillverkning från lignin blir en storskalig industri, kan massabruk vilja maximera sin ligninutvinning och täcka energiunderskottet med träbränslen. D v s efterfrågan på bränsleved till massafabrikerna kommer då sannolikt att öka (upp till ca 0.9 MT<sub>TS</sub>/år eller ca 5 TWh/år i Sverige).

Ett rimligt framtidsscenario är att lignin i första hand förädlas till högvärdiga produkter där lignin är ekonomiskt konkurrenskraftigt, t ex kolfiber, där efterfrågan idag också är långt under mängden tillgängligt lignin. Överskottet går sannolikt till produktion av drivmedel eller andra bränslen där marknaden vida överstiger tillgången på lignin. Om drivmedels/kemikalieproduktion skulle bli mycket lönsamt kan svartlutsförgasning vara en bättre väg, eftersom betydligt mer drivmedel kan produceras den vägen jämfört med via ligninseparation.

## 12 Omräkningsfaktorer

### Valuta

1 € = 9.0 SEK

1 USD = 6.5 SEK

### Volym

1 bbl (petroleum barrel) = 159 l

## 13 Ordlista

**ADt:** ton lufttorr massa, d v s vid ca 90 % torrhalt.

**Bagass:** Den fiberdel som är kvar av sockerröret sedan sockret utvunnits. Bagassen används främst som bränsle.

**Derivat:** ett ämne som bildas ur ett annat, eller som kan teoretiskt härledas ur ett annat genom mindre förändringar i den kemiska strukturen. T ex är CMC (karboxymetylcellulosa) som används som tapetklister ett celluloderivat.

**Dispergeringsmedel:** Ytaktiv substans som används för att förhindra att partiklarna i en suspension, t ex färgpigment, sedimenterar eller klumpar ihop sig.

**DME:** Dimetyleter. Gasformigt bränsle som framställs ur syntesgas och kan ersätta diesel.

**Extraktivämnen:** Bark och kärnved innehåller extraktivämnen som motverkar svampangrepp och minskar träets benägenhet att ta upp vatten. Extraktivämnena utgörs av bl a hartssyror, fettsyror, terpenor och polyfenoler.

**Extrudering:** Strängsprutning; formning av ett material genom att trycka det genom ett munstycke.

**Fluffmassa:** Massa med hög absorptionsförmåga och hög bulk (volym/vikt) till blöjor och andra hygienprodukter.

**Fällning:** Separationsmetod där ett lösligheten hos ett ämne sänks genom t ex ändrat pH så att ämnet övergår till fast fas ("faller ut") och kan separeras genom t ex filtrering eller centrifugering.

**Förhydrolysat:** Vid tillverkning av vissa massaprodukter där en mycket ren cellulosa behövs förbehandlas vedflisen med vattenånga för att lösa ut hemicellulosa. Vattenlösningen som avskiljs kallas förhydrolysat.

**Hemicellulosa:** en grupp av kolhydrater som finns i växternas cellväggar tillsammans med de övriga huvudkomponenterna lignin och cellulosa. Hemicellulosor är grenade polysackarider uppbyggda av olika monosackarider. Förutom glukosenheter, som bygger upp cellulosa och stärkelse, kan hemicellulosa även innehålla xylos, mannos, galaktos och arabinos.

**Hexos:** en monosackarid med sex kolatomer. Cellulosa är uppbyggd av hexosen glukos. Hemicellulosa kan dessutom innehålla hexoserna mannos och galaktos.

**Komplexbildare (complexing agent):** ämnen som kan bindas som ligander till metalljoner i komplexbildningsreaktioner. Ett komplex är en sammansatt jon med vanligtvis en metallatom eller metalljon i mitten och olika antal atomer, joner eller små molekyler som omger centralatomerna eller centraljonerna. De omgivande atomerna etc. kallas ligander. Komplexbildare används bl a för att påverka metalljoners reaktivitet, t ex motverka giftiga egenskaper.

**Lignin:** En nätverkspolymer med grenad struktur som utgör ca 1/4 av ved, Ligninet bidrar till att ge trä dess mekaniska styrka. Lignin har en stor andel aromatiska enheter och sammansättningen varierar mellan olika trädslag.

**Pentos:** En monosackarid med fem kolatomer. Vedhemicellulosa är uppbyggd bl a av pentoserna xylos och arabinos.

**PET:** Polyetylentereftalat.

**PLA:** Polymjölksyra.

**Polymer:** Stor molekyl som är uppbyggd av ett stort antal repeterade enheter, monomerer.

**Polysackarid:** Polymer byggs uppbyggd av ett stort antal monosackarider. Strukturen kan vara linjär eller förgrenad. Exempel: de energilagrande stärkelse och glykogen, och byggmaterialet cellulosa.

**PP:** Polypropylen.

**Sulfitprocessen:** En kemisk process för tillverkning av pappersmassa. Idag mindre vanlig då den till stor del har ersatts av sulfatprocessen, som ger starkare papper och är mindre känslig för vedråvarans sammansättning. Sulfitprocessen används idag främst för tillverkning av specialcellulosa för bl a textil.

**Sulfatprocessen:** En kemisk behandlingsprocess för ved för att friläsa cellulosa fibrerna. Sulfatprocessen är den dominerande processen för framställning av pappersmassa och numera egentligen den enda industriellt använda kemiska massaprocessen, med undantag för några få kvarvarande sulfitmassabruk.

**Svartlut:** bildas vid tillverkning av pappersmassa enligt sulfatprocessen eller andra kemiska massaprocesser och utgörs av de förbrukade kokkemikalierna samt från veden utlöst vedsubstans, framför allt lignin.

**TS:** Torrs substans

**Tvärbinding:** Kemisk bindning som kopplar ihop polymerkedjor till varandra till ett nätverk. Vulkanisering av gummi är ett exempel.



