

# Puun lahonkestävyys ja kosteusdynamikka Kirjallisuustutkimus

Petri Kärenlampi

SUMMARY: THE DECAY RESISTANCE AND MOISTURE DYNAMICS OF WOOD. A LITERATURE STUDY

Kärenlampi, P. 1987. Puun lahonkestävyys ja kosteusdynamikka. Kirjallisuustutkimus. Summary: The decay resistance and moisture dynamics of wood. A literature study. *Silva Fennica* 21(2): 123–133.

Laboratoriokokeissa on puulajin luontaisista ominaisuuksista vain sydänpuosuuden todettu vaikuttavan selvästi lahonkestävyyteen. Puu kostuu ja kuivuu diffuusiolla varsin hitaasti. Männyn mantopuu kostuu kapillaarisesti nopeammin kuin männyn sydänpuu ja kuusi. Myös männyn mantopuun kosteuseläminen on suurinta. Kyllästäväällä männyn mantopuuta voidaan saavuttaa parempi kosteudenhylkivyyks ja mittapysyvyys kuin mitä männyn sydänpuulla on.

In laboratory studies the heartwood content seems to be the only natural property of a wood species influencing the decay resistance. Moistening and drying by diffusion happen quite slowly. Pine (*Pinus sylvestris* L.) sapwood takes moisture capillaryly quicker than pine heartwood and spruce (*Picea abies* Karst.) wood. Swelling and shrinking are also greatest in pine sapwood. Impregnation of pine sapwood can give it better moisture repellency and dimensional stability than that of pine heartwood.

Keywords: diffusion, capillarity, swelling, shrinkage, decay susceptibility  
ODC 844+812.2+814.1+842.2

Author's address: University of Helsinki, Department of Logging and Utilization of Forest Products, Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki, Finland.

Approved on 13. 4. 1987

## 1. Johdanto

Säälle tai muuten kosteuden- ja lämpötilan vaihteluille alttiina olevien puurakenteiden vaurioituminen ja niiden korjaamisen korkeat kustannukset ovat olleet aiheena tämän kirjallisuuskatsauksen laatimiselle.

Vuosina 1985–1986 tehtiin Ruotsin maatalousyliopistossa kirjallisuustutkimus puun ominaisuuksista ja mikro-organismien ai-

heuttamasta puun hajoamisesta (Kärenlampi ym. 1987). Tässä referoidut lahonkestävyyttä koskevat koetulokset perustuvat tähän työhön.

Koska puun kostumisnopeus yksittäisen sateen aikana saattaa olla oleellinen selittäjä sen kosteudelle ja edelleen lahoamiselle, päätettiin puun kostumista ja kuivumisesta sekä

kosteuden muutoksista aiheutuvaa turpoamista ja kutistumista selvittää kirjallisuudesta. Puun kostumisesta ja kuivumisesta sekä sen kosteuselämisestä käytetään tässä nimitystä kosteudydinamiikka.

Työtä metsäteknologian laitoksella ohjasi Matti Kärkkäinen. Hänen lisäksi käsikirjoituksen tarkasti Olli Uusvaara. Lahonkestävyyttä koskevan kirjallisuuden koaamisessa Per Milberg teki merkittävän työn. Barbara Henders tarkasti englanninkielisen tekstin.

## 2. Puun lahonkestävyys

Grönlundin ym. (1979) mukaan männyn sydänpuulla on männyn mantopuuhun verrattuna kolme etua ikkunanvalmistuksen raaka-aineena. Sydänpuussa vesi liikkuu hitaammin ja maksimaalinen kutistuminen on pienempi kuin mantopuussa. Sydänpuun uuteaineisiin kuuluu pinosylviinifenoleita, joilla on fungisidinen vaikutus. Vastaavien aineiden vaikutus kuusen sydänpuussa ei liene yhtä merkittävä (Ekman 1980).

Laboratoriokokeissa männyn sydänpuun painohäviöiden lahoajien vaikutuksesta on todettu olevan selvästi vähäisemmät kuin mantopuun (mm. Bavendamm 1943, Rennerfelt 1947a, Väisälä & Vihavainen 1979). Vastaava ilmiö on todettu kuusen sydän- ja mantopuun välillä (Gäumann 1930).

Bergmanin ja Mazurin (1982) kenttäkokeiden tuloksista käy ilmi, että kuusen sydänpuu on maakosketuksessa kestävämpää kuin kuusen ja männyn mantopuu.

Grönlund ja Rydell (1983) totesivat vaurioituneita ikkunapuitteita inventoitaessa, että männyn sydänpuu oli myös käytännössä kestänyt kauemmin kuin männyn mantopuu.

Kun laboratoriokokeissa on tutkittu männyn ja kuusen lahoamisnopeutta vuosiluston leveyden funktiona, tulokset ovat olleet hiukan vaihtelevia (mm. Rennerfelt 1947a, Nylinder & Rennerfelt 1954, Courtois 1970, Rydell 1982). Selvää tendenssiä ei ole havaittavissa, mikä oli myös Rydellin (1981a) kirjallisuustutkimuksen tulos. Myöskään Grönlundin ja Rydellin (1983) ikkunainventoinnissa ei havaittu riippuvuutta vuosiluston leveyden ja lahoamisasteen välillä.

Laboratoriossa tehdyissä lahotuskokeissa Courtois (1970) ei löytänyt kuusella eikä Rydell (1982) männyllä riippuvuutta puun tiheyden ja sen lahoamisnopeuden välillä.

Boutelje ja Nilsson (1985) saivat puulajin ja sienilajin suhteen kumpaankin suuntaan vaihtelevia tuloksia.

Grönlundin ja Rydellin (1983) ikkunainventointi ei antanut aihetta olettaa, että tiheydellä olisi käytännössä merkitystä.

Männyn sydänpuuosuus Pohjois-Ruotsissa on suurempi kuin maan eteläosissa (Grönlund ym. 1979), mutta pinosylviinipitoisuus vaihtelee päinvastaisesti (Erdtman ym. 1951).

Erot sydänpuuosuudessa ja lahonkestävyydessä yhden kasvupaikan sisällä ovat varsin suuria (mm. Rennerfelt 1947a, Grönlund ym. 1979, Boutelje & Nilsson 1985).

