

„Puit ja puitmaterjalid“

Eesmärgid

Puit on kõige tuntum tarbe- ja ehitusmaterjal, tema omadused on olnud muutumatud aastatuhandete jooksul. Seoses tööstuse kiire arenguga on puitmaterjalide tootmine ja kasutamine 20. sajandi teisel poolel saavutanud kõrge tehnilise taseme.

Puit ehitusmaterjalina erineb suuresti tööstuslikult toodetud materjalidest. Kuna puit naturaalsel kujul on looduslik materjal, ei ole tema omadusi võimalik oluliselt mõjutada. Seda enam on vaja tunda puidu anatoomilist ehitust ning selle mõju puidu tehnilistele omadustele. Lisavõimalusi puidu kasutamiseks annab asjaolu, et erinevate puuliikide puit erineb üksteisest värvuse, kaalu, struktuuri, töötlemisomaduste ning ilmastikukindluse poolest. Seepärast peab puitu hästi tundma õppima, teda ratsionaalselt tootma ning kasutama.

Käesolev õppematerjal sisaldab olulist informatsiooni, mida tisler peaks teadma puidu ehitusest ja omadustest, et vastavalt sellele valmistada erinevaid puittooteid. Puidu kui ehitusmaterjali kesksedeks mõisteteks on puidu niiskuskäitumine (paisumine ja kokkutõmbumine), bioloogiline kestvus ning tugevusnäitajad. Õppematerjal on jagatud kuude peatükki. Teksti on illustreeritud rohketega joonistega, mis aitavad paremini esile tuua teema sisu ning mõista õpitut.

Kursuse eesmärgiks on luua õppematerjal, mis aitab õpilastel paremini omandada vajalikke teadmisi ja vastaks riikliku õppekava poolt kehtestatud nõuetele. Seega on e-kursuse otseseks sihtrühmaks puidueriala õpilased kutseõppe põhiõpingute mooduli "Materjaliõpetuse" õppimiseks.

1. PUU EHITUS

Puu elutegevuse näitajaks on aastane juurdekasv - uue aastarõnga moodustumine algab kevadel (mais) ja lõpeb sügisel. Et puitu saadakse valdavalt tüvest, on küllaltki oluline teada aastarõnga juurdekasvu puu tüves aasta jooksul ehk vegetatsiooniperioodil. Juurdekasv ei peegelda mitte ainult puu elutegevust antud aastal, vaid akumulereb endas ümbritseva keskkonna mõjud puule. Puistu tagavara ja sortimentide kujunemisel etendab põhilist osa diameetri juurdekasv. Diameetri juurdekasvu abil saab hinnata puistu tehnilist küpsust, puu vanust jne.

1.1 Tüvi

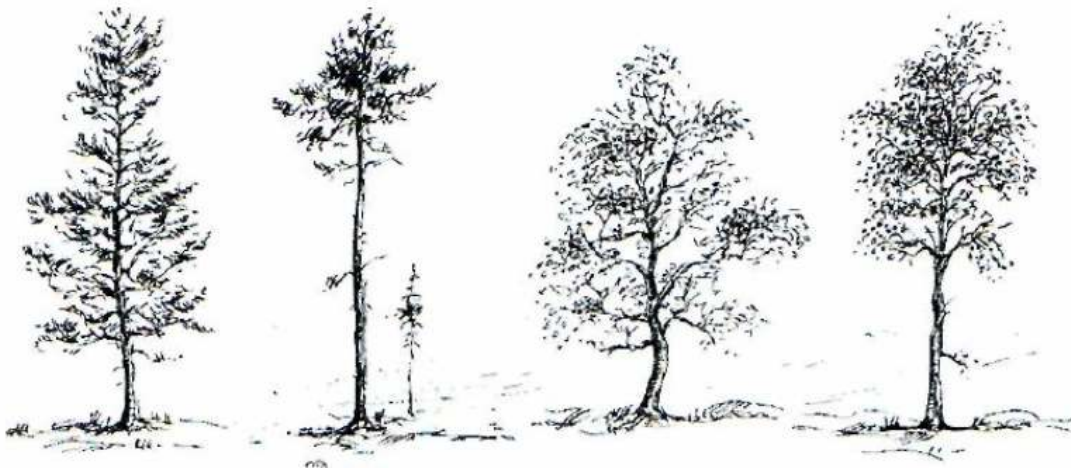
Piki tüve asetsevat kesket peenikest habrast kude, mis koosneb esmastest rakkudest, nimetatakse säsiiks. Taime kasvades areneb säsi tipus ladvapung.

Sellest kasvab välja vertikaalne peavõrse, millest hiljem areneb puutüvi, ning mõned külgvõrsed, mis kasvades muutuvad oksteks

Lehtpuude oksakohad on ebakorrapärased, sest mõned külgvõrsed arenevad peavõrseteks e hiljem tüvedeks, mistõttu pikkuse juurdekasv kujuneb ebaühtlaseks.

Kui aga okaspuu ladvavõrse saab mingil moel kahjustatud, areneb sel lehtpuudele sarnaselt mõnest külgvõrsest ladvavõrse ning hiljem sellest tüvi. Nii võib juhtuda näiteks põtrade poolt kahjustatud puudega.

Kasvukohatingimused, milles ladvavõrsed ja oksad kasvavad ning arenevad, määravad puu tüve sirguse, okste seisukorra ja esinemise sageduse. Kõigel sellel on suur tähtsus puidu praktilise kasutuse seisukohast. Puukrooni e võra suurus ja kuju sõltuvad suurel määral puu kasvuümbrusest. Kroon kasvab laiusesse, kui puu saab vabalt kasvada. Võra suurus on piiratud, kui ta peab tihedas metsas teiste puudega võistlema (joonis 1).



Joonis 1. Kasvukoha mõju tüve kujule.

Tihedalt kasvavad männid on võraaluses osas oksavaba tüvega ning võra algab neil suhteliselt kõrgelt. Kuivanud kuuse oksad ei kuku nii kergelt ära, vaid jäävad tüvele alles pikemaks ajaks. Seepärast on ka kuusetüve allosas puukoore pinnal selgelt näha kuivanud okste otsi, mis tuleks eemaldada kasvavate puude laasimisega. Seega on seletatav miks kuusepuidus esineb rohkelt kinnikasvanuid ümaraid oksa (üks peamine tunnus eristada kuuske männist kui puidu liiki ei ole võimalik teiste tunnuste järgi määrata).

Suurem osa puu aastasest juurdekasvust toimub kevadel, sõltudes nii kliimast kui ka mullastiku tüübist. Tisleri seisukohalt on oluline, et puud kasvaks noores eas võimalikult tihedalt mis tagab hilisema sirge ja laasunud puutüve, millest valmistatakse kõrgekvaliteedilist saematerjali.

1.2. Puutüve jämenemine

Puutüve jämeduskasv toimub koore all olevas juurdekasvukihis e kambiumis, vt. ptk 2.4. Analoogselt jämenevad ka oksad ja juured. Tüve ristiläbilõikes on puidu juurdekasv nähtav kontsentriliste ringide e aastarõngastena. Aastarõnga heledam osa - kevadpuit tekib kevadel vegetatsiooniperioodi esimesel poolel. Sügisel kasvanud aastarõnga tumedamat osa nimetatakse sügispuiduks.

Oluline on teada et puutüvel toimub puidurakkude uuenemine kogu puu ulatuses (uute rakkude moodustumise tulemusena pikeneb ja jämeneb puu).

Vaadeldes puitu mikroskoobiga, selgub, et see koosneb väikestest individuaalsetest ühikutest e rakkudest, millel on olenevalt nende ülesannetest puidus erinev kuju.

Okste ülesanne on laiendada võra pindala ja tagada sellega kasvuruum lehtedele või okastele, sest nendel on oluline tähtsus puu ainevahetuse protsessis. Okste ehitus sarnaneb põhiliselt tüve ehitusele.

Kuna puitmaterjali tugevusomadused on, võrreldes tema madala massiga, suhteliselt head, teeb see asjaolu puidust väga hea ja laialdast kasutust leidnud ehitusmaterjali.

Puidu siseehitus toob puittoodete valmistamisel siiski kaasa teatud probleeme. Oma eriliste bioloogiliste omaduste tõttu on puit kui tarbematerjal:

- **heterogeenne**, st. Materjali erinevatel osadel on erinevad omadused, nt kevad- ja sügispuit, radiaal ja tangentsiaal suund, tüve- ja oksapuit jne.
- **anisotroopne**, st. Füüsilised omadused erinevates suundades, näiteks puidu kahanemisel- paisumiselja, puidu töötlemisel kiudude suunad jne.
- **hügroskoopne**, st materjal püüab ühtlustada oma niiskussisaldust väliskeskkonnaga samale tasemele.

Nende asjaolude tõttu peavad puitmaterjali tootjad ja kasutajad teadma selle materjali erinevaid omadusi. Peab tundma puidu struktuuri ja füüsilisi omadusi, näiteks niiskuse, puidu tiheduse ja puidukiudude suuna mõju toodetele.

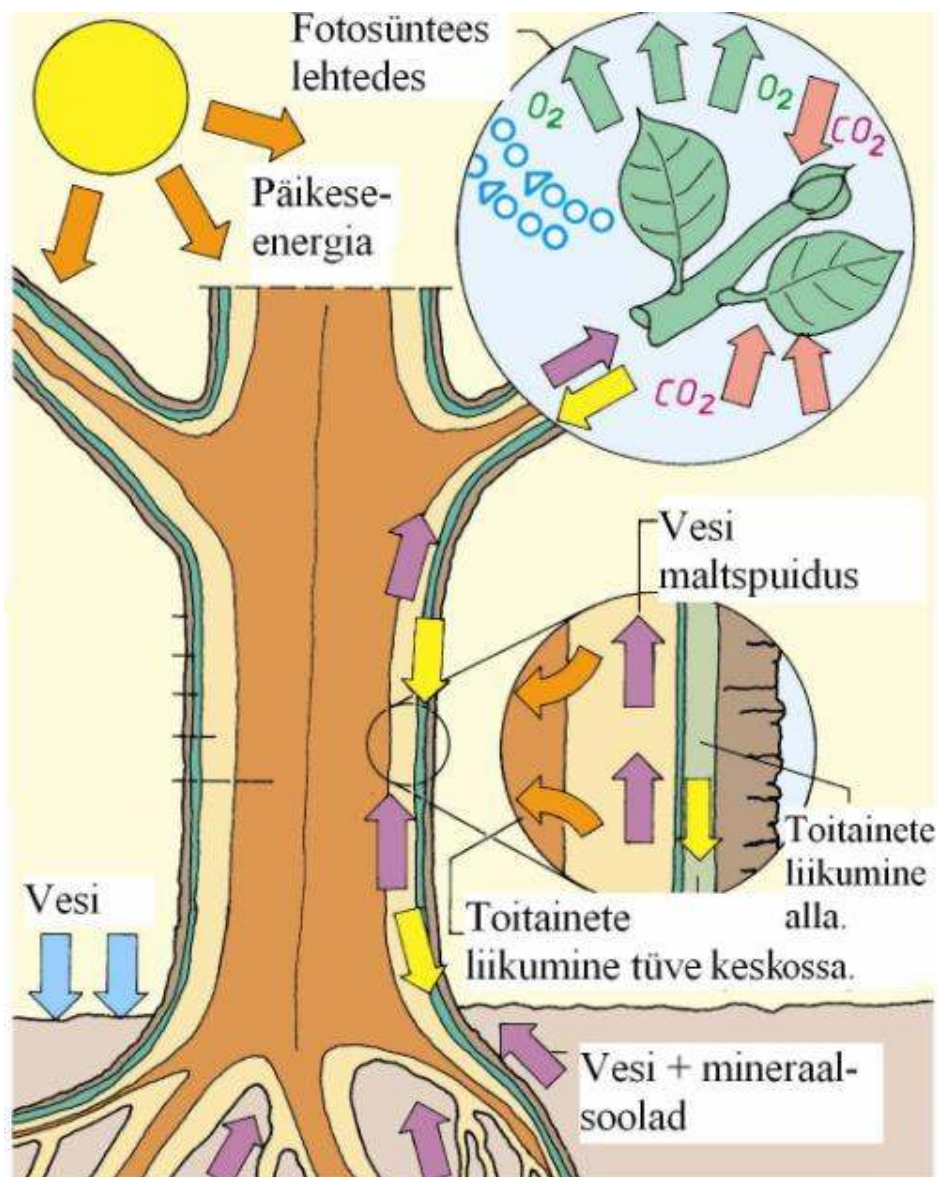
Puutüve tähtsamad ülesanded on:

1. hoida üleval tervet puud, st nii võra kui oksid;
2. olla mahlu transportivaks ja juhtivaks organiks;
3. säilitada toitained.

1.3 Vedelike transport tüves

Juurte kaudu mullast võetud vee juhtimine võrasse, lehtedesse või okastesse toimub piki maltspuidu (joonis 2.) välispoolset osa.

Fotosünteesi tulemusena lehtedes ja okastes tekkinud toitained (süsivesikud) juhitakse niine kaudu allapoole teistesse puu osadesse. Niin asetseb väliskoore (korba) ja kambiumi vahel. Sealt jaotatakse mahlad edasi risti tüve kulgevate radiaalsete kanalite säsiikiirte kaudu.



Joonis 2. Vedelike transport tüves

Vegetatsiooniperioodi alguses on vedelike transport juurestikust võrasse väga intensiivne. Okaspuudes toimub see aastarõngaste heledamas osas, mis koosneb õhukeseseinalistest kevadpuidu rakkudest. Lehtpuude aastarõngastes täidavad sama ülesannet erilised torukujulised sooned.

Kui soovitakse lasta puul ära kuivada, siis on vaja eemaldada puutüve alumises osas koorelt ainult korp ja niin. Sellise rõngaskoorimisega lõigatakse ära toitainete juurdepääs juurtele ja puu sureb nälga. Meetodit kasutatakse selliste puuliikide eemaldamiseks, mille mahasaagimisel tekivad kätiku ümbruses tülikad juurevõsud. Näitena võib tuua haava, halli lepa ja erinevad papliliigid.

2. Tüve ehitus

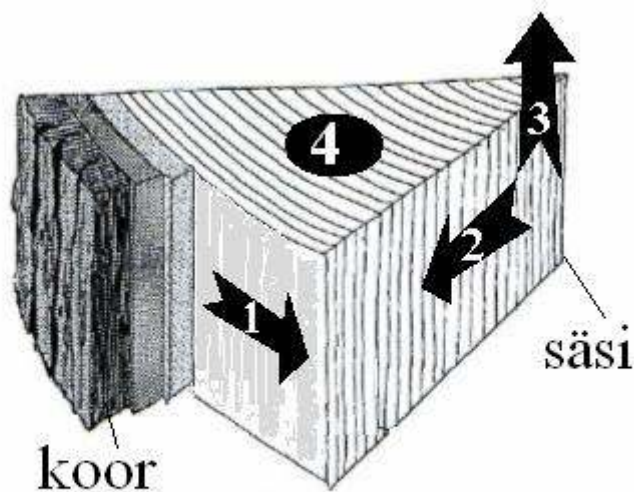
2.1 Puu kolm põhisuunda

Kuna puit on anisotroopne materjal, st et tema anatoomilised ja füüsikalised omadused on eri suundades erinevad, on puidu lähemaks tundmaõppimiseks vajalik määrata puitu iseloomustavad põhisuunad.

Puitmaterjali parimad omadused on puidukiudude pikisuunas e pikikiudu. Kui vaadelda puutüki ristlõiget, võib sellelt määrata kaks erinevate omadustega põhisuunda. Tüve keskelt, särist, puu väliskihtide suunas kulgevat nimetatakse **radiaalsuunaks**, piki aastarõngaid lähtuvat aga **tangentsiaalsuunaks** (joonis 3).

Sama põhimõtte järgi võib puud ja puitu vaadelda või uurida kolmes erinevas lõikes, Risti tüve pikiteljele moodustub puu **ristlõige** (joonis 3). Ristlõikes on hästi nähtavad aastarõngad mille abil võime määrata puidu vanust, kasvukoha tingimusi, puiduikkeid (vt. galerii Lõiked) ja teisi tunnuseid mis väljendavad puu elu.

Lõige, mis asetseb piki tüve ja läbib selle keskosa, nimetatakse **radiaallõikeks**. Lõige, mis on paralleelne tüve teljega, aga kulgeb piki aastarõngaid, moodustab **tangentsiaallõike**.



Joonis 3. Puidu lõikamise põhisuunad. 1- tangentsiaalne suund, 2- radiaalne suund, 3- pikkisuund, 4- ristlõige

Tisleri seisukohast on oluline just lõike kulgemise suund mis moodustab materjali pinnale tekstuuri (joonisel 4 näeme kuuse radiaal ja tangentsiaallõiget. Radiaallõikes moodustavad aastarõngad sirgeid paraleelseid vertikaalseid jooni. Tangentsiaallõikes näeme aga väga erinevaid mustreid mille iseloom sõltub saagimise suunast). Ühel ja samal lõikel erinevatel puiduliikidel võib muster (tekstuur) erineda tundmatuseeni.

Oluline on, et tiskler tunneb puidu anatoomilisi elemente ja suudab nende abil eristada erinevaid puiduliike ja lõikeid.

Puutüve ristlõikes on näha säsi (keskel), aastarõngad ja kooreosad (niin ja korp). Tüves võib eraldada veel tumedamat siseosa, lülipuitu, ja heledamat välisosa, maltspuitu.



Joonis 4. Vasakul kuuse radiaallõige, paremal kuuse tangentsiaallõige.

2.2 Miks on oluline teada puidu põhisuundasi?

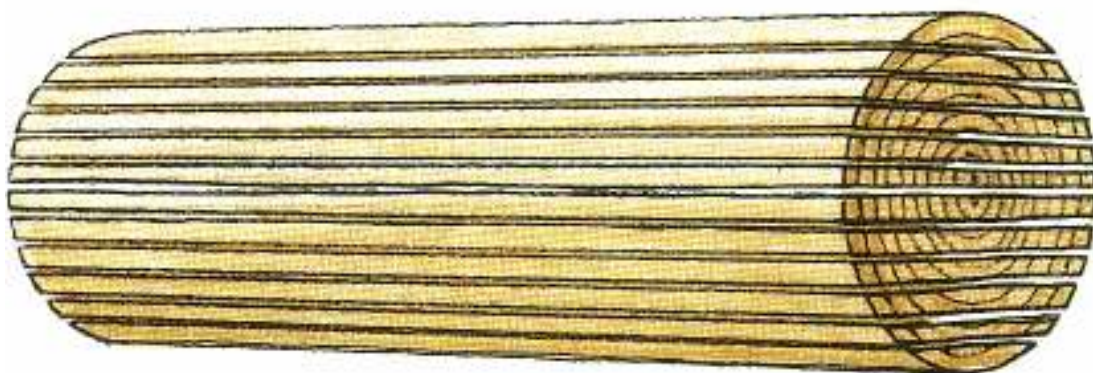
Puidu suunad määravad saematerjali lõikeviisi on oluline teada millise tekstuuriga (kiudude suunaga) saematerjali soovime. Tekstuur määrab toote hea väljanägemise. Kiudude suunal on oluline roll liimpuidu valmistamisel (vt. Peatükk puidu füüsikalised omadused). Valdav osa kasutuskõlblikust tarbepuidust on pärit puu tüvest. Okaspuudel kasvavad aastarõngad peamiselt, oksa alumisel küljel, mistõttu tekib ränipuit, lehtpuudel toimub põhiline kasv pealmisel küljel ning tekib tõmbepuit.

Kvaliteetsed langetatud puud lõigatakse palkideks ning transporditakse saeveskisse, kus nad töödeldakse saematerjaliks. Kõrgekvaliteedilised jämeda ja ühtlase tüvega lehtpuud on kõrges hinnas ning neist valmistatakse tavaliselt spooni. Jäätmeid ja alaväärtuslikku materjali kasutatakse enamasti puitplaatide ja paberi tootmisel.

