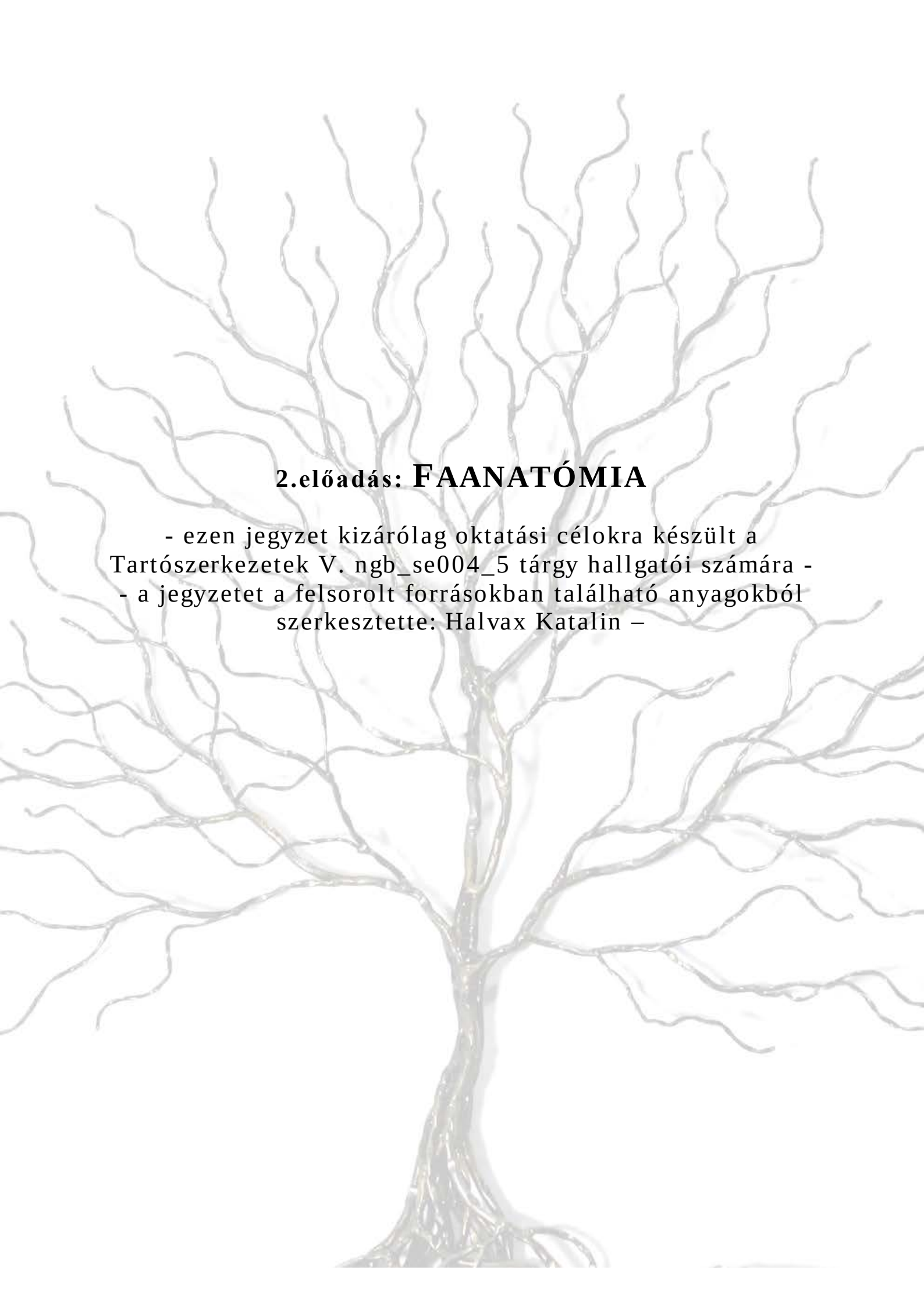




2.előadás: FAANATÓMIA

- ezen jegyzet kizárólag oktatási célokra készült a Tartószerkezetek V. ngb_se004_5 tárgy hallgatói számára -
- a jegyzetet a felsorolt forrásokban található anyagokból szerkesztette: Halvax Katalin –