Kasvavaa metsää eri tavoin käsittelemällä voidaan lisätä puun uuteainepitoisuutta (Jalava 1952, Kärkkäinen 1981, Bergman 1982). Ei ole kuitenkaan osoitettu, että uuteainepitoisuus sinänsä vaikuttaisi lahonkestävyyteen; lisääntyvät uuteaineet saattavat olla niitä, joilla ei ole fungisidista vaikutusta.

Lannoituksen ei ole todettu vaikuttavan merkittävästi puun tyypipitoisuuteen eikä lahonkestävyyteen (Cowling ym. 1969, Vihavainen 1975, Schmidting & Amburgey 1977).

Pystykarsinta saattaa nopeuttaa sydänpuun muodostusta (ks. Kärkkäinen 1985a, Thörnqvist 1986). Harvennuksella saattaa olla päinvastainen vaikutus (Ericson 1966).

Hakkuuajankohdan vaikutuksesta puun lahonkestävyyteen on järjestetty runsaasti laboratoriokokeita (mm. Gäumann 1930, 1932, 1938, Nylinder & Rennerfelt 1954, Wazny & Krajewski 1984). Tulokset kokonaisuutena eivät merkittävästi tue olettamusta, että hakkuuajankohdalla olisi vaikutusta lahonkestävyyteen (mm. Boutelje 1984a, 1984b, Boutelje & Nilsson 1985).

Hakkuun jäkeisellä metsävarastoinnilla saattaa olla merkitystä lämpimänä vuoden aikana, tosin lähinnä sinistymän kannalta (mm. Nylinder 1962, Henningsson & Lundström 1974).

Useimmissa lahotuskokeissa ei ole havaittu riippuvuutta vesivarastoinnin ja lahonkestävyyden välillä (mm. Boutelje ym. 1977, Boutelje & Nilsson 1985).

Vesivarastointi lisää puun permeabiliteettia (mm. Liese & Karnop 1968, Henningsson & Jermer 1980, Bergman 1984). Tällä on merkitystä kyllästyvyyden ja ehkä myös vedenhylkivyyden kannalta (Le Poidevin 1985).

Kuivaustapa (lautatarha- tai uunikuivaus) ei vaikuta olennaisesti lahonalttiuteen (mm. Rydell 1981b, Boutelje 1984a, 1984b).

## 3. Puun kostuminen ja kuivuminen

### 31. Yleistä

Puutieteen oppikirjojen mukaan (mm. Kärkkäinen 1985a) vesi voi tulla puuhun kolmella tavalla: kapillaarisesti nesteinä tai höyrynä soluonteloiden kautta tai molekulaarisena diffuusiona soluseinämän läpi.

Puunsiiden kyllästymispistettä alemmissa kosteuksissa vesi siirtyy sekä diffuusiolla että kapillaarisesti; diffuusio toimii puuta ympäröivän kaasun suhteellisen kosteuden muuttuessa ja kapillaari-ilmiö puun joutuessa veden kanssa tekemisiin. Kyllästymispistettä ylemmissä kosteuksissa veden liike aiheutuu lähinnä kapillaarisesti vaikuttavista voimista (ks. mm. Koponen 1983a). Veden siirtymisen diffuusiolla tarkoitetaan kosteuskonsetraatioiden tasoittumista puun ja sitä ympäröivän faasin välillä molekyylien lämpöliikkeen vaikutuksesta. Kapillaarisessa veden liikkeessä veden pintajännitys on oleellinen nestettä siirtävä voima; pintajännitys taas aiheutuu nestemolekyylien välillä vaikuttavista voimista.

Koposen (1985) mukaan suomalaisten havupuiden puunsiiden kyllästymispisteet ovat huoneenlämmössä 27...29 % kosteussuhteessa eli n. 21...23 % kosteudessa. Vaihteluvälin alapään muodostaa männyn sydänpuu ja yläpään männyn mantopuu sekä kuusi. Korkeammassa lämpötiloissa kyllästymispisteet ovat alemmat.

Esimerkiksi Kärenlammen ym. (1986) kirjallisuustutkimuksesta käy ilmi, että useimpien lahoajien toiminnan optimikosteus on puunsiiden kyllästymispisteen yläpuolella.

Kuivan puun alkaessa kostua esimerkiksi sateen vaikutuksesta, se saavuttaa lahoajia-

sienille otollisen kosteuden sitä nopeammin, mitä korkeampi puun kosteus on ollut ennen sadetta. Näin ollen veden siirtymisnopeudella puussa on merkitystä myös puunsiiden kyllästymispisteen alapuolella; etenkin, kun muun muassa Kärkkäisen (1985a, s. 189–205) mukaan puun mittojen ja muodon muutokset kosteuden funktiona tapahtuvat pääasiallisesti tällä alueella.

### 32. Kosteuden diffuusio

Koponen (1984) on järjestänyt puun kostutus- ja kuivauskokeita puunsiiden kyllästymispistettä alhaisemmissa kosteustiloissa eli sorptioalueella. Lämpötila oli 20°C ja ilman suhteellinen kosteus absorptiokokeissa 96 % ja desorptiokokeissa 67 %. Kosteutta säädeltiin kylläisten suolaliuosten avulla. Kuivauskokeet tehtiin sekä seisovassa että 3 m/s liikkuvassa ilmassa.

Kappaleiden kosteuden muutoksia tutkittiin punnitsemalla. Kosteusvuo määritettiin kappaleen massan muutoksena siirtymispinnan pinta-alayksikköä kohti, ja sitä tutkittiin ajan funktiona. Kosteusvuot redusointiin vastaamaan tiettyä puun ominaisuuksia, joilla todettiin olevan korrelaatiota kosteusvuon kanssa ja jotka vaihtelivat koelaitteistossa.

Koposen (1984) korrelaatiomatriiseista ei voida havaita selvää riippuvuutta sydänpuuosuuden ja kosteusvuon välillä. Koponen itse arvelee riippuvuuden olevan positiivisen, mutta varsin heikon.

Johansson (1977) järjesti mäntypuun kostutuskokeita lisäämällä ilman suhteellista kosteutta lähtöarvoista. Osassa kokeista saa-

tiin tukea hypoteesille sydänpuun hitaamasta kostumisesta, osassa ei.