## 15 Referenser

- Alriksson B (2014)  
*Fish feed from wood*  
5<sup>th</sup> Nordic Wood Biorefinery Conference (NWBC), Stockholm, 25-27 March, 2014, proceedings pp 50-56
- Babel S, Kurniawan T A (2003)  
*Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review*  
J. Hazard. Mater. B97, 219-243
- Backlund B (2014)  
*Wood assortments suitable for production of chemicals via bioconversion*  
Innventia Report No. 490, www. Innventia.com
- Bailey S E, Olin T J, Bricka M B, Adrian D D (1999)  
*A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals*  
Wat. Res. 33(1999):11, 2469-2479
- Baker F S (2011)  
*Utilization of sustainable resources for production of carbon fibre materials for structural and energy efficiency applications.*  
3<sup>rd</sup> NWBC 2011, Stockholm Sweden, March 22-24, 2011
- Berglin N, Tomani P, Olowson P, Hultberg T, Persson S (2010)  
*Experiences from Feeding and Co-firing of Lignin Powder in a Lime Kiln*  
2010 TAPPI/PAPTAC International Chemical Recovery Conference, Williamsburg, VA, USA 29 March- 1 April 2010
- Berglin N (2014)  
*POLYNOL- Chemical intermediates from renewable resources*  
5<sup>th</sup> Nordic Wood Biorefinery Conference (NWBC), Stockholm, 25-27 March, 2014, Proceedings pp. 68-71
- Bergström D (2013)  
*Utveckling av system för skörd av biomassa i unga täta gallringsbestånd*  
BioFuel Regions 10-årsjubileum, Umeå 2013-09-20
- Biomass Energy (2014)  
*Significant biomass properties - Ash content*  
<http://www.biomassenergy.gr/en/articles/technology/biomass/315-significant-biomass-properties-part-2-ash-content>
- Browne T (2011)  
*Economics of commodity chemicals and fuels from forest biomass: The biorefinery option*  
J. Sci. Techn. Forest Prod. Proc. 1(2011):1, 42-45
- Browne T (2013)  
*The Forest Biorefinery: Product Evaluation and Selection*  
2013 CanBio AGM, Gatineau, QC, Kanada, 8 oktober 2013

- Browne T (2014)  
*Biorefinery implementation: a view from the NAFTA zone*  
Designing the Forest Biorefinery, professional development course, Innventia, Stockholm, 22-24 March, 2014
- Carrott S P J M, Carrot M M L R (2007)  
*Lignin – from natural adsorbent to activated carbon: A review*  
Bioresource Technology 98 (2007):12, 2301-2312
- Chen S, Zeng H (2002)  
*Progress on activated carbon fibers*  
Chinese J. Reactive Polym. 11(2): pp. 97-107
- Dahlman O, Jensen A, Tormund D, Östlund J (2008)  
*Processing of xylan from hardwood spent cooking liquors*  
1<sup>st</sup> Nordic Wood Biorefinery Conference, Stockholm 11-14 Mars 2008, Proceedings pp 114-119. ISBN 978-91-86018-13-9
- Dahlman O, Lindblad M S, Parkås J, Albertsson A-C, Edlund U (2009)  
*Utilization of a wood hydrolysate*  
Patentansökan WO2009068525
- Danisco (2012)  
*Xivia xylitol white paper*  
www.danisco.com
- Desai K G H, Park H J (2005)  
*Recent developments in encapsulation of food ingredients*  
Drying Technology 23: 1361-1394
- Didde R (2014)  
*The lignin refinery*  
Wageningen World Nr 2, 2014, 32-39, www.wageningenUR.nl/en/wageningenworld
- Dingwell K, Sedin M, Theliander H (2011)  
*Filtration of Lignin from a Lignocellulose-Based Ethanol Pilot Plant*  
Environmental Engineering Science 28(2011):11, 775-779
- Edström P (2013)  
*Made in Sweden: skogstextil*  
Intervju med Per Edström, Mitthögskolan i www.kemivärldenbiotech.se
- EG (Europeiska gemenskapen) (1995)  
*European Parliament and Council Directive 95/2/EC on Food Additives other than colours or sweeteners*  
Official Journal of the European Communities. L61:1-40
- Engström C, Hylander N, Johansson R, svanholm C, Uhlir L (2012)  
*Upgrading pulp mill waste streams for integration with fish farming*  
4<sup>th</sup> Nordic Wood Biorefinery Conference, Helsinki, Finland 23-25 October 2012, Proceedings pp 211-213

- FPInnovations (2014)  
*FPInnovations and West Fraser welcome NRCan investment towards innovative lignin separation process*  
FPInnovations News Releases, 2014-06-26, [www.fpinnovations.com](http://www.fpinnovations.com)
- Gabrielii I, Gatenholm P (1998)  
*Preparation and properties of hydrogels based on hemicellulose*  
Journal of Applied Polymer Science 69(8): 1661-1667
- Girio F M, Fonseca C, Carvalheiro LC, Duarte L C, Marques S, Bogel-Lukasik R (2010)  
*Hemicelluloses for ethanol: A review*  
Bioresource Techn. 101(2010) 4775-4800
- Global Industry Analysts Inc. (2011)  
[www.prweb.com/releases/activated\\_carbon/water\\_treatment/prweb8286149.htm](http://www.prweb.com/releases/activated_carbon/water_treatment/prweb8286149.htm), April 2011
- Greiner E O C, Kälin T, Inoguchi Y (2010)  
*Activated Carbon*  
Chemical economics Handbook, SRI Consulting, 2010
- Gröndahl M, Eriksson L, Gatenholm P (2004)  
*Material properties of plasticized hardwood xylans for potential application as oxygen barrier films*  
Biomacromolecules 5(2004):4, 1528-35
- Gu T (2013)  
*Pretreatment of lignocellulosic biomass using supercritical carbon dioxide as a green solvent*  
In: Green biomass pretreatment for biofuels production, SpringerBriefs in Green Chemistry for Sustainability, DOI: 10.1007/978-94-007-6052-3\_5
- Haaker A (2013)  
*Nu fungerar Mevas förgasare i Hortlax*  
Bioenergi (2013):2, 36-37
- Hagström P (2006)  
*Biomass potential for heat, electricity and vehicle fuel in Sweden*  
Doctoral thesis, SLU, Uppsala 2006
- Henriksson G, Palm O, Davidsson K, Ljung E, Sager A (2012)  
*Rätt slam på rätt plats*  
Waste refinery, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, ISSN 1654-4706
- Holmberg A (2011)  
*Sustainable products for successful business – biorefining of Crude Tall Oil*  
3<sup>rd</sup> Nordic Wood Biorefinery Conference, Stockholm March 22-24, 2011, Proceedings p.147

