

Pekka Saranpää

## Puun rakenne, ominaisuudet ja kasvu

**P**uu on ympäristöystävällinen ja monipuolinen raaka-aine. Sen erityisominaisuuksia, kuten hyvää lämmöneristyskykyä, huokoisuutta, sitkeyttä ja kimmoisuutta, on vaikea yhdistää muissa materiaaleissa. Eri puulajien ominaisuudet ja puuaineen ulkonäkö vaihtelevat paljon ja siksi ne soveltuvat moniin käyttötarkoituksiin. Puun käyttökelpoisuus voidaan päätellä sen yleisistä ominaisuuksista, kuten painosta, pinnan kovuudesta tai pehmeystä ja taivutettavuudesta. Kokeneet puusepät valitsevat usein puumateriaalin perimätiedon sekä puun kasvutavan ja -paikan perusteella. Aina ei tutkimustiedollakaan pystytä selittämään puun käyttäytymistä eri olosuhteissa. Syynä tähän on puuaineen monimutkainen solurakenne ja kemiallinen koostumus.

Puun ominaisuuksiin vaikuttavat iän ja kasvunopeuden lisäksi myös kasvupaikka ja ilmasto. Niinpä samankin puulajin tiheys ja sydänpuun väri voivat vaihdella paljon. Ominaisuudet muuttuvat myös puun ytimestä pintaan ja tyveltä latvaan. Samoin oksien ja juurien puuaineella on omat erityispiirteensä.

Puun rakennetta tarkasteltaessa erotetaan kolme leikkaustasoa: poikkileikkaus sekä tangentin ja säteen suuntainen pitkittäisleikkaus. Poikkileikkauksessa erottuvat vuosilustot renkaina sekä puulajista riippuen pinta- ja sydänpuu. Tangentin suuntaisessa leikkauspinnassa vuosilustot muodostavat epä säännöllisen kuvion ja ydinsäteet erottuvat lyhyinä viivoina. Tällainen puun kuvio on tyypillinen sorvatulle viilulle. Säteen suuntaisessa pitkittäisleikkauksessa puun kuvio on yleensä raidallinen ja ydinsäteet erottuvat nauhamaisina kuvioina. Va-

laistuksesta riippuen ne näkyvät joko kiiltävinä (nk. ydinsädepeilit) tai tummina raitoina. Pintakäsittely, kuten lakkaaminen tai petsaus, saa ydinsäteet näkymään yleensä melko tummina juovina. Leikatusta viilussa yhdistyvät usein sekä tangentin että säteen suuntaisen leikkauspinnan kuviot.

### Pinta- ja sydänpuu

Monilla lajeilla erottuu poikkileikkauksessa vaalea ulkokehä, jota sanotaan pintapuuksi eli mannoksi. Sydänpuulla tarkoitetaan puun rungon sisintä osaa, joka saattaa poiketa ulkokehästä tummemman värinsä ja alhaisemman kosteutensa vuoksi. Sydänpuu on kuollutta solukkoa ja varastoaineet eli rasvat ja tärkkelys on hajotettu ja/tai käytetty sydänpuun sisältämien yhdisteiden tuottamiseen. Männy sydänpuulle on tyypillistä korkea hartsihappo- ja fenolipitoisuus. Nämä uuteaineet suojaavat sydänpuuta lahoamiselta, mutta voivat haitata mm. pintakäsittelyä. Pihkan erittyminen maali- tai lakakerroksen läpi on eräs esimerkki.

Pinta- ja sydänpuun ominaisuudet voivat olla hyvin erilaiset. Sydänpuussa solujen väliset huokokset ovat yleensä tukkeutuneet, joten sydänpuu läpäisee heikosti kaasuja ja nesteitä. Monien puulajien sydänpuun väri tummenee myös valon ja ilman vaikutuksesta. Esimerkiksi tuoreen mäntytykin pinta- ja sydänpuu eivät juuri eroa toisistaan väritään, mutta ajan myötä sahauspinnassa sydänpuu muuttuu punaruskeaksi. Lapin männyissä sydänpuun väri on voimakkaampi kuin etelässä kasvaneissa puis-

sa. Kasvupaikka vaikuttaa muidenkin puulajien sydänpuun ominaisuuksiin ja lahonkestoon. Joskus tumma ja epäsäännöllinen alue puun ytimen ympärillä voi liittyä lahovaurioon.