Käytännön johtopäätöksenä voidaan pitää, että kosteuden diffuusionopeudessa männyn sydän- ja mantopuuhun ei ole olennaista eroa.

Koposen (1984) korrelaatiomatriiseista ei tämän kirjoittaja voinut vetää selviä johtopäätöksiä vuosiluston leveyden ja kosteuden diffundoitumisnopeuden riippuvuudesta. Koponen itse arveli riippuvuuden olevan negatiivisen.

Yli kolmenkymmenen tunnin kostutusa-joilla Koposen (1984) kokeissa kosteusvuot olivat kuusessa suurempia kuin männynsyiden ja tangentin suunnassa.

Kuivauksessa männyn tiettyjä ominaisuuksia vastaamaan redusoidut kosteusvuot olivat yleisesti korkeampia kuin kuusen. Tämä ei kuitenkaan pitänyt paikkaansa tangentiaalisen ja radiaalisen kuivausvuon kohdalla ilmavirran vaikuttaessa.

Kosteus ei siirry diffuusiolla kovin nopeasti. Koposen (1984) kokeissa 160 tunnin kostutus- ja kuivausajoilla kosteusvuo oli säteen ja tangentin suunnassa alle  $1 \text{ kg/m}^2$  ja syiden suunnassa  $2 \dots 3 \text{ kg/m}^2$ . Ensimmäisen 20 tunnin aikana kosteusvuot olivat säteen ja tangentin suunnassa alle  $0,3 \text{ kg/m}^2$  ja syiden suunnassa alle  $1 \text{ kg/m}^2$ .

Diffuusiolla on käytännön merkitystä ikkunarakenteissa lähinnä kuivattajana. Koska syiden suuntien poikittaisleikkaukset ovat yleensä toisiaan vasten saumattuja tai ainakin niiden vapaa pinta-ala on pieni, kuivumisdifffusio tapahtuu suhteellisen suurelta osin tangentiaali- ja radiaalisuunnissa.

Koposen (1984) kokeissa männyn desorptio oli kuusen desorptiota nopeampaa. Tätä suhteellista etua ei välttämättä ole ko. aineiston ulkopuolella, ja erot eivät olleet kovin suuria.

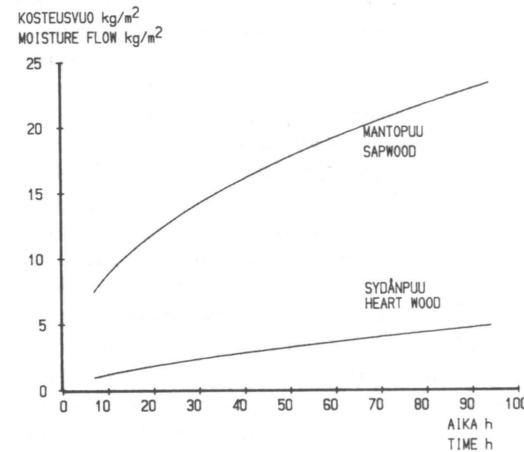
### 33. Kosteuden kapillaarinen siirtyminen

Kapillaari-ilmio on kosteudensiirtäjänä huomattavasti diffuusiota nopeampi. Kosteus siirtyy kapillaarisesti myös puunsyiden kylälästympisteiden alapuolella, jos puu joutuu suoranaisesti veden kanssa tekemisiin. Täten sateelle alttiiksi joutuvien puurakenteiden, mm. ikkunoiden ulkorakenteiden kostuminen tapahtuu pääasiassa kapillaarisesti.

Koponen (1983b) tutki kosteuden siirtymistä puukappaleisiin vesiliotuksessa. Voitaan olettaa, että pääasiallinen kosteudensiirtymistapa oli kapillaarinen. Ainakin vesiliotus kuvanee varsin hyvin veden kanssa esim. sateessa kosketukseen joutuneen kappaleen kostumista.

Koposen (1983b) liotuskokeissa männyn sydänpuuosuus korreloi voimakkaasti negatiivisesti kosteusvuon kanssa sekä syiden että tangentin suunnassa. Syiden suunnassa mantopuu imi ensimmäisten 20 tunnin aikana noin viisinkertaisen vesimäärän sydänpuuhun verrattuna (kuva 1). Säteen suunnassa sydänpuun vaikutusta ei tutkittu. Vastaavan tuloksen männyn mantopuun sydänpuuta nopeammasta kostumisesta vesiliotuksessa on saanut mm. Johansson (1977): monidimensionaalisessa kosteudensiirtymisessä mantopuu vettyi  $3 \dots 4$  kertaa enemmän 20 tunnin liotusajalla.

Myös teoreettisesti ajatellen on oletettavaa, että sydänpuumuodostus ehkäisee kapillaarista kosteudensiirtymistä; liittyyhän sydän-



Kuva 1. Männyn tiettyjä ominaisuuksia vastaamaan redusoidut kosteusvuot sydän- ja mantopuun vesiliotuksessa veden siirtyessä syiden suunnassa (Koponen 1983b). Tiheys  $450 \text{ kg/m}^3$ , kesäpuuosuus 20 %, vuosiluston leveys 1,5 mm.

Figure 1. Moisture movement during water soaking of pine (*Pinus sylvestris* L.) sapwood and heart wood with certain properties. Water flow along the grain (Koponen 1983b). Density  $450 \text{ kg/m}^3$ , latewood content 20 %, annual ring width 1.5 mm.

puunmuodostukseen mm. aspiroitumista, jossa trakeidien väliset huokokset tukkeutuvat. Lisäksi pihkatiehyet ja osin trakeidit tukkeutuvat pihkasta.