- Holmbom B, Balas A, Hemming J, Willför S, Popa V I  
*Bioactive compounds from bark and knotwood of Norway spruce (Picea abies)*  
10<sup>th</sup> European workshop on lignocellulosics and pulp (EWLP 2008), Stockholm, Sweden, 25-28 Aug. 2008, pp 226-229
- Hui Y H (ed.) (2006)  
*Handbook of food science, technology, and engineering, Volume 4*  
CRC Press: 2006. p. 157-11
- Hytönen (2014)  
*Hydroxy Acids Separation from Black Liquor*  
Designing the Forest Biorefinery, professional development course, Innventia, Stockholm, 22-24 March, 2014
- Iversen T, Nilsson H, Olsson A (2010)  
*A method for separating from suberin and/or cutin containing plants, a solid and/or oil fraction enriched in cis-9,10- epoxy-18-hydroxyoctadecanoic acid*  
Patentansökan PCT/SE2010/050156, WO/2010/093320
- Jadhav S R, Vemula P K, Kumar R, Raghavan S R, John G (2010)  
*Sugar-Derived Phase-Selective Molecular Gelators as Model Solidifiers for Oil Spills*  
Angew. Chem., 122: 7861–7864. doi: 10.1002/ange.201002095
- Joelsson J (2014)  
*Raw material requirements of biorefinery processes*  
ForestRefine seminar, Vasa, Finland, 8 april 2014
- Johansson U (2007)  
*Optimerad talloljeproduktion*  
Värmeforsk rapport S5-115, ISSN 1653-1248
- Johansson I K G (1981)  
*Method of producing synthetic resin from waste products*  
(STFI, Sverige) United States patent 4289663. 1981
- Jonoobi M, Aji P, Mathew A P, Oksman K (2012)  
*Producing low-cost cellulose nanofiber from sludge as new source of raw materials*  
Industrial Crops and Products, 40(2012):1, 232-238
- Karlsson-Ottosson U (2012)  
*Slammet är fullt av dyrbara nanofibrer*  
Ny Teknik 29/2, 2012, www.nyteknik.se
- Karlström K, Sjögren B, Vorwerg W, Volkert B (2014)  
*Sulphur-free cooking for added value cellulose*  
5th Nordic Wood Biorefinery Conference (NWBC), Stockholm, Sweden, March 25-27, 2014, Proceedings pp 44-49
- Kemppainen K, Marrero D E G, Grönberg V, Šernek M, Čop M, Laborie M-P  
*Spruce bark biorefinery*  
5th Nordic Wood Biorefinery Conference (NWBC), Stockholm, Sweden, March 25-27, 2014, Proceedings pp 44-49

- Kilpeläinen I, Xie H, King A, Granstrom M, Heikkinen S, Dimitris S, Argyropoulos D S (2007)  
*Dissolution of Wood in Ionic Liquids*  
J. Agric. Food Chem. 55(2007): 9142–9148
- Kim K H, Hong J (2001)  
*Supercritical CO<sub>2</sub> pretreatment of lignocellulose enhances enzymatic cellulose hydrolysis*  
Bioresource Techn. 77(2001): 2, 139–144
- Kousini L, Holt-Hindle P, Maki K, Paleologou M (2012)  
*The LignoForce System™: A new process for the production of high-quality lignins from black liquor*  
J. Sci. Techn. Forest Prod. Processes 2(2012):4, 6-10
- Kousini L (2014)  
*The LignoForce System™: A new process for the production of kraft lignin for high-value products*  
Designing the Forest Biorefinery, professional development course, Innventia, Stockholm, 22-24 March, 2014
- KVA (2013)  
*Biodrivmedel – nu och i framtiden*  
Kungliga Vetenskapsakademin, Rapport från Energiutskottet, april 2013
- Lake M A, Blackburn J C (2014)  
*The SLRP Process – An innovative lignin-recovery technology*  
5<sup>th</sup> Nordic Wood Biorefinery Conference (NWBC), Stockholm, 25-27 March, 2014, Proceedings pp. 160-165
- Lappas A (2013)  
*Advances in Lignin Upgrading by Catalytic Pyrolysis*  
AFORE Local Workshop, April 8, 2013, Vienna, Austria ([www.euafore.fi](http://www.euafore.fi))
- Larsson A (2013)  
*Skummade material för förpackningar och absorbenter baserade på skogsbiprodukter*  
Formas Projektdatabas, Diarie nr. 2013-64, <http://proj.formas.se/>
- Leskelä M, Kokko A, Suurnäkki A (2014)  
*FuBio programs: Building a bridge from pulp mills to new business and new markets using cellulose and lignin*  
5<sup>th</sup> Nordic Wood Biorefinery Conference (NWBC), Stockholm, 25-27 March, 2014, Proceedings pp. 57-61
- Leu S-Y, Zhu J Y, Gleisner R, Sessions J, Marrs G (2013)  
*Robust enzymatic saccharification of a Douglas-fir forest harvest residue by SPORL*  
Biomass and Bioenergy 59(2013), 393–401
- Lima R B (2014)  
*Establishment of lignin and other bio-renewable materials as fuels and material developments for better performance for fuel cell technology*  
Doktorsavhandling, KTH, Stockholm 2014

