

THALE SOFIE WESTER PLESSER

# Limsystemer for limtre og sponplater

Sammensetning og miljøegenskaper

Prosjektrapport 94

2012



SINTEF Byggforsk

Thale Sofie Wester Plesser

# **Limsystemer for limtre og sponplater**

Sammensetning og miljøegenskaper

Prosjektrapport 94 – 2012

Prosjektrapport nr. 94  
Thale Sofie Wester Plesser  
**Limsystemer for limtre og sponplater**  
Sammensetning og miljøegenskaper

Emneord:  
Limtre, sponplate, melamin, urea, formaldehyd

ISSN 1504-6958  
ISBN 978-82-536-1269-0 (pdf)

Prosjektnr.: 3B032602

Foto omslag:  
«Vennesla bibliotek». © Moelven

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2012  
Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.  
Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B  
Postboks 124 Blindern  
0314 OSLO  
Tlf.: 22 96 55 55  
Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

[www.sintef.no/byggforsk](http://www.sintef.no/byggforsk)

## Forord

Denne rapporten inngår som en del av FoU-prosjektet ”Klimatre – trebruk for bedre klima og økt verdiskapning”. Hovedmålene for prosjektet er å dokumentere hvilken betydning de skogbaserte verdikjedene i Norge har for klima og verdiskapning, samt å utvikle miljøvennlige løsninger for trebyggeri gjennom økt kunnskap om trekonstruksjoners miljøpåvirkning i et livsløpsperspektiv.

Klimatre har tre delprosjekter: KlimaVerdi, KlimaModell og FramTre. Denne rapporten er knyttet til delprosjektet "FramTre, framtidens trekonstruksjoner". FramTre bygger videre på konklusjonen fra forskningsprosjektet Mikado, hvor en så på treprodukter i et livssyklusperspektiv. I Mikadoprojektet kom det frem at kjemikaliebruk knyttet til treprodukter kan ha en vesentlig betydning for den totale miljøpåvirkningen. Denne rapporten er skrevet for å få økt kunnskap om kjemikaliebruken knyttet til lim brukt i treprodukter og trekonstruksjoner.

Klimatre finansieres av Norges forskningsråd, Skogtiltaksfondet, Treforedlingens bransjeforening, Fondet for Treteknisk forskning og Treindustrien. I tillegg bidrar mange aktører innenfor skogbasert næring og byggenæring med betydelig egeninnsats.

Rapporten omhandler fremstillingsprosessene for de limene, først og fremst de formaldehydholdige limene, som brukes ved produksjon av limtre og sponplater. Råvarene som inngår i limet, det vil si for eksempel urea, melamin og fenol er resultatet av kjemiske prosesser som med utgangspunkt i naturgass eller råolje fører frem til det ønskete limet. Miljøbelastningen ved limfremstillingen er i stor grad knyttet til fremstillingen av urea, melamin, fenol og metanol. Selve limfremstillingen gir et mer beskjedent bidrag til miljøbelastningen. Analyser viser også at selv om limet utgjør en liten del av produktet, sponplater inneholder 10–12 vektprosent lim mens limtre inneholder 1–2 vektprosent lim, så bidrar limproduksjonen i betydelig grad til miljøbelastningen forbundet med produksjon av både sponplater og limtre. I første delen av rapporten beskrives industriprosessene som fører frem til selve limet. Den andre delen av rapporten omhandler livssyklusanalyser som er utført for limene og for sponplater og limtre.

Torhildur Kristjansdóttir  
Prosjektleder  
SINTEF Byggforsk

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Sponplater og limtre – en kort beskrivelse</b> .....	<b>5</b>
2.1	Sponplater .....	5
2.2	Limtre .....	5
<b>3</b>	<b>Limingredienser</b> .....	<b>6</b>
3.1	Formaldehyd og paraformaldehyd .....	7
3.2	Fenol og resorcinol.....	9
3.3	Urea og melamin.....	13
<b>4</b>	<b>Fenol-resorcinol-formaldehyd (PRF)</b> .....	<b>16</b>
4.1	Fremstilling av PRF harpiks .....	17
<b>5</b>	<b>Urea-formaldehyd (UF)</b> .....	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>Melamin-formaldehyd (MF) og Melamin-urea-formaldehyd (MUF)</b> .....	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>Énkomponent polyuretan (PUR)</b> .....	<b>19</b>
<b>8</b>	<b>Emulsjonspolymerisert isocyanat (EPI)</b> .....	<b>20</b>
<b>9</b>	<b>Livssyklusregnskap og livssyklusanalyser</b> .....	<b>21</b>
9.1	Limproduksjon .....	21
9.2	Limtre .....	25
9.3	Sponplate .....	27
<b>10</b>	<b>Konklusjon</b> .....	<b>29</b>
<b>11</b>	<b>Referanser</b> .....	<b>30</b>

## 1 Innledning

Tre som byggemateriale har mange positive miljøegenskaper, selv om det også finnes rom for forbedring i fremstillingsprosessen. Trevirket kombineres ofte med lim, impregnering og/eller overflatebehandling som kan påvirke miljøegenskapet både i positiv og negativ retning. I positiv retning kommer at levetiden forlenges, at en større andel av trevirket i et tre kan brukes og at tre kan brukes på områder der man ellers måtte bruke andre materialer. Ved fremstilling av mange treprodukter brukes det lim. Fremstillingen av lim begynner med råolje eller naturgass som videreføres til mellomprodukter som igjen blir til de råvarene som brukes i fremstillingen av lim. Dette er ressurskrevende prosesser og selv om limet utgjør en liten del av det ferdige produktet kan limet allikevel ha stor betydning for den samlede miljøbelastningen til limte treprodukter.

Denne rapporten beskriver råvarene som brukes ved produksjon av lim for sponplater og limtre og de industrielle prosessene som brukes for å fremstille disse råvarene. I tillegg omtaler rapporten miljøstudier som er gjort for sponplater og limtre.

## 2 Sponplater og limtre – en kort beskrivelse

### 2.1 Sponplater

Sponplater kan brukes som innvendig kledning på vegger og himling, og som gulvplater [Kristensen 2001]. De fremstilles av spon fra trevirke og annet cellulosebasert materiale i sponform, f.eks. lin, hamp eller bagasse (rester av sukkerrør). Sponene, som utgjør 80–85 % av platene, kommer fra både løv- og bartrær [Solli og Glasø 2011a]. Sponene bindes sammen med lim i en prosess som bruker trykk og varme. Platene blir flatpresset, valsepresset eller ekstrudert. Det skilles mellom fire ulike platetyper:

- Plater til generell bruk
- Plater til innvendig innredning under tørre forhold
- Plater for bærende bruk
  - Tørre forhold
  - Fuktige forhold
- Spesialplater (ekstra styrke, motstand mot biologisk nedbrytning, brannhemmende eller lydabsorberende)

Limet som brukes i sponplater er enten av typen melamin-urea-formaldehyd (MUF) eller urea-formaldehyd (UF). UF-limene har dårligere fuktbestandighet enn MUF-limene. Limmengden utgjør 10–12 % av sponplaten [Solli og Glasø 2011a]. I tillegg tilsettes paraffin eller voksemulsjon for å forbedre korttids fuktbestandigheten [Johannson et al. 2002]. Voksen eller paraffinen utgjør 0,3 til 1 vektprosent av vekten til de tørkede sponene.

Sponplater er bygget opp av flere sjikt. I overflatesjiktet brukes finere spon enn i midten av platen. Dermed får man en tettere overflate. Sponene dusjes med lim og presses sammen under høyt trykk (ca. 30 bar) og temperatur (200–240 °C) [Solli og Glasø 2011a]. Pressetiden er 3–6 minutter.

### 2.2 Limtre

Limtre er bygget opp av lameller av saget tre. Normalt er lamellene 40 mm tykke, men andre tykkelser brukes også. Lamellene lages av gran eller furu som limes sammen under trykk [Solli og Glasø 2011b]. Den

tradisjonelle limtypen er fenol-resorcinol-formaldehyd (PRF). PRF-lim gir mørkt rødbrune fuger [Gross og Carling 2007]. I de senere årene er hovedsakelig melamin-urea-formaldehyd (MUF) lim brukt til liming av flatene. MUF-lim gir lyse fuger som mørkner noe etter hvert. Både MU F- og PRF-lim brukes til finger-skjøting.

Lim av andre typer enn PRF og MUF er også godkjent for bruk til limtre i Norge [Lim testet og godkjent for produksjon av konstruksjonslimtre og fingerskjøtt konstruksjonslast i Norge, Sverige, Finland og Danmark, 2010]. De fleste godkjenningene gjelder énkomponent polyuretanlim (PUR), men det finnes også et emulsjonspolymerisert isocyanatlim (EPI) og enkelte melamin-formaldehydlim (MF) på listen over godkjente limtyper.

Før liming tørkes lamellene. Fuktinnholdet etter tørking er ca. 12 vektprosent [Johansson et al. 2002] Rett før liming høvles lamellene. Deretter påføres limet og lamellene presses sammen [Solli og Glasø 2011b]. Vanligvis presses limtreet i hydrauliske presser eller skrupresser. Trykket er 6–10 bar. Limtreet holdes i pressen inntil limet er herdet. Normalt foregår liming ved forhøyet temperatur for å øke herdehastigheten.

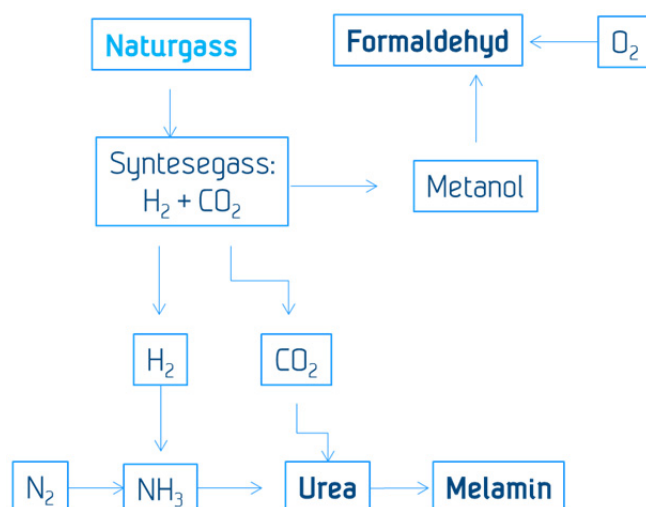
Limmengden avhenger av limtype, lamineringstykkelse og herdemetode [Johansson et al. 2002]. Typisk brukes det mellom 5 og 10 kg lim per kubikkmeter limtre.

### 3 Limingredienser

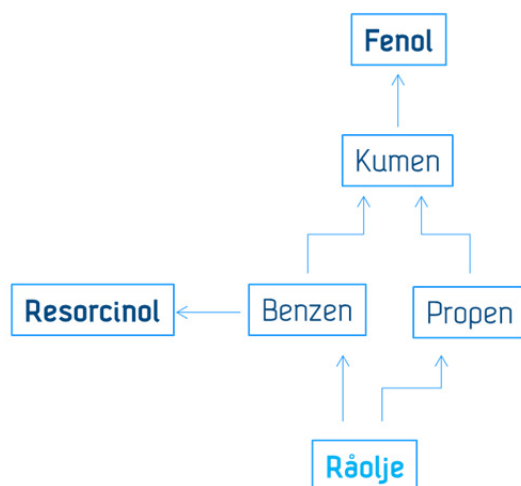
En del bestanddeler som inngår i flere limtyper er:

- Formaldehyd
- Fenol
- Resorcinol
- Urea
- Melamin

Utgangspunktet for alle disse kjemikaliene er naturgass og råolje. Et overordnet flytskjema for fremstilling av limingrediensene er vist i figur 3.1 og 3.2. De neste underkapitlene tar for seg kjemikalienes egenskaper og fremstillingsmåte i større detalj.



Figur 3.1. Fremstilling av formaldehyd, urea og melamin med utgangspunkt i naturgass.



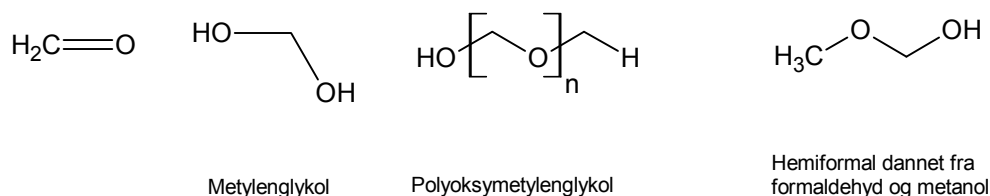
Figur 3.2. Fremstilling av fenol og resorcinol fra råolje.

### 3.1 Formaldehyd og paraformaldehyd

Formaldehyd, se figur 3.1.1, er det minste av aldehydene. Det systematiske navnet er metanal og den kjemiske formelen  $\text{CH}_2\text{O}$ . Ved romtemperatur er formaldehyd en giftig, fargeløs gass med en karakteristisk lukt [Pilato 2010]. Formaldehyd er mistenkt for å fremkalle kreft hos mennesker. Formaldehyd er også giftig ved innånding, hudkontakt og når den svelges.