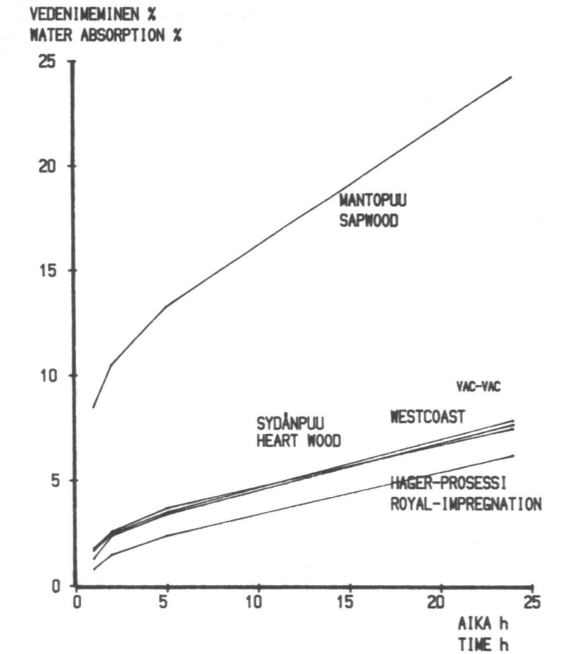
Kuusen redusoitu kosteusvuo syiden suunnassa Koposen (1983b) vesiliotuskokeessa oli männyn sydänpuun kosteusvuota suurempi, mutta männyn mantopuun kosteusvuota selvästi pienempi. Kuusen mantopuun kosteusvuo vastasi suunnilleen sellaisen männyn redusoitua kosteusvuota, jonka sydänpuuosuus on 50 %.

Sekä männyn että kuusella kosteusvuo oli suurempi säteen kuin tangentin suunnassa. Verrattuna syiden suuntaiseen kosteusvuohon veden siirtyminen oli varsin vähäistä. Ensimmäisen 20 tunnin aikana männyn syiden suunnassa kosteusvuot olivat  $2 \dots 10 \text{ kg/m}^2$  ja kuusen n.  $3 \text{ kg/m}^2$ . Säteen ja tangentin suunnassa kuusen kosteusvuot ensimmäisen 20 tunnin aikana olivat luokkaa  $0,5 \text{ kg/m}^2$  ja männyn mantopuun n.  $1 \text{ kg/m}^2$ . Veden siirtymisnopeus kapillaarisesti on siis 20 tunnin kostutusajalla vähintään  $2 \dots 3$  kertaa suurempi kuin diffuusiokostumisen nopeus.

On huomattava, että vaikka kosteudensiirtymispotentiaali syiden suunnassa on suurin, käytännölliseltä kannalta säteen ja tangentin suuntaiset kosteudensiirtymisominaisuudet ovat vähintään yhtä tärkeitä. Tämä johtuu siitä, että vakavimmin sateen vaikutukselle alttiiksi joutuvat vaakatasossa olevat puukappaleet, joissa veden etenemissuunta täten on syiden suuntaa vastaan. Erityisen ongelmallisessa asennossa ovat ikkunoiden alapuutteet, joiden pinnalle valuu lasiruutuun satanutta vettä.

Kärkkäinen (1985b) arveli vuosiluston leveyden kasvaessa kuusipuun permeabiliteetin vähenevän. Tämä johtuu vähemmän aspiroituvan kesäpuun suuremmasta osuudesta tiheälustoisessa puussa.

Johansson (1977) kokeili kolmella eri tavalla käsitellyn männyn mantopuun vedenimemistä vesiliotuksessa. Käsitellyillä saatiin kostuminen hidastumaan männyn sydänpuun tasolle, ns. Hager-prosessilla käsitellyllä puulla jopa sitä hitaammaksi (kuva 2). Hager-prosessi oli suolaperusteisen painekyllästyksen ja kasvisöljyperusteisen tyhjäkyllästyksen kombinaatio, josta käytetään myös nimitystä Royal-kyllästys. Toisin kuin Koposen (1984) kokeissa, veden liike ei ollut yksidimensionaalinen.



Kuva 2. Kolmella eri tavalla käsitellyn ja käsittelemättömän männyn mantopuun sekä männyn sydänpuun kostuminen vesiliotuksessa, % kappaleen alkuperäisestä massasta (Johansson 1977).

Figure 2. Moisture absorption of three different preservative treated samples and one untreated sample of pine (*Pinus sylvestris* L.) sapwood and pine heartwood soaked in water (Johansson 1977).

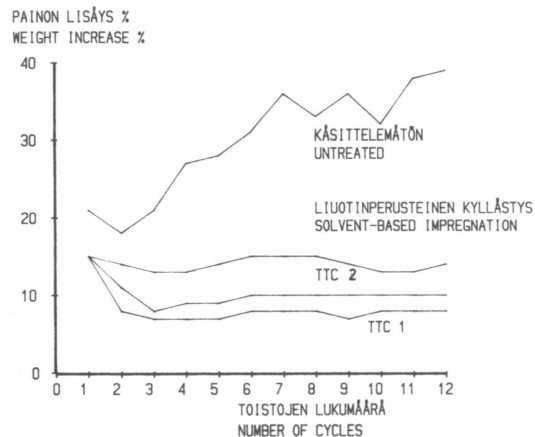
Svensson (1986) järjesti toistokokeen käsittelemättömän ja liuotinperusteisella (lakka-bensiini) B-kyllästyksellä sekä kahdella vesiliukoisella kyllästeellä kyllästettyjen puukappaleiden vesiliotuksesta. Vesiliukoiset menetelmät olivat vielä kehitteillä olevia, joista Esping (1986) käyttää nimityksiä TTC 1 ja TTC 2.

Liotusaika oli 1,5 tuntia, ja kunkin liotuksen jälkeen kappaleet punnittiin ja kuivattiin. Toistoja järjestettiin 12. Liuotinperusteisella menetelmällä kyllästetty kappale vettyi selvästi vähemmän kuin käsittelemätön puu, ja vesiliukoisilla TTC-menettimillä käsitelty vielä vähemmän (kuva 3).

Myös Kumarin ja Jainin (1976) kokeissa, jotka tehtiin kaupallisilla CCA- ja ACC-kyllästeillä, kyllästetty puu imi 30 minuutin vesiliotuksessa selvästi vähemmän vettä itseensä kuin käsittelemätön.

Kuva 3. Käsittelemätön, liuotinperusteisesti kyllästetty ja kahdella vesiliukoisella kyllästeellä (TTC 1 TTC 2) kyllästetyt puukappaleet vesiliotuksen toistokokeessa. Kullakin toistokerralla vesiliotus 1,5 tuntia. Painonlisäys suhteellinen, vertailukohtana tasapainokosteus 65 % suhteellisessa kosteudessa ja 20° C lämpötilassa (Svensson 1986).