- Lindblad M S, Ranucci E, Albertsson A-C (2001)  
*Biodegradable Polymers from Renewable Sources. New Hemicellulose-Based Hydrogels*  
Macromolecular Rapid Communications 22(12): 962-967
- Lindman E-K (2008)  
*Experiences of co-firing lignin and coal in Värtan PFBC plant*  
1<sup>st</sup> Nordic Wood Biorefinery Conference, Stockholm 11-14 Mars 2008. ISBN 978-91-86018-13-9
- Löwnerts P (2014)  
*Thermochemical Processing of Wood*  
Designing the Forest Biorefinery, professional development course, Innventia, Stockholm, 22-24 March, 2014
- McAleavey E (2014)  
*The biofuels industry in crisis: Part one*  
[www.energyglobal.com](http://www.energyglobal.com) 2014-10-16
- Matthis S (2013)  
*Skogen – Framtidens kemifabrik*  
Nordisk Papper och Massa (2013):1, 26-27
- Matisons M, Joelsson J M, Tuutila T, Athanassiadis D, Räisänen T (2012)  
*Forest Refine – Efficient forest biomass supply chain for biorefineries*  
4<sup>th</sup> Nordic Wood Biorefinery Conference, Helsinki, Finland, October 23-25, 2012, Proceedings pp.51-55
- Mistra Innovation (2014)  
<http://www.mistrainnovation.se/projekt/greengasoline>
- Molin U, Teder A (2002)  
*Importance of cellulose/hemicellulose-ratio for pulp strength*  
Nordic Pulp & Paper Res. J. 17(2002):1,14-19
- Nagashima T, Oliveira E E, Silva A E, Marcelino, H R, Gomes M C S, Aguiar L M, Araujo I B, Soares L A L, Oliveira A G, Egito E S T (2008)  
*Influence of the lipophilic external phase composition on the preparation and characterization of xylan microcapsules - A technical note*  
AAPS Pharm. Sci.Tech., 9(3): 814–817
- Naturvårdsverket (2013)  
[www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/](http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/)
- Nelson K (2014)  
*Low Cost Co-Production of Cellulose Nanofibrils and Nanocrystals with Biofuels Using the AVAP® Biorefinery Technology*  
5<sup>th</sup> Nordic Wood Biorefinery Conference (NWBC), Stockholm, Sweden, March 25-27, 2014, Proceedings pp 118-121

- Nguyen T D H, Maschietta M, Belkheirib T, Åmand L-E, Theliander H, Vamling L, Olausson L, Andersson S-I (2014)  
*Catalytic depolymerisation and conversion of Kraft lignin into liquid products using near-critical water*  
J. Supercritical Fluids, 86(2014): February, 67–75
- Nordin P (2011)  
*Saab view on aeronautical and industrial use of carbon fibres and the need for a renewable raw material source.*  
Workshop “Prospects for lignin-based carbon fibres”, Stockholm, Sweden, March 21, 2011, [www.innventia.com](http://www.innventia.com)
- Ny Teknik (2014)  
*Jättefabrik skapar bilbränsle av skog*  
[www.nyteknik.se](http://www.nyteknik.se), 2014-01-17
- Olsson L (2013)  
*Förädling av inhemska förnybara råvaror till värdefulla bulk- och finkemikalier för en biobaserad samhällsekonomi: teknikutveckling, systemintegration och miljöeffekter*  
Formas Projektdatabas, Diarie nr. 2013-78, [www.proj.formas.se](http://www.proj.formas.se)
- Persson J, Dahlman O, Albertsson A-C, Edlund U (2012)  
*Modification of birch xylan by lactide-grafting*  
Nord. Pulp Pap. Res. J. 27(2012):518-524
- Persson T, Jönsson A-S (2010)  
*Isolation of hemicelluloses by ultrafiltration of thermomechanical pulp mill process water – Influence of operating conditions*  
Chem. Eng. Res. Design 88(2010) 1548-1554
- Pichler D (2014)  
Composite Holding Company. Personlig information
- Pizzi A (1994)  
*Advanced Wood Adhesives Technology*  
Marcel Dekker Inc., New York 1994
- Pohjanlehto H, Setaelae H, Kammiovirta K, Harlin A (2011)  
*The use of N,N'-diallylaldardiamides as cross-linkers in xylan derivatives-based Hydrogels*  
Carbohydr. Res. 346(17): 2736-2745
- Ragan S, Megonnell N (2011)  
*LignActiv – activated carbon from renewable resources – Lignin*  
3<sup>rd</sup> NWBC 2011, Stockholm, Sweden, March 22-24, 2011, Proceedings pp 161-167
- Riksskogstaxeringen (2012)  
<http://www.slu.se/riksskogstaxeringen>
- Robertsson V (2014)  
*Analysis of Possibilities for a Lactic Acid Production in a Pulp Mill*  
Examensarbete, KTH, Industriell bioteknik, 2014

- Räisänen T, Athanassiadis D (2012)  
*Available potentials of forest biomass for biorefineries*  
Forest Refine Seminar, Umeå 2012-10-01
- Sekab (2013)  
[www.sekab.se/bioraffinaderi/framtiden/](http://www.sekab.se/bioraffinaderi/framtiden/)
- Sherrard A (2013)  
*Torrefiering av biomassa: Mörk, mellan eller ljus rostning?*  
Bioenergi (2013):3, 64
- da Silva S S, Chandel A K (eds.)  
*D-xylitol – Fermentative Production, Application and Commercialization*  
Springer-Verlag, Berlin 2012
- da Silva A E, Marcelino H R, Gomes M C S, Oliveira E E, Nagashima Jr T, Egito E S T  
(2012)  
*Xylan, a Promising Hemicellulose for Pharmaceutical Use*  
In: Products and Applications of Biopolymers, Johan Verbeek (Ed.), ISBN: 978-953-51-0226-7
- Sjöström E (1993)  
*Wood Chemistry. Fundamentals and applications*  
Academic Press, San Diego, CA, USA, 1993
- Skogforsk (2012)  
[www.skogforsk.se/kunskapdirekt/skogsbransle/energi-fran-skog](http://www.skogforsk.se/kunskapdirekt/skogsbransle/energi-fran-skog)
- Skogsindustrierna (2012)  
*Fordonsbränslen från skogsråvara*  
[www.skogsindustrierna.org](http://www.skogsindustrierna.org)
- Skogsindustrierna (2013)  
*Branschstatistik 2013*  
[www.skogsindustrierna.org](http://www.skogsindustrierna.org)
- Sloan J (2011)  
*Carbon fibre market: Cautious optimism. High Performance composites,*  
[www.compositesworld.com/articles](http://www.compositesworld.com/articles), March 2011
- Stern T, Weinfurter S, Schwarzbauer P (2009)  
*A multistage marketing survey for wood-based dietary fibre additives*  
Lenzinger Berichte 87: 47-57
- Stigson L (2011)  
*Green diesel fuels from the forest*  
3<sup>rd</sup> Nordic Wood Biorefinery Conference, Stockholm March 22-24, 2011, Proceedings  
pp148-152
- Suurnäkki A, Oksanen T, Schönberg C, Buchert J (2001)  
*Role of surface xylan and glucomannan on the properties of reinforcement fibres.*  
11<sup>th</sup> International symposium on wood and pulping chemistry. Nice, France, 11-14 June  
2001, vol II, Poster presentations, pp. 181-184



