

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. Paremalt 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.

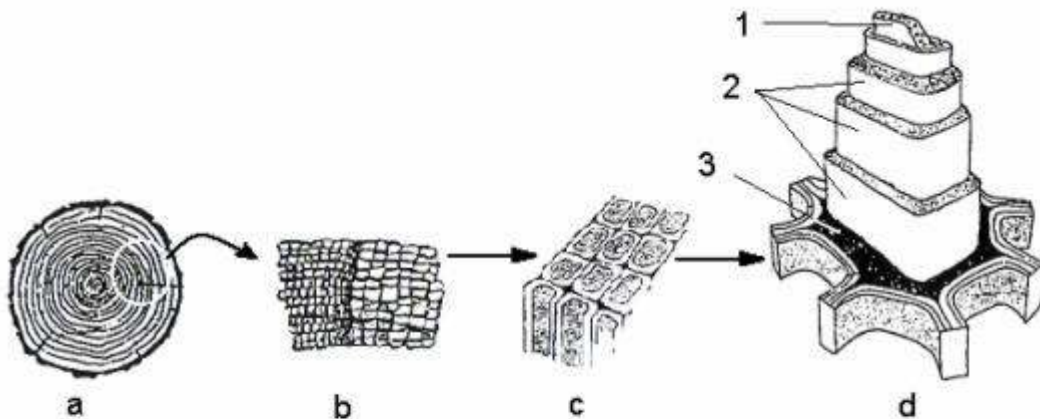
3.1 Raku areng ja kujunemine

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- käsnihiht; 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 ainenä 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.

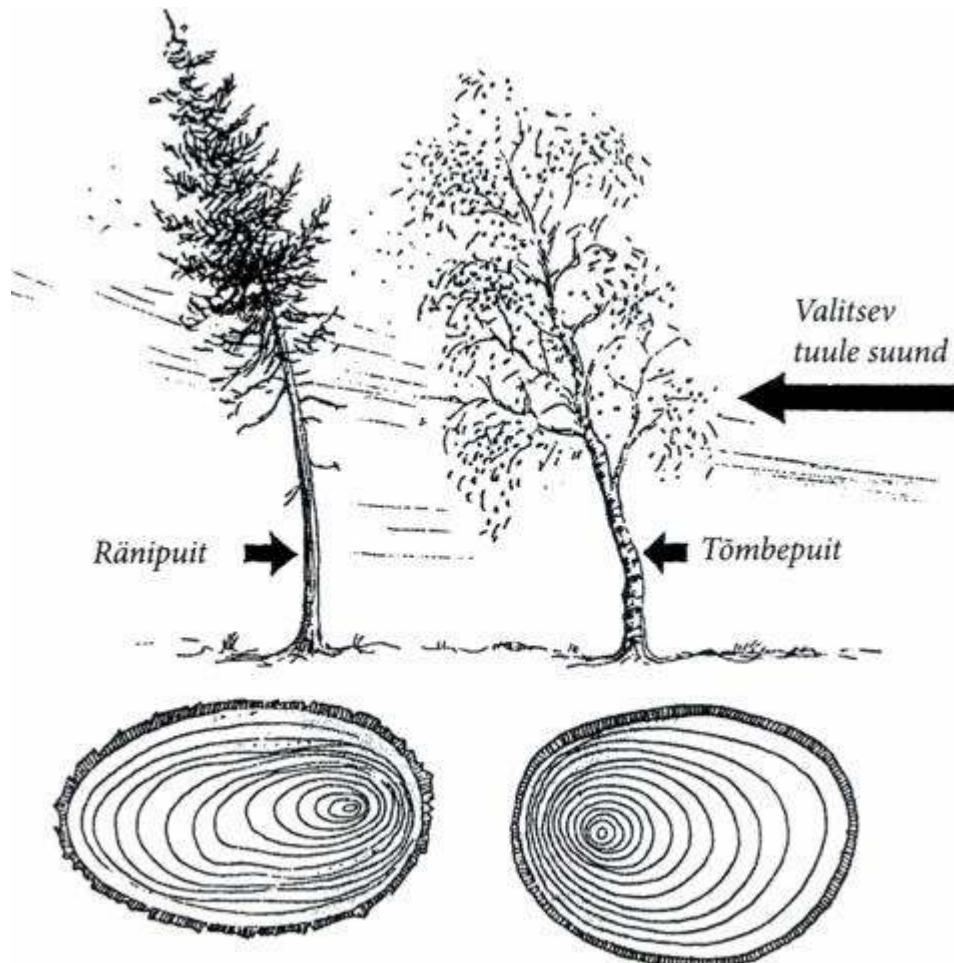
Väikeste õõnsuste tõttu on puidu sisepindala väga suur, moodustades puidus kapillaarse infrastruktuuri, mis annab materjalile spetsiaalsed hügrokoopsed omadused (tänu sellele on pudul võime endasse ümbritsevat õhuniiskust imada. Lähemalt peatükis „Puidu füüsikalised omadused“).