Formaldehyd leveres som en løsning av formaldehyd i vann, også kalt formalin. Formaldehyd-konsentrasjonen varierer fra 37 til 56 vekt %. Formaldehyd er ustabil og i en vannløsning dannes det metylenglykol og polyoksy metylenglykoler som er oligomere (kortkjedet polymer) av metylenglykol, se figur 3.3.1. Løsningen inneholder derfor en stabilisator, som reduserer tendensen til polymerisering. Løsningen kan stabiliseres ved tilsats av 10-15 % metanol. Andre stabilisatorer finnes også, f.eks. 0,25-1 vekt % melamin, 0,02-0,25 vekt % av en guanaminforbindelse, polyvinylacetat eller polyvinylalkohol.

Paraformaldehyd er et polyoksy metylenglykol der antall repeterende enheter i polymerkjeden ligger mellom 10 og 100. Paraformaldehyd er en fast forbindelse. Fargen er hvit. Paraformaldehyd fremstilles ved destillering av en formaldehydløsning

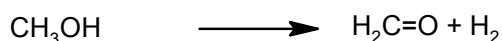
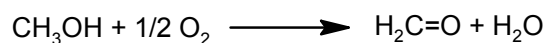


Figur 3.1.1. Kjemisk struktur til formaldehyd, metylenglykol, polyoksymetylenglykol og hemiformal. Polyoksymetylenglykol med  $n = 10-100$  kalles paraformaldehyd. Dette er en fast forbindelse.

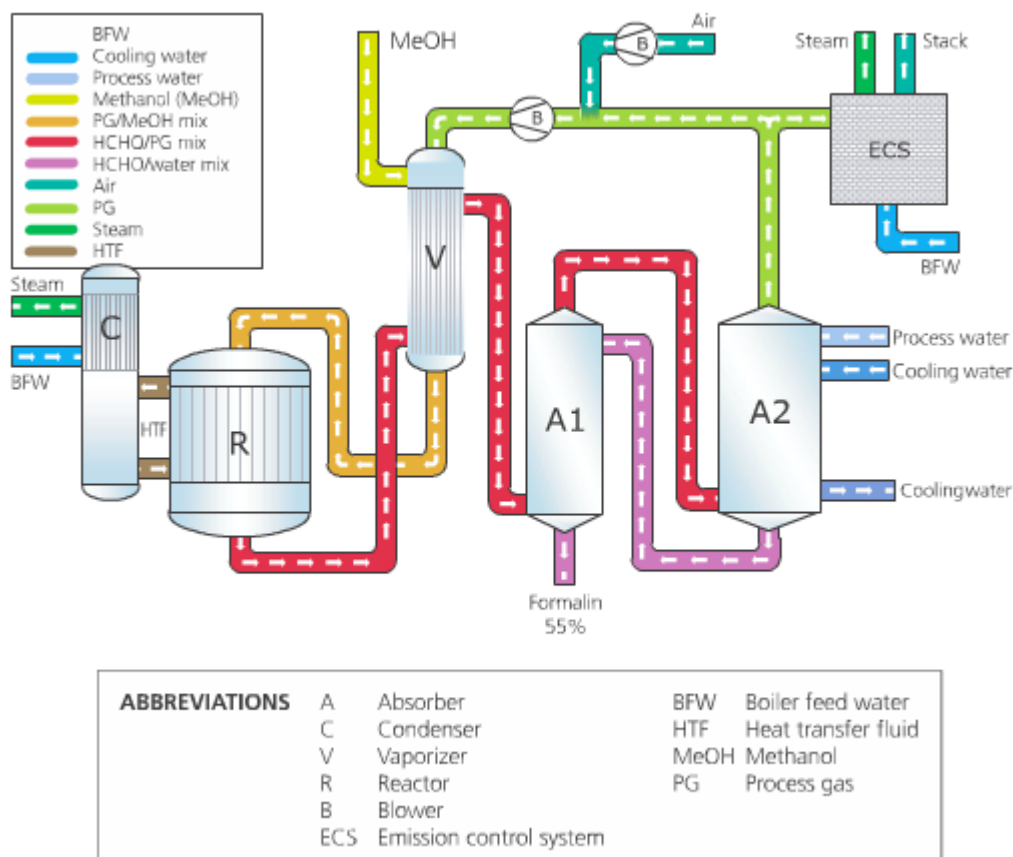


Formaldehyd fremstilles fra metanol ved hjelp av sølv som katalysator eller ved hjelp av en jernoksid-molybdenoksid katalysator [Pilato 2010]. Hver av de to prosessstypene finnes i flere ulike varianter, men hovedtrekkene er de samme:

- Sølvkatalysatorprosessen foregår ved atmosfærisk trykk og 600–650 °C. Formaldehyd dannes dels ved reaksjon mellom metanol og oksygen, og dels ved spalting av metanol, se figur 3.1.2. Katalysatoren er enten sølvkrystaller eller flere lag av sølvnetting. Lisensgivere er blant annet Derivados Forestales, Dynea, ICI og Josef Meissner.
- Metalloksidprosessen foregår ved atmosfærisk trykk og ca. 300 °C. Metanol reagerer med oksygen og danner formaldehyd. Reaksjonen foregår i tuber fylt med jernoksid-molybdenoksid katalysator. Lisensgivere er blant annet Haldor Topsø, Josef Meissner og Nippon Kasei. Prosessen er også registrert under handelsnavnet Formox som tilhører Perstorp Specialty Chemicals AB i Sverige, se figur 3.1.3.



*Figur 3.1.2. Reaksjonslikning for dannelse av formaldehyd fra metanol. I sølvkatalysatorprosessen dannes formaldehyd dels ved reaksjon mellom metanol og oksygen, og dels ved spalting av metanol. I jernoksid-molybdenoksidprosessen reagerer metanol med oksygen i henhold til den øverste likningen.*

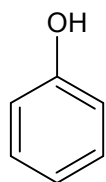


Figur 3.1.3. Perstorp Formox prosessen for fremstilling av formaldehyd [Perstorp Formox].

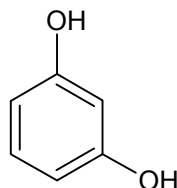
Metanol fremstilles i hovedsak fra naturgass. I første trinn av prosessen omdannes naturgass til syntesegass. Syntesegass er en blanding av karbondioksid og hydrogen. Metanol fremstilles fra syntesegassen ved hjelp av en kobber-zink på alumina katalysator [Witcoff et al. 2004]. Reaksjonen til metanol foregår ved 240–260 °C og 50–100 bar.

### 3.2 Fenol og resorcinol

Fenoler er en gruppe kjemiske forbindelser som består av en eller flere hydroksylgrupper som er bundet til en aromatisk ring. Den enkleste forbindelsen er hydroksybenzen, mer alminnelig kalt fenol. Resorcinol er også en fenol, nærmere bestemt 3-hydroksyfenol. Strukturene til fenol og resorcinol er vist i figur 3.2.1. Ved romtemperatur er fenol og resorcinol faste forbindelser [Pilato 2010]. Fenol smelter ved 40,9 °. Resorcinol smelter ved 109,8 °C. Selv om fenol og resorcinol har like kjemiske strukturer er fremstillingsmåtene svært forskjellige.



Fenol (hydroksybenzen)  
CAS 108-95-2



Resorcinol (3-hydroksybenzen)  
CAS 108-46-3

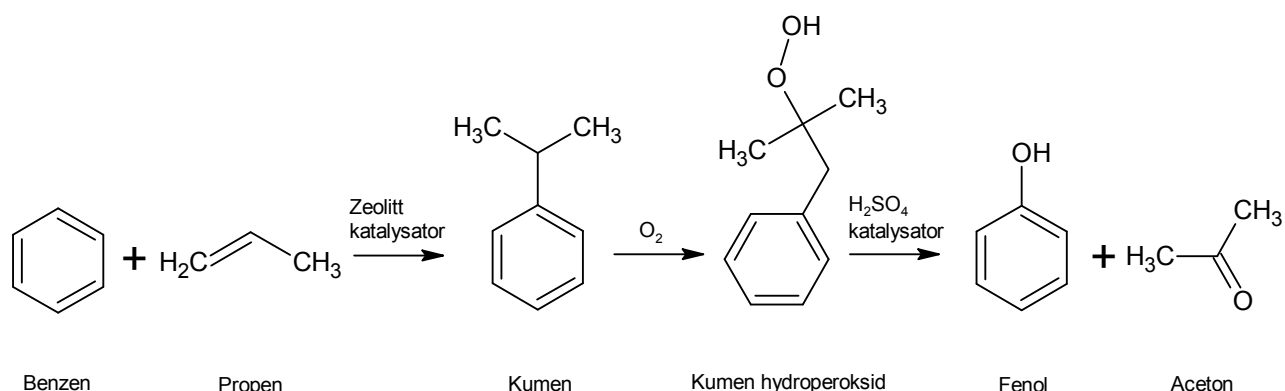
Figure 3.2.1. Strukturene til fenol og resorcinol.

Fenol fremstilles i hovedsak fra kumen i en komplisert flertrinnsprosess som også går under navnet Hock-prosessen [Pilato 2010, Centi et al. 2009]. Det finnes tre kommersielle varianter av denne prosessen, men hovedtrinnene er de samme:

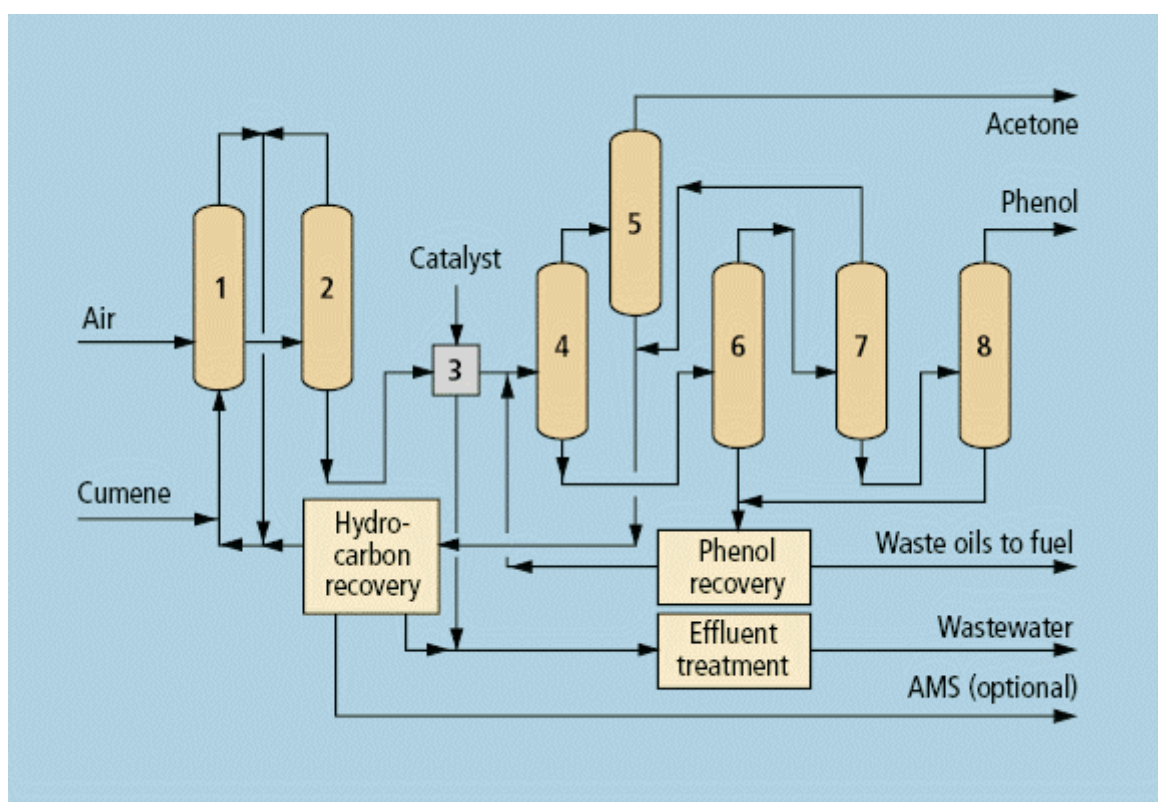
1. Kumen, også kalt isopropylbenzen, fremstilles fra benzen og propen. I moderne anlegg brukes det som regel en zeolitt-basert katalysator, men det finnes enkelte anlegg som fremdeles bruker fosfor- eller aluminiumklorid/hydrogenklorid katalysatorer [Schmidt 2005].
2. Kumen reagerer med oksygen fra luften og omdannes til kumen hydroperoksid og flere biprodukter, blant annet dimetylbenzylalkohol og acetofenon. Produktblandingen vakuumdestilleres for å oppnå høyere konsentrasjon av kumen hydroperoksid. I destillasjonstrinnet fjernes acetofenon fra produktblandingen.
3. I nærvær av svovelsyre omdannes kumen hydroperoksid til fenol og aceton, mens dimetylbenzylalkoholen omdannes til alfametylstyren. Alfametylstyrenet kan resirkuleres eller videreføres og selges.

