

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kemiantekniikan koulutusohjelma  
Ympäristötekniikka

Tutkintotyö

Kati Ikäläinen

YMPÄRISTÖNÄKÖKOHTIEN VERTAILU PUU- JA BETONIMATERIAALISISSA  
SILTARAKENTEISSA

Työn ohjaaja  
Työn teettäjä  
Tampere 2006

Jarmo Lilja  
Ramboll Finland Oy, valvojana Ilkka Vilonen

# TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kemiantekniikka

Ympäristötekniikka

Ikäläinen, Kati

Ympäristönäkökohtien vertailu puu- ja betonimateriaalisissa siltarakenteissa

Tutkintotyö

77 sivua + 2 liitettä

Työn ohjaaja

Jarmo Lilja

Työn teettäjä

Ramboll Finland Oy, valvojana DI Ilkka Vilonen

Tammikuu 2006

Hakusanat

Puu, betoni, sillanrakennus

## TIIVISTELMÄ

Puu ja betoni ovat yleisesti käytettyjä materiaaleja sillanrakennuksessa. Puu on aikoinaan ollut päämateriaali suomalaisissa silloissa helpon saatavuutensa ja työstettävyytensä ansiosta. Nykyään betoni on yleisin sillanrakennusaine monipuolisuutensa ja edullisuutensa vuoksi.

Tässä työssä on pyritty tarkastelemaan puu- ja betonimateriaaleja silloissa ympäristönäkökohdista. Tehtävänä oli arvioida, kumpi materiaali olisi ympäristöystävällisempi vaihtoehto sillanrakennuksessa. Tarkoituksena oli saada vertailua kahden hyvin erilaisen rakennusmateriaalin välille.

Työssä on tutkittu aluksi materiaalien rakennetta, teknisiä ominaisuuksia, modifiointia, valmistusprosesseja sekä käytettyjä kemikaaleja. Näiden pohjalta on perehdytty käytettyjen materiaalien ympäristövaikutuksiin, joissa on keskitytty luonnonvarojen kulumiseen, valmistusprosesseihin, kemikaaleihin, päästöihin sekä jätteisiin ja kierrätykseen.

Tultiin siihen tulokseen, että molemmilla siltamateriaaleilla löytyy haitallisia ympäristövaikutuksia. Suurin puun haitta on siinä käytettävät kemikaalit, jotka ovat erittäin myrkyllisiä ja tekevät siitä myös ongelmajätettä. Betonin heikkoutena on muun muassa suurempi energiankulutus ja päästöt.

# TAMPERE POLYTECHNIC

Chemical Engineering  
Environmental Engineering  
Ikäläinen, Kati

Comparison of the environmental impacts created by the use of wood versus concrete in bridge construction

Engineering Thesis

77 pages, 2 appendices

Thesis Supervisor

Jarmo Lilja

Commissioning Company

Ramboll Finland Oy. Supervisor: Ilkka Vilonen

January 2006

Keywords

Wood, concrete, bridge construction

## ABSTRACT

Wood and concrete are most used materials in bridge constructions. Wood has earlier been by far the most common material in Finnish bridges because it has been easy to get and build with. However concrete has taken the place nowadays the most common material in bridges since it is cheap, easy to get and build.

In this thesis work wood and concrete materials in bridge constructions are looked upon from environmental point of view and their environmental impacts were evaluated. The aim of the study was to evaluate these two materials and try to find out which one would be more environmental friendly to be used in bridge building.

Firstly the structure of the materials, technical quality, manufacturing process and the used chemicals were studied. Secondly five environmental impacts were chosen for a more profound screening, they are depletion of natural resources, impacts in the manufacturing processes, the use of chemicals, the discharges formed, all wastes and the possible recycling possibilities.

The study showed that both materials have negative environmental impacts. Biggest negative impact in wood material was used the use of toxic chemicals for preservation. Because of these chemicals, old wood bridges are hazardous waste. The most negative environmental impact in concrete material were the amounts of discharges and energy consumption.

## ALKUSANAT

Tämä työ tehtiin Ramboll Finland Oy:lle Tampereen siltasuunnittelun toimiyksikköön syksyn 2005 ja kevään 2006 välisenä aikana.

Haluan kiittää työni valvojaa DI Ilkka Vilosta mielenkiintoisesta ja haastavasta työstä. Haluan myös kiittää ohjaavaa opettajaani Jarmo Liljaa sekä valvojaani Ilkka Vilosta saamistani neuvoista, mielipiteistä ja tuesta.

Lopuksi haluaisin osoittaa kiitokset kihlatulleni kannustuksesta ja tuesta sekä opiskelujeni aikana että tutkintotyötä tehdessä. Kiitokset myös Yoda-koiralleni, jolta olen saanut piristystä ja kannustusta.

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	
ABSTRACT	
ALKUSANAT	
SISÄLLYSLUETTELO	5
LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET	6
1 JOHDANTO	7
2 TEORIAA	8
2.1 Puu	8
2.1.1 Puun rakenne	8
2.1.2 Puulajit	10
2.1.3 Tärkeimmät ominaisuudet	11
2.1.4 Säännöttömyydet ja viat	15
2.1.5 Tekniset virheet	16
2.1.6 Laatuominaisuudet ja -määritykset	18
2.1.7 Puun kuivaus	21
2.1.8 Puun modifiointi	24
2.1.9 Maalit, lakat ja liimat	26
2.2 Betoni	32
2.2.1 Betonin osa- aineet ja valmistus	32
2.2.2 Tärkeimmät ominaisuudet	35
2.2.3 Laatuominaisuudet ja -määritykset	39
2.2.4 Betonipinnat	41
2.3 Puu ja betoni sillanrakennuksessa	42
2.4 Esimerkkisillat	44
3 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSIA	46
3.1 Käsitteitä	46
3.2 Luonnonvarat	47
3.2.1 Metsävarat	47
3.2.2 Betonin raaka- aineet	50
3.3 Valmistus	51
3.3.1 Puun valmistusprosessi ja energiankulutus	51
3.3.2 Betonin valmistusprosessi ja energiankulutus	54
3.4 Kemikaalit	58
3.4.1 Yleistä	58
3.4.2 Puusilloissa käytetyt kemikaalit	59
3.4.3 Betonissa käytettyjä kemikaaleja	61
3.5 Päästöt	62
3.5.1 Puutuotteen valmistuksen päästöt	62
3.5.2 Betonin valmistuksen päästöt	63
3.6 Jätteet ja kierrätys	65
3.6.1 Puujäte	65
3.6.2 Betonijäte ja uudelleenkäyttö	65
4 OMAT PÄATELMÄT	67
4.1 Luonnonvarat	67
4.2 Valmistus	68
4.3 Kemikaalit	70
4.4 Päästöt	72
4.5 Jätteet ja kierrätys	72
4.6 Yhteenvedo	74
LÄHTEET	75
LIITTEET	

## LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET

$F$  = voima, N

$D$  = pallon halkaisija, mm

$D$  = painauman halkaisija, mm

$a$  = puukappaleen paino märkänä

$b$  = puukappaleen paino absoluuttisen kuivana

VOC = haihtuvat orgaaniset yhdisteet

PAH= polyaromaattiset hiilivedyt

## 1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena oli vertailla puu- ja betonimateriaaleja sillanrakennuksessa ympäristönäkökohdista. Työ tehtiin Ramboll Finland Oy:lle Tampereen siltasuunnittelun toimiyksikköön, jossa työn ohjaajana toimi diplomi-insinööri Ilkka Vilonen. Ramboll Finland Oy on yritys, joka tarjoaa asiantuntijapalveluja rakentamisen, ympäristön, tietotekniikan sekä liikkeenjohdon aloilla.

Aihetta pidettiin ajankohtaisena, sillä ympäristövaikutukset ovat nykyään tärkeässä asemassa sillanrakennusmateriaaleja valitessa. Tarkoitus oli saada vertailua kahden erilaisen rakennusmateriaalin välille. Tarkastelemalla niiden ympäristövaikutuksia selvitettiin, kumpi olisi ympäristöstävällisempi materiaali siltarakenteissa.

Tässä työssä keskityttiin tarkastelemaan ainoastaan Suomen betoni- ja puumateriaaleja ja Suomen luonnonvaroja. Aihe rajattiin työn laajuuden vuoksi ja siksi pystyttiin käsittelemään ainoastaan osa puu- ja betonimateriaalien ympäristövaikutuksista. Työssä käsiteltäviksi ympäristövaikutuksiksi valittiin luonnonvarojen kuluminen, valmistusprosessit, kemikaalit, päästöt sekä jätteet ja kierrätys. Näitä pyrittiin tarkastelemaan kattavasti huomioiden materiaalien ominaisuuden mahdollisimman hyvin. Näin pystyttiin saamaan jonkinlainen kuva puu- ja betonimateriaalisten siltarakenteiden vaikutuksista ympäristöön.

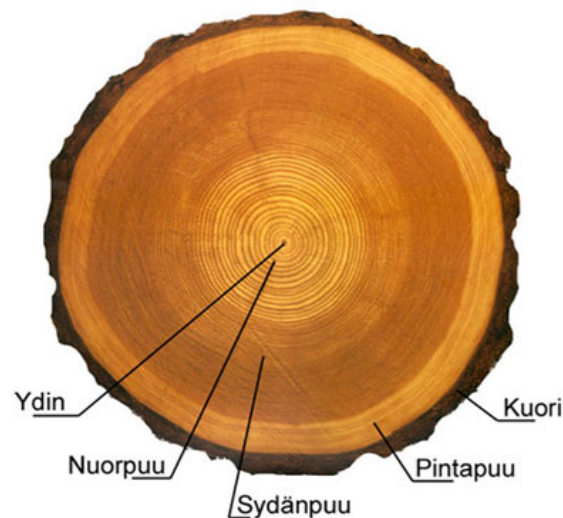
## 2 TEORIAA

### 2.1 Puu

#### 2.1.1 Puun rakenne

Puut ovat kasveja, jotka ovat muodostuneet erilaisista soluista. Niiden elinikä, koko ja ominaisuudet vaihtelevat suuresti. /1/ Puussa olevat samanlaiset solut muodostavat solukkoja, joilla on erilaisia tehtäviä. Täysikasvuisen puun rungon poikkileikkauksessa voidaan erottaa seuraavat osat /2,3/:

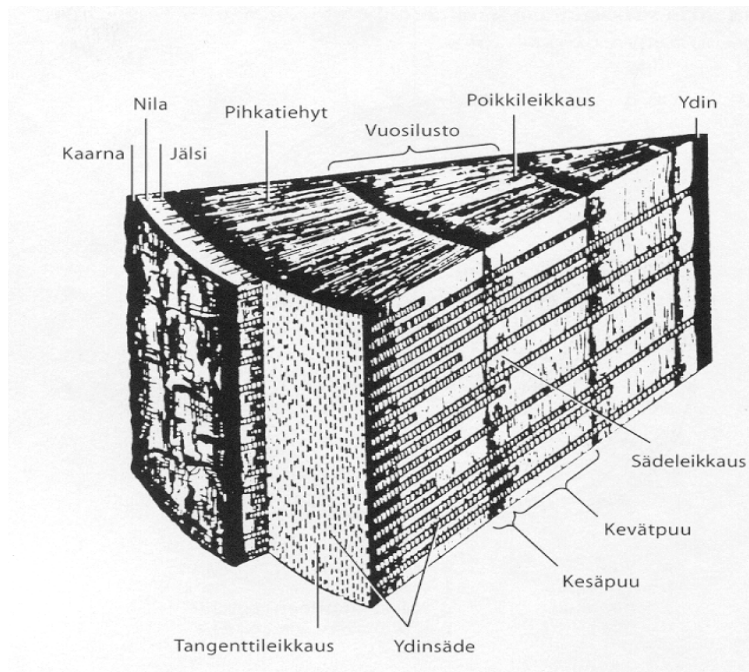
- Rungon keskustassa oleva ydin varastoi ravintoa seuraavaa vuosikasvainta varten ( alempana rungossa on kuollutta ydintä ).
- Nuorpuu on laadullisesti rungon heikoin osa. Se sisältää noin 10-15 vuosirengasta ja on solurakenteeltaan erilainen kuin muut renkaat puussa. Nuorpuu sisältää oksia ja on altis halkeiluun.
- Sydänpuu on kuollutta rungon sisäosaa. Se on usein tummempaa kuin pintapuuta ja on yleensä rungon arvokkain osa. Esimerkiksi männyn sydänpuu sisältää paljon pihkaa ja siitä tulee hyvin kestävä puuta.
- Pintapuuta kuljettaa vettä juurista lehtiin ja neulasiin.
- Kuori on rungon uloin kerros, joka estää mm. puun kuivumista ja suojaa sitä tuholaisilta.



Kuva 1. Puun rungon poikkileikkaus /3/



Puun elämä jakaantuu kasvu- ja lepokausiin vuodenajoista riippuen. Suomessa kasvukausi alkaa keväällä ja jatkuu juhannukseen asti. Myöhemmin kasvu hidastuu, ja puu asettuu talvilepoon. Näin puuhun muodostuu samankeskeisiä kehiä, ns. vuosirenkaita. Lehtipuilla vuosirenkaat eivät erotu kovin selvästi. Kasvavan puun osat ovat nähtävissä kuvassa 2, jossa näkyy kevät- ja kesäpuun muodostaman vuosirenkaan tangentiaalinen ja radiaalinen suunta. Nila on puun sisäkuori. Jälsikerroksessa tapahtuu puun paksuuskasvu. Sen solut kykenevät ainoina puun osina lisääntymään. Vuosirenkaita kutsutaan myös vuosilustoiksi. /1/



Kuva 2. Leikkaus nelivuotisen puun rungosta /1/

Puun solujen rakenne on samankaltainen kaikilla puulajeilla. Puun solut voidaan jakaa tehtävien mukaan seuraaviin ryhmiin /3/:

- kasvusta huolehtivat solut
- ravintoaineista huolehtivat solut
- veden kuljetukseen erikoistuneet solut
- lujuutta ja kestävyyttä lisäävät solut.

Soluseinät muodostuvat selluloosasta, hemiselluloosasta ja ligniinistä. Selluloosa muodostaa solun rungon, jota muut aineet ympäröivät. /2/ Selluloosa yhdessä hemiselluloosan kanssa vaikuttaa puun lujuuteen /3/. Ligniinin päätehtävänä on toimia liima- aineena selluloosamolekyylien välillä. Puuaines sisältää myös erilaisia mineraaleja, joiden määrä saadaan selville polttokokeella. Aineet ja määrät riippuvat kasvupaikasta ja puulajista. /1/

### 2.1.2 Puulajit

Maapallolla esiintyy noin 10 000 havupuulajia ja 30 000 lehtipuulajia. Suomessa kasvaa muutamia kymmeniä puulajeja. Kotimaisia pääpuulajeja ovat koivu, kuusi ja mänty. Harvinaisempia lajeja ovat leppä, haapa ja lehtikuusi. Ulkomaisia lajeja ovat mm. mahonki, punapyökki ja tammi. /1/

Teknisesti käyttökelpoisia koivuja ovat hies- ja rauduskoivu, joiden teknilliset ominaisuudet ovat aika samanlaisia /1/. Rauduskoivu on laadultaan jonkin verran hieskoivua parempi. Koivun vuosirenkaat eivät näy selvästi, eikä pinta- ja sydänpuulla ole värieroa. /4/

Kuusi on karkea- aineista ja sen vuosirenkaat näkyvät hyvin. Runko on yleensä suora ja haaraton. /4/ Suomessa kasvavan kuusen pinta- ja sydänpuu ovat vaaleita /1/. Mänty on karkea- aineista ja vähän kellertävää tai punertavaa. Sen vuosirenkaat ovat selvästi nähtävissä. Mänty erittää pihkaa. /4/

Leppää kasvaa Suomessa kahta lajia: harmaaleppää ja tervaleppää. Tervaleppä on suurempi ja suorarunkoisempi. Puuaines on pehmeää ja väriltään vaaleaa tai kellertävää (muuttuu valon vaikutuksesta punertavaksi). /4/

### 2.1.3 Tärkeimmät ominaisuudet

Koivu on kovaa ja sitä on helppo työstää. Se on väriltään vaaleaa. /4/ Koivun työstettävyys on hyvä ja sen kuivaus ja liimaus suhteellisen helppoa. Se kuitenkin taipuu helposti kuivattaessa. Koivu soveltuu liitosten tekoon, koska sillä on varsin hyvät lujuusominaisuudet. /1/

Kuusella on yleensä hyvä työstettävyys. Ongelmana saattavat olla kuivauksen jälkeen putoavat oksat. Myös kuusi taipuu helposti kuivattaessa. Kuusta ei voi pitää säänkestävänä puulajina. Sitä käytetään etupäässä sahatavarana ja vanerina. Myös saunojen seinämateriaalina ja lauteina se on erittäin hyvä materiaali. /1/

Männyn työstettävyys, liimattavuus ja kuivattavuus ovat hyviä. Pihkaisuus voi aiheuttaa ongelmia esimerkiksi pintakäsittelyssä. Mänty tummenee ilman hapettavassa vaikutuksessa eikä sitä voi pitää säänkestävänä. Mäntyä käytetään etupäässä sahatavarana. /1/

Punapyökillä on hyvä työstettävyys. Kuivauksessa sillä on taipumusta halkeilla ja kieroutua. Punapyökin pintakäsittelyominaisuudet ovat hyvät. Se on altis sieni- ja hyönteistuhoilille, eikä sitä voi pitää säänkestävänä. Sitä käytetään eniten huonekaluissa, parketeissa ja puusepänteollisuudessa. Tammen työstettävyys ja kuivattavuus ovat melko hyviä, tosin sillä on pitkä kuivausaika. Sillä on kuivattaessa taipumus kieroutua ja halkeilla. Sydänpuu on säänkestävää, mutta pintapuun säänkesto ei ole yhtä hyvä. /1/

Myös mahongin työstettävyys ja kuivattavuus ovat hyviä. Sen sydänpuu on jokseenkin sienien ja hyönteisten kestävä. Puu ei ole varsinaisesti säänkestävä. Mahonkia käytetään nykyisin vähän, koska se kuuluu sademetsäpuihin. /1/

Tiheys on massa tilavuusyksikköä kohti. Puu on hygroskooppista eli vettä imevää ainetta, ja siksi puun tiheys muuttuu kosteuden vaihdella. Tiheys voidaan ilmoittaa tuoreen puun tiheytenä, kuivan puun tiheytenä tai teknisissä tarkoituksissa

15 %:n kosteustilassa. Tiheys vaihtelee eri puulajeilla. Puusolukon tiheys on yleisesti kaikilla puulajeilla noin  $1\,500\text{ kg/m}^3$ . Suurimmat tiheuserot ovat puun rungossa kevät- ja kesäpuun välillä. Suomessa kasvavien puiden tiheyteen vaikuttaa kasvuolosuhteiden lisäksi puiden sijainti. /1/

Puu luovuttaa ja imee kosteutta ilman suhteellisen kosteuden mukaisesti. Kun ilman suhteellinen kosteus on nolla, kuivuu puu täysin kuivaksi. Ilman suhteellisen kosteuden ollessa 100 % asettuu puu kosteustilaan, jota sanotaan puunsolujen kyllästymispisteeksi. /1/ Puun kosteus vaikuttaa kyllästymispisteen alapuolella huomattavasti puun lujuuteen. Yleisesti puun lujuusominaisuudet parantuvat, kun kosteuspitoisuus pienenee. Puun kosteus vaikuttaa puristus- ja taivutuslujuuteen, mutta syyn suuntaiseen vetolujuuteen vaikutus on pieni. /3/

Tärkeimpien puulajien teknisiä ominaisuuksia on esitetty taulukossa 1 /5/:

Taulukko 1. Tärkeimpien puulajien teknisiä ominaisuuksia /5/

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Koivu	460-				75	37	34		12	2,2		14,2	1,5	
	600-	0,6	5,3	7,8	144	50	134	6,9						4,8
	800				152	98	256		14	2,7		16,2	2,7	
Kuusi	300-				48	34	21	1,5	3,9		7,2	1,4	4,0	
	430-	0,3	3,6	7,8	76	49	88	2,7	6,6	1,2	3,2	10,8		
	640				133	79	240	3,9	11,8		21,0	1,8	5,3	
Mänty	300-				40	34	34	1,0	6,0	1,3	2,5	6,8	0,6	
	490-	0,4	4	7,7	98	54	102	2,9	9,8	1,9	4,0	11,8		5,1
	860				202	92	192	4,3	14,0	2,4	7,2	19,7	2,6	
Puna- pyökki	490-				73	40	56	6,9	6,4	2,7		9,8		5,1
	680-	0,3	5,8	11,8	121	61	132		7,8		7,2	15,7	1,9	
	880-				206	97	177	10,5	18,6	4,0		17,7		5,4
Tammi	390-		4,0	7,8	73	47	49	2,5	5,9			9,0	3,8	
	650-	0,4			97	62	88	3,9	10,8	3,4	6,6	12,0		3,9
	930		4,6	10,0	115	69	177	9,4	12,7			12,2	6,1	
Mahonki	410-				64	28			8,8			7,4		
	550-	0,3	3,0	4,2	83	49		2,5		1,8	3,6			
	900				128	72			10,6			9,3		

Taulukon 1 numeroiden selitykset /5/:

1 Tilavuuspaino	kg/m <sup>3</sup>	8 Vetolujuus syitä vastaan kohtisuoraan	MPa
2 Kutistumisprosentti syiden suunnassa	%	9 Leikkauslujuus	MPa
3 Kutistumisprosentti säteen suunnassa	%	10 Brinell-kovuus syitä vastaan kohtisuoraan	MPa
4 Kutistumisprosentti tangentin suunnassa	%	11 Brinell-kovuus syiden suunnassa	MPa
5 Taivutuslujuus	MPa	12 Kimmoekerroin	MPa
6 Puristuslujuus syiden suunnassa	MPa	13 Vesiliukoisuus	%
7 Vetolujuus syiden suunnassa	MPa	14 pH-arvo	

Lujuus- ja kimmo-ominaisuudet kasvavat tilavuuspainon kasvaessa. Taulukosta 1 havaitaan, että puun vetolujuus on noin kaksinkertainen verrattuna puristuslujuuteen suuremmilla tilavuuspainolla. Tärkeimpiä ominaisuuksia puulla ovat taivutuslujuus, veto- ja puristuslujuus, leikkauslujuus ja iskulujuus. Taivutuskimmoekerroin on ratkaiseva tekijä määritettäessä taipumia eri rasiustapauksissa. Puun lämpölaajeneminen on yleensä vähäistä verrattuna kosteusturpoamiseen ja voidaan yleensä jättää huomioimatta. /1/

Puulta vaaditaan usein riittävää kovuutta, jonka ominaisuutta mitataan yleisimmin Brinell-kovuutena. /1/ Brinellin kovuuskokeen kehitti ruotsalainen tohtori J.A Brinell vuonna 1900. Menetelmässä mitataan teräs- tai kovametallipallon painaamaa tutkittavaan materiaalin staattisen kuormituksen alaisena mittausajan ollessa vakio. Syntyneen kuopan halkaisija mitataan kahdessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa. Brinellin kovuus on kuormitusvoima Newtonina painauman kalottipinta-alaa kohden. Pinta-ala annetaan millimetreinä. /6/ Brinell- kovuus voidaan kuvata seuraavalla yhtälöllä /6/:

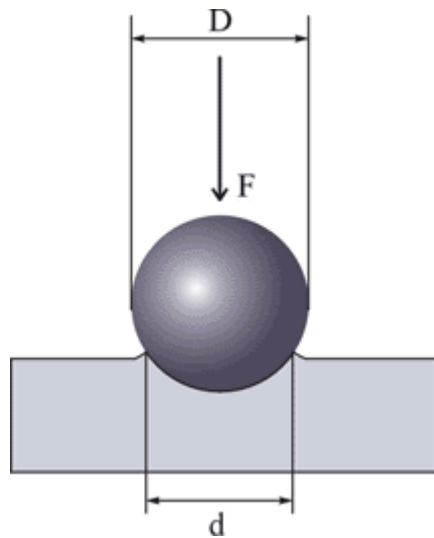
$$HB = \frac{0,102 \cdot 2F}{\pi D \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \quad (1),$$

missä:

$F$  = käytetty voima [N]

$D$  = pallon halkaisija [mm] ja

$d$  = painauman halkaisija [mm]



Kuva 3. Brinell-kovuuden mittaustapa /6/

Puu sisältää erilaisia uuteaineita. Puun uuteaineet ovat solujen sekundaarisia aineenvaihduntatuotteita. Niiden määrät vaihtelevat välillä 1-5 %. Tärkeimmät niistä liukenevat neutraaleihin liuottimiin. Uuteaineet sisältävät pihkan lisäksi erilaisia rasvoja, alkoholeja ja fenolisia yhdisteitä. /7/ Osa näistä poistuu puun kuivauksessa, erityisesti korkeissa lämpötiloissa. Suurtuotannossa on tämä huomioitava ilmaan tapahtuvina emissioina ja käytettävä sopivia puhdistusmenetelmiä. Alipaine-kuivauksessa kuivaamosta poistuva vesi sisältää uuteaineita ja se on huomioitava veden poistossa. Useat uuteaineet ovat voimakkaasti hapettavia ja syövyttäviä ja näin ollen huomioitava puun lämpökäsittelyssä ja laitteiden materiaaleissa. /1/

Puu on kuivana erittäin hyvä lämmöneristäjä, koska sen soluissa oleva ilma johtaa huonosti lämpöä. Kosteaa puuta puolestaan johtaa hyvin lämpöä. Puun ominaislämpö johtuu jonkin verran lämpötilasta ja puussa oleva vesi nostaa sitä. Kuivan puun ominaislämpö on noin 1,36 kJ. /1/

Kuiva puu johtaa huonosti sähköä, mutta sen johtokyky paranee, kun kosteus lisääntyy. Kuivan puun vastus on suuri ja laskee nopeasti kosteuden noustessa 8 %:iin. Puulaji ja lämpötila vaikuttavat vastuksen suuruuteen. Siksi on oltava

korjauskertoimia, jotta tulos olisi riittävä myös 10-30 %:n kosteuksissa. Puun sähköiset ominaisuudet riippuvat myös kosteudesta. /1/

Puu on useimmilta lujuusominaisuuksiltaan erinomainen materiaali, joten sitä voidaan käyttää erilaisissa rakenteissa. Puun käsiteltävyys muodostuu kuivattavuudesta, työstettävyydestä ja pintakäsittelyominaisuuksista. Puuaineen kestävyys on oltava riittävä erilaisissa käyttöolosuhteissa, jolloin mm. lahonkestävyys ja säänkestävyys ovat tärkeitä ominaisuuksia. Puu on palava aine, joka syttyy hieman alle 200 °C :n lämpötilassa. /1/

#### 2.1.4 Säännöttömyydet ja viat

Puuhun syntyy kasvaessa ominaisuuksia, joita pidetään usein vikoina puutuoteteollisuudessa. Puun säännöttömyyksiä ja vikoja ovat mm. rungon mutkaisuus ja lenkous, rungon poikkileikkauksen soikeus, oksaisuus, kierteisyys, reaktiopuu, haavat, mikro- organismien ja eliöiden aiheuttamat viat, suuret värierot sekä puun käsittelystä aiheutuneet viat. /1, 5/

Lenkous on puun rungon tasaista ja yksisuuntaista käyritystä. Mutkaisuus on puolestaan rungon epätasaista käyryyttä. Lenkous ja mutkaisuus pienentävät saannon saantoa ja alentavat näin puun arvoa. Oksaisuus heikentää puun lujuutta ja vaikeuttaa pintakäsittelyä ja työstämistä. Se ei kuitenkaan ole aina haitallinen ominaisuus. Oksaisuutta voidaan käyttää edullisena tyylikeinona huonekaluissa ja lattioissa. Kierteisyys aiheuttaa sahatavaran ja tuotteiden vääntymistä ja kieroutumista erityisesti kosteusmuutosten aikana /1/

Puu pyrkii luonnostaan kasvamaan mahdollisimman edullisessa asennossa, jolloin rungon asennon muuttamiseksi jälsikerros synnyttää normaalista solukosta poikkeavaa reaktiopuuta. Lehtipuulla syntyy vetopuuta ja havupuulla lylyä. Rungon vastakkaiselle puolelle muodostuu tasapainottava solurakenne, joka aiheuttaa kieroutumista ja vääntymää sahausessa. Kun kasvuvaiheen vastavoimat katoavat, pyrkii vetopuu vetämään ja lyly työntämään, jolloin ne saavat aikaan

muodonmuutoksia. Oikealla kuivauksella saadaan poistettua näitä jännityksiä.

Myös aika poistaa jännityksiä. /1/

Puun kasvuvaiheessa jälsikerrokseen tulleiden vioittumien parantamiseksi muodostuu haavasolukkoa. Haavat voivat parantua osittain, jolloin niitä kutsutaan koroiksi. Haava voi parantua myös reunoiltaan täysin, jolloin puhutaan kylestymisestä. Kaikki tämä vähentää puun arvoa mekaanisessa jalostuksessa. /1/

Mikro-organismien ja erityisesti sienien aiheuttamat viat syntyvät usein virheellisestä käsittelystä. Lahottajasienten synnyttämä pehmeä laho heikentää puun lujuusominaisuuksia, eikä sitä voi yleensä hyväksyä tuotteissa lainkaan. Puussa elävät eliöt aiheuttavat yleensä puuainekseen reikiä, jotka haittaavat ulkonäköä. /1/

#### 2.1.5 Tekniset virheet

Prosesseissa aiheutuneita virheitä kutsutaan teknisiksi virheiksi. Niitä ovat mm. pintojen virheet, mittapoikkeamat, halkeamat, vääntymät, kolhut, väärä kosteus ja värivirheet. Virheiden määrää on pyrittävä jatkuvasti pienentämään prosesseja kehittämällä. /1, 5/

Puuaines voi olla rungon eri osissa eriväristä tai saman puulajin eri yksilöiden välillä voi olla suuria värieroja. Värieroja voidaan aiheuttaa myös eri prosessivaiheissa. Pitkä ja sopimaton tukkien varastointiaika aiheuttaa värivikoja, kuten tukkisineä. Myös tuoreen sahatavaran varastointi huonosti tuuletetuissa paikoissa aiheuttaa erityisesti männylle sinistymää ja koivulle hometta. Sinistymä ja home ovat ulkonäkövikoja, jotka eivät vähennä puun lujuutta. /1, 5/

Huono pinta puulle voidaan saada aikaan höyläyksessä ja sorvauksessa. Liian suuri syöttönopeus aiheuttaa puun pintaan aaltomaisuutta. Myös tylsät katkaisuterät ja uritetut metalliset syöttötelat voivat jättää jälkiä. Sorvauksessa syntyy helposti sorvauskarkeutta, jolloin syyt eivät leikkaudu sileästi ja repeytyvät irti.



Sorvauskarkeutta voidaan vähentää oikealla leikkausnopeudella, riittävän terävillä ja oikein teroitetulla terillä sekä riittävällä haudonnalla. /1/

Mittapoikkeamia syntyy kaikessa työstössä. Käyttökohteen tarpeet määrittelevät, kuinka suuri virhe saa olla. Eri tuotteissa sallitaan eri suuruisia poikkeamia. Sallittu tarkkuus ilmaistaan toleranssilla. Toleranssimerkintä osoittaa, että mitan on oltava tarkoissa rajoissa. Puun kutistuminen ja turpoaminen kostuessaan on otettava huomioon sallittuja mittoja ja toleranssialueita määritettäessä. Sahatavaran ohjekortissa on määritetty, että paksuus- ja leveysmitat tarkoittavat nimellismittoja 20 %:n kosteudessa. Paksuus- ja leveysvaihtelu saa olla maksimissaan -2mm ja + 4 mm. Useiden tuotteiden standardeissa on määritelty mittavaihtelualueet. /1, 5, 8/

Suurin osa halkeamista ja kolhuista syntyy väärin ohjatussa kuivauksessa. Kolhuja voi syntyä lähes kaikissa työstövaiheissa. Vääntymiin voivat olla osasyynä poikkeamat puun rakenteessa. Halkeamat ja vääntymät alentavat usein paljon kappaleen arvoa, koska ne aiheuttavat lisääntyntä hukkaa jatkotyöstöissä. On taloudellisempaa poistaa virheiden syyt syntyvaiheessa kuin korjata niitä myöhemmin. /1/

Kosteuspitoisuudella tarkoitetaan puutavarassa olevan veden painon suhdetta puun absoluuttiseen kuivapainoon. Se ilmaistaan prosentteina. Kasvavan puun kosteuspitoisuus on yli 30 %. Ilmakuivatun sahatavaran kosteusaste on 15...25 %. Vaihteluväli johtuu ulkoilman suhteellisesta kosteudesta, joka alkukesästä on pienimmillään ja loppusyksystä suurimmillaan. Alle 15 %:n kosteusaste edellyttää puutavaran keinokuivausta ja sen varastointia tilassa, jossa ilman suhteellinen kosteus on säädettävissä. /1, 8/

Puun kosteus saadaan määritettyä kaavan 2 avulla /1/:

$$\text{Puun kosteus} = 100 \cdot \frac{a-b}{b} \quad (2),$$

jossa

$a$  =kappaleen paino märkänä ja

$b$  = kappaleen paino absoluuttisen kuivana.

Puun lujuusominaisuudet paranevat kosteusasteen pienentyessä. Puun käyttöolosuhteet asettavat vaatimukset sen oikealle kosteudelle. Liitokset voivat halkeilla tai irrota kosteuden ollessa väärä. Myös lakka- tai maalipinta voi halkeilla. Eri puutavaroiden kosteuspitoisuuksia on esitetty taulukossa 2. /1, 8/

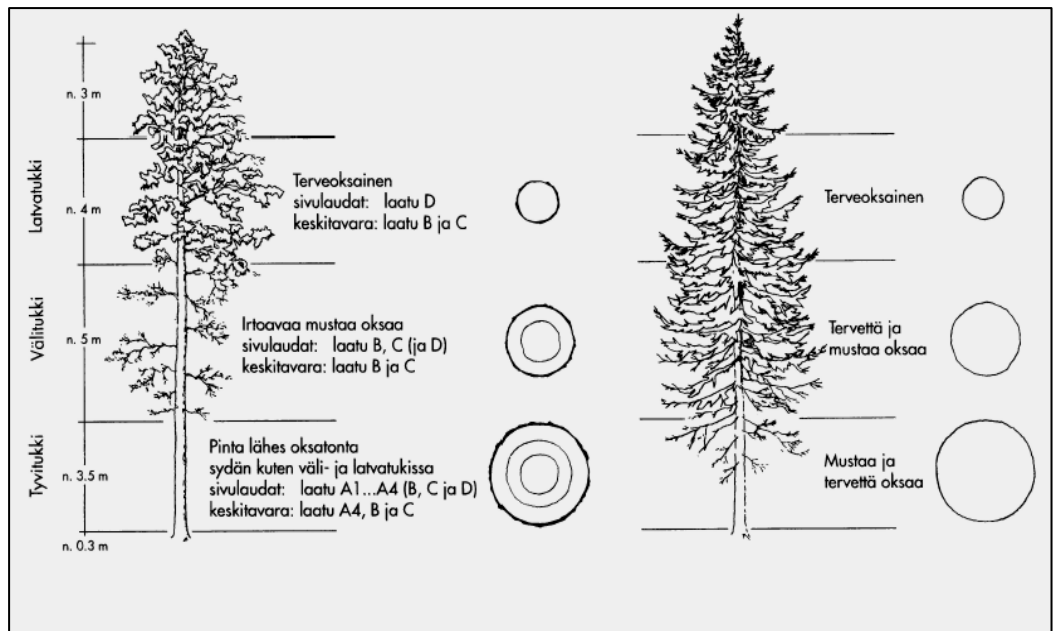
Taulukko 2. Eri käyttökohteiden kosteusvaatimuksia /1/

<b>Käyttökohte</b>	<b>Kosteuspitoisuus, %</b>
Rakennussahatavara	18-20
Ulkoverhouslaudat	15-21
Höylätyt listat sisäkäyttöön	15-19
Lattialaudat	7-10
Rakennuspuusepäntuotteet	8-12
Huonekalut	6-8

#### 2.1.6 Laatuominaisuudet ja –määritykset

On tarpeellista tuntea raaka- aineiden sekä valmistuksessa olevan tuotteen laatuvaatimukset, jotta saadaan paras mahdollinen laatu jokaiseen käyttötarkoitukseen ja lopputuotteeseen. /1/

Sahatavara on yleisnimitys vähintään neljältä sivulta sahatulle puutavaralle. Puun rakenteen ominaisuuksien vaihtelu vaatii sahatavaran lajittelua laatuluokkiin. Yhteispohjoismaisten lajitteluohjeiden laatuominaisuuksien mukaan havusahatavara jaotellaan pääluokkiin A, B, C ja D. A on korkein laatuluokka, ja se jakaantuu edelleen neljään alaluokkaan A1-A4. Yleisin laatuluokan määräävä ominaisuus on oksaisuus (oksien määrä, koko ja laatu). Muita huomioitavia tekijöitä ovat mm. halkeamat, vajasärmäisyys, vinosyisyys, latvamurtuma, lyly, pehmeä laho ja muotoviat. Lajitteluohjeissa esitetään taulukkoina eri laaduissa sallitut viat poikkeamat. Ne on ryhmitelty kolmeen ryhmään: oksat, halkeamat ja vajasärmä sekä muut ominaisuudet. Kuvassa 4 on esimerkki puun rungon jakautumisesta eri laatuluokkiin. /1, 8/



Kuva 4. Puun sisäinen oksakuva ja rungon jakautuminen eri laatuluokkiin /8/

Peruslaatuja voidaan käyttää sellaisenaan useimpiin käyttökohteisiin ja lopputuotteisiin. Sahatavara voidaan jaotella myös yhdistelemällä eri laatuja. Esimerkiksi laatu AB sisältää tuotannosta lankeavan osuuden laatuja A-B. Lajitteluohjeet perustuvat siihen, että lajiteltava sahatavara on sahattu pohjoismaisen sahauskäytännön mukaisesti, jossa puun sisäiset jännitykset poistetaan ja saavutetaan sahattujen kappaleiden hyvä muodonpysyvyys. Tämä tapahtuu normaalissa sahaustavassa sydänhalkaisun avulla, jolloin osa puun ytimestä häviää sahausraon ansiosta ja sydänvapaassa sahausessa poistamalla ydin varsinaisista päätuotteista. /8/

Käyttökohteiden mukaisesti tarkoituksiin voidaan muokata asiakas- tai erikoislaatuja, joiden ominaisuudet on määriteltävä sopimuskohtaisesti. Tällaisia ovat esimerkiksi terveksainen sahatavara ja särmäämätön sahatavara. Terveksainen sahatavara on erikoislaatu, jossa terveiden oksien määrää ja kokoa ei ole yleensä rajoitettu. Muiden ominaisuuksien, kuten mustien oksien, osalta vaatimukset sovitaan erikseen. Särmäämätön sahatavara on ulkoisesti oksattomista, oksakyhmyttömistä ja virheettömistä tyvitukeista sahattua särmäämätöntä sahatavaraa. /8/

Koivusahatavaralle ei ole ollut samanlaisia yleisiä laatuohjeita kuin sahatavaralle. Viime vuosina on laadittu ehdotuksia laatuluokiksi, mutta ne eivät ole yhtenäisiä. erikoispuulajeilla ja ulkomaisilla puulajeilla laatumääritykset vaihtelevat puulajin ja valmistusmaan mukaan./1/

Vanerit luokitellaan laatuluokkiin E, I, II, III ja IV. Luokitus tapahtuu yleensä ulkonäön perusteella. Vaneri on vähintään kolmesta ohuesta puuviilusta liimaamalla valmistettu levy. Perusvanerit voidaan jakaa havu- , koivu- ja sekavanereihin. Havupuuvanereita käytetään enimmäkseen rakentamisessa ja niissä sallitaan enemmän virheitä kuin koivuvanereissa. /1, 8/ Koivupintaisten vanerien laatuluokkien perusteita /1/:

- E: lähes virheetön, vain rajoitettu määrä pieniä helmioksia. Satunnaisia ja lievästi epäsäännöllistä syynmuodostusta sallitaan.
- I: sallii läpimitaltaan korkeintaan 6 mm:n oksia ja hiushalkeamia sekä lievää värivikaa.
- II: sallii terveitä 20 mm:n oksia ja paikattuja reikiä sekä muita vikoja edellistä enemmän.
- III: on lähinnä rakennevaneri, jossa sallitaan sellaisia vikoja, jotka eivät heikennä lujuutta.
- IV: vaatii vain liimaukselta riittävää lujuutta.

Vanerilevyjen valmistuskoot on standardoitu. Vanerien paksuudet vaihtelevat 3-40 mm:n välillä. Pituus vaihtelee 1 200 - 3 600 mm:n välillä. Niiden vakioleveyksiä ovat 1 200 ja 1 500 mm./1/

Liimalevy valmistetaan puupaloista liimaamalla ne yhteen. Liimalevyn osalta on tärkeää löytää kuhunkin käyttökohteeseen oikea laatu erityisesti oksaisuuden suhteen. Oksattoman liimalevyn valmistuksessa syntyy paljon hukkaa, joka nostaa kustannuksia. Liimalevyille on olemassa omat standardit. /1/

### 2.1.7 Puun kuivaus

Yleensä puuta ei voida käyttää tuoreena, vaan se on kuivattava sopivalla menetelmällä käyttötarkoituksen edellyttämään kosteuteen. Tärkein kosteustekijä puutuotteiden valmistuksessa ja käytössä on puun tasapainokosteus. Se tarkoittaa kosteutta, jossa puu on tasapainossa ulkopuolisen ilman kanssa. Puutuotteiden kosteus käyttöolosuhteissa asettuu siis aina ympärillä olevan ilman mukaiseen tasapainotilaan. /1/

Puun kuivuminen on hidas tapahtuma ja siinä voidaan erottaa kaksi päävaihetta: veden haihtuminen puun pinnalta ja veden siirtyminen sisältä puun pinnalle. Jos kuivauslämpötila on alle veden kiehumispisteen, vesi haihtuu puun pinnalta. Veden haihduttaminen puun pinnalta on nopeampi tapahtuma kuin veden siirtyminen puun pinnalle. Haihtumisnopeus riippuu ohi virtaavan ilman lämpötilasta, suhteellisesta kosteudesta ja puun pinnan kosteudesta. /1, 9/

Tärkein kuivumiseen vaikuttava tekijä on veden siirtyminen puun sisältä pinnalle. Vesi liikkuu puun sisällä erilailla riippuen siitä, onko kyseessä vapaa vai sidottu vesi. Puunsyitten kyllästymispiste tarkoittaa kosteutta, jonka yläpuolella puusoluissa alkaa esiintyä vapaata vettä. Vapaa vesi liikkuu helposti verrattuna sidottuun veteen, joten se saadaan nopeammin puusta pois. Vapaa vesi liikkuu pääosin kapillaarisesti solusta toiseen, kunnes se on tullut puun pinnalle. Sidottu vesi, joka on imeytynyt puuhun, vaatii liikkuakseen paljon energiaa. Lämpötilan nosto lisää siirtymisnopeutta. Puunsyitten kyllästymispisteen alapuolella tapahtuu puun turpoamista ja kutistumista ja tämä on huomioitava kuivauksessa. /1, 9/

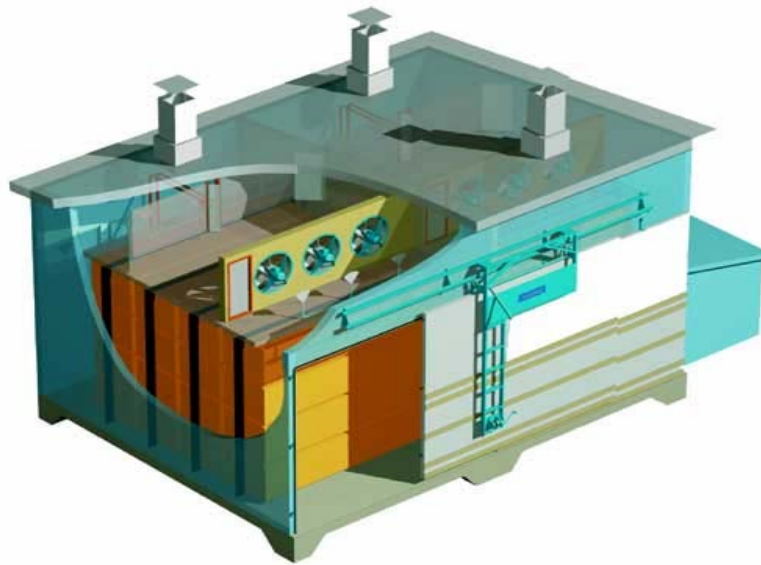
Kuivausvoima on puun hetkellisen todellisen kosteuden suhde tasapainokosteuteen. Mitä suurempi se on, sitä nopeampaa on kuivuminen. Kuivausvoiman suurentaminen yleensä lyhentää kuivausaikaa mutta lisää kuivausvirheiden esiintymisriskiä. /1/

Puun lujuus ja jäykkyys riippuvat puun lämpötilasta ja kosteudesta. Puun kosteuden väheneminen nostaa yleensä lujuusarvoja ja jäykkyyttä, kun taas lämpötilan nousu laskee niitä. Puun ominaisuudet, kuivaamon lämpötila ja kuivausvoima ovat tärkeimmät kuivaukseen vaikuttavat tekijät. Niiden vaikutusta ja puussa syntyviä jännityksiä voidaan simuloida nykyajan tietotekniikalla ja löytää parhaat kuivausmenetelmät. /1/

Keinokuivauksella nopeutetaan kuivumista, saavutetaan haluttu kosteus mahdollisimman nopeasti ja saadaan aikaan tasainen lopputulos. Kuivaamoissa voidaan säädellä lämpötilaa, painetta ja suhteellista kosteutta kuivaamotyypistä riippuen. Näitä yhdessä tai yksin muuttamalla saadaan aikaan puun tasapainokosteuden muutos ja sen myötä kuivumisnopeuden muutos. Erilaisia kuivausmenetelmiä ovat jatkuvatoiminen lämminilmakuivaus, kertakäyttöinen lämminilmakuivaus eli kamarikuivaus, lauhde- eli kondensaatiokuivaus, alipainekuivaus, kuumakuivaus, puristuskuivaus, suurtaajuuskuivaus ja suurtaajuusalipainekuivaus. /1, 9/