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 ebahürtlase 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 ebahürtlasi 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 kõverusepoolsesse 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.



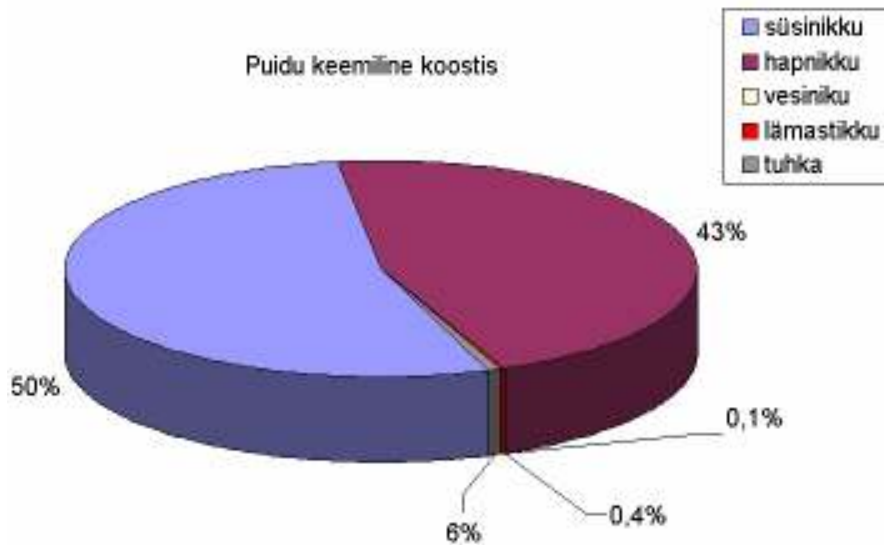
Joonis 24. Ränipuit kuuse ristlõikel

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, tehisiidi, 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, tsuga 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 suurel määral erineda ka samal puuliigil. Tuha protsent on puu kasvukohast, vanusest, kasvutingimustest jmt.

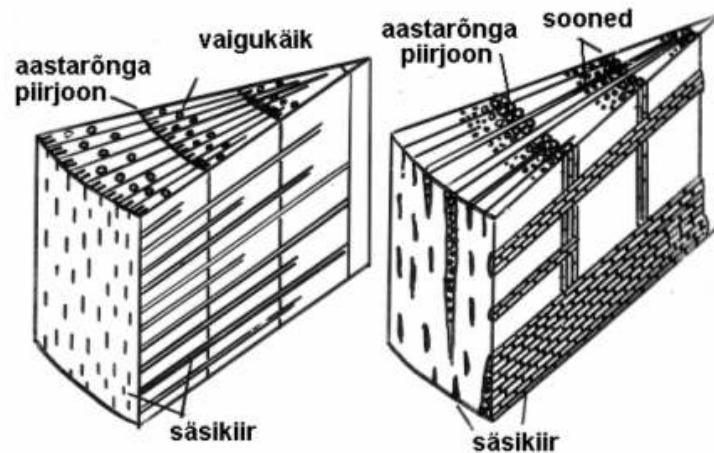
Puidu põhikomponendid on :