Bevezetés

A fa az egyik legrégebbi és legfontosabb nyersanyagaink egyike. Előnye, hogy tervszerű és irányított termesztéssel megújítható nyersanyag, szemben a Föld kőolaj, földgáz, szén- és érckészleteivel, amelyek végesek. A fát kedvező tulajdonságai nagyon széles körű felhasználásra teszik alkalmassá. A hétköznapi életben találkozhatunk vele az építészet és építőipar különböző területein, a bútorgyártásban, otthonaink számos használati tárgyában, a jármű-, csomagolás- szerszám- és sportszergyártásban, az élelmiszer- és vegyiparban, a mezőgazdaságban stb. Ez a széles körű felhasználás a faanyag kedvező tulajdonságaival magyarázható, melyek a következők:

- természetes, környezetbarát anyag
- jelentős az esztétikai értéke
- megújítható és hulladékmentesen feldolgozható
- könnyen megmunkálható (akár kézi erővel is késztermékké alakítható)
- viszonylag alacsony a sűrűsége (kicsi az önsúlya), emellett nagy szilárdsággal rendelkezik (sűrűség – szilárdság arány nagyon kedvező)
- korszerű kötőelemekkel kapcsolható, szétszerelhető, újrafelhasználható
- megfelelő körülmények között (megfelelő védelemmel) tartós (elérhető az 50-100 éves élettartam)
- kedvező épületfizikai tulajdonságok: jó hő-, hang- és elektromos szigetelő képesség
- más anyagokkal könnyen kombinálható
- nagy feszítávolságok lefedésére is alkalmas

A számos kedvező adottsága mellett rendelkezik hátrányos tulajdonságokkal is:

- szerkezetéből adódóan inhomogén és anizotróp anyag
- érzékenyen reagál a környezet nedvességváltozásaira, méret és alakváltozást szenved (duzzad, zsugorodik)
- biológiai kártevők könnyen megtámadják (gomba- és rovarkárok)
- éghető (más építőanyagokhoz képest alacsonyabb hőmérsékleten gyullad)
- természetes anyag lévén növekedését, szerkezetét jelentősen befolyásolják a növekedési körülmények, tulajdonságai ezért nem mindig megbízhatóan egyenletesek
- az esetleges fahibák inhomogén jellegét tovább növelik, szilárdságát csökkentik

Átgondolt erdőgazdálkodással valamint megfelelő módon kezelve és alkalmazva a faanyag e negatívumai csökkenthetők.

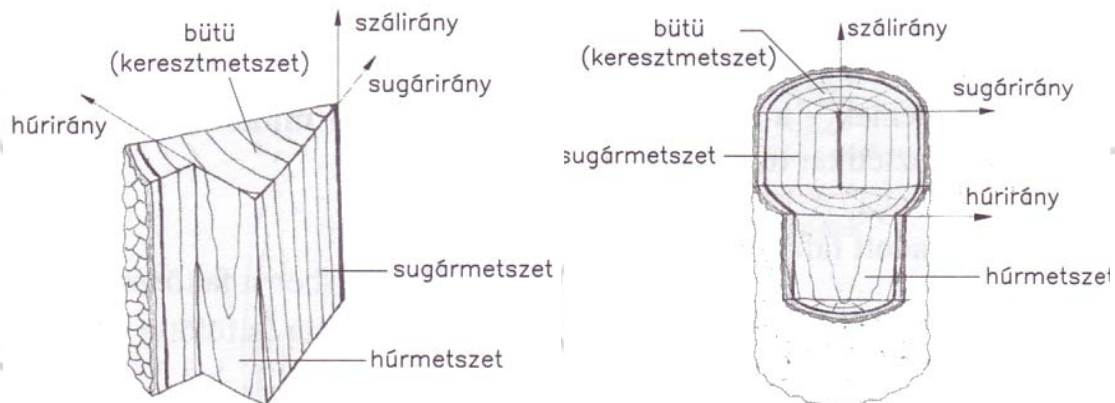
A faanyag tulajdonságainak, felhasználhatóságának megismeréséhez nélkülözhetetlen a fa keletkezésének, szerkezeti felépítésének az ismerete. A faanyag szerkezete három szinten tanulmányozható: szubmikroszkópos, mikroszkópos és makroszkópos szinten. Szubmikroszkópos szerkezetnek a fa növényi sejtjeinek sejtfalának finomszerkezetét nevezzük, mely elektronmikroszkóp vagy spektroszkóp segítségével vizsgálható. Ezzel mi jelen tárgy keretében részletesen nem foglalkozunk. Mikroszkópos szerkezetnek nevezzük a fát felépítő sejtek, szövetek összességét. A makroszkópos szerkezet pedig a fa szabad szemmel vagy kézi nagyítóval látható szerkezeti összessége.

