

Puuaineksen tuhoutuminen, lahoaminen ja puun väri

Mikrobinen ja entsyymaattinen puun hajoaminen

- Puuta hajottavat organismit:
 - hyönteiset – esim. muurahaiset, kuoriaiset, termitit, pistiäiset
 - mekaaninen prosessi
 - sienet - lahottajasienet
 - entsyymaattinen toiminta
 - bakteerit
 - lahottajasieniin verrattuna bakteerien puuta hajottava vaikutus on hidas

Entsyymaattinen puun hajoaminen - lahottajasienet

- Entsyymit osallistuvat puumateriaalin biosynteesiin.
- Ne voivat myös hajottaa puuainesta.
- Puuta hajottavia entsyymejä erittyy esim. erilaisista lahottajasienistä.

Lahottajasienten luokittelu

- Lahottajasieniä on suuri määrä -> luokittelu vaikeaa
- Päätyyppien mukaan jaottelu:
 - Rusko-, valko- ja katkolahottajat ja sinertymäsienet
- Esiintymisen mukaan jaottelu:
 - Metsälahottajat
 - Varastolahottajat
 - Puurakenteiden lahottajat

Lahottajasienityyppejä

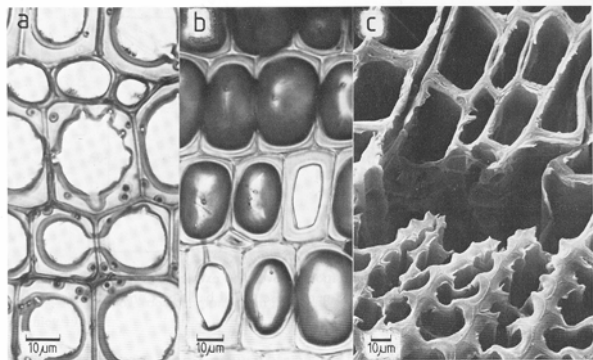
- Ruskolahottaja (*engl. brown-rot*)
 - Hajottaa pääasiallisesti puun polysakkarideja.
 - Voi aiheuttaa myös muutoksia ja hajottaa ligniiniä.
 - Lahottajasienen seurauksena puu muuttuu ruskeaksi ja hauraaksi.
 - Lisäksi puun lujuus heikkenee.
 - Pääosin havupuiden lahottajasieni.

Lahottajasienityyppejä

- Valkolahottaja (*engl. white-rot*)
 - Tähän ryhmään kuuluvat lahottajasienet tuhoavat niin ligniiniä kuin polysakkaridejakin. Pääasiallisesti kuitenkin ligniiniä.
 - Useimmat valkolahotyypit suosivat lehtipuita.
 - Entsymaattisen toiminnan seurauksena puuaines muuttuu vaaleaksi ja pehmeäksi.
 - Lisäksi puun lujuus heikkenee.

Valkolaho

(Fengel, D. & Wegener, G., Wood - Chemistry, Ultrastructure, Reactions, sivu 385)



Valkolahottajan tuhoamaa männyn solukkoa.

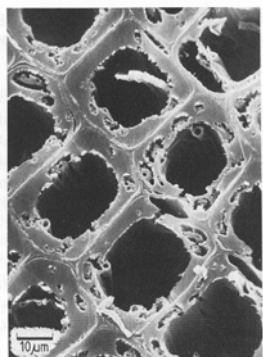
Lahottajasienityyppejä

- Katkolahottaja (*engl. soft-rot fungi*)
 - Tähän ryhmään kuuluvien lahottajasienten entsyymit pystyvät hajottamaan kaikkia soluseinän komponentteja.
 - Hajottamisnopeus ja -selektiivisyys riippuu paljolti lahottajasienityypistä.
 - Esiintyy havu- ja lehtipuissa.
 - Sienen toiminnan seurauksena puumateriaalin lujuus heikkenee.

Katkolaho

(Fengel, D. & Wegener, G., Wood - Chemistry, Ultrastructure, Reactions, sivu 394)

- Katkolahottajan (*Scytalidium lignicolum*) tuhoamaa männyn solukkoa.
- REM- kuva



Lahottajasienityyppejä

- Sinistymäsieni (*engl. blue-stain fungi*)
 - Esiintyy pääosin havupuissa.
 - Voi rajoitetusti hajottaa polysakkarideja.
 - Tyypillisin tämän sienityypin aiheuttama vaurio on sininen tai musta värjäytymä.



Valokuva: Erkki Oksanen, Metla

Lahottajasienen eteneminen puussa

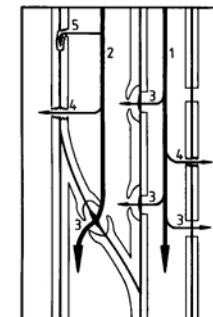
- Elävään puuhun lahottajat voivat levitä maaperän kautta, kuoren tai vahingoittuneen kohdan kautta, hyönteisten aiheuttamien tuhojen seurauksena jne.
- Sienirihmojen päästä erittyvät entsyymejä, jotka tunkeutuvat soluseiniin hajottaen niitä.

Lahottajasienen eteneminen puussa

(Fengel, D. & Wegener, G., Wood - Chemistry, Ultrastructure, Reactions, sivu 374)

Sienirihmojen eli hyyfien eteneminen puussa:

- 1: tylppysolujen lumen
- 2: putkilosolujen lumen
- 3: pihahuokonen, puolipihallinen tai pihaton huokonen
- 4: soluseinä
- 5: välilamelli ja soluseinä



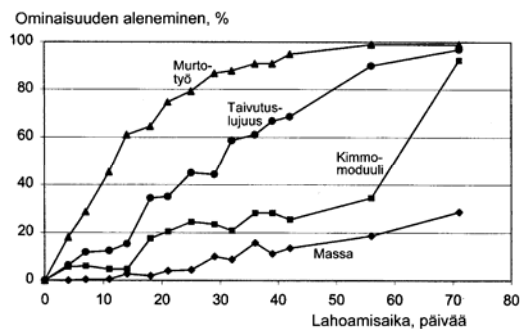
Lahottajasienten vaikutus puumateriaaliin

- Puuaines (ligniini, polysakkaridit) pilkkoutuu.
- Pilkkoutumisen seurauksena puun huokoisuus kasvaa.
- Lujuus heikkenee.
- Puun väri voi muuttua.
- Ongelmia jatkojalostuksessa.

Lahottajasienten vaikutus puumateriaaliin, esimerkkejä

- Sinistymäsieni -> sinistymä
 - Harvinainen elävässä puussa.
 - Väriviat sahatavarassa ja lastulevyissä.
 - Selluteollisuudessa johtaa suurempaan valkaisukemikaalien kulutukseen.
- Ruskolahottajasieni -> ruskolaho
 - Puun haketuksessa syntyy enemmän käyttökelvotonta jaetta. Sellunkeitossa alentaa saantoa, heikentää laatua ja lisää kemikaalikulutusta.
 - Lastulevyteollisuudessa ongelmia voi esiintyä esim. mittapysyvyydessä ja lujuudessa.

Lahoamisen vaikutus puumateriaaliin



(Kärkkäinen, M., Puutieteen perusteet, Kustannusosakeyhtiö Metsälehti, Hämeenlinna 2003. Mukaillen Curlin, S., Clausen, C.A. & Winandy, J.E., The effect of hemicellulose degradation on the mechanical properties of wood during brown rot decay. 2001. Doc. IRG/WP 01-20219: 1-10.)

Puun fotokemiallinen tuhoutuminen auringonvalon seurauksena

- Puun kemiallinen tuhoutuminen johtuu pääasiallisesti auringon ultraviolettisäteilystä.
- Puun komponentit pystyvät absorboimaan UV-säteilyn aallonpituuksia.
- Erityisesti ligniini ja muut kromoforiset ryhmät absorboivat voimakkaasti UV-alueella.
 - Näin ollen UV-valo tuhoaa suhteellisen helposti ligniiniä.

Fotokemiaa

- Valon absorboituminen puuhun aiheuttaa elektronien virittymistä.
- Mikäli virittävän valon energia on riittävä:
 - elektronit voivat siirtyä perustasoa korkeammalle energiatasolle eli ne virittyvät.
 - Tyydyttymättömiä sidoksia sisältävät yhdisteet voivat helposti virittyä.
 - Näitä ovat esim. puun kromoforiset rakenteet, kuten ligniini ja useimmat uuteaineet



ERITYISESTI LIGNIININ, MUTTA MYÖS MUIDEN PUUN KOMPONENTTIEN FOTOKEMIAALINEN HAJOAMINEN

Puun väri

- Puun väriin vaikuttavia fysikaalisia tekijöitä:
 - Puumateriaali
 - Tuleva valo -suunta
 - Kosteuspitoisuus
 - Pinnankarheus
- Värimuutoksiin vaikuttavia tekijöitä
 - Valo –UV, näkyvä valo
 - Puun alkuperäinen väri
 - Alkali, hapot, metalli-ionit
 - Lahottajat

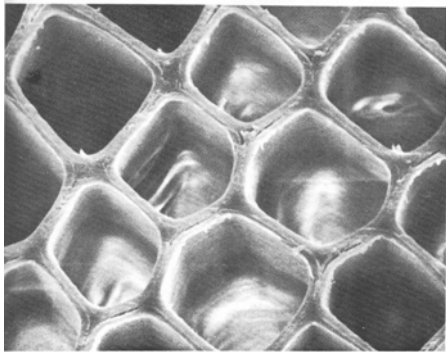
Fotokemia

Aallonpituus, nm	Absorboitunut väri	Havaittu väri
400-424	violetti	vihreä-keltainen
424-491	sininen	keltainen
491-570	vihreä	punainen
570-585	keltainen	sininen
585-647	oranssi	sininen-vihreä
647-700	punainen	vihreä

Puun fotokemiallinen hajoaminen

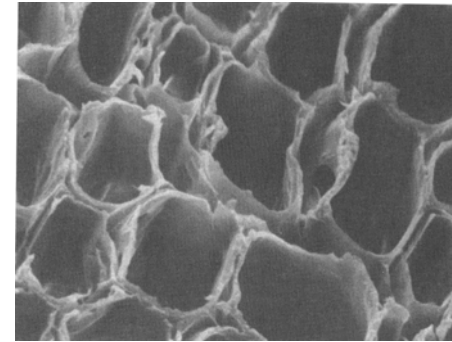
- Kohdistuu pääasiallisesti vain uloimpaan pintakerrokseen.
- Mikäli hajoaminen saa jatkaa vapaasti, luonnonoloissa puun pinnasta menetetään vuosisadassa noin 6-7 mm kerros.
- Kevät- ja kesäpuulla eroja UV-valon siedossa.
 - Kesäpuu sietää paremmin UV-valoa, koska sen ligniinipitoisuus on pienempi ja selluloosan kristallisuuden suurempi kuin kevätpuun.
 - Esimerkkinä vanhojen rakennusten puisten ulkoseinien uurteisuus.

Mäntynäyte (southern yellow pine) Ei altistusta UV-valolle



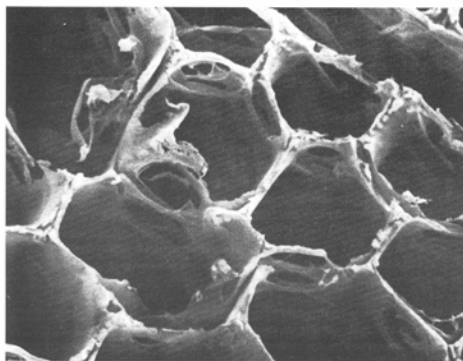
(Hon, D., N.-S. & Shiraishi, N., Wood and cellulosic chemistry. Hon, D., Chapter 11, Weathering and Photochemistry of Wood. 2nd. Edition, Marcel Dekker, Inc. New York, 2001)

Mäntynäyte (southern yellow pine) 500 h altistusta UV-valolle



(Hon, D., N.-S. & Shiraishi, N., Wood and cellulosic chemistry. Hon, D., Chapter 11, Weathering and Photochemistry of Wood. 2nd. Edition, Marcel Dekker, Inc. New York, 2001)

Mäntynäyte (southern yellow pine) 1000 h altistusta UV-valolle



(Hon, D., N.-S. & Shiraishi, N., Wood and Cellulosic chemistry. Hon, D., Chapter 11, Weathering and Photochemistry of Wood. 2nd. Edition, Marcel Dekker, Inc. New York, 2001)

Puun komponenttien kemialliset muutokset

- Ligniini
 - Metoksyylipitoisuus alenee ($-\text{OCH}_3$)
 - pilkkoutuminen
- Selluloosa
 - Polymeraatioaste alenee
 - Lujuus alenee
 - α -selluloosapitoisuus alenee
 - Kellertyminen
 - Karbonyyli- ja karboksyyli-ryhmien muodostuminen
 - Haihtuvien yhdisteiden muodostuminen
 - Esim. asetoni, metanoli, etanoli, metaani, etaani
- Hemiselluloosat
 - Myös hemiselluloosat pilkkoutuvat

Puun kemiallinen tuhoutuminen auringonvalon ja ilman hapen seurauksena

- Seuraukset:
 - Värin ja kiillon muuttuminen
 - Vaaleat puulajit tummuvat ja tummat usein vaalenevat
 - Pinnan karhentuminen
 - Halkeilu
 - Lopulta murentuminen
 - Yhdessä muun säärasituksen kanssa edistää mikrobikasvustojen syntyä ja puun hajoamista.

Happosateen vaikutus

- UV-valon ja happosateen yhteisvaikutuksen on havaittu aiheuttavan puun pinnalla kemiallisia muutoksia.
- Erityisesti vetolujuuden on havaittua alenevan.
- Mikäli puuainne on altistunut UV-valolle, materiaalin ligniinipitoisuus on alentunut ja karbonyylipitoisuus kasvanut.
- Happosade kiihdyttää edelleen ligniinin hajoamista.

Metallikiinnikkeiden korroosio ja puun kemiallinen tuhoutumien

- Puuhun lyödyt naulat aiheuttavat puumateriaalin kemiallista tuhoutumista.
- Puu on luonnostaan hapanta.
 - Happoryhmiä
- Mikäli puun kosteus on riittävä, puu voi aiheuttaa raudan ruostumista.

Metallikiinnikkeiden korroosio ja puun kemiallinen tuhoutumien

- Raudan ruostumisen seurauksena puuainekseen vapautuu rautaioneja, joka aiheuttavat kemiallisia reaktioita puun komponenttien kanssa.
- Rauta pystyy hapettamaan selluloosaa ja muita puun polysakkarideja.
 - Selluloosa hajoaa
 - Puun lujuus heikkenee
 - Naulat löystyvät puussa, rakenteen kantokyky heikkenee

Metallikiinnikkeiden korroosio ja puun kemiallinen tuhoutumien

- Lämpökäsitellyn puuhun muodostuu suojakäsittelyn seurauksena runsaasti happoryhmiä.
 - Erityisesti muurahais- ja etikkahappoja.
- Lopputuotteen happamuus tulee ottaa huomioon valittaessa kiinnikkeitä.
 - Ruostumattomat nailat yms.

Metallikiinnikkeiden korroosio ja puun tuhoutumien

Puumateriaalin kemiallinen tuhoutuminen ja puuhun lyödyn naulan syöpyminen.

(Baker, A.J., Degradation of wood by products of metal corrosion. U.S.D.A Forest Service, research paper FPL 229)