- Suurnäkki A (2011)  
*Solid foams from wood components*  
3<sup>rd</sup> Nordic Wood Biorefinery Conference, Stockholm March 22-24, 2011, Proceedings  
pp. 161-164
- Suurnäkki A (2014)  
*AFORE: Separation and fractionation processes for present and future pulp mill biorefineries*  
5<sup>th</sup> Nordic Wood Biorefinery Conference (NWBC), Stockholm, 25-27 March, 2014,  
proceedings pp 72-75
- Swärd L (2014)  
*Bensin av skogsrester hett spår för Preem*  
Dagens Nyheter 2014-09-09
- Thorstensson B-A (2008)  
*Lignin in bitumen emulsions*  
1<sup>st</sup> Nordic Wood Biorefinery Conference, Stockholm 11-14 Mars 2008  
Proceedings pp. 137-138. ISBN 978-91-86018-13-9
- Thuresson T (2010)  
*Bioenergi från skog. Uppdaterad bedömning av potentialer och förutsättningar för svenskt skogsbruk att producera främst primära skogsbränslen - Vintern 2009/2010*  
Konsultrapport till Skogsindustrierna
- Tomani P (2008)  
*Large scale lignin removal experiences*  
1<sup>st</sup> Nordic Wood Biorefinery Conference, Stockholm 11-14 Mars 2008  
Proceedings pp. 168-174. ISBN 978-91-86018-13-9
- Tomani P (2014)  
*The LignoBoost process*  
Designing the Forest Biorefinery, professional development course, Innventia,  
Stockholm, 22-24 March, 2014
- Uraki Y, Kubo S, Kurakami H, Sano Y (1997)  
*Activated carbon fibers from acetic acid lignin*  
Holzforschung 51: pp. 188-192.
- Uraki Y, Nakatani A, Kubo S, Sano Y (2001)  
*Preparation of activated carbon fibres with large specific area from softwood acetic acid lignin.*  
J. Wood Science 47: pp. 465-469
- Vinnova (2014)  
[www.vinnova.se/sv/Resultat/Projekt/Effekta/2009-02171/SunMembrane---For-en-ljusare-framtid-i-skogsindustrin/](http://www.vinnova.se/sv/Resultat/Projekt/Effekta/2009-02171/SunMembrane---For-en-ljusare-framtid-i-skogsindustrin/)
- Voepel J, Sjöberg J, Reif M, Albertsson A-C, Hultin U-K, Gasslander U (2009)  
*Drug diffusion in neutral and ionic hydrogels assembled from acetylated galactoglucomannan*  
J. Appl. Polym. Sci. 11(4): 2401-2412

- Voitl T, Armandi R, von Rohr R (2007)  
*Lignin: An alternative source for the production of chemicals?*  
International Lignin Institute – ILI 8<sup>th</sup> Forum, Rome 2007, pp. 153-156
- Wallberg O (2005)  
*Extraction of Lignin from Kraft Cooking Liquor by Ultrafiltration*  
Doktorsavhandling, Lunds Universitet
- Wang M, Sjöholm E, Li J (2014)  
*An improved method for lignin reactivity quantification for lignin substitution of phenol in preparation of phenol-formaldehyde polymer*  
247<sup>th</sup> ACS National Meeting, March 16-20, 2014, Dallas, Texas, USA
- Werpy T R, Petersen G (2004)  
*Top value added chemicals from biomass: Volume 1- Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis gas*  
U.S. Department of Energy, DOE/GO -102004-1992
- Wimby M (2011)  
*Lignin extraction potential in modern Kraft pulp mill*  
Workshop “Prospects for lignin-based carbon fibres”, Stockholm, Sweden  
March 21, 2011, [www.innventia.com](http://www.innventia.com)
- Winter L (2012)  
*The Domsjö biorefinery – How to make more from the tree*  
4<sup>th</sup> Nordic Wood Biorefinery Conference, Helsinki, Finland 23-25 October 2012,  
Proceedings pp 119-120
- Öhman F (2006)  
*Precipitation and separation of lignin from black liquor*  
PhD Thesis, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 2006
- Öhman F, Danielsson S (2011)  
*Extraction of xylan from the kraft pulp mill*  
3<sup>rd</sup> NWBC, Stockholm, Sweden March 22-24, 2011, Proceedings p. 85