Jatkuvatoimisessa kuivaamossa kuivattava tavara syötetään toisesta päästä sisään ja otetaan toisesta ulos. Sitä käytetään yleensä suurilla sahalaitoksilla. Etuina on pieni energiankulutus, pienet investointikustannukset, pieni värinmuutos, helppohoitoisuus ja melko lyhyt kuivausaika (2-6 vrk). Kanavan sisältö on suuri, joten samanlaista tavaraa oltava paljon. Sopii suurille tehoille, kuivaus alle 15 %:iin on vaikeaa. /5/

Kamarikuivaamot sisältävät yhden tai useamman kammion, joka täytetään kerralla. Sopii eri puulajeille ja vaihteleville alku- ja loppukosteuksille. Etuina on laaja lämpötila-alue (40 – 80 °C), mitoittavuus eri tehoille, soveltuvuus myös pienimuotoiseen tuotantoon, melko yksinkertainen tekniikka, värinmuutoksen hallittavuus ja valmiit tietokonekuivauskaavat. Haittoina on suuri energiankulutus, pitkä kuivausaika, vaatii paljon tilaa, tulee herkästi kuivausvirheitä ja kustannukset melko suuret. Kuvassa 5 on esitetty kaksikamarinen kuivaamo. /5/



Kuva 5. Yleiskuva kaksikamarisesta kuivaamosta /5/

Kuumakuivaus tapahtuu yli 100 °C:n lämpötilassa kuumalla höyryllä tai ilmalla. Sen etuina on hyvin lyhyt kuivausaika, pieni energiankulutus, pienet investointi- ja kuivauskustannukset, pieni tilantarve, yksinkertainen ohjaustekniikka, vähän kuivausvirheitä ja se voidaan yhdistää lämpökäsittelyyn. Haittoina on melko voimakas värinmuutos, vaatii lämmitysaineelta korkean lämpötilan, lujuus ja työstettävyys heikkenevät hieman ja paksut kappaleet sekä erikoispuulajit saavat sisähalkeamia. /5/

Lauhdekuivaus on periaatteessa sama kuin kamarikuivaus, mutta siinä kosteus poistetaan ilmasta lämpöpumpulla ja talteen saatu lämpöenergia siirretään takaisin kuivausilmaan. Etuina on pieni energiantarve, pienet investointikustannukset, vähäiset kuivausvirheet ja värin säilyminen vaaleana. Haittoina on hyvin pitkät kuivausajat, taloudellisuus vain pienillä tehoilla, homehtumisen ja sinistymisen vaara sekä vaatii suuren rakennustilavuuden. /5/

Alipainekuivaus on kuumakuivausta alipaineessa alhaisessa lämpötilassa. Sen etuina ovat lyhyt kuivausaika, pieni energiankulutus, pieni tilantarve, hyvin vähän kuivausvirheitä, jätelämmön hyväksikäyttö helppoa, edullinen vuosikustannus, väri säilyy vaaleana ja se sopii paksuille kappaleille. Huonoina puolina on kalliit investointikustannukset, paljon huoltokoneita, monimutkainen tekniikka, ei

valmiita kaavoja kaikkiin tilanteisiin (uusi menetelmä), eikä se ole taloudellinen märille ja ohuille kappaleille. /5/

Suurjaksoalipainekuivaus on alipainekuivausta, jossa energia siirretään puuhun suurtaajuuskentän avulla. Siinä kuumenevat lähinnä vesimolekyylit. Se on uusi menetelmä, josta ei ole paljon kokemusta. Haittoina on joissain tapauksissa korkea energiankulutus ja suuret lähtökosteuserot. Hyvinä puolina on hyvin lyhyt kuivausaika (2- 5 h), väri säilyy vaaleana, kuivausvirheitä ei esiinny, voidaan kuivata valmiita tuotteita, voidaan kuivata pyöreitä, märkiä, sydänkeskeisiä kappaleita, puun ominaisuudet eivät muutu haitallisesti, eikä vaadi lämpökeskusta. /5/

Puristuskuivaus on vanha menetelmä, jossa vettä saadaan poistumaan puusta puristamalla. Puuta saadaan kuivattua pelkällä puristamalla, mutta yleensä käytetään apuna myös lämpöä. Lämpötila voi nousta yli 100 °C:n. Puun ominaisuudet kuivauksen jälkeen riippuvat sekä puristusaineesta että lämpötilasta. /1, 5/

Kuivaaminen vaatii energiaa ja kuivauksessa on erilaisia häviöitä. Tarvittava energia tuodaan kuivausprosessiin usein sekä lämpö- että sähköenergiana. Kuivauksen energiataseeksi kutsutaan selvitystä tuodun energian jakaantumisesta ja energiamäärän käytöstä. Energian yksikkönä on joule. Käytännössä lämmönkulutus ilmoitetaan usein kilowattitunteina kuivattua kuutiometriä kohti. Kuivauksessa lämpöä kuluu yhteensä noin 0,8-1,6 kWh/kg haihdutettua vettä. /1/

#### 2.1.8 Puun modifiointi

Puun ominaisuuksia voidaan parantaa monin eri tavoin. Puun modifiointimenetelmiä ovat mm. kyllästys, lämpökäsittely, kylmä- ja kuumapuristusmuotoilu ja taivutus. Kyllästysmenetelmiin kuuluvat mm. lahonsuojaus, syttymisenesto ja kyllästys erilaisilla muoveilla./1/



Lahottaj sienet muodostavat merkittävimmän puun tuholaisryhmän. Ne jaetaan metsalahottajiin, varastoidun puutavaran ja ulkorakenteiden lahottajiin sekä rakennusten lahottajiin. Osa sienistä ei heikennä puun ominaisuuksia, mutta aiheuttavat värimuutoksia (home- ja sinistäjä sienet). Paras keino sinistymisen ja homeutumisen ehkäisemiseksi (kun lämpötila on 0 °C:n yläpuolella) on kuivata puu mahdollisimman nopeasti hakkuun jälkeen alle puunsyitten kyllästymispisteen eli noin 30 %. Tukkeja voidaan suojella pitämällä lumella lämpötila 0 °C:n alapuolella tai pitämällä puusolut täynnä vettä. /1/

Lahonsuojauksessa on pyrittävä käyttämään vaarattomia menetelmiä, koska monet kemialliset suojausmenetelmät ovat osoittautuneet joko ihmisille tai luonnolle haitallisiksi. Niiden vaikutus voi kestää jopa vuosikymmeniä. Esimerkiksi lahottaj sienien aiheuttamia vaurioita torjuttiin aiemmin pentakloorifenolilla (tunnetaan kaupanimenä KY- 5), jota pidettiin turvallisena aineena, vaikka se oli todellisuudessa erittäin haitallinen. /1, 5/

Aiemmin puunsuojaukseen on käytetty eniten niin sanottuja suolakyllästeitä eli kromia, arsenia ja kuparia sisältäviä painekyllästysaineita sekä kreosoottöljyjä. Nämä aineet ovat kuitenkin ympäristölle ja terveydelle vaarallisia ja niiden käyttöä on tiukasti rajoitettu. Kromilla, arseenilla ja kuparilla kyllästettyä puutavaraa saa käyttää vain pysyvästi maaperään koskettavissa tai vesistöissä olevissa rakenteissa sekä silloissa, kaiteissa ja muissa vastaavissa rakenteissa. Nykyisin vain kupari sekä tietyissä tapauksissa kromin ja kuparin yhdistelmä ovat yleisesti sallittuja kyllästeitä. /5, 10/

Kyllästystä pyritään nykyään korvaamaan suojaamalla puu kosteudelta, lämpökäsittelyllä sekä valitsemalla kestävämpi puulaji. Kestäviä puulajeja ovat mm. lehtikuusi ja männyn sydänpuu. Paras suoja saavutetaan kuitenkin perinteisillä kyllästysmenetelmillä, erityisesti kromia ja kuparia sisältävillä aineilla. /1, 5/

Puuaines voidaan kyllästä myös syttymistä ehkäisevillä aineilla. Ne voivat olla suoloja tai vaahtomaisen pinnan aiheuttavia aineita, jotka hidastavat syttymistä. Aineiden haitallisuuden takia on kuitenkin siirrytty käyttämään rakenteellisia

palosuojauksia. Massiivinen puu syttyy ja palaa hitaasti, joten se voi olla jopa teräsbetonirakenteita turvallisempi. /1/

Lämpökäsittelyllä voidaan muuttaa puun ominaisuuksia. Lämpökäsittely muuttaa puun väriä ja muiden ominaisuuksien muuttuminen riippuu käsittelyajasta ja lämpötilan korkeudesta. Lämpökäsittelylaitos on laitteistoltaan periaatteessa kuumakuivaamo. Ensimmäisessä vaiheessa puu kuivataan absoluuttisen kuivaksi. Sen jälkeen lämpötilaa nostetaan 180- 250 °C:een, jossa lämpötila pidetään muutaman tunnin. Sen jälkeen tulee jäähdytys ja kosteuden tasaannus käyttökohteeseen vaatimaan kosteuteen. Lämpötilan tasaisuus on tärkeää lopputuloksen laadun tasaisuuden kannalta. Tuoreesta puusta lähdettäessä on energiankulutus noin 500-700 kWh/m<sup>3</sup>, josta varsinaiseen lämpökäsittelyyn tarvitsema määrä on noin 100-200 kWh/m<sup>3</sup>. Lämpötilasta riippuen painohäviö on noin 0,5-10 %. /1, 5/

Yleensä puun ominaisuuksien muutokset riippuvat painohäviöstä prosessissa. Tämä taas riippuu lämpötilan korkeudesta ja ajasta sekä puulajista. Lämpökäsittely pienentää puun taivutuslujuutta jopa 30 %. Vedenimemiskyky pienenee ja tasapainokosteus vähenee jopa 40-60 %.Pihkapitoisuus pienenee olennaisesti. /1/

Puun ominaisuuksien parantaminen puristamalla on vanha menetelmä. Puuta voidaan puristaa kylmillä ja lämmitetyillä työkaluilla. Puun ominaisuuksien muuttuminen riippuu puristusaineesta, lämpötilasta ja puulajista. Korkeaa puristusainetta käytettäessä voidaan valmistaa monimuotoisia esineitä. Myös puun taivutus on vanha menetelmä. Puuta taivuttamalla saadaan aikaan vaativia muotoja. /5/

### 2.1.9 Maalit, lakat ja liimat

Maali on nestemäinen tuote, joka muodostaa tarttuvan, peittävän ja suojaavan kalvon. Lakka muodostaa läpinäkyvän kalvon. Maalit ja lakat koostuvat useista raaka-aineista, jotka voidaan jakaa neljään eri ryhmään: sideaineisiin,

pigmentteihin ja täyteaineisiin, liuotteisiin ja apuaineisiin. Näillä kaikilla on oma merkityksensä arvioitaessa maalia ja lakkoja sekä niiden ominaisuuksia (purrissa, levitysvaiheessa ja valmiina pintana). Maaleja ja lakkoja kutsutaan jäljempänä yhteisnimellä maali tässä työssä. /9/

Sideaineen tehtävä on sitoa yhteen maalin muut ainesosat ja kiinnittää maali alustaansa. Sideaineet ovat nestemäisiä tai kiinteitä polymeerejä. Maalin kestävyys ja kiinnittymisen alustaan riippuvat sideaineesta. Tämän vuoksi maalien luokittelu perustuu yleensä sideainetyppiin (esim. lateksimaalit, alkydimaalit, epoksimaalit). /9/

Pigmentit ovat hienojakoisia värijauheita, jotka antavat maalille värisävyn ja peittokyvyn. Ne myös suojaavat maalikalvoa ja puuta auringon ultraviolettisäteilyltä ja antavat kulutuksen- ja säänkestoa. Värilliset pigmentit jaetaan epäorgaanisiin ja orgaanisiin pigmentteihin. Epäorgaanisten pigmenttien peittokyky on hyvä, mutta värjäysvoima on orgaanisilla parempi. Täyteaineilla säädellään maalien ominaisuuksia, kuten viskositeettia, maalikalvon kovuutta, täyttävyyttä sekä muita fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia. Täyteaineiden peittokyky on huonompi kuin pigmenteillä. /1, 5/

Liuote liuottaa maalin sideainetta sekä alentaa maalin viskositeettia. Ohenne ainoastaan alentaa viskositeettia. Liuotteilla ja ohenteilla säädellään maalin levitysominaisuuksia, tasoittumista ja kuivumista. Liuotteet ja ohenteet ovat vettä lukuun ottamatta VOC-aineita eli haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC = volatile organic compound). Liuotteiden liuotuskyky vaihtelee, sillä sideaineet liukenevat eri tavalla eri liuotteisiin. /1, 9/

Apuaineet parantavat maalin ominaisuuksia. Niiden määrä on yleensä tuotteessa vähäinen, mutta ne voivat ratkaisevasti parantaa maalin säilyvyyttä, kestävyyttä, kuivumista ja levitysominaisuuksia. Maaleissa on apuaineina usein pehmittimiä, stabilisaattoreita, kostutusaineita, emulgointiaineita tai kuivatusaineita. /5,9/

Maalituotteet voidaan jakaa ryhmiin käyttötarkoitusten perusteella.

Puuteollisuudessa on käytössä kitit, petsit, puunsuojat, lakat, maalit, kovetteet ja ohenteet. Kittejä käytetään puuraaka-aineiden kolojen ja halkeamien täyttämiseen sekä pinnan tasoittamiseen. Kittejä voidaan levittää manuaalisesti lastalla sekä koneellisesti. Petsit ovat liukenevia väriaineita tai pigmenttejä sisältäviä liuoksia, joita käytetään puupintojen värjäämiseen puun rakennetta peittämättä. Ne antavat alhaisen pintajännityksensä ansiosta syvän ja tasaisen värin useimmille puulaaduille. Petsin päälle levitetään yleensä yksi tai kaksi lakkakerrosta. /1, 9/

Puunsuojat ovat pintakäsittelyaineita, jotka suojaavat puupintaa ulkokäytössä home- ja lahottajasieniltä sekä sinistymiseltä. Puunsuojat sisältävät yleensä orgaanisia biosideja (eliöille myrkyllisiä aineita) ja sideainetta. Ne tunkeutuvat syvälle puuhun ja estävät kosteuden pääsyä puun sisään. Myös lakat ovat pintakäsittelyaineita, jotka muodostavat läpinäkyvän kalvon kuivuessaan. Puuteollisuudessa käytetään yleisesti katalyytti-, polyuretaani- ja nitroselluloosalakkoja sekä UV-kovettuvia (ovat akryyli- tai polyesteripohjaisia) ja vesiohenteisia lakkoja. Alusta ja pinnoitettavan kappaleen rakenne ja muoto vaikuttavat lakan ja pintakäsittelymenetelmän valintaan. Lakkatuotteet voidaan jakaa myös pohja- ja pintalakkoihin, joilta vaaditaan eri ominaisuuksia. Ulkokäyttöön tarkoitettujen lakkojen on kestettävä säärasitusta. /1, 9/

Maaleissa käytetään samoja raaka-aineita kuin lakoissa. Maaleissa käytetään väripigmenttejä ja siksi niillä on parempi peittokyky kuin lakoilla. Maaleilla on myös parempi täyttökkyky kuin lakoilla, ja ne suojaavat paremmin puuta UV-valolta ja ovat hengittävämpiä. Maaleissa käytetään pohja- ja pintamaaleja, joilla on eri ominaisuuksia. /1, 9/

Kovetteet ovat maalin sekaan laitettavia aineita, jotka käynnistävät kovettumisreaktion. Kovetteen voidaan jakaa kovettajiin ja katalyytteihin. Kovettaja osallistuu kuivumisreaktioon ja muodostaa kalvon lakka- tai maaliosan kanssa, mutta katalyytti ainoastaan käynnistää reaktion osallistumatta siihen itse. /9/

Ohenne on haihtuva neste, jota lisätään maaliin sopivan viskositeetin saavuttamiseksi. Sen tehtävänä on myös liuottaa sideainetta, vaikuttaa alustan kostumiseen ja helpottaa virheettömän kalvon muodostumista haihtumisnopeutta säätämällä. Ohenteita ovat esimerkiksi lakkabensiini, tärpätti tai vesi. Työsuojelulliset ja ympäristönsuojelulliset tekijät vaikuttavat ohenteen valintaan. /1, 8/

Maalin lopullisena tarkoituksena on muodostaa esineen pintaan halutun värinen suojaava kalvo. Tarkoitukseen soveltuvilla levityslaitteilla voidaan maali levittää nestemäisenä aineena (sively, telalevitys, upottaminen, veitsilevitys, valukonelevitys) tai pieninä maalihiukkasina (ruiskutus, pulverointi, sähköstaattinen levitys). Maalien viskositeetti (juoksevuus) ja levitysmäärä riippuvat merkittävästi lämpötilasta. /5/

Kuivuminen ja kovettuminen tarkoittavat nestemäisten pinnoitteiden muuttumista kiinteiksi niin, että liuottimet haihtuvat tai sideaineet reagoivat kemiallisesti (tai tapahtuu kumpikin). Useat pinnoitteet voidaan kuivata tai kovettaa huoneenlämmössä. Kuivaaminen korkeammassa lämpötilassa nopeuttaa kuitenkin kuivumista ja antaa mahdollisuuden parempaan kalvonmuodostukseen. Kuivaaminen uunissa on yleinen teollisuudessa käytettävä menetelmä. Kiertävä lämmin ilma ohjataan kuivausuunissa esineen kulkusuuntaa vastaan, jolloin ilma luovuttaa osan lämmöstään kappaleen maalipinnalle. Lämpötilan noustessa kuivuminen nopeutuu. Kymmenen celsiusasteen lisäys pinnoitteen lämpötilassa lyhentää kuivumisaikaa noin puoleen. /1, 5/

Lämpö voi siirtyä johtumalla, konvektoitumalla ja säteilemällä. Johtumista tapahtuu lämpimämmästä kappaleesta kylmempään. Konvektiossa lämmitettyjen pintojen läpi virtaava ilma lämmittää kappaleen. Säteilyssä energia siirtyy elektromagneettista tietä. Säteilylähteestä siirtyvä säteily heijastuu osittain pois maalipinnasta ja osa säteilyenergiasta imeytyy maalikerrokseen kiihdyttäen kemiallisesti kuivuvien maalien kovettumista. Säteilykuivaukseen soveltuvat kemiallisten reaktioiden avulla kovettuvat maalit. Säteilyllä on useita

aallonpituuksia ja se jaetaan ultraviolettisäteisiin (UV) ja infrapunasäteisiin (IR).

Taulukossa 3 on vertailtu eri kuivausmenetelmiä. /1, 5/

Taulukko 3. Kuivausmenetelmien vertailu /5/

Menetelmä	Kuivausaika,s	Kappaleen muoto
Konvektio	600-3600	Ei rajoituksia
IR-säteily	30-180	Levyt, yksinkert.muodot
UV-säteily	1-15	Levyt,erikoisuuneissa myös muotokpl

Liimaus on eniten käytetty liittämistapa puutuoteteollisuudessa. Puuliimat ovat yleensä vesiliukoisia nesteitä tai jauheita. Liimaamalla voidaan liittää yhteen pinta-alaltaan laajoja kappaleita. Se on nopea ja kustannuksiltaan halvin liittämistapa.

Liimauksen lämmönkestävyys on kuitenkin yleensä alhainen ja pitkäaikainen rasitus aiheuttaa helposti pysyviä muodonmuutoksia liimasaumassa. Liimaukseen tarvitaan myös kalliita välineitä kuten puristimia. Nykyisin lähes kaikkia aineita on mahdollista liimata puuhun. /5/

Liima on valittava tuotteen käyttöolosuhteiden perusteella. Sisäkäyttöön tarkoitettua liimaa käytetään kuivissa tiloissa, sillä liima ei kestä vesiliotusta. Kosteudenkestävä liima soveltuu tiloihin, jossa kosteus saattaa olla tilapäisesti korkea, mutta jossa kappaleet eivät ole suoranaistalle sään vaikutukselle alttiita. Säänkestävä liima kestää kaikissa olosuhteissa säätä ja on puuta kestävämpi. Sitomis- eli kovettumislämpötilan perusteella voidaan erottaa kylmäkovettuvat ja kuumakovettuvat liimat. Kylmäkovettuvat liimat kovettuvat jo huoneenlämpötilassa. Kuumakovettuvat liimat vaativat tavallisimmin yli 100 °C:n lämpötilan kovettuakseen. /1, 5/

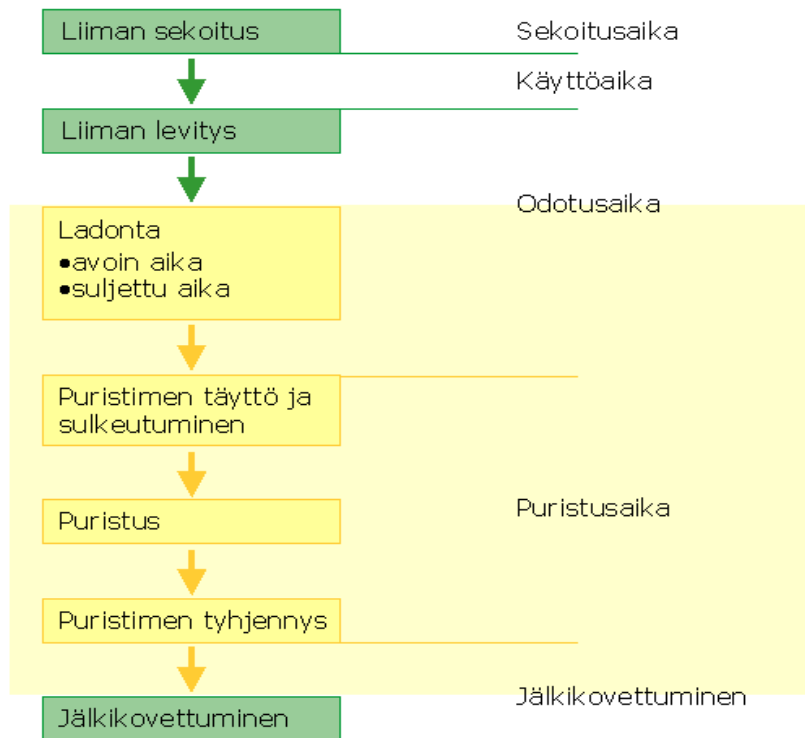
Sideaineisiin perustuva luokittelu on esitetty taulukossa 4. Sen perusteella liimat jaetaan fysikaalisesti ja kemiallisesti kovettuviin tuotteisiin. Kemiallisesti kovettuvissa liimoissa sauma muodostuu pienistä molekyyleistä, jotka kovettuessaan muodostavat ketjumaisia molekyyliä. Nämä verkkoutuvat ja muodostavat suuria avaruusmolekyyliä. Fysikaalisesti kovettuvissa liimoissa molekyylit kiinnittyvät toisiinsa liuoteaineiden poistuessa saumasta. Muodostuneet sidokset ovat heikkoja ja kestävämpiä veden ja liuotainaineiden vaikutusta

vastaan. Lämmön vaikutuksesta liimasauma yleensä pehmenee ja sulaa. Liimoja kutsutaan myös termoplastisiksi kestopoliimiksi. /5/