Põhiliselt toodetakse tänapäeval tangentsiaalselt ja radiaalselt saematerjali. Tangentsiaalse saematerjali lõikepind on aastarõnga puutuja suunaline ning tulemuseks on dekoratiivne ja selgelt eristatav muster. Radiaalsaagimine paljastab sirgete joontega tekstuuri, milles mõnikord võib lehtpuude, näiteks tamme puhul näha radiaalselt kulgevaid säskiiri.

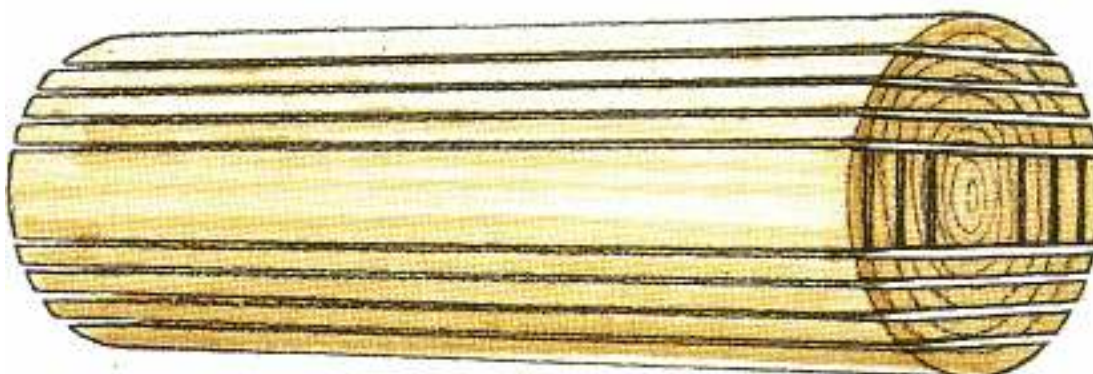
Praktikas on igasugune lõikamisviis enamasti kombinatsioon radiaal- ja tangentsiaalsuunalisest.

Saematerjali stabiilsuse ja tekstuuri määrab lõiketasapinna asend aastarõngaste suhtes. Kõige suurema väljatuleku tagab lihtsaagimine (joonis 5). Tänapäeval ei ole lintsaagidega saagimine väga otstarbekas, küll aga asendamatu vihmametsades kus puutüve läbimõõt on väga suur. Paralleelsete lõigete abil saadakse valdavalt tangentsiaalselt, kuid ka veidi radiaalselt saematerjali.



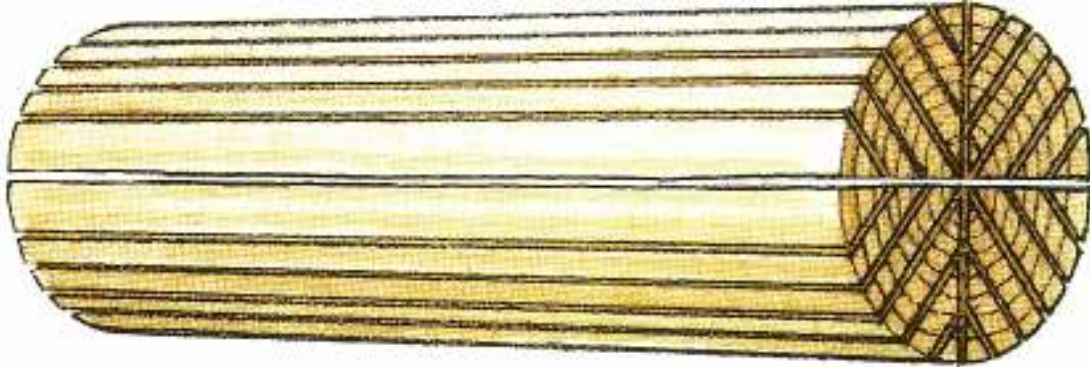
Joonis 5. Lihtsaagimine

Kombineeritud lihtsaagimise (joonis 6.) puhul saadakse palgi äärtest tangentsiaalsaematerjal ning keskmine pruss lõigatakse omakorda laudadeks.

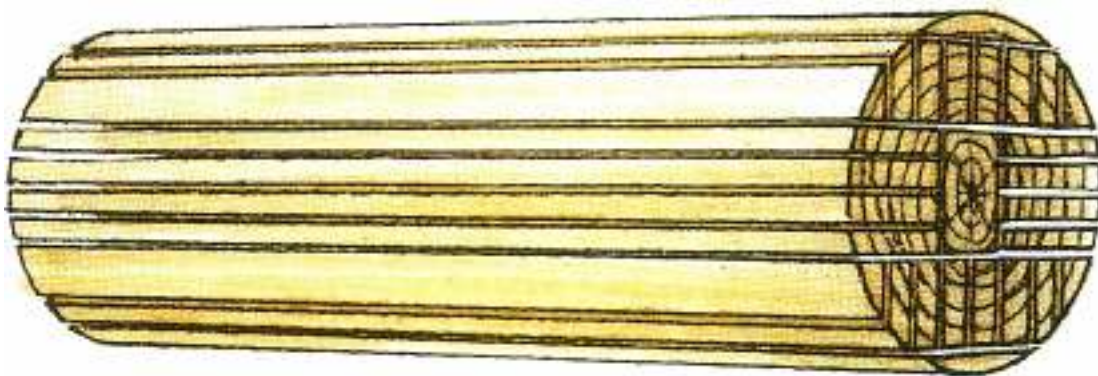


Joonis 6. Kombineeritud lihtsaagimine

Radiaalset saematerjali saadakse mitme erineva saagimisviisiga. Täiuslik radiaalsaematerjal saadakse üksnes siis, kui iga üksik laud on paralleelne säsiikiirtega (nagu rattakodarad), kuid sellisel juhul läheks liiga palju materjali raisku ning seetõttu seda meetodit tööstuslikult ei kasutata. Radiaallaud on eriti hinnatud põrandalauana, kuna tema tugevusomadused kulumisele on märgatavamalt paremad võrreldes tangentsiaallauaga.



Joonis 7. Radiaalsaagimine

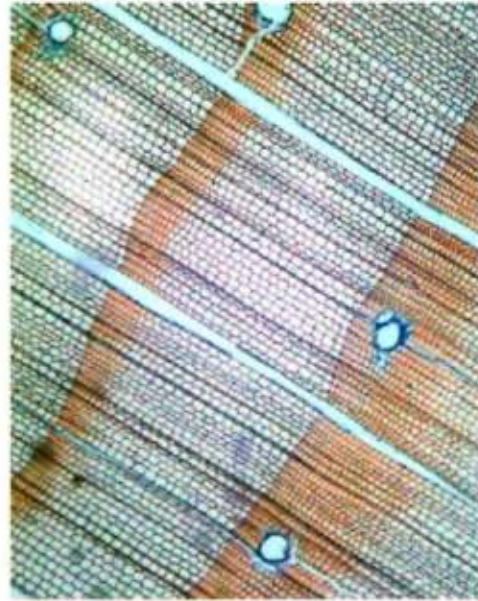


Joonis 8. Tööstuslik radiaalsaagimine

Tavaliselt kasutatakse meetodit, mille puhul saetakse palk kõigepealt veerandikeks, millest seejärel saetakse lauad (joonis 7). Tööstusliku radiaalsaagimise puhul saetakse palk kõigepealt sektsioonideks, millest seejärel lõigatakse lauad (joonis 8.)

3. Puidu rakuline ehitus

Puit koosneb mitut liiki rakkudest ja nende kogumitest, mis on omavahel tihedalt ühendatud ja moodustavad puidu anatoomilise elemendi. Rakkude kuju sõltub nende talitusest, ühesuguse ehitusega rakud moodustavad kudesid. Puidus esinevad kolme liiki peamist kude: **juht-, tugi-, ja säilituskude**. Juhtkoe peaülesanne on juhtida ja edasi toimetada toitesoolade lahust maapinnast kuni võrani. Tugikoe ülesanne on puule mehhaanilise toe andmine ning säilituskoe ehk parenhüümikoe funktsioon on toitainete transport ja talletamine.



Joonis 21. Tugikoe ülesanne on toetada puud. Paremal ristlõige männi tugikoest (traheiididest, suurendus 100x).

Selleks, et uurida raku ehitust, on vaja jälgida puidu ehitust risti-, radiaal- ja tangentsiaallõikes. Mikroskoopilise uurimise ülesandeks on puidu ehituse ja omaduste seostamine.

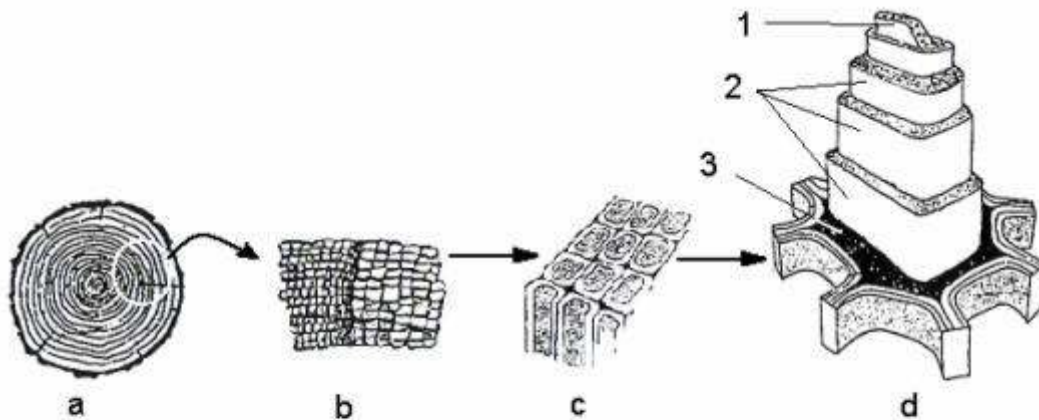
3.1 Raku areng ja kujunemine

Rakk koosneb rakuseinast, mille sisemuses on rakutuum ja protoplasma. Rakkudevaheline aine ja esialgne rakusein koosnevad peamiselt tselluloosist, hemitselluloosist ja ligniinist vähemal määral veel ekstraktiivainetest (vaik, rasvad ca. 2...10%).

Juurdekasvanud rakusein koosneb peamiselt tselluloosist. Tselluloosi molekulid moodustavad tselluloosikiud (fibrillid), mis spiraalselt keerdudes moodustavad rakuseina kihid. Puidu keemilisel töötlemisel lahustatakse ligniin ja pestakse välja, järelejääv puitaine on tselluloos (puhas tselluloos on puuvill). Rakuseina moodustavad üksteisega risti asetsevad kihid (vt. joonis 22d). Rakud on omavahel eraldatud vahelamelliga, mis seob rakke omavahel. Raku seintel paiknevad poorid, mille kaudu toimub toitainete transport naaberrakkudesse. Aja jooksul võivad poorid ummistuda ja raku elutegevus lakkab, moodustub lülipuit. Tänu väiksemale niiskusele on lülipuit vastupidavam haigustele ja kahjuritele.

Uued puidurakud arenevad kiiresti, nende areng lõppeb paari nädalaga, mille järel nad surevad. Nende kuju jääb muutumatuna püsima, ainult osa rakke, mida toitainete

transpordiks ja säilitamiseks vaja läheb, püsivad kauem elusad. Uute rakkude arenedes surevad needki, nii koosnebki puutüvi peamiselt elutuist rakkudest.



Joonis 22. Puidu mikrostruktuur

a) okaspuidu ristlõige;

b) aastarõnga mikroskoopiline joonis;

c) joonis rakkude ristlõikest;

d) rakuseina ehitus (1- käsniht; 2- rakuseinad; 3- vahelamell).

Vegetatsiooniperioodi alguses moodustunud noor rakk on pehme ja elastne. Kui rakk on saavutanud oma täissuuruse ja lõpliku kuju, siis kasvab ka rakusein paksemaks ning tugevamaks. Uue ainena moodustub **ligniin** (liimitaoline aine, mis teataval määral enesesse vett imab ja seejuures paisub). Kuivalt on ligniin tugevam kui märjalt, see seletabki asjaolu, miks puit on kuivalt tugevam ja kõvem.

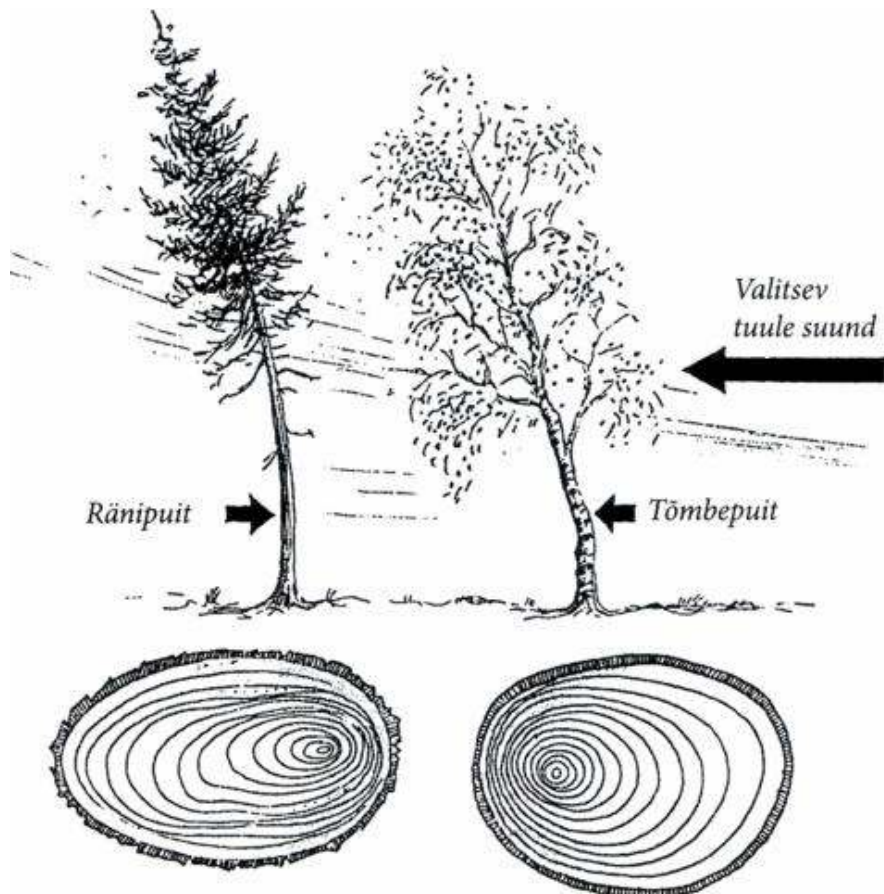
Väikeste õõnsuste tõttu on puidu sisepindala väga suur, moodustades puidus kapillaarse infrastruktuuri, mis annab materjalile spetsiaalsed hügrokoopseid omadused (tänu sellele on pudul võime endasse ümbritsevat õhuniiskust imada. Lähemalt peatükis „Puidu füüsikalised omadused“).

Avaused rakuseintes, nn poorid, võimaldavad puidus radiaalsuunaliselt vedelikke transportida. Tavaliselt tekivad poorid kahe naaberraku vahele rakuseina samas kohas, moodustades nii ühe poori paari. Nende kaudu transporditakse toitevedelikud tangentsiaalsuunaliselt mööda tüve laiali, radiaalsuunaline vedelike liikumine toimub aga säsikiirtes.

Pooride olemasolu omab suur tähtsus puidu kuivatamisel ja immutamisel.

3.2 Muutused puidurakkudes

Kui puu kasvab ebaühtlase reljeefiga aladel (kallaktel, nõlvadel) või domineerivate tuultemõjupiirkondades, on puu pideva ühesuunalise koormuse all ja tulemuseks on muutused puidu raku ehituses. Moodustub **ränipuit** (tingituna survepingest) ja **tõmbepuit** (tingitud tõmbepingest).



Joonis 23. Räni- ja tõmbepuidu tekkimine okas- ja lehtpuu puidus

Sellist laadi kasvamise tulemusena, kompenseerides tüvele langevat ebaühtlast koormust, hakkab puu tootma teistsuguse ehitusega rakke. Samasugune protsess toimub ka okste juurdekasvul. Oksa kinnituskohas mõjutab oksa mass tüve jõuga, mille tasakaalustamiseks moodustatakse kinnituskohal spetsiaalse struktuuriga rakke.

Okaspuu puidus tekib puidumass kõverusepoolse külge ning sellist puitu nimetatakse ränipuiduks. Ränipuit on tumedam, vaigu- ja ligniiniirikam ning kõvem kui normaalne puit.

Lehtpuu puidus koondub puidumass kõveruse e koormatud koha välispoolsesse osasse ja seda nimetatakse tõmbepuiduks (joonis 21). Sellise puidu kiud on pikemad, sisaldavad rohkem tselluloosi ja tunduvalt vähem ligniini kui normaalse puidu kiud ning on seepärast heledama värvusega.

Seega on räni- ja tõmbepuidu tekkimise põhjuseks puidu juurdekasvu häired.

Räni- ja tõmbepuit on oma ebanormaalse ehituse tõttu täiesti kasutamiskõlbmatud puittoodete ja konstruktsioonmaterjalide valmistamiseks. Tänu paksemale rakuseinale on materjali kujumuutused s.o kahanemine ja paisumine võrreldes normaalse puiduga tunduvalt suuremad. Lisaks on puit pingestatud mis pärast materjali lahtisaagimist võib põhjustada lõhesid.



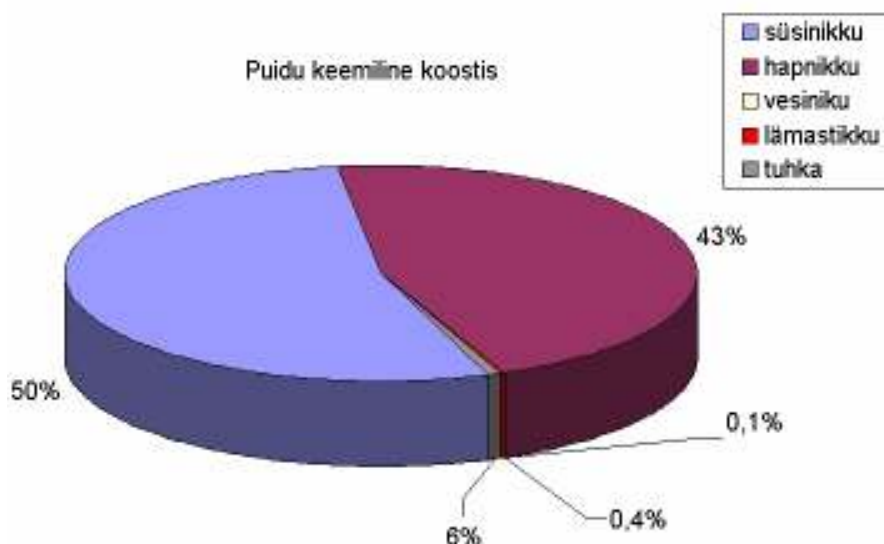
Joonis 24. Ränipuit kuuse ristlõikel

3.4 Puidu keemiline koostis

Keemilised elemendid on kõikidel puuliikidel peaaegu samad. Üldjoones võib puidu keemilist koostist kirjeldada järgmiselt: 50% süsinikku, 43% hapnikku, 6% vesinikku, 0,1% lämmastikku, 0,4 % tuhka (joonis 25).

Puidukiudude seinad koosnevad peamiselt tselluloosist ja ligniinist. Seega on tselluloos, hemitselluloos ja ligniin peamised osad, millest puit koosneb.