En forenklet fremstilling av reaksjonsforløpet er gitt i figur 3.2.2. KBR-prosessen (Kellogg Brown & Root), en av de tilgjengelige industrielle prosessene for fremstilling av fenol fra kumen, er vist i figur 3.2.3. Kumen oksideres i reaktor 1. Hydrogenperoksidet konsentreres i 2 og omdannes til fenol og aceton i 3. Produktblandingen separeres i trinn 4–8. Alfametylstyren (AMS) kan omdannes til kumen og resirkuleres eller selges.

Det dannes en rekke biprodukter i prosessen, blant annet aceton. Ettersom etterspørselen etter fenol er høyere enn etterspørselen etter aceton skaper prosessen et acetonoverskudd [Nexant 2007]. Det arbeides derfor med å utvikle prosesser der også aceton, i likhet med de andre biproduktene, resirkuleres og prosesser der det ikke produseres aceton i det hele tatt. Industrielle lisensgivere for "kumen til fenol"-prosessen er blant annet UOP, Badger Licensing, CDTech, KBR (Kellogg Brown & Root) og ABB Lummus Global [Pilato 2010, Plantas Quimicas]. Verdens tre største produsenter av fenol i 2008 var Ineos phenol, Sunoco og Mitsui Chemicals.



Figur 3.2.2. Forenklet reaksjonsmekanisme for fremstilling av fenol fra kumen [Centi et al. 2009].

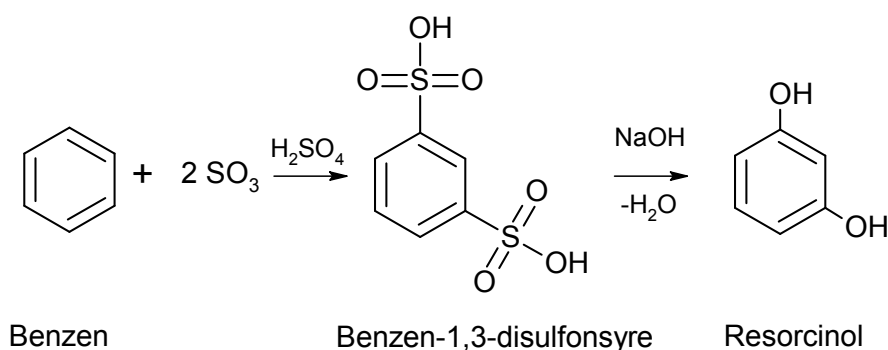


Figur 3.2.3. KBR prosessen for fremstilling av fenol fra kumen [Plantas Quimicas].

Resorcinol produseres ved sulfonering av benzen til mellomproduktet benzen-1,3-disulfonat (INDSPEC Chemical Corp. eller vi hydroksyperoksidering av m-diisopropylbenzen (Sumimoto) [Pilato 2010]. INDSPEC er den største produsenten av resorcinol på verdensbasis.

Sulfoneringsprosessen foregår i flere trinn [Durairaj 2005, Gardziella et al. 2000]:

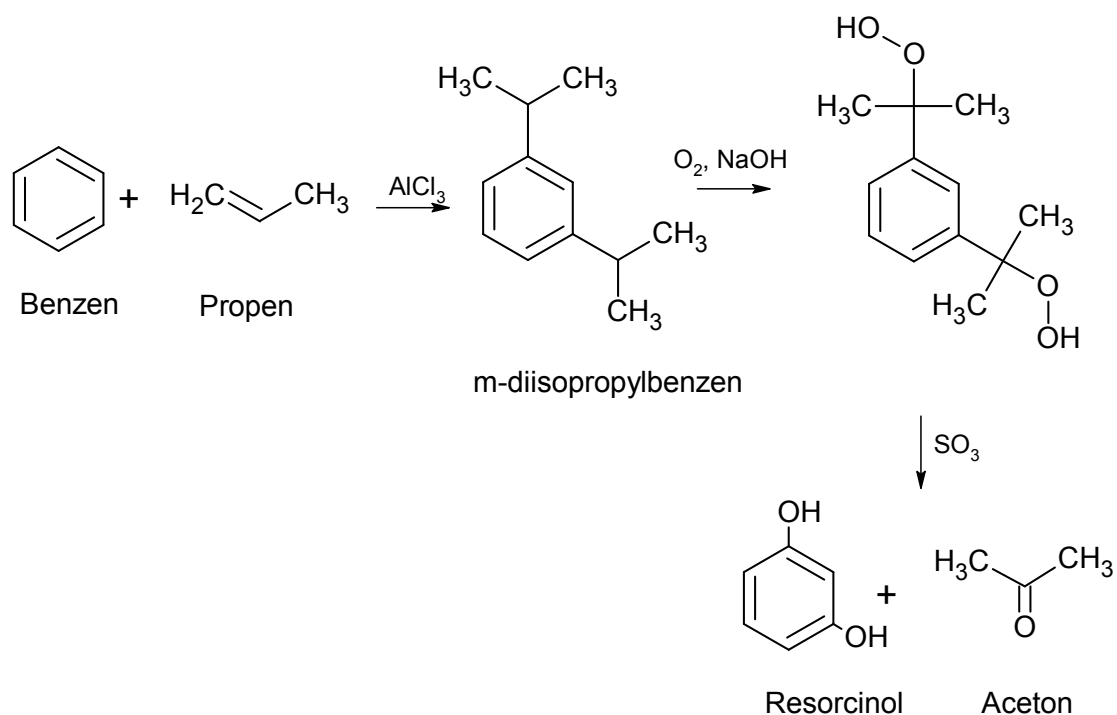
1. Benzen reagerer med svoveltrioksid i en blanding av svovelsyre og svoveltrioksid, også kalt oleum, ved 150 °C. Det dannes da benzen-1,3-disulfonsyre, se figur 3.2.3. Det dannes også biprodukter. Reaksjonsblandingen tilsettes natriumsulfat anhydrid for å redusere dannelsen av sulfoner.
2. Blandingen nøytraliseres med natriumsulfitt og det dannes da et natriumsalt av benzen-1,3-disulfonsyren.
3. Natriumsaltet av benzen-1,3-disulfonsyren tørkes og får reagere med natriumhydroksid ved 350 °C. Det dannes da resorcinol, se figur 3.2.4.
4. Resorcinolen ekstraheres med diisopropyleter og destilleres til slutt for å oppnå tilstrekkelig renhetsgrad.



Figur 3.2.4. Fremstilling av resorcinol ved sulfonering av benzen [Durairaj 2005, Gardziella et al 2000].

Hydroksyperoksidierungsprosessen foregår også i mange trinn [Durairaj 2005, Gardziella et al. 2000], se også figur 3.2.5:

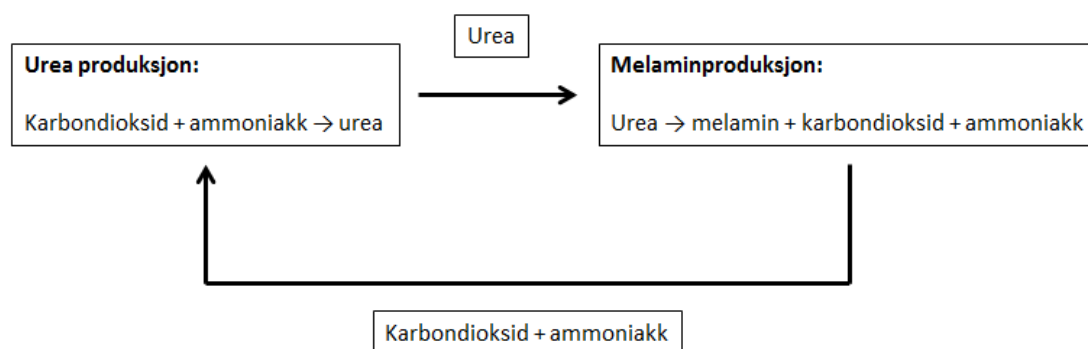
1. m-Diisopropylbenzen med høy renhetsgrad fremstilles ved å la benzen reagere med propen. Aluminiumklorid brukes som katalysator.
2. m-Diisopropylbenzenen oksideres i vandig medium med trykkluft ved ca. 100 °C. Natriumhydroksyd brukes som katalysator. Ved oksidering dannes det en rekke produkter, blant annet m-di-(2hydroperoksy-2-propyl)-benzen og m-2-hydroksey-2-propyl- $\alpha$ -dimetylbenzen hydroperoksid. Disse ekstraheres fra reaksjonsblandingen og bearbeides videre. De resterende produktene resirkuleres.
3. m-Di-(2hydroperoksy-2-propyl)-benzen og m-2-hydroksey-2-propyl- $\alpha$ -dimetylbenzen hydroperoksid ekstraheres fra reaksjonsblandingen med en natriumhydroksidløsning i vann.
4. Ekstrahering med metylisobutylketon ved 20-25 °C utføres for å isolere m-2-hydroksey-2-propyl- $\alpha$ -dimetylbenzen hydroperoksid. m-2-Hydroksey-2-propyl- $\alpha$ -dimetylbenzen hydroperoksidet reagerer i et senere trinn til dicarbinol.
5. Ekstrahering med metylisobutylketon ved 55-65 °C utføres for å isolere m-di-(2hydroperoksey-2-propyl)-benzenet.
6. Splitting av m-di-(2hydroperoksey-2-propyl)-benzenet i nærvær av svoveltrioksid ved 60 – 80 °C utføres for å danne resorcinol.
7. Destillering av resorcinolen utføres til slutt for å oppnå ønsket renhetsgrad.



Figur 3.2.5. Fremstilling av resorcinol fra benzen ved hydroksyperoksidierungsprosessen [Durairaj 2005, Gardziella et al 2000].

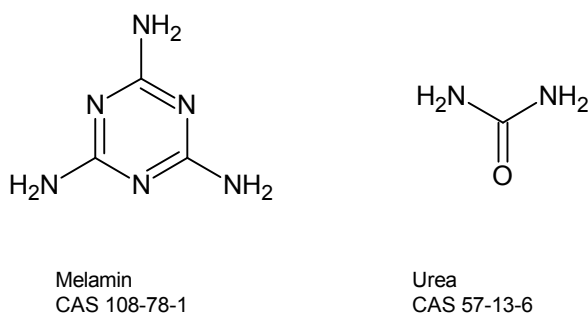
### 3.3 Urea og melamin

Urea og melamin er behandlet i samme kapittel fordi melamin produseres fra urea. I produksjonen av melamin dannes det ammoniakk og karbondioksid som kan resirkuleres til ammoniakkproduksjonen, se figur 3.3.1. Urea og melamin produseres derfor ofte i samme anlegg.



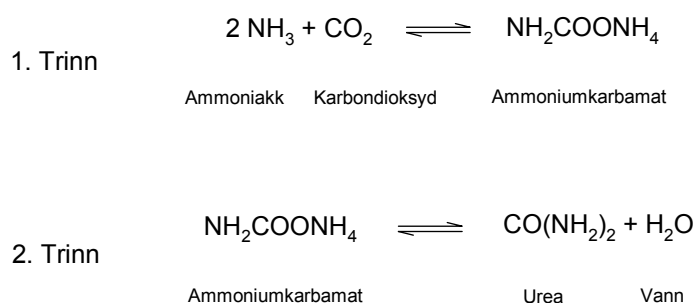
Figur 3.3.1. Det er fordelaktig å produsere urea og melamin i samme anlegg fordi ammoniakk og karbondioksid som dannes ved produksjonen av melamin da kan føres tilbake til ureafremstillingen.

Urea er et hvitt, krystallinsk materiale som smelter ved 133 °C. Ved romtemperatur er melamin en fast, hvit forbindelse som dekomponerer ved 345 °C. Den kjemiske strukturen til urea og melamin er vist i figur 3.3.5.