Taulukko 4. Sideaineisiin perustuva luokittelu/5/

Fysikaalisesti sitovat liimat	
Luonnonaineet	Synteettiset aineet
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Proteiini</li> <li>▪ Glutiini</li> <li>▪ Kaseiini</li> <li>▪ Albumiini</li> <li>▪ Tärkkelys</li> <li>▪ Selluloosaeetteri</li> <li>▪ Luonnonkumi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Polyvinyylisetaatti</li> <li>▪ Polyvinyylieetteri</li> <li>▪ Polyakrylaatti</li> <li>▪ Polyeteeni</li> <li>▪ Polystyreeni</li> <li>▪ Synteettinen kumi</li> </ul>
Kemiallisesti sitovat liimat	
Formaldehydipohjaiset	Muut
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ureahartsit</li> <li>▪ Melamiinihartsit</li> <li>▪ Fenolihartsit</li> <li>▪ Resorsinolihartsit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Epoksihartsit</li> <li>▪ Polyesterihartsit</li> <li>▪ Polyuretaanihartsit</li> </ul>

Liimauksen työnkulku etenee seuraavan kuvan mukaisesti /5/:



Kuva 6. Liimauksen työnkulun eteneminen /5/

Liima sekoitetaan ja siirretään liimaukseen. Liima levitetään liimattaville kappaleille ja ladotaan puristettavaksi ahioksi. Aikaa liimanlevityksen aloittamisesta latomuksen valmistumiseen kutsutaan avoimeksi ladonta-ajaksi. Latomuksen odotusaikaa ennen siirtoa puristukseen nimitetään suljetuksi ladonta-ajaksi. Ladotut ahiot puristetaan kylmässä tai lämmitetyssä puristimessa. Yleensä puristin avataan ennen kuin sauma on lopullisesti kovettunut. Näiden tapahtumien välillä on jälkikovettumisaika, joka eräillä liimatyypeillä saattaa olla vuorokausienkin mittainen. /5/

## 2.2 Betoni

### 2.2.1 Betonin osa- aineet ja valmistus

Betoni on maailman käytetyin rakennusmateriaali, jota tarvitaan lujuutta vaativassa rakentamisessa. Betonin pääraaka-aineet ovat sementti, vesi ja runkoaineet. Näiden lisäksi betonissa käytetään lisä- ja seosaineita. Aineiden valinnalla ja niiden seossuhteiden määrittämisellä on tärkeä merkitys betonin kaikkiin ominaisuuksiin. /11, 12/

Betonin tärkein osa-aine on sementti. Sen määrä betonissa on n. 200-400 kg/m<sup>3</sup> (8-16 paino-%). Sementti muodostaa veden kanssa kovan huokoisen mineraalin. Sementin pääraaka-aine on kalkkikivi, jonka pääosana on kalsiumkarbonaatti CaCO<sub>3</sub>. Kalkkilouhoksen sivukivestä ja teollisuuden tuotteista saadaan sementin valmistuksessa tarvittavat muut aineet, kuten piidioksidi SiO<sub>2</sub>, rautaoksidi Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ja alumiinioksidi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Sementin raaka-aineet jauhetaan ja poltetaan uunissa 1450 °C:ssa, jossa aineiden alkuperäinen rakenne hajoaa veden ja hiilidioksidin poistuessa. Reaktiossa syntyy pääasiassa kaliumsilikaateista muodostuneita klinkkerimineraaleja, joista sementti jauhetaan. /11, 12/

Runkoaineen tilavuusosuus on 65-80 % betonin osa-aineista. Koska runkoainetta tarvitaan paljon, sitä tulee olla helposti saatavilla eivätkä sen kustannukset saa olla



korkeat. Se koostuu erikokoista kivirakeista (0,02-16 mm). Runkoaineen karkeimman osan muodostaa murske tai luonnonsora ja hienomman osan luonnonhiekkä. Suomessa käytetään runkoaineena yleensä graniittipohjaista luonnonkiviainesta, joka on usein mekaanisesti murskattua. Myös betonin uusiokäyttö eli betonimurskeen käyttö runkoaineena on yleistynyt. Luonnonkiviaineet voivat olla kivennäismaalajeista lajittelemalla saatuja tai kalliosta tai kivennäismaalajeista murskattuja tuotteita. Runkoaineena käytettävän kiviaineksen tulee olla kyseiseen käyttötarkoitukseen sopivaa, jotta se ei vaikuta betonin ominaisuuksiin heikentävästi. /11, 12/

Rakeisuus kuvaa runkoaineen rakeiden kokoja. Rakeisuudella tarkoitetaan runkoaineen sisältämien erisuuruisten rakeiden painosuhteita. Rakeisuus määritetään seulomalla. Runkoaine ei saa olla radioaktiivista eikä se saa sisältää haitallisia määriä humusaineita (kasvi- ja eläinkunnan lahoamisjätteitä), sokeria, öljyä tai klorideja (vesiliukoinen  $\text{Cl}^-$ ). /11, 12/

Tavallinen juomavesi soveltuu betonin valmistukseen. Humuspitoinen suovesi tai järvivesi ei sovellu betoniin, koska se häiritsee betonin kovettumisreaktiota. Erityisesti on vältettävä vettä, joka sisältää pieniäkin pitoisuuksia sokeria, koska se hidastaa ja jopa estää betonin kovettumisen. /12/

Betonin side- ja runkoaineena voidaan käyttää mineraalisia seosaineita, joita ovat lentotuhka, masuunikuonajauhe, ilmajähdytetty ferrokromikuona ja silika. /11/ Lentotuhka muodostuu kivihiilen ja turpeen polton sivutuotteena. Lentotuhka koostuu pääosin seuraavista mineraaleista:

- kvartsi  $\text{SiO}_2$  ( 45- 55%)
- korundi  $\text{Al}_2 \text{O}_3$  ( 20- 30%)
- hematiitti  $\text{Fe}_2 \text{O}_3$  ( 8- 11 %)
- kalsiumoksidi  $\text{CaO}$  ( 4- 7 %)
- magnesiumoksidi  $\text{MgO}$  ( 3- 5% )
- kaliumoksidi  $\text{K}_2 \text{O}$  ( 1-2 % )
- natriumoksidi  $\text{Na}_2 \text{O}$  ( 0-2 %).

Lisäksi lentotuhka sisältää raskasmetalleja, joista merkittävimmät ovat molybdeeni, kromi, arseeni, lyijy ja seleeni. Pääsääntöisesti betonin valmistuksessa käytettävän lentotuhkan tulee olla kuivaa ja hiiliyhdisteiden pitoisuus korkeintaan 5 %. /13/

Masuunikuona on raakaraudan valmistuksessa masuunissa emäksisestä silikaattisulatteesta jäädyttämällä saatu tuote. Masuunikuonajauhe on hienoksi jauhettua masuunikuonaa. Sen vedentarve on pieni, ja se notkistaa betonia. Kuonajauhe parantaa betonin sulfaatinkestävyyttä, ja jos sen osuus on yli 70 % sideaineesta, luokitellaan sideaine sulfaatinkestäväksi. Kuonajauheella on myös muita parantavia ominaisuuksia betonissa. /11/

Silika on piiraudan ja piin valmistuksessa syntyvä savukaasuista erotettava hapan, tulenkestävä yhdiste, jonka keskeisenä aineosana on piidioksidi. Silika lisää betonin lujuutta sekä parantaa sen kemiallista kestävyyttä, koossapysyvyyttä, tiiviyyttä ja vedenpitävyyttä. /11, 14/

Betonin lisäaineita ovat mm. /15/:

- huokostin (parantaa betonin pakkasenkestävyyttä ja massan työstettävyyttä)
- notkistin (parantaa massan työstettävyyttä ja pumpattavuutta)
- nesteytin (parantaa valettavuutta ja sen avulla voidaan lisätä lujuutta)
- hidastin (lisää tuoreen massan työstettävyyttä)
- kiihdytin (nopeuttaa sitoutumisen alkamista)
- tiivistysaine (parantaa betonin tiiveyttä nesteitä ja kaasuja vastaan)
- injektointiaine (estää kutistumisen ja parantaa tunkeutuvuutta).

Suurin osa betonista tehdään nykyään valmisbetoniasemilla. Betoni valmistetaan sekoittamalla pääraaka-aineet myllyssä. Massan ominaisuuksia voidaan muunnella seos- ja lisäaineilla. Nykyaikaisella valmisbetoniasemalla runkoaine ja sementti

varastoidaan korkeisiin siloihin. Lisäksi on säiliöt vedelle ja lisäaineille. Kiviaineslajitteet ja sementti punnitaan käytettävän suhteutuksen mukaisesti ja pudotetaan sekoittajaan. Lopuksi lisätään oikea määrä vettä ja sen mukana mahdolliset lisäaineet. Sekoituksen jälkeen (noin 2-3 minuuttia) valmis betonimassa valutetaan kuljetusautoon, jossa se kuljetetaan työmaalle. Betonia voidaan valmistaa myös elementtitehtaassa heti käytettäväksi. /12, 15/

Betoni valetaan tiiviisti muottiin, jolloin se saadaan halutun muotoiseksi. Rakenteen vetolujuuteen voidaan vaikuttaa lisäämällä raudoitusta (betoniterästä, teräspunoksia tai ruostumatonta terästä). Betoni kovettuu, kun sementtirakeet reagoivat veden kanssa muodostaen osa-aineet yhteen sitovan mineraalin. Lämpö ja kloridipitoiset suolat (ruokasuola, merivesisuola) kiihdyttävät kovettumisreaktioita. Suola (NaCl) ei sovellu teräsbetonin kiihdyttämiseksi raudoituksen ruostumisen vuoksi. Koska kovettumisreaktio (hydrataatioreaktio) tapahtuu sementin ja veden välillä, betoni kovettuu myös kosteissa olosuhteissa. /12/

Valmisbetoni on betonimassaa, joka kuljetetaan työmaalle säiliöautoissa valamista varten. Elementit ovat puolestaan valmiiksi valettuja ja kovettuneita betonituotteita, jotka asennetaan työmaalla paikalleen. /12/

### 2.2.2 Tärkeimmät ominaisuudet

Kovettuneen betonin tärkeimmät ominaisuudet ovat sen puristuslujuus ja säilyvyys erilaisia rasitteita vastaan. Betoni jaetaan puristuslujuuden perusteella lujuusluokkiin, joissa numeroarvo tarkoittaa puristuslujuutta mega Newtonina per neliometri ( $\text{MN} / \text{m}^2$ ), esimerkiksi K30. Siltojen kannet ovat arvoltaan K40. Betonin vetolujuus on vain noin kymmenesosa sen puristuslujuudesta. Vetolujuutta voidaan parantaa sijoittamalla betoniin raudoitustankoja, jolloin vetojännitykset siirtyvät korkean vetolujuuden omaavalle teräkselle. Betoni ja teräs soveltuvat toimimaan hyvin yhdessä, sillä niiden lämpölaajenemiskerroin on sama. Teräsbetonirakenteet jaetaan vaativuuden perusteella kolmeen rakenneluokkaan. III-luokkaan kuuluvat esim. omakotitalojen perustukset, II-luokkaan normaalit betonirakenteet ja I-luokkaan erittäin vaativat rakenteet, kuten jännitetyt rakenteet.

Betoninormeissa puristuslujuuden luokitus perustuu kuutiolujuuteen, joka testataan käyttäen sivumitoiltaan 150 mm koekuutiota. /11, 15/

Betonirakenteen halkeilu merkitsee aina vetolujuuden ylittymistä. Vetolujuuden määrittäminen on hankalaa ja siksi betonista määritetään usein taivutus- tai halkaisuvetolujuus. Taivutuslujuus määritetään yleensä 100\*100\*500 mm palkeilla ja halkaisuvetolujuus halkaisemalla koelieriö tai -kuutio. Se määritetään yleensä 150 \* 300 mm lieriöillä. Halkaisulujuuden arvo saadaan laskettua kaavan 3 avulla /11/:

$$f_{cts} = \frac{2P}{\pi \cdot d \cdot h} \quad (3),$$

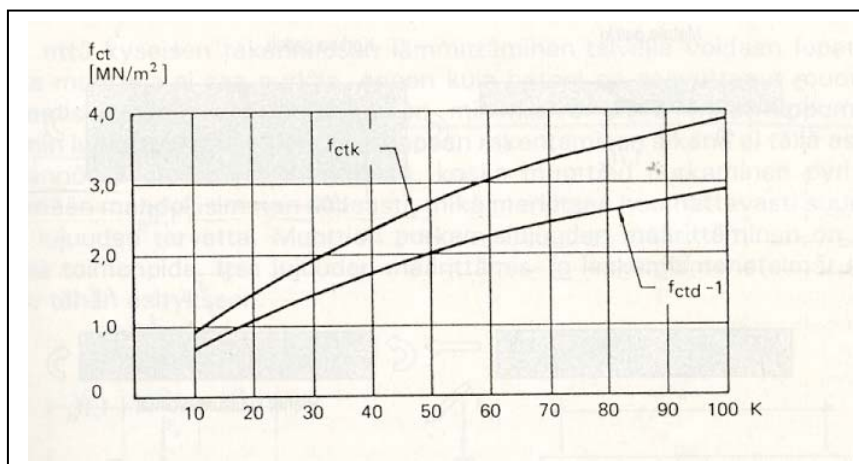
missä

$P$  = halkaisukuorma,

$d$  = lieriön halkaisija ja

$h$  = lieriön korkeus.

Betonin vetolujuus  $f_{ct}$  on noin 90 % halkaisuvetolujuuden arvosta  $f_{cts}$ . Kuvassa 7 on esitetty veto- ja puristuslujuuden välinen yhteys. Siinä ylempi käyrä kuvaa ominaisvetolujuutta ja alempi vetolujuuden suunnitteluarvoa. Puristuslujuus on y- akselilla ja lämpötila x- akselilla. /11/



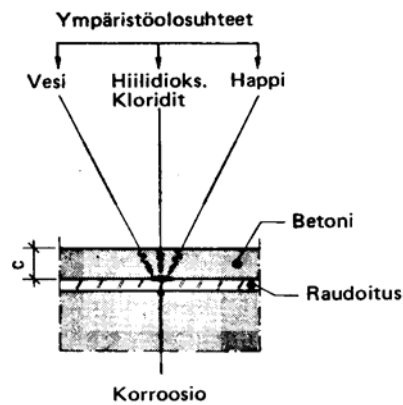
Kuva 7. Betonin veto- ja puristuslujuuden välinen yhteys /11/

Rakenteiden säilyvyyden kannalta Suomen olosuhteissa tärkeimmät ominaisuudet ovat pakkasenkestävyys ja pakkas- ja suolarasituksen kestävyys. Näiden ominaisuuksien lisäksi tärkeitä ovat myös betonin muodonmuutosominaisuudet, viruminen, kutistuminen, halkeilu ja tiiveys. /11/

Virumalla tarkoitetaan kuormitetun betonikappaleen muodonmuutoksen jatkumista ajan kuluessa. Sitä esiintyy kaikkien jännitystapausten yhteydessä (puristus, veto, leikkaus, taivutus, vääntö). Viruman vaikutus kokonaismuodonmuutoksen on suuri. Se on huomioitava laskelmissa ja työmaalla. Kovettunut betoni kutistuu kuivuessaan ja laajenee kostuessaan. Kutistuminen on veden haihtumista betonista, joten sitä tapahtuu pienillä kappaleilla nopeammin kuin suurilla. /11/

Halkeilu on tyypillistä betonille. Halkeamat alentavat betonin laatua, koska ne lisäävät sen läpäisevyyttä ja samalla betonin raudoituksen antama fysikaalinen ja kemiallinen suojaus vähenee. Halkeamat syntyvät, kun betonin vetolujuus ja muodonmuutoskyky ylittyvät betonin jäähtymisen aiheuttaman kutistumisen seurauksena. Halkeilua voidaan rajoittaa suunnittelemalla rakenne oikein ja valitsemalla sopiva betonin koostumus, työnsuoritus ja jälkihoito. /11/

Betonin pH-arvo on normaalisti 12,5-14. Emäksisyyden aiheuttaa pääasiassa sementin valmistuksessa muodostuva kalsiumhydroksidi. Tiivis ja paksu betonipeite suojaa raudoitusta ruostumiselta. Betonissa olevat halkeamat voivat pienentää sen tiivyyttä ja olla syynä raudoituksen korroosioon. Kuvassa 8 on esitetty korroosion edellytyksiä. Betonin suojavaikutus häviää karbonatisoitumisen tai kloridien vaikutuksesta. Lisäksi ruostumisreaktio tarvitsee happea ja vettä. /11/



Kuva 8. Betonissa olevan raudoituksen korroosion edellytykset. /11/

Raudoituksen korroosion aiheuttaa betonin karbonatisoituminen ilmassa olevan hiilidioksidin vaikutuksesta. Hiilidioksidi reagoi betonin kalsiumhydroksidin kanssa ja tuloksena on kalsiumkarbonaattia. Samalla betonin emäksisyys laskee vähitellen arvoon pH 8,3, jolloin sementtikivi on täysin karbonatisoitunut, eikä betoni enää suojaa terästä ruostumiselta. Tällöin teräs alkaa ruostuessaan laajeta ja murtaa betonin. /15/

Betonin kastuessa sen huokokset täyttyvät nopeasti vedellä. Vain suojahuokokset jäävät suuren kokonsa vuoksi ilmatäytteisiksi. Vedelläkyllästysasteeksi sanotaan sitä osuutta betonin kokonaishuokostilavuudesta, joka on täyttynyt vedellä. Kaikilla betoneilla on kriittinen vedenkyllästysaste. Sen ylittyessä syntyy betoniin vaurioita jäätyessä. Merivedessä oleva suola tai jään ja lumen sulatukseen käytettävä suola lisää betonin pakkasrasitusta huomattavasti, koska suola lisää jääkiteiden kasvun aiheuttamaa painetta betonissa. Suolahuokosten suhteellinen osuus betonin kokonaistilavuudesta on yksi pakkasenkestävyyttä arvioitaessa käytettävä suure. Siitä käytetään nimitystä suojahuokossuhde. Sen tulee olla riittävän suuri suhteessa betonin pakkas- ja pakassuolarasitukseen. /11/

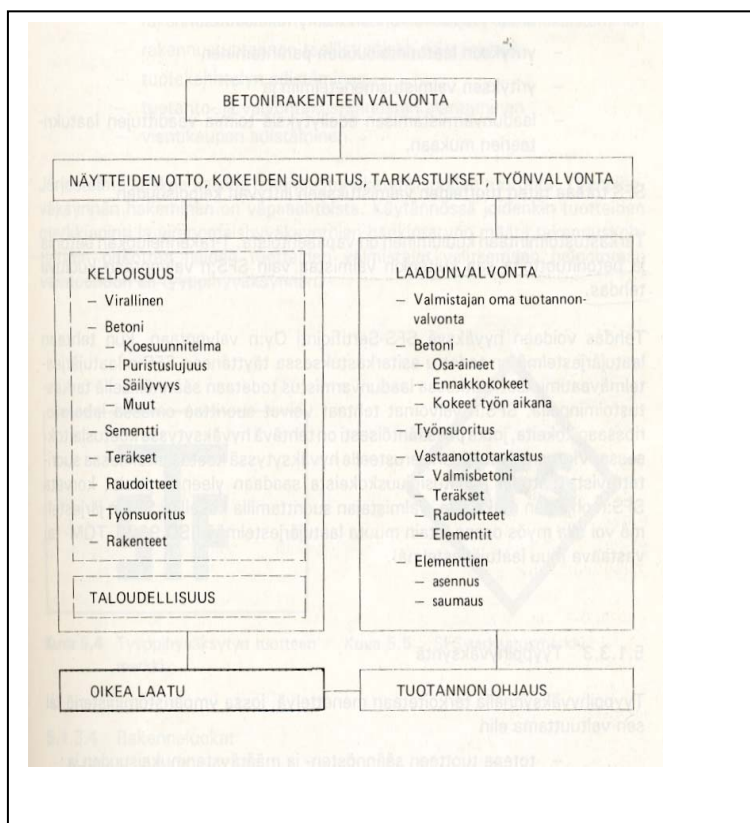
Betoni on syttymätön ja palamaton materiaali, eikä se haihduta myrkyllisiä kaasuja korkeissa lämpötiloissa. Betonia käytetään sen suuren lämpökapasiteetin vuoksi teräsrakenteiden palonsuojauksessa. Kalkkikivi runkoaineena parantaa betonin palonkestävyyttä. Teräksen lujuus ja kimmokerroin heikkenevät lämpötilan noustessa./11/

Betonirakenteiden käyttöikä mitoitetaan noin 50-70 vuodeksi. Betonirakenteiden säilyvyyden suurimmat uhat ovat fysikaaliset rasitukset, kemialliset rasitukset sekä raudoituksen korrosio. Fysikaalisia rasituksia ovat eroosio ja kuluminen, halkeilu sekä pakkasvauriot. Kemiallisia vaurioita aiheuttavat hapot ja sulfaatit. Betonin käyttöikä voidaan lisätä mm. betonin oikealla suhteutuksella kutakin käyttötarkoitusta vastaavaksi. Esimerkiksi pakkasenkestävyyttä voidaan lisätä huokoistamalla betoni, jolloin betonin sisältämä vesi ei jäätyessään riko betonia vaan pääsee laajenemaan lisäaineen avulla saatuihin suojahuokosiin. Betonin karbonatisoitumista voidaan hidastaa suhteuttamalla betoni mahdollisimman tiiviiksi. Myös pinnoittamalla tai maalaamalla voidaan estää hiilidioksidin tunkeutuminen. Eroosiota ja kulumista vastaan voidaan suojautua suhteuttamalla betoni lujaksi ja käyttämällä karkeaa kiviainesta. Kemiallista kestävyyttä voidaan lisätä oikealla sementtilaadun valinnalla kuhunkin kohteeseen sekä sopivan seosaineen käytöllä. /15/

### 2.2.3 Laatuominaisuudet ja –määritykset

Betonirakenteiden kelpoisuuden varmistamiseksi on suoritettava valmistuksen laadunvalvontaa. Valmisbetonin ja betonielementtien valmistusta kutsutaan tarkastetuksi, jos sen laadunvalvonta on ympäristöministeriön hyväksymän toimielimen alainen. Laadunvalvontaan kuuluu betonin valmistuksen ja rakenteiden valmistuksen valvonta. Kaikki laadunvalvontakokeiden tulokset merkitään muistiin, ja asiakirjat säilytetään vähintään kolme vuotta. /16/

Betonirakentamisessa valvonta jaetaan kahteen alueeseen, jotka on esitetty kuvassa 10. Betonin osa- aineiden, betonimassan ja kovettuneen betonin laadunvalvonta on sertifioitu standardissa SFS- EN 206-1. Betoninormit määräävät ja selvittävät miten laatutekniikka on hoidettava. Normeja täydentävät erilliset ohjeet ja standardit. Betoniteollisuuden laadunvarmistuksen ulkopuolisena ja puolueettomana valvojana toimii SFS- Sertifiointi Oy, jolla on ympäristöministeriön valtuutus. /11, 16/



Kuva 10. Betonirakenteen valvonnan osat ja päämäärät /11/

Betonin laatu- ja lujuusluokittelun perusteella on mahdollisuus valita kuhunkin rakenteeseen sopiva betoni. Betonirakenteet, betoni ja betonityöt jaetaan kolmeen luokkaan. 1-luokka liittyy vaativiin betonirakenteisiin, 2-luokka tavanomaisiin rakenteisiin ja 3-luokka on tarkoitettu yksinkertaisiin pikkutöihin./11/



