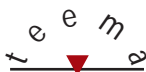


Marketta Sipi

Erilaisen puun erilaiset käyttömahdollisuudet



Raakapuun käyttö

Raakapuun kokonaiskäyttö Suomessa vuonna 1997 oli 70,5 milj.m³, josta 92 % eli noin 65 milj.m³ käytti teollisuus, 7 % meni pientalojen polttopuuksi ja 1 % vietiin (raakapuu ja pylviäät). Suurimmat teolliset käyttäjät olivat saha- ja selluteollisuus kumpikin noin 25 milj.m³:n määrällä. Mekaaninen massateollisuus käytti raakapuuta 10 milj.m³ ja vaneriteollisuus 3,0 milj.m³. Teollisuuden käyttämästä raakapuusta 85 % oli kotimaista ja tästä noin puolet oli tukkipuuta ja puolet kuitupuuta. Tuontipuusta valtaosa (88 %) oli kuitupuuta, joka käytettiin lähes kokonaan sellun valmistukseen. (Metsätilastollinen vuosikirja 1998)

Seuraavassa käsitellään ainoastaan puun teollisia käyttömahdollisuuksia. Tarkastelu kohdistuu puun rungon teollisesti käyttökelpoiseen osaan, sen optimaaliseen käyttöön ja käyttökohteiden valintaan vaikuttaviin tekijöihin.

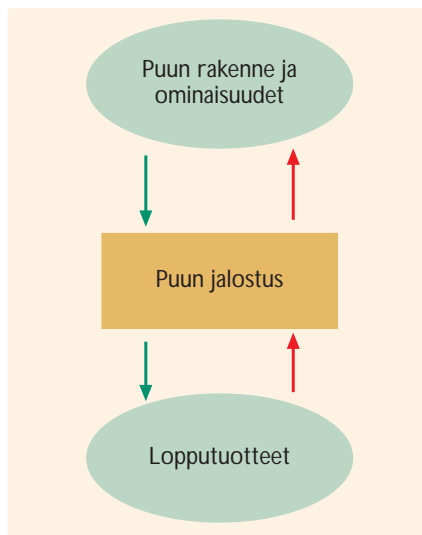
Puun teollisen käytön optimointi ja mallinnus

Mallin pääkomponentit ja suunta

Puun käytön optimoinnilla tarkoitetaan tässä puun parasta mahdollista teollista käyttötapaa rajoitusten ja resurssien puitteissa.

Puun optimaalisen käytön malli kuvaa puun koko

jalostusketjua raaka-aineesta lopputuotteeksi sisältäen kuvaukset puuraaka-aineesta, puun jalostuksesta ja lopputuotteista (kuva 1). Malli toimii molempiin suuntiin. Lähtökohtana on joko käytettävissä oleva puuraaka-aine, jolle määritellään parhaan arvon antavat lopputuotteet tai lähtökohtana ovat lopputuotteet, joille määritellään paras mahdollinen raaka-aine. Jalostusprosessit, käytettävissä olevat resurssit ja valmistuskustannukset asettavat kummassakin tapauksessa mallille omat rajoituksensa.



Kuva 1. Puun käytön optimointi, mallin pääkomponentit ja suunta.

Tavoite ja merkitys

Puuraaka-aineen käytön optimoinnin tavoitteena on raaka-aineen ohjaus metsästä suoraan sille sopivimpaan ja parhaan arvon antavaan käyttökohteeseen. Erityisen tärkeää tämä on puutuoteteollisuudessa. Massiivipuutuotteet valmistetaan puuraaka-ainetta mekaanisesti paloittelemalla, jolloin raaka-aineen ominaisuudet siirtyvät sellaisenaan lopputuotteeseen. Puutuotteen valmistuskustannuksista puuraaka-aineen osuus on suuri, usein 60–70 %. Valmistuskustannukset riippuvat voimakkaasti raaka-aineen hyväksikäytöstä. Mitä huonompi on raaka-aineen ja tuotteen ominaisuuksien vastaavuus, sitä enemmän raaka-ainetta menee hukkaan tai syntyy hylkytuotteita ja sitä korkeammat ovat tuotteen valmistuskustannukset.