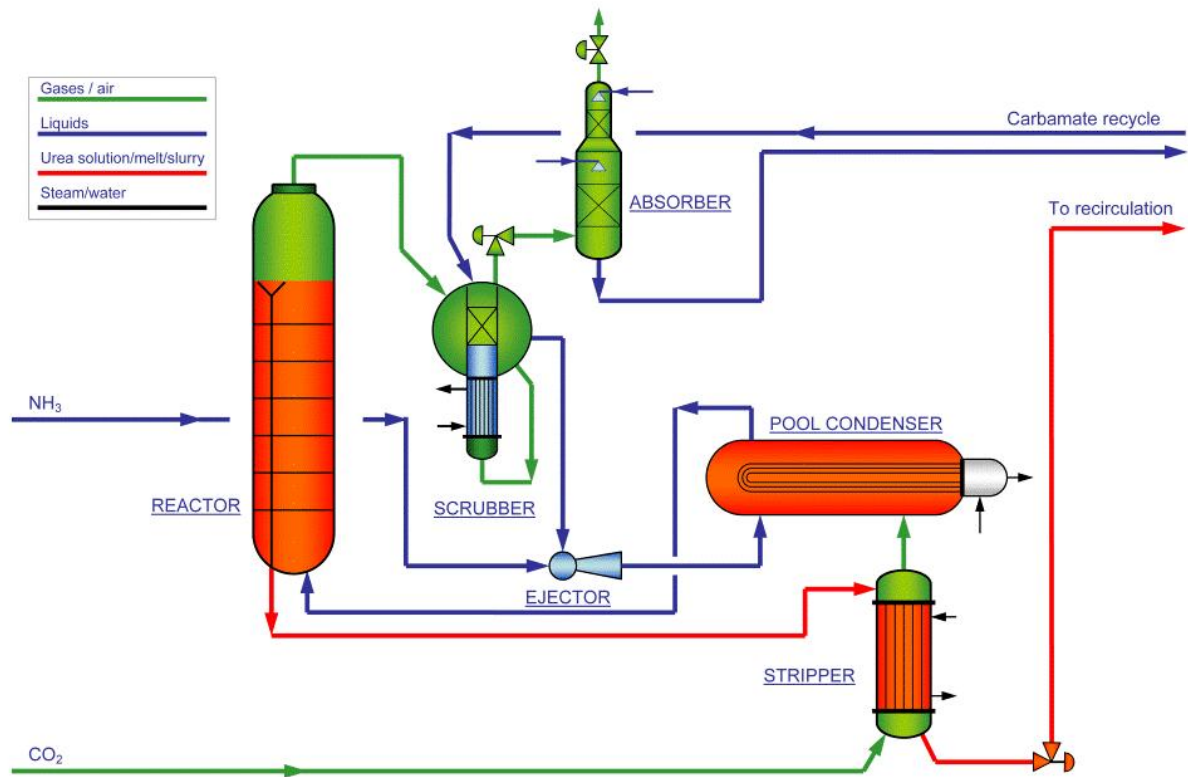
Figur 3.3.2. Den kjemiske strukturen til melamin og urea.

Urea fremstilles fra syntetisk ammoniakk og karbondioksid [Hocking 2005]. I all hovedsak foregår fremstillingen ved "stripping"-prosessen til Stamicarbon, Snamprogetti eller Toyo Engineering Corporation [Nexant 2009]. I 2010 foregikk ca. 50 % av ureaproduksjonen i verden i henhold til Stamicarbonprosessen [Stamicarbon 2011]. Fremstillingsprosessen består av to trinn [Harmsen og Powell 2010], se figur 3.3.3. I første trinn reagerer ammoniakk og karbondioksid og danner ammoniumkarbamat. I andre trinn spaltes ammoniumkarbamatet slik at det dannes urea og vann. I Urea 2000plus-prosessen til Stamicarbon foregår trinn 1 i prosessen ved 140 bar og 180-185 °C [Maxwell 2004]. 60 % av karbondioksidet og 41 % av ammoniakken omsettes. Restene av karbondioksid og ammoniakk fjernes eller strippest fra reaksjonsblandingen ved å blåse gjennom karbondioksid. De ureagererte reaktantene kan deretter gjenbrukes.



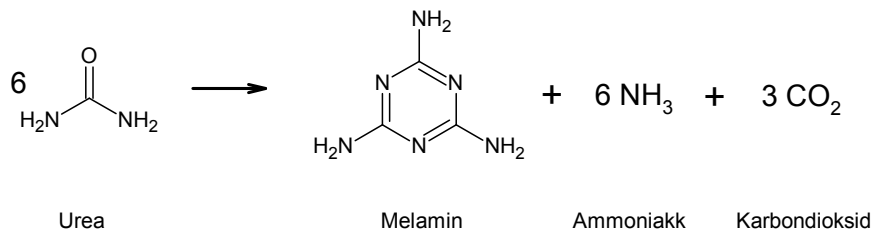
Figur 3.3.3. Fremstilling av urea er en totrinnsprosess, der de to trinnene i praksis foregår samtidig.

En skjematisk fremstilling av Stamicarbon-prosessen er vist i figur 3.3.4. Karbondioksid reagerer med ammoniakk og danner urea og vann i reaktoren. I stripperen fjernes ureagert karbondioksid og ammoniakk. Disse kondenseres ("pool condenser") og tilbakeføres til reaktoren.



Figur 3.3.4. Stamicarbon Urea 2000Plus-prosessen for fremstilling av urea [Stamicarbon 2011].

Melamin produseres fra urea i en prosess som består av enten ett eller to trinn og som foregår ved enten høyt eller lavt trykk [Maxwell 2004]. Nettoreaksjonen er vist i figur 3.3.5.



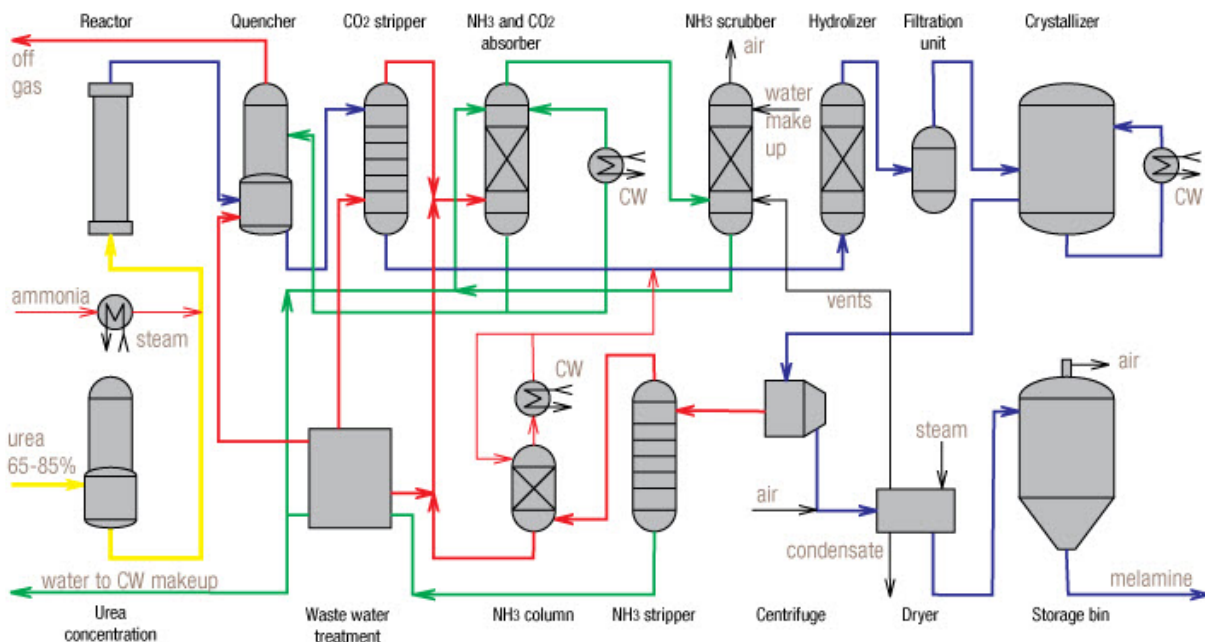
Figur 3.3.5. Dannelse av melamin fra urea [Riegel og Kent 2003].

Eurotecnica er lisesensinneholder for en ett-trinns høytrykksprosess, se figur 3.3.6. De blå pilene i figur 3.3.6 viser veien som melaminet tar gjennom prosessen. Smeltet urea og overhetet ammoniakk pumpes inn i reaktoren. I reaktoren dannes urea ved 90–150 bar trykk og 380–450 °C uten bruk av katalysator. Smeltet urea, ammoniakk og karbondioksid tas ut fra toppen av reaktoren og overføres til et avkjølingstårn der blandingen kjøles med vann. Ammoniakk og karbondioksid tilbakeføres til ureaproduksjonen, mens melaminet, som nå er løst i vann, sendes videre til et rensetrinn. Den rensende melaminløsningen føres videre til en krystallisator der melaminet felles ut ved redusert trykk og temperatur. I tørketrikket tørkes



melaminet til det inneholder maksimalt 0,1 vekt % fuktighet. Andre høytrykksprosesser som brukes er: Montedison (Ausind) prosessen og Nissan prosessen [Crews et al. 2006].

I en typisk lavtrykksprosess dannes melamin i gassfase ved 1–10 bar trykk og 350–400 °C [Riegel og Kent 2003]. I prosessen brukes det en katalysator, f.eks. modifisert aluminiumoksid eller aluminiumsilikat. BASF-prosessen er en ettrinnsprosess der smeltet urea danner melamin ved 395 til 400 °C og tilnærmet atmosfærisk trykk i et fluidisert sjikt reaktor [Muller-Hasky et al. 2009]. Reaksjonsgassblandingen, som består av melamin, karbondioksid, ammoniakk, urea og biprodukter, avkjøles noe. Katalysator og krystalliserte reaksjonsprodukter fjernes, mens restgassen som inneholder melamin føres til krystallisatoren der den kjøles ned til en temperatur mellom 190 og 220 °C ved hjelp av en blanding av karbondioksid og ammoniakk i gassfase. Under disse betingelsene danner melamingassen melaminkrystaller. Gassfasen resirkuleres. Andre lavtrykksprosesser er Chemie Linz prosessen og Stamicarbonprosessen [Crews et al. 2006].



Figur 3.3.6. Eurotecnicprosessen for fremstilling av melamin [Southern Chemical].

DSM var i 2004 den største enkeltprodusenten av melamin [DSM 2004]. De sto for 25 % av den globale melaminproduksjonen.

#### 4 Fenol-resorcinol-formaldehyd (PRF)

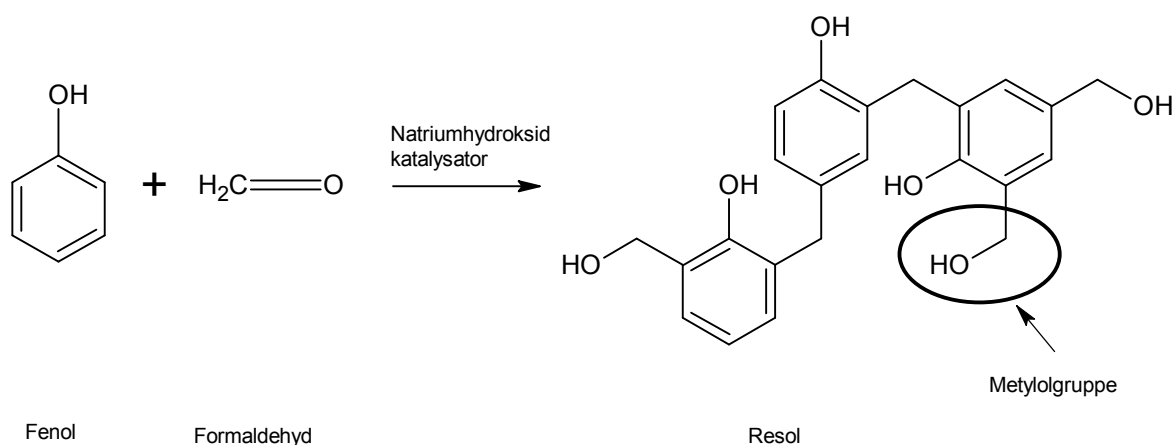
Fenol-resorcinol-formaldehyd (PRF) lim fremstilles fra formaldehyd, fenol og resorcinol. De leveres som tokomponent lim der den ene komponenten inneholder et PRF harpiks som er blandet med en eller flere alkoholer (f.eks. fenol, etandiol eller etanol) og vann. Den andre komponenten er en herder, som regel i form av en formaldehydforbindelse, men andre herdere finnes også [Pilato 2010, Chaudhury og Pocius 2002]. Herderene kan være i flytende eller fast form (pulverherder). En pulverherder består typisk av paraformaldehydpulver blandet med tremel og/eller malte nøtteskall. Pulveret kan også være tilsatt en uorganisk forbindelse. De flytende herderne består som regel av formaldehyd løst i vann.

## 4.1 Fremstilling av PRF harpiks

Fremstillingen av PRF-harpikset gjøres i to trinn [Pizzi og Mittal 2003, Pilato 2010]:

1. Fremstilling av fenol-formaldehyd resol med lav molekylvekt og overskudd av metyloolgrupper. Fenol-formaldehyd resolet fremstilles ved å la fenol og formaldehyd (vanligvis ca. 50 vekt % formalin) reagere i nærvær av en base, se figur 4.1. Basen fungerer som katalysator. Natriumhydroksid er den vanligst brukte basen, men andre hydroksider og enkelte aminer kan også brukes.
2. Metyloolgruppene i fenol-formaldehyd resolen reagerer med resorcinol og det dannes et fenol-resorcinol-formaldehyd harpiks. Resorcinol utgjør vanligvis rundt 15–18 vekt-% av det ferdige harpikset [Pizzi og Mittal 2003].

Fremstillingen av harpikset gjøres batch-vis i 50 m<sup>3</sup> reaktorer.