Figure 3 Untreated, solvent-based impregnated and two different water-soluble impregnated (TTC 1 and TTC 2) samples of wood in replicate water soaking. Soaking time was 1.5 hours each cycle. Weight increase was relative, related to weight at equilibrium moisture content at 65 % relative humidity and 20° C (Svensson 1986).



#### 4. Puun mittojen ja muodon muutokset

Kärkkäisen (1985a) referoiman lähteen mukaan normaalin runkopuun kutistuminen tuoreesta absoluuttisen kuivaksi on puulajista riippuen:

- syiden suunnassa 0,1 ... 0,3 %
- säteen suunnassa 3 ... 6 %
- tangentin suunnassa 6 ... 12 %

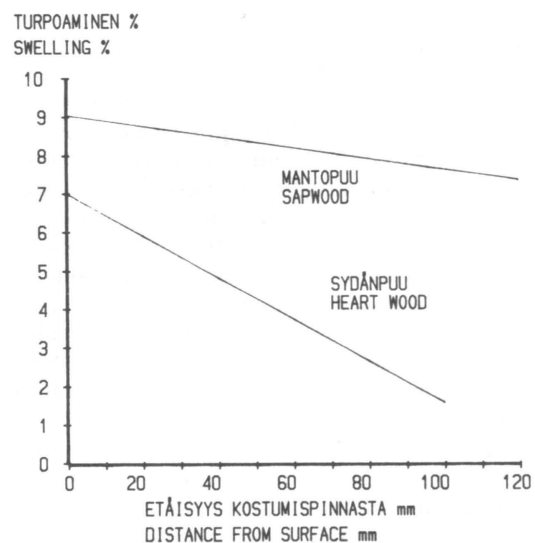
Kun puun kosteuseläminen eri suunnissa on erisuuruista, sen dimensioiden muutokset yleisesti ottaen aiheuttavat myös muodonmuutoksia.

Kärkkäinen (1985a, s. 200; 1985b, s. 173) pääättelee puun tiheyden selittävän postiiivisesti sen kutistumista. Samanlaisen empiiriseen tulokseen on tullut Koponen (1983b) turpoamisen osalta vesiliotuskokeissa. Hän havaitsi myös turpoamisen riippuvan voimakkaasti negatiivisesti männyn sydänpuuosuudesta (kuva 4).

Koposen (1983b) vesiliotuskokeissa muut sivut kuin kosteuden siirtymispinta oli suojattu epoksimaalilla. Maalikerros on saattanut vaikuttaa turpoamisiin, ainakin niiden absoluuttisiin arvoihin.

Myös Johansson (1977) havaitsi männyn mantopuun turpoavan selvästi sydänpuuta enemmän.

Kuusen mantopuun suurimmat, puun pintaosissa tapahtuneet turpoamat Koposen (1983b) vesiliotuskokeissa olivat lähes män-



Kuva 4. Männyn tangentiaaliturpoamat 120 h liotusajalla veden siirtyessä syiden suunnassa (Koponen 1983b). Puun tiheys 450 kg/m<sup>3</sup>, kesäpuuosuus 20 %, vuosiluston leveys 1,5 mm.

Figure 4. Tangential swelling of pine (*Pinus sylvestris* L.) when soaked in water for 120 hours. Moisture movement along the grain (Koponen 1983b). Density 450 kg/m<sup>3</sup>, latewood content 20 %, annual ring width 1.5 mm.

nyn mantopuun pintaosissa tapahtuneiden suuruuksia. Kuitenkin turpoamisfunktion kuvaaja laskee paljon voimakkaammin puun pinnasta etäännyttäessä, ja turpoaminen puun sisäosissa oli männyn sydänpuun luokkaa. Tämä ilmiö havaittiin myös kosteuden siirtyessä säteen ja tangentin suunnassa. Luonnollinen selitys löytyy toisaalta Koposen (1983b) monisteesta; kuusen redusoidut kosteuskonsentraatiot tietyillä liotusajoilla puun sisäosissa olivat varsin alhaisia, männyn sydänpuun luokkaa. Tällä taas on selvä yhteys kuusen männyn mantopuuta alhaisempiin kosteusvuorovoihin.

Kosteus oli siis siirtynyt puun sisäosiin (yli 20 mm pinnasta) sekä kuusella että männyn sydänpuulla selvästi hitaammin kuin männyn mantopuulla. Puun sisäosissa erot männyn sydänpuun ja kuusen turpoamisen välillä eivät olleet suuria, vaan kuusi turposi hiukan männyn sydänpuuta enemmän lähinnä pinnastaan.

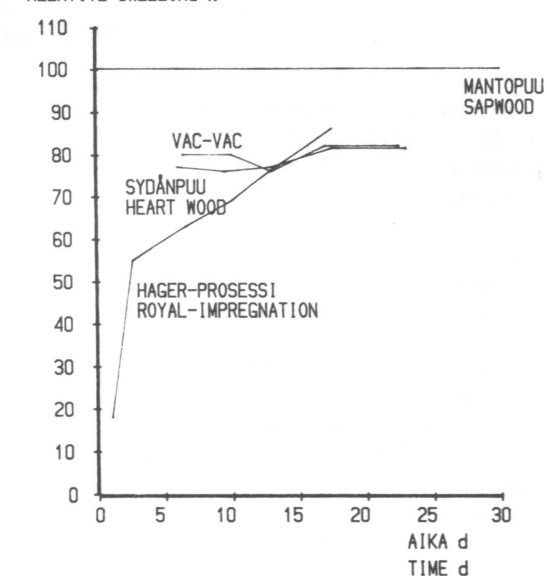
Tästä on tehtävissä johtopäätös, jonka mukaan turpoamisen ero puun pinta- ja sisäosien välillä on suurin kuusella. Myös männyn sydänpuulla turpoamisfunktion kuvaaja laskee nopeammin kuin männyn mantopuulla. Tämä saattaa lisätä puukappaleen halkeamisvaaraa. Halkeamisvaaraa ei siis aiheuta pelkästään se, että tangentiaalinen turpoaminen ja kutistuminen on yleisesti ottaen radiaalista turpoamista ja kutistumista suurempi.