Puun kokonaiskäytön optimointi

Puun teolliset pääkäyttökohteet määritellään perinteisesti metsässä, jossa puista rungon koon ja laadun mukaan tehdään tukkipuuta puutuoteteollisuuteen ja kuitupuuta massan ja paperin valmistukseen. Puutuoteteollisuudessa syntyvät sivutuotteet, hake ja puru menevät pääasiassa massan ja paperin raaka-aineksi. Raaka-aineen käytön optimointi tehdään yleensä erikseen kummassakin pääkäyttökohteessa.

Viime vuosina raja pääkäyttökohteiden välillä ei enää ole ollut näin selvä. Teollisuusintegraateissa huonolaatuiset välitukit voidaan ohjata suoraan massan valmistukseen. Erityisesti männyn kuivaoksaisten välitukin käyttöarvo on puutuoteteollisuudessa alhainen, usein vain noin puolet oksattoman tyvitukin arvosta. Sahatavaran valmistuksessa tavoitteena ei aina ole raaka-aineen maksimaalinen määrällinen hyväksikäyttö, vaan tavoitteena voi olla myös laadukkaan pintapuuhaakkeen valmistaminen massateollisuuteen. Tukki- ja kuitupuun välimaastoon sijoittuvat myös sahaukseen menevät pikkutukit, jotka ovat kooltaan perinteisiä tukkeja pienempiä. Selvien raaka-aineen koko- ja laaturajojen häviäminen puutuote- ja massateollisuuden väliltä mahdollistaa raaka-aineen käytön todellisen kokonaisoptimoinnin. Tällöin verrataan rungon tai sen osan käyttöarvoa eri puutuotteiden sekä paperi- ja kartonkilajien välillä.

Erilainen puu

Ominaisuuksien vaihtelu

Puu on luonnonmateriaali, jonka ominaisuudet vaihtelevat eri puulajien välillä, saman puulajin eri yksilöiden välillä ja samassa puussa sekä rungon pituussuunnassa että ytimeistä pintaan.

Puun ominaisuuksiin vaikuttavat perintö- ja ympäristötekijät sekä metsänhoito. Raaka-aineen koko ja tuoreus sekä puun hankinta vaikuttavat sekä puuraaka-aineen ominaisuuksiin että tuotteiden jalostusteknisiin ominaisuuksiin ja jalostusmahdollisuuksiin.

Koska puun ominaisuudet vaihtelevat suuresti jo luonnostaan, riippuvat monista eri tekijöistä ja niihin voidaan vaikuttaa monilla eri toimenpiteillä, ei yleistä mallia puun rakenteesta ja ominaisuuksista voida esittää. Puun optimaalisen käytön kannalta on olennaista tuntea raaka-aineen ominaisuudet, niiden vaihtelu ja eri tekijöiden vaikutus niihin. Tällöin puu voidaan ohjata metsästä suoraan oikeaan käyttökohteeseensa. Raaka-aineen ominaisuuksiin voidaan myös pyrkiä vaikuttamaan siten, että saadaan haluttuihin lopputuotteisiin sopivaa raaka-ainetta.

Teollisen käytön kannalta merkittävät puun ominaisuudet

Puun rakenne ja ominaisuudet vaikuttavat sen teolliseen käyttökelpoisuuteen, valmistusteknisiin mahdollisuuksiin ja lopputuotteiden ominaisuuksiin. Koska tuotteiden valmistusprosessit, lopputuotteet ja niiden ominaisuudet vaihtelevat, myös merkitykselliset puun ominaisuudet vaihtelevat käyttökohteittain ja määräytyvät valmistettavan tuotteen mukaan. Uudet tuotteet sekä nopeasti kehittyvä valmistustekniikka asettavat puulle jatkuvasti uusia vaatimuksia, joita vastaava raaka-aine on löydettävä nopeasti, jotta puuta ei korvata muilla materiaaleilla.

Taulukossa 1 luetellaan teollisen käytön kannalta merkittäviä puun ominaisuuksia.

Useimpien puutuotteiden valmistuksen ja ominaisuuksien kannalta paras raaka-aine on oksaton, suora runko. Rungon mutkaisuus, lenkous, kapeneminen ja epäpyöreys heikentävät raaka-aineen yleistä käyttökelpoisuutta ja alentavat raaka-aineen hyötysuh-

Taulukko 1. Teollisen käytön kannalta merkittäviä puun ominaisuuksia.