*Figur 4.1. Fremstilling av resol fra fenol og formaldehyd. I reaktantblandingen er det minst like mye formaldehyd som fenol, men det kan også være 3–4 ganger så mye formaldehyd som fenol til stede. Metyloolgruppene reagerer videre med resorcinol i trinn to av prosessen.*

Følgende oppskrift for fremstilling av et PRF-harpiks med 15 vekt % resorcinol er hentet fra forskningslitteraturen og gir en fremstillingsprosedyre i laboratorieskala [Lisperguer et al. 2005]:

1. Fenol (94,1 g, 1 mol) reagerer med formaldehyd (27 g, 0,9 mol, 37 vekt % i vann) i nærvær av natriumhydroksid (4 g). Blandingen blir tilsatt vann og koker i to timer på refluks. Refluks vil si at væsken som fordamper blir ført tilbake til reaksjonsblandingen.
2. Etter to timer på refluks tilsettes nok en gang formaldehyd (27 g, 0,9 mol, 37 vekt % i vann) og natriumhydroksid (4 g) og blandingen koker i enda to og en halv time.
3. Blandingen avkjøles til 50 °C og det tilsettes resorcinol (59,5 g, 0,54 mol) og en blanding av metanol og vann (30 g til sammen). Blandingen koker på refluks i 1,5-2 timer. Resultatet er en tyktflytende væske. Den dynamiske viskositeten er 0,8-1 Pa·s. Dette tilsvarer omtrent viskositeten til glyserol.
4. Herderen er en 1:1 blanding av paraformaldehydpulver og tremel. Herderen tilsettes ved liming i en slik mengde at vektforholdet herder:harpiks er lik 20:100.

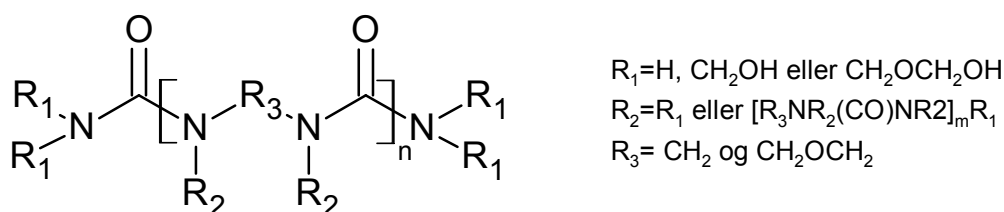
## 5 Urea-formaldehyd (UF)

Urea-formaldehyd (UF) lim fremstilles fra urea og formaldehyd. Urea og formaldehyd reagerer og det dannes polymere.

I første trinn av fremstillingsprosessen reagerer urea med formaldehyd og natriumhydroksid i en svakt basisk blanding [Pizzi og Mittal 2003]. Reaksjonen foregår ved temperaturer rundt ca. 90 °C inntil turbiditetspunktet (punktet der reaksjonsproduktene ikke lengre er løselige i reaksjonsblandingen og det dannes partikler) er nådd. Deretter tilsettes maursyre slik at blandingen blir sur og temperaturen heves til ca. 100 °C. Typisk tilsettes det også mer urea [Kim 2001]. Når blandingen har oppnådd riktig viskositet, tilsettes natriumhydroksid slik at blandingen blir basisk og den kjøles til 25–30 °C. Overskuddet av vann fjernes ved vakuumdestillering. pH justeres slik at det oppnås ønskete lagringsegenskaper.

Ved liming tilsettes UF-harpikset en herder slik at det dannes et tredimensjonalt nettverk. Herderen er enten en syre, for eksempel maursyre, eller en forbindelse som reagerer med fri formaldehyd og danner en syre. Det siste kalles en latent herder. Eksempler på latente herdere er ammoniumsulfat og ammoniumklorid, eller en blanding av disse. Ammoniumsulfat danner svovelsyre og ammoniumklorid danner saltsyre i reaksjon med formaldehyd. Ammoniumklorid kan forårsake korrosjonsproblemer ved forbrenning fordi det frigjøres saltsyre [Chaudhury og Pocius 2002]. Ammoniumsaltene leveres løst i vann og løsningen er tilsatt tykningsmidler, fyllstoffer og additiver [Andersen og Brehmer 2003 og CPM LCA Database].

UF-harpikset består av en blanding av ulike kjemiske forbindelser, både lineære og forgrenete, polymere [Christjanson et al 2006]. En skematisk fremstilling av strukturen er vist i figur 5.1. Egenskapene til harpikset og det herdede limet avhenger av variasjoner i betingelsene (tid, temperatur og mengde urea i forhold til mengde formaldehyd) ved fremstillingen av UF-harpikset. For å møte kravene om formaldehydemisjoner fra limet holdes mengden formaldehyd i forholde til mengden urea lavt, det vil si at F:U er lik ca. 1,05.



Figur 5.1. UF-harpiks består av en blanding av lineære og forgrenete forbindelser. Figuren viser en skematisk fremstilling av strukturen [Kim 2001].

## 6 Melamin-formaldehyd (MF) og Melamin-urea-formaldehyd (MUF)

Melamin-formaldehyd (MF) fremstilles fra melamin og formaldehyd [Chaudhury og Pocius 2002, Pizzi og Mittal 2003]. Ettersom melamin er dyrt er det vanlig å tilsette urea. Da oppnås lim med lavere melamininnhold. Melamin-urea-formaldehydlimene (MUF) har, dersom de er riktig formulert, like eller nesten like gode tekniske egenskaper som MF-limene.

MF- og MUF leveres som tokomponent lim der den ene komponenten består av en melamin-formaldehyd eller melamin-urea-formaldehyd harpiks og den andre komponenten er en herder. Herderen er den samme som for urea-formaldehyd harpikset. Maursyre er den mest brukte herderen ved fremstilling av limtre

[Ekblom et al. 2010]. I kommersielle systemer tilsettes ikke herderen i ren form, men som en blanding med en polymerdispersjon, overflateaktive forbindelser, skumdempende forbindelser, tykningsmidler, fargestoffer, formaldehyd scavenger, fyllstoffer og vann [Pedersen og Sandbakken 2002]:

- Polymerdispersjon: f.eks. polyvinylacetat (PVAc)
- Tykningsmidler: f.eks. naturgummi, guargummi eller polyuretan tykningsmidler
- Fyllstoffer: f.eks. kaolin, talkum eller bariumsulfat.

MUF-harpiks kan fremstilles på tre ulike måter [Chaudhury og Pocius 2002]:

1. Kopolymerisering av melamin, urea og formaldehyd i en flertrinnsprosedyre. Et eksempel på prosedyren er gitt senere i teksten.
2. Et urea-formaldehyd harpiks blandes med et melamin-formaldehyd harpiks.
3. Et urea-formaldehyd harpiks tilsettes melamin eller en melaminholdig forbindelse når limet påføres.

Pizzi og Mittal [2003] gir følgende beskrivelse av fremstillingsprosedyren for et MUF-harpiks som egner seg til utendørs sponplater:

1. 113 vektenheter formurea (blanding av 57 vekt % formaldehyd og 23 vekt % urea) blandes med 13 vektenheter urea og 30 vektenheter vann. pH i blandingen justeres til mellom 10 og 10.4. Blandingens varmes opp til 92 til 93 °C under konstant røring.
2. pH senkes til 7.8 og reaksjonen fortsetter ved samme temperatur i ca. halvannen time. I løpet av denne perioden faller pH ytterligere.
3. Blandingens tilsettes natriumhydroksid slik at pH heves til minimum 9,5. Deretter tilsettes 41 vektenheter melamin blandet med 19 vektenheter vann, 1 vektenhet dimetylformamid og 2 vektenheter dietylenglykol. Temperaturen holdes ved 92 °C. Dimetylformamid tilsettes for at melaminet skal løse seg bedre i reaksjonsblandingen. Dietylenglykolen virker som mykgjørere i det herdete limet.
4. Etter en tid tilsettes 6,5 vektenheter urea og pH justeres opp til 9,5 ved tilsats av natriumhydroksid. Etter nok en tid justeres pH igjen ved tilsats av natriumhydroksid og blandingen avkjøles og lagres.

Pizzi og Mittal [2003] gir også en beskrivelse av fremstillingsprosedyren for et MF-harpiks som egner seg til utendørs sponplater. Prosedyren har mange likhetstrekk med fremstillingsprosedyren for MUF-harpiks:

1. 44,4 vektenheter vann tilsettes natriumhydroksidløsning slik at pH ligger mellom 11,2 og 12,0. Deretter tilsettes 15,5 vektenheter formaldehyd i fast form, 34,4 vektenheter melamin pulver, 2,8 vektenheter caprolactam og 2,5 vektenheter N,N'-dimetylformamid. Caprolactam inkluderes i polymerkjedene og medvirker til at det dannes færre kryssbindinger. Dette gjør at det ferdige produktet blir mer elastisk, det vil si at caprolactam virker som en mykgjørere. Dimetylformamid tilsettes for at melaminet skal løse seg bedre i reaksjonsblandingen.
2. Blandingens varmes opp til temperaturen har nådd 92 til 95 °C. Når temperaturen når 80 °C justeres pH til 9,9 ved tilsats av natriumhydroksidløsning. Når temperaturen har nådd 93 °C, avkjøles blandingen noe til 90 °C og pH justeres til mellom 9,55 og 9,65 ved tilsats av maursyre.
3. Når reaksjonen i blandingen har nådd ønsket punkt vakuumdestilleres blanding inntil tørrstoffinnholdet er ca. 53-55 vektprosent, før blandingen avkjøles.

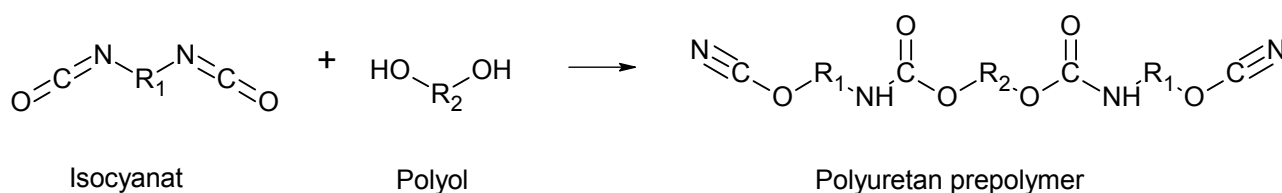
## 7 Énkomponent polyuretan (PUR)

Énkomponent polyuretanlim leveres som en blanding av komponenter. I blandingen inngår [Clauß et al 2011, Pizzi og Mittal 2003, Meckel 2006]:

- Polyuretan prepolymer

- Fyllstoff(er), for eksempel kalsiumkarbonat eller organiske fyllstoffer
- Tilsetningsstoffer, for eksempel overflateaktive forbindelser, antioksidanter og biocider
- Katalysator, for eksempel diazabicyclooktan (DABCO), dimorfolino dietyleter (DMDEE) eller dibutyl tinndilaureat. Mengden katalysator utgjør 0,005 til 0,5 prosent av vekten til prepolymeren.

Polyuretanlim for bruk på tre er lite omtalt i den vitenskapelige litteraturen, og det finnes lite informasjon om kommersielle systemer. Prepolymeren fremstilles ved å reagere et isocyanat med en polyol slik at det dannes polymerkjeder med isocyanatgrupper på enden av kjedene og på enden av forgreninger, se figur 7.1. Limet herder ved at isocyanatgruppene i prepolymeren reagerer med fuktighet i trevirket og det frigis da karbondioksid. Det finnes et stort antall ulike isocyanater og polyoler som kan kombineres med hverandre og danne polyuretaner med et bredt spekter av egenskaper.



Figur 7.1. En polyuretan prepolymer fremstilles ved å la en polyol reagere med et isocyanat.

## 8 Emulsjonspolymerisert isocyanat (EPI)

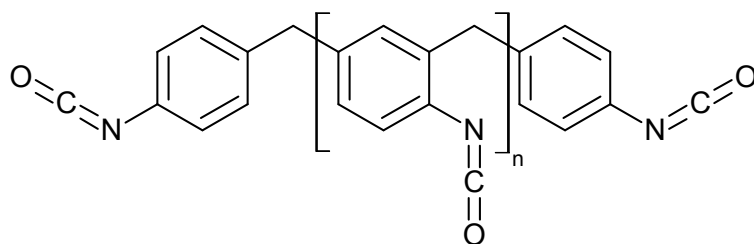
Emulsjonspolymeriserte isocyanater (EPI) levers som tokomponent systemer, der den ene komponenten er en vannbasert komponent som herdes ved tilsats av et isocyanat (den andre komponenten) [Grøstad og Pedersen 2010]. Den vannbaserte komponenten består av [Grøstad og Pedersen 2010, Hori et al 2008]:

- Vann
- Polyvinylalkohol (PVA)
- En eller flere emulsjoner, for eksempel emulsjoner basert på styren-butadien kopolymer (SBR), etylen-vinylacetat kopolymer (EVA), eller andre
- Fyllstoff(er), som regel kalsiumkarbonat men andre fyllstoffer kan også brukes, for eksempel trefiber, leire, silika eller talkum
- Tilsatser som for eksempel skumdempende midler, biocider og dispergeringsmidler

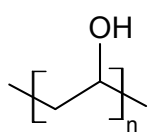
Herderen er som regel en polymer utgave av metylendifenyldiisocyanat (MDI). Strukturene til de ulike komponentene er vist i figur 8.1.