## 2.2.4 Betonipinnat

Betonirakenteen pintaa voidaan muokata, kun sille asetetaan ulkonäkövaatimuksia. Kun pyritään tasasävyyseen betonipintaan, on betonin osa- aineiden oltava tasalaatuisia ja suhteutuksen ja työprosessin pysyttävä vakiona. Betoniyhdistyksen julkaisussa BY 40 Betonipinnat pintojen eri luokkia kuvataan pintakoodilla. Yleisin pintatyyppi on muottia vasten valettu pinta. Muita tyyppejä ovat mm. hierrettyt, telatut ja töpötetyt pinnat, pesubetonipinnat, harjatut, hiekkapuhalletut, happopestyt, hakatut, hiotut, pinnoitettavat ja rapattavat pinnat. /11/

Hierrettyjä pintoja käytetään monissa eri kohteissa. Pesubetonin väri saadaan aikaan kiviaineksella, jonka vuoksi sen värin säänkesto ja värisävyn säilyvyys ovat erittäin hyvät. Pesu voidaan tehdä eri syvyyksiin samoin kuin hiekkapuhalletuissa pinnoissa. Pinnassa voidaan käyttää 8-32 mm kiviä. Hiekkapuhallus tehdään yleensä muottia vasten valettuun pintaan. Puhallus poistaa etupäässä sementtikiveä ja paljastaa lisää huokosia. /11/

Happopesu tehdään kastamalla kovettunut ja vedellä kyllästetty betonipinta happoaltaaseen ja huuhtelemalla pinta runsaalla vedellä. Happopesu poistaa elementin pinnasta sementtigeeliä ja hienoainesta, jolloin tulee näkyviin karkeampaa runkoainesta haluttuun syvyyteen asti. Syvyyteen vaikuttavat kiviaineksen laatu, hapon voimakkuus ja vaikutusaika. /11/

Sileä, kovettunut betonipinta hiotaan yleensä 3-4 mm syvyyteen asti. Hiotut pinnat valmistetaan yleensä väribetonista. Tavallisimmat väribetonin valmistuksessa käytetyt pigmentit ovat punainen, ruskea ja musta. Harvemmin käytettyjä ovat valkoinen, keltainen, sininen ja vihreä. Valkoinen väri voidaan saada aikaan vain valkosementtiä käyttämällä. /11, 30/

Punaisten, ruskeiden ja mustien pigmenttien koostumus sisältää mm. rautaoksidia ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ja rauta- ja mangaanipitoista savea. Valkoinen pigmentti on puhdasta titaanioksidia ( $\text{TiO}_2$ ). Keltaiset pigmentit koostuvat värisävystä riippuen mm. rautaoksidista, rautaoksidihydraatista ( $\text{FeOOH}$ ) sekä titaani- nikkeli- antimonista

$[(\text{Ti}, \text{Ni}, \text{Sb})\text{O}_2]$ . Siniset pigmentit sisältävät kobolttialuminaattia ( $\text{CoAl}_2\text{O}_4$ ), kobolttikromialuminaattia [ $\text{Co}(\text{Cr}, \text{Al})_2\text{O}_4$ ] sekä kupriyhdisteitä ja rikkipitoista piialumiiniyhdistettä. Vihreissä pigmenteissä puolestaan on puhdasta kromioksidia ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), kromioksidihydraattia ( $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), sekä rautapitoista silikaattia.  
/11, 30/

Pinnoitteella tarkoitetaan yleensä tuotetta, jonka kerrospaksuus on yli 0,4 mm. Ulos tulevat pinnoitettavat pinnat on yleensä esikäsiteltävä, jotta pinnoitteelle saadaan riittävä mekaaninen tartuntapinta. Esikäsitelytoimenpiteitä ovat mm. hienopesu, hiekkapuhallus, happokäsittely ja korkeapainepesu. Pinnoitteet suojaavat betonia eristämällä sen ympäristöstään. Betonin suojaukseen käytettäviä eristäviä pinnoitteita ovat epoksit, vinyyliesterit, polyesterit, metyyliimetakrylaatit ja polyuretaanit ja polyureat. Pinnoitteiden nimet johtuvat niissä käytetystä hartsista eli sideaineista. Sideaine on tärkein pinnoitteen ominaisuuksia määräävistä komponenteista. /11, 31/

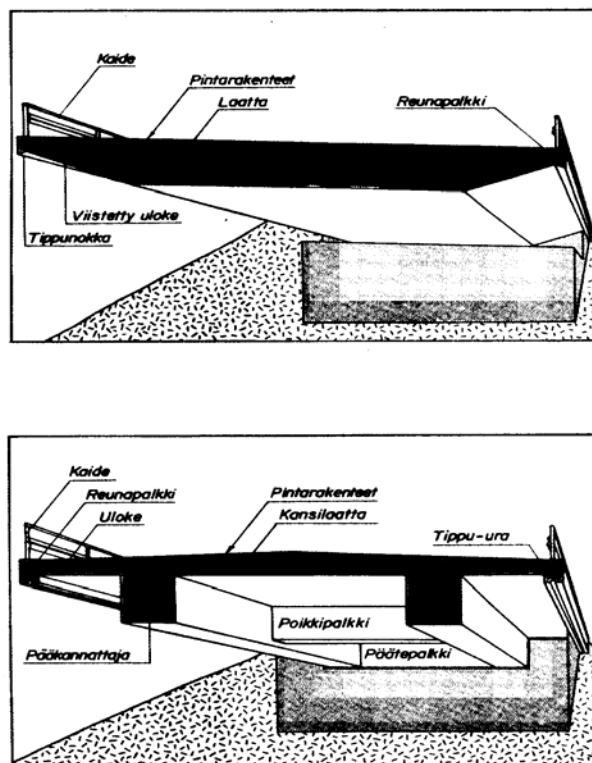
### 2.3 Puu ja betoni sillanrakennuksessa

Silta määritellään esteen ylittäväksi rakenteeksi, jonka vapaa-aukko on kaksi metriä tai suurempi. Vapaa-aukko on sillan keskilinjaa suuntainen, kahden peräkkäisen tuen välinen pienin vapaa vaakasuora etäisyys. Sillat jaetaan jännemittojen summan perusteella pieniin siltoihin (alle 20 m), keskisuuriin siltoihin (20- 60 m) ja suuriin siltoihin (yli 60 m). Jännemitta on keskilinjaa pitkin mitattu kahden peräkkäisen tukilinjaa välinen etäisyys. Päällysrakenteen tukemistavan mukaan sillat ovat palkkisilloja, laattasiltoja, holvisilloja, kaarisilloja, riippusilloja, ristikkosilloja tai vinoköysisilloja. /17, 18/ Yleisimpiä siltatyyppejä on esitetty liitteessä 1. /19/

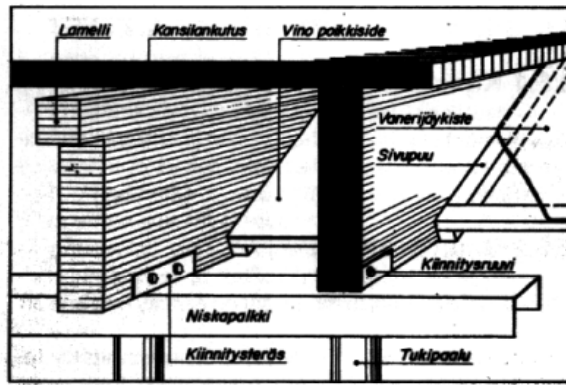
Betoni on edullisuutensa ja monipuolisuutensa vuoksi yleisin sillanrakennusaine. Suuren puristuslujuuden ansiosta betoni sopii hyvin massiivisiin puristettuihin rakenteisiin kuten tukiin ja holveihin. Raudoitettuna ja jännitettyinä betoni sopii myös taivutettuihin rakenteisiin. Elementtitekniikkaa käyttämällä voidaan

esimerkiksi reunapalkit tehdä monimuotoisempina. Teräsbetoni otettiin käyttöön sillanrakennuksessa Suomessa 1910-luvulla. Yleisten teiden silloista on yli 60 % teräsbetonirakenteisia. Jännitetyt sillat ja elementtisillat tulivat käyttöön 1960-luvulla. Teräsbetoninen laattasilta on suosituin siltatyyppejä. /17, 18/

Puu on aikoinaan ollut päämateriaali suomalaisissa silloissa helpon saatavuutensa ja työstettävyytensä ansiosta. Lisäksi puu on kevyttä lujuteensa nähden. Puusiltojen ongelmana on ollut tuhoutuminen nopeasti lahoamisen takia. Paineekyllästetty puu kestää melko pitkään ja sopii pienten siltojen rakennusmateriaaliksi. Suomen puusillat ovat aina painekyllästettyjä. Kantavat rakenteet on tehty liimapuusta 1970-luvulta lähtien. /17, 18/ Kuvassa 11 on esitetty teräsbetonisen laattasillan (ylhällä) ja palkkisillan (alhaalla) rakenneosat ja kuvassa 12 puisen liimatun palkkisillan rakenneosat. /18/



Kuva 11. Teräsbetonisen laattasillan ja palkkisillan rakenneosat /18/



Kuva 12. Puisen liimatun palkkisillan rakenneosat /18/

Suomen teillä on noin 14 000 siltaa. Tiehallinto koordinoi yleisille teille suunniteltuja siltoja, katuverkon sillat ovat kuntien vastuulla. Uusia siltoja rakennetaan vuosittain noin 150-200. Teräsbetoni on siltojen yleisin rakennusmateriaali (60,1 %), puun osuus on 4,6 % ja jännitetyn betonin 7,1 % . /25/

## 2.4 Esimerkkisillat

Tarkastellaan kahta esimerkkisiltaa, joista toinen on rakennettu Tampereelle vuonna 2002 ja toinen Hämeenlinnaan vuonna 1991. /20/

Tampereen silta rakennettiin Hervantaan Poliisikoulun alikulkukäytäväksi. Kyseessä on teräsbetonisilta, jonka valaminen suoritettiin paikan päällä. /20/ Raudoitustyöhön käytettiin betoniterästä A500HW. Numero A tarkoittaa kuumavalssattua, H kuumavalssattua harjakuviota. Kuumavalssattu terästyyppi saadaan hitsattua työmaalla. /21/ Terästä käytettiin 41 800 kg / 400 m<sup>2</sup> (määrä / rakenneosat). Betonitöihin käytettyjä määriä on esitetty taulukossa 5. Rakenneosat ovat suhteessa 400 m<sup>2</sup> . /20/

Taulukko 5. Betonointityöt /20/

	Mittayksikkö	Määrä/rakenneosa
Betoni K35	m <sup>3</sup>	330
Lisäaineet:		
pakkasenk.P30	m <sup>3</sup>	310
pakkasenk.P50	m <sup>3</sup>	20
Betonointi	m <sup>3</sup>	330

Lisäaineiksi on valittu pakkas- ja pakkassuolarasituksen kestäviä rakenteita. P-lukubetonit eli siltabetonit ovat Tielaitoksen siltakeskuksen määräyksien mukaisia pakkasenkestäviä betonilaatuja. Niiden käyttökohteet ovat lähinnä suolapakkasrasitetut siltarakenteet. Eri pakkasenkestävyysluokilla (P-luku) on tietyt vähimmäislujuusluokkavaatimukset. /13/ Puristuslujuudeltaan ollaan valittu betoni K35. /20/

Hämeenlinnaan rakennettiin puinen vesistösilta. Siltatyypinä oli liimattu palkkisilta. Siinä käytettiin puun lisäksi perustuksina ja maatukina betoniterästä ja betonia K30. Sillan kokonaispituus on 17,75 m. Päällysrakenteessa käytettiin teräsoasia ja puurakenteita (palkit ja kansi), joiden määrät on esitetty taulukossa 6. /20/

Taulukko 6. Päällysrakenteet/20/

	Mittayksikkö	Määrä/rakenneosa
Teräsoosat	kg	52
Puurakennetyöt:		
Palkit	m <sup>3</sup>	15
Kansi	m <sup>3</sup>	9

Rakenneosat ovat tässä tapauksessa suhteessa 80 m<sup>2</sup>.

### 3 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSIA

#### 3.1 Käsitteitä

Ympäristövaikutuksella tarkoitetaan hankkeen tai toiminnan aiheuttamia välillisiä vaikutuksia /22/:

- ihmisten terveyteen, elinoloihin ja viihtyvyyteen
- maaperään, vesiin, ilmaan, ilmastoon, kasvillisuuteen, eliöihin ja luonnon monimuotoisuuteen
- yhdyskuntarakenteeseen, rakennuksiin, maisemaan, kaupunkikuvaan ja kulttuuriperintöön
- luonnonvarojen hyödyntämiseen sekä kaikkien edellä mainittujen tekijöiden keskinäisiin vuorovaikutussuhteisiin.

Elinkaariarviolla tarkoitetaan tuotteen tai toiminnon ympäristövaikutusten selvittämistä ottaen huomioon tuotteen koko elinkaari eli kaikki ympäristökuormat raaka- aineiden hankinnasta tuotteen loppusijoitukseen asti. Rakennustuotteen elinkaariarvioon vaikuttavat ympäristökuormat raaka- aineen hankinnassa, tuotteen valmistuksessa ja sen asennuksessa, käytön aikana sekä käytön jälkeen sen loppusijoituksessa tai kierrätyksessä. Betonituotteen elinkaari on esitetty liitteessä 2. /23/

Kestävä kehitys on maailmanlaajuisesti, alueellisesti ja paikallisesti tapahtuvaa jatkuvaa ja ohjattua yhteiskunnallista muutosta, jonka päämääränä on turvata nykyisille ja tuleville sukupolville hyvät elämisen mahdollisuudet. Se kattaa kolme toiminnallista ulottuvuutta: ekologisen, yhteiskunnallisen ja kulttuurisen ulottuvuuden. Ekologisesti kestävä kehitys tarkoittaa luonnon monimuotoisuuden säilyttämistä ja ihmisten taloudellisen ja aineellisen toiminnan sopeuttamista maapallon luonnonvaroihin ja luonnon sietokykyyn. /24/

Ekotehokkuudella tarkoitetaan toimintaa, jonka tavoitteena on tuottaa enemmän palveluja ja hyvinvointia vähemmällä luonnonvarojen kulutuksella. /24/

Käsitteellä ”luotettavasti sertifioitu metsätuote” tarkoitetaan tuotetta, jonka alkuperä on metsässä ja jonka hoito on itsenäisen arvioinnin ja sertifioinnin perusteella luokiteltu sosiaalisesti, taloudellisesti ja ympäristöllisesti kestäväksi ja vastuulliseksi. /26/

Kasvihuoneilmiössä auringosta tulevan säteilyn heijastuminen takasin vähenee ja ilmakehän keskilämpötila kohoaa. Tärkeimpiä kasvihuoneilmiötä ylläpitäviä ja sitä voimistavia ilmakehän kaasuja ovat hiilidioksidi, metaani, otsoni, dityppioksidi ja freonit. Kaikkein tärkein luonnollisen kasvihuoneilmiön aiheuttaja on vesihöyry. Kasvihuoneilmiön voimistumisella tarkoitetaan sitä, että kasvihuonekaasujen lisääntyessä niiden ilmakehää lämmittävä vaikutus voimistuu. /36, 38/

## 3.2 Luonnonvarat

### 3.2.1 Metsävarat

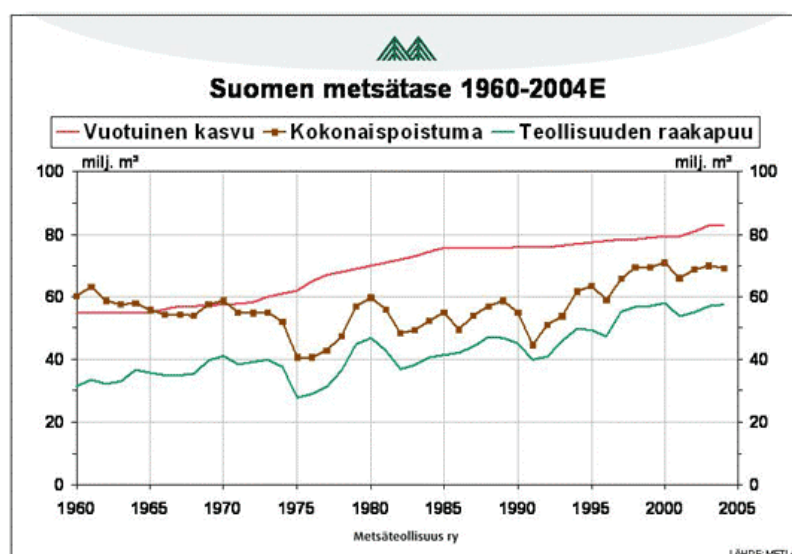
Luonnonvarat jaetaan uusiutuviin ja uusiutumattomiin luonnonvaroihin. Puu on uusiutuva luonnonvara. Suomessa yrityksellä tulee olla tavoiteohjelma raaka-aineen eli puun käytön kielteisten ympäristövaikutusten minimoimiseksi. On erittäin tärkeää, että yritys on sitoutunut vastuulliseen puunhankintaan. WWF:n (kansainvälinen luonnonsuojelujärjestö) opas vastuulliseen ja kestävään puun ja puutuotteiden hankintaan (Responsible Purchasing of Forest Products) sisältää ne toimet, joita edellytetään ympäristövastuunsa tuntevalta metsäteollisuuden yritykseltä. /26/

Oppaan lähtökohtana on, ettei yritys ole osallisena laittomissa hakkuissa tai niihin liittyvässä puukaupassa. Raaka-aineen pitää myös tulla tunnetusta lähteestä. Yrityksen on suljettava pois arvokkailta alueilta, kuten suojelualueilta tuleva puuraaka-aine. Lisäksi puunhankinta sellaisista talousmetsistä, joilla on korkeita suojeluarvoja, tulee sulkea pois, ellei metsien hakkuita ole sertifioitu uskottavasti. Tärkeimpänä on luotettavasti sertifioitu raaka-ainelähde ja

lopputuote. FSC ( Forest Stewardship Council ) on kansainvälinen organisaatio, joka on luonut kriteerit metsien sertifiointille. /26/

Suomessa Metsähallitus noudattaa ISO 14001 -standardiin perustuvaa ympäristöjärjestelmää, jonka avulla ympäristövaikutuksia voidaan hallita ja kartoittaa. Metsähallitus vahvistaa vuosittain yhteiset ympäristöpäämäärät, joiden avulla turvataan luonnon monimuotoisuutta ja parannetaan ekotehokkuutta. Se on myös mukana Suomen kansallisessa FFCS-metsäsertifiointijärjestelmässä (Finnish Forest Certification System), jonka piirissä on lähes koko Suomen metsäpinta-ala. /27, 32/

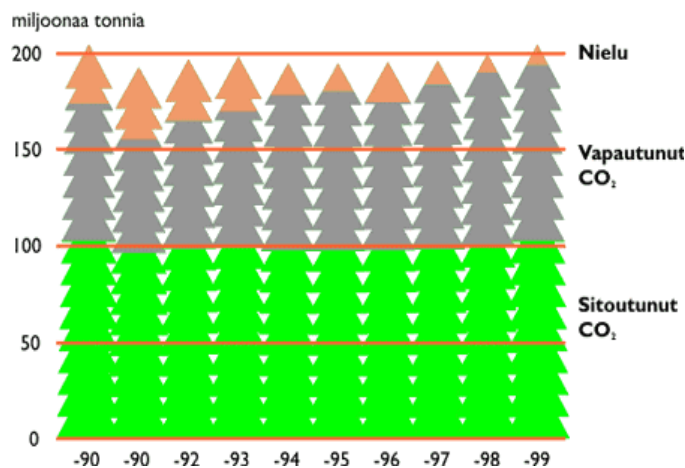
Suomalainen sertifikaatti hyväksyttiin vuonna 2000 mukaan eurooppalaiseen PEFC-järjestelmään (Programme for the Endorsement of Forest Certification). Metsäsertifikaatin lisäksi Metsähallituksella on SMS 1003-1 -standardin mukainen puun alkuperäketjua koskeva sertifikaatti, joka takaa sen, että Metsähallituksen toimittama puu ei ole peräisin suojelluista tai laittomasti hakatuista metsistä. Jotta Suomen metsien kasvu säilyisi, tehdään myös metsänhoitotyötä ja hoitotoimenpiteitä. Kuvasta 13 voidaan nähdä, että puusto kasvaa tällä hetkellä nopeammin kuin sitä poistetaan, joka on juuri hoitotoimenpiteiden ansiota. /27, 32/



Kuva 13. Suomen metsätase vuosina 1960-2004 /27/



Puu sitoo kasvaessaan ilmasta hiilidioksidia. Yhdessä kuutiometrissä puuta on 200 kiloa hiiltä. Elävään biomassaan on maapallolla sitoutunut yhtä paljon hiiltä kuin sitä on ilmakehässä. Puunjalostustuotteet toimivat hiilen varastoina ja metsät hiilen nieluina. Metsäteollisuuden tuotteisiin sitoutuu huomattavia määriä hiiltä ilmakehästä, joka osaltaan edesauttaa ns. kasvihuonekaasujen määrän vähenemistä. Kasvihuonekaasujen lisääntyminen ilmassa vahvistaa kasvihuoneilmiötä, jossa auringosta tulevan säteilyn heijastuminen takaisin avaruuteen vähenee, jolloin ilmakehän keskilämpötila kohoaa. Silloissa käytetyissä puissa hiili säilyy pitkiä aikoja, koska se voi olla pois kierrosta kymmeniä tai jopa satoja vuosia. /28, 29/



Kuva 14. Suomen metsien hiilitase 90- luvulla /29/

Mekaanisesta metsäteollisuudesta käytetään nykyisin yleisnimitystä puutuoteteollisuus. Perustuotteita ovat sahatavara ja puulevyt, joista valmistetaan runsaasti erilaisia jalosteita. Puutuoteteollisuus käyttää raaka-aineenaan lähinnä mäntyä, koivua, kuusta ja haapaa. Ensimmäisen jalosteita ovat esimerkiksi höylätavara, sormijatkettu sahatavara ja pinnoitettu vaneri. Niitä käytetään tyypillisesti raaka-aineena muussa tuotannossa kuten rakentamisessa tai rakennuspuusepänteollisuudessa. Toisen asteen jalosteita ovat valmiit puutuotteet ja valmiit rakennuskomponentit. /32/

Sahatavaran tuotanto oli Suomessa vuonna 2004 13,5 miljoonaa kuutiota. Tuotannosta runsaat 60 prosenttia vietiin ulkomaille. Suurin yksittäinen markkina-alue on Suomi, joka kattaa noin kolmanneksen alan myynnistä. Suomen vaneriteollisuuden tuotanto oli vuonna 2004 1,4 miljoonaa kuutiota, josta vientiin meni noin 90 prosenttia. Kaikkiaan puulevyjä - vaneria, lastulevyä ja kuitulevyä - tuotettiin vuonna 2004 noin 1,9 miljoonaa kuutiota. /32/

