

Pentti Hakkila

## Kuitupuun laadun vaihtelu ja lajittelu- perusteet

**P**uun laatu on käyttötarkoitukseen sidottu käsite. Käyttötarkoituksesta riippuu, mitkä ominaisuudet ovat tärkeitä ja millaista puuraaka-ainetta halutaan.

Puun laatuun vaikuttavia ominaisuuksia on runsaasti, ja ne vaihtelevat laajoissa rajoissa. Kun vaihtelu on ennalta arvaamatonta ja epäsäännöllistä, se on puun käyttäjän kannalta haitallista. Vaihtelu pitää sisällään myös mahdollisuuksia, jotka ainakin kuituteollisuudessa kuitenkin jäävät hyödyntämättä.

Puutavaralajiemme keskimääräiset ominaisuudet tunnetaan kehnosti. Vielä kehnommin tunnetaan ominaisuuksien vaihtelu. Laadun seuranta on rajoittunut lähinnä saha- ja vaneripuuhun ja siinäkin vain epäsäännöllisyyksiin ja vikoihin, kuten esimerkiksi oksaisuuteen, lenkouteen tai reaktipuuhun.

### Kuitupuun laatutekijät

Kuitupuulla laadun vaihteluun ei juurikaan kiinnitetä huomiota, vaan kuitupuun mielletään pelkästään puulajeittaiseksi massa-artikkeliksi. Pahoin vialliset ja alamittaiset pölkyt kyllä hylätään, mutta muut ominaisuudet jätetään vaille merkitystä. Kuitenkin myös kuituteollisuudessa tekniset ominaisuudet vaikuttavat raaka-aineen käyttäytymiseen prosessissa, tuotteen saantoon ja tuotteen laatuun. Vikojen ohella tärkeitä kuitupuun laatutekijöitä ovat:

– *Puun kosteus.* Erityisesti mekaanisessa kuituteollisuudessa on oleellista, että raaka-aine on prosessiin

tullessaan tuoretta. Tämä vaatimus muokkaa koko korjuujärjestelmän logistiikan. Kosteuden alentumista voidaan välttää puun kulkua nopeuttamalla, pölkyn pituutta lisäämällä tai kuoren rikkoutumista välttämällä. Kuitenkin tuoreeseenkin kuitupuuhun käteytyy kuivahkoa sydänpuuta, jossa veden määrä on pintapuuhun verrattuna tuskin neljännes. Runsaasti kuivaa sydänpuuta sisältävät pölkyt voitaisiin ehkä käsitellä erillään sydänpuuttomista pölkkyistä ja ohjata prosessiin, jossa puun kosteudella ei ole keskeistä merkitystä.

- *Puun kuori.* Puun kuoripitoisuus ei ole tilavuusmittauksessa suinkaan sama kuin painomittauksessa. Kuoren osuus vaikuttaa kuorellisen kuutiometrin puuainesisältöön ja arvoon. Paksu kuori vaikeuttaa ja hidastaa kuorintaprosessia.
- *Puun kuiva-tuoretiheys* osoittaa kuorettoman puun kuivamassasisällön ( $\text{kg/m}^3$ ), ja sen perusteella määrittyy myös raaka-aineen kulutus, joka ilmoitetaan kuorellisina kuutiometreinä massatonna kohti. Kuiva-tuoretiheys on paitsi kuutiometrin raaka-ainesisällön myös kuidun ominaisuuksien indikaattori, sillä korkea tiheys merkitsee paksuseinäisiä kuituja ja alhainen tiheys vastaavasti ohutseinäisiä kuituja. Seinämän paksuus yhdessä kuidun pituuden kanssa puolestaan ratkaisee kuidun käyttäytymisen paperia valmistettaessa ja vaikuttaa suuresti paperin ominaisuuksiin sekä myös esimerkiksi massanvalmistuksen ajan ja energian tarpeeseen. Paksuseinäisistä kuiduista saadaan lujaa armeerausmassaa, kun taas ohutseinäiset kuidut ovat eduksi painopapereissa.
- *Puun uuteaineitten* määrä ja koostumus vaikuttavat

paitsi sahatavaran kestävyyyteen myös kuidutusprosessiin ja sellun sivutuotteitten saantoon. Ne aiheuttavat ongelmia erityisesti mekaanisessa massateollisuudessa. Raaka-aineen sydänpuupitoisuus antaa viitteitä uuteainepitoisuudesta.