Polyvinylalkoholen har fler ulike roller i et EPI-lim:

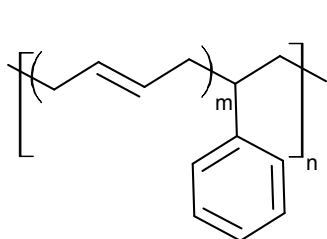
- Den reagerer med isocyanatet når limet herder og slik at det dannes kryssbindinger mellom polymerkjedene
- Den virker som tykningsmiddel. Andre tykningsmidler kan også brukes, for eksempel hydroxyl etyl cellulose (HEC) og stivelse
- Forhindrer at fyllstoffet sedimenteres



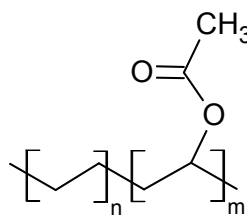
Polymetylendifenyl isocyanat



Polyvinylalkohol



Styren-butadien kopolymer



Etylen-vinyl acetat kopolymer

Figur 8.1. Kjemisk struktur til de ulike komponentene som inngår i EPI.

## 9 Livssyklusregnskap og livssyklusanalyser

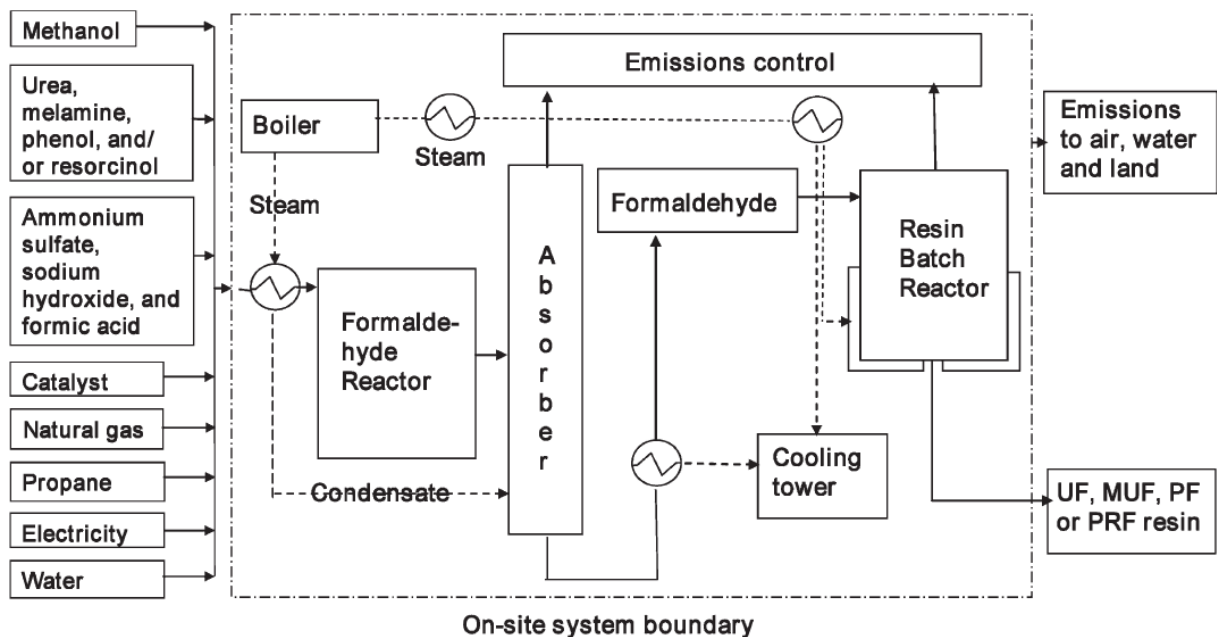
Som en del av MIKADO-prosjektet ble det i 2008 publisert et litteraturstudie som tar for seg miljøegenskaper for tre og trebaserte produkter, se Wærp et al [2008]. En oppsummering av studiene som var gjort inntil 2008 viser at tre som byggematerialer har mange positive miljøegenskaper, men at det finnes rom for forbedring. Trevirket kombineres dessuten ofte med lim, impregnering og/eller overflatebehandling som kan påvirke miljøregnskapet både i positiv og negativ retning [Werner og Nebel 2007, Werner og Richter 2007]. I positiv retning kommer at levetiden forlenges, at en større andel av trevirket i et tre kan brukes og at tre kan brukes på områder der man ellers måtte bruke andre materialer, men mange treprodukter er forbundet med et høyt forbruk av energi i produksjonsprosessen av selve produktet. Og for limte produkter gjelder det dessuten at produksjonen av selve limet er forbundet med et høyt energiforbruk. Siden 2008 er det publisert noen flere studier. Disse vil bli omtalt i den videre teksten.

### 9.1 Limproduksjon

CORRIM er en nordamerikansk organisasjon som har gjennomført en rekke studier av miljøegenskapene til byggematerialer. Blant annet har CORRIM gjennomført livssyklusregnskap for ulike limte treprodukter. Som en del av CORRIMs arbeid med limte treprodukter publiserte Wilson i 2009 og 2010 data fra livssyklusregnskap for følgende limtyper: UF, MUF, PF og PRF-harpikser [Wilson 2009 og 2010a]. Livssyklusanalysene er av typen vugge til port. Datagrunnlaget er hentet fra nordamerikanske limprodusenter (data innhentet for 2005), kommersielle LCA databaser og andre. Fremstillingsprosessene er energikrevende og derfor er energikilden av stor betydning for livssyklusregnskapet. I analysen ble det antatt at elektrisiteten som trengs i produksjonen kommer fra kilder som utgjør et nasjonalt gjennomsnitt i USA, det vil si en blanding av vannkraft og annen fornybar energi, kull, kjernekraft, naturgass og olje.

Produksjonsprosessene for de ulike limene er som beskrevet tidligere i denne rapporten. En detaljert beskrivelse av livsløpsregnskapet er gitt i Wilson [2009]. Overskudd av vann som brukes ved fremstillingen

av limene resirkuleres, og det dannes lite produksjonsavfall. Produksjonen fører heller ikke til dannelse av biprodukter. Emisjoner fra produksjonsanlegget blir holdt nede ved bruk av ulike former for renseteknologi. De fleste produsentene produserer selv formaldehyd fra metanol, enten ved bruk av sølv- eller molybden jernoksid katalysator. Figur 9.1.1. viser en skjematisk fremstilling av produksjonsprosessen. Systemgrensene gjelder limprodusenten og inkluderer derfor ikke emisjoner fra råvareleverandørene. Den funksjonelle enheten som ble brukt var 1 kg flytende harpiks.



Figur 9.1.1. Skjematisk fremstilling av limproduksjonen. Den stiplede linjen viser systemgrensen for produsenter av UF, MUF, PF og PRF-lim. Systemet inkluderer ikke emisjoner fra råvareprodusentene [Wilson 2010a].

Wilson's [2009 og 2010a] studie gir en detaljert rapportering av både inngående materialer og energi, og utslipp til luft og vann. Noen data for inngående ressurser er gitt i tabell 9.1.1. Datamengden er alt for omfattende til at den kan gjengis her. Dataene er presentert for at de skal kunne brukes i livssyklusanalyser av ferdige limte treprodukter, og ikke for at de skal brukes til å sammenlikne limtypene direkte. Noen av dataene er allikevel sammenstilt. Energiforbruket, vugge til port (ferdig harpiks), er vist i figur 9.1.2, og karbonavtrykket, vugge til port (ferdig harpiks) er vist i figur 9.1.3. Hovedparten av energiforbruket går med til fremstilling av råvarene, det vil si melamin, urea, fenol og metanol. Energiforbruket ved fremstilling av selve limet er til sammenlikning beskjedent. Hovedbidragsyterne til karbonavtrykket er karbondioksid-emisjonene som er knyttet til fremstilling av melamin, urea, fenol og metanol. Resorcinol inngikk ikke i analysen på grunn av manglende data for fremstillingsprosessen.

Tabell 9.1.1. Inngående materialer og energi [Wilson 2010a].

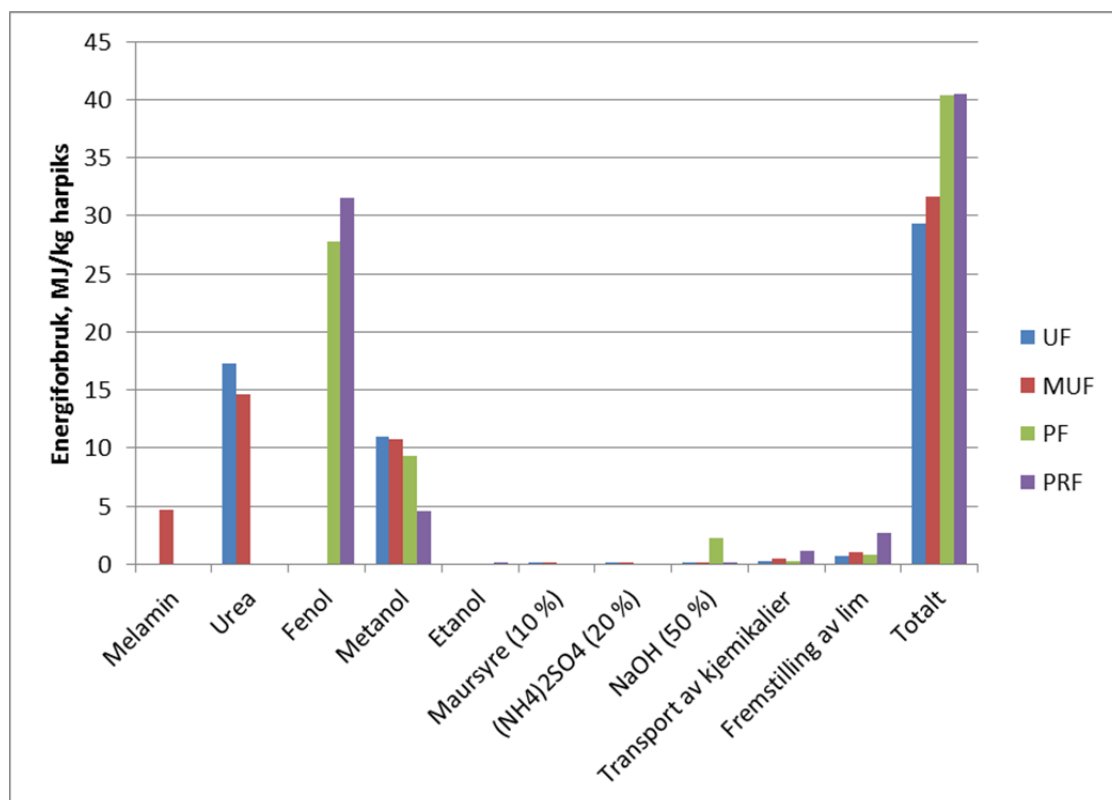
Limtype	Tørrestoffinnhold [%]	Molforhold <sup>1)</sup>	Input kjemikalier for å lage 1 kg harpiks	Energiforbruk for å lage 1 kg harpiks <sup>2)</sup> [MJ/kg]
Urea-formaldehyd (UF)	65	F:U = 1,09	473 g urea 309 g metanol 0,0474 g maursyre (10 %) 0,0316 g (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (20 %) 0,222 g NaOH (50 %) 499,47 g vann <sup>3)</sup>	Elektrisitet: 0,1129 Naturgass: 0,281 Propan: 3,56·10 <sup>-7</sup>  Totalt: 0,394
Melamin-urea-formaldehyd (MUF)	60	F:(M+U) = 1,16	397 g melamin 80,8 g urea 304 g metanol 0,0509 g maursyre (10 %) 0,0294 g (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (20 %) 0,209 g NaOH (50 %) 791 g vann <sup>3)</sup>	Elektrisitet: 0,1264 Naturgass: 0,517 Propan: 5,89·10 <sup>-7</sup>  Totalt: 0,643
Fenol-formaldehyd (PF)	47	F:P = 2,23	244 g fenol 209 g metanol 61 g NaOH (50 %) 379,8 g vann <sup>3)</sup>	Elektrisitet: 0,1285 Naturgass: 0,315 Propan: 1,12·10 <sup>-7</sup>  Totalt: 0,443
Fenol-resorcinol-formaldehyd (PRF)	60	F:(P+R) = 0,61	277 g fenol 190 g resorcinol 103 g metanol 7,44 g etanol 3,72 g NaOH (50 %) 656 g vann <sup>3)</sup>	Elektrisitet: 0,3561 Naturgass: 1,22 Propan: 9,51·10 <sup>-7</sup>  Totalt: 1,58

1) F – formaldehyd, U – urea, P – fenol, R – resorcinol

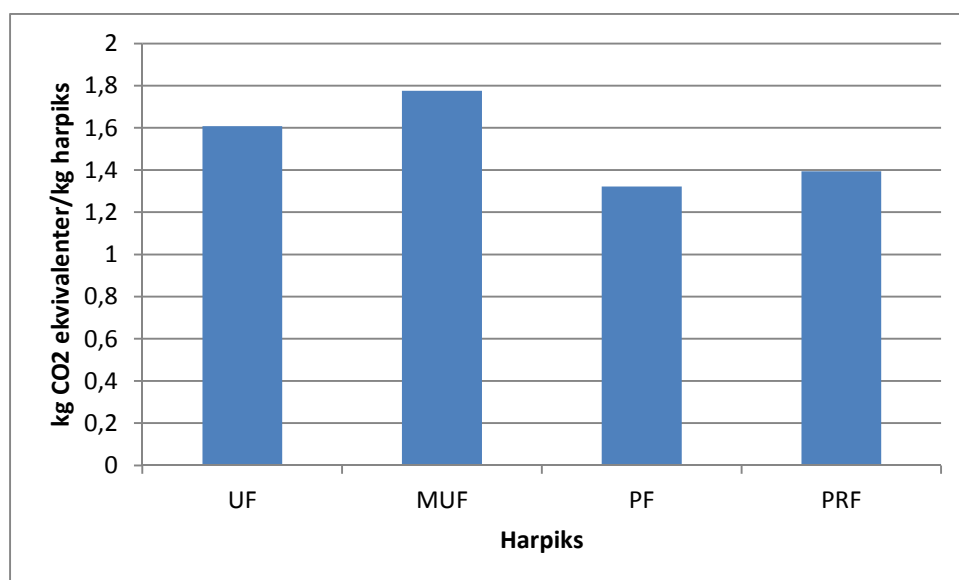
2) Energiforbruket gjelder ikke produksjon av råvarene, bare produksjon av selve harpikset

3) Totalt vannforbruk: Vann som brukes i reaktoren der harpikset produseres, vann som brukes i kjøletårnet og vann som brukes i for å lage vanndamp til å varme reaktor og råvarer. Se Wilson 2009 og Wilson 2010 for nærmere beskrivelse.