A fa makroszkópos szerkezete

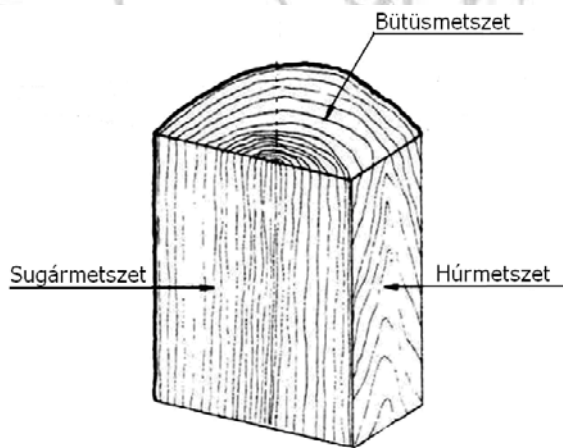
A fatest makroszkópos szerkezete alatt a szabad szemmel illetve kézi nagyítóval jól megkülönböztethető szöveti elemeket és azok részeit értjük. A makroszkópos vizsgálat célja a fafaj meghatározása illetve, hogy szemrevételezéssel következtetni tudjunk a faanyag műszaki és esztétikai tulajdonságaira, megmunkálhatóságára, azaz a cél a faminősítés.

A makroszkópikus vizsgálat során pusztán érzékszervi észlelés alapján, műszerek nélkül állapítják meg a fa jellegzetességeit. A makroszkópikus vizsgálat különböző anatómiai metszeteken történik, az anatómiai főirányokkal összefüggésben. Az anatómiai metszetek a fa különböző felületei, az anatómiai irányok pedig az ezeken a felületeken kijelölhető tengelyek.

Az alábbi három anatómiai főirányt különböztetjük meg (de tartsuk szem előtt, és a későbbiek majd látni fogjuk, hogy a szilárdsági jellemzők tekintetében rostirányról és rostra merőleges irányról beszélünk):



A makroszkópikus vizsgálatot a következő metszeteken végzik:



bütüsmetszet (keresztmetszet): a fa hossz tengelyére merőleges metszet [ezen figyelhetők meg legteljesebben a különböző szerkezeti részek és azok mennyiségi aránya]. Jól elkülönül a kéreg, hancs, szíjács és gyakran a sötétebb színű geszt és végül a bél. Tülevelű és gyűrűslikacsú lombos fáknál az évgűrűn belül a korai és a késői pászta is megkülönböztethető

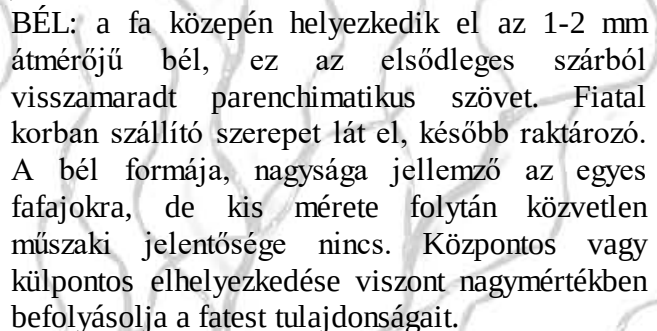
sugármetszet (radiális, tükrös): a fabélen átmenő hosszirányú metszet, melyen az évgűrűk és a pászták párhuzamos sávok

formájában jelentkeznek, ezen metszeten a szöveti elemek hosszirányú méretei és formái figyelhetők meg

hűrmetszet (érintő, fláderes): a fabélen át nem haladó hosszirányú metszet (fenyőknél és gyűrűslikacsú lombosoknál az elkülönülő pászták hullámos rajzolatot adnak, szörtlikacsú fáknál jól láthatók az évgűrűk határai is; a bélsugarak pedig pontok, vonalkák formájában láthatók és keresztmetszeti elrendezésük megfigyelhető)



A bütüsmetszet, azaz a fa keresztmetszetének, részei a következők:



SZIJÁCS: a külső évgűrűk szöveteinek összessége a kéregig. Az itt található sejtek részt vesznek az életfolyamatokban, feladatuk a szilárdítás mellett a vízszállítás és a raktározás. A

szíjács általában kisebb gyantatartalmú és a benne található egyszerűbb szénhidrátok kedvező tápanyagot nyújtanak a rovar- és gombakárosítók számára, így a károsítókkal szemben kevésbé ellenálló.