### 3.2.2 Betonin raaka- aineet

Sementin ja betonin raaka- aineet ovat luonnon materiaaleja, joita on lähes rajattomasti saatavilla maapallolla. Sementin pääraaka-aineen, kalkkikiven varanto on erittäin suuri ja sen riittävyys on varmaa määräämättömän pitkäksi ajaksi. Myös betonin muita raaka-aineita, kuten hiekkaa ja kiveä löytyy runsaasti Suomesta. Joissain suurimmissa kaupungeissa luonnonkiven vähenemisen vuoksi on siirrytty murskatun kiviaineksen käyttöön. Murskaukseen tarvittavaa raaka-ainetta saadaan esimerkiksi louhintojen yhteydessä rakennustyömailta tai louhimalla sitä kalliosta. /12/

Betonin ja sementin valmistuksessa käytetään muun teollisuuden sivutuotteita joiden avulla sementin määrää betonissa pystytään vähentämään. Tällaisia ovat muun muassa voimalaitoksista saatava lentotuhka sekä raudan valmistusprosessissa syntyvä masuunikuona. /12/

Maa-aineksen ottamiseen tarvitaan aina lupa. Kallion ja soran murskaamiseen tarvitaan ympäristölupa. Lupaa varten on tehtävä ottosuunnitelma, jossa esitetään muun muassa alueen jälkihoitosuunnitelma. Sora-alueella jälkihoito on tärkeää pohjaveden suojelun vuoksi. /23/

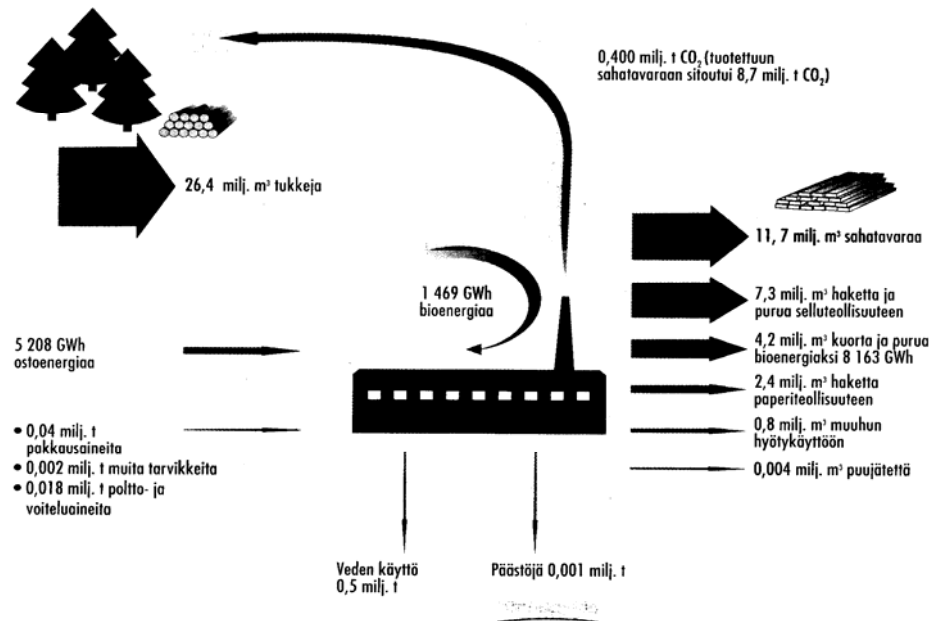
### 3.3 Valmistus

#### 3.3.1 Puun valmistusprosessi ja energiankulutus

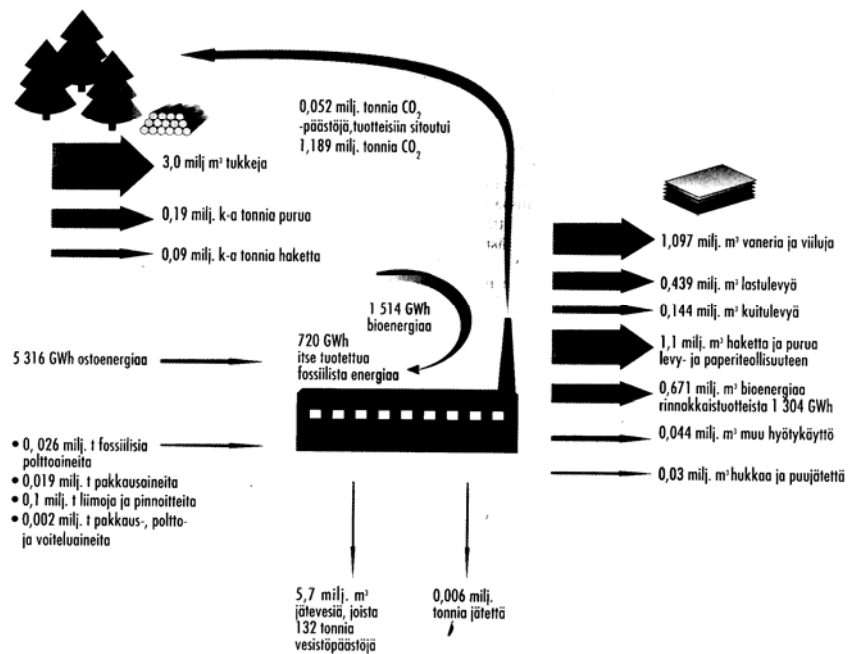
Teollisuuden raakapuuta korjataan Suomessa yksinomaan tavaralajimenetelmällä, eli rungot katkotaan metsässä eri pituisiksi eri käyttötarkoituksia varten. 86 prosenttia hakkuutyöstä tehdään koneellisesti hakkuukoneilla. Miestyöhakkuut tehdään moottorisahalla. Katkottu puutavara kuljetetaan metsästä tien varteen metsätraktoreilla. Metsäteollisuuden puuraaka-aineen kuljetuksiin käytetään kaikkia mahdollisia liikenneverkkoja Suomessa. Metsäteollisuuden osuus Suomen kuljetuksista rautateilla on reilusti yli puolet ja maanteiden tavarankuljetuksista lähes kolmannes. /32/

Puutuoteteollisuus hyödyntää käyttämänsä raakapuun sataprosenttisesti. Sahauksessa syntyvää sahanpurua käytetään bioenergian valmistukseen sekä puun kuorta bioenergian tuotantoon. Lämpöenergian käytössä puutuoteteollisuus on täysin omavarainen. Kun energian käyttöä vielä tehostetaan ja biopolttoainetta myydään, voidaan päästä lähes kokonaan bioenergiaan pohjautuvaan tuotantoon. /32/

Sahateollisuus on energian nettotuottaja koska prosessissa syntyy enemmän energiaa kuin mitä siihen tarvitaan. Syntyvä energia on biopolttoainetta, joka käytetään itse tuotantoon tai myydään ulkopuolisille. Sahatavaran tuotannon ympäristövaikutukset on esitetty kuvassa 15 ja levyteollisuuden tuotannon ympäristövaikutukset kuvassa 16. Sahojen tuotannossa käytetään vähän uusiutumattomia tuotantopanoksia. Puuraaka-aine hyödynnetään metsäteollisuuden tuotteiden raaka-aineena ja bioenergian lähteenä. Valmiiseen sahatavaraan on sidottuna selvästi enemmän hiiltä kuin mitä tuotannossa vapautuu ilmakehään. Levyteollisuuden ympäristövaikutukset ovat erittäin pienet. Vaneriteollisuudessa käytetään paljon raakapuuta, mutta lastulevy- ja kuitulevyteollisuuden pääraaka-aineena on sahateollisuudesta saatava puru. Eniten päästöjä vesistöihin tulee kuitulevyteollisuudesta. Päästöt ilmaan ovat suhteellisen pienet. /28, 32/



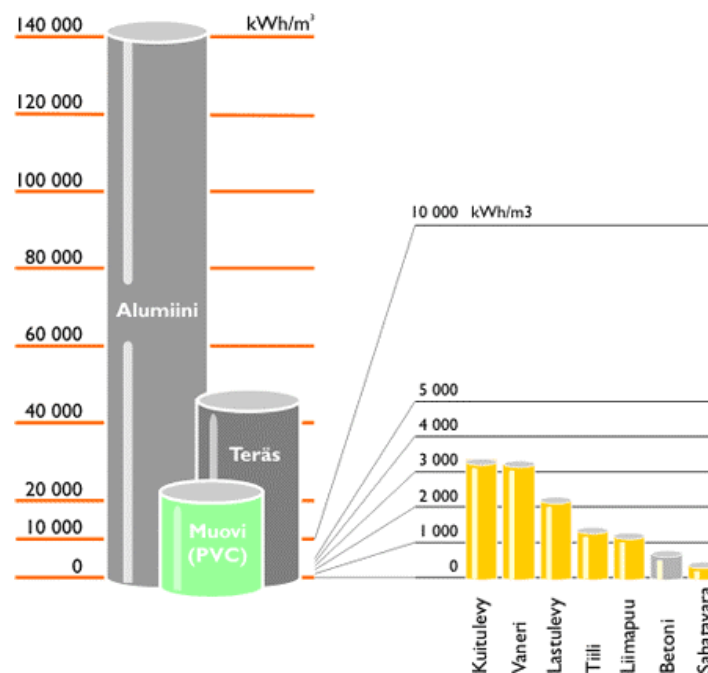
Kuva 15. Sahatavaran tuotannon ympäristövaikutukset /28/



Kuva 16. Levyteollisuuden tuotannon ympäristövaikutukset /28/

Kuvista voidaan myös nähdä, että eniten energiaa kuluu puun käsittelyyn ennen kuin ne ovat valmiita eteenpäin vietäviksi. Kuten jo aiemmin on käsitelty, suuria määriä energiaa kuluu etenkin puun kuivauksessa.

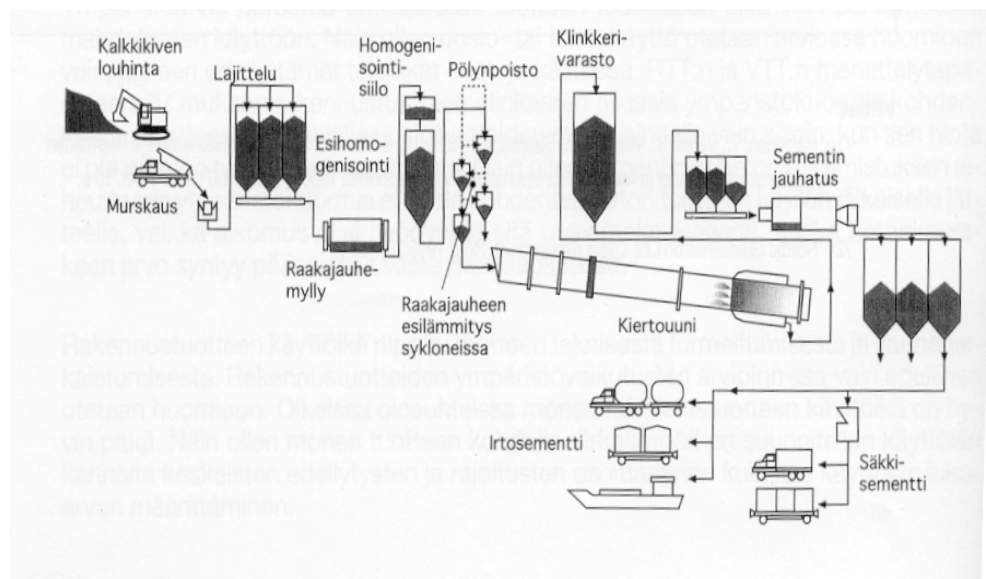
Sahatavaran valmistus kuluttaa huomattavasti vähemmän energiaa kuin muiden rakennusmateriaalien valmistus. Betonin valmistus vaatii kaksinkertaisen määrän energiaa kuten kuvasta 17 nähdään. Myös jalostettujen puutuotteiden, kuten lastulevyn ja vanerin, valmistus vaatii monta kertaa enemmän energiaa kuin sahatavaran valmistus, mutta pääosa tästä energiasta on uusiutuvaa puuenergiaa. Kuitenkin esimerkiksi sellutonnin valmistukseen tarvittava energiamäärä on yli kymmenkertainen betoniin verrattuna. /29/



Kuva .17 Rakennusmateriaalien valmistuksen kuluttama energia /29/

### 3.3.2 Betonin valmistusprosessi ja energiankulutus

Sementin valmistus on eniten energiaa vaativa prosessi. Uuni, jossa sementin raaka-aineet kuumennetaan tarvitsee lämmitäkseen polttoainetta. Sementin valmistuksessa on Suomessa panostettu energiankäytön tehokkuuteen ja ympäristövaikutusten minimoimiseen. Uunin lämmityksessä käytetään nykyisin myös vaihtoehtoisia energianlähteitä, kuten lihaluujauhoa ja käytetyistä renkaista tehtyä kumirouhetta. Betonin valmistusprosessin muiden vaiheiden energiankulutus on suhteellisen pientä. Sementin kuljetus tapahtuu suurelta osin laivalla ja betoniin tarvittava kiviaines saadaan yleensä lähialueelta. Itse valmisbetonitehtaat sijaitsevat lähellä betonin käyttöpaikkaa, joten myös valmisbetonin kuljetusmatkat ovat lyhyitä. Sementin valmistuksen virtauskaavio on esitetty kuvassa 18. /12, 23/



Kuva 18. Sementin valmistuksen virtauskaavio /23/

Taulukossa 7 on esitetty sementinvalmistuksen resurssien käyttöä kuuden pohjoismaisen tehtaan keskiarvona. Taulukon arvoissa on huomioitu sekä valmistus että kuljetus. Fossiililla polttoaineilla suurimmat arvot tulevat kuljetuksesta.

Taulukko 7. Sementinvalmistuksen resurssien käyttö

1 sementtit. kohti	Louh./Mursk.	Raakajauhat	Klinkkerin tuotanto	Jauhat	Jakelu	Yht.
Sähkö( MJ)	19,2	105	136	189	7,9	457
Foss.polttoa.( MJ )	22,2	74,2	3770	28,7	132,3	4047
Muu energia( MJ )			137			137
Kalkkikivi( kg )		1551				1551

Sementin valmistuksessa sen pääraaka-aineesta kalkkikivestä vapautuu polttoprosessin yhteydessä hiilidioksidia. Betoni sitoo käyttökänsä aikana osan tästä vapautuneesta hiilidioksidista takaisin itseensä ilmasta niin sanotun karbonatisoitumisen kautta. /12/

Pääosa betonin koostumuksesta on kiviaineisia, joiden hankinnan ympäristökuormia ovat lähinnä raaka- aineressurssien käyttö, maan käyttö sekä energian kulutus kaivuussa, louhinnassa, murskauksessa, kiviaineksen kuljetuksissa ja polttoaineiden käytön aiheuttamissa päästöissä. Soran kaivuussa, louhinnassa ja murskauksessa energiankulutus on pientä verrattaessa esimerkiksi sellaisten materiaalien valmistusprosesseihin, joissa raaka- aineita tai tuotteita joudutaan kuumentamaan korkeissa lämpötiloissa. Murskauksen energiankulutus riippuu halutusta raakoosta. Taulukossa 8 on esimerkki soran hankinnan energiankulutuksesta (MJ / lopputuote kg) sekä kaivuun ja kuljetuksen osuuksista. Taulukossa 9 on puolestaan esimerkki murskeenvalmistuksen energiankäytöstä (MJ / lopputuote kg)./23/

Taulukko 8. Esimerkki soran hankinnan energiankulutuksesta /23/

Soran kaivuu	0,02	67 %
Soran kuljetus ( 10 km )	0,01	33 %
Yhteensä	0,03	100 %

Taulukko 9. Esimerkki murskeen valmistuksen energiankulutuksesta/23/

Louhinta, murskaus, siirrot	0,05	80 %
Kuljetus ( 10 km )	0,01	20 %
Yhteensä	0,06	100 %

Kevytsoran ympäristörasitukset aiheutuvat pääasiassa tuotantoprosessin energiankulutuksesta ja siitä aiheutuvista päästöistä sekä saven hankinnasta. Kevytsoraa poltetaan noin 1150°C:een lämpötilassa. Taulukossa 10 on esitetty kevytsoran valmistuksen eri vaiheiden osuudet energiankulutuksesta ( MJ / lopputuote kg ). /23/

Taulukko 10. Kevytsoran valmistuksen energiankulutus Suomessa /23/

Saven hankinta ja siirto	0,04	1 %
Kalkkifillerin valmistus ja siirto	0,002	
Kevytsoran valmistus	4,6	98 %
Kevytsoran kuljetus	0,04	1 %
Yhteensä	4,7	100 %

Tavallisimmin käytettyjä lisäaineita betonissa ovat massaa notkistavat lisäaineet ja huokostimet. Notkistavien lisäaineiden ympäristövaikutukset jäävät betonissa pieniksi, koska niiden määrä on pieni, vain noin 0,02- 0,01 % betonin painosta. Ne eivät myöskään ole helposti haihtuvia yhdisteitä. Yleisimpiä huokostimia ovat mäntyöljystä erotettujen happojen suolat. Niiden määrä betonissa on myös hyvin pieni, joten myös näiden lisäaineiden ympäristövaikutukset jäävät pieniksi. /23/

Betonin värjäykseen käytetään synteettisiä mineraalipigmenttejä, joiden määrä betonissa on noin 0,1-1 %. Synteettisiä mineraalisia rautaoksidipigmenttejä tehdään rautapitoisista sivutuotteista hapettamalla, jonka reaktio on eksoterminen eli lämpöä tuottava. Saatu aine kuivataan. Kuivauksen energiantarve on pienempi, kuin reaktiossa vapautuva energiamäärä, joten prosessin energiatase on positiivinen. /23/

Teollisuuden sivutuotteilla voidaan korvata betonissa sekä luonnon kiviainesta että sementtiä. Betonin runkoaineena voidaan käyttää esimerkiksi metalliteollisuuden, kaivosteollisuuden ja mineraalisen rakennustuoteteollisuuden sivukiviä ja sivutuotteita, kuten ferrokromikuonaa tai masuunikuonaa. Sivutuoterunkoaineiden murskauksessa ja kuljetuksessa saattaa kulua energiaa enemmän kuin luonnon runkoaineiden hankinnassa, joten niiden edullisuus ympäristön kannalta liittyy luonnon raaka-aineiden käytön ja maankäytön vähenemiseen. /23/

Lentotuhka soveltuu sellaisenaan betoniin, joten sen kohdalla ympäristökuormia tulee ainoastaan kuljetuksesta. Näin ollen lentotuhkan käyttö vaikuttaa suuresti betonin ympäristöprofiiliin. Masuunikuona ei sovellu sellaisenaan sideainekäyttöön, vaan se täytyy jäädyttää, kuivata ja jauhaa noin sementin hienouteen. Masuunikuonajauheen valmistusprosessi kuluttaa paljon vähemmän energiaa sekä aiheuttaa huomattavasti vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin sementin valmistus. Tämän vuoksi myös kuonajauheen käyttö vaikuttaa positiivisesti betonin ympäristöprofiiliin. Taulukossa 11 on vertailtu sementin, masuunikuonajauheen ja lentotuhkan valmistuksen energiankulutusta ja hiilidioksidipäästöjä valmistusprosessissa ja kuljetuksessa. /23/ Taulukosta voi nähdä sementin valmistuksen hiilidioksidipäästöjen olevan paljon suuremmat verrattuna muihin.



Taulukko 11. Sementin, masuunikuonajauheen ja lentotuhkan energiansisältö ja CO<sub>2</sub>-päästöt /23/

	Sementti	Kuonajauhe	Lentotuhka
1	5	1,3	0,078
2	670	69	5,3

1 = Fossiilinen energia ( poltossa ja energiaraaka- aineen hankinnassa kulutetun energiaraaka- aineen energiasisältö lämpöarvona ) ja sähkönkäyttö ( sähkön valmistuksen energiaraaka- aineiden ja niiden hankinnassa kulutetun energiaraaka- aineen energiasisältö lämpöarvona ), MJ / kg

2 = Hiilidioksidipäästöt, CO<sub>2</sub> g / kg

Betonin valmistuksessa käytetään yleensä vesijohtovettä noin 0,06- 0,1 kg / betoni kg. Vesilaitosten veden hankinnassa ja puhdistuksessa kuluu suhteellisen vähän energiaa vesikiloa kohden. Betonin valmistusprosessiin menee betonitehtaalla tarvittavasta vedestä yli 40 %. Sen jälkeen eniten vettä kuluu laitteiden ja koneiden pesuun. Sementtipitoista vettä käytetään valmisbetonitehtaissa korvaamaan osa betonin valmistuksessa tarvittavasta vedestä. /12, 23/

Betonin ympäristövaikutuksista suurin osa tulee sementin valmistuksessa, joten sementtimäärää vähentämällä voidaan pienentää ympäristövaikutuksia. Sementin vähentämiseen käytettävissä olevia keinoja ovat /23/

- notkistavan lisäaineen käyttö
- tasalaatuiset raaka- aineet
- toimiva laadunvalvonta ja tuotannonohjaus
- masuunikuonan tai lentotuhkan käyttö
- suuren maksimiraekoon käyttö runkoaineessa
- jäykemmän betonin käyttö.