Figur 9.1.2. Energiforbruket fordelt på de ulike bidragsyterne, vugge til port (ferdig flytende harpiks). Basert på data fra Wilson [2010a]. Resorcinol er ikke tatt med fordi det ikke fantes tilgjengelige LCI data.

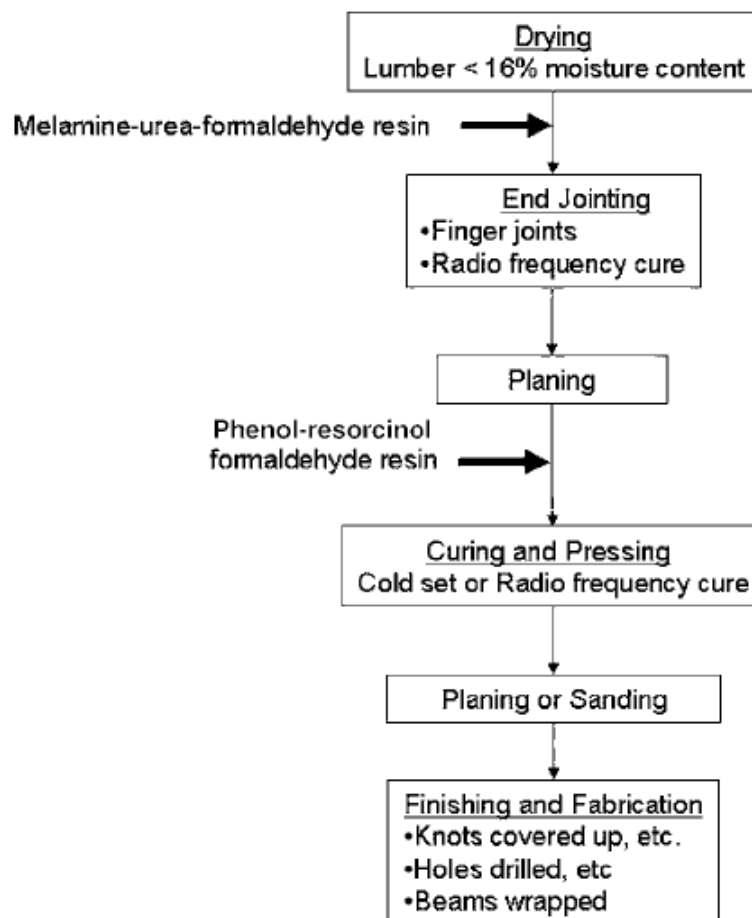


Figur 9.1.3. Karbonavtrykket, vugge til port (ferdig flytende harpiks). Basert på data fra Wilson [2010a].

## 9.2 Limtre

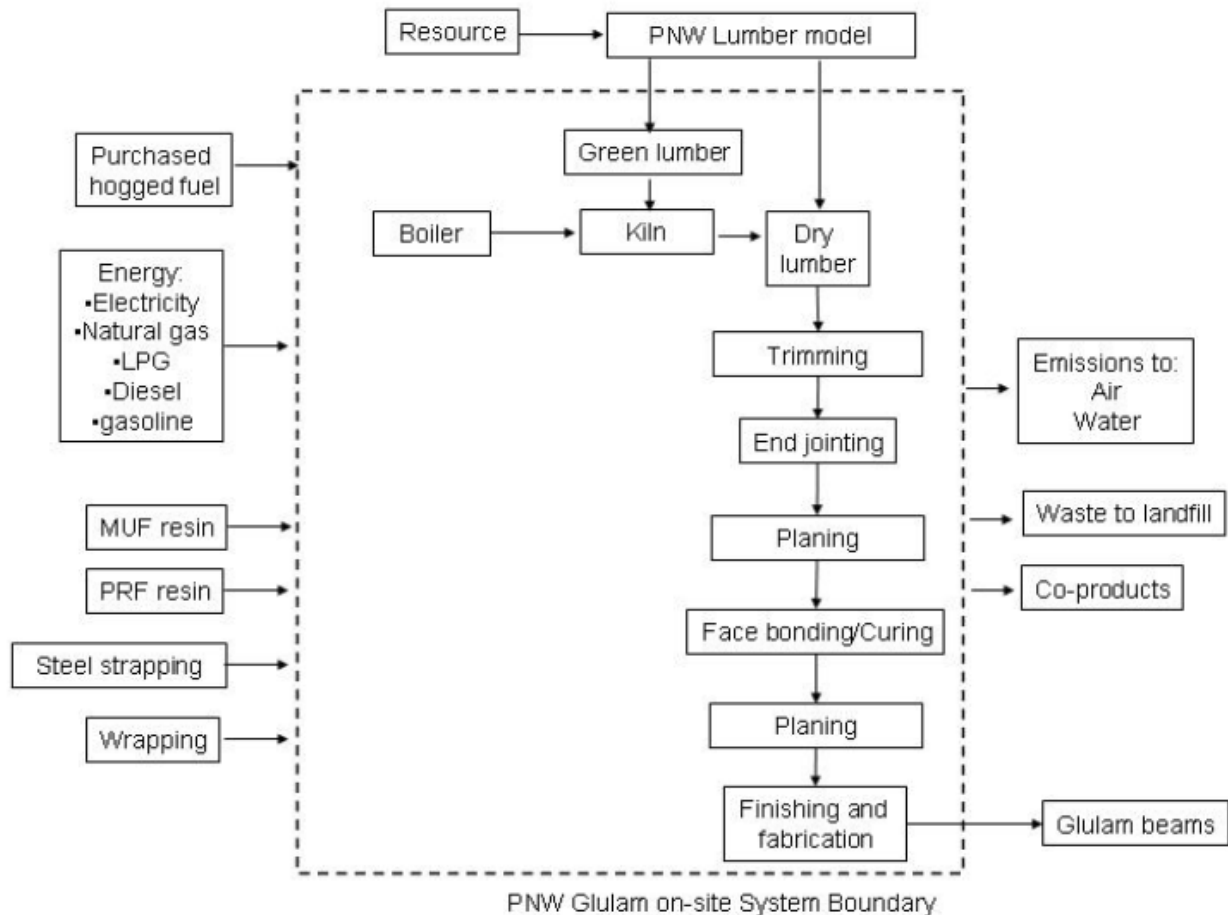
CORRIM, se kapittel 9.1, publiserte i 2004 en rapport med livsløpsregnskap for limtre produsert i USA [Puettmann og Wilson 2004]. I 2005 publiserte de en vitenskapelig artikkel om det samme temaet [Puettmann og Wilson 2005]. Dataene for limtreproduksjonen er innhentet fra produsenter i USA, men enkelte andre data kommer også fra databaser og andre kilder. En skjematisk fremstilling av limtreproduksjonen er vist i figur 9.2.1. Produksjonsforløpet består kort oppsummert i at:

- Trevirket tørkes til maksimum fuktighetsnivå lik 16 vektprosent.
- Trevirket skjøtes (fingerskjøting). Ved skjøting brukes det et MUF-lim som herder ved radiofrekvensherding.
- Trevirket høvles.
- Det påføres PRF-lim som herdes enten ved den temperaturen som er i omgivelsene eller ved bruk av radiofrekvensherding. Radiofrekvensherding er en kontinuerlig prosess som foregår ved 93 °C. Uansett herdemetode skjer herdingen under trykk.
- Limtreet høvles eller slipes.
- Kvisthull etc. repareres. Det drilles hull dersom dette trengs. Limtreet emballeres individuelt for beskyttelse under transport.



Figur 9.2.1. En skjematisk fremstilling av limtreproduksjonen [Puettmann og Wilson 2005].

Systemgrensene omfatter alle råvarene som inngår i limtreet, men ikke transporten av disse til produksjonsstedet, se figur 9.2.2. Skogdrift og hogst er heller ikke tatt med i studiet.



Figur 9.2.2. Systemgrenser for limtreproduksjon. De stiplede linjene markerer selve produksjonen av limtre.

Studiet til Puettmann og Wilson [2004, 2005] er først og fremst et regnskap og dataene er ikke vurdert, men noen observasjoner rundt dataene er gjort:

- Tørking av trevirket krevde en stor andel av energien som ble brukt og hadde stor betydning for miljøbelastningene som er forbundet med limtre. Energikildene som brukes ved tørking er av betydning for klimaregnskapet.
- Limforbruket utgjør ca. 1–2 vektprosent av vekten til det ferdige produktet, men energiforbruket forbundet med limfremstillingen fra vugge til port utgjør 9–10 prosent av den totale energien som blir brukt ved fremstilling av limtreet. Limfremstillingen har stor betydning for miljøbelastningene som er forbundet med limtre.
- Emisjoner til luft var større ved kald herding enn ved radiofrekvensherding, mest sannsynlig på grunn av at det brukes mer lim ved kald herding.

I forbindelse med MIKADO-prosjektet ble det gjort en livsløpsanalyse av limtreproduksjon i Norge [Wærp et al 2009]. I dette studiet inngår transport av råvarene. Ved liming forutsettes bruk av MUF-lim. Også i dette

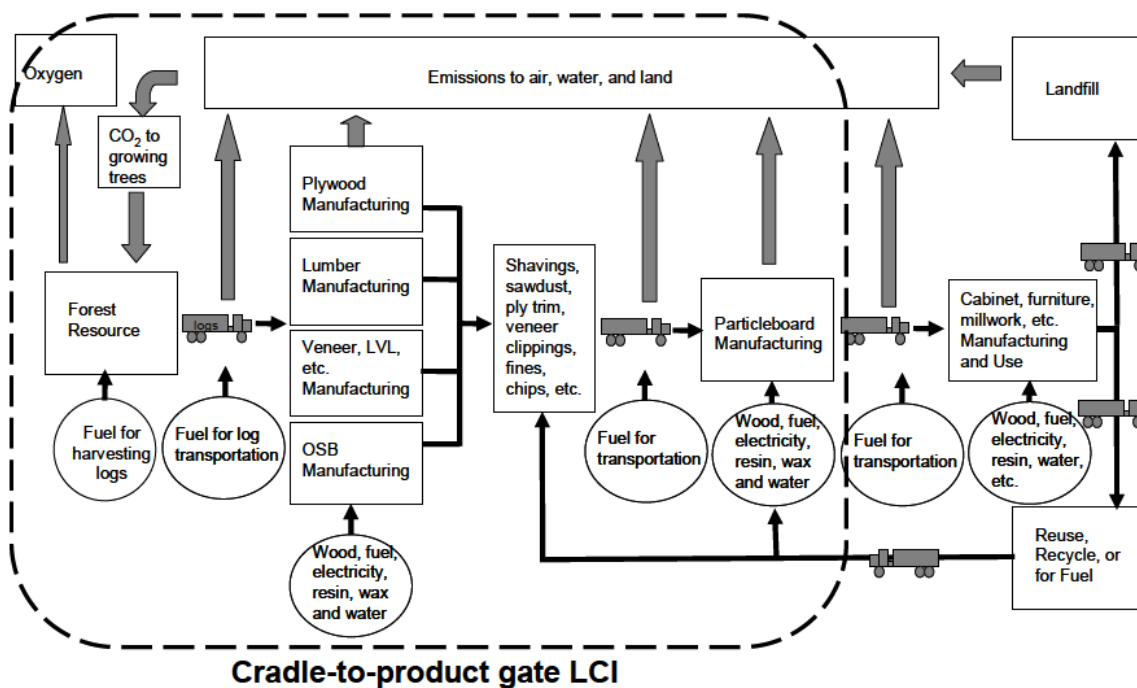
studiet var konklusjonen at lim, selv om det utgjør en liten vektandel av det ferdige produktet, allikevel er av stor betydning for miljøbelastningen.

### 9.3 Sponplate

CORRIM, se kapittel 9.1, publiserte i 2008 en rapport med livsløpsregnskap for sponplater produsert i USA [Wilson 2008]. Senere publiserte de en vitenskapelig artikkel om det samme temaet [Wilson 2010b]. Data relatert til sponplateproduksjonen ble innhentet fra fem produsenter i USA for produksjonsåret 2004. LCI-data for trerester som brukes i produksjonen av sponplater og LCI-data for limet (UF lim) ble også innhentet av CORRIM, se Wilson 2009 og 2010a for limdata. Ved produksjon av sponplater trengs også voks, herder for herding av limet (i dette tilfellet ammoniumsulfat) og urea (tilsatt for å reagere med fritt formaldehyd slik at formaldehydemisjonen reduseres). Data for disse komponentene ble hentet fra Ecoinvent 2004 og omarbeidet til amerikanske forhold.

En skjematisk fremstilling av sponplateproduksjonen er vist i figur 9.3.1. Produksjonsprosessen inneholder følgende trinn:

- Mottak og lagring av sagmugg, spon, flis o.l.
- Sortering og viderebehandling av sagmugg, spon, flis o.l. for å oppnå ønsket partikkelstørrelse.
- Tørking av trepartikler
- En blanding av harpiks, herder, voks, og urea sprøytes over trepartiklene.
- Platen presse ved 170 °C og 5,2 MPa trykk inntil limet har herdet.
- Platene avkjøles, slipes og sages til riktig dimensjoner.



Figur 9.3.1. Skjematisk fremstilling av livsløpet til sponplater [Wilson 2008].

Materialer og energi som går inn i sponplateproduksjonen og materialer som kommer ut er vist i tabell 9.3.1.

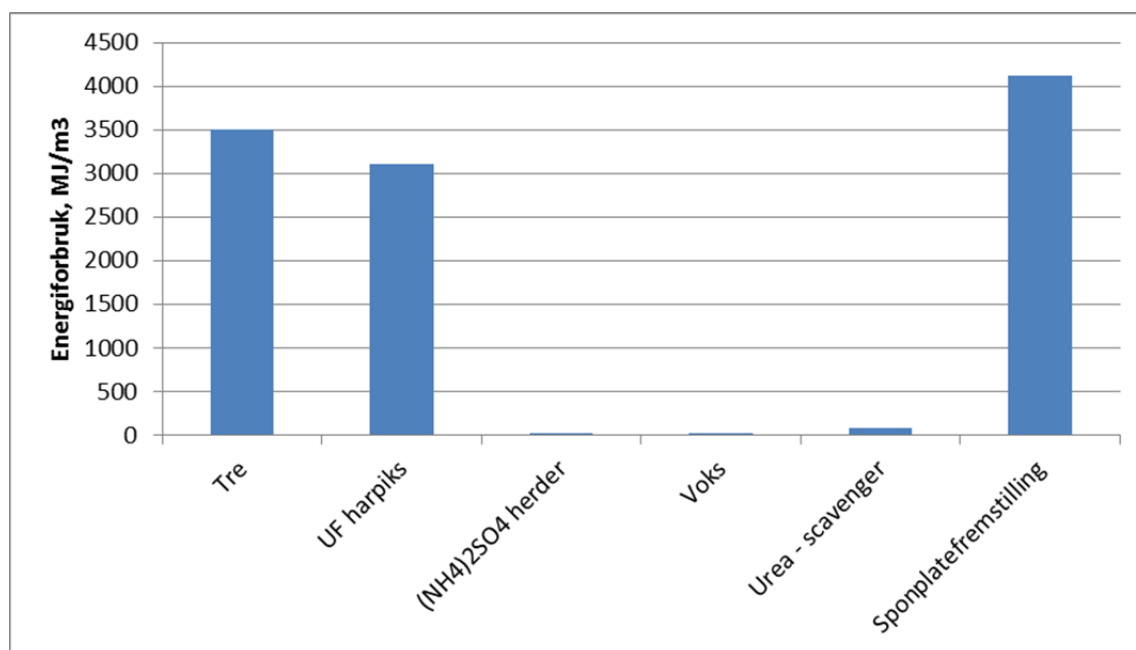
Tabell 9.3.1. Materialer og energi som går inn i sponplateproduksjonen og materialer som kommer ut [Wilson 2010b].

Komponent	Inn		Komponent	Ut	
		Mengde			Mengde
Tre <sup>1)</sup>		672 kg	Sponplate		746 kg (1 m <sup>3</sup> )
Urea-formaldehyd (100 %)		68 kg	Brennstoff til ovner		5,2 kg
Voks (100 %)		2,5 kg	Avfall til deponi		0,4 kg
Ammoniumsulfat herder		0,72 kg	Aske til deponi		0,1 kg
Urea		2,9 kg			
Energi <sup>2)</sup>		2319 MJ			
Vann		304 l			

1) En blanding av sagmugg, fliser og spon med ulik fuktighetsinnhold. Angitt med vekt etter ovnstørking (3–5 % fuktighet)

2) Energi utgjør en blanding av elektrisitet, naturgass, sagmugg o.l., diesel, LPG (Liquid Petroleum Gas), bensin, parafin og tungolje.

Studiene til Wilson [2008 og 2010b] gir en detaljert oversikt over utslipp til vann og luft, men analyserer i liten grad dataene. Det henvises til rapportene for de dataene. Energiforbruket fordelt på de ulike prosesskomponentene er vist i figur 9.3.2. Sponplatene inneholder 10–12 vektprosent lim og energiforbruket ved fremstilling av urea-formaldehyd harpikset utgjør en betydelig andel av det totale energiforbruket (i underkant av 30 %). Selve sponplatefremstillingen er også en energikrevende prosess.



Figur 9.3.2. Energiforbruket fordelt på de ulike prosesskomponentene vugge til port.

## 10 Konklusjon

Fremstillingen av de råvarene, dvs. urea, fenol, melamin, og metanol, som inngår i UF, MUF, PF og PRF-limene er energikrevende. Til sammenlikning utgjør limproduksjonen som sådan en beskjeden del av den totale miljøbelastningen ved limfremstillingen.

Limet utgjør 1-2 vektprosent av limtreet og 10–12 vektprosent av sponplaten. Allikevel utgjør energibruken ved produksjonen av limet i underkant av 10 prosent av den totale energibruken ved fremstilling av limtre og 30 prosent av den totale energibruken ved fremstilling av sponplate. Selv om limet utgjør en liten del av det ferdige produktet kan det altså ha en stor effekt på miljøbelastningen som er forbundet med produktet.

## 11 Referanser

- Andersen, B og BG Brehmer. 2003. Hardener for use in-urea-formaldehyde and urea-melamine-formaldehyde based adhesives, an adhesive composition comprising said hardener and its use. Patent nr US 2003/6590013.
- Centi G, S Perathoner og F Trifiró. 2009. *Sustainable industrial processes*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Chaudhury M. og Pocius AV (red.). 2002. *Surfaces, Chemistry and Applications: Adhesion Science and Engineering*. Elsevier Science B.V. Amsterdam.
- Christjanson, P, T Pehk og K Siimer. 2006. «Structure formation in urea-formaldehyde resin synthesis». *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Chemistry* 55 (4): 212-225.
- Clauß, S, K Allenspach, J Gabriel og P Niemz. 2011. «Improving the thermal stability of one-component polyurethane adhesives by adding filler material». *Wood Science and Technology* 45 (2).
- CORRIM. Consortium for Research on Renewable Industrial Materials. Hjemmeside: [www.corrim.org](http://www.corrim.org).
- CPM LCA Database. Lastet ned fra <http://cpmdatabase.cpm.chalmers.se/>. Nedlastningsdato: 23.11.2011.
- Crews GM, W Ripperger, DB Kersebohm, T Güthner og B Mertschenk. 2006. Melamines and Guanamines. I: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley.
- DSM 2004. Lastet ned fra: [http://www.dsm.com/en\\_US/cworld/public/investors/downloads/publications/dijkman\\_24\\_sept.pdf](http://www.dsm.com/en_US/cworld/public/investors/downloads/publications/dijkman_24_sept.pdf). Nedlastningsdato: 3.1.2011.
- Durairaj, Raj B. 2005. *Resorcinol: chemistry, technology, and applications*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Eklblom H, S Faldt, I Lindh og B Nasli-Bakir. 2010. Hardener composition, adhesive system and method of gluing. Patent US 2010/0326596.
- Frihart, CR. 2005. Wood adhesion and adhesives. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. CRC Press LLC.
- Gardziella, Arno, Louis Pilato, og André Knop. 2000. *Phenolic resins: chemistry, applications, standardization, safety, and ecology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Gross H og O Carling (red.). 2007. *Limträ guide*. Svensk Limträ AB. Stockholm.
- Grøstad K og A Pedersen. 2010. «Emulsion Polymer Isocyanates as Wood Adhesive: A Review». *Journal of Adhesion Science and Technology* 24 (8-10): 1357-1381.
- Harmsen, J. og JB Powell. 2010. *Sustainable Development in the Process Industries: Cases and Impact*. John Wiley and Sons.
- Hocking, MB. 2005. *Handbook of chemical technology and pollution control*. 3. utg. Academic Press.

- Hori, N, K Asai og A Takemura. 2008. «Effect of the ethylene/vinyl acetate ratio of ethylene-vinyl acetate emulsion on the curing behavior of an emulsion polymer isocyanate adhesive for wood». *Journal of Wood Science* 54 (4).
- Huller-Hasky, M, J Heusenstamm, A Eberhardt og N Schadt. 2009. *Method for producing melamine*. Patent nr US 2009/0076265.
- Johansson, CJ, T Pizzi og M Van Leemput (redaktører). 2002. *Wood Adhesion and Glued Products*. State of the Art Report. Lastet ned fra: <http://users.teilar.gr/~mantanis/E13-Glued-Products.pdf>. Nedlastningsdato: 7.11.2011.
- Kim, MG. 2001. «Examination of selected synthesis parameters for wood adhesive-type urea-formaldehyde resins by <sup>13</sup>C NMR spectroscopy. III». *Journal of Applied Polymer Science* 80 (14).
- Kristensen T. 2001. Sponplater. Typer og egenskaper. SINTEF Byggforsk Kunnskapssystemer. Byggdetaljer 571.046. Oslo.
- Lim testet og godkjent for produksjon av konstruksjonslimtre og fingerskjøtt konstruksjonslast i Norge, Sverige, Finland og Danmark. Norsk Treteknisk Institutt (NTI), Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP), Statens Tekniska Forskningscentral (VTT), Dansk Teknologisk Institut (DTI). Liste datert 16.11.2010.
- Lisperguer, J, C Droguett, B Ruf og M Nunez. 2005. "Differential scanning calorimetry and dynamic mechanical analysis of phenol-resorcinol-formaldehyde resins". *Journal of the Chilean Chemical Society* 50 (2), s. 451-453.
- Maxwell, GR. 2004. *Synthetic nitrogen products: a practical guide to the products and processes*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Meckel, W. 2006. "Wood adhesives". US Patent 7056415.
- Nextant. 2007. *Phenol/Acetone/Cumene*. Rapport sammendrag. Rapport nummer PERP05/6-4. Lastet ned fra: <http://www.chemsystems.com/reports/search/docs/abstracts/00-8abs.pdf>. Nedlastningsdato: 2.11.2011.
- Nexant. 2009. *Urea*. Rapport sammendrag. Rapport nummer PERP06/07S3. Lastet ned fra: [http://www.chemsystems.com/reports/search/docs/abstracts/0607S3\\_abs.pdf](http://www.chemsystems.com/reports/search/docs/abstracts/0607S3_abs.pdf). Nedlastningsdato: 2.11.2011.
- Pedersen A og PO Sandbakken. 2002. Process and gluing. Patent WO 02/068178 A2. Perstorp Formox. Lastet ned fra <http://www.perstorpformox.com/Sites/Formox/Home/Plants/Process/How.aspx>. Nedlastningsdato: 8.11.2011.
- Pilato, L. 2010. *Phenolic Resins: A Century of Progress*. Springer-Verlag. Heidelberg.
- Pizzi, A og KL Mittal (red.). 2003. *Handbook of Adhesive Technology*. Andre utgave. Marcel Dekker Inc. New York.
- Plantas Quimicas. Lastet ned fra: <http://www.plantasquimicas.com/Procesunit/fenol.htm>. Nedlastningsdato: 8.11.2011.



**SINTEF** er Skandinavias største forskningskonsern. Vår visjon er «Teknologi for et bedre samfunn». Vi skal bidra til økt verdiskapning, økt livskvalitet og en bærekraftig utvikling. SINTEF selger forskningsbasert kunnskap og tilhørende tjenester basert på dyp innsikt i teknologi, naturvitenskap, medisin og samfunnsvitenskap.

**SINTEF Byggforsk** er et internasjonalt ledende forskningsinstitutt og Norges viktigste formidler av forskningsbasert kunnskap til bygge- og anleggsnæringen. Vi skaper verdier for våre kunder og for samfunnet gjennom forskning og utvikling, spesialrådgivning, sertifisering og kunnskapsformidling. Våre publikasjoner omfatter Byggforskserien, Byggebransjens våtromsnorm, håndbøker, rapporter, faktabøker og beregnings- og planleggingsverktøy.