### Kevät- ja kesäpuu

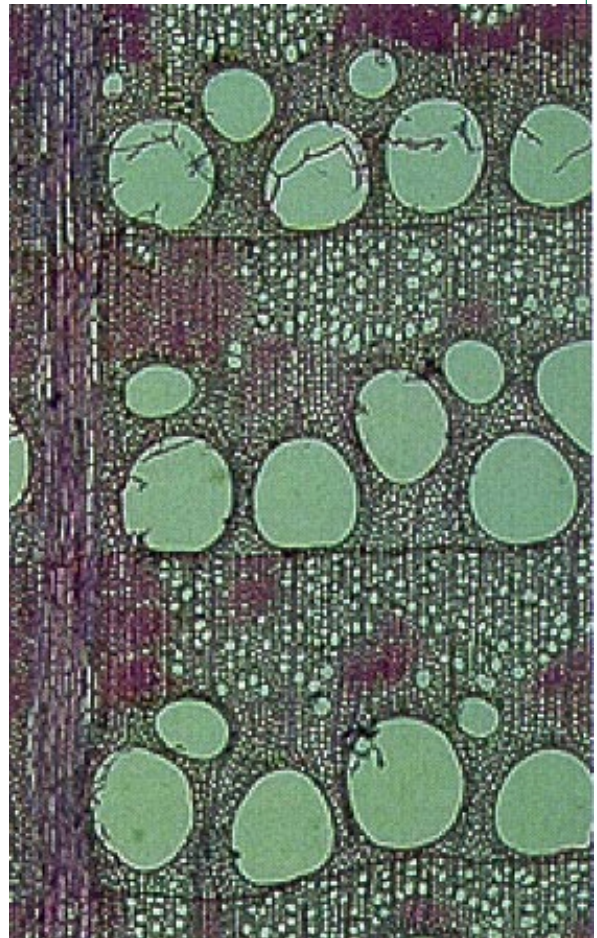
Havupuun rungon poikkileikkauksessa voidaan paljain silmin erottaa vaaleampia ja tummempia renkaita. Yhdessä tällainen rengaspari muodostaa vuosiluston. Kasvukauden alussa syntyvää ja nopeasti kasvavaa puun solukkoa kutsutaan kevätpuiksi eli varhaispuuksi ja myöhemmin kesällä, kasvun hidastuessa erilaistuvaa solukkoa sanotaan kesäpuuksi



**Kuva 1.** Poikkileikkaus metsämännyn (*Pinus sylvestris*) puuaineen rakenteesta. Suurennos 25x.

eli myöhäispuuksi. Havupuilla kevätpuu erottuu vaaleampana ohutseinäisten ja laajaonteloisten solujensa ansiosta (kuva 1). Kesäpuun solut ovat läpimitaltaan pienempiä ja niiden seinämät ovat paksumpia kuin kevätpuussa, joten ne erottuvat tummempina vuosilustossa. Kesäpuu on kevätpuuta tiheämpää, joten sen osuuden kasvaessa koko puuaineen tiheys kasvaa. Pihkatiehyet erottuvat usein vaaleina pisteinä kesäpuuvyöhykkeessä.

Lehtipuiden vuosilustoja on vaikeampi erottaa ilman suurennuslasia kuin havupuiden, sillä kevä- ja kesäpuun raja ei ole yhtä selvä. Kehäputkiloisten puulajien, kuten tammen (kuva 2), saarnen ja jala- van kevätpuu on läpimitaltaan suuria putkiloita sisältävä vyöhyke vuosiluston alussa. Usein se erot-



**Kuva 2.** Poikkileikkaus tammen (*Quercus robur*) puuaineen rakenteesta. Suurennos 25x.

tuu poikkileikkauksessa muuta lustoa vaaleampana osana. Kevätpuun putkilot voi myös erottaa ilman suurennuslasia pitkittäisissä leikkauspinnoissa. Hajaputkiloisten puulajien, kuten koivun tai haavan, vuosilustoja ei voi paljaalla silmällä aina erottaa, koska solujen koko ja seinämän paksuus ei juuri vaihtele luston eri osissa.

### Tiheys, puun paino

Tiheys on yksi puuaineen tärkeimmistä ominaisuuksista. Puuaineen kuiva-tuoretiheydellä tarkoitetaan puun absoluuttisen kuivaa massaa sen tuoretilavuutta kohti. Se määritetään esim. upottamalla tuore puukappale vaa'alla olevaan vesiastiaan. Kappaleen syrjäyttämän vesimassan paino osoittaa sen tilavuuden. Tämän jälkeen puukappale kuivataan uunissa (103 °C, 48 h) ja punnitaan. Jakamalla kuivatun puukappaleen paino sen tilavuudella tuoreena saadaan kuiva-tuoretiheys, joka ilmaistaan kiloina kuutiometriä kohden ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ). Luku ilmaisee, paljonko tietyn tilavuuksinen tuore puukappale sisältää keskimäärin puuainetta eli lähinnä solujen seinämateriaalia.