Fajok csoportosítása geszt és szíjács jellemzői alapján

színes gesztű fajok		színes geszt nélküli	
éles geszt-szíjács	fokozatos	szíjácsfa	érettfa
vörösfenyő erdeifenyő feketefenyő simafenyő douglasfenyő tölgyek akác fehér nyár	dió cseresznye kőris platán feketenyár óriásnyár füzek	nyír éger mogoró gyertyán juhar körte	lucfenyő jegenyefenyő bükk hárs



BÉLSUGÁR: a bélsugarak a fa km.-én sugárirányban haladnak a középpont felől a farészeket át a háncsba. A bélsugár a fatestben elsősorban vízszintes irányban elhelyezkedő parenchimatikus sejtek csoportja. Feladata a tápanyagok szállítása és raktározása. Magasságuk, alakjuk és szélességük fontos a fafaj meghatározása szempontjából (ez alapján megkülönböztethetők a fafajok).

KÉREG: a kéregszövetek védik a fa törzsét a sérülésektől és a kiszáradástól. Az elhalt és leváló kéreg alakja és vastagsága faji jelleg. Kéreg alatt általában a fatestet védő külső szövetrendszer értjük ami két fő részre bontható: háncsra (belső kéreg) és héjkéregre (külső kéreg). *Háncs:* feladata a tápanyagok szállítása és raktározása; a külső, idősebb sejtei idővel elvesztik nedvességtartalmukat, beszüntetik az életműködést és héjkéreggé alakulnak. *Héjkéreg:* gyakran csak kéregként emlegetjük; védi az élő fát a sérülésektől, a vadrágás, a tűz és egyéb külső hatásokkal szemben. A héjkéreg igen változatos, egy-egy fafajra jellemző formákat ölthet:

sima héjkéreg:



bükk

paraszemölcsös



kecskefűz

dudoros

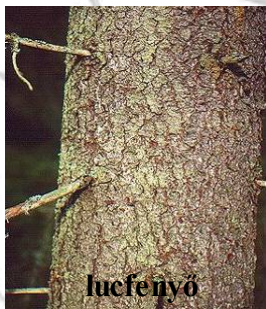


nyugati ostorfa

sávokban, csíkokban leváló kéregtípus:



cserepes, repedezett kéreg:



pikkelyesen leváló vastagabb cserepekben leváló táblásan leváló barázdásan repedezett

Keresztmetszeten láthatók még gyantajáratok → csak fenyőféléknél, km.-en apró pontokként láthatók, többnyire a késői pásztában.

Lombos fáknál láthatók még a korai pásztában apró likacsok, vagy világosabb pontok, ezek a bő üregű vízszállító sejtek, melyeket tracheáknak, edényeknek nevezünk és a függőleges vízszállítást végzik.

- élő (aktív) sejtalkotók: sejtmag, citoplazma, színtestek, sejszervecskék
- élettelen (passzív) sejtalkotók: sejtfal, sejtnedv és a benne lévő plazmazárványok.



SEJTSZERVECSKÉK: különböző életfolyamatokban vesznek részt. A mitokondriumok az energiaképzésben, a sejt légzésében vesznek részt. A diktiszóma (Golgi-készülék) a sejtfehérítésképzésben, az anyagok kiválasztásában és raktározásában vesz részt.

A fatest nem más, mint a hosszúsági és vastagsági növekedés eredményeként különböző sejtípusokból létrejött szállító-szilárdító szövetrendszer. Egyes sejtípusok minden fafajcsoportnál előfordulnak, mások csak egy-egy csoportra jellemzők.