Kärkkäisen ja Marcusin (1985) aineistossa kuusen kuivumiskutistuminen pieniä vuosiluston leveyden suuretessa, mikä johtui tiheyden ja vuosiluston leveyden negatiivisesta korrelaatiosta. Tiheyden pysyessä vakiona vuosiluston leveneminen lisäsi tilavuuskutistumaa. Myös Tammisen (1964) aineistossa kuusen kutistuminen kasvoi vuosiluston leveyden kasvaessa n. 1,2 mm:n leveyteen asti, kun kappaleet oli ensin luokiteltu puun tiheyden mukaan. Saman ilmiön Tamminen (1962) oli havainnut männynllä; 1,2 mm:n vuosilustonleveyden jälkeen kutistuminen pieniä lustojen levetessä.

Kumar ja Jain (1976) ovat todenneet suolakyllästeiden lisäävän puun tasapainokosteutta. Kärkkäinen (1985a) referoi myös muita saman tuloksen saaneita.

Johansson (1977) on tutkinut kolmella eri tavalla kemiallisesti käsitellyn männyn mantopuun kosteusturpoamista sorptioalueella.

SUhteellinen turpoaminen %  
RELATIVE SWELLING %



Kuva 5. Eri tavoin käsiteltyjen kappaleiden ja männyn sydänpuun turpoaminen kosteuden siirtyessä diffuudoitumalla suhteessa männyn mantopuun turpoamiseen (100 %). Ilman suhteellinen kosteus nostettiin 75 %:sta 85 %:iin, kun lämpötila oli 20° C. (Johansson 1977).

Figure 5. Swelling of pine (*Pinus sylvestris* L.) sapwood (for two different treatments) and pine heartwood related to swelling of untreated pine sapwood. Diffusion as moistening mechanism; relative humidity increased from 75 % to 85 % at 20° C (Johansson 1977).

Ilman suhteellisen kosteuden lisääntyessä vertailuaineisto käsittelemätöntä männyn mantopuuta turposi eniten. Mantopuun käsitteilyllä päästiin sydänpuun turpoamistasoon, eräällä menetelmällä (Hager-prosessi) rajoitettuna kostutusaikana alempaan turpoamistasoon (kuva 5).

Kumar ja Jain (1976) havaitsivat kaupallisilla CCA- ja ACC-kyllästeillä kyllästettyjen puukappaleiden sekä turpoavan vesiliotuksessa että kutistuvan kuivauksessa selvästi vähemmän kuin samojen puulajien kappaleiden kyllästämättöminä. Vastaavan tuloksen kutistumisesta on saanut mm. Burmester (1970): CF-suolalla kyllästetyt kappaleet kutistuivat kuivuuksaan käsittelemättömiä vähemmän.

## 5. Päätelmiä

Referoitujen lähteiden perusteella voidaan tehdä seuraavat päätelmät koskien lähinnä puun käyttöä sateelle alttiiksi joutuviissa ikkunarakenteissa:

- puulajin ominaisuuksista ainoastaan sydänpuuosuus vaikuttaa selvästi lahonkestävyyteen laboratoriokeissa. Lahotuskokeissa ei ole järjestetty kastumista ja kuivumista, vaan kosteus on pysynyt vakiona.
- männyn sydänpuu kostuu hitaammin ja ehkä kuivuu hieman nopeammin kuin kuusi ja männyn mantopuu. Myös turpoaminen on täten vähäisempää.
- kuusi kostuu selvästi hitaammin kuin männyn mantopuu. Kriittisiltä kosteudensuirtymisominaisuuksiltaan kuusi on lähempänä männyn sydänpuuta kuin mantopuuta. Turpoamisen ero pinnan ja sisäosien välillä on kuusella suurin.
- saattaa olla, että männyn mantopuun käsittelyllä saadaan aikaan kosteudensuirtymisominaisuudet, jotka ovat männyn sydänpuun ominaisuuksia paremmat. Tämä voidaan saavuttaa fungisidisen vaikutuksen lisäksi.

Päätelmät perustuvat varsin suppeaan kirjallisuuteen. Ennen resurssien kohdentamista käytännöllisiin sovellutuksiin, esimerkiksi raaka-aineen uusien laatu- tai käsittelyvaatimusten käyttöönottoon, ongelma-alue vaatii lisäselvityksiä.

Tarpeellisia ovat mahdollisimman hyvin käytännön tilanteita simuloivat laboratoriokeet, joissa kosteudensuirtumista käsitellään riittävän lyhyin mittausvälein – yksittäinen sade kestää yleensä alle vuorokauden.

Lisäksi on syytä ottaa huomioon muita ikkunarakenteiden kestävyysvaikutuksia vaikuttavia tekijöitä, joita tässä ei ole käsitelty. Tällainen on mm. ikkunapuun kosteudensuirtumisen ja fungisidisten ominaisuuksien muuttuminen ajan myötä. Männyn sydänpuun fungisidisten pinosylviinifenolien pitoisuudet vähenevät ajan mukana (ks. Rennerfelt 1947, Erdtman 1951, Erdtman & Misiorny 1952). Kylästäysaineet saattavat uuttua puusta ajan myötä; aspiroitumisen vaikutus vähenee bakteerien hajottaessa sulkeutuneita huokosia.

## Kirjallisuus

- Bavendam, W. 1943. Über den Einfluss des Darrens von Holz auf seine Pilzanfälligkeit. *Holz als Roh-Werkstoff* 6: 161–166.
- Bergman, Ö. 1982. Ökad produktion av extraktivämnen hos barrträd genom paraquatbehandling – en litteraturoversikt. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för virkeslära. Rapport 136.
- 1984. Biologiska metoder för att förbättra impregnerbarheten hos barrved. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för virkeslära. Rapport 157.
- & Mazur, F. 1982. Fältförsök med träskyddsmedel 1980 års revision. Svenska träskyddsinstitutet, meddelanden 142.
- Boutelje, J. 1984a. Betydelse av råvaruhantering samt några råvaruegenskaper för virkets beständighet. I Svenska träforskningsinstitutets meddelande serie D 210.
- 1984b. Råvaruhanterings samt några råvaruegenskapers betydelse för virkets beständighet. *Träindustrin* 10: 24–25; 11: 62–64; 12: 59–61.
- & Nilsson, T. 1985. Inverkan av avverkningsstid och plats, våtlagring, trädslag och densitet på