Rungon ominaisuudet

- oksaisuus
- runkokuoto
 - mutkaisuus
 - lenkous
 - kapeneminen
 - epäpyöreys

Puuraaka-aineen ominaisuudet

- tiheys
- lujuus
- kesäpuuosuus
- vuosiluston leveys / kasvunopeus
- sydänpuuosuus
- oksien koko, laaatu, määrä ja sijainti
- reaktiopuu
- nuorpuu
- halkeamat
- sieni- ja hyönteisvauriot
- korot
- kierteisyys
- mikrofibrillien kulma solussa
- anatominen rakenne
- kemiallinen koostumus
- kuidun pituus, poikkipinta-ala, ympärysmitta
- kuidun seinämän paksuus

detta. Runkoviat vaikeuttavat puun mekaanista työstöä, näkyvät tuotteissa syyhäiriöinä ja aiheuttavat muotovikoja. Raaka-aineen suuri tiheys ja lujuus, kapeat ja tasalevyiset vuosilustot, suuri sydänpuuosuus ja suorasyisyys ovat haluttuja ominaisuuksia useissa puutuotteissa. Myös oksattomuutta tai terveoksisuutta arvostetaan. Kuivat, helposti irtoavat, kuorta tai lahoa sisältävät oksat laskevat tuotteen visuaalista laatua ja niillä on merkitystä erityisesti tuotteiden näkyviin jäävissä pinnoissa. Tuotteen lujuuteen vaikuttaa kuitenkin eniten oksan koko, ei juurikaan oksan laatu. Lähellä esiintyvät oksat laskevat tuotteen lujuutta enemmän kuin hajallaan esiintyvät. Suuret oksat ja oksaryhmät alentavat usein myös visuaalista laatua. Reaktiopuun poikkeava solurakenne ja kutistumisominaisuudet aiheuttavat tuotteisiin muotovikoja ja halkeamia. Reaktiopuu voi poiketa normaalista puuaineesta myös väriltään. Sienivauriot, sinistymä ja laho erottuvat värivikana ja laho usein myös puuaineen alentuneena

na lujuutena. Halkeamat, hyönteisvauriot ja korot alentavat tuotteen visuaalista laatua ja saattavat vaikuttaa myös lujuuteen. Voimakkaasti kierteinen raaka-aine näkyy tuotteissa vinosyisyytenä alentaen tuotteen lujuutta ja aiheuttaen sen kieroutumista. Solun mikrofibrillien kulma solun pituusakseliin nähden vaikuttaa puun kutistumisominaisuuksiin, kutistumisen määrään ja muotovikojen esiintymiseen.

Massan ja paperin valmistuksessa on merkitystä puun anatomisella rakenteella ja kemiallisella koostumuksella sekä kuituominaisuuksilla, kuidun pituudella, poikkipinta-alalla, ympärysmitalalla ja kuidun seinämän paksuudella. Rungon oksaisuus ja runkokuoto, kesäpuun, sydänpuun ja nuorpuun määrä, oksat, reaktiopuu ja puun vauriot vaikuttavat myös massan valmistukseen, saantoon, laatuun ja lujuuteen.

Sekä puutuotteiden että massan ja paperin valmistuksessa on merkitystä osittain samoilla puun ominaisuuksilla, joskin niiden vaikutustavat ja painoarvot ovat erilaiset.

Erilainen lopputuote

Puupohjaisia tuotteita on paljon (taulukko 2), ne ovat erilaisia ja niiden ominaisuudet riippuvat valmistusprosessista ja ennen kaikkea jalostuksessa käytettävän raaka-aineen ominaisuuksista. Yksittäisen tuotteen kannalta tärkeää on sen tasalaatuisuus. Tasalaatuisten tuotteiden valmistusta vaikeuttaa epähomogeeninen ja vaihteleva puuraaka-aine. Toisaalta puuraaka-aineen ominaisuuksien vaihtelu mahdollistaa hyvin erilaisten tuotteiden valmistamisen. Jokaiselle tuotteelle on mahdollista löytää tai kasvaa juuri siihen sopiva raaka-aine.

Puun jalostus

Puun jalostuksessa raaka-aineen ja valmistettavien lopputuotteiden ominaisuuksien tulee vastata toisiansa mahdollisimman hyvin. Jalostuksen tavoitteena on toisaalta raaka-aineen maksimaalinen määrällinen ja laadullinen hyväksikäyttö ja toisaalta parhaan arvon antavien, myytävissä olevien tuotteiden valmistaminen. Valmistuskustannusten tulee

lisäksi pysyä raaka-aineeseen ja tuotteeseen nähden kohtuullisina.