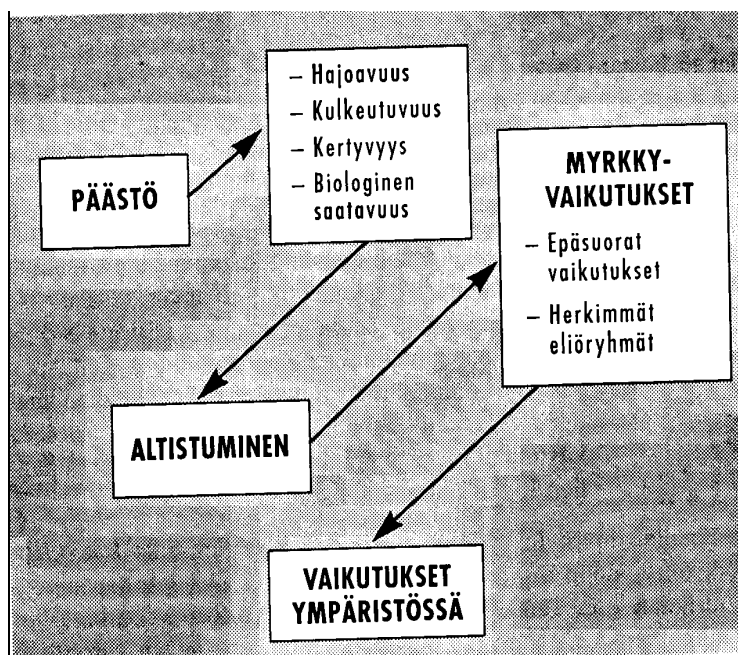
Lentotuhkan tehokkuus sementtiin verrattuna on noin 1/3 ja masuunikuonan 1. Betonin lujuuden kannalta oleellista on vesi- sementtisuhte. Sementtimäärää voidaan laskea, kun käytetään vettä vähemmän. /23/

Kuljettamisen aiheuttama ympäristökuormitus on merkittävä verrattuna betonin valmistukseen. Valmisbetonin keskimääräinen kuljetusmatka on 5-10 km riippuen siitä, missä rakennuspaikka sijaitsee tehtaaseen nähden. Raskaista ajoneuvoista vapautuu päästöjä suoraan hengitysilmaan siinä tasossa missä ihmiset liikkuvat. Tämän vuoksi laimeneminen on pientä ja varsinkin ruuhkaliikenteessä pitoisuudet saattavat olla korkeita. /23/

### 3.4 Kemikaalit

#### 3.4.1 Yleistä

Kemikaalien ympäristössä aiheuttamat haitat riippuvat kemikaalin luontaisiin ominaisuuksiin perustuvasta vaikutustavasta, vaikutusten voimakkuudesta sekä ympäristön altistumisesta kemikaaleille. Ympäristövaikutusten kannalta yksi keskeisimmistä tekijöistä on aineiden myrkyllisyys eri eliöille. Kuvassa 18 on esitetty kemikaalien ympäristövaikutukset ja niihin vaikuttavia tekijöitä. /33/



Kuva 19. Kemikaalien ympäristövaikutukset ja niihin vaikuttavia tekijöitä /33/

Kemikaali voi kulkeutua ympäristössä veteen, ilmaan tai maahan. Aineen pysyvyys vaikuttaa keskeisesti ympäristövaarallisuuteen. Hyvin nopeasti hajoavat aineet eivät ehdi vaikuttaa laajoilla alueilla, kun taas pysyvät aineet kertyvät ympäristöön ja aiheuttavat ajan myötä haittoja. Vesiliukoisuus on erittäin tärkeää aineen ympäristökäyttäytymisen kannalta, koska aine joutuu aina yleensä jossain vaiheessa kosketuksiin veden kanssa. Aineet, jotka liukenevat runsaasti veteen, leviävät usein ympäristössä laajalle. Ne kiinnittyvät yleensä huonosti maahan ja eliöihin. Veteen hyvin liukenevat yhdisteet kulkeutuvat usein maaperässä. /33/

### 3.4.2 Puusilloissa käytetyt kemikaalit

Puunsuojaukseen on käytetty eniten ns. suolakyllästeitä. Näitä ovat tavallisesti kreosoottia, kromia, kuparia ja arseenia sisältävä CCA-suola. Kreosoottiöljy on kivihiilen tisle, joka on tehokas mutta myrkyllinen puunsuojakemikaali. Sillä kyllästetään nimenomaan silloissa käytettyjä pylvaita. Suomen silloissa käytetään aina painekyllästettyä puuta. Kreosiittiöljy koostuu sadoista orgaanisista aineista, joista noin 85 % on PAH-yhdisteitä (polyaromaattisia hiilivetyjä), jotka ovat syöpävaarallisia aineita tai aiheuttavat perimän muutoksia. Kreosiittiöljyn aineet eivät kiinnity puuhun pysyvästi, vaan liukenevat ja haihtuvat ympäristöön. Myös arseeni ja kromi ovat useille eliöille erittäin myrkyllisiä eivätkä ne hajoa vaan kertyvät ympäristöön ja eliöihin. /10, 34/

Kyllästyskemikaalissa kromi on kuusiarvoisena kromitrioksidina, joka on myrkyllistä nieltynä ja joutuessaan iholle. Se on myös syövyttävää ja herkistävää iholla. Kromitrioksidi on todettu ihmisellä syöpää aiheuttavaksi aineeksi hengitettynä. CCA-kyllästetystä puusta liukenee maaperään ja veteen arseenia, kromia ja kuparia. Nämä metallit ovat ympäristöön jouduttuaan monille eliöille erittäin myrkyllisiä. Ne eivät hajoa vaan kertyvät ympäristöön ja eliöihin. /10/

Valtioneuvosto ja Suomen ympäristökeskus ovat asettaneet kreosoottiöljyä, kromia ja arseenia sisältävien puunsuojakemikaalien ja niillä käsitellyn puun käytölle rajoituksia. Näitä aineita saa kuitenkin edelleen käyttää silloissa. CCA-kyllästeet ärsyttävät voimakkaasti ihoa, silmiä ja hengitysteitä. CCA-kyllästeen sisältämä

arsenipentoksidi on todettu aiheuttavan syöpää ihmisellä. Suomessa on tällä hetkellä markkinoilla yhteensä 100 puunsuoja- ja limantorjuntakemikaalia. Biosideja eli eliöntorjunta-aineita käytetään laajasti. Useat biosidivalmisteet ovat vaarallisia terveydelle ja ympäristölle. /10, 34/

Puissa käytetyt liimat sisältävät usein formaldehydihartseja. Happokovettuvissa maaleissa ja lakoissa olevat aminohartsit vapauttavat formaldehydiä ilmaan. Formaldehydi voi aiheuttaa hengitysteiden herkistymistä, nenän, kurkun ja silmien ärsytystä. Se on myös äskettäin luokiteltu syöpää aiheuttavaksi aineeksi. Maalien, limojen ja lakkojen sideaineena käytetään happoanhydridejä sekä kloorattuja anhydridejä palonestoaineina. Kaikki happoanhydridit on luokiteltu ihoa ja limakalvoa ärsyttäväksi yhdisteiksi. /34/

Puissa käytetyt sinistymänestoaineet ovat aiheuttaneet sahaustoiminnan suurimmat ympäristöhaitat. Aineita on päässyt ympäristöön kastelun yhteydessä, kuljetettaessa märkää puuta välivarastoon ja välivarastossa erityisesti sateen huuhtoessa lautoja. Myös jätehuollon puutteellisuus on aiheuttanut pilaantumista. Tulipalojen yhteydessä sinistymänestoaineita joutuu maaperään. Niissä olevat kloorifenolit muuttuvat tulipalossa vaarallisemmiksi yhdisteiksi liian matalan lämpötilan takia. /35/

Kloorifenolia sisältävää sinistymänestoainetta alettiin käyttää Suomessa 1930-luvulla. Sinistymänestoaine KY-5:n valmistus kiellettiin Suomessa vuonna 1984, kun huomattiin, että se oli erittäin haitallista sekä ihmisille että ympäristölle. /35/

Oman terveyshaittansa aiheuttaa myös puupöly. Puupölylle altistuu Suomessa noin 65 000 työntekijää. Tunnetuimpia haittoja on joidenkin puupölyjen ominaisuus aiheuttaa nenäsyöpää sekä muita hengityshaittoja ja ihottumaa. Allergisten ihottumien lisäksi se voi aiheuttaa silmien sidekalvontulehdusta, nuhaa sekä nielun ja kurkunpään tulehdusta. /34/

### 3.4.3 Betonissa käytettyjä kemikaaleja

Betonin pinnoitteina käytetään muun muassa epoksihartseja, joilla saadaan hyvä suoja korroosiota vastaan. Epoksihartsit eivät ole haihtuvia, joten niistä muodostuu suuria pitoisuuksia ilmaan vain sumua tai pölyä synnyttävissä prosesseissa, kuten ruiskumaalauksessa. Muuten epoksihartseille altistutaan pääosin ihon kautta. Erityisesti betonin halkeamisen korjaamiseen käytetyt hartsit aiheuttavat kosketusihottumaa. /34/

Muita käytettyjä pinnoitteita ovat esimerkiksi vinyyliesterit, polyesterit, metyyylimetakrylaatit, polyureat ja polyuretaatit. Näiden polymeerien lämpöhajoamisessa muodostuu joukko yhdisteitä, jotka voivat aiheuttaa silmien, nenän, hengitysteiden ja ihon ärsytystä. /34/

Lentotuhka sisältää raskasmetalleja, joista merkittävimmät ovat molybdeeni, kromi, arseeni, lyijy ja seleeni. Kromi on kovaa ja korroosiota kestävä. Se on akuutisti myrkyllinen ja kerääntyy kasveihin ja selkärangattomiin eläimiin. Hapetusasteella + 6 oleva kromi on syöpää aiheuttava. Arseeni ja sen epäorgaaniset yhdisteet aiheuttavat pitkäaikaisessa altistumisessa keuhkosityöpää. Kromin ja arseenin ympäristövaikutuksia on esitetty jo kappaleessa 3.4.2. Lyijy kerääntyy maahan ja vesieliöihin ja imeytyy elimistöön hengitysteitse. Lyijyn poistuminen elimistöstä on hidasta. /13, 36/

Myös masuunikuona sisältää jonkin verran ympäristölle haitallisia aineita, kuten raskasmetalleja. Betoninormeissa on tarkat määräykset millä edellytyksillä seosaineita voidaan käyttää. /34/

Kokonaisuudessa betoniteollisuudessa veteen ja maaperään joutuvien aineiden ympäristövaikutukset ovat melko pienet, koska käytetyt raaka-aineet eivät ole vaarallisia ympäristölle. /23/

### 3.5 Päästöt

#### 3.5.1 Puutuotteen valmistuksen päästöt

Suurin osa metsäteollisuuden aiheuttamista päästöistä on peräisin sellu- ja paperiteollisuudesta. Taulukossa 12 on esitetty keskimääräisen sahatavaran valmistuksen ilmanpäästöt vuonna 2002. /32/

Taulukko 12. Keskimääräisen Suomalaisen sahatavaran valmistuksen ilmanpäästöt vuonna 2002 /32/

Päästö	g / ka- tn ST
CO <sub>2</sub>	91 000
CO	1864
SO <sub>2</sub>	122
NO <sub>x</sub>	1127
VOC	544
CH <sub>4</sub>	287
RM	0,244

VOC = haihtuvat orgaaniset yhdisteet, joihin kuuluu myös metaani CH<sub>4</sub>

ka- tn ST = kuiva- ainetonnia sahatavaraa

RM = raskasmetallit.

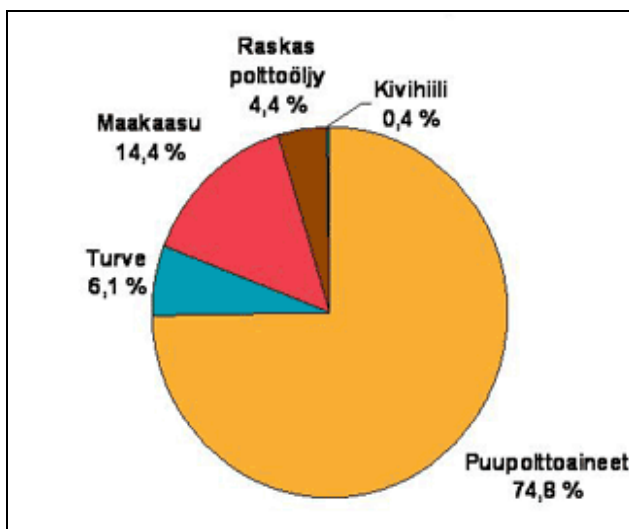
Levyteollisuuden päästöjä on esitetty taulukossa 13. /23/

Taulukko 13. Levyteollisuuden energiankulutus ja päästöt ilmaan

	Energiankulutus	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
Raaka-aineiden valmistus	39 %	94 %	95 %	95 %
Raaka-aineiden kuljetus	2 %	0,2 %	1 %	0 %
Levytuotteiden valmistus	57 %	6 %	3 %	5 %
Levytuotteiden kuljetus	2 %	0,20 %	1 %	0,03 %
Yhteensä	14 699 TJ	6,58 milj.t.	0,028 milj.t.	0,019 milj.t.

Metsäteollisuus käyttää suurimman osan polttoaineestaan puupolttoaineena.

Kuvassa 20 on esitetty metsäteollisuudessa käytettyjä tehdaspolttoaineita Suomessa vuonna 2004. /23/



Kuva 20. Metsäteollisuuden tehdaspolttoaineet Suomessa 2004 /23/

### 3.5.2 Betonin valmistuksen päästöt

Betonin ympäristöpäästöistä suurimman osan muodostaa sementin polttamisessa käytettävän energian päästöt sekä sementin raaka-aineena käytetyn kalkkikiven luovuttama hiilidioksidi. Valmistusprosessissa vapautuu hiilidioksidia ilmakehään keskimäärin betonin sementtimäärää vastaava määrä 10-15 % betonin painosta. Sementin määrään vaikuttaa sitä korvaavan lentotuhkan määrä. Suomessa sementin valmistuksen ympäristövaikutuksia on vähennetty jatkuvasti polttoprosessia kehittämällä. Rikkidioksidin ja typen oksidien päästöjä voidaan vähentää myös käyttämällä vähärikkistä polttoainetta. Soran, hiekan ja murskeen kuljetusmatkat ovat yleensä lyhyitä, joten niistä ei aiheudu merkittäviä päästöjä. /12, 23/

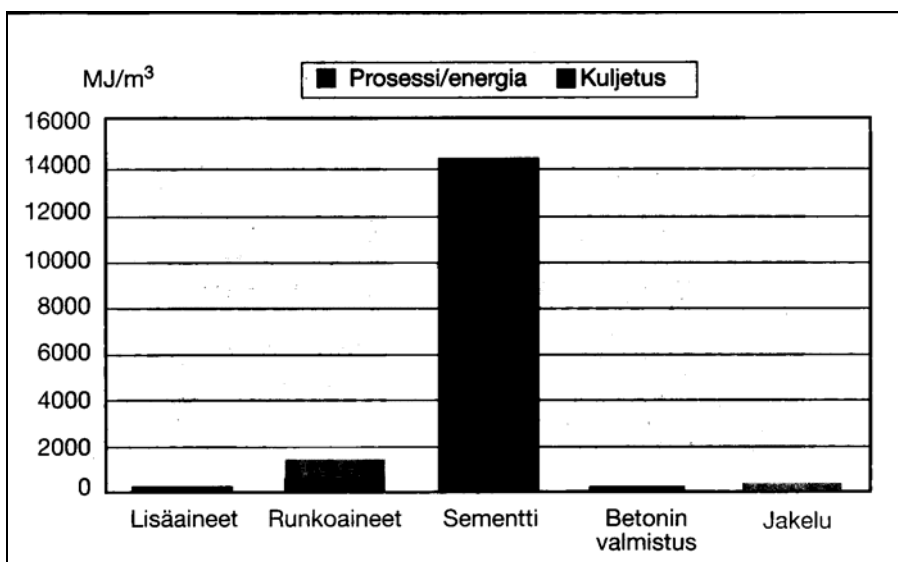
Taulukossa 14 on esitetty betonin valmistuksen kokonaispäästöt. Luvut sisältävät sementtitehtaan, kiviaineksen hankinnan ja betonin valmistuksen päästöjen lisäksi hiilentuotannon ja prosesseissa kuluvan sähköenergian osalta sähköntuotannossa syntyvät päästöt ja jätteet. PAH-yhdisteitä (polysykliset aromaattiset hiilivedyt) syntyy hiilentuotannossa ja radioaktiivista jätettä ydinsähkön tuotannossa. Muita sähköntuotantoon liittyviä päästöjä ovat bentseeni ja  $N_2O$ . /23/

Taulukko 14. Betonin valmistuksen kokonaispäästöt /23/

1 m <sup>3</sup> betonia kohti	Lisä- ja seosaineet		Runkoaineet		Sementin valmistus		Betonin valmistus		Yhteensä
	Tuotanto	Kuljetus	Tuotanto	Kuljetus	Tuotanto	Kuljetus	Tuotanto	Kuljetus	
CO <sub>2</sub> (kg)		0,7	5	5,5	294	0,8	17	3,2	311
NO <sub>x</sub> (kg)		0,01	0,05	0,09	1,2	0,01	0,008	0,05	1,4
SO <sub>2</sub> (kg)		0,001	0,01	0,01	0,5	0,03	0,004	0,006	0,56
CH <sub>4</sub> (g)			0,001		263		4,2		267
N <sub>2</sub> O (g)			0,004		0,03		0,01		0,04
HC (g)		1,8	8,4	14,7	42	1,6	1,4	8,4	78,3
CO (g)		2,6	10,3	21,2	1166	2,1	1,5	12,1	1216
Cr (mg)					5,2				5,2
Cu (mg)					5				5
Pb (mg)					5,1				5,1
Zn (mg)					29,6				29,6
Cd (mg)					2,6				2,6
Hg (mg)					4,6				4,6
Tl (mg)					16,5				16,5
Sn (mg)					0,1				0,1
V (mg)					0,7				0,7
Ni (mg)					5,3				5,3
Mn (mg)					1,9				1,9
Tuhka (mg)			1,2		7,2		2,3		10,7
Rad.akt.jäte (g)			1		6,5		1,3		8,8
Hiukkaset (kg)		0,001	0,004	0,007	0,2	0,001	0,001	0,004	0,22
Öljy (g)		0,004	0,02	0,03	0,05	0,003	0,002	0,02	0,13
Fenoli (mg)		0,05	0,3	0,4	0,7	0,04	0,02	0,2	1,7
COD (g)		0,01	0,05	0,08	0,1	0,008	0,005	0,05	0,3
Tot-N (g)		0,002	0,008	0,01	0,02	0,001	0,001	0,008	0,05
PAH (g)			0,00003		0,001		0,00002		0,0001
Bentseeni (mg)			0,9		5,5		0,5		6,9
NH <sub>3</sub> (g)					4,1				4,1

COD = kemiallinen hapenkulutus

Myös kuvasta 21 voi nähdä, että sementin valmistus kuluttaa suuria määriä fossiilisia polttoaineita. /23/



Kuva 21. Fossiilisten polttoaineiden käyttö betoninvalmistuksen eri vaiheissa /23/



### 3.6 Jätteet ja kierrätys

#### 3.6.1 Puujäte

Suomen lainsäädäntö määrittelee ongelmajätteeksi jätteen, joka kemiallisen tai muun ominaisuutensa takia voi aiheuttaa erityistä vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. /36/

Painekyllästetty puutavara ja siitä tehdyt tuotteet ovat ongelmajätettä, ja ne on toimitettava aina ongelmajätekeräykseen. Myös puun modifioinnissa käytetyt maalit, lakat, liimat ja torjunta-aineet ovat ongelmajätettä. Puun käsittelyssä syntyvät jätteet on luokiteltu omaan ongelmajäteluokkaansa. /34, 36/

Suomessa ongelmajätteiden käsittelystä vastaa Ekokem Oy Ab. Se hyödyntää ja tekee vaarattomaksi ongelmajätteitä erilaisilla jätteenkäsittelyprosesseilla sekä loppusijoittaa ongelmajäte- ja teollisuusjätteitä. Ongelmajätteen poltosta syntyvä energia hyödynnetään tuottamalla kaukolämpöä ja sähköä. Prosesseissa syntynyt kuona soveltuu suurelta osin käytettäväksi erilaisten sora- ja hiekkalaatujen korvaajana. /36/

Puutavaralle voi myös yrittää keksiä uusiokäyttöä, jolloin ehkäistään jätteen syntymistä. Tällöin tulee kuitenkin noudattaa kyllästetyn puutavaran käytölle asetettuja rajoituksia. On varmintä jättää puu kierrättämättä ja toimittaa se ongelmajätteen vastaanottoaikaan, jos on epävarma käytetystä puukyllästeestä. /10/

#### 3.6.2 Betonijäte ja uudelleenkäyttö

Betonisillat ovat kestäviä ja niiden käyttöikä on pitkä. Betonijäte on teollisuusjätettä, jota voidaan kierrättää. Suomessa betonin kierrätystä hoitaa muun muassa Lohja Rudus Ympäristöteknologia, joka ryhtyi kehittämään betonin uusiokäyttöä maanrakentamisessa vuonna 1992. Betonijätteet luokitellaan eri

ryhmiin niiden materiaalisällön ja kappalekoon perusteella. Betonijätettä ei oteta vastaan, jos se ei täytä minkään luokan ehtoja. Lisäksi mitään haitallisia aineita sisältäviä betonijätteitä ei oteta vastaan. Betonin epäpuhtaudet on vähennettävä murskauksen yhteydessä niin vähäisiksi, etteivät ne haittaa hyötykäyttöä. /13, 23/

Lohja Rudus valmistaa betoni- ja tiilijätteestä Betoroc-mursketta, jolla voidaan korvata parhaita sora- ja kalliomurskeita esim. teiden ja katujen kantavissa ja jakavissa kerroksissa, putkikaivannoissa sekä talojen perustuksissa. Hyötykäytön kannalta on tärkeää, että murskaimella päästään oikeaan raekokojakaumaan ja raemuotoon, koska vain sellainen betonimurske voidaan saada kovettumaan maarakenteessa. Betorocin tekniset ominaisuudet selvitetään säännöllisin testeillä ja mittauksin. Ympäristöominaisuudet varmistetaan VTT:n laatiman laadunvarmistusjärjestelmän mukaisesti. Betonijätteen jalostaminen uusiotuotteeksi on kuvattu kuvassa 22. /13, 23/



Kuva 22. Betonijätteen jalostaminen uusiotuotteeksi /13/

Betonia voidaan käyttää myös saastuneiden maiden kunnostamiseen. Saastunut maa voidaan valaa betoniin. Ekobetonoinnissa saastuneeseen maahan sekoitetaan betonia siten, että haitalliset aineet sitoutuvat betoniin eivätkä pääse liukenemaan ympäristöön. /23/

Kierrätyksellä on betoniteollisuudessa merkittäviä positiivisia ympäristövaikutuksia. Betonia kierrättämällä vähennetään jätteen, kuljetusten ja päästöjen määrää sekä säästytään kaatopaikkamaksuilta ja jäteveroilta ja saadaan myös pienempi materiaalimenekki rakentamisessa. /13, 23/

## 4 OMAT PÄÄTELMÄT

### 4.1 Luonnonvarat

Positiivisena asiana pidän metsäteollisuuden uudistumista ympäristöasioissa viime vuosikymmeninä. Muun muassa Kioton ilmastosopimus on otettu hyvin huomioon. On myös hyvä, että metsiä koskevia lakeja on Suomessa paljon, jolloin pystytään rajoittamaan liiallisia hakkuita ja suojelemaan metsiä. Euroopan unionin myötä Suomen ympäristöpolitiikka muuttui metsiä kohtaan ja luonnolle määriteltiin uusia reunaehtoja, joilla rajataan laajoja hakkuita ja maaperän muokkauksia.

Metsäteollisuus ottaa hyvin ympäristövaikutukset huomioon puhuttaessa hakkuista ja metsänhoidosta, mutta missään ei oteta huomioon biodiversiteetin säilymistä.

Metsäteollisuus kyllä puhuu ekologisen kestävyuden säilyttämisestä, mutta eliölajeja ei ole mielestäni huomioitu tarpeeksi hyvin. Metsää uudistettaessa hakataan suuria pinta-aloja puita pois, jolloin eliöt kärsivät. Kaikkien eliöiden elinympäristön suojelu olisi tärkeää, koska kukin laji toimii omassa elinympäristössään ja näin ollen kukin laji vaikuttaa ekosysteemin ylläpitoon. Myöskään puut eivät saa kasvaa vanhaksi. Viallisia puita kaadetaan ja tuhoetaan, jolloin saadaan massatuotantoa. Mekaaninen puuteollisuus on kuitenkin hyvin pieni energian ja luonnonvarojen kuluttaja verrattuna paperiteollisuuteen.

Puun toimiminen hiilinieluna on myös erittäin positiivista, koska sillä edesautetaan kasvihuonekaasujen määrän vähenemistä. Tämä on hyvä asia nimenomaan puusilloissa, joissa hiili sitoutuu puihin pitkiksi ajoiksi. Metsiä on kuitenkin suojeltava liialta hakkuulta, jotta niiden hiilensidontakyky pysyisi korkeana.

Mielestäni kokonaisuudessaan suomalainen metsäteollisuus minimoi puun käytön ympäristövaikutukset hyvin ja pyrkii kehittämään ympäristöpolitiikkaansa jatkuvasti osaksi tiukkojen lakien painostuksesta mutta myös vapaaehtoisesti. Pidän hienona asiana, että metsäteollisuus ilmoittaa nykyään avoimesti ympäristövaikutuksistaan pakollisten ympäristöraporttien lisäksi. Suomessa myös panostetaan hyvin ympäristömyönteisen puun käytön tutkimus- ja kehittämistoimintaan.

