

Puupolymeerit ja soluseinän hienorakenne



Puu-19.210 Puun rakenne ja kemia

Luennolla käsiteltävät asiat löytyvät kirjan kappaleista 4,5 ja 6.

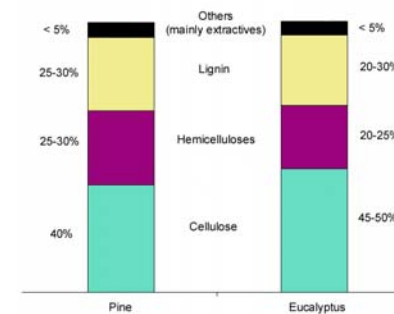
- Kappale 4: Puun soluseinä
- Kappale 5: Puun erikoissolukot
- Kappale 6: Puun komponentit ja niiden kemia

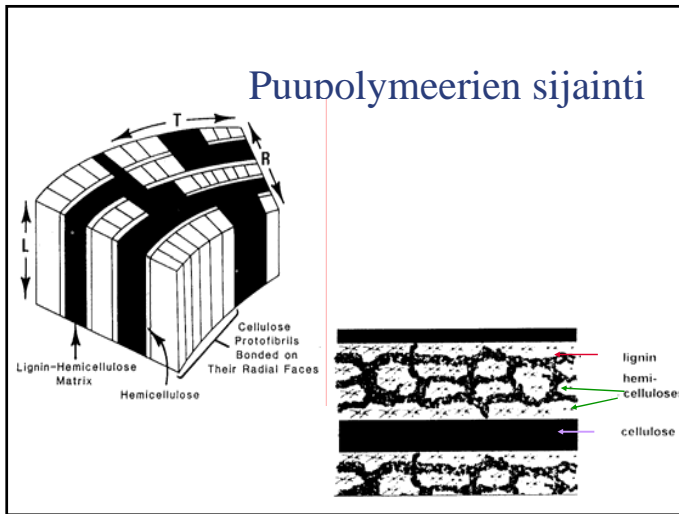
Luennon 4 oppimistavoitteet - osa I

- Tunnet pääasialliset puupolymeerit ja osaat kuvata puupolymeerien rakennetta (koko, haaroittuneisuus, kiteisyys, amorfisuus, hydrofiilisius ja hydrofobisuus) ja mitkä ovat puupolymeerien tehtävät puussa.
- Osaat piirtää ja nimetä normaalipuun trakeidien tai kuitujen soluseinän osat. Ymmärrät, mistä nimet ovat peräisin.
- Ymmärrät, kuinka soluseinän osat poikkeavat toisistaan (koostumus, paksuus, mikrofibrillikulma).
- Osaat kuvata ja piirtää soluseinän sisäistä rakennetta (S2-kerros).

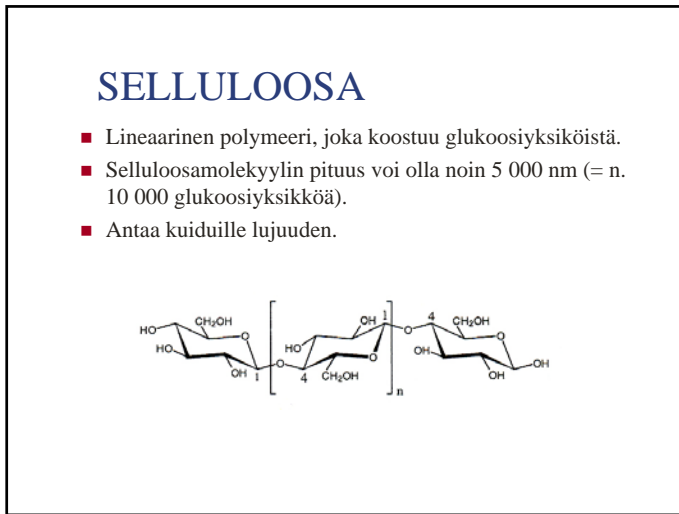
SOLUSEINÄN KOOSTUMUS

- Puukuitujen soluseinät koostuvat lähinnä selluloosasta, hemiselluloosista ja ligniinistä.





- ### Puupolymeerit:
- Selluloosa muodostaa rungon, jota ympäröivät ligniini ja hemiselluloosat.
 - Selluloosa ja hemiselluloosat ovat hydrofiilisiä, mutta ligniini on hydrofobinen.
 - Ligniini ja hemiselluloosat säätelevät soluseinän kosteuspitoisuutta.



- ### SELLULOOSA
- Selluloosamolekyylit muodostavat mikrofibrilleissä järjestäytyneitä alueita, kristallitteja, jotka muuttuvat ilman selvää rajaa amorfisiksi alueiksi.
 - Kristalliitin pituus natiivissa selluloosassa on 100-250 nm.
 - Yksi selluloosamolekyylä voi kulkea usean kristalliitin läpi.

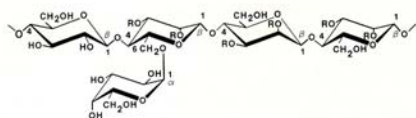
HEMISELLULOOSAT

- Heteropolysakkarideja
- Rakenne on samankaltainen selluloosan kanssa.
- Säätelevät soluseinän vesipitoisuutta.
- Sivuryhmät lisäävät niiden vesiliukoisuutta.
- Vedensitomiskyvyn ansiosta tekevät soluseinästä ja kuiduista joustavia.

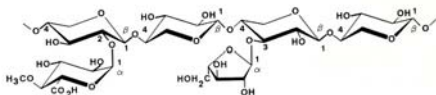
HEMISELLULOOSAT

- Lehtipuiden yleisimpiä hemiselluloosia ovat *glukomannaani ja glukuroniksylaani*.
- Havupuissa yleisimmät hemiselluloosat ovat *galaktoglukomannaani ja arabinoglukuroniksylaani*.

HEMISELLULOOSAT

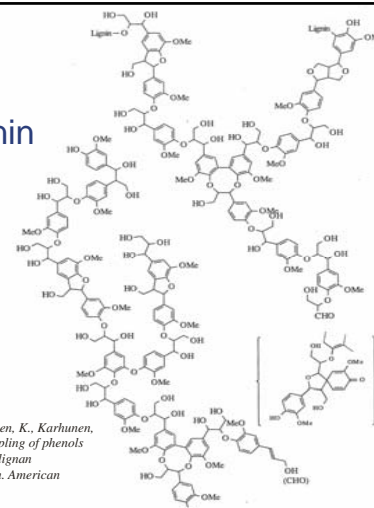


Galaktoglukomannaani



Arabinoglukuroniksylaani

Brunow et al. ehdotelma ligniinin rakenteesta



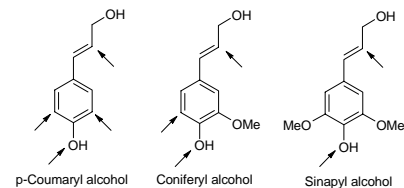
(Brunow, G., Kilpeläinen, I., Sipilä, J., Syrjänen, K., Karhunen, P., Setälä, H. ja Rummakko, P. Oxidative coupling of phenols and the biosynthesis of lignin. In: Lignin and lignan biosynthesis. Ed. N.G. Lewis and S. Sarkkanen. American Chemical Society, Washington, Pp 131-147)

LIGNIINI

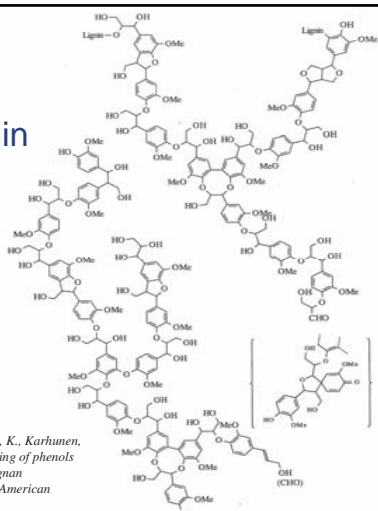
- Ominaisuudet
 - Amorfinen polymeeri, jolla on epäsäännöllinen rakenne
 - Verkottunut polymeeri, joka koostuu fenyylipropaniysiköistä.
 - Hydrofobinen.
- Merkitys kuidussa
 - “Liimaa kuidut toisiinsa”.
 - Säätelee soluseinän vesipitoisuutta hemiselluloosien kanssa.

LIGNIINI

- Ligniini on fenyylipropaniysiköistä muodostunut polymeeri.
- Ligniinin prekursorit ovat p-kumaryylialkoholi, koniferyylialkoholi ja sinapyylialkoholi. Näiden rakenne eroaa toisistaan metoksyyliryhmien lukumäärän perusteella.
- Ligniini on haaroittunut kolmiulotteinen polymeeri.



Brunow et al. ehdotelma ligniinin rakenteesta

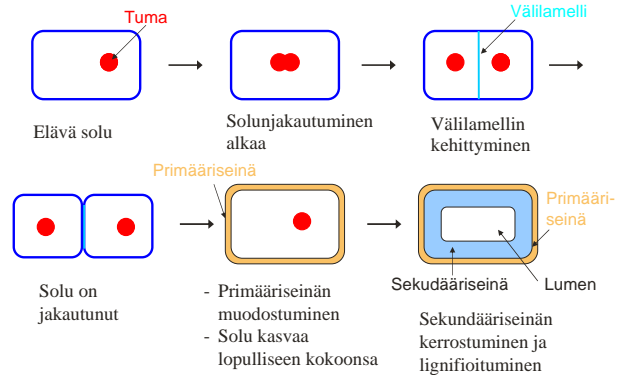


(Brunow, G., Kilpeläinen, I., Sipilä, J., Syrjänen, K., Karhunen, P., Setälä, H. ja Rummakko, P. Oxidative coupling of phenols and the biosynthesis of lignin. In: Lignin and lignan biosynthesis. Ed. N.G. Lewis and S. Sarkanen. American Chemical Society, Washington. Pp 131-147)

MUUT YHDISTEET

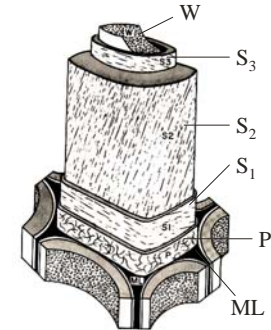
- Soluseinässä on myös muita polymeerisiä yhdisteitä:
 - pektiinejä
 - tärkkelystä
 - proteiineja
- Soluseinässä on myös muita yhdisteitä:
 - uuteaineita
 - vesiliukoisia orgaanisia yhdisteitä
 - epäorgaanisia yhdisteitä

SOLUN JAKAUTUMINEN



SOLUSEINÄN KERROKSET

- **Väilamelli (ML)**
 - Korkea ligniinipitoisuus
 - Liimaa solut toisiinsa
 - Paksuus 0,5-1,5 μm .
- **Primääriseinä (P)**
 - Selluloosan mikrofibrillit muodostavat säännöttömän verkon.
 - Estää solun turpoamisen.
 - Melko korkea ligniinipitoisuus.
 - Paksuus 0,1-0,2 μm .
 - Alkuperäinen soluseinä, joka on muodostunut jälsissä.

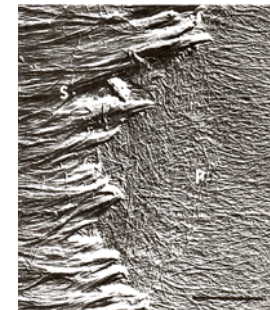
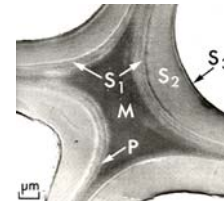


SOLUSEINÄN KERROKSET

- **Sekundääriseinä (S)**
 - Muodostaa yli 90% soluseinästä.
 - S1, S2 ja S3 erottuvat toisistaan fibrillirakenteiden johdosta.
- **S₁ (ulkokerros)**
 - Ohut kerros (0,2-0,3 μm).
 - Fibrillikulma n. 90° kuituun nähden.
 - Fibrillit kiertävät vuoroon oikealle vuoroon vasemmalle.
 - Lisää kuidun horisontaalista lujuutta.
- **S₂ (keskikerros)**
 - Paksu (1,4-4 μm).
 - Mikrofibrillit ovat lähes kuidun suuntaisia
 - Antaa kuidulle lujuuden.
- **S₃ (sisäkerros)**
 - Paksuus <0,4 μm .
 - Fibrillikulma 50-90°.



SOLUSEINÄN KERROKSET



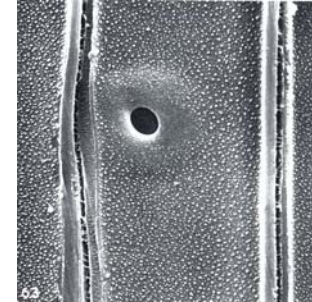
SOLUSEINÄN KERROKSET

- Kyhmykerros (W)
 - Ohut amorfinen kalvo soluseinän sisäpinnalla.
 - Pienien (0.01-1 µm) kyhmyjen peittävä.
- Lumen
 - Kuidun ontto sisus.
- Yhdistetty välimalli (CML)
 - = P + ML + P
 - ML vaikea erottaa P-kerroksista.
- Ligniinitipitoisuus CML:ssä on korkea, mutta koska sen paksuus on hyvin pieni on kokonaisligniinitä vain pieni osa tässä kerroksessa.
- Sekundääriseinäen ligniinitipitoisuus on melko alhainen, mutta paksuuden vuoksi on suurin osa ligniinitä tässä kerroksessa.
- Sekundääriseinäessä on korkein selluloosapitoisuus.



KYHMYKERROS

- Kyhmykerros peittää soluseinän sisäpinnan.



SOLUSEINÄN KERROKSET

Polymeerien jakautuminen havupuun trakeideissa

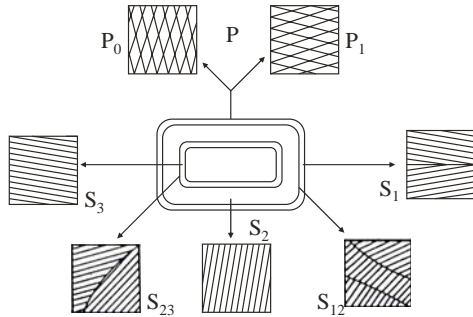
Soluseinän kerros	Osuus soluseinästä (tilavuus-%)	Selluloosa %	Hemi-selluloosa %	Ligniini %
CML	12,3	12,4	25,6	62
S ₁	10	34,5	35,5	30
S ₂ + S ₃	77,7	55,7	14,3	30

Soluseinän kerros	% selluloosasta	% hemi-selluloosasta	% ligniinitä
CML	3 %	18 %	22 %
S ₁	7 %	20 %	9 %
S ₂ + S ₃	90 %	62 %	69 %

SOLUSEINÄN KERROKSET

Kerros	Suhteellinen paksuus, %	Fibrillikulma, °		
P	0 - 2	satunnainen		
S ₁	5-11	50-70		
S ₂	74-84	10-20		
S ₃	3-4	60-90		

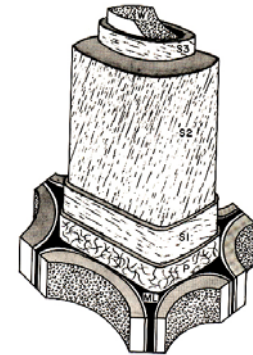
SOLUSEINÄN KERROKSET



Kaavakuva mikrofibrillien orientaatiosta kuitujen primääriseinässä ja sekundääriseinän eri kerroksissa.

YHTEENVETO - soluseinä

- Väliamelli
 - Korkea ligniinipitoisuus
 - Liimaa kuidut yhteen
- Primääriseinä
 - Selluloosafibrillit muodostavat säännöttömän verkon.
 - Melko korkea ligniinipitoisuus.
- Sekundääriseinä
 - Paksu kerros (90% soluseinästä).
 - Mikrofiibrillit lähes kuidun suuntaisesti.
 - Antaa puulle ja kuidulle lujuuden.



Erikoissolukot – reaktiopuu ja nuorpuu

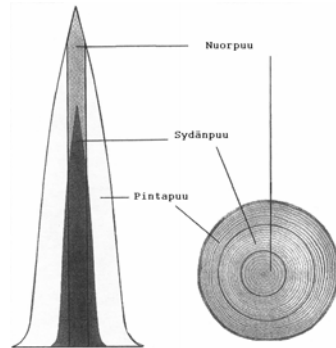


Luennon 4 oppimistavoitteet - osa II

- Ymmärrät, mitä tarkoitetaan käsitteillä reaktiopuu ja nuorpuu.
- Osaat kuvata, missä näitä solukkoja esiintyy (havu- ja lehtipuut).
- Tiedät, miten havupuun reaktiopuu eli puristuspuu poikkeaa normaalipuusta (solukon ja solujen rakenne sekä kemiallinen koostumus).
- Tiedät, miten lehtipuun vetopuu eli puristuspuu poikkeaa normaalipuusta (solukon ja solujen rakenne sekä kemiallinen koostumus).
- Ymmärrät, kuinka puristuspuu ja vetopuu vaikuttavat puun laatuun (vaikutus lujuuteen, kuituominaisuuksiin paperinvalistuksessa jne.).

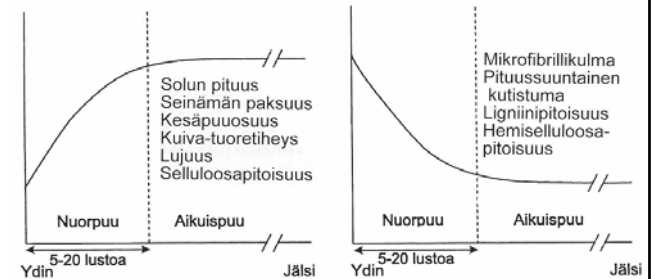
Nuorpuu

- Nuorpuu on solukkoa, joka on syntynyt nuoren jäljen toiminnan seurauksena. Noin 5-20 vuosilustoa ympäriällä.



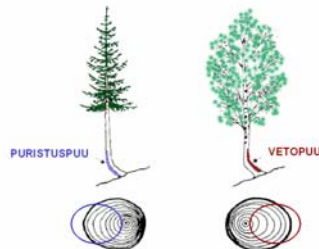
(Saranpää, 2003)

Nuorpuun ominaisuudet



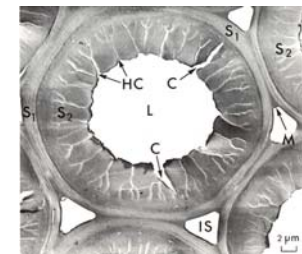
REAKTIOPUU

- Reaktiipuuta muodostuu kun puu pyrkii palauttamaan rungon (tai oksat) normaaliin asentoon.
- Havupuissa syntyy puristuksen alaisiin osiin puristuspuuta eli (compression wood).
- Lehtipuissa syntyy vetojännityksen alaisiin kohtiin vetopuuta (tension wood).
- Reaktiipuukuidut eroavat rakenteeltaan ja ominaisuuksiltaan muista puukuiduista.



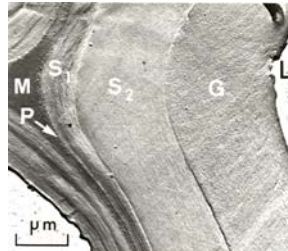
PURISTUSPUU

- Havupuissa
- Muodostuu rungon alapuolelle.
- Painavampaa, kovempaa ja tiheämpää kuin normaalipuu.
- Trakeidit ovat lyhyitä ja paksuseinäisiä.
- Verrattuna normaalipuhun S_1 on paksumpi, S_2 :ssa fibrillikulma on suurempi ja S_3 puuttuu kokonaan.
- Selluloosapitoisuus on alhainen ja ligniiniipitoisuus korkea.
- Poikkileike on lähes pyöreä ja solujen väliin jää rakoja.

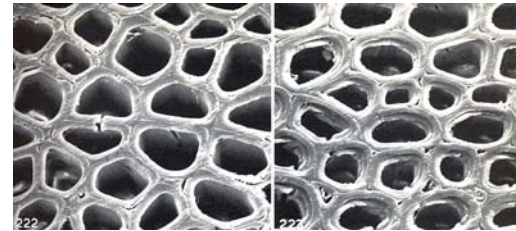


VETOPUU

- Lehtipuissa.
- Muodostuu rungon yläpuolelle.
- Paksuseinäisiä kuituja.
- Vähemmän ja pienempiä putkiloita.
- Usein gelatiinimainen kerros (G), joka on lähes puhdasta ja kiteistä selluloosaa.
- Selluloosapitoisuus korkea, ligniinipitoisuus matala.



VETOPUU



- Koivukuituja tavallisessa puussa (vasen) ja vetopuussa (oikea).

REAKTIOPUU