Jalostuksella voidaan jonkin verran vaikuttaa tuotteiden ominaisuuksiin. Esimerkiksi puutuotteiden valmistuksessa voidaan poistaa tuotteen laatua alentavia puuaineen vikoja, jolloin puuraaka-aineen hyötysuhde alenee tai kätkeä puuaineen vikaisuuksia tuotteen näkymättömiin jääville tai liimattaville pinnoille.

Puutuotteiden valmistuksessa puun sisäiset ominaisuudet joudutaan päättämään rungon ja tukin ulkoisten ominaisuuksien perusteella. Jos tässä epäonnistutaan, raaka-aine voi joutua täysin väärään käyttökohteeseen. Ulospäin oksattomalta näyttävä tyvitukki voi olla sisältä kuivaoksainen. Kun puun alkuperä tunnetaan tarkasti, voidaan vähentää jalostuksessa tapahtuvia raaka-aineen ominaisuuksiin ja käyttökohteen valintaan liittyviä virhearvioiteja. Puun sisäistä laatua on pyritty selvittämään myös röntgensäteisin perustuvalla tietokonetomografialla, ultraäänellä, mikroaalloilla ja ydinmagneettisella resonanssilla (NMR). Toistaiseksi mikään näistä menetelmistä ei vielä ole teollisessa käytössä.

Puun käytön optimointiin liittyvä tutkimus

Raaka-ainetta läpi koko jalostusketjun käsittelevä ja sen käyttöä optimoiva tutkimus on toistaiseksi ollut vähäistä. Perintö- ja ympäristötekijöiden sekä metsänhoidon vaikutusta puuraaka-aineeseen ja toisaalta puuraaka-aineen mekaanista ja kemiallista jalostusta lopputuotteiksi on perinteisesti tutkittu erillään. Raaka-aineen ominaisuuksia, niihin vaikuttavia tekijöitä ja erityisesti niiden vaikutusta eri tuotteiden valmistukseen ja ominaisuuksiin ei tämän vuoksi tunneta riittävän hyvin.

Puun käytön optimointiin liittyvissä tutkimuksissa tarkastellaan eri muuttujien vaikutusta tuotteiden kannalta tärkeisiin puuraaka-aineen ominaisuuksiin sekä edelleen niiden vaikutusta tuotteiden valmistukseen ja lopputuotteiden ominaisuuksiin. Puutuoteteollisuudessa ollaan siirtymässä bulkkitarvikkeiden valmistuksesta asiakastuotteisiin. Ajankohtainen tutkimusalue on asiakastuotteiden optimaalisen puuraaka-aineen määrittely ja sen saatavuuden selvittäminen. Tutkimuksen lähtökohtana voi olla myös tietyt erityispiirteet omaava raaka-aine, esimerkik-

Taulukko 2. Yleisimpiä puusta teollisesti valmistettavia tuotteita.

Puutuotteet	Massat
– sahatavara	– havupuusellu
– vaneri	– lehtipuusellu
– lastulevy	– hioke, painehioke (PGW)
– kuitulevy	– hierre, kuumahierre (TMP),
– liimapuu	– kemihierre (CTMP)
– kertopuu	
– kattotuoli	Paperit
– puiset	– sanomalehtipaperi
– rakenneosat	– aikakauslehtipaperit (SC, LWC)
– ovet	– hienopaperit
– ikkunat	– pakkaus-, pehmo-, etiketti- ja
– parketti	– tarrapaperit
– paneelit	– rasvatiiviit paperit
– listat	
– portaat	Kartongit
– huonekalut	– aaltopahvi
	– kotelo-, graafinen ja tapettikartonki

si suopuusto, jonka jalostusmahdollisuudet selvitetään ja jolle raaka-aineen ja jalostusominaisuuksien perusteella määritellään optimaaliset lopputuotteet.

Puun käytön optimointi metsästä lopputuotteeseen mahdollistaa paremman raaka-aineen hyväksikäytön, korkealaatuiset, arvokkaat ja kilpailukykyiset tuotteet sekä raaka-aineen ominaisuuksia hyödyntävän valmistuksen.

Kirjallisuutta

Metsätilastollinen vuosikirja 1998. Metsäntutkimuslaitos, Jyväskylä 1998. 344 s.

■ Marketta Sipi (marketta.sipi@helsinki.fi) toimii professorina Helsingin yliopiston Metsävarojen käytön laitoksella.