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

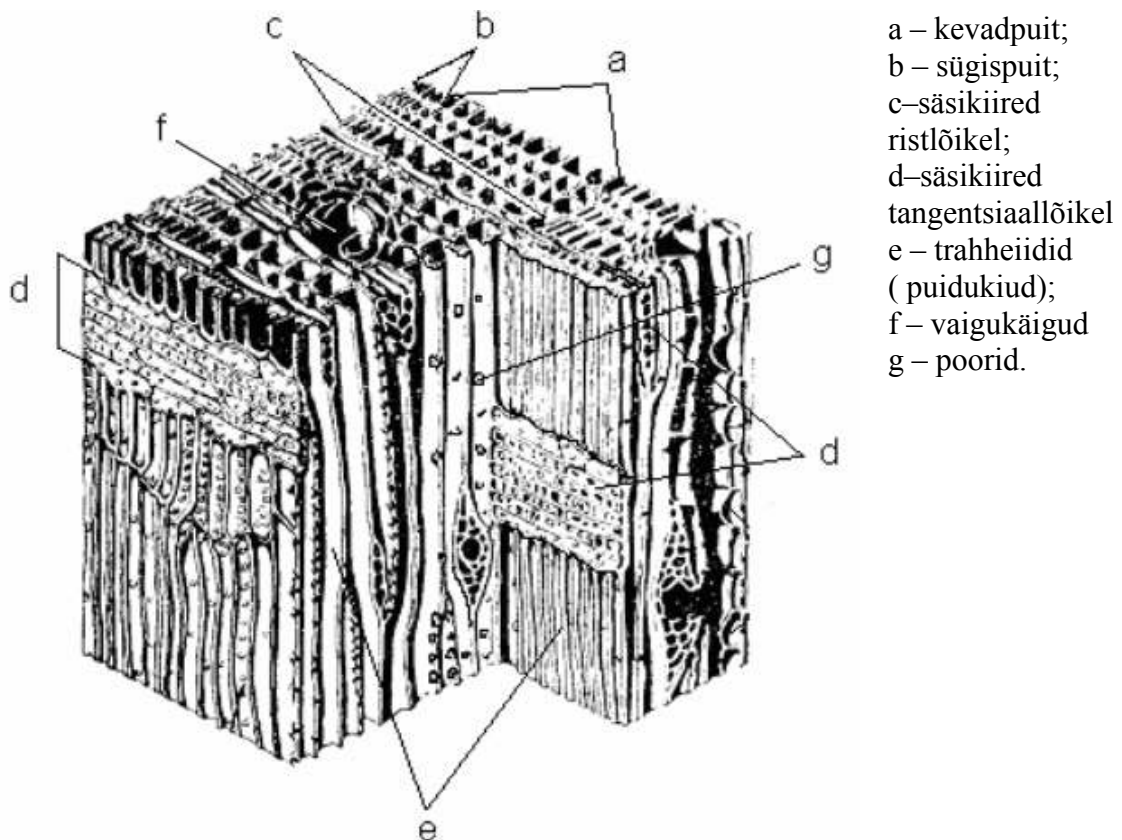
3.5 Okaspuu ja lehtpuu ehitus

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

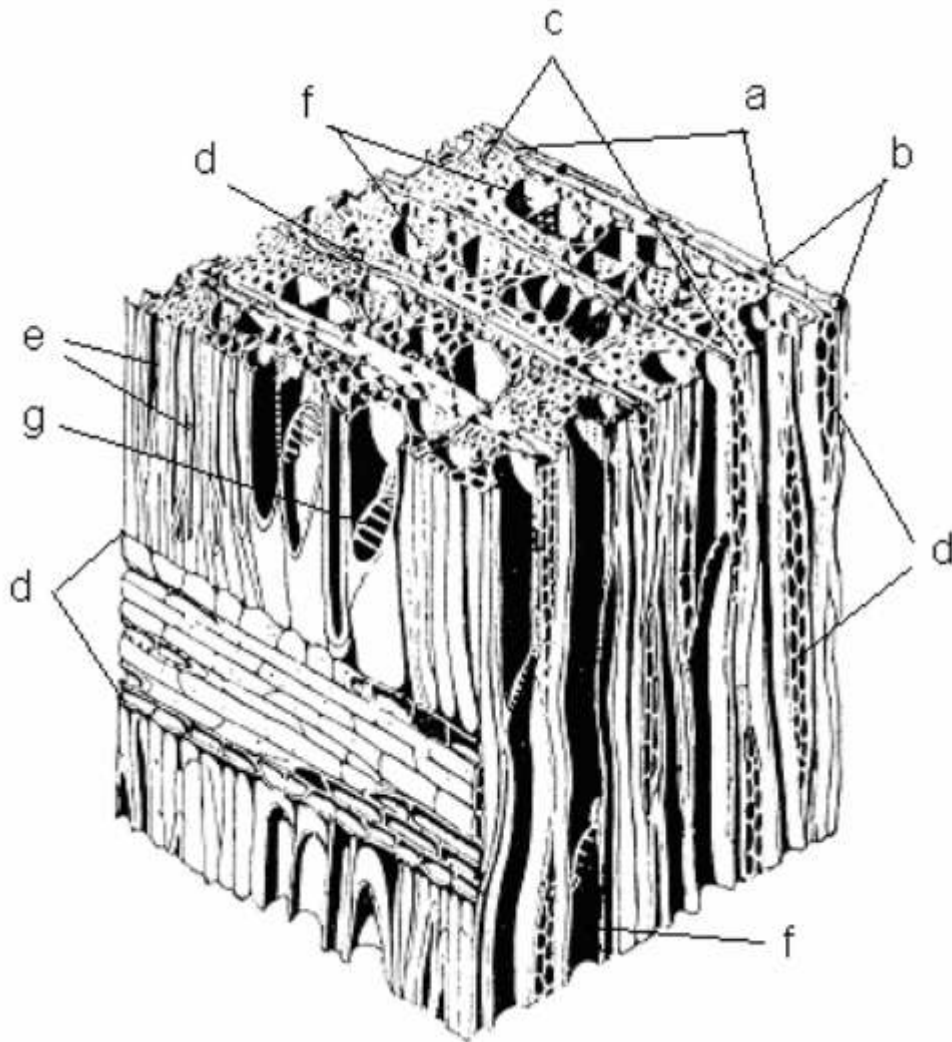
Lehtpuu puidu ehitus on keerulisem, koosnedes erinevatest rakuliikidest (joonis 28). Põhimassi moodustavad kitsad paksuseinalised tugirakud ehk **libriformkiud**. Seoses erineva rakulise ehitusega vaatleme okas- ja lehtpuu puitu iseseisvalt.