- virkets beständighet. Del 1: beständighet mot röta. *TräteknikRapport* 73, TräteknikCentrum.
- , Henningson, B. & Lundström, H. 1977. Effekterna av vattenlagring av timmer. Del 6 – Inverkan på impregneringens effektivitet mot röta. Svenska träforskningsinstitutet, meddelande serie A 435.
- Burmester, A. 1970. Langzeiteinwirkung von Holzschutzmitteln auf physikalische und mechanische Holzeigenschaften. *Holz als Roh- und Werkstoff* 28: 478–485.
- Courtois, H. 1970. Einfluss von Rohdichte, Holzfeuchtigkeit und Jahrringbreite auf den Abbau des Nadelholzes durch *Fomes annosus*. *Holz als Roh- und Werkstoff* 28: 67–75.
- Cowling, E. B., Dillner, B. & Rydholm, S. 1969. Comparative decay susceptibility of sapwood in nitrogen-fertilized and nonfertilized stands of Norway spruce and Scots pine. *Phytopathology* 59: 1022.
- Ekman, R. 1980. Wood extractives of Norway spruce. Åbo Akademi, publications of the institute of wood chemistry and pulp and paper technology A

330.

- Erdtman, H., Frank, A. & Lindstedt, G. 1951. Constituents of pine heartwood 27. The content of pinosylvin phenols in Swedish pines. *Svensk papperstidning* 54: 275–279.
- & Misiorny, A. 1952. Constituents of pine heartwood 31. The content of pinosylvin phenols in Swedish pines. *Svensk papperstidning* 55: 605–608.
- Ericson, B. 1966. Gallringens inverkan på vedens torr-rådensitet, höstvedhalt och kärnvedhalt hos tall och gran. Skogshögskolan, institutionen för skogsproduktion. Rapporter och Upsatser 10.
- Esping, B. 1986. Synpunkter på torkningen. Dokumentation från TräteknikCentrums temadag "Impregnering av snickeriprodukter med vattenbaserade system", 1986–03–20, pp. 23–26. Träteknik-Centrum.
- Grönlund, A. 1975. Blånadsskador på maskinellt kvistat virke, sommarhalvåret 1974. Svenska träforskningsinstitutet, meddelande serie B 311.
- , Karlsson, G. & Karlsson, L. 1979. Furuvirke med hög kärnandel avsett för fönstersnickerier. Svenska träforskningsinstitutet, meddelande serie A 553.
- & Rydell, R. 1983. Analys av rötskadade fönster. *TräteknikRapport* 23. TräteknikCentrum.
- & Wiklund, M. 1973. Blånadsskador på maskinellt kvistat virke. *Sågverken/Trävaruindustrin* 10: 687–411.
- & Wiklund, M. 1974. Blånadsskador på maskinellt kvistat virke. Svenska träforskningsinstitutet, meddelande serie B 234.
- Gäumann, E. 1930. Untersuchungen über den Einfluss der Fällungszeit auf die Eigenschaften des Fichten- und Tannenholzes. 2. Teil. Der Einfluss der Fällungszeit auf die Dauerhaftigkeit des Fichten- und Tannenholzes. *Zeitschriften des Schweizer Forstweins*. 6: 1–155.
- 1932. Der Einfluss der Fällungszeit auf die Dauerhaftigkeit des Fichten- und Tannenholzes. *Angewandte Botanik* 14: 387–411.
- 1938. Der Einfluss der Fällungszeit auf die Dauerhaftigkeit des Fichten-, Tannen- und Buchenholzes. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 89: 177–197.
- Henningson, B. & Jermer, J. 1980. Impregnering av träfönster. *Träindustrin* 3.
- & Lundström, H. 1974. Insektsblånadens tillväxt och dess påverkan av vedens vattenlagring – några laboratorieförsök. Skogshögskolan, inst. för virkeslära. Rapport 92.
- Jalava, M. 1952. Puun rakenne ja ominaisuudet. 352. s. Johansson, S. 1977. Fuktavvisande behandling av trä. Svenska träforskningsinstitutet, meddelande serie A 467.
- Juvonen, R. & Kotilahti, T. 1985. Puuraaka-aineen käytöstä ikkunoiden valmistuksessa. Yhteenvetokausaus. Teknillinen korkeakoulu, puun mekaanisen teknologian laboratorio, tiedonanto 22.
- Koponen, H. R. 1983a. Veden siirtyminen puussa ja puulevyissä 1. Kirjallisuustutkimus. Teknillinen korkeakoulu, puun mekaanisen teknologian laboratorio, tiedonanto 3.
- 1983b. Veden siirtyminen puussa ja puulevyissä 4. Koivu-, mänty-, ja kuusipuun kostuminen ja turpoaminen vesiliotuksessa. Teknillinen korkea-

koulu, puun mekaanisen teknologian laboratorio, tiedonanto 7.