Betonin raaka-aineet otetaan myös luonnosta, jolloin niitä kuluu. Raaka-aineita, kuten kalkkikiveä, hiekkaa ja kiveä on kuitenkin runsaasti saatavilla tällä hetkellä, joten niiden käyttö ei uhkaa luonnonvarojen katoamista. Pidän positiivisena teollisuuden sivutuotteiden käyttöä betonin raaka-aineena, jolloin saadaan materiaaleja hyötykäyttöön ja pystytään vähentämään sementin määrää betonissa. Sora-alueiden jälkihoito hoidetaan Suomessa asianmukaisella tavalla.

## 4.2 Valmistus

Positiivisena puun tuotannossa pidän bioenergian osuutta ja sen hyödyntämistä itse prosessissa. Sahatavaran tuotannon energiankulutus on pienempi kuin mitä prosessi tuottaa bioenergiaa. Bioenergiaa jää tuotannosta myytäväksikin. Puutuoteteollisuus hyödyntää käyttämänsä raakapuun siis kokonaan. Sahanpuru käytetään bioenergian valmistukseen ja puun kuori sen tuotantoon. On myös hienoa, että puutuoteteollisuus on täysin omavarainen lämpöenergian käytössä. Suurimmat energiamäärät kuluvat raakapuun kuivaukseen, joka hoidetaan kuitenkin itse tuotetulla bioenergialla.

Kuvista 15 ja 16 voidaan nähdä sahatavaran ja levyteollisuuden tuotannon ympäristövaikutuksia. Erityisen positiivista on suuri bioenergian osuus tuotantoprosesseissa sekä suhteellisen pienet päästöt ilmaan. Sahateollisuuden ja levyteollisuuden aiheuttamat hiilidioksidipäästöjen määrät ilmaan ovat alhaisempia kuin mitä hiiltä sitoutuu tuotteisiin.

Kokonaisuudessaan puun tuotannon ympäristövaikutukset jäävät alhaisiksi verrattuna muiden rakennusmateriaalien tuotannon ympäristövaikutuksiin. Esimerkiksi kuvasta 17 voidaan nähdä, että betonin valmistus vaatii kaksinkertaisen määrän energiaa sahatavaran valmistukseen verrattuna.

Betonin valmistuksessa negatiivisena pidän suurta energiankulutusta, joka johtuu pääosin sementin valmistuksesta. Betonin valmistuksen muiden vaiheiden energiankulutus on kuitenkin aika pientä, mikä on hyvä asia. Positiivista on, että Suomessa on panostettu ympäristövaikutusten minimoimiseen betonin tuotannossa muun muassa korvaamalla sementtiä muilla teollisuudesta saatavilla sivutuotteilla, kuten lentotuhkalla, joka voidaan käyttää sellaisenaan betoniin. Näin saadaan teollisuusjäte samalla hyötykäyttöön ja vähennetään syntyvän jätteen määrää. Toisaalta kuitenkin sementin korvaaminen muilla aineilla voi johtaa betonin kestävyysominaisuuksien alenemiseen, jolloin syntyy taas lisää ympäristövaikutuksia.

Puuhun verrattuna betonin valmistuksessa on se hyvä puoli, että siinä voidaan käyttää nimenomaan hyödyksi teollisuuden jätettä. Puun tuotannossa näin ei voida tehdä, koska puu itsessään on tuote. Myös betonin valmistusprosessissa käytettävien uunien lämmittämiseen voidaan käyttää vaihtoehtoisia energianlähteitä, kuten käytetyistä renkaista tehtyä kumirouhetta ja lihaluujauhoa. Näin saadaan siis teollisuuden jätettä hyötykäytettyä tätäkin kautta.

Kuljetuksesta aiheutuvat päästöt on huomioitu hyvin sijoittamalla valmisbetonitehtaat lähelle käyttöpaikkaa ja hoidettu kiviaineksen hakeminen lähialueilta. Ympäristökuormia aiheuttaa energiankulutus kaivuussa, louhinnassa ja murskauksessa. Energiankulutus on näissä kuitenkin suhteellisen pientä.

Taulukosta kahdeksan voidaan nähdä, että soran hankinnassa sen kaivuu kuluttaa eniten energiaa. Murskeen valmistuksessa eniten energiaa kuluttaa louhinta, murskaus ja siirrot (taulukko 9).

Kokonaisuudessaan betonin valmistuksen ympäristövaikutukset on minimoitu mielestäni Suomessa hyvin ja niitä kehitetään jatkuvasti. Mietityttämään jää kuitenkin se, kuinka kiviaines voi riittää lähialueella pitkäksi ajaksi, jos betonitehdas pysyy samassa paikkaa koko ajan. Saamieni tietojen perusteella kiviaineksen riittävyys on kuitenkin Suomessa rajatonta tällä hetkellä, joten jos tähän on uskomisen, niin kuljetukset ja samalla päästöt voivat pysyä alhaisina. Betonin valmistuksen energiankulutus on kuitenkin paljon suurempaa kuin puun tuotannossa. Sementtimäärää vähentämällä voidaan pienentää suuresti betonin tuotannon ympäristövaikutuksia.

#### 4.3 Kemikaalit

Painekyllästetyn puun kemikaalit ovat pahoja ympäristömyrkkyjä. Painekyllästystä on kuitenkin pakko käyttää puusilloissa Suomen olosuhteissa. Ilman suojausaineita puun kestävyys silloissa on paljon huonompi kuin betonilla. CCA-kyllästeen sisältämä kerosiittiöljy on tehokas kemikaali, mutta sen aineet eivät kiinnity puuhun pysyvästi, vaan haihtuvat ja liukenevat ympäristöön. Se on erittäin myrkyllistä ympäristölle, mutta sen käyttö on välttämätöntä puusiltojen pylväissä niiden kestävyuden vuoksi. Kreosiittiöljyn sisältävät aineet ovat syöpävaarallisia tai perimän muutosta aiheuttavia, joten sen aiheuttamat ympäristövaikutukset ovat todella negatiivisia.

Lähes kaikki puun modifioinnissa käytetyt kemikaalit (maalit, liimat, lakat, sinistymänestoaineet) ovat erittäin myrkyllisiä ihmisille ja ympäristölle ja monet ovat syöpää aiheuttavia. Verrattaessa betonisiltaan sisältää puu paljon enemmän haitallisia kemikaaleja. Aineet aiheuttavat ihoärsytystä, allergiaa ja jopa syöpää ihmisillä, joten ne ovat myös ympäristöön päästessään haitallisia muillekin eliöille.

CCA-kyllästetystä puusta liukenee maahan ja veteen myös arseenia, kromia ja kuparia, jotka eivät hajoa, vaan kertyvät eliöihin ja ympäristöön. Nämä myös lisäävät omalta osaltaan puun kemikaalien negatiivisia ympäristövaikutuksia.

Positiivisena asiana pidän Valtioneuvoston ja ympäristökeskuksen asettamia rajoituksia puunsuojakemikaalien käytölle. Myös Euroopan unioni on ollut apuna siihen, että puuteollisuudessa on ollut pakko vähentää liuottimien käyttöä ja näin on saatu vähennettyä liuotinpäästöjä. Suomen nykyinen tiukka kemikaalilainsäädäntö ja sen hyvä noudattaminen kertoo Suomen kiinnostuksesta ympäristöä kohtaan ja sitoutumisesta kestäväan kehitykseen ja parempaan tulevaisuuteen.

Mielestäni Suomessa on kuitenkin aikaisemmin suhtauduttu liian löysästi kemikaalien aiheuttamiin vaaroihin, josta on hyvänä esimerkkinä sinistymänestoaineena puissa aikaisemmin käytetty KY- 5. Sen luultiin olevan alkuun vaaratonta, kunnes huomattiin, että se onkin erittäin myrkyllistä. Otetaan siis myrkyllisiä kemikaaleja käyttöön vielä tietämättä niiden vaikutuksista. Nykyään kuitenkin rajoituksia on tullut onneksi lisää ja tutkimusta tehdään enemmän. Huono asia on, että suolakyllästeitä käytetään edelleen silloissa, vaikka tiedetään niiden negatiivisista vaikutuksista. Toisaalta niiden käyttö on välttämätöntä siltojen kestävyden takia.

Betonin pinnoituksessa käytetyt epoksihartsit eivät ole niin myrkyllisiä kuin monet puussa käytetyt kemikaalit, koska ne eivät ole haihtuvia. Niistä muodostuu suuria pitoisuuksia ilmaan vain sumua synnyttävissä prosesseissa. Betonin sisältämien kemikaalien ympäristövaikutuksista tekee ongelmallista se, että sementin valmistus kuluttaa paljon energiaa, jota voidaan korvata masuunikuonalla ja lentotuhkalla. Nämä taas sisältävät ympäristölle haitallisia aineita kuten raskasmetalleja, joiden haitallisia ympäristövaikutuksia on esitetty edellisissä kappaleissa.

Kokonaisuudessaan betoniteollisuudessa käytettyjen kemikaalien ympäristövaikutukset ovat melko alhaiset, koska käytetyt raaka-aineetkaan eivät ole vaarallisia. Positiivista on se, että Suomessa on myös betonille olemassa määräykset, millä edellytyksillä seosaineita voidaan käyttää (betoninormit).

#### 4.4 Päästöt

Sahatavaran valmistuksessa eniten ilmanpäästöjä tulee hiilidioksidista, kuten voidaan nähdä taulukosta 12. Myös levyteollisuuden suurimmat päästöt ilmaan ovat hiilidioksidipäästöjä, joita syntyy pääosin raaka- aineiden valmistuksessa (taulukko 13). Kuten jo aiemmin on todettu, puutuotteet sitovat hiiltä itseensä pitkiksi ajoiksi enemmän kuin hiiltä vapautuu ilmaan, joten tämä neutralisoi päästöjä. Päästöt ilmaan kokonaisuudessaan ovat suhteellisen pieniä.

Taulukosta 14 voidaan nähdä, että sementin tuotanto aiheuttaa suurimmat päästöt betonin valmistuksessa. Sementin tuotanto aiheuttaa valtavan määrän hiilimonoksidipäästöjä (häkä) sekä hiilidioksidipäästöjä. Myös kuvasta 21 voidaan nähdä sementin valmistuksen suuruus fossiilisten polttoaineiden käyttäjänä verrattuna muuhun tuotantoon.

Betoniteollisuudessa on mielestäni huomioitu hyvin päästöjen minimointi pienillä kuljetusmatkojen suunnittelulla ja paikan päällä valamisella. Lisäksi on pyritty vähentämään sementin määrää, koska sen polttamisessa syntyy suurin osa päästöistä. Sementin korvaaminen lentotuhkalla ei kuitenkaan välttämättä ole parempi vaihtoehto, koska se sisältää puolestaan ympäristölle myrkyllisiä aineita, kuten edellä on todettu. Verrattaessa hiilidioksidipäästöihin lentotuhka on kuitenkin parempi vaihtoehto (taulukko 11).

Betonin valmistuksen hiilidioksidipäästöt ovat kokonaisuudessaan aika paljon suuremmat puutuoteteollisuuteen verrattuna.

#### 4.5 Jätteet ja kierrätys

Negatiivisena asiana pidän puusta syntyvää ongelmajätettä. Käytöstä poistettuja puusiltoja ei voida kierrättää, koska painekyllästetty puu on ongelmajätettä. Hyvä puoli on, että ongelmajätteitä pystytään käsittelemään vaarattomiksi.



Toisaalta niiden poltossa syntyy paljon savukaasupäästöjä, joka antaa oman kuormansa ympäristölle. Huono puoli on myös se, että lähes kaikki puun modifioinnissa käytetyt kemikaalit (maalit, lakat, liimat, torjunta-aineet) ovat ongelmajätettä.

Positiivista on se, että Suomessa puun käsittelyssä syntyvät ongelmajätteet ovat luokiteltu omaan luokkaansa, joka helpottaa niiden lajittelua ja käsittelyä. Näiden jätteiden käsittely vaarattomaksi on hoidettu Suomessa hienosti. Myös ongelmajätteiden poltossa syntyvä energia ja prosessissa syntynyt kuona hyödynnetään Suomessa, mikä on hyvä asia.

Kokonaisuudessaan pidän puusilloista syntynyttä jätettä ongelmallisena, koska sitä ei pystytä kierrättämään tai uusiokäyttämään. Lisäksi puukyllästämöt ovat yksi merkittävä pilaantuneiden maa-alueiden aiheuttaja. Tämä aiheutuu puukyllästämöiden toiminnasta, joiden maaperästä löytyy usein arseenia, kromia, kuparia ja lyijyä.

Pidän erittäin positiivisena betonin kierrätettävyyttä. Lisäksi betonisillat säilyvät käytössä pitkään. On myös hyvä, että betonijäte luokitellaan eri ryhmiin, joilla voidaan helpottaa sen kierrätysprosessin etenemistä. Betonin uusiokäyttö on monipuolista eri kohteissa, kuten aiemmin on esitetty, ja sitä kehitetään Suomessa jatkuvasti.

Betonin kierrätys on tehty jätteen tuottajalle helpoksi ja taloudelliseksi, koska kierrätettäessä betonia vältytään jäteverolta. Se kannustaa betonin kierrätykseen, joka on hieno asia. Sen kierrätettävyys on hyvin suurta Suomessa. Varsinaista betonijätettä syntyy siis aika vähän ja näin verratessa puuhun betoni onkin uusiokäyttöisempi materiaali.

Kokonaisuudessaan kierrätyksellä on betoniteollisuudessa merkittäviä positiivisia ympäristövaikutuksia, koska sitä kierrättämällä vähennetään jätteen, kuljetusten ja päästöjen määrää sekä säästetään kaatopaikkamaksuilta ja jäteveroilta ja saadaan myös pienempi materiaalimenekki rakentamisessa.

#### 4.6 Yhteenveto

Betonin ympäristövaikutuksia tarkasteltaessa syntyy ristiriitaa, koska jos keskitytään raaka-aineiden ympäristövaikutuksiin ja keskitytään pienentämään ympäristöä kuormittavien aineiden osuutta (mm. sementti), niin ei saada tarpeeksi kestäviä tuotteita. Betonin käyttöäksi silloissa suunnitellaan kuitenkin sataa vuotta, joten materiaalien olisi oltava kestäviä.

Tässä työssä ei käsitelty kaikkia mahdollisia kemikaaleja, joita puu- ja betonisilloissa on käytetty. On kuitenkin selvää, että monet kemikaalit ovat erittäin myrkyllisiä. Verrattaessa betonisiltaan sisältää puu paljon enemmän haitallisia kemikaaleja, kun taas betonin heikkous tulee suuremmissa energian kulutuksissa ja päästöissä. Positiivista betonissa on sen kierrätettävyyys. Negatiivista puussa on se, että se on ongelmajätettä.

On huomioitava, että tässä työssä on käsitelty ainoastaan osa puu- ja betonimateriaalien ympäristövaikutuksista siltarakenteissa. Näiden perusteella ei voida tehdä jyrkkiä kannanottoja, kumpi materiaali olisi parempi vaihtoehto sillanrakennuksessa. Työssä käsiteltyjä ympäristövaikutuksia on kuitenkin pyritty tarkastelemaan kattavasti pääpiirteet poimien, jolloin saadaan jonkinlainen kuva materiaalien vaikutuksista ympäristöön.

Työn aihe oli laaja ja työ itsessään oli haastava. Työ oli rajattava ja laajuuden vuoksi eikä tässä työssä ole siksi käsitelty kaikkia mahdollisia aiheeseen liittyviä asioita ja vaikutuksia. Toivon työn antavan kuitenkin suuntaa tästä aihealueesta ja olevan apuna näitä materiaaleja verrattaessa ympäristönäkökohdista.

## LÄHTEET

- 1 Isomäki, Koponen, Nummela, Suomi- Lindberg, Puutuoteteollisuus 2: Raaka- aineet ja aihiot. Opetushallitus. Edita Prima Oy. Helsinki 2002. 154 s.
- 2 Isotalo, Kaija, Puu- ja sellukemia. Opetushallitus. Edita Prima Oy. 2004. 149 s.
- 3 PuuProffa.[ www- sivu ]. [ viitattu 19.12.2005 ]  
Saatavissa: <http://www.puuproffa.fi/arkisto/>
- 4 Aulis, Matti, Voutilainen Matti, Puulla Yrittämään. Opetushallitus. Hakapaino Oy. Helsinki 1996. 199 s.
- 5 Opetushallituksen verkkopalvelu. [ www- sivu ]. [ viitattu 29.12.2005 ]  
Saatavissa: <http://www.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/>
- 6 Tampereen teknillinen yliopisto. Materiaalitekniikan laitos.[ www-sivu ].[ viitattu 29.12.2005 ]  
Saatavissa: [http://www.ims.tut.fi/vmv/2004/vmv\\_2\\_1\\_7.php](http://www.ims.tut.fi/vmv/2004/vmv_2_1_7.php)
- 7 Keski- Pohjanmaan ammattikorkeakoulu [ www- sivu ]. [ viitattu 29.12.2005 ]  
Saatavissa: <http://yliyveska.cop.fi/amp00/Opiskelijat/lamsa/opintotuotokset/Opintojakso3/Oppteht1-10.htm>
- 8 Rakennustieto ohjekortit, RT 21-10750, RT 21- 10572 [ www- sivu ]. [ viitattu 2.1.2006 ]  
Saatavissa: <http://www.rakennustieto.fi/rtnet/>
- 9 Jussila Ari, Kuikka Kalervo, Mononen Matti, Voutilainen Matti, Vuorenmaa Martti, Puutekniikka- Tuotantotekniikka. Otavan Kirjapaino Oy. Keuruu 1999. 232 s.
- 10 Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu. Kyllästetyn puun käyttö ja hävittäminen. [ www- sivu ]. [ viitattu 10.1.2006 ]. Saatavissa:  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=125739&lan=fi>
- 11 Suomen Betoniyhdistys Ry. Betonitekniikan oppikirja. Suomen Betonitieto Oy. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä 1999. 556 s.
- 12 Suomen Betoniyhdistys Ry. [ www- sivu ]. [ viitattu 9.1.2006 ]  
Saatavissa: <http://www.betoni.com/fi/>
- 13 Lohja Rudus Oy. [ www- sivu ]. [ viitattu 9.1.2006 ].  
Saatavissa: <http://www.lohjarudus.fi/>
- 14 Tekniikka ja Talous [ www- sivu ]. [ viitattu 12.1.2006 ]  
Saatavissa: [http://tekniikkatalous.com/doc.te?f\\_id=680186](http://tekniikkatalous.com/doc.te?f_id=680186)
- 15 Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennusbetonin elinkaarianalyysi.[www- sivu ] . [ viitattu 12.1.2006 ] Saatavissa: <http://www.students.tut.fi/~varria/BETONI2.htm>
- 16 Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu. Ympäristöministeriön asetus betonirakenteista. Ohjeet 2005. [ www-sivu ]. [ viitattu 13.1.2006 ] Saatavissa:  
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=17790&lan=fi>

17 Tie- ja vesirakennushallitus. Sillansuunnittelutoimisto. Silta ja Ympäristö. Helsinki 1987. 80 s.

18 Antti Rämetsä, Jorma Tuura, Tiehallinto, Sillantarkastusohje. Edita Prima Oy. Helsinki 2004. 101 s.

19 Tielaitoksen selvityksiä 1 /1999, Geotekniikan informaatiojulkaisuja, Siltojen pohjatutkimukset. Tielaitos. Tiehallinto. Oy Edita Ab. Helsinki 1999. 69 s.

20 Diplomi- insinööri Ilkka Vilonen, Silta- ja taitorakenteet. Ramboll Finland Oy. Saatua materiaalia. Tampere 2005.

21 Kestävä kivitalo, Raudoitukset. [ www- sivu ]. [ viitattu 15.1.2006 ] Saatavissa: <http://www.kivitalo.fi/raudoitus/default.asp?cat=38>

22 FINLEX- Valtion säädöstietopankki. Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 10.6.1994/468 [ www- sivu ]. [ viitattu 24.1.2006 ]  
Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940468>

23 Rakennustuoteteollisuus RTT ry, Betonirakenteiden ympäristövaikutukset. Suomen Betonitieto Oy. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä 1998. 104 s.

24 Huovila Pekka, Häkkinen Tarja, Koskela Sirkka, Leivonen Jorma, Pylkkö Tapio, Seppälä Jyri, Tattari Kai, Vares Silja, Rakennus- ja kiinteistöalan ekotehokkuus. Ympäristöministeriö. Asunto- ja rakennusosasto. Edita Prima Oy. Helsinki 2002. 162 s.

25 Tiehallinto [ www- sivu ]. [ viitattu 25.1.2006 ] Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/>

26 WWF [ www- sivu ]. [ viitattu 25.1.2006 ] Saatavissa: <http://www.wwf.fi/ymparisto/metsat/>

27 Metsähallitus [ www- sivu ]. [ viitattu 25.1.2006 ] Saatavissa: [www.metsa.fi/](http://www.metsa.fi/)

28 Metsäteollisuus Ry. Ympäristönsuojelun vuosikirja. Saha- ja levyteollisuus. Sävypaino. Espoo 2000. 56 s.

29 Woodfocus- puuinfo [ www- sivu ]. [ viitattu 31.1.2006 ]  
Saatavissa: <http://www.woodfocus.fi/>

30 Suomen Betoniyhdistys Ry. Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet 2003. Suomen Betonitieto Oy. Helsinki 2003. 168 s.

31 Teknoankkuri Oy [ www- sivu ]. [ viitattu 31.1.2006 ]  
Saatavissa: <http://www.teknoankkuri.fi/Betonin%20kest%C3%A4vyydest%C3%A4.htm>

32 Metsäteollisuus Ry. Oy [ www- sivu ]. [ viitattu 4.2.2006 ] Saatavissa: <http://www.forestindustries.fi/>

33 Leinonen Riitta, Nikunen Esa, Ympäristölle vaaralliset kemikaalit, Riskinarviointi ja luokitus. Kemianteollisuus Ry. Hakapaino Oy. Helsinki 2002. 142s.

34 Kemikaalit ja työ. Selvitys työympäristön kemikaaliriskeistä. Työterveyslaitos. Vammalan Kirjapaino Oy. Helsinki 2005.320s.

35 Aspholm Juha, Rajala Päivi, Polykloorifenoleilla ja PCDD/F- yhdisteillä pilaantuneet saha-alueet Länsi- Suomen ympäristökeskuksen alueella. Alueelliset ympäristöjulkaisut. Länsi-Suomen Ympäristökeskus. Ykkös- Offset Oy. Vaasa 2003. 62s.

36 Pleym Harald, Ympäristötekniikka. Tammertekniikka. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä 1991.324s.

37 Ekokem OyAb. [ www- sivu ]. [ viitattu 16.2.2006 ] Saatavissa: [www.ekokem.fi/](http://www.ekokem.fi/)

38 Ilmatieteen laitos. Ilmakehän ABC . [ www- sivu ]. [ viitattu 15.3.2006 ] Saatavissa: <http://www.fmi.fi/abc/?N=76>

## LIITTEET

1 Yleisimpiä siltatyyppejä

2 Betonituotteen elinkaari virtauskaaviona