Kevyet puulajit ovat yleensä pinnaltaan pehmeitä ja kestävät heikommin mekaanista kuormitusta kuin raskaat puulajit. Tiheet ja raskaat puulajit ovat taasen kovia ja kestävät hyvin rakenteissa. Kevyitä puulajeja ( $300\text{--}450 \text{ kg}/\text{m}^3$ ) ovat mm. kuusi, mänty, pihdat, haapa, lehmus ja tervaleppä. Muut kotimaiset puulajit kuuluvat keskiraskaiden ryhmään ( $450\text{--}600 \text{ kg}/\text{m}^3$ ).

### Kutistuminen ja paisuminen

Vesi on tärkeä osa soluseinää. Puuta kuivattaessa vesi poistuu seinämän rakenteosien välistä, ja puu kutistuu. Kutistuminen ja paisuminen kosteusvaihtelun mukaan on eri suuruista säteen, tangentin ja pituuden suunnassa. Tähän vaikuttaa puun rakenteen erilaisuus ko. suunnassa. Yleensä pituuden eli syiden suuntainen maksimaalinen kutistuminen tuoreesta kuivaksi on hyvin vähäinen, n. 0,3 %. Sen sijaan säteen ja tangentin suuntainen kutistuminen on huomattavasti suurempaa, vaihdellen säteen suunnassa noin 2–6 % ja tangentin suunnassa 5–12 %. Tämän tuloksena

puun tilavuus kutistuu kaikkiaan noin 8–18 %. Kutistumisen määrä vaihtelee puun ytimestä pintaan ja tyveltä latvaan. Myös kasvunopeus saattaa vaikuttaa puun kutistumiseen ja kosteuselämiseen. Puun kutistuminen on syytä erottaa puun kosteuselämisestä, millä tarkoitetaan puun kutistumista tai paisumista kosteuden vaihdellessa. Kuivauksen aikana tapahtuva kutistuminen voi olla huomattavaa, vaikka myöhempi kosteuseläminen olisikin vähäistä.

Vähän kutistuvia puulajeja ovat mm. pihdat, kataja ja sembramänty. Paljon kutistuvia ovat esimerkiksi pyökki ja tammi. Siperianlehtikuusen tangentin ja säteen suuntaisen kutistumisen välillä on erityisen suuri ero, mistä aiheutuu mm. lautojen taipumus kieroutua kuivattaessa. Vähän kutistuvat puulajit sopivat esimerkiksi vanerin sokkopuuksi eli pintaviilun alla olevaksi välikerrokseksi, jonka kutistuminen ei aiheuta muodonmuutoksia ja pinnan repeämistä.

### Havupuiden solurakenne

Havupuiden solurakenne on huomattavasti yksinkertaisempi kuin lehtipuiden. Suurin osa solukosta on 1–4 mm:n pituisia putkisoluja. Lämpimitaltaan ne ovat hyvin pieniä, 20–40 mikrometriä. Vuosilusto jakaantuu selvärajaiseen kevät- ja kesäpuuhun. Kesäpuun solut ovat läpimitaltaan pienempiä ja niiden seinämät ovat huomattavasti paksumpia kuin kevätpuussa, joten ne erottuvat tummempina vuosilustossa. Kesäpuu on kevätpuuta tiheämpää, joten sen osuuden kasvaessa myös koko puuaineen tiheys kasvaa.

### Lehtipuiden solurakenne

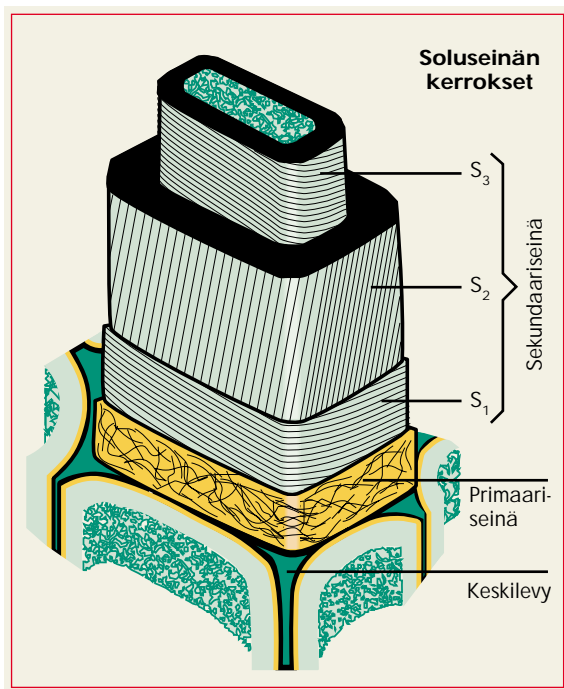
Lehtipuiden solurakenne on vaihteleva. Tunnusomaisia rakenteita ovat suuriläpimittaiset putkilot (100–300 mikrometriä). Toisin kuin havupuilla, monilla lehtipuilla ei ole selvää kevät- ja kesäpuuta. Poikkeuksena ovat ns. kehäputkiloiset lajit, kuten tammi, jolla vuosiluston alkuun muodostuu yhtenäinen kehä suuria putkiloita. Kuidut ovat usein huomattavasti lyhyempiä (1 mm) kuin havupuilla. Ydinsäteet ovat sen sijaan lehtipuilla usein kookkaita ja lisäävät lujuuutta säteen suunnassa.