A fa szövetét felépítő sejteket feladatuk alapján három csoportba sorolhatjuk:

szállító elemek: tracheák (edények), tracheidák (áledények)

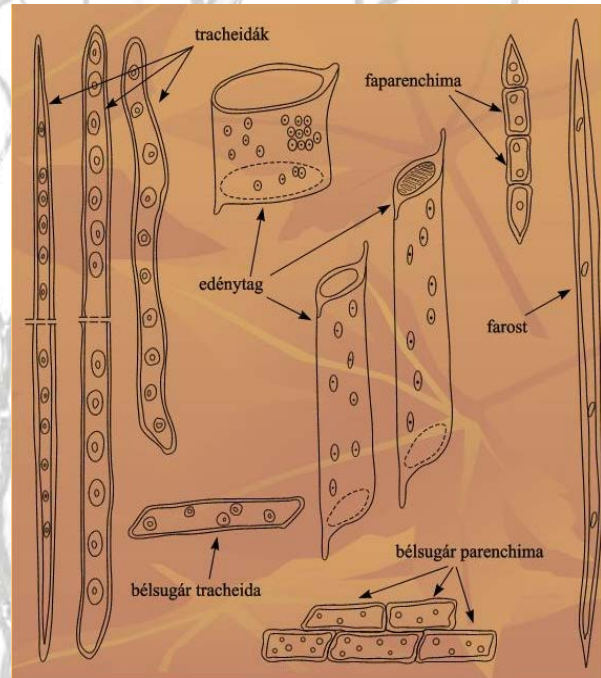
szilárdító elemek: farostok (libriformrostok)

raktározó (szállító) elemek: faparenchimák (hossz-parenchimák), bélsugár parenchimák

Az egy-egy csoportba besorolt sejtípusok több funkciót is ellátnak. Így például a fenyők évgyűrűinek késői pásztaájában található tracheidák (melyek főként szállító elemek) feladata elsősorban a szilárdítás.

TRACHEA (edény): a lombos fafajokra jellemző nagyüregű vízszállító edény. Valójában nem egy sejtből áll, hanem több függőlegesen egymásra rakódott sejtől alakul ki, úgy, hogy a sejtek közti sejtfal teljesen felszívódik vagy részlegesen perforálódik.

TRACHEIDA (áledény): főleg a fenyők fatestére jellemző vízszállító és szilárdító sejt, de előfordulnak lombos fákban is. Alakjuk megnyúlt, hosszúkas, a végeken keskenyedő, hegyesedő. A fenyők korai pásztaájában található vékony falú korai tracheidák elsődleges feladata a vízszállítás és másodlagosan vesznek részt a szilárdításban, míg a késői pásztaában található késői tracheidák elsődleges feladata a szilárdítás és a vízszállításban kisebb szerepet játszanak. Egyes fenyőfélékben előfordulnak tracheidák a bélsugarakban is, ezek az ún. bélsugártracheidák (pl. erdeifenyő, lucfenyő).



FAROST (libriformrost): vastag falú, szűk üregű, hosszúkas, hegyes végű, szilárdító tevékenységet betöltő sejt. A lombos fák mechanikai alapszövetét biztosítják. Jellemző átmeneti formái a pótlórostok (rost alakú, vékony falú raktározó sejtek) és a rekeszes rostok (funkciójuk azonos a pótlórostokéval, vékony falúak, de a sejtüreget harántfalak több rekeszre osztják).

FAPARENCHIMA: sokáig élő raktározó, szállító elemek. Rövidek, vékony falúak. Lombos fáknál mindig előfordulnak, fenyőknél vagy teljesen hiányoznak vagy 1-2%-ban gyantatermelő sejtekként formájában fordulnak elő.

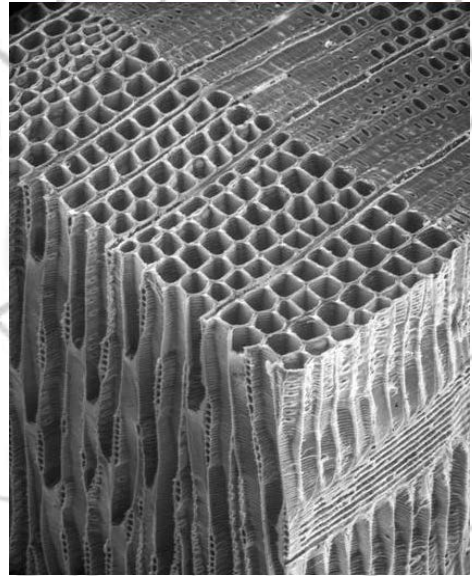
BÉLSUGÁR PARENCHIMA: valamennyi fafaj bélsugarában megtalálható, haránt irányú szállítást és raktározást végző parenchimasejtek.

A növények növekedése során új sejtek osztódással jönnek létre. Az új sejtek fala vékony, de ha a sejt elérte végleges méretét és alakját, megkezdődik az öregedés, a sejtfal megvastagodik, és több rétegűvé válik (ált. háromrétegű). A sejtfa végső kialakulásával az élő részek beszüntetik az életműködést, és a sejt szerep ezután már csak szilárdítás és védelem lesz. Így alakul ki a fa szilárdságát biztosító geszt és a védelmet adó kéreg is.

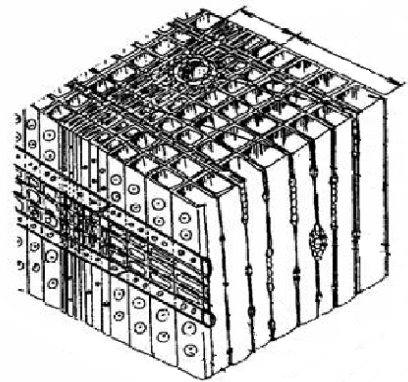
Fenyők fatestének mikroszkópos szerkezete

Az ipari felhasználásban is számottevő fenyőfajaink (erdei-, fekete-, sima-, luc-, jegenye-, vörös- és duglaszfenyő) a nyitvatermők törzséhez, a fenyőfélék családjába tartoznak.

A lombos fafajokhoz viszonyítva a fenyők alacsonyabb fejlődési fokon álló, egyszerűbb szerkezetű fák. Általános jellemzőjük, hogy alapvetően tracheidákból épülnek fel. Ezek végzik a szilárdítást és a vízszállítást egyaránt. Parenchimatikus sejtek elsősorban a bélsugarakban vannak. Sajátos szöveti részt képeznek a gyantajáratok, amelyek nem sejtek, hanem azok közötti haránt- és hosszirányú üregek. A csoportosan elhelyezkedő parenchimatikus sejtek szétválásával alakulnak ki a gyantajáratok. Ezen sejtek közötti üregek nem csak hosszirányban hanem a bélsugarakban keresztirányban is kialakulnak. A fenyők gyantatartalma kedvezőtlen szerepet játszik a szárítási, telítése, felületkezelési, ragasztási és cellulózfeltárási technológiákban. Előnyös a kémiai feldolgozás – lakk- és festégyártás-, valamint a faanyag tartóssága szempontjából.



A fenyők fatestét 90-95%-ban tracheidák alkotják, amelyek a lombos fákhoz viszonyítva egyöntetűbb, rendezettebb szerkezetet biztosítanak. A tracheidák átlagos hossza 3-5 mm, átlagos átmérőjük 10-30 µm. A fenyőtracheidák három típusát különböztetjük meg: a fatest tengelyével párhuzamosan haladó korai és késői tracheida, valamint egyes fenyőfélékben haránt irányú bélsugarstracheidák is előfordulnak.



Az évgűrű korai pásztának nevezett részét alkotó korai tracheidák viszonylag vékony falú, nagy üregű és rövidebb, lekerekített végű sejtek. Feladatuk a vízszállítás. A késői pásztában lévő késői tracheidák elsősorban szilárdító szerepet töltenek be, ennek megfelelően hosszabbak, vastag sejtfaúak és hegye végűek. Az évgűrűn belül a korai és késői tracheidák alkotta pászták néhány fafajnál élesen elkülönülnek (pl. vörösfenyő).

Számos fenyőben a bélsugarak szélén vagy közepén keresztirányú szállítást végző bélsugarstracheidák is előfordulhatnak, amelyek a műszaki tulajdonságok szempontjából kevésbé jelentősek.

A húzást, nyomást, hajlítást a természetes fa a szálirányával párhuzamosan jobban bírja, mint arra merőlegesen. Ez a tulajdonság a fa szerkezeti felépítéséből következik: a késő pásztában az egymás mellett párhuzamosan futó vastag falú tracheidák illetve a lombos fáknál a farostkötegek jól ellenállnak az igénybevételnek, és a kisebb ellenállású korai pászta lévő vékony falú tracheidák illetve a lombos fáknál az edények nem rontják le jelentősen a teherbírást. A rostirányra merőleges igénybevételnél azonban a kisebb szilárdságú korai pásztában illetve az edényekben bekövetkezett törés vagy szakadás az egész szerkezet tönkremenetelét okozza.

Lombos fafajok fatestének mikroszkópos szerkezete

A lombos fák a növényvilág legfejlettebb törzsének a zárwatermőknek a tagjai. Jellemző rájuk, hogy a vízszállításban a tracheák (edények), a szilárdításban a farostok (libriform rostok) játsszák az elsődleges szerepet. Viszonylag nagy mennyiségben rendelkeznek faparenchimákkal. A lombos fák bélsugarai nem tartalmaznak bélsugár tracheidákat, csak bélsugár-parenchima sejtekből épülnek fel.

Az edények (tracheák) csőszerű vízszállító elemek, több sejtből épülnek fel úgy, hogy a sejtek harántfala teljesen vagy részlegesen perforálódik. Az edények nagy üregükkel élesen elkülönülnek a többi szöveti elemtől. Az edények mérete, elrendeződése, részaránya közvetlen hatással van számos műszaki és technológiai tulajdonságra.

A gyűrűlikacsú fáknál (pl. tölgy, kőris, akác, szil, gesztenye stb.) a nagyobb átmérőjű edények a korai pásztában gyűrűbe rendeződnek, s így a korai és késői pászta élesen elkülönülnek. A korai pászta mechanikailag lényegesebb gyengébb ezért terheléskor, megmunkáláskor gyakran keletkeznek benne repedések. Az évgyűrűn belül a két pászta jelentős elkülönülése szárításkor vetemedéseket, repedéseket is eredményezhet, azért különösen fontos a szárítási folyamat szakszerű irányítása (kíméletes, lassú menetrend, megnövelt egyenlítési szakasz).

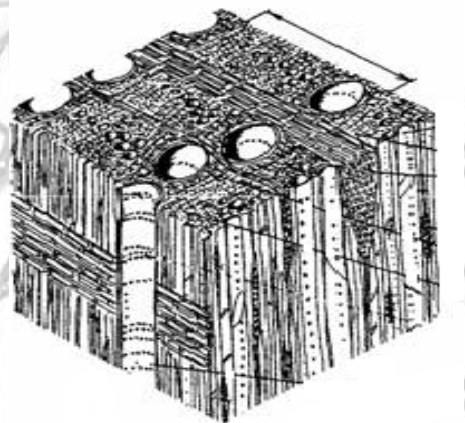
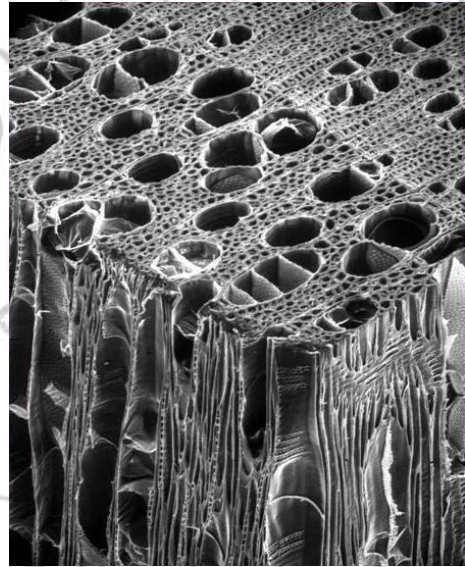
Szórtlikacsú fáknál (pl. bükk, hárs, nyír, nyár, fűz, juhar stb.) az évgyűrűn belül az edények átmérője közel hasonló, és eloszlásuk egyenletes. Mechanikai megmunkálás szempontjából kedvező az edények egyenletesen szórt elrendeződése.

A két szélsőséges típus (gyűrűs és szórt) között a fajtól függően sokféle átmenet előfordulhat.

A tracheidák az edényekkel szemben nemcsak vízszállításra specializálódtak hanem a szilárdítás funkcióját is betölthetik (vagy ahogy fenyőknél láttuk mindkettőt egyszerre).

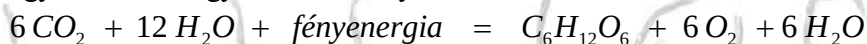
A lombos fák fatestének alapszövetét adják a farostok, amely sejtek fő funkciója a szilárdítás. Rövidebbek, mint a fenyők tracheidái, átlagos hosszuk 1-2 mm. További jellemzőjük a hosszú, keskeny, kihegyezett forma, vastag és korán elfásodó sejtfallal.

A vékonyfalú, kis méretű, megfásodott parenchimatikus elemeknek két típusát különböztetjük meg: a törzs hossz tengelyével párhuzamosan futó faparenchimákat és a sugárirányban futó bélsugárparenchimákat. A faparenchimák a különböző hazai és egzóta fafajokban általában 1-10% részarányban vannak jelen. Általában vékony falúak, így mechanikailag gyengék, könnyen összenyomódnak. Csekély részarányuk miatt szerepük a műszaki tulajdonságok kialakulásában nem számottevő. A bélsugarak a faanyag anatómiai hosszirányára merőleges, keresztirányú szöveti, csak parenchimasejtekből épülnek fel. Feladatuk a keresztirányú szállítás, raktározás. Műszaki szempontból jelentősen befolyásolják a faanyag repedékenységet, vetemedését, hajlíthatóságát és esztétikai megjelenését.



A fatest kémiai összetétele

Fotoszintézis egyszerűsített egyenlete növények esetében:



A fotoszintézis olyan biológiai folyamat, melyben az élőlények a napfény energiáját felhasználva szerves anyagból (széndioxid és víz) szerves anyagot (glükóz) hoznak létre. A leveleken található apró pórusokon ún. gázcsere nyílásokon keresztül a növény szén-dioxidot szív fel a levegőből és ugyancsak ezeken a pórusokon keresztül fogja kibocsátani az oxigént. A vizet a gyökerek szívják fel a talajból és a szállítószövet-rendszer segítségével a levelekbe jut. A napsugárzás energiáját a zöld növényekben található pigment, a klorofill szívja magába. A klorofillt a fotoszintetizáló növényi sejtek sejt szervecskéje a kloroplasztisz (színtest) tartalmazza. A fotoszintézis két szakaszra: a fény- és a sötétszakaszra tagolható. A fényszakaszban történik a fényenergia átalakítása kémiai energiává. A sötétszakaszban folyik a szén-dioxid megkötése és átalakítása szőlőcukorrá (glükózzá) a fényszakaszban keletkezett kémiai energia segítségével.

A fának, mint szerves eredetű építőanyagnak, az ellenállását alapvetően meghatározza kémiai összetétele és anyagszerkezeti felépítése. A faanyag elsősorban szerves vegyületekből épül fel, melyekben a következő elemek találhatók:

szén	C	~50%
hidrogén	H	~6%
oxigén	O	~43%
egyéb	~1%	N, P, S, fémes elemek (nyomelemek pl.: bór, mangán, réz, vas, magnézium)

Néhány fafaj elemi összetétele (%-ban)

	szén	hidrogén	oxigén	nitrogén	egyéb
bükk	48,9	5,4	44,5	0,2	0,5
tölgy	49,2	5,8	44,2	0,4	0,4
erdeifenyő	50,1	6,1	43,4	0,2	0,2
lucfenyő	50,0	6,0	43,5	0,2	0,3

A három legfontosabb elem kémiai kapcsolata révén létrejövő szerves vegyületek változatai három csoportba sorolhatók:

A sejtfa fontosabb vegyületei (%-ban)

	cellulóz	hemicellulóz	lignin
Tűlevelűek	48-56	23-25	26-35
Lombos fák	46-48	26-35	15-28

a, poliszacharidok: ide pl. a cellulóz, a keményítő, a hemicellulóz tartozik

A fatest szilárd vázát lényegében az elfásodott sejtfaalak alkotják. Ezeknek a legfontosabb vegyületei a cellulóz és a lignin. A cellulózfonalak képezik a sejtfa vázát, ezek közé rakódik le a lignin a hemicellulózon keresztül.

- cellulóz: a fatest 40-55%-át alkotja.

-keményítő: mint tartalék tápanyag a hosszuparenchimákban és a bélsugarakban fordul elő legnagyobb mértékben