joonis 26. Okaspuu ja lehtpuu ehitus



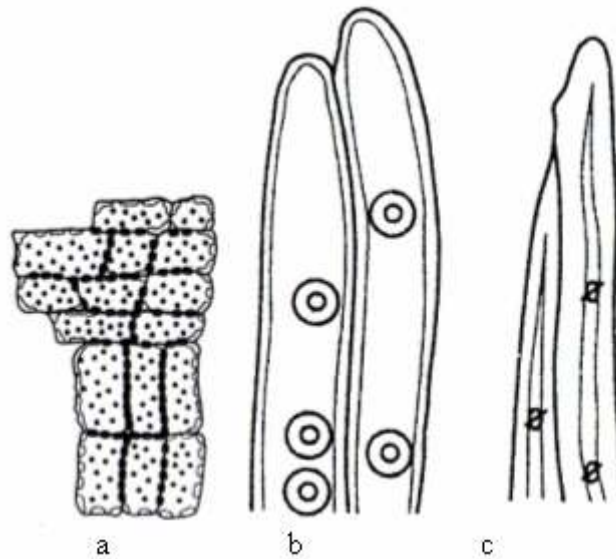
joonis 27. Okaspuu makroskoopiline ehitus



- a – kevadpuit;
- b – sügispuit;
- c – aastarõngas;
- d – säsiikiired;
- 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.