- *Kuidun dimensiot* (pituus, läpimitta, pituus-läpimitasuhde, seinämän paksuus) ratkaisevat paljolta paperin lujuuden sekä optiset ja painatustekniset ominaisuudet. Erilaisissa papereissa tarvitaan erilaisia kuituominaisuuksia ja -sekoituksia.
- *Puun sisäiset oksat*. Oksilla on keskeinen asema sahatavaran laatuokituksessa, mutta kuitupuussa niihin ei kiinnitetä huomiota. Oksat ja oksien ympäryspuu poikkeavat varsinaisesta runkopuusta tiheydensä, kovuutensa, pihkapitoisuutensa, reaktiopiipitoisuutensa ja kuituominaisuuksiensa suhteen. Oksat johtavat helposti ylipaksujen hakepalasten syntyyn, vaikeuttavat kemiallista ja mekaanista valmistusprosessia, kuluttavat energiaa ja kemikaaleja, lisäävät rejektin osuutta massassa ja heikentävät massan laatua. Oksien merkitys ei siis ole yhdentekevä kuitupuussakaan.

## Laadun vaihtelu

Kuitupuun teknisten ominaisuuksien vaihtelu koetaan ongelmaksi teollisuudessa. Kun vaihtelua ei tunneta, sitä ei voida myöskään hallita – saati sitten hyödyntää. Vain puulajit ja ehkä sahanhake pidetään erillään, mutta pidemmälle ei lajittelun suhteen juurikaan mennä. Kuitenkin vaihtelu esimerkiksi mäntykuitupuupölkkyjen kesken saattaa olla paljon suurempi kuin vaihtelu mäntykuitupuun ja kuusi- kuitupuun välillä. Kuitupuun laatu vaihtelussa voidaan tietyn puulajin puitteissa erottaa seuraavat komponentit:

- *Maantieteellinen vaihtelu*. Esimerkiksi pohjoisimman Suomen mäntypuulle on etelään verrattuna ominaista suuri sydänpuupitoisuus, alhainen kesäpuupitoisuus ja alhainen kuiva-tuoretiheys, joista seuraa mm. korkea puunkulutus sulfaattimassaa keittäessä ja massan heikko repäisyjuisuus. Maantieteellisen vaihtelun lähtökohtana on usein ero metsien iässä ja kasvunopeudessa.
- *Leimikoitten välinen vaihtelu*. Esimerkiksi nuorten ensiharvennusleimikoitten puutavarassa on runsaasti

nuorpuuta, jolle ovat ominaisia lyhyet ja ohutseinäiset kuidut. Vastaavasti voidaan osoittaa eroja nopea- ja hidaskasvuisten leimikoitten puuaineessa. Nuoresta hyötykasvuisesta ensiharvennusleimikosta saadaan erilaista kuitua kuin vanhasta kitukasvuisesta päätehakkuleimikosta.

- *Runkojen välinen vaihtelu leimikossa*. Samankin leimikon sisällä esiintyy vaihtelua runkojen välillä. Vaihtelu aiheutuu osaksi geneettisistä syistä, mutta osaksi myös ympäristötekijöistä kuten puun asemasta metsikössä, kasvunopeudesta sekä iästä.
- *Rungon sisäinen vaihtelu* vaikuttaa sekä *säteen suunnassa* ytimeä jältä kohti että *pituuksuunnassa* tyvestä latvaan. Rungon sisäinen vaihtelu on itse asiassa jyrkempi ja merkittävämpi kuin runkojen ja metsiköitten välinen vaihtelu, ja sen seurausta ovat esimerkiksi suuret erot sahanhakkeen ja pyöreän kuitupuun välillä tai tyvipölkkyjen ja latvapölkkyjen välillä. Leimikosta saatavan kuitupuun ominaisuudet muuttuvat, jos osa puutavarasta käytetään sahatukeiksi tai jos osa kuitupuusta erotetaan pikkutukeiksi.