Tselluloos- see on kiudja ehitusega, värvitu, lõhnata, maitseta, vastupidav, ei muutu õhus, ei lahustu vees, piirituses, atsetoonis, eetris ega ka teistes orgaanilistes lahustites. Rahvamajanduses leiab tselluloos laialdast kasutamist. Seda kasutati ja kasutatakse paberi, tehissiidi, lõhkeaine, tselluloidi, nitrotsellulooslakkide ja paljude toodete valmistamiseks. Hemitselluloos on keemilise ehituse poolest väga sarnane tselluloosile, hapete toimel muutub ta kereti lahustiks.



Joonis 25. Puidu keemiline koostis

Ligniin on termoplastne aine, st on külmana kõva, kuid sooje-nedes pehmeneb. Sellel omadusel põhineb puidu plastiline painutamine. Rakkude puitumisel koondub ligniin rakuseintesse. Vahelamellis, kus ligniini on kuni 80%, kleepuvad rakud selle tõttu üksteise külge, rakustruktuur tugevneb ning rakkude vastupanu survejõududele suureneb.

Puu koore keemiline koostis on väga keeruline, näiteks tamme, kastani, tsuuga puit ja koor sisaldavad **parkainet e. tanniini** (valge pulber, mida saadakse puukoorest, lehtedest ja kasutatakse värvimis-, naha-, tinditööstuses, ravimite valmistamisel). Nimetatud puuliikide lülipuidus on parkaine sisaldus suurem kui maltspuidus ja vanusega kasvab.

Peale orgaaniliste ainete sisaldab puit veel nn ekstraktiivaineid, vaike ja parkained. Suurim parkainete sisaldus on troopikapuudel.

Puidu keemiline koostis on kõikuv eriti tuha sisalduse osas, mis võib suuresl määral erineda ka samal puuliigil. Tuha protsent oleneb puu kasvukohast, vanusest, kasvutingimustest jmt.

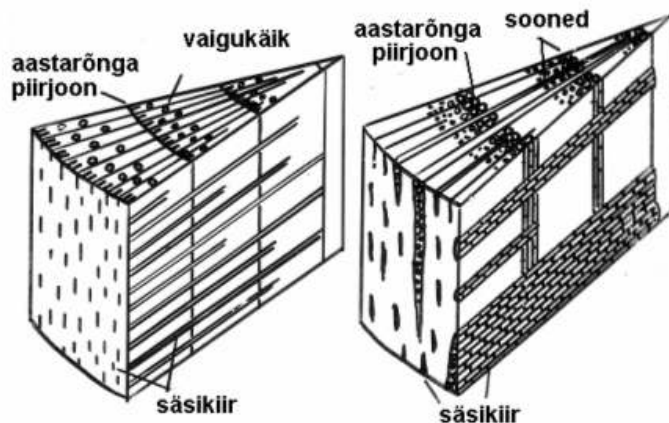
Puidu põhikomponendid on :

1. tselluloos 40-50%;
2. hemitselluloos 25-35%;
3. ligniin (puitaine) 20-30%.
4. ekstraktiivained, tuhk, lämmastik 0,1-7%

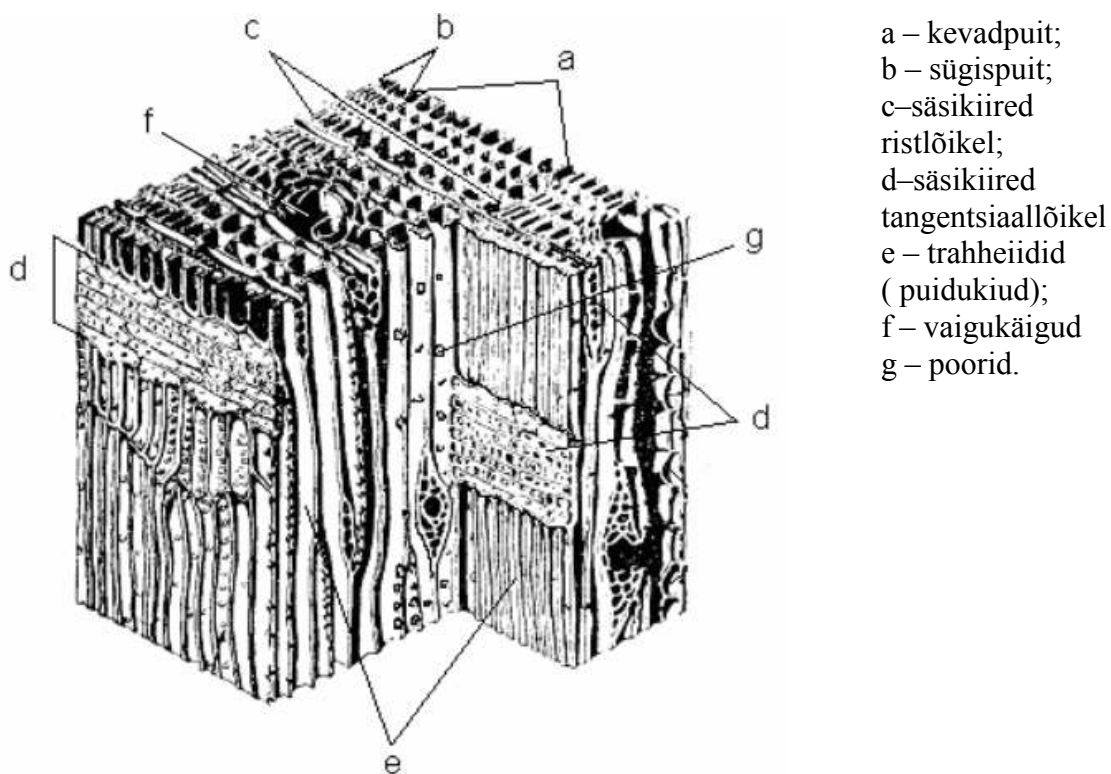
3.5 Okaspuu ja lehtpuu ehitus

Okaspuu rakud on ühtlasema asetuse ja vormiga kui lehtpuu omad, puidu põhiosa moodustavad peamiselt ühte liiki rakud, **trahheiidid** (joonis 27e). Okaspuidu iseärasuseks on see, et tal esineb rakke, mis toodavad ja säilitavad vaiku.

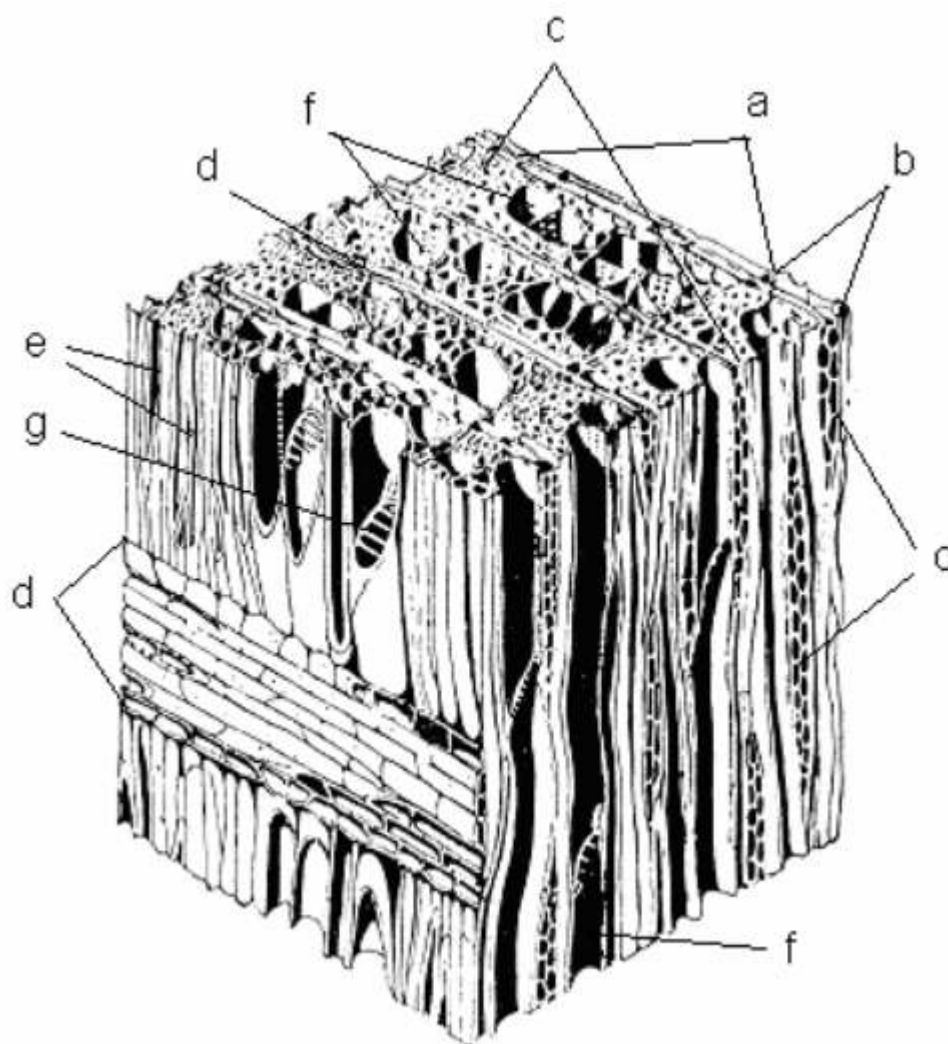
Lehtpuu puidu ehitus on keerulisem, koosnedes erinevatest rakuliikidest (joonis 28). Põhimassi moodustavad kitsad paksuseinalised tugirakud ehk **libriformkiud**. Seoses erineva rakulise ehitusega vaatleme okas- ja lehtpuu puitu iseseisvalt.



Joonis 26. Okaspuu ja lehtpuu ehitus



Joonis 27. Okaspuu makroskoopiline ehitus

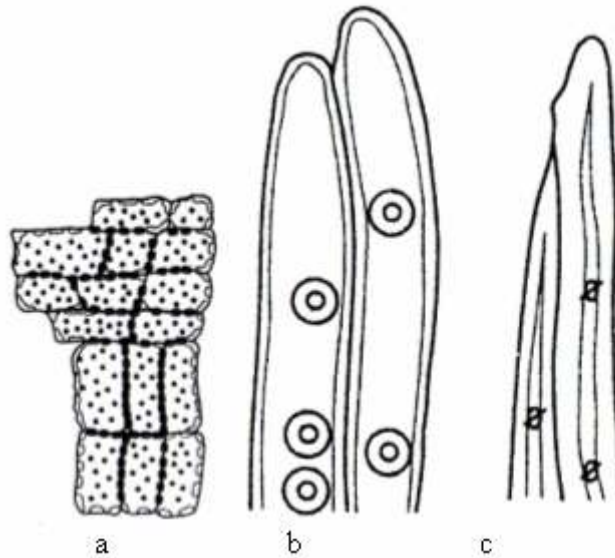


Lehtpuu makroskoopiline ehitus

a – kevadpuit; b – sügispuut; c – aastarõngas; d – säsikiired; e – puidukiud e-libriform; g f – soon (redel-perforatsioon); f g – sooned e juhttorud.

Okaspuud

Okaspuu koosneb peamiselt **trahheiididest** (90-95%) ja salvestusrakkudest (joonis 29b, c). Trahheiidid on pikliku kujuga rakud, mis on omavahel ühenduses pooride kaudu (vt. joonis 24e). Trahheiidide ülesandeks on anda puule mehhaanilist tugevust ja olla toitaineid juhtivaks organiks, neid kiudusid nimetatakse ka **puidukiududeks**. Trahheiidid on 2-10mm pikad ja 0,02-0,05mm laiad, õõnsad rakud.

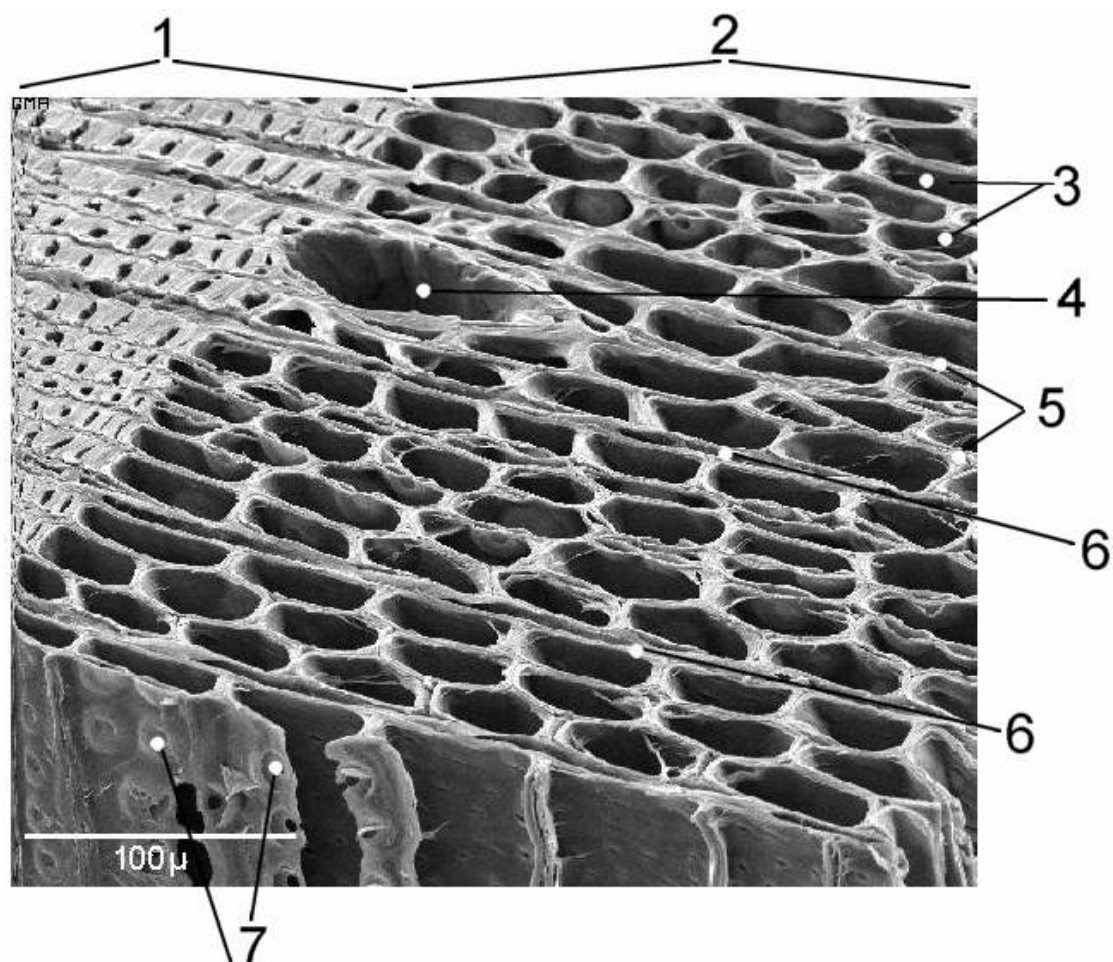


Joonis 29. Okaspuidu rakud. A- säsikiire rakud (parenhüümrakud); b- kevadpuidu trahheiid; c- sügispuidu trahheiid e puidukiud

Väiksemas koguses esineb puidus veel parenhüümrakke, st õhukese seinaga pehmeid rakke, mille ülesanneteks on toitainete vahendamine ja säilitamine. Selliseid rakke leidub peamiselt säsikiirtes ja neil on samuti vedelikke juhtiv ja toitaineid salvestav ülesanne. Okaspuidu säsikiired on kitsad ega ole nii lopsakad kui lehtpuudel ja paljale silmale nähtamatud. Säsikiirte rakud asuvad puutüve suhtes radiaalsuunaliselt mitmerealiste kihtidena. Nad annavad säsikiirtele tugevuse, kuid neil on puidu kasutamisele ka teatud tehniline tähtsus. Näiteks puidu immutamisel tungib immutusvedelik nende kaudu puitu.

Säsikiirtes olevad rakud sisaldavad tärklist, rasvu, polüsahhariide (liitsüsivesikuid), vaigu, parkaineid (tanniin). Viimati nimetatud kahel ainel on antiseptilised omadused, mis takistavad puidu nakatumist seenhaigustesse ning nende levikut.

Okaspuud sisaldavad ka vaiku mida lehtpuudel ei esine. Vaigu eesmärgiks on kaitsta puitu kahjustuste eest. Kui puitu mehaaniliselt kahjustada moodustub vigastatud pinnale vaiukelme. Tänu vaigu sisaldusele on ka okaspuidust saematerjalid vastupidavamad välistingimustes. Looduslikku vaiku kogutakse peamiselt männi lahtise vaigutamise, teistelt puuliikidelt (seeder, kuusk, lehis) saadakse meditsiinis kasutatavat vaiku kinnise vaigutamise.

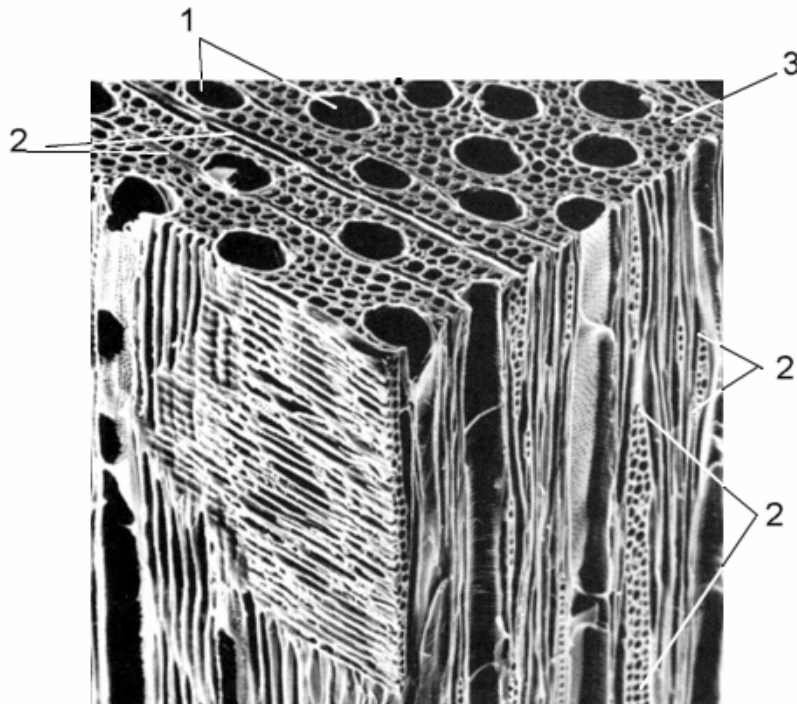


Joonis 30. Okaspuu trahheiid ristlõikes (lehis). 1- sügispuidu trahheiidid; 2 - kevadpuidu trahheiidid; 3 –rakuõõnsused; 4- vaigukäik; 5- kevadpuidu rakuseinad; 6- säsikiired (parenhüümtrakud); 7- poorid.

Kevadpuidu rakud on õhukeste seintega ning neis on palju poore ja nad on ette nähtud tõusva voolu juhtimiseks. Sügispuidu rakkude läbimõõt on väiksem, kuid rakuseinad on paksemad. Viimased annavad puule ja okstele mehhaanilise tugevuse.