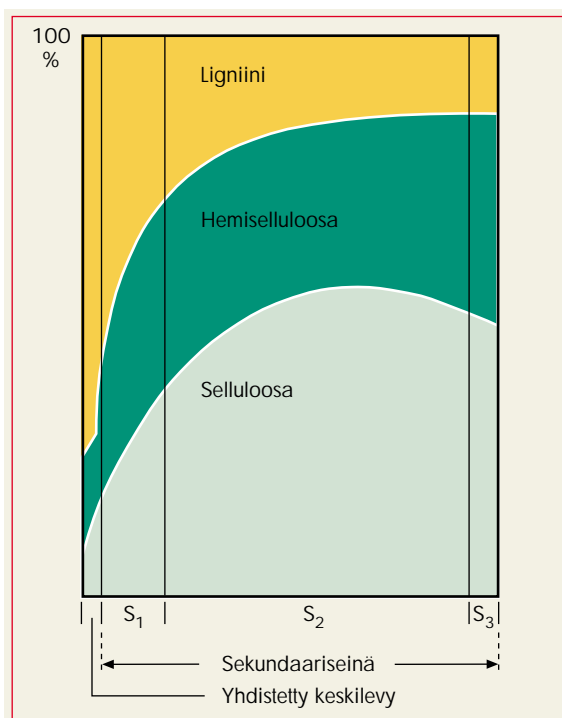
## Soluseinän rakenne

Suurin osa puusolukosta on kuolleita, pitkänomaisia kuituja. Niiden vaihtelevan paksuinen soluseinä koostuu pääasiassa selluloosasta ja ligniinistä. Selluloosa on järjestynyt pitkiksi säikeiksi eli mikrofibrilleiksi, joiden vetolujuus pituusakselin suunnassa vastaa terästä. Selluloosasäikeiden välissä oleva ligniini lujittaa rakenteen. Selluloosan ansiosta puu on elastista lyhytaikaisessa kuormituksessa, ja ligniinin plastisesta luonteesta johtuu puun palautumaton venyminen pitkäaikaisessa kuormituksessa.

Soluseinässä voidaan erottaa useita kerroksia. Uloimpana on keskilevy, joka syntyy ensimmäisenä kahden erilaistuvan solun väliin. Sen sisäpuolella syntyy primaariseinä ja lopuksi erilaistuu sisin ja paksuin kerros eli sekundaariseinä. Viimeksi mainitussa erotetaan vielä kolme kerrosta, josta keskimäinen eli  $S_2$ -kerros on paksuin ja vaikuttaa näin eniten yksittäisen kuidun ja koko puuaineen ominaisuuksiin (kuvat 3 ja 4).



**Kuva 3.** Kaaviokuva puukuidun soluseinän rakenteesta. Kuvassa näkyy mikrofibrillien suuntautuminen eri kerroksissa.



**Kuva 4.** Havupuun soluseinän eri kerrosten kemiallinen koostumus.

Selluloosasäikeet eli mikrofibrillit ovat yleensä pituusakselin suuntaisesti seinämän  $S_2$ -kerroksessa. Puun kutistuminen johtuu mikrofibrillien vetäytymisestä lähemmäksi toisiaan veden poistuessa seinämästä. Ne eivät juurikaan lyhene kuivumisen aikana, ja näin ollen yksittäiset solut ja edelleen puuaine kutistuu vähän pituusakselin suunnassa. Poikkeuksena on ytimen ympärillä oleva nuorpuuvyöhyke ja havupuiden reaktiopuu eli lyly, joiden putkisolujen seinämän  $S_2$ -kerroksen mikrofibrillit saattavat poiketa jopa 30–50 astetta pituusakselin suunnasta. Tämän seurauksena pituusakselin suuntainen kutistuma kasvaa jopa kahteen prosenttiin säteen ja tangentin suuntaisen kutistuman hieman vähentyessä. Seurauksena on epätasainen kutistuma sahatarvekappaleessa, jossa on normaalirakenteisen puun lisäksi joko nuorpuuta tai lylyä. Tästä aiheutuu usein sahatavaran vääntyileminen ja kieroutuminen kuivauksen aikana.

■ Kirjoittaja on erikoistutkijana Metsäntutkimuslaitoksessa.