## Vaihtelun hallinta ja lajittelun tavoitteet

Kun edellä kuvattua vaihtelua ei tunneta eikä voida ottaa valmistusprosessissa huomioon, seuraa prosessitekniisiä ongelmia, saantotappioita ja tuotteen laadun kiusallista vaihtelua. Mitä paremmin vaihtelu tunnetaan ja kyetään ennakoimaan, sitä paremmin kuidutukseen tulevan raaka-aineen laatu voidaan hallita ja tasoittaa. Raaka-ainetta voidaan tuolloin lajitella esimerkiksi seuraaviin tarkoituksiin:

- Lajittelulla *etsitään prosessitekniisiä etuja*. Puutavara voidaan lajitella esimerkiksi kuorintaa silmällä pitäen tavoitteena puun hävikin ja kuorinnan kustannusten minimointi. Tai tavoitteena voi olla puuaineen tiheyden, kosteuden tai sydänpuupitoisuuden tasoittaminen saantotappioiden välttämiseksi ja prosessiojen optimoimiseksi. Lajittelua voitaisiin hyödyntää myös esimerkiksi raaka-aineen jaossa kemiallisen ja mekaanisen massateollisuuden kesken.
- Lajittelulla *tasoitetaan ja vakioidaan* prosessiin sisään menevän hakkeen ja siitä ulos tulevan *massan laatu*.



**Kuva.** Puun korjuussa tukkipuu erotellaan kuitupuusta, mutta pitäisikö lajittelussa mennä kuitupuunkin osalta pitemmälle?

- Erityyppiset hakkeet kuidutetaan erikseen, kukin mahdollisimman edullisilla prosessisäädöillä (keittoaika, kemikaaliannostus, jauhatusaika). Saadaan kuituominaisuksiltaan erilaisia *erikoismassoja*, joista esimerkkejä voisivat olla vaikka ensiharvennuselli eli nuorpuuselli, tai vastaavasti ensiharvennushierre eli nuorpuuhierre.

## Lajittelun tasot

Edellä on todettu, että mänty- ja kuusikuitupuun tekniset ominaisuudet vaihtelevat maantieteellisesti, leimikoittain, rungoittain ja rungon sisäisesti, joista vaihtelun osatekijöistä viimeksi mainittu on voimakkain. Leimikoitten (ensiharvennusleimikko / varttuneen metsän harvennusleimikko / päätihakkuuleimikko) välinen vaihtelu antaa peruslähtökohdan suunnittelulle, ja saattaa olla tarkoituksenmukaista rajoittaa lajittelu ja aktiivinen laadunohjaus vain tietyntyyppisiin leimikoihin eli sinne, missä sen vaikuttavuus on väkevin.

Lajittelu voidaan tehdä jo ennen korjuun aloitta-

mista esimerkiksi leimikkovalinnalla, korjuun yhteydessä esimerkiksi erottelemalla tyvipölkkyt muusta kuitupuusta, tehdasvaraston lajitteluasemalla tai vielä haketuksen ja kuidutuksen jälkeenkin. Lajittelun tasot ovat siten:

- *Leimikoittainen lajittelu.* Esimerkiksi ensiharvennusleimikoitten kuitupuusta saattaa kannattaa ohjata erilliskäsittelyyn sekä ylettömän kuorintahävikin kohtuullistamiseksi että puun laatuerojen vuoksi. Yhdysvaltain etelävaltioissa keltamänty käytetään pääsääntöisesti sulfaattisellun raaka-aineeksi, mutta eräillä tehtailla ensiharvennusleimikoitten keltamänty ohjataan hietämöön.
- *Autokuormittainen lajittelu.* Kuormat voidaan tehtaalle saapuessaan ohjata erilleen esimerkiksi pölkyn järeyden, sydänpuupitoisuuden tai vuosiluston keskimääräisen paksuuden silmävaraisen arvioinnin perusteella. Viimeksi mainittu kasvunopeuden mukainen lajittelukäytäntö on omaksuttu ainakin yhdellä ruotsalaisella tehtaalla.
- *Pölkkyttäinen lajittelu.* Koska kuitupuun ominaisuudet ainakin männyllä vaihtelevat rungon pituussuun-

nassa enemmän kuin leimikoitten tai autokuormien välillä, pölkkykohtainen lajittelu voi olla vaikuttavampi. Siitä aiheutuu kuitenkin lisätyötä ja kustannuksia joko korjuuvaiheessa tai lajitteluasemalla. Pölkkyjen erottelun perustana voivat olla esimerkiksi läpimitta, asema rungossa, kuorityyppi, luston leveys tai sydänpuuosuus, joita käytetään pölkyn teknisten ominaisuuksien välillisinä indikaattoreina.