Lehtpuud

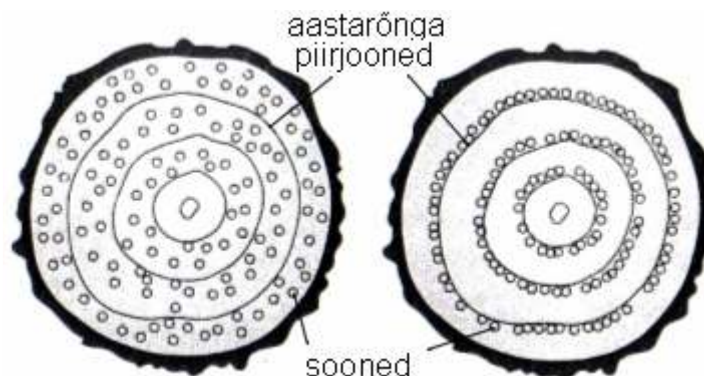
Lehtpuu puidu ehitus on tunduvalt keerulisem kui okaspuul ja on lehtpuuliigiti väga erinev. Tugikude: puidukiud moodustavad lehtpuu massist ligikaudu 60% ja nende ülesandeks on anda puidule mehhaaniline tugevus. Puidukiudude rakud on lehtpuudel kõige pikemad ja kitsamad ottest teravnenud rakud. Lehtpuu paksuseinalisi tugirakke nimetatakse ka **libriform** e. **puidukiudrakkudeks** (joonis 31).



joonis 31. Lehtpuu anatoomilised elemendid. 1- soone; 2- säsiikiired; 3- libriformkiud (tugikude).

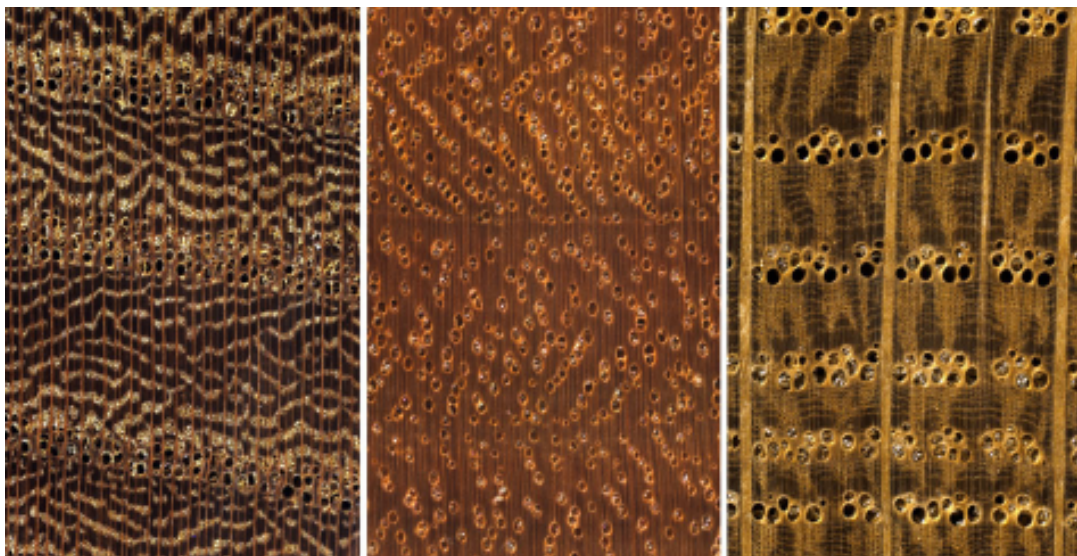
Soonte ehk trahheede ülesandeks on juhtida vett ja selles ladestunud soolasid piki tüve juurtest lehtedeni. Soonte pikkus on väga erinev ega olene puu liigist. Tavaliselt kõigub see mõnest sendimeetrist kuni mõne meetrini. Kohakuti paiknevad sooned võivad ühineda ja moodustada ühtse pika soone. Lehtpuude soonte suurus ja jaotus võib olla väga ebaühtlane. Soonte otsad on kaetud sileda kaldseina või perforatsiooniga (joonis 25g), mis on eriti iseloomulik kasele. Soonte seinad on varustatud pooridega, mille ülesandeks on sooni omavahel ühendada.

Kevadpuidus on sooned jämedamad, sügispuidus kitsamad. Jämedad sooned kevadpuidus moodustavad tüve ristlõikes hästi silmapaistva soonteringi. Soonte paiknemise järgi jaotatakse lehtpuud **hajulisoonealisteks** või **rõngassoonealisteks**. Kodumaistest hajulisoonealistest puuliikidest on tuntumad (kask, vaher, pärn ja paju). Rõngassoonealised aga tamm, jalakas ja saar.



Joonis 32. Hajulisoonealine ja rõngassoonealine lehtpuu ristlõikes

Lehtpuidu salvestuskude koosneb lühikestest ja õhukeseseinalistest parenhüüm-rakkudest, mis säilitavad toitainete tagavara. Tüve põikisuunas kulgevad parenhüüm-rakke nimetatakse **säsikiirteks**. Säsikiired lehtpuidus jooksevad radiaalselt nagu okaspuiduski, kuid neil on tunduvalt suurem vormiküllus. Säsikiired omavad suurt tähtsust puiduliigi määramisel. Okaspuidus esinevad nad peamiselt üherealisena, lehtpuudel paiknevad aga mitme rea laiusena, paistes tangentsiaallõikes läätsekujuliste moodustistena.

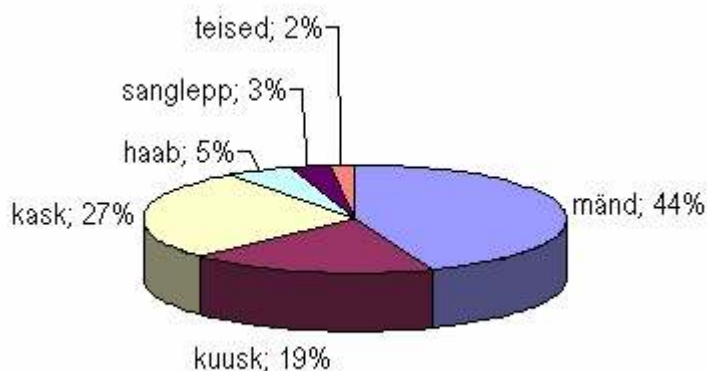


Joonis 33. Troopilised lehtpuud. Vasakul ja paremal rõngassooneline, keskel hajulisoonele lehtpuu

4.1 Kodumaised puuliigid

Eestis levinuimad okaspuud on mänd, kuusk, lehis, kadakas ja jugapuu. Harilik mänd ja kuusk on tavalised metsapuud, kadakad kasvavad aga nii metsa all kui loodudel. Soojemast kliimaperioodist pärinev jugapuu, mis kasvab Hiiu- ja Saaremaal, on Eestis hävimisohus ja seetõttu looduskaitse all. Sissetoodud liikidest on levinumad lehised, harilik elupuu, seeder-männid ja torkav kuusk. Viimase üht vormi tuntakse hõbekuusena.

Eesti pindalast on üle 50% kaetud metsadega, enim leidub meil okaspuud, männikuid ja kuusikuid, hõlmates ligi 60% puistude pindalast. Lehtpuudest on esindatud kaasikud, lepikud ja haavikud, ülejäänud lehtpuud moodustavad 2,5% (saared, vahtrad, tammed jne). Eesti puistude pindala puuliigiti on esitatud joonis 34.



Joonis 34. Kodumaiste puiduliikide protsentuaalne jaotus

4.2 Kodumaised okaspuud

Mänd (Pinus) on Eesti kõige tavalisem metsapuu. Teda võib kohata kõikjal, ka seal, kus enamik teisi puid kasvada ei suuda. Mänd on lülipuiduline puu. Maltspuit on kollakasvalge värvusega, lülipuit roosakas kuni pruunikaspunane. Värskeltraitud puidul erineb lülipuit maltspidust vähe, kuid aja jooksul tumeneb. Aastarõngad on kõigil lõikudel hästi eristuvad. Vaigukäike on arvukalt ja nad on koondunud aastarõngaste sügispuiduosasse.

Männi puit on pehme ja seega hästi töödeldav, kuid seejuures võrdlemisi tugev. Kiud on sirged, mis teevad puidu hästi lõhestatavaks. Suur vaigusisaldus teeb puidu vastupidavaks mädanemisele ja hästi säilivaks. Männi puit on laialt kasutatav. Sellest saab head ehitusmaterjali ja ilusa mustriga mööblit, parketti või vineeri. Mänd on tuntud ka ravimtaimena. Temast valmistatakse ka tehissiidi, plastmasse, kunstnahka ja tsellofaani. Vaiku kasutatakse tärpentini tootmiseks, millest saab lakke, värve, ehteid. Peamiselt männimetsade vaigust on tekkinud merevaik (ammu elanud puude kivistunud vaik), mida kasutatakse nii kunstis kui ka meditsiinis ja ravimeid. Eesti suurimate mändide kõrgus on 42-43 m ja jämedaima läbimõõt u. 140 cm.

Kuusk (Picea abies) ehk harilik kuusk on umbes 45 kuuseliigist ainus Eestis looduslikult kasvav kuusk. Leviala suuruselt jääb kuusk harilikule männile veidi alla. Eestis kuulub kuusk kolme tähtsama metsapuu hulka, 21% riigi metsafondi pindalast on tema all, teda edestavad mänd ja kask. Harilikult elab kuusk 250 aastat vanaks, maksimaalselt 500 aastat.

Kuusk on küpspuiduline puu, värvuse poolest ei erine tema südamikupuit tavaliselt koorelausest puidukihist nagu näiteks männil, mis on lülipuiduline puu. Kuusepuit on üks pehmemaid, see jääb alla männile, rääkimata juba lehisest või ebatsuugast, kuid on vaigusisalduse tõttu küllalt kaua püsiv ning kergesti töödeldav. Aastarõngad on kõigil lõigetel hästi eristuvad. Puit on valge nõrgalt kollaka või roosaka varjundiga. Puidu kõvaduse ja raskuse poolest edestavad lehtpuud okaspuud. Okaspuude seas kuulub kuusk kõige kergemate hulka.

Kuuske tarvitatakse ehituspuiduks, mööbli tegemisel ja väga heade kõlaomaduste tõttu ka orelite, klaverite ja viiulite valmistamisel. Kuusk annab toorainet paberi,

kinofilmide, tehissiidi ja tsellofaani tootmiseks, veel tehakse ka puitplaate, liipreid, küttepuiduna on kuusk väheväärtuslik. Kuuse koor sisaldab 10% parkainet, mida kasutatakse nahaparkimisel. Koorest ja kändudest toodetakse vaiku.

Kuusel on siiski ka omad puudused. Nimelt ei suuda ta ei liiga niiskes ega liiga kuivas kasvukohas võistelda männiga, samuti ohustavad teda kevadised öökülmad. Kuusel on ka väga palju erinevaid parasiite, suurem osa neist sööb tema puitu. Nii võib sageli metsas näha murdunud kuusetüve, mis on seest täiesti mädanenud.

Lehis (*Larix sp.*) Puhtaid lehise puistusi esineb Eestis vähe. Lehis on meile sisse toodud puu, mis on sobiva kliima tõttu siin hästi kohanenud. Lehis on lülipuiduline puu. Lülipuit on punakaspruun ja erineb teravalt kitsast valgest maltspuidust. Aastarõngad on kõigil lõigetel hästi näha. Vaigukäike on vähe.

Lehise puit on väliselt sarnane männi puidule, kuid märksa raskem ja kõvem. Paistab silma veel suure tugevuse, väikese okste arvu ja mädanemiskindluse poolest. Säilib hästi vees. Puuduseks on raske töödeldavus, suur kokkukuivamine ja sellega kaasnev lõhenemine. Lehise tekstuur on väga sarnane männile erineb peamiselt selgemini eristuva sügispuidu osas.

Lehise puitu kasutatakse suurt tugevust ja head säilivust nõudvates kohtades (liiprid, sillad, tugipostid jmt).



Mänd



Kuusk



Lehis



Lehisest põrand

4.3 Kodumaised kõvad lehtpuud

Saar (*Fraxinus excelsior*) Saaremetsti on Eestis natuke vähem kui tammikuid. Eestis kasvab harilik saar peamiselt salu- ja lodumetsades ning (eriti Saaremaal) puisniitudel. Saare enamusega puistud ehk saarikud moodustavad Eesti metsadest ~0,4%. Harilik saar on kiirekasvuline (just esimesed 10 aastat), mullaviljakuse ja valguse suhtes nõudlik, väga hiliskülmaõrn, kasvab meil 27m kõrguseks ja saab 200-300 aastat vanaks. Saarepuitu hinnatakse kui ühte ilusamat ja tugevamat puud.

Lülipuiduline puu, esineb ka küspuitu, maltspuit on lai, nõrgalt kollakasvalge; lülipuit hallikaspruun, tihti nõrgalt eristatav. Puit on võrdlemisi raske (mahukaal 0,65) ja kõva. Aastarõngad ristlõikes selgelt eristatavad, vanadel puudel aastarõnga piirjooned koore läheduses nõrgalt lainjad; pikilõikes puit ribalise tekstuuriga. Sügispuut tume, ristlõikes vaadatuna väikesed sooned koondunud rühmadesse ning nähtavad heledate täppidena. Säsikiired on väga kitsad, radiaallõikes nähtavad ribadena, teistes lõigetes ei ole nähtavad. Saare puit on omapärase lõhnaga (sisaldab mitmesuguseid õlisid).

Saare puit on ilusa tekstuuriga, mistõttu kasutatakse seda laialt mööbli valmistamiseks, vineeri, parketi ja suuskade tootmiseks, masinaehituses, siseviimistluseks, on ka kõrge kütteväärtusega. Puidul on veel üks eriomadus: seda saab kergesti koolutada. Saare (koor, seemned ja lehed) leiab kasutust ka rahvameditsiinis eelkõige temas sisalduvate eeterlike õlide tõttu. Koort on tarvitatud ka naha parkimisel ja musta, pruuni ning sinise värvi saamisel.

Harilik tamm (*Quercus robur*). Tammikud on veel vähesel määral säilinud Lääne- ja Põhja-Eestis, mujal on tammi üksikutena segametsas või väikeste saludena, moodustades Eesti metsade üldpindalast vaid 0,5 %, tamme enamusega puistutest on 16 % puhtpuistud. Ainult 1/7 meie tammikutest on vanemad kui 100 aastat.

Tamm on lülipuiduline puu, maltspuit on kitsas ja kollakasvalge, lülipuit kollakas-kuni tumepruun, maltspuidust hästi eristatav.

Aastarõngad tulevad väga selgelt esile muutes puidu eriti kauniks, puit on kõva ja võrdlemisi raske. Säsikiired on kitsad ja laiad; viimased on ristlõikes nähtavad heledate läikivate ribadena, radiaallõikes pikkade heledate või tumedate lintidena.

Tähelepanuväärne on ka see, et kui paljud teised puud kaotavad vees ligunedes suure osa oma väärtusest, siis tamm muutub vees üha hinnalisemaks: ta muutub peaaegu mustaks, ilus muster tuleb veel paremini nähtavale ja puit muutub ülikõvaks. Sellist peaaegu kahjustamatut puitu nimetatakse mustaks tammeks.

Tamme puitu kasutatakse mööbli-, parketi- ja vineeritööstus, kuulsad on tammepuust vaadid. Koort ja pakka tarvitati varem ka meditsiinis ning värvainete ja tindi saamiseks.

Harilik jalakas (*Ulmus glabra*). Esineb eestis üksikute puistudena ja pargipuudena. Lülipuiduline puu, maltspuit on kitsas ja hele, lülipuit punakas- või tumepruun. Lülipuit maltspuidust kergelt eristatav. Aastarõngad hästi eristatavad, säsikiired kitsad ja puidus selgesti eristatavad andes lõikele omapärase tekstuuri.

*Saar**Tamm**Jalaksa*

4.4 Kodumaised lehtpuud

Vaher (*Acer platanoides*). Korraliku metsapuuna saab seda liiki Eesti metsades näha. küllalt harva, vahtra puhtpuistud ehk vahtrikud on meil veelgi haruldasemad.



Metsakorralduse andmeil leidub Eestis vahtra enamusega puistuid kokku napilt üle 20 hektari.

Vaher on maltspuiduline puu, puit on kollakas või punakasvalge. Säsiikiiri on ristlõikes rohkesti, need on tumedad ning ots- ja radiaallõikes hästi nähtavad.

Aastarõngad eristuvad kõikides lõigetes, nende piirjooned on tumedad. Puit on kõrgelt hinnatud sitkuse, painduvuse ja vastupidavuse tõttu. Kasutatakse parketi, vineeri, mööbli ja muusikariistade tootmiseks. Õisi hinnatakse mesinduses nektarirohke tõttu. Kevadel annab suhkrurikast mahla. Koos leidub parkaineid ja lehtede piimmahlas kautšukit. Laialt kasutatakse dekoratiivtaimena, talub hästi kärpimist.

Kask (*Betula sp.*) Arukask on meie tavalisemaid lehtpuid. Ta on kauni valge tüvega ja pikkade rippuvate okstega. Eestis kasvavatest lehtpuudest moodustavad suurema osa kaasikud (ligi 27%).



Nii Eestimaal kui ka mujal Euroopas on looduses vaid 4 liiki kaski. Neist aru- ja sookask on puukujulised ning vaeva- ja madal kask põõsakujulised soo- või rabataimed.

Maltspuiduline puu, puit punakas- või kollakasvalge, võrdlemisi raske ja kõva. Aastarõngad ja säskiired on halvasti näha. Puidul on rohkesti negatiivseid omadusi, eelkõige halb töödeldavus (puidu ebakorrapärase ehituse tõttu on ta halvasti lõhestatav), suur kokkukuivamine ja väike mädanemiskindlus. Puitu kasutatakse vineeri-, mööbli- ja suusatööstuses, hästi poleeritav. Ühe vormi, karjala kase puit on mitmevärviline, väga kõva, hinnatud mööbli ja iluesemete tegemisel. Treimis- ja nikerdustöödel on väärtuslikud pahad. Puidust toodetakse ka sütt, äädikhapet, tõrva, atsetooni. Koort kasutatakse naha parkimisel. Leiab laialdast kasutust meditsiinis.

Haab (*Populus tremula*) Haaba on Eestis umbes 2,5% metsade üldpindalast,



kasvades peamiselt salu- ja lodumetsades, aga ka teiste metsakoosluste servadel.

Maltspuiduline puu, puit valge, kerge, pehme, hästi lõhestatav. Aastarõnga piirjooned nõrgalt eristuvad, säskiired nähtavad vaid radiaallõikes veidi tumedate läikivate ribadena. Haab on väga vastuvõtlik seenhaigustele, enamik Eesti suurematest haabadest on mädaniku poolt kahjustatud. Haava puit on kergesti lõhestatav ja seetõttu tehakse temast katuselaaste, kastilaudu, tikke, vineeri, aga ka kauneid punutisi.

Kasutatakse tiku-, tselluloosi- ja paberitööstuses. Haava puidust valmistatakse puulusikad, kuna ta ei sisalda vaiku ega anna maiku, kuid peamiselt kasutatakse teda siiski küttepuuna.

Pärn (*Tilia sp.*) Peale Eestis looduslikult kasvava hariliku pärna (*Tilia cordata*) kasvatatakse siin veel kümnekonda võõrliiki. Eestis leiab harilikku pärna ainult ligikaudu 90 hektaril, peamiselt põhjarannikul ning Lääne-Eestis.



Pärna puit on pehme värvuselt valge või kreemikas, kergelt pruuni või punaka varjundiga. Aastarõngad nõrgalt eristuvad, nende piirjooned on heledad. Säsikiired moodustavad radiaallõikes veidi tuhme ribasid või täppe.

Pärn pole küll eriti vastupidav mädanikele ja kahjuritele, kuid see-eest kergesti lõhestatav, eriviisidel töödeldav ja immutatav ning seetõttu leidnud laialdast kasutust tiseri-, treimis- ja nikerdustöödel. Koor sobib niine pikkade kiudude tõttu sidumismaterjaliks, varem valmistati temast viiske. Nektaririkastest õitest saab kvaliteetmett, õied on laialt levinud ka ravimtaimena.

Must ehk sanglepp (*Alnus glutinosa*) Sanglepp on Eesti niiskete metsade, jõeservade ja puisniitude tavaline asukas hõlmates 3% puistute pindalast. Sanglepp on omapärane ja kahtlemata ilus puu. Hästi torkab silma tema tumepruun või hallikas, vahel peaaegu must ja väga paks koor. Selle järgi on ta oma teise nime saanud: must lepp.