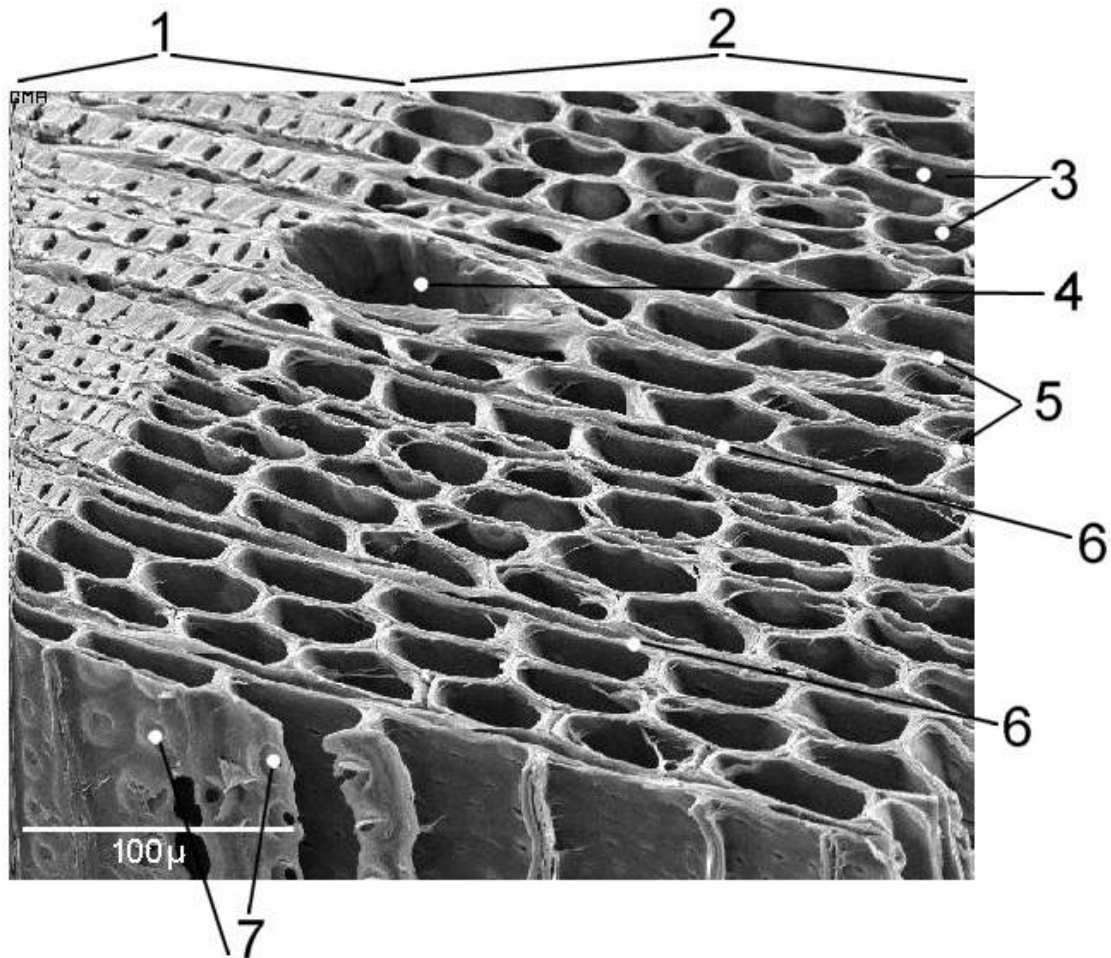


joonis 29. Okaspuidu rakud. A- säsikiire rakud (parenhüümrakud); b- kevadpuidu traheiid; c- sügispuidu traheiid e puidukiud

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 tärklisi, rasvu, polüsahhariide (liitsüivesikuid), 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 teel.

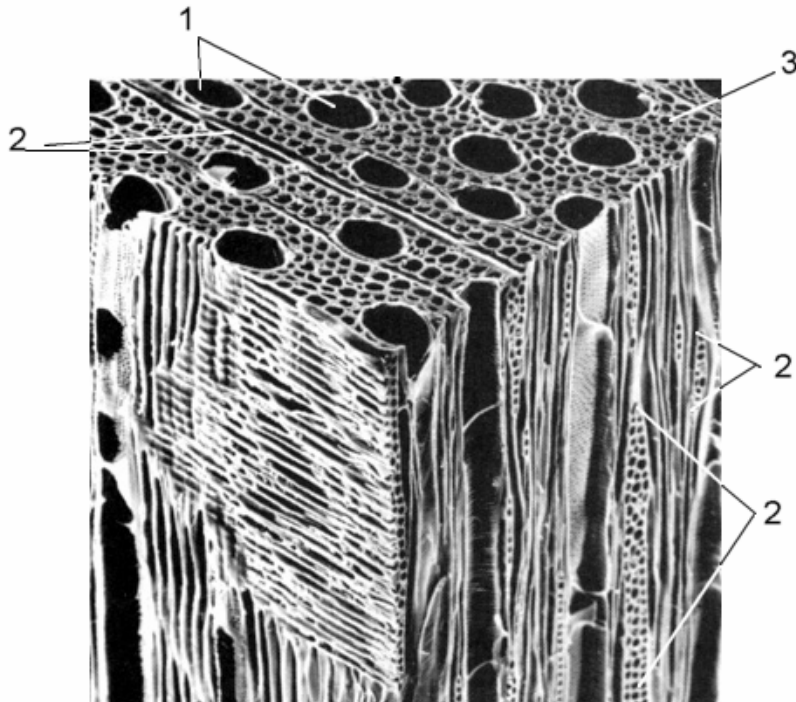


Joonis 30. Okaspuu trahheiid ristlõikes (lehis). 1- sügispuidu trahheiidid; 2 - kevadpuidu trahheiidid; 3 –rakuõõnsused; 4- vaigukäik; 5- kevadpuidu rakuseinad; 6- säsiikiired (parenhüümrakud); 7- poorid.