## 16 Uppgifter för Innventia databas

### Titel

Nya produkter från skogsråvara - En översikt av läget 2014

### Författare

Birgit Backlund, Maria Nordström

### Referat

Rapporten sammanställer översiktligt läget och trender när det gäller utvecklingen av och marknaden för nya skogsbaserade produkter. Den organiska substansen i svartlut används normalt som internt bränsle i massafabriken. En metod för förädling av svartlut har kommersialiserats: den svenska LignoBoost-tekniken för utvinning av lignin, den dominerande vedkomponenten i svartlut. Förgasning av svartlut till syntesgas (metan och koloxid) är en teknik som är färdig för kommersialisering. En demoanläggning i Sverige framställer DME, ett gasformigt biodrivmedel för dieselmotorer, ur förgasad svartlut. Biprodukter från skogsbruket i form av grenar och toppar (grot), stubbar och klena träd från gallring kan uppärbettas genom termokemisk omvandling (pyrolys eller förgasning) eller biokemisk omvandling (fermentering). De industriella satsningarna går den termokemiska vägen. En fullskaleanläggning för pyrolys av skogsbränslen har startats i Finland. Den biokemiska vägen för veduppärbettning till etanol m m har utvecklats fram till pilotskala, men är ännu inte lönsam. Önskvärda egenskaper hos ved för biokonvertering är låg halt av lignin, extraktivämnen och askämnen (metaller m m). Hemicellulosa har gynnsammare sockersammansättning i barrved än i lövved. För biokemiska metoder såväl som termokemiska eftersträvas små variationer i råvaran. Lignin som separeras ur svartlut kan – ännu endast på laboratorie/pilotskalestadiet – omvandlas till mer värdefulla produkter än fast biobränsle. Via pyrolys kan en ligninråolja framställas som har potential att raffineras till drivmedel. Kolfiber av mellan-kvalitet för tillverkning av lättare, mer bränslesnåla fordon är en möjlig högfördlad produkt under utveckling. Aktiva kolfibrer, d v s aktivt kol i form av fibrer, för t ex lagring av vätgas i bränsleceller är en annan intressant applikation på gång, men ännu på laboriestadiet. Hemicellulosa kan utvinnas ur svartlut (endast xylan, d v s lövvedshemicellulosa) eller förhydrolysat (endast massabruk som tillverkar textilcellulosa). Intressanta användningsområden för hemicellulosa är hydrogeler för bl a livsmedel och medicin samt som barriärmaterial i förpackningar. Bark innehåller biokemiskt aktiva extraktivämnen som kan ha ett högt värde inom medicin, hälsokost eller kosmetika, även om volymerna är små. Björkbark är rik på suberin och betulin, medan granbark är en möjlig källa till polyfenoler. Även för vedcellulosa – som är huvudprodukten idag från massabruket – finns möjligheter till nya produktområden bortom papper, kartong och fluff. Mikrofibrillär cellulosa, även kallad nanocellulosa, tillverkas nu i pilotskala, men är fortfarande dyr att tillverka. Mikrofibrillerna har extremt hög styrka och stor yta vilket ger en mängd möjliga användningsområden, t ex armering av plaster eller som superadsorbent. Textilcellulosa är en nygamal produkt som i mitten på 1900-talet tillverkades i sulfatfabriker. Bomullens prisbild och miljöfrågetecken gör nu att sulfatmassabruk konverteras till textilcellulosa med ny processteknik.

**Nyckelord**

Biofuel, bark, biorefinery, black liquor, branch, byproduct, chemicals, ethanol, fermentation, fuel, fuel wood, gasification, hemicellulose, lignin, logging residue, material, nanocellulose, new product, phenolics, polymer, pyrolysis, spent liquor, stump, tall oil, wood waste, xylan

**Klassifikation**

1131, 1156

**Rapportslag**

Innventiarapport

**Rapportnummer**

577

**Publikationsår**

november 2014

**Språk**

Svenska

INNVENTIA AB is a world leader in research and development relating to pulp, paper, graphic media, packaging and biorefining. Our unique ability to translate research into innovative products and processes generates enhanced value for our industry partners. We call our approach *boosting business with science*. Innventia is based in Stockholm, Bäckhammar and in Norway and the U.K. through our subsidiaries PFI and Edge respectively.



## Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2013

2013

- Nr 786 Grönlund, Ö. & Eliasson, L. 2013. Knivslitage vid flisning av grot. Effects of knife wear on performance and fuel consumption for a small drum chipper. 12 s.
- Nr 787 Sonesson, J. & von Hofsten, H. 2013. Effektivare fältarbete med nya datakällor för skogsbruksplanering.
- Nr 788 Bhuiyan, N., Arlinger, J. & Möller, J.J. 2013. Kvalitetssäkring av beräkningsresultat från hprCM och konvertering av pri- till hpr-filer. – Quality assurance of calculation results from hprCM and conversion of prifiles to hpr files. 24 s.
- Nr 789 Brunberg, T. 2013. Bränsleförbrukningen hos skördare och skotare 2012. – Fuel consumption in forest machines 2012. 12 s.
- Nr 790 Eliasson, L. 2013. Skotning av hyggestorkad grot. 11 s.
- Nr 791 Andersson, G. & Frisk, M. 2013. Skogsbrukets transporter 2010. – Forestry transports in 2010. 91 s.
- Nr 792 Nordström, M. & Möller, J.J. 2013. Kalibrering av skördarens mätsystem. – En kartläggning av nuläge och utvecklingsbehov. A review of current status and development needs. 15 s.
- Nr 793 Lombardini, C., Granlund, P. & Eliasson, L. 2013. Bruks 806 STC. 0150 – Prestation och bränsleförbrukning. 9 s.
- Nr 794 Fridh, L. 2013. Kvalitetssäkrad partsmätning av bränsleved vid terminal. – Quality-assured measurement of energy wood at terminals.
- Nr 795 Hofsten von, H. & Brantholm, M.-Å. 2013. Kostnader och produktivitet i stubbskörd – En fallstudie. 9 s.
- Nr 796 Brunberg, T. & Iwarsson Wide, M. 2013. Underlag för prestationshöjning vid flerträds-hantering i gallring. – Productivity increase after multi-tree handling during thinning. 7 s.
- Nr 797 Spatial distribution of logging residues after final felling. – Comparison between forest fuel adapted final felling and conventional final felling methods. Trädresternas rumsliga fördelning efter slutavverkning. – Jämförelse mellan bränsleanpassad och konventionell avverkningsmetod. 19 s.
- Nr 798 Möller, J.J., Arlinger, J. & Nordström, M. 2013. Test av StanForD 2010 implementation i skördare.
- Nr 799 Björheden, R. 2013. Är det lönsamt att täcka groten? Effekten av täckpappens bredd på skogsbränslets kvalitet. – Does it pay to cover forest residue piles? The effect of tarpaulin width on the quality of forest chips. 15 s.
- Nr 800 Almqvist, C. 2013. Metoder för tidig blomning hos tall och gran. – Slutrapport av projekt 40:4 finansierat av Föreningen skogsträdsförädling. – Early strobili induction in Scots pine and Norway spruce. – Final report of Project no. 40:4, funded by the Swedish Tree Breeding Association. 26 s.
- Nr 801 Brunberg, T. & Mohtashami, S. 2013. Datoriserad beräkning av terrängtransportavståndet. – Computerised calculation of terrain transport distance. 8 s.
- Nr 802 Sonesson, J., Eliasson, L., Jacobson, S., Wilhelmsson, L. & Arlinger, J. 2013. Analyses of forest management systems for increased harvest of small trees for energy purposes in Sweden.