Erinevalt meie teisest lepast, hallist lepast, kasvab ta tõeliseks puuhiiglaseks. Lehtede järgi on teda lihtne eristada hallist lepast. Nimelt on sanglepal lehetipp tõmp või sageli isegi sisselõikega, halli lepa leht aga terava tipuga, umbes nagu kasel.

Sanglepp on maltspuiduline puu, mille puit on punaka varjundiga või punakaspruun. Enne puu langetamist on puit ilus säravvalge, kuid õhu käes muutub see kollakaks, siis oranžimaks, seejärel tumeoranžiks ja lõpuks tuleb juurde veel roosasid ja lillasid toone. See näitab, et puus on peidus mitmeid huvitavaid värvaineid.

Aastarõngad on raskesti eristatavad, säsikiiri pole palja silmaga näha. Puit on kerge, pehme, hästi töödeldav, kuivanult roosakas, vees vastupidav.

Sellest toodetakse vineeri, joonestuslaudu, mööblit, kasutatakse ka nikerdustöödeks ja kütteks, hinnaline suitsutatud toodete valmistamisel. Sanglepast valmistatakse kõrgekvaliteedilisi muusikariistu, koor sisaldab park- ja värvaineid (sobivad naha värvimiseks ja parkimiseks).

Hall lepp (*Alnus incana*) Sagedasti moodustab hall lepp tihedaid lepavõsasid metsaservades ja endistel legendikel. Puistude pindala jääb alla 2%.

Lehe järgi on teda kerge oma suguvennast eristada. Halli lepa leht on terava tipuga ning matt, sanglepa lehe tipp oleks nagu ära hammustatud ning leht on läikiv.

Maltspuiduline puu, sarnane sanglepale, kuid säsikiiri on vähem. Puit on kergem ja läikivam kui sanglepal. Halli lepa puit sisaldab rohkesti värv- ja parkaineid, mida näitab see, et puud langetades või koorides muutub valge lõikepind õige pea punaseks.

Kiiresti kasvava risupuuna on ta rahva seas vähe hinnatud, peamiselt kasutatakse teda kütteks. Halli lepa rabe ja kergesti mädanev puit ei kõlba tarbematerjaliks. Puitu on kasutatud naha parkimisel ja värvimisel.

4.5 Võõramaised puuliigid

Mööblitööstuses kasutatakse väga laialt võõramaiseid puuliike, mis paistavad silma ilusa välimuse ja heade mehhaaniliste omaduste poolest. Antud peatükk annab põgusa ülevaate meil enim kasutust leidvatest võõramaistest puiduliikidest.

Harilik pöök (*Fragus silvatica*) Küpspuiduline, puit ühtlase punakasvalge värvusega kogu ristlõikes, võrdlemisi raske ja kõva. Hajulisooneiline, väikesed sooned pole palja silmaga nähtavad. Aastarõngaste piirjooned ümmargused, hästi eristatavad. Tangentsiaallõikes on säsikiired nähtavad iseloomulike väikeste triipudena.

Puitu on kerge lõhestada, töödelda ja viimistleda, aurutades muutub puit punakaks. Halvaks omaduseks on kuivamis-kahanemisel suured kujumuutused (tingitud puidu tihedusest).

Pööki kasutatakse laialdaselt mööblitööstuses, temast valmistatakse hulgaliselt majapidamisesemeid, jäätise- ja kompvekipulki, parketti, ristvineeri, mänguasju jmt. tarbeesemeid.

Valge pöök (*Clarpinus betulus*) Maltspuit hallikasvalge värvusega, lülipuit puudub. Hajulisooneiline puuliik, sooned pole palja silmaga nähtavad. Puit on raske, tihe ja kõva. Kasutatakse selliste puittoodete valmistamisel, mis vajavad suurt kulumis- ja löögikindlust, näiteks tööriistade varred ja pidemed, keeglikerad.

Punane puu kasvab väga arvukate liikidena Aafrikas, Austraalias ja Kesk-Ameerikas. Aafrikast pärit punase puu liikidena kasutatakse okumee, sapeli, kasipo, makoree jne puiduliike. Enim on kasutust leidnud mahagon. Mahagoni puidunimele lisandub

sageli kasvukohamaa nimetus nt. hispaania mahagon, nigeeria mahagon, ameerika mahagon.

Ameerika mahagon (*Swietenia macrophylla*) on üks troopika parimaid puiduliike, tema maltspuitu tavaliselt ei kasutata, on halli või kollakasvalge värvusega. Lülipuit on värskena roosaka või lõhevärvi, hiljem muutub kuldse läikega punakaspruuniks. Puit on enamasti sirgkiulise struktuuriga, kõva, tihe ja raske. Suhteliselt stabiilsete mõõtudega, niiskusmuutumise korral deformatsioonid väikesed, kaardub vähe.

Kasutatakse mööbli tööstuses, peentisleritoodete valmistamisel, treimis- ja nikerdustöödel, klaverite, raadiote ja mitmesuguste instrumentide valmistamisel.

Aafrika mahagoni (*Khaya ivorensis*) puit on jämedama struktuuriga kui ameerika mahagonil, punakas või pruuni värvusega. Aastarõngad selgelt eristatavad. Puidu kasutusala on sarnased ameerika mahagonile. Paadiehituses sobib peaaegu kõikideks osadeks, välja arvatud painutatud osad.

Pähklipuu (*Juglans sp.*) maltspuit on kitsas, hallikasvalge kuni punaka värvusega. Kreeka pähklipuu lülipuit on hallikaspruun kuni pruun, ebaühtlaste tumedate joontega. Musta pähklipuu puit on tumedam pruunikas violetja varjundiga. Hajulisooneiline puuliik, jämedate soontega, mis on suuremad kevadpuidus. Puidu heade omaduste tõttu kasutatakse teda mööbli ja sisustustarvete valmistamisel, samuti massiivpuiduna ja vineeri tootmisel.

Tiikpuu (*Tectona grandis*) maltspuit ei leia tööstuslikku kasutust, lülipuit on toorelt rohekaskollane, peale kuivamist muutub mustade triipudega tumepruuniks. Väga dekoratiivse ehitusega puit, millel on rasvane läige. Rõngassooneiline puuliik, puidul teatud sarnasused tammepuiduga.

Puit sisaldab hulgaliselt mitmesuguseid õlisid, konserveeriva toimega. Kergelt kuivatatav, kuid raske liimida. Puidus leiduv räni annab puule suure kulumiskindluse. Viimase tõttu ületab tiikpuu kõik Euroopa puuliigid. Vastupidav mädanikele, putukatele, tule ja hapete vastu. Väga heade ilmastikutingimuste tõttu leiab laialdast asutust välistingimustes, laevanduses, sildade ehituses, sellest valmistatakse raudteevaguneid, aiamööblit, välisuksi, aknaid, põrandaid jmt.

Eebenipuu (*Diospyros sp.*) ehk mustpuu on lülipuiduline hajulisooneiline lehtpuu kitsa kollakasvalge maltspuidu ja musta või mustjaspruuni lülipuiduga. Puit on homegeense ehitusega, mistõttu aastarõngaid pole näha. Puit on äärmiselt raske, tihe (940-1320 kg/m³) ning väga kulumiskindel. Kasutatakse muusikariistade, iluasjade, ehete, vineeri valmistamisel.

5. Puidu füüsilised omadused

Puidu keemiline koostis on kõikidel puuliikidel sarnane, kuid füüsilised omadused sõltuvad mitmesugustest puidu omadustest, mis omakorda olenevad puu liigist ja keskkonnast, kus puu kasvab. Erinevused võivad olla ka ühe ja sama liigi puhul.

Puidu füüsikalisi omadusi saab määrata mõõtmise, kaalumise ja vaatluse teel ilma puidu tekstuuri ja keemilist koostist lõhkumata.

Puidu tähtsamad füüsikalised omadused võib määrata järgmistesse gruppidesse:
puidu välised omadused (värvus, läige, tekstuur, lõhn);
omadused, mis on seotud puidu ja vee vastastikusel mõjutamisel (hügroskoopsus, kuivamiskahanemine, paisumine);
puidu tihedus;
puidu soojuslikud omadused;
puidu akustilised omadused;
puidu elektrilised omadused;
puidu teisi omadusi.

Puidu välised omadused

Puidu värvus.

Puiduliikide värvuste skaala on väga lai ulatudes kollakasvalgest mustani. Värvivaheldused ühes ja samas puuliigis võivad olla nii suured, et värvuse põhjal ei ole võimalik puidu liiki kindlaks määrata. Värvuse annavad puidule ekstraktiivained, vaigud, õlid ja parkained.

Mõne puuliigi malts- ja lülipuidu vahe on selge värvusega (jalakas, saar) samas on kuusel väga raske heledat maltspuitu punakaspruunist lülipuidust eristada. Troopiliste puude lülipuit on tavaliselt tumedama värvusega. Värvus võib muutuda ka õhu ja päikese käes seistes (nt lepa värvus muutub pärast raiumist punakaspruuniks).



Joonis 39. Värvus. Vasakul venge, keskel- kuusk ja paremal pähklijuur

Intarsiatöödeks kasutatakse erinevate värvustega puitu ja värvitud puidutükke. Kontrastse värvusega puiduliigid on näiteks: eebenipuit, satiinipuu, kirsi- ja ploomipuu, mahagonipuu, kreeka pähklipuu, sebrapuu.

Ka immutatud puidus tekib värvuste muutusi. Vees lahustatud puidukaitsevedelikud, mis sisaldavad vaske, annavad immutatud puidule roheka või rohekaskollase värvuse. Aja jooksul võib antud värvus muutuda kuldpruuniks, hallikaspruuniks või halliks, olenedes sellest, kui suurel määral ilmastik ja tuuled puitu mõjutanud on. Õlis lahustatavad puidukaitsevedelikud on harilikult värvitud. Kreosoodiga immutatud puit on must või pruunikasmust, kuid pleekub valguse käes tasapisi heledamaks.

Läige, tekstuur, lõhn

Puidu läige tuleb kõige paremini esile radiaallõikes, kus on säsikiired kõige paremini nähtavad. Tangentsiaalpind on tavaliselt läiketu ja tüve ristlõige hoopis matt. Küllaltki läikiva puiduga on saar, kask, vaher ja pärn, peaaegu läiketu on aga pöök.

Puidu tekstuur

Tekstuur on muster, mis tekib puidu pinnale anatoomiliste elementide läbilõikamise teel. Tekstuuri moodustavad aastarõngad, säsikiired, puidukiud ja sooned, mis kõik kuuluvad puidu ehituse alla, seega on puidu tekstuuri ja ehituse vahel otsene seos. Okaspuu tekstuur on võrreldes lehtpuuga tunduvalt lihtsam, kuna okaspuu puit on lihtsama ehitusega

Puidu tekstuuri määrab ära puidu lõikesuund. Need puuliigid, mis paistavad silma kevad- ja sügispuidu kontrastsusega (nt saar, tamm, pähkel, kastan, lehis), omavad ilusat tekstuuri tangentsiaal lõikes. Silmatorkavate säsikiirtega puuliigid (nt pöök, vaher, tamm) omavad ilusat tekstuuri radiaallõikes.

Nagu öeldud valgus ja õhk muudavad puidu värvitooni juba töötlemise käigus ja ka edaspidi aastatega. Katteta puitpinda tuleks hoida mustuse ja tolmu, väga kuiva õhu ja niiskuse eest. Seega peame puitu kaitsma kas keemiliste ainete abil mis aga kahjustab nii tervist kui ka keskkonda. Looduslike põhikomponentidega vaha ja õli kaitsevad puitu kahjulike tegurite eest ning annavad mööblile sametise pealispinna, ilma puidu poore sulgemata. Puidu tekstuur jääb paistma. Leeliselahus, vaha ja õli viimistlevad ja kaitsevad mööblieset. Keskkonnasõbralike ainete kasutamine hoiab nii inimest kui ka loodust, kõigele lisaks säilivad ka puidu loomulikud omadused.

Puidu lõhn

Allpool on toodud mõnede lõhnavate puiduliikide kirjeldused:

Vaigulõhn on enamusel männiliikidel. Meeldivalt magusa lõhnaga on palisander. Omapärane aroomaanne lõhn on kadakal. Vanasti soovitati kadakast valmistatud plaate kasutada riidekappides, et ära hoida koisid. Erinevatel seedriliikidel on tugev aroomaanne lõhn. Seedrile küllaltki lähedane lõhn on lehtpuul tseidrelal (Kuuba-seeder või "sigarikarbipuu"), millest tehakse suhkrukaste ja kõrgema sordi sigarite karpe. Arvatakse, et selle puiduliigi lõhn tõstab tubaka aroomi.

Ka küpressil ja elupuul (*Thuja occidentalis*) on hea lõhn.

Hapukas lõhn on nulu puidul.

Parkaine (tanniini) lõhn on guajakipuul (*Guaiacum officinale*).

Toornahataoline vürtsikas lõhn on tiikpuul.

Troopilises Aafrikas leidub ka selliseid puuliike, millel on ebameeldiv lõhn.

Lõhnatud on näiteks kuuse küpsuit, mida kasutatakse toiduainete pakkimiseks (vanasti näiteks valmistati sellest võitünne), kuna see puit ei sisalda aroomaatseid aineid, mis võiksid toidu maitset mõjustada. Ka pöök ja pärn (marmelaadikarbid) on lõhnatud.

Puit, mida on immutatud vees või õlis lahustuvate ainetega ja mida on korralikult kuivatatud, on samuti harilikult lõhnatu.

Kreosoodiga immutatud puitu ei saa kunagi täiesti lõhnabaks, kuid mõni aasta peale immutamist pole lõhn enam nii häiriv.

Puidu niiskus

Puidu lagunemise põhjuseks ei ole kunagi tema vanus- hoides puitu kuivana peab ta vastu aastasadu. Puidu üks suurimaid probleeme on seotud tema hügrokoopsete omadustega, st materjal muudab ja ühtlustab oma niiskust vastavalt ümbritseva õhu niiskussisaldusele ja temperatuurile. Tegemist on puidu negatiivse omadusega mida ei ole praktiliselt võimalik eemaldada, küll aga vähendada (erinevad puidukaitsevahendid).

Elavate puidurakkude protoplasmas on kuni 80% vett. Maharaiutud puidus mõjub puidu niiskuse olemasolu negatiivselt, halvendades puidu tehnilisi omadusi:

1. toores puit on raske;
2. kuivatamata puit mädaneb kiiremini, samuti mõjuvad kiiremini hallitus ja teised struktuuri lagundavad seened;
3. niiskest puidust valmistatud esemed pole nii tugevad, sest tema detailid kuivavad, kõmmelduvad ja lõhenevad, eseme kasutamise iga muutub väga lühikeseks;
4. niiske puidu pinda on väga raske kvaliteetselt viimistleda, hõõveldada ja liimida;
5. mõõdu ja kuju muutlikkus temperatuuri ja niiskuse muutudes;
6. puidu kuivamisel tekivad kuivamislõhed.

Nende pahede tekkimiseks tuleb puitu kuivatada teatud niiskusastmeni, mis vastab elutuse või eseme eksploatatsiooni tingimustele. Niiskuse kõrvaldamise protsessi puidust auramise teel nimetatakse kuivatamiseks.

Puidu niiskuseks nimetatakse puidus leviva niiskuse ja vee massi suhet vastavalt kuiva puidu massile. Niiskus avaldatakse järgmise valemi kaudu:

$$W = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100\%$$

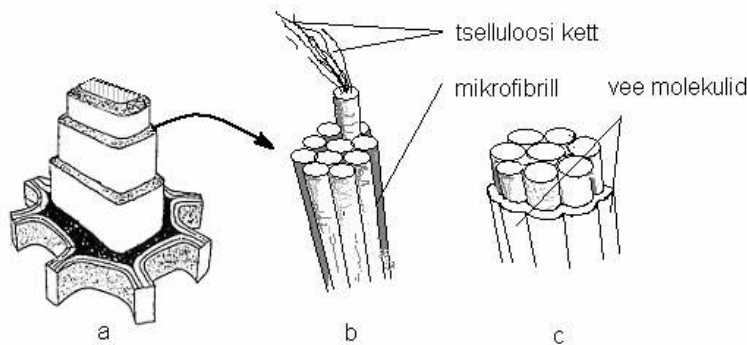
W - niiskus,
m - niiske puidu kogumass,
m₀ – absoluutkuiva puidu mass.

Niiskuse mõõtmiseks kasutatakse ka elektrimõõtjaid. Seade on ehitatud põhimõttel, et sõltuvalt puidu niiskussisaldusest muutub ka elektriline takistus kahe juhtteraviku vahel, mis puitu surutakse (joonis 41). Niiskuse määramiseks kasutatakse veel elektromagnetilisi mõõduriistu. Selleks asetatakse mõõteseade puidu pinnale, elektromagnetilised lained läbivad puitu, määrates selle niiskuse. Mõõteriistale on märgitud, kui sügavale magnetlained ulatuvad ja kui suures vahemikus ta niiskust mõõdab (nt sügavus 20 mm, niiskus 5- 30%). Tihtipeale tuleb enne mõõtmist sisestada seadmesse mõõdetav puiduliik (pehme okaspuu, tihe lehtpuu jne).



Joonis 41. Elektrilise takistuse põhimõttel töötav niiskuse mõõtja.

Elav puit sisaldab umbes 50% vett, osa niiskusest asetseb raku seintes ja osa rakkude siseruumides. Niiskus, mis asetseb raku seintes, on seotud ehk hügrokoopne vesi, paiknedes fibrillide (raku sein koosneb fibrillidest) pinnal ja moodustab nende vahele pidevaid veemolekulide kihte, paksusega kuni mõnesaja molekulini (joonis 42c).



Joonis 42. Hügrokoopne vesi rakuseintes.

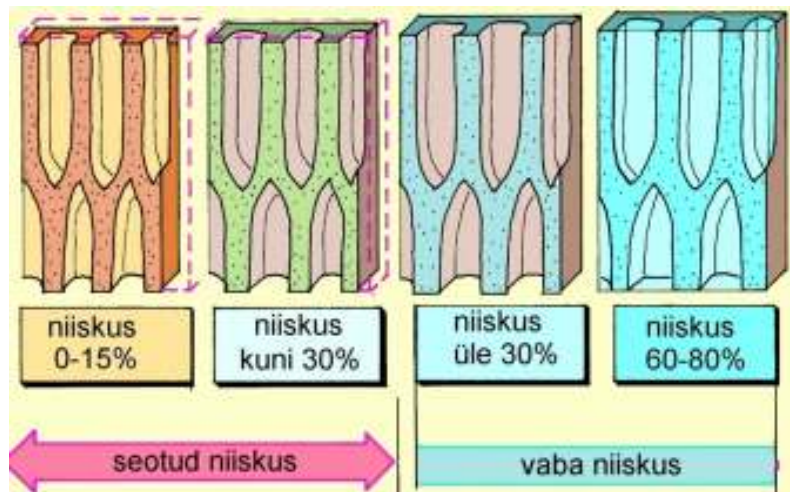
a – rakk, b – tselluloosikiudude kimp kuiva puidu puhul, c – tselluloosikiudude kimp märja puidu puhul.

Hügrokoopsuseks nimetatakse puidu omadust imeda endasse niiskust seni, kuni see tasakaalustub ümbritseva õhu niiskusega. Seega võib kuivanud puit niiskust hiljem uuesti juurde võtta ümbritsevast keskkonnast, kui viimase niiskus on selleks küllalt suur (puidus olev ligniin on aine, mis imeb enesesse niiskust).

Hügrokoopsus on puidul halvaks omaduseks, sest puidu niiskuse muutumisega kaasnevad ka kuju ja mõõtmete muutumine ning väheneb vastupanu mädanikuseentele.

Kui puitu kuivatada niiskussisalduseni 0% hakkab ta kohe endasse imema ümbritseva õhu niiskust (joonis 43 A). Esmalt imendub niiskus puidu rakuseina, kuid seda ainult teatud piirini, kuni rakusein niiskusest küllastub. Küllastuspiir (W_{kp}) saabub kõikidel puuliikidel umbes 30% ($W=30\%$) niiskussisalduse juures (joonis 43 B). Sellisel juhul on rakuseinad maksimaalselt niiskusest küllastunud ja rakusein pundub. See seletabki asjaolu miks puit paisub.

Niiskussisalduse suurenedes üle 30% koguneb liigne vesi rakuõõnde, soontesse ja fibrillidevahelistesse õõnsustesse. Antud niiskust nimetatakse vabaks niiskuseks (joonis 43 c).



Joonis 43. Erineva niiskussisaldusega puidurakud. a – niiskus on väiksem kiuseina küllastuspunktist; b - niiskus on võrdne kiuseina küllastuspunktiga ($W = 30\%$), kiu seinad on küllastunud, vaba vesi puudub; c – niiskus on üle kiuseina küllastuspunkti ($W > 30\%$), kiu seinad on küllastunud. Vaba vesi paikneb rakuõõnsustes.

Maksimaalne vaba niiskuse sisaldus sõltub kiuõõnte mahust ja kiududevahelistest tühimikest ning on erinevatel puuliikidel 60–70% kuni 250%. Seotud niiskuse sisalduse muutumine mõjutab mitut puidu omadust (mõõtmeid, mehaanilisi omadusi). Niiskuse suurenedes üle küllastuspiiri ei muutu enam puidu ruumala vaid suureneb puidu mass.

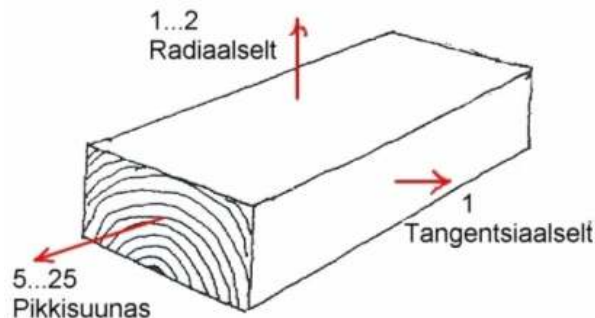
Seega esineb niiskust puidus kolmel viisil: seotud veena ehk hügrokoopse veena, vaba veena ja keemiliselt seotud veena.

Puidu niiskus sõltub puiduliigist, aastaajast ja kasvukohast. Okaspuude maltspuit on tunduvalt niiskem kui lülipuit (mööda maltspuitu transporditakse toitaineid ning on seega niiskem), lehtpuudel nii suurt erinevust ei ole. Kui puit seisab pikka aega muutumatu olekuga õhus, tekib temas püsiv niiskus.

Niiskusega seotud kujumuutused

Puidu kuivamine ja paisumine

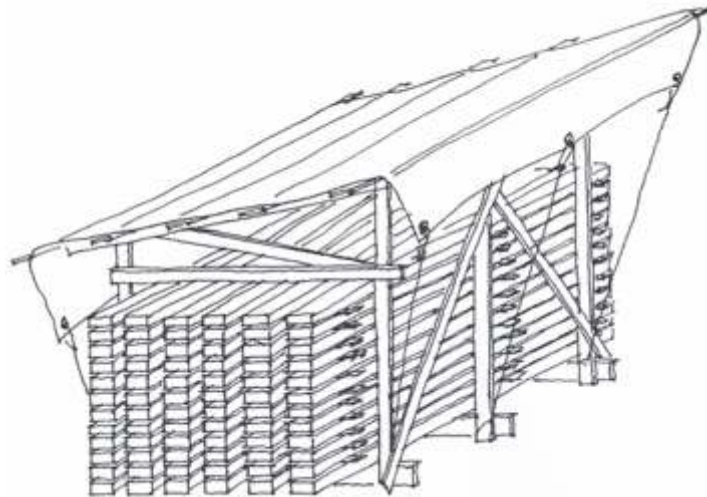
Puidu kuivamise käigus eraldub kõigepealt vaba vesi. Radiaalsuunas liigub niiskus mõnevõrra kiiremini kui tangentsiaalsuunas (säsikiirte mõju). Piki kiudu liigub vesi aga ligi 15 korda kiiremini kui radiaal- ja tangentsiaalsuunas (juhtrakkude mõju). Sellega on seletatav ka materjali otste kiirem kuivamine. Puidu niiskuse eraldumise kiirus on kujutatud joonisel 44



Kui puidust on eemaldunud vaba vesi, hakkab kuivama rakusein. See mõjutab otseselt rakuseina niiskussisaldust ja seega materjali omadusi: algab puidukiudude kahanemine ning muutuvad puidu tugevus-, kõvadus- ja elastsusomadused.

Joonis 44. Puidu niiskuse eraldumise kiirus.

Kõige lihtsam meetod puidu kuivatamiseks on vabaõhkuivatus. See nõuab aga pikka kuivatusaega ja on suuresti sõltuv aastaegadest. Et puit oleks korralikult kaitstud kahjustuste vastu, ei tohi puidu niiskus peale kuivatamist ületada 18...20%. See nõuab 3...8-kuulist kuivatusaega. Kui selle aja jooksul ei olda küllalt hoolsad, võivad puidu välimus ja omadused kahjustuda. Vabaõhkuivatus toimub kõige kiiremini suvisel perioodil, kuid ei võimalda puitu kuivatada alla 17...18% niiskuse. Suur osa puidutoodangust (näiteks sisustustarbed ja mööbel) nõuavad tooraineks aga märgatavalt madalama niiskussisaldusega puitu.



Joonis 45 Kuivatamine vabas õhus.

Puidu niiskusprotsendid vastavalt kasutusale:

Mööbli, sisustuse, parketi jne jaoks toatemperatuuril, mille juures õhu suhteline niiskus on 30...40%, on sobivpuiduniiskus 6...8%.

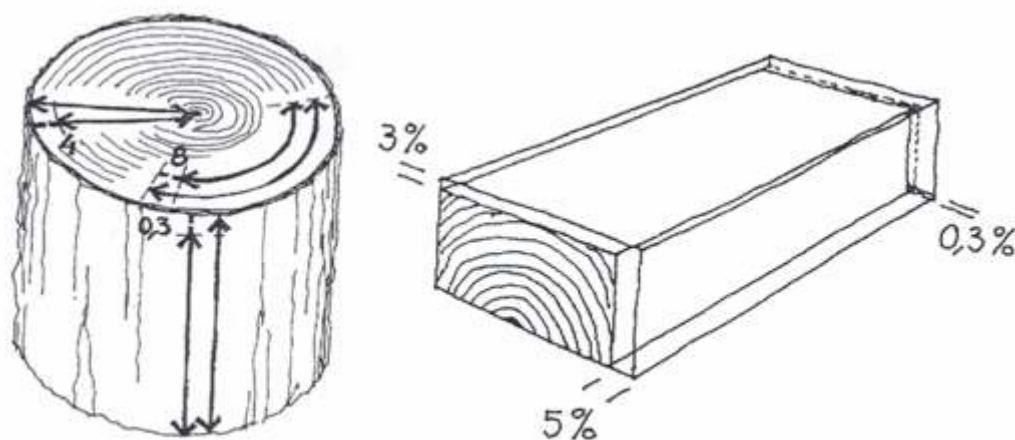
Akende ja välisuste, suhteline õhuniiskus 70...80%, jaoks on sobiv puiduniiskus 12...15%. Pidevalt välisõhu käes seisva, vihma eest kaitstud puidu, suhteline õhuniiskus 80...90%, jaoks on sobiv puiduniiskus 14...18%.

Puidu kuivamisel ja kahanemisel käivad kaasas ka mitmesugused pahed, nagu pakatamine, kõmmeldumine, kaardumine jne. Ettevaatamatu ja kiire kuivatamisega võivad laudade/plankude otsad niiskuse intensiivse eemaldumise tõttu lõheneda ja see vähendab tunduvalt puidu väärtust. Otstarbekas on pärast palgi lahtisaagimist katta saematerjali otspinnad värviga, et vältida nende liiga kiiret kuivamist.

Kahanemisel või paisumisel tekkivate sisepingete tagajärjel toimuvad puidus ruumilised muutused. Öeldakse, et „puit töötab“, mis tähendab, et puutükk kahandab oma ruumala vastavalt niiskuse muutumisele. Selline muutus toimub erinevates puiduliikides isemoodi. Suuremad muutused toimuvad tavaliselt tihedamatel puuliikidel (tugevalt töötavad: pöök, pärn, keskmiselt saar, tamm, vaher; vähem mänd, lehis, kuusk).

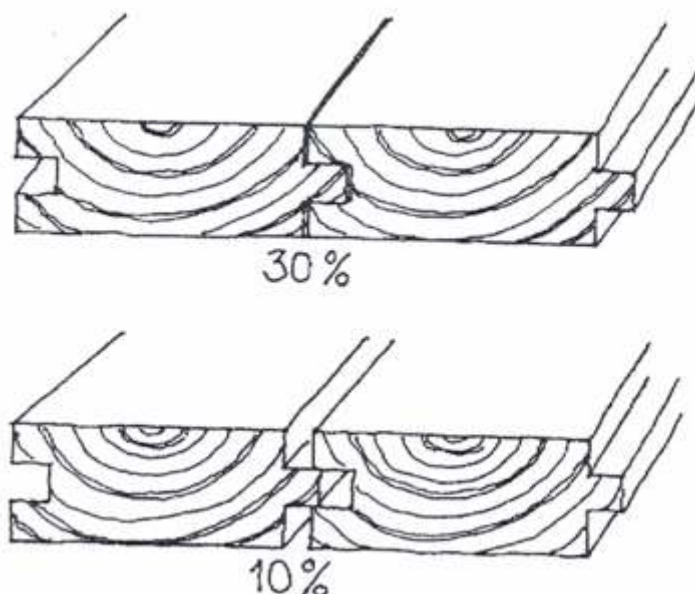
Puidu kuivamis-kahanemisel on oluline sügispuidu osakaal, sest sügispuidu rakuseinte kogupind on kevadpuiduga võrreldes suurem, seega mahutab ta rohkem vett. Mida niiskem on puit, seda suuremad on kujudeformatsioonid kuivades. Tangentsiaalsuunas on kahanemine ligi kaks korda suurem kui tüve risti ja radiaalsuunas (vt. joonis 46).

See põhjustab puidu praktilise kasutuse seisukohast hulga probleeme (miks avanevad suvel puidust ukse, aknad kergemalt kui sügisel?). Kõige väiksem on kujumuutus pikisuunas mis puittoodete konstrueerimise seisukohalt ei vaja märkimisväärset tähelepanu.



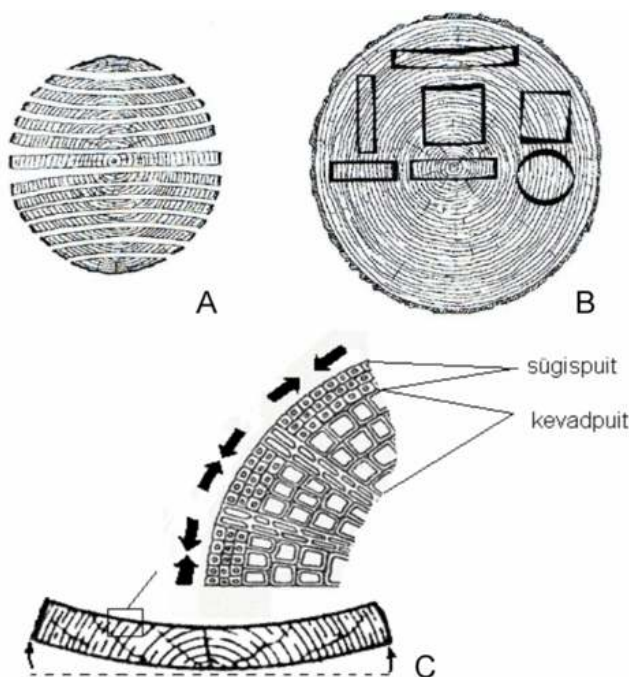
Joonis 46. Saematerjali kuivamiskahanemine erinevates suundades.

Vastavalt eespool öeldule tõmbub puit õhu niiskuse muutudes kokku või paisub. Seepärast on valmis puittoodangu seisukohalt tähtis, et töötlemiseks kasutatav puitmaterjali niiskus oleks peaaegu sama vastava kasutuskoha niiskusega. Kui niiskuse erinevused on suured, võivad tekkida tülikad probleemid, mis on seotud toote vormimuutustega, eelkõige kahanemise ja paisumisega, kujudeformatsioonid, lõhed jne. Algselt ilus laudpõrand ei pruugi pärast kütteperioodi algust enam nii hea välja näha (joonis 47)



Joonis 47. Põrandalaudadesse võivad tekkida vahed mis on otseselt seotud niiskuse muutumisega

Kõmmeldumine on puidu ristlõike kuju muutumine kuivamisel, mis on põhjustatud kokkukuivamise erinevustest radiaal- ja tangentsiaalsuunas. Kahanemine on põhjuseks, miks palgist täisnurkse või ümmarguse läbilõikega laua või lati väljasaagimisel nende vorm ja kuju kuivatades ebakorrapäraselt muutub. Kõmmeldumise ulatus oleneb eelkõige aastarõngaste suunast puidus joonis 48a, b). Joonisel 49c on näha, et laua ülaosas (tangentsiaalpinna) on rohkem sügispuidurakke. Nende mõõtmed vähenevad kokkukuivamisel oluliselt rohkem kui kevadpuidurakkude mõõtmed. Selle tulemusena laua kuju deformeerub ja selle otsad painduvad üles.



Joonis 48.

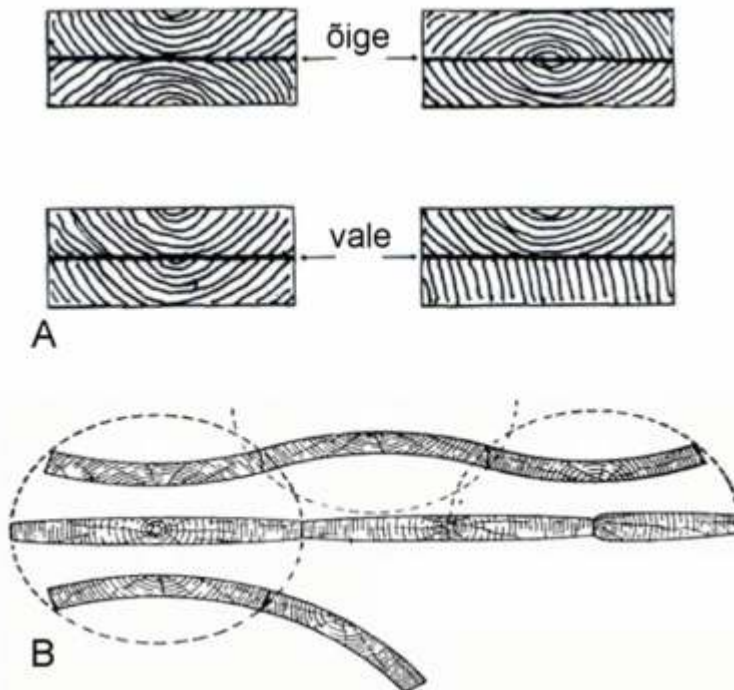
Puidu kõmmeldumine.

A- saematerjali kõmmeldumine lähtuvalt asukohast palis;

B- Erineva kujuga ja paiknemisega saematerjal kõmmeldub vastavalt aastarõngaste paiknemisest materjalis;

C- Kahanemine piki aastarõngaid on ligi kaks korda suurem kui risti aastarõngaid.

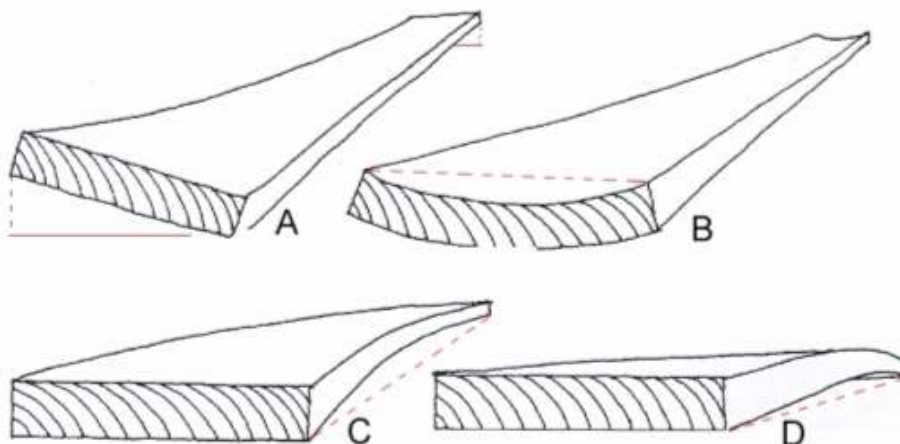
Igasugune puidutöötlemine ja -kasutamine nõuab põhjalikke teadmisi puidu kahanemis- ja paisumisomadustest. Täispuidust kilpdetailide valmistamisel peavad need pinnad, millel on samalaadsed kahanemisomadused, asetsema vastastikku, sest niiskuse muutumisel võib liimiühendus nõrgeneda, või kilpdetail kaarduda.



Joonis 49. A- laudade liimimise skeem; B- valesti tehtud liimiühendus

Saeveskites toorestest palkidest väljasaetud plangud ja lauad peavad peale kuivamist olema kindlaks määratud mõõtudega. Seepärast peavad saagimisel plankude ja laudade mõõdud olema lõplikest mõõtudest veidi suuremad. Peab arvestama, et saetud materjal kahaneb õhukuivaks kuivatamisel vastavalt niiskuse vähenemisele 30%-lt (rakuseina niiskuse küllastuspunkt) 20%-le (õhukuiv). Seega tuleb aastarõngaste suunda arvestades mõõtudele lisada ca 1/3 kahanemisprotsendist.

Kaardumine on pikkisuunaline kuju muutumine, mis on põhjustatud puidu sisepingetest (malts- ja lülipuidu erinevast kuivamis-kahanemisest), aastarõngaste suurusest, suunast saematerjalis või materjali ebaõigest virnastamisest. Erinevad kujumuutused, mis leiavad aset kuivamisel, on toodud ära joonisel 50. Nagu kaardumine oleneb ka materjali keerbumine aastarõngaste suunast materjalis. Põhjuseks võib-olla ka puu keerdkasv.

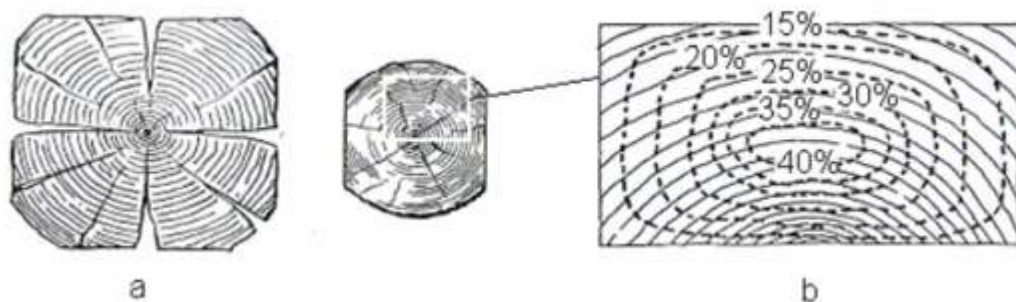


Joonis 50. Puidu kujumuutused kuivamisel. A- keerdumine; B- Kõmmeldumine; C- Serva pikkikaardumine; D- Pikkikaardumine

Lõhede tekkimine kuivamisel on põhjustatud väliskihtide kiiremast kuivamisest – materjalis tekivad sisepinged ja puit lõheneb. Lõhed kulgevad radiaalsuunas, kus paiknevad mehhaaniliselt nõrgad rakud, säsiikiired. Lõhenemine on seda tugevam, mida paksem on materjal ja kiiremini kuivatatakse.