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

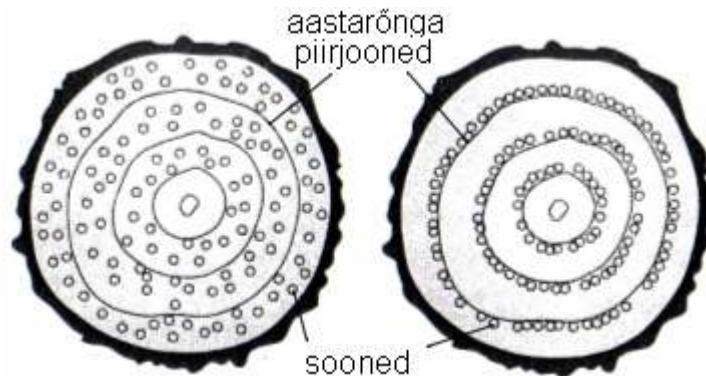
Lehtpuu puidu ehitus on tunduvalt keerulisem kui okaspuul ja on lehtpuuliigiti väga erinev. Tugikude: puidukiud moodustavad lehtpuu massist ligikaudu 60% ja nende ülesandeks on anda puidule mehhaaniline tugevus. Puidukiudude rakud on lehtpuudel kõige pikemad ja kitsamad otstest teravnendud rakud. Lehtpuu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



joonis 31. Lehtpuu anotoomilised elemendid. 1- soone; 2- säsikiired; 3- libriformkiud (tugikude).

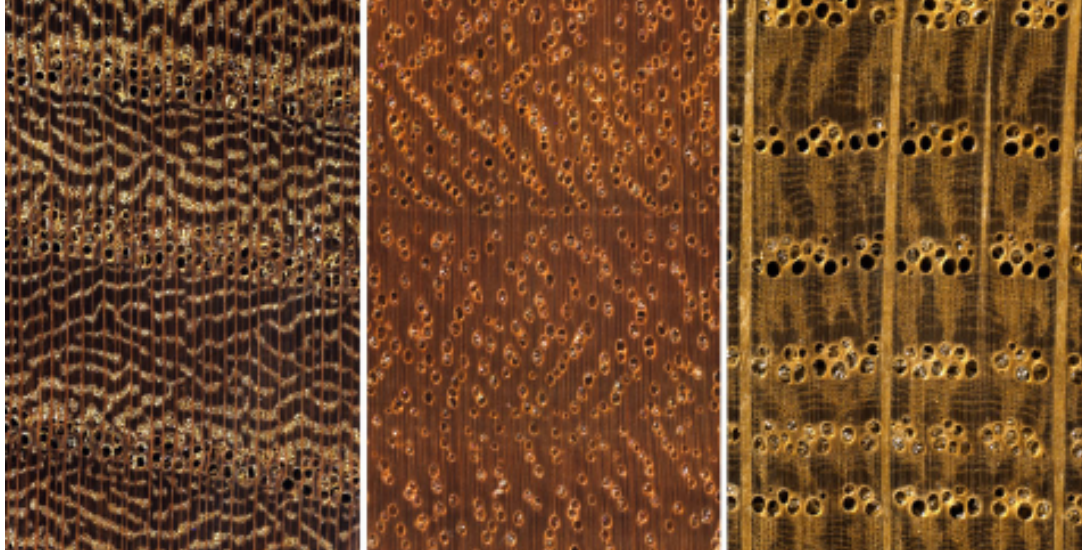
Soonte ehk trahheede ülesandeks on juhtida vett ja selles ladestunud soolasid piki tüve juurtest lehtedeni. Soonte pikkus on väga erinev ega olene puu liigist. Tavaliselt kõigub see mõnest sendimeetrist kuni mõne meetrini. Kohakuti paiknevad sooned võivad ühineda ja moodustada ühtse pika soone. Lehtpuude 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 parenhüümrakkudest, mis säilitavad toitainete tagavara. Tüve põikisuunas kulgevad parenhüümrakke 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 hajulisooneline lehtpuu