- *Hakepalasten lajittelu.* Jos lajittelu tapahtuu vasta hakkeena, avautuu mahdollisuus ottaa huomioon puun säteensuuntainen vaihtelu ytimen ja jälsikeroksen välillä. Tästä esimerkkinä on sahatukkien pintaosista peräisin oleva sahanhake, jonka erityisominaisuuksia ovat korkea puuaineen tiheys, vähäinen sydänpuuosuus ja pitkät paksuseinäiset kuidut.
- *Kuitujen lajittelu.* Pisimmälle menevää teknologiaa edustaisi erillisten kuitujen lajittelu niitten dimensioitten perusteella. Siihen tähtääviä menetelmiä on kehitelty laboratoriotasolla, mutta käytäntöön soveltuva ratkaisu lienee vielä kaukana toteutumisestaan. Jos lajittelu tapahtuisi vasta kuidutuksen jälkeen, lajittelun ennen kuidutusvaihetta tuomat prosessitekniset edut jäisivät kuitenkin saamatta.

Lajittelu ja erien erilläänpito aiheuttavat kustannuksia. Lajittelu on tarkoituksenmukaista vain, mikäli se saadaan prosessin (esimerkiksi kuorinta tai keitto), raaka-aineen laadun tasoittumisen tai raaka-ainetyyppien erottelun kannalta kyllin vaikuttavaksi. Käytännössä lajittelu kannattaneekin kohdistaa vain osaan raaka-ainevirrasta.

## Tutkimuskokonaisuus

Metsäntutkimuslaitoksen Vantaan tutkimuskeskuksessa käynnistyi syksyllä 1996 TEKESin HARJU-ohjelmaan kuuluva tutkimus ”Harvennuspuun laatu- vaihtelun hallinta ja hyödyntäminen”. Siinä on kartoitettu mänty- ja kuusikuitupuun laatuomuuksien vaihtelua ja sen syitä Etelä-Suomen harvennusleimikoissa.

Palvellakseen teollisuuden tarpeita tehokkaasti laatu- ja laatuomuuksien ja sen tuloksena syntyvän tietopankin tulee kattaa kuituraaka-ainevirta kokonaisuudessaan, ja kartoituksen tulee ulottua mahdollisimman moneen puutekniseen muuttujaan. Siksi alkuperäistä työtä on laajennettu myös päätehakkuista

saatavaan raaka-aineeseen ja sahanhakkeeseen sekä toisaalta koko maahan. Jatkohanke toteutetaan Metsäntutkimuslaitoksessa osana VTT Energian kokoomaa ja johtamaa ”Puunkäsittelyn tuotelähtöinen optimointi massateollisuudessa” -ohjelmaa.

Käyttötarkoituksestaan johtuen aineisto kerätään leimikkolähtöisesti. Sekä männiköistä että kuusikoista analysoidaan Suomen eteläpuoliskosta 15 ensiharvennusleimikkoa, 15 muuta harvennusleimikkoa sekä 15 päätehakkuuleimikkoa. Lisäaineistoa kerätään maan pohjoisosasta. Kustakin leimikosta kaadetaan 15 poistettavaksi luokiteltua puuta, ja kustakin puusta tutkitaan keskeiset tekniset ominaisuudet 10—15 eri korkeudelta kerätystä näytteestä. Kuidun dimensioitten osalta aineisto on kuitenkin oleellisesti pienempi.

Lopputuloksena on entistä selkeämpi kuva havu- puitemme teknisistä ominaisuuksista ja niitten leimikoittaiseen, rungoittaiseen ja rungon sisäiseen vaihteluun vaikuttavista tekijöistä. Tietoja voidaan hyödyntää esimerkiksi seuraavissa tehtävissä:

- Syntyy tietopankki mänty- ja kuusipuun teknisistä ominaisuuksista kuituteollisuuden raaka-aineena
- Tietopankki antaa kuvan metsänhoidon vaikutuksesta puun ominaisuuksiin runkokohtaisen kasvunopeuden ja metsikön iän suhteen, ja sitä voidaan hyödyntää puun kasvumalleissa
- Raaka-ainevirtoja voidaan ohjata laatu- vaihtelun kannalta tarkoituksenmukaisella tavalla
- Raaka-aineen hallitsematonta laatu- vaihtelua voidaan tasoittaa
- Ominaisuuksiltaan ääreviä puueriä voidaan ohjata erilleen prosessiolojen optimoimiseksi ja erikois- tuotteitten valmistamiseksi.

■ Professori Pentti Hakkila työskentelee Metlan Vantaan tutkimuskeskuksessa.