- Nr 803 Edlund, J., Jonsson, R. & Asmoarp, V. 2013. Fokusveckor 2013 – Bränsleuppföljning för två fordon inom ETTdemo-projektet, ST-kran och ST-grupp. – Monitoring fuel consumption of two rigs in the ETTdemo project, ST-crane and ST-group. 22 s.
- Nr 804 Iwarsson-Wide, M., Olofsson, K., Wallerman, J., Sjödin, M., Torstensson, P. O., Aasland, T., Barth, A. & Larsson, M. 2013. Effektiv volymuppskattning av biomassa i vägkanter och ungskogar med laserdata. – Effective estimate of biomass volume on roadsides and in young forests using laser data 40 s.
- Nr 805 Iwarsson-Wide, M., L., Bäfver, Renström, C. & SwedPower, P. 2013. Fraktionsfördelning som kvalitetsparameter för skogsbränsle – Kraft- och värmeverkens perspektiv. 38 s.
- Nr 806 Englund, M. & Jönsson, P. 2013. LED-lampor i såglådan – En pilot-studie. – LED lamps in the saw box – A pilot study. 8 s.
- Nr 807 Nordlund, A., Ring, E., Högbom, L. & Bergkvist, I. 2013. Beliefs among Formal Actors in the Swedish Forestry Related to Rutting Caused by Logging Operations. – Attityder och åsikter med koppling till körskador inom olika yrkesgrupper i skogsbruket 18 s.
- Nr 808 Arlinger, J. & Jönsson, P. 2013. Automatiska tidsstudier i skogsmaskinsimulator. – Driftuppföljning och produktionsdata enligt StanFord 2010. Automatic time-studies in forest machine simulators – Operational monitoring and production data according to StanForD 2010. 10 s.
- Nr 809 Englund, M., Mörk, A. & Jönsson, P. 2013. Skotartävling på Elmia – Kran- och motorinställningars påverkan på bränsleförbrukning och tidsåtgång. Forwarder contest at Elmia. – Effect of crane and engine settings on fuel consumption and speed of work. 9 s.
- Nr 810 Eliasson, L., Lombardini, C., Lundström, H. & Granlund, O. 2013. Eschlböck Biber flishugg – Prestation och bränsleförbrukning – Rangering av fliscontainrar med en John Deere 1410 containerskyttel.
- Nr 811 Eliasson, L. 2013. En simulering av en integrerad skördare för förpackad flis vid energiuttag i gallring. – Simulation of an integrated harvester for pre-packaged chips during energy harvest in early thinning. 16 s.
- Nr 812 Englund, M. 2013. Test av stolar och tillbehör med avseende på helkroppsvibrationer. Test of seats and associated equipment in terms of whole-body vibrations. 32 s.
- Nr 813 Enström, J., Athenasiadis, D., Öhman, M. & Grönlund, Ö. 2013. Framgångsfaktorer för större skogsbränsleterminaler. – Success factors for larger energy wood terminals. 41 s.
- Nr 814 Wennström, U. 2013. Holmens fröbehov, produktion och genetisk kvalitet 2012-2060. – Holmen's seed requirements: production and genetic quality 2012-2060. 50 s.
- Nr 815 Hannrup, B., Andersson, M., Larsson, J., Sjöberg, J. & Johansson, A. 2013. Slutrapport för projekt "Beröringsfri diametermätning i skördare – Utveckling av skräpreducerande skydd". – Final report of the project 'Remote measurement of stem diameter in harvesters. Development of shields to reduce debris'. 78 s.
- Nr 816 Eriksson, E. & Täljblad, M. 2013. Prekal – Självföryngring före slutavverkning. – Slutrapport Försök 1–6. Prekal. – Natural regeneration before final felling. Final report, Experiments 1–6. 28 s.



- Nr 817 John Arlinger, Torbjörn Brunberg, Hagos Lundström och Johan Möller. Jämförelse av JD1170E och JD1470E i slutavverkning hos SCA Skog AB hösten 2013. Comparison of JD1170E and JD1470E in final felling at SCA Skog AB, autumn 2013. 29 s.
- Nr 818 Bergkvist, I., Friberg, G., Mohtashami, S. & Sonesson, J. 2014. STIG-projektet 2010–2014. The STIG Project, 2010–2014. 19 s.
- Nr 819 Björheden, R. 2014. Studie av Fixteri FX15a klenträdsbuntare. Study of Fixteri FX15a small-tree bundling unit.
- Nr 820 Löfroth, C. & Brunberg, T. 2014. Bränsleförbrukningen hos rundvirkesfordon 2008 och 2013. Fuel consumption of roundwood vehicles in 2008 and 2013. 12 s.
- Nr 821 Jönsson, P., Hannrup, B., Gelin, O. & Löfgren, B. 2014. Utvärdering av sågenheten R5500 med avseende på kaptid och energiåtgång. Evaluation of the R5500 sawing unit in terms of bucking time and fuel consumption. 24 s.
- Nr 822 Eliasson, L. & Johannesson, T. 2014. Effekten av olika bottensäll på prestation, bränsleförbrukning och flisens fraktionsfördelning för flishuggarna Kesla 645 och Eschlböck Biber-92. – Effects of sieve size on chipper productivity, fuel consumption and chip size distribution for the chippers Kesla 845 and Eschlböck Biber-92. 18 s.
- Nr 823 Eliasson, L., Lombardini, C., Granlund, P., Magagnotti, N. & Spinelli, R. 2014. Prestation och bränsleförbrukning för en lastbilsmonterad Pezzolato PTH 1200/820 f lishugg. – Performance and fuel consumption of a truck-mounted Pezzolato PTH 00/820 chipper. 12 s.
- Nr 824 Iwarsson- Wide, M. Grönlund, Ö. 2014. Lastindikatorer och lastbärrävar. 15 s.
- Nr 825 Sikström, U. 2014. Föryngring av gran under högskärm: Försöksverksamhet vid Bergvik Skog – Uppföljning 2013.
- Nr 826 Englund, M. 2014. Mätning av mental arbetsbelastning – En metodstudie. 27.
- Nr 827 Jönsson, P., Björheden, R. & Eliasson, L. 2014. Destinering och lägesbyten för att effektivisera transporter av skogsflis.
- Nr 828 Barth, A., Holmgren, J., Wilhelmsson, L. & Nordström, M. 2014. Evaluation of single tree based estimates with terrestrial laser scanning in Sweden.
- Nr 829 Jacobson, S. Asktilförel och dess påverkan på trädens tillväxt och näringsstatus – Revision av sex fältförel. 32 s.
- Nr 830 Björheden, R. 2014. Proceedings of the Nordic Baltic Conference OSCAR14 Solutions for Sustainable Forestry Operations, June 25-27, NOVA Park Conference, Knivsta, Sweden.
- Nr 831 Widinghoff, J. 2014. Kontinuerlig uppföljning av drivmedelsförbrukning och lastfyllnadsgrad för ETT- och ST-fordon. – Continual monitoring of fuel consumption and load utilisation of ETT- and ST-vehicles. 21 s.
- Nr 832 Fridh, L. 2014. Utvärdering av fukthaltsmätare METSO MR Moisture Analyser. Evaluation of the METSO MR Moisture Analyser. 8 s.
- Nr 833 Eliasson, L., Lundström, H. & Granlund, P. 2014. Bruks 806 STC. – En uppföljande studie av prestation och bränsleförbrukning. – A performance and fuel consumption when chipping logging residues of beech 10 s.

- Nr 834 Sonesson, J., Berg, S., Eliasson, L., Jacobson, S., Widenfalk, O., Wilhelmsson, L., Wallgren, M. & Lindhagen, A. SLU. Konsekvensanalyser av skogsbrukssystem. – Täta förband i tallungskogar. 105 s.
- Nr 835 Eliasson, L. 2014. Flising av bränsleved och delkvistad energived med en stor trumhugg-CBI6400.
- Nr 836 Johansson, F., Grönlund, Ö., von Hofsten, H. & Eliasson, L. 2014. Huggbilshaverier och dess orsaker. – Chipper truck breakdowns and their causes. 12 s.
- Nr 837 Rytter, L. & Lundmark, T. 2014. Trädslagsförsök med inriktning på biomassaproduktion – Etapp 2. – Tree species trial with emphasis on biomass production. 20 s.
- Nr 838 Skutin, S.-G. 2014. Simulering av TimberPro drivare med lastanordning i slutavverkning.
- Nr 839 Fridh, L. 2014. Evaluation of the METSO MR Moisture Analyser. – Utvärdering av fukthaltsmätare METSO MR Moisture Analyser. s. 8.
- Nr 840 Andersson, G. & Svenson, G. 2014. Viktsutredningen del 2. Vägning för transportvederlag.
- Nr 841 Mullin, T. J. 2014. OPSEL 1.0: a computer program for optimal selection in forest tree breeding. s. 20.
- Nr 842 Persson, T. & Ericsson, T. 2014. Projektrapport. Genotyp – Miljösamspel hos tall i norra Sverige. – Projektnummer 133. 12 s.
- Nr 843 Westin, J., Helmersson, A. & Stener, L.-G. 2014. Förädling av lärk i Sverige – kunskapsläge och material. 55 s.
- Nr 844 Hofstten von, H., Nordström, M. & Hannrup, B. 2014. Kvarlämnade stubbar efter stubbskörd. 15 s.
- Nr 845 Pettersson, F. 2014. Röjnings- och gallringsförbandets samt gödslingsregimens (ogödslat/gödslat) effekter i tallskog på skogsproduktion och ekonomi. 69 s.
- Nr 846 Pettersson, F. 2014. Behovet av borttillsel vid kvävegödsling av barrskog på fastmark. 32 s.
- Nr 847 Johannesson, T. 2014. Grövre bränsle en omöjlig uppgift? 13 s.
- Nr 848 Johannesson, T. 2014. Simulering av TimberPro drivare med lastanordning i slutavverkning Biomass Harvest and Drying Education Fond du Lac Reservation Cloquet, Minnesota. 13 s.
- Nr 849 Jönsson, P., Eliasson, L. & Björheden, R. 2014. Location barter may reduce forest fuel transportation cost. Destinerings och lägesbyten för att effektivisera transporter av skogsflis. s. 10.
- Nr 850 Englund, M., Häggström, C., Lundin, G. & Adolfsson, N. 2014. Information, struktur och beslut, – en studie av arbetet i gallringsskördare och skördetröska.
- Nr 851 Berlin, M., Ericsson, T. & Andersson-Gull, B. 2014. 57 s.
- Nr 852 Jansson, G. & Berlin, M. 2014. Genetiska korrelationer mellan tillväxt- och kvalitetsegenskaper- – Genetic correlations between growth and quality traits. 26 s.
- Nr 853 Hofsten von, H. 2014. Utvärdering av TL-GROT AB's stubbaggregat. 10 s.
- Nr 854 Iwarsson Wide, M., Nordström, M. & Backlund, B. 2014. Nya produkter från skogsråvara – En översikt av läget 2014 – New products from wood raw material – Status report 2014. 62 s.
- Nr 855 Willén, E. & Fridh, L. 2014. Mobilt mätsystem för insamling av träd- och beståndsdata.

## År 2015

- Nr 856 Widinghoff, J. 2015. Logistklösning för delkvistat sortiment – Lätta skyddsplåtar på virkesbilar för transport av träddelar och delkvistade sortiment. – Lightweight side-shields on timber trucks transporting partly delimbed energy wood. 15 s.
- Nr 857 Hannrup B, Bhuiyan N. Möller J.J. 2015. Rikstäckande utvärdering av ett system för automatiserad gallringsuppföljning.

## SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

arbetar för ett lönsamt, uthålligt mångbruk av skogen. Bakom Skogforsk står skogsföretagen, skogsägareföreningarna, stiftelsen, gods, skogsmaskinföretagare, allmänningar m.fl. som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd.

### FORSKNING OCH UTVECKLING

Två forskningsområden:

- Skogsproduktion
- Virkesförsörjning

### UPPDRAG

Vi utför i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

Det kan gälla utredningar eller anpassning av utarbetade metoder och rutiner.

### KUNSKAPSFÖRMEDLING

För en effektiv spridning av resultaten används flera olika kanaler: personliga kontakter, webb och interaktiva verktyg, konferenser, media samt egen förlagsverksamhet med produktion av trycksaker och filmer.

Från Skogforsk nr. 854–2014



[www.skogforsk.se](http://www.skogforsk.se)