- 1984a. Veden siirtyminen puussa ja puulevyissä 8. Koivu-, mänty- ja kuusipuun kostuminen ja kuivuminen sorptioalueella. Teknillinen korkeakoulu, puun mekaanisen teknologian laboratorio, tiedonanto 13.
- 1984b. Dependences of moisture diffusion coefficients of wood and wooden panels on moisture content and wood properties. *Paperi ja puu* 12: 70–77.
- 1985a. Sorption isotherms of Finnish birch, pine and spruce. *Paperi ja puu* 2: 70–77.
- 1985b. Puun ilmanläpäisevyys eli permeabiliteetti – kirjallisuustutkimus. Teknillinen korkeakoulu, puun mekaanisen teknologian laboratorio, tiedonanto 23.
- Kumar, S. & Jain, V. K. 1976. The effect of wood preservatives on physical properties of wood. 1. Effect of copperchrome-arsenic and acid-copper-chrome compositions on shrinkage-swelling behavior of wood. *Holzforshnung und -verwertung* 28(2): 37–40.
- Kärenlampi, P., Lundström, H., Milberg, P., Tamminen, Z. & Thörnqvist, T. 1987. Vedegenskaper och mikrobiella angrepp i och på byggnadsvirke. Litteraturstudie. Byggnadsnämnden, rapport R 10. Stockholm.
- Kärkkäinen, M. 1981. Männyn ja kuusen pihkapitoisuuden lisääminen sivutuotesaannon kohottamiseksi. *Commun. Inst. For. Fenn.* 81 s.
- 1985a. Puutiede. 415 s.
- 1985b. Suomalaisen kuusen puuaineen vertailua Keski-Euroopassa kasvaneiden kuusi- ja jalokuusilajien puuaineseen. *Silva Fenn.* 19(2): 169–184.
- & Marcus, M. 1985. Shrinkage properties of Norway spruce wood. *Silva Fenn.* 19(1): 67–72.
- Le Poidevin, J. 1985. Timber permeability: significance for joinery decay. Thesis. Department of pure and applied biology, Imperial college of science and technology, London. 294 s.
- Liese, W. & Karnop, G. 1968. Über den Befall von Nadelholz durch Bakterien. *Holz als Roh- und Werkstoff* 26: 202–208.
- Löyttyniemi, K. 1986. Männyn sydänpuu – luonnon kestopuuta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantona 231.
- Nylinder, P. 1962. Medicin mot miljönskador. *Sågverken* 15(7): 14–24.
- & Rennerfelt, E. 1954. Undersökningar över rötskador i den helbarkade sulfiteden under olika huggnings- och lagringsförhållanden. *Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut* 44(10): 1–123.
- Rennerfelt, E. 1947. Några undersökningar över olika rötsvampars förmåga att angripa splint- och kärnved hos tall. *Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut* 36(9): 1–24.
- Rydell, R. 1981a. Samband mellan årsringsbredd och egenskaper för fönstervirke. Svenska träforskningsinstitutet, meddelande serie A 719.
- 1981b. Inverkan av torkmetod på långtidsbeständigheten för fönstervirke. Svenska träforskningsinstitutet, meddelande serie A 731.
- 1982. Samband mellan densitet och årsringsbredd samt några andra egenskaper för svensk furu.

- Svenska träforskningsinstitutet, meddelande serie A 763.
- Schmidting, R. C. & Amburgey, T. L. 1977. Growth and wood quality of slash pines after early cultivation and fertilization. *Wood Science* 9: 154–159.
- Svensson, G. 1986. Kan vattenbaserade medel ge vattenavisning? Dokumentation från TräteknikCentrums temadag "Impregnering av snickeriprodukter med vattenbaserade system", 1986–03–20: 11–12. TräteknikCentrum.
- Tamminen, Z. 1962. Fuktighet, volymvikt m.m. hos ved och bark. 1. Tall. Kungliga skogshögskolan, institutionen för virkeslära. Uppsats R 41.
- 1964. Fuktighet, volymvikt m.m. hos ved och bark. 2. Gran. Skogskolan, institutionen för virkeslära. Rapport R 47.

- Thörnqvist, T. 1986. Hur vedegenskaperna påverkas av skogsdöden. Bygghögningsrådet, rapport R 14.
- Vihavainen, T. 1975. Metsänlannoituksen vaikutuksesta männyn sinistymän- ja lahonalltiuteen ja sekä kyllästyvyyteen. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, puunsuojauslaboratorio, tiedonanto 6.
- Väisälä, L. & Vihavainen, T. 1979. Lattiasieni ja sen torjunta. Laboratoriokokeita. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, puutavalaratorio, tiedonanto 27.
- Wazny, J. & Krajewski, K. 1984. Jahreszeitliche Änderungen der Dauerhaftigkeit von Kiefernholz gegenüber hozerstörenden Pilzen. *Holz als Roh- und Werkstoff* 42: 55–58.

Total of 57 references

## Summary

### *The decay resistance and moisture dynamics of wood. A literature study*

#### 1. Introduction

The high cost of repairing window frames was the main reason for this study. During the years 1985 and 1986, the decay resistance of wood in relation to its properties was studied at the Swedish University of Agricultural Sciences (Kärenlampi et al. 1987). It is likely that the wetting speed of wood during rain is an important factor in decay. That is why moisture dynamics (moistening, drying, swelling, shrinkage) were studied.

#### 2. The decay resistance of wood

In studies on decay in laboratory conditions, heartwood content seems to be the only factor affecting the natural decay resistance of the wood species *Pinus sylvestris* and *Picea Abies*. Neither annual ring width, density, fertilization, dry versus wet storing, felling season nor drying method seem to have any significant influence.

#### 3. Wetting and drying of wood

##### *Diffusive water flow*

According to studies by Koponen (1984) and Johansson (1977), the heartwood content of pine does not

significantly influence diffusive water flow. During longer periods, the wetting flows in spruce were faster than in pine (Koponen 1984).

Water flow by diffusion is not rapid. However, diffusion (mostly tangentially and radially) has some importance for window frames in drying.

##### *Capillary water flow*

Capillary water flow is much faster than diffusive water flow. It is the main wetting method in rain.

According to studies by Koponen (1983b) and Johansson (1977), water flow in pine sapwood is 3–5 times faster than in pine heartwood. The water flows in spruce wood were faster than in pine heartwood, but much slower than in pine sapwood.

Chemical treatment of wood can give it a water repellency much greater than the natural repellency of sapwood (Kumar & Jain 1976, Svensson 1986) and maybe even greater than the repellency of heartwood (Johansson 1977).

#### 4. Shrinkage and swelling of wood

Wood with high density swells and shrinks more than low density wood (Koponen 1983b, Kärkkäinen 1985a, 1985b). Pine heartwood moves during moisture varia-

tions much less than pine sapwood (Koponen 1983b, Johansson 1977). The swelling properties of spruce seem to be closer to the properties of pine heartwood than pine sapwood (Koponen 1983b).

Kärkkäinen and Marcus (1985) have noted that shrinkage in spruce wood is the less the wider the annual rings are. The explanation is the inverse relationship between annual ring width and density. When density is standardized annual ring width appears to have the opposite effect.

Chemical treatment of wood, for instance CCA-impregnation, results in less shrinkage and swelling than in untreated sapwood; maybe even better dimensional sta-

bility than in heartwood (Burmester 1970, Kumar & Jain 1976, Johansson 1977).

## 5. Conclusions

Untreated pine sapwood must not be used in window frames exposed to rain. For ranking other raw materials (pine heartwood, spruce wood) and chemical treatments, more research is needed. An important factor will likely be the influence of time on the aspiration of wood and on the extraction of impregnation chemicals.