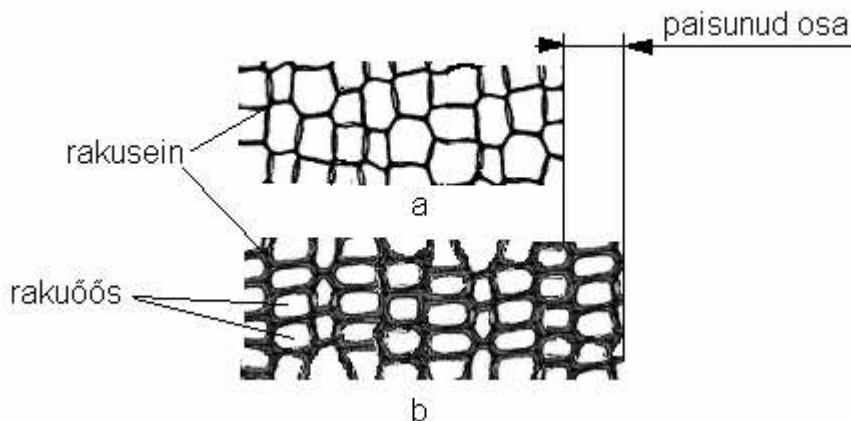
Otslõhed on materjali otspinda tekkinud praod. Niiskuse eemaldub kõigepealt materjali pinnalt, jäädes seestpoolt esialgu muutumatuks. Suurest niiskuse erinevusest puidu sise- ja väliskihtides ning kiirest kuivamisest (nt saematerjal, mis on päikese käes), tekivad materjali sisepinged, mille tulemusena tekivad puitu praod (joonis 51).

Et palkide otspinda ei tekiks lõhesid, tuleb vältida otspinna kuivamist päikese käes. Saematerjali kuivatamisel tuleb vöõbata materjali otspind niiskust mitteläbilaskva ainega.



Joonis 51. Lõhede tekkimine kuivamisel . a - puidu otslõhede tekkimine kuivamisel; b – puidutüki läbilõige kuivamisprotsessi käigus. Kui puit väljastpoolt kuivab, pole seestpoolt kuivamine veel alanudki, tekivad sisepinged ja puit lõhestub.

Puidu paisumine. Kui puit niiskub, siis koguneb vesi kõigepealt rakuseintesse. Veekile ümbritseb rakuseina osakesi, eemaldab need üksteisest ja rakusein paisub. Üksikute rakuseinte paisumine kajastub kogu puidu paisumisena (joon 52)



Joonis 52. Puidu paisumise skeem ristlõikes. a – kuiv puit, b – niiske puit.

Puidu tihedus

Puidu tihedusega seotud omadused

Tihedus on aine mahuühiku mass, st materjali massi ja mahu suhe, mille ühikuks on g/cm³ või kg/m³. Puit on ehituselt poorne materjal, mille üldruumala sisaldab nii suuri kui väikeseid õõnsusi. Puidu loomulikus olekus tähistatakse puidu tihedust

mahukaaluga, seega ühe mahuühiku (puidusubstants koos kõikide õõnsustega) massina.

Kuna puit on hügrokoopne materjal, siis sisaldab ta vähemal või suuremal määral vett e niiskust. Puidu tiheduse puhul peab kindlasti teadma niiskussisaldust, sest tihedus võib erineva niiskuse korral suurtes piirides erineda.

Tiheduse puhul tuleb vahet teha puidu tihedusel ja puitaine tihedusel.

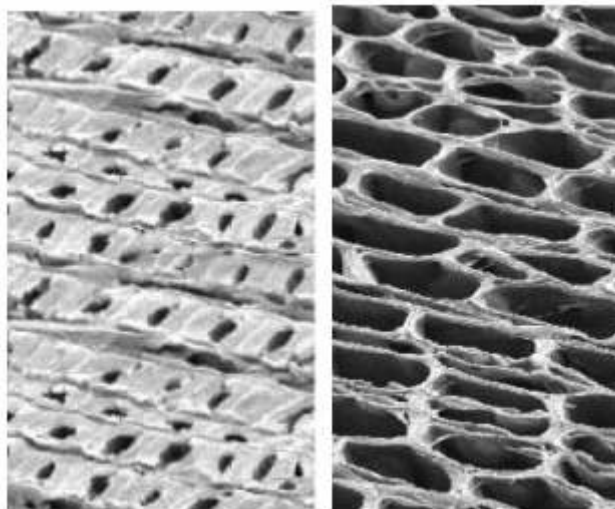
Puidu tihedus näitab ühe mahuühiku massi loomulikus olekus, st puit kõikide õõnsustega.

Tihedus leitakse järgmise valemiga;

$$\rho = \frac{m}{V}$$

m - puidu mass.
V – puidu ruumala.

Puitaine tihedus on ühe mahuühiku (ilma õõnsusteta) puitaine mass. See tihedus on määratud tselluloosi ja ligniini tihedusega. Kuna kõik puuliigid koosnevad ühest ja samast puitainest, siis ei sõltu selle tihedus puiduliigist ja on 1,5- 1,6 g/cm³ (olles raskem kui vesi).



Joonis 53. Puidu rakud on vaskpoolsel joonisel praktiliselt kokku surutud (puitaine tiheduse määramine), paremal puidurakud normaalses olekus (puidu tiheduse määramiseks)

Erinevate puiduliikide tihedusi saab võrrelda ainult siis, kui need on määratud sama niiskussisalduse juures. Seega oleks lihtsam kõiki puiduliike võrrelda absoluutselt kuivas olekus (niiskus 0%).

Puidu tiheduse määramine;

- 1) Puidust proovikeha kuivatatakse 100°-lisel temperatuuril.
- 2) Kuivtiheduse määramine. Määramisprotseduuri peaks kiirelt sooritama, sest absoluutselt kuiv puidutükk hakkab ümbritseva õhuga (õhk sisaldab aga alati niiskust) kokku puutudes kohe niiskust endasse tagasi imema.

Tiheduse määramiseks peab täpselt mõõtma ruumala, sest kuivatamisel tõmbub puit tugevalt kokku. Oma anisotroopse struktuuri tõttu (erisugused omadused ise suundades) võib kahanemine toimuda väga ebakorrapäraselt. Mistõttu harilike pikkusmõõteriistadega on ruumala määramine raskendatud, selle vältimiseks on standardi kohaselt tiheduse katsekeha mõõdud ainult 20x20x30 mm.

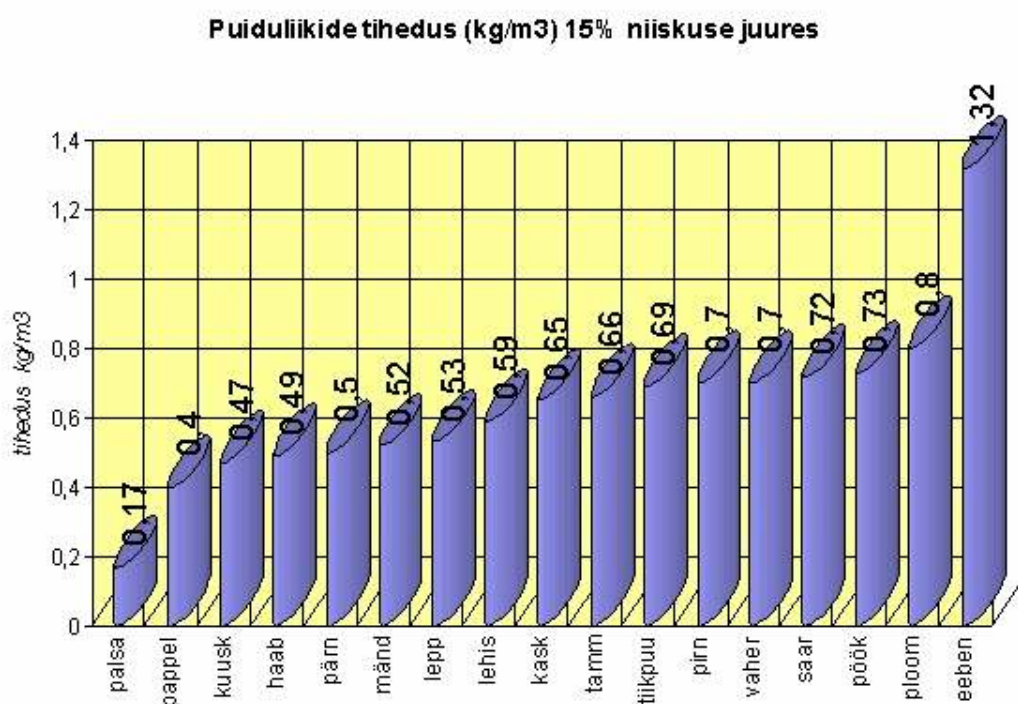
Ebakorrapärase proovikeha ruumala täpselt määramiseks tuleks see uputada elavhõbedasse, sest vesi ja teised laialt kasutatavad vedelikud võivad puitmaterjali tungides põhjustada ebatäpseid tulemusi. Arvestades eespool mainitud kitsendusi, toimub kuivtiheduse praktiline määramine järgmiselt:

1) puidu mass määratakse absoluutkuivas olekus, ruumala mõõdetakse harilikult enne puidu kuivatamist õhukuivas olekus, st niiskussisaldusel 12 või 15%. Tihedus (ρ) tähistatakse vastava indeksiga $\rho_{0,12}$, mis tähendab, et puidu mass on määratud niiskuse juures 0% ja ruumala mõõdetud proovikeha 12% niiskussisaldusel. Indeks võimaldab seega anda informatsiooni puidu tiheduse määramise kohta erinevate niiskussisalduste juures.

absoluutkuiva puidu mass (g) $= \rho_{0,15}$

puit niiskusega 15% (cm³)

Tabelis 2 on võrreldud erinevate puiduliikide tihedusi 15% niiskussisalduse juures ($\rho_{0,12}$).



Tabel 2. Erinevate puiduliikide tiheduste skaala.

Puidu mahukaalude suur erinevus tuleneb peamiselt puidu siseehituse erinevustest. Kui puidu rakud on suured ja õhukeseseinalised, on puidu kaal väike. Maailma üks kergeimaid puid on balsa (*Ochroma lagopus*), mille tihedus on 170 kg/m³. Üks raskeim puit on aga eebenipuu ehk mustpuu, tihedusega 900-1350 kg/m³.

Ka ühe ja sama puiduliigi mahukaal võib olla erinev. Mida rohkem on puidus paksuseinalisi sügispuidurakke, seda suurema tihedusega on puit. See seletab ka asjaolu, miks vanade puude mahukaal on suurem kui noortel. Põhjuseid võib olla teisigi, näiteks geograafiline päritolu, vegetatsiooniperioodi pikkus ja ümbruskonna

füsioloogiline ja mehhaaniline mõju (näiteks soojus, niiskus, mullastik, kõrgus merepinnast jmt).

Võib öelda, et puidu tihedus sõltub puidusubstantsi kogusest, st puit on seda tihedam, mida vähem on temas õõnsusi e poore. Puidu tihedus suurendab järgmisi puidu omadusi:

- tugevust;
- kõvadust;
- kulumiskindlust;
- soojajuhtivust;
- kütteväärtust;
- kahanemist ja paisumist.

Puidu niiskussisalduse muutus mõjutab tugevalt nii selle tihedust kui ka teisi puiduomadusi, seda eriti niiskuse langemisel alla kiuseina niiskuse küllastuspunkti, st alla 25.. 30%. Oma poorse ehituse tõttu võib puit endasse imeda palju rohkem vett, kui on ta kuivaine mass. Maltspuidu niiskussisaldus võib ületada isegi 200% .

Puidu soojusomadused

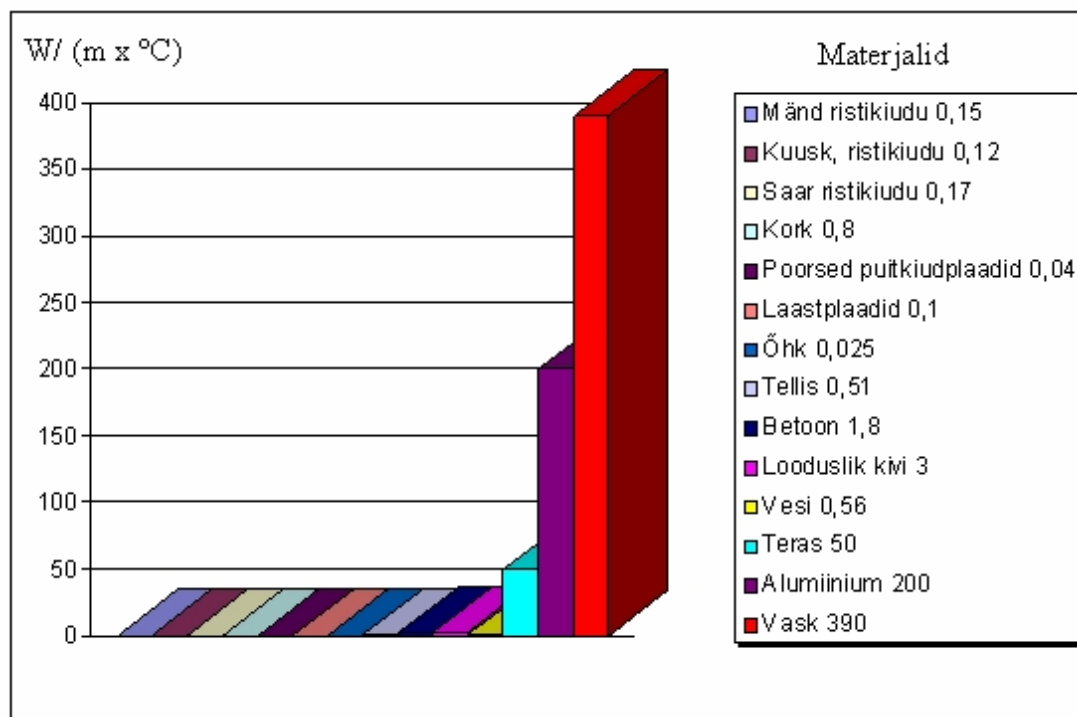
Soojusjuhtivus. Puit on poorse ehituse tõttu võrdlemisi halb soojusjuht. Soojusjuhtivuseks nimetatakse soojushulka vattides, mis läbib puitmaterjali (pindalaga m^2 ja paksusega 1 m), kui vastaspindade temperatuuride vahe on $1^{\circ}C$. Soojusjuhtivuse ühikuks on seega vatt /meeter $\times^{\circ}K$.

K- Soojusjuhtivuse koefitsient, tähis λ

Nimetatud koefitsient võrdub soojuse hulgaga kilokalorites, mis läbib puitu 1 tunni jooksul tema ühelt pinnalt, pindala m^2 , teisele sama suurele pinnale pindade vahekaugusega 1 m ja temperatuuri erinevusega $1^{\circ}C$, seega vt tabel 3.

$\lambda = kcal / meeter \times tund \times ^{\circ}C$

Soojusjuhtivus erinevates materjalides tuleneb eelkõige nende füüsikalistest omadustest (eelkõige tihedusest) vt. tabel 3.



Tabel 3. Soojusjuhtivus erinevates materjalides.

Puidu niiskuse suurenemisel puidu soojusjuhtivus kasvab, sest vesi surub poorides oleva õhu välja, aga vee soojusjuhtivus on 25 korda suurem Õhust. Puidu tihedus mõjutab soojusjuhtivust, st mida tihedam puit, seda suurem on soojusjuhtivus.

Puidu väike soojusjuhtivus, võrrelduna teiste materjalidega, on andnud talle rahvamajanduses laialdase kasutamise ehitusmaterjalina, näiteks puidu soojusjuhtivus on 4 korda väiksem tellisest jne.

Soojusmahtuvus

Soojusmahtuvuseks nimetatakse sellist soojuste hulka kilodžaulides, mis on vajalik 1 kg materjali temperatuuri tõstmiseks 1°C võrra ja selle ühikuks on kJ/kg °C. Soojusmahtuvus ei olene puidu tihedusest ja puuliigist, küll aga sõltub suurel määral puidu niiskusest.

Puidul on madal soojusjuhtivus, kuid suur soojusmahtuvus, mistõttu on puit hea ehitusmaterjal näiteks seinteks, lagedeks ja põrandateks. Samuti on puit sobiv materjal kastrulite ja tööriistade käepidemeteks.

Energiasisaldus e kütteväärtus e kalorsus

Puitmaterjali energiasisalduseks nimetatakse soojushulka džaulides, mis on keemiliselt seotud 1 kg puitaines. Põlemisel antud energia vabaneb.

Lahtiseletatult - orgaanilised ühendid, millest puit koosneb, omavad võimet põleda. Seepärast kasutatakse puitu üha enam kütteks. Iga kütteühe korral hinnatakse tema kütte -väärtust, mille juures mõeldakse soojuste kogust, mis saadakse 1 kg kütteaine põlemisel või põletamisel ja nimetatakse absoluutseks (kaaluliseks) kütteväärtuseks. Seda mõõdetakse džaulides või kalorites, s.o soojuskogus, mis kulub 1 kg vee temperatuuri tõstmiseks 1 °C võrra.

Puidu kütteväärtus ei ole eriti suur ja teoreetiliselt on see 19 MJ/kg (4520 kcal/kg) ning kõigub 19,7...21,4 MJ/kg (4700...5100 kcal/kg).

Puidu niiskuse suurenemisel kütteväärtus alaneb, sest puidu põlemisel osa soojust kulutatakse puidus esineva vee aurustamiseks. Küttepuit ei saa kunagi absoluutselt kuiv olla, vaatamata isegi mitmeaastasele välisõhus kuivamisele, jääb selle niiskus 20% piirsesse.

Puidu absoluutne kütteväärtus erineb puuliikide viisi väga vähe, seepärast määratakse praktika jaoks kütteväärtus mahuühiku, mitte kaaluühiku kohta ja sel juhul on tegemist mahulise ehk suhtelise kütteväärtusega, s.o soojuse kogus, mis saadakse ühe mahuühiku absoluutselt kuiva puidu põlemisel või põletamisel.

Suhteline kütteväärtus kõigub puuliigiti ning määravaks saab puidu tihedus, sest tihedamate (raskemate) puuliikide puit on puitainerikkam ja seega suurema kütteväärtusega.

Suhtelise kütteväärtuse alusel, milles määravaks on puidu tihedus, kujuneks puidu küttevõime puuliigiti järgneviks: valgepöök, tamm, saar, pöök, vaher, kask, lepp, mänd, haab, kuusk, pärn, pappel.

Puidu põlemisel 260.. 275°C juures eraldub juba nii palju soojust. Kuid miks teinekord kuiv puit põledes praksub? Põhjus on selles, et temperatuuri tõustes rakkudes vee asemel olev õhk paisub ja purustab praksudes rakukestad. Kõige enam praksub põledes lehise puit, järgnevad nulg ja kuusk, seepärast neid ka mitte kasutada lahtistes kaminates.

Puidu akustilisi omadusi

Nende omaduste all mõistame peamiselt helijuhtivust ja resonantsivõimet (akustika on õpetus helist ja selle tekkimisest). Helilained levivad õhus kiirusega 340 m/sek, tahkemetes ainetes levib heli kiiremini. Heli kiirus puidus oleneb puuliigist (niiskusega 5-7%) pikikiudu 3800...4800m/sek ja ristikiudu 500...1500m/sek (vt. Tabel 4.). Hea helijuhtivus on ka puidu kvaliteedi tunnuseks, sest mädanikust rikutud kohad summutavad heli.

Materjal	Helilainete levimiskiirus (m/sek)
Õhk	340
Kork	430...530
Puit ristikiudu	500...1500
Puit pikikiudu	3800...4800
Raud, klaas	5000...6000

Tabel 4. Helilainete levimiskiirus erinevates materjalides.

Puitu, mis on sobiv muusikariistade tootmiseks, nimetatakse helipuiduks. Selliseks on näiteks oksavaba ja suhteliselt kerge kuusepuit (tihedus absoluutselt kuivalt 0,37-0,44g/cm³), mille aastarõngad on kitsad, korrapärase asetusega ning millel on head resonantsiomadused. Helipuiduna on tuntud kuusk, seeder, nulg, viiulitootmiseks kasutatakse Saksamaal kasvavaid mägivahtraid. Helipuiduks sobivad ainult tüve alumised osad, kuni 9 m kõrguseni.

Ehitusmaterjalina on puidu helijuhtivus halvaks omaduseks, kuid vaatamata sellele kasutatakse teda ehitusmaterjalina väga palju. Et heli summutada, peavad seinad olema tihedad.

Puidu elektrilised omadused

Kuivas olekus on puit halb elektrijuht, sõltudes peamiselt niiskusest, temperatuurist, puiduliigist ja voolu suunast. Puit niiskusega alla hügrokoopse niiskuse kaotab elektrijuhtivuse ja muutub isolaatoriks, niiskuse suurenemisel 30% tõuseb puidu elektrijuhtivus miljoneid kordi. Edasisel niiskuse suurenemisel enam olulist kasvu ei ole, sest elektrijuhtivus muutub võrdseks vee elektrijuhtivusega.

Elektritakistus iseloomustab elektrit juhtiva materjali elektrivoolu takistust. Elektritakistuse mõõtühikuks SI-süsteemis on $\Omega \cdot m$ (nt. puidust kuubi, mille külje pikkus on 1 m, takistusühik on oom - Ω).

Puidu teisi omadusi

Mürgisus. Euroopas kasvavatest puuliikidest on ainult jugapuu ja kuldvihma kõik osad mürgised. Inimesele on antud liigid mürgised, kui neid töödelda, ja sellepärast kasutatakse nende puitu väga harva.

Mitmete troopiliste puuliikide puit on mürgine ja seepärast imporditakse neist väheseid. Sellise puidu töötlemisel võivad puidutolm ja saepuru tundlikel inimestel põhjustada allergilisi sümptomeid ja nahapõletikke.

Näiteks mansooniapuidu töötlemisel tekkiv puidutolm võib põhjustada peapööritust, halba enesetunnet, kurguvalu, ninaverejooksu ja naha ärritumist. On teada juhtum, kus mansooniapuidu saepuru kasutamisel allapanuna sigalas haigestusid kõik pörsad. Mansooniapuu koort kasutasid ürgelanikud nooleotste mürgitamiseks.

Korrosioon (puidu lagunemine õhu ja vee toimele) Korrosiooniks nimetatakse tahke materjali lagunemist ümbritseva keskkonna toimele (joonis 54). Puidul põhjustavad selliseid muudatusi õhk, muld ja keemilised ained. Kui puit on eelnevalt kaitstud seente, putukate ja teiste kahjustuste eest, on ta küllalt vastupidav materjal.



Joonis 54. Puidu struktuuri kahjustused ultraviolettkiirguse toimel

Puit on mõõdukalt temperatuuril ka üsna vastupidav materjal madala kontsentratsiooniga hapete vastu. Temperatuuri tõustes suureneb söövitus märgatavalt.

Viimistlemata puidu vastupanuvõime lagunemisele õhus on puuliigiti järgmine:

1) väga vastupidavad - jalakas, seeder, küpress, ebatsuuga, eebenipuit, tamm, mõned euka-lüptiliigid, jugapuu, lehis, robiinia, must ja kreeka pähklipuu, tükpuu, kastan.

2) suhteliselt vastupidavad - saar, pöök, kuusk, mänd.

3) väikese vastupanuvõimega - lepp, haab, kask, hikkoripuu, pärn, vaher, pappel.

Vees on vastupidavad järgmised puuliigid:

valgepöök, tamm, eukalüpt, mänd, sanglepp, lehis, robiinia, jalakas, kastan.

Tihedus pole alati määrav näitaja, sest kerged okaspuu puidud on õhus ja vees tihti vastupidavamad kui rasked lehtpuu puidud. Tavaliselt on tihe lülipuit suurema vastupidavusega kui maltspuit, kuna sisaldab õlisid, vaiku, värv- ja parkaineid.

Valguse mõjul võib kaitsmata puidu värvus ja pinnastruktuur muutuda. Valgus ja ultraviolettkiirgus mõjustavad puidu pinda ja kutsuvad esile nn fotokeemilise lagunemisprotsessi. Tagajärjeks on värvimuutus, kusjuures tumedamad puiduliigid muutuvad heledamaks ja heledad tumenevad. Aja jooksul muutub selline pind pruunikaks ja lõpuks helehalliks. Välisõhus muutub sel viisil kõikide puiduliikide pind. Skandinaavias kasvavat kuuske ja mändi loetakse selles suhtes ühtedeks tundlikemateks.

6. Puidu mehaanilised omadused

Mehaaniliste omaduste mõiste. Puidu mehaanilise omaduse määravad tema vastupidamisvõime väliste jõudude (koormuste) mõjul. Välisjõud võivad olla

staatiliselt, dünaamiliselt, vibratsioon ja pikaajaliselt mõjuvad. Staatilised koormused mõjuvad kehale samasuunaliselt, nende suurus võib olla püsiv või aeglaselt kasvav ettenähtud suuruseni (palkide raskus, mis mõjub raudtee platvormile. Dünaamilised koormused e. löökoormused mõjuvad kehale järsku kogu jõuga. Vaiade löömine maasse).

Kõik materjalid välisjõudude teatud suuruse mõjul muudavad oma kuju ja mõõtmeid. Materjali e. keha kuju muutumist välisjõudude mõjul nimetatakse deformatsiooniks. Välis-jõud püüavad muuta keha kuju ja mõõtmeid, püüavad lõhkuda sidemeid tema osakeste vahel. Samal ajal materjal osutab välisjõududele vastupanu. Sellist jõudu, mis tekib materjalis välisjõudude mõjul nimetatakse pingeks. Pinge suurus arvutatakse tavaliselt Pa (paskalites) N/m² njuutonites ristlõike m² kohta.

Pa (N/m²)

Koormust, mis tekitab keha purunemise nim. purustavaks koormuseks. Pinget, mis esineb kehas enne purunemist, nim. tugevuse piiriks.

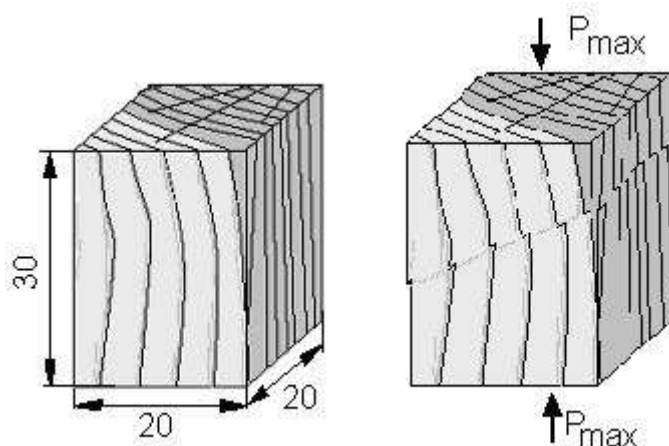
Deformatsioonide põhiliigid- välisjõud võivad mõjuda puidule erinevalt, seepärast tekivad ka puidus ka erinevad sisepinged ja deformatsioonid. Nende seas põhilisteks on : tõmme, surve, paine, vääne, niine. Kuna puit on anisotroopne materjal s.t. omab erisuundades erinevaid omadusi, siis uuritakse puidu mehaanilisi omadusi erisuundades e. eritasapindades.

Puidu mehaanilised omadused.

- Mehaaniliste omaduste hulka kuuluvad:
- Tugevus - on puidu omadus taluda väliskoormusi, seejuures purunemata.
- Kõvadus - puidu omadus osutada vastupanu teise tugevama keha sissetungile.
- Jäikus - omadus säilitada kuju ja mõõtmed mehaaniliste mõjutuste korral.
- Elastsus - puidu omadus taastada oma kuju ja mõõtmed välisjõudude mõju lakkamisel.
- Plastilisus - omadus säilitada purunemata muudetud kuju ja mõõtmed.
- Voolavus on materjali võime plastiliselt deformeeruda koormuse mõjul, mis teatud mõttes ületab plastilise tugevuse piiri.
- Löögisitkus - on tehnikas võetud tinglik mõiste, mis iseloomustab materjali omadust löögikoormuste mõjul neelata tööd, seejuures purunemata.

Puidu tugevus

Puidu tugevus on võime taluda koormust purunemata. Juba nõrkade välismõjude tulemusena tekivad puidus pinged ja välised deformatsioonid. Pinge on pinnaühikule mõjuv jõud. Kui koormuse suurenedes materjal puruneb, on materjal saavutanud oma purunemistugevusele vastava maksimaalse pinge. Pinge (?) suurus materjali tõmbe ja survekoormusel määratakse koormuse ehk jõu (P) ja ristlõikepinna (A) suhtega.

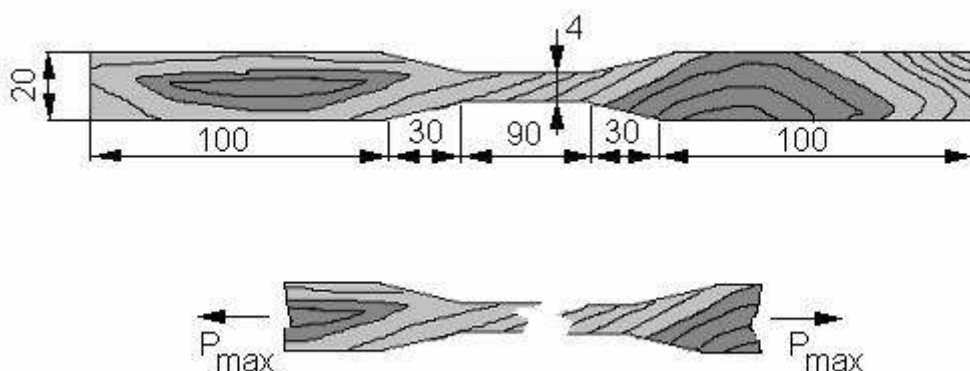


Joonis 55. Puidu tugevuse määramine

Välismõjude poolt põhjustatud keha mõõtmete ja kuju muutumist nimetatakse deformatsiooniks.

Puidu survetugevuse all mõistetakse puidu omadust vastu panna kokkusurumisele. Survetugevuse määramiseks kasutatakse prismakujulist proovikeha, mida surutakse kuni puidu kiud painduvad ja nihkuvad kõrvale (joonis 4.). Puidukiudude purunemismomendi mõõdetakse maksimaalse jõuga (P_{max} kg-des). Survetugevus ei oma suurt tähtsust oksad ja kaldkiulisus, kuid puidu niiskuse kasvades 12%-lt 30%-ni väheneb survetugevus kaks korda. Mida tihedam on puit, seda suurem on survetugevus (nt kuuse survetugevus pikikiudu on 45N/mm^2 , tammel aga 58N/mm^2).

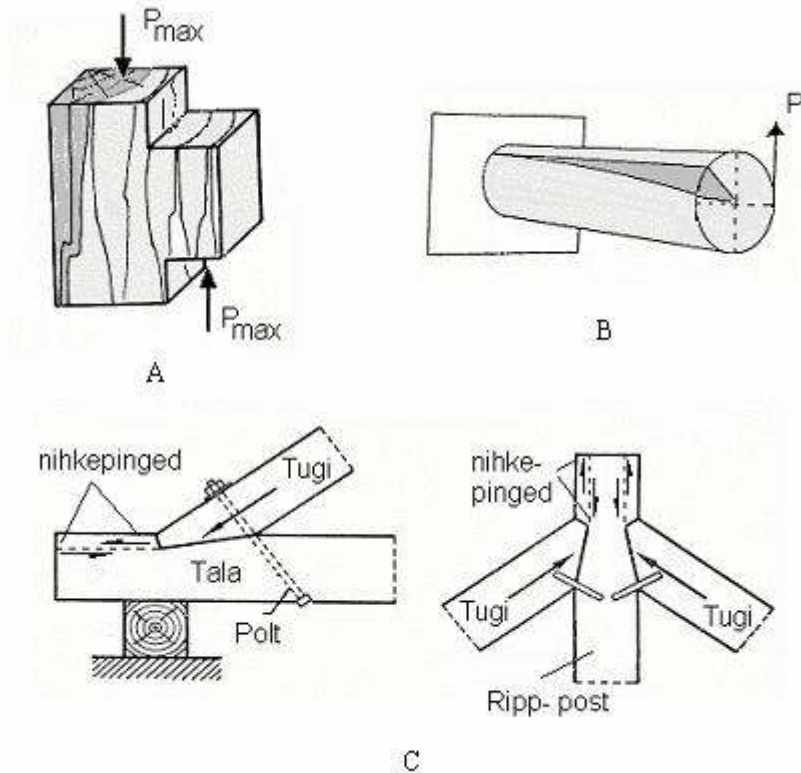
Tõmbetugevus pikikiudu. Tõmbetugevuseks nimetatakse puidu vastupanu tõmbamisele, selleks kasutatakse puidust valmistatud proovikeha (joonis 42). Tõmbejõudu rakendatakse kuni tooriku katkemiseni, katkemise momendil mõõdetakse maksimaalne jõud (P). Tõmbetugevus pikikiudu on võrreldes teiste tugevuse liikidega umbes kaks korda suurem



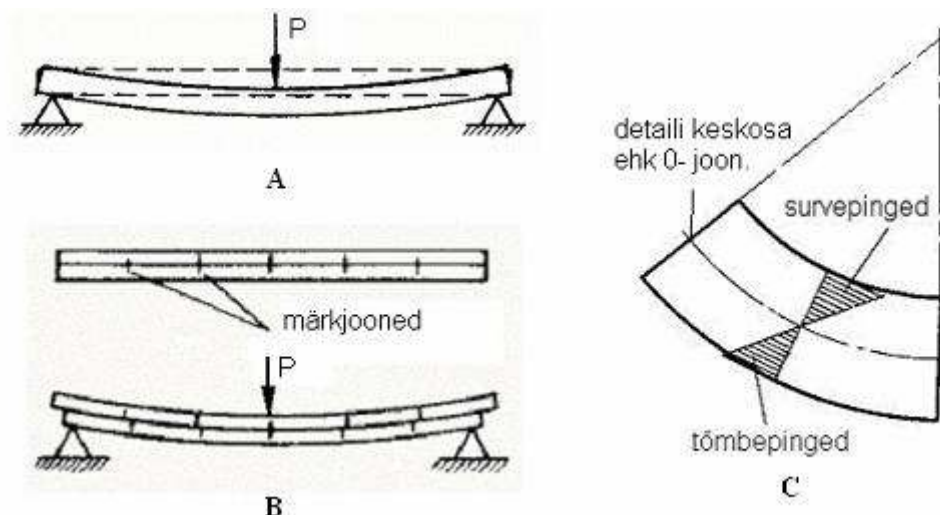
Joonis 56. Tõmbeproovikeha

Nihketugevus. Nihkepinged tekivad, kui välisjõud mõjutavad keha pindasid, mille tulemusena nihkuvad puidu kihid teineteise suhtes paralleelselt. Nihketugevust määratakse peamiselt pikikiudu (vt joonis 43a).

Puhtal kujul esineb nihe väändel (joonis 43b). Pikikiudu on puidu survetugevus võrdlemisi väike. Terves pragudeta puidus on lõiketugevus piki kiudu umbes kolm korda väiksem kui risti kiudu.



Puidu paindetugevuseks nimetatakse puidu omadust vastu panna paindele. Puidu painutamiseks kaasneb detaili kuju muutumine, mis on tingitud nii surve-, tõmbe kui nihketugevusest. Kahel toel puitdetaili koormamisel keskelt välisjõududega võib tähele panna järgmisi nähtusi: Ülemine puidupind surutakse kokku ja alumine puidupind venitatakse veidi pikemaks. Telje kohalt pole paindunud detaili pikkus muutunud. Teljeosas mõjuvate jõudude iseloomustamiseks paneme detaili kahest poolest kokku ja märgime servadele märkjooned. Keskelt välisjõududega koormamisel on näha, et märkjooned nihkuvad üksteise suhtes, kuna detaili pooled nihkuvad (joonis 44.A, B). Sellest saab järeldada, et detaili kohal esineb nihe. Kuna detaili otstes on märkjooned rohkem nihkuvad, siis esinevad seal ka suuremad nihkejõud ning keskel nihkejõud puuduvad. Detaili äärte suunas läheb nihe üle tõmbeks ja surveks. Joonisel 44.C on näha, et painutatud detailis mõjuvad nõgusale küljele survejõud, kumerale küljele tõmbejõud ja otstes nihkejõud. Puidu painet võib täheldada raamaturiulitel, mis peavad suurt koormust taluma (tüübelühendusega riiul talub suuremat koormust kui kanduritele toetuv riiul).



Joonis 58. Paindetugevus

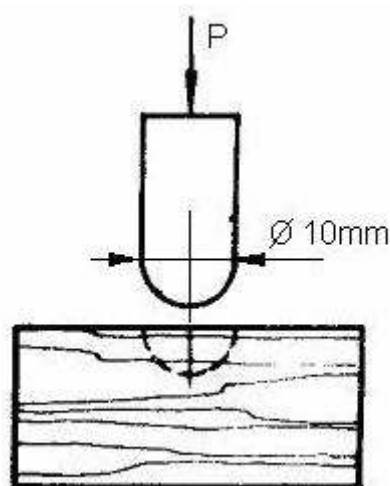


Joonis 59. Paindetugevuse määramine laboris

Kõvadus, elastsus

Puidu kõvadus on puidu võime vastu panna teise keha sissetungimisele (lõikamisele). Kõvaduse määramiseks kasutatakse tavaliselt Brinell'i või Janka meetodiga. Brinell'i meetodi järgi surutakse aeglaselt puitmaterjalisse 50kp jõuga karastatud teraskuul läbimõõduga 10mm. Peale minuti möödumist eemaldatakse kuul ning mõõdetakse tekkinud jälje läbimõõd mm-s.

Janka meetod on puidu jaoks kohandatud Brinell'i meetod, mille käigus surutakse puitmaterjali pinda varda kera kujuline ots, mille lõikepind on 1cm².



Joonis 60. Puidu kõvaduse määramine Janka meetodil

Kõvadus on puuliigiti väga erinev, olenedes materjali tihedusest, aastarõngaste laiusest, puidukiudude suunast ja niiskussisaldusest. Kõvadus on suurem kõrgema tiheduse ja suurema sügispuiduga puuliikidel (tabel 2.).

Puidu elastsus. Elastne deformatsioon on siis, kui välistõhude lakkamisel taastub puidu esialgne kuju. Jääva deformatsiooni puhul on puidu struktuur kahjustatud ja puit ei taasta oma esialgset olekut. Puidu elastsus sõltub puiduliigist, tihedusest, niiskuse sisaldusest ja koormuse suunast kiudude suhtes. Keha võimet avaldada välisjõududele vastupanu elastsuspiiri ulatuses nimetatakse jäikuseks.

Elastne puiduliik on pöök, mis leiab seega laialdast kasutust kõverjooneliste täispuidust detailide valmistamise juures (toolid). Et muuta puit painduvamaks kasutatakse erinevaid mehaanilisi viise: 1) aurutamine koos painutamisega, 2) aurutamine, puidu kokkusurumine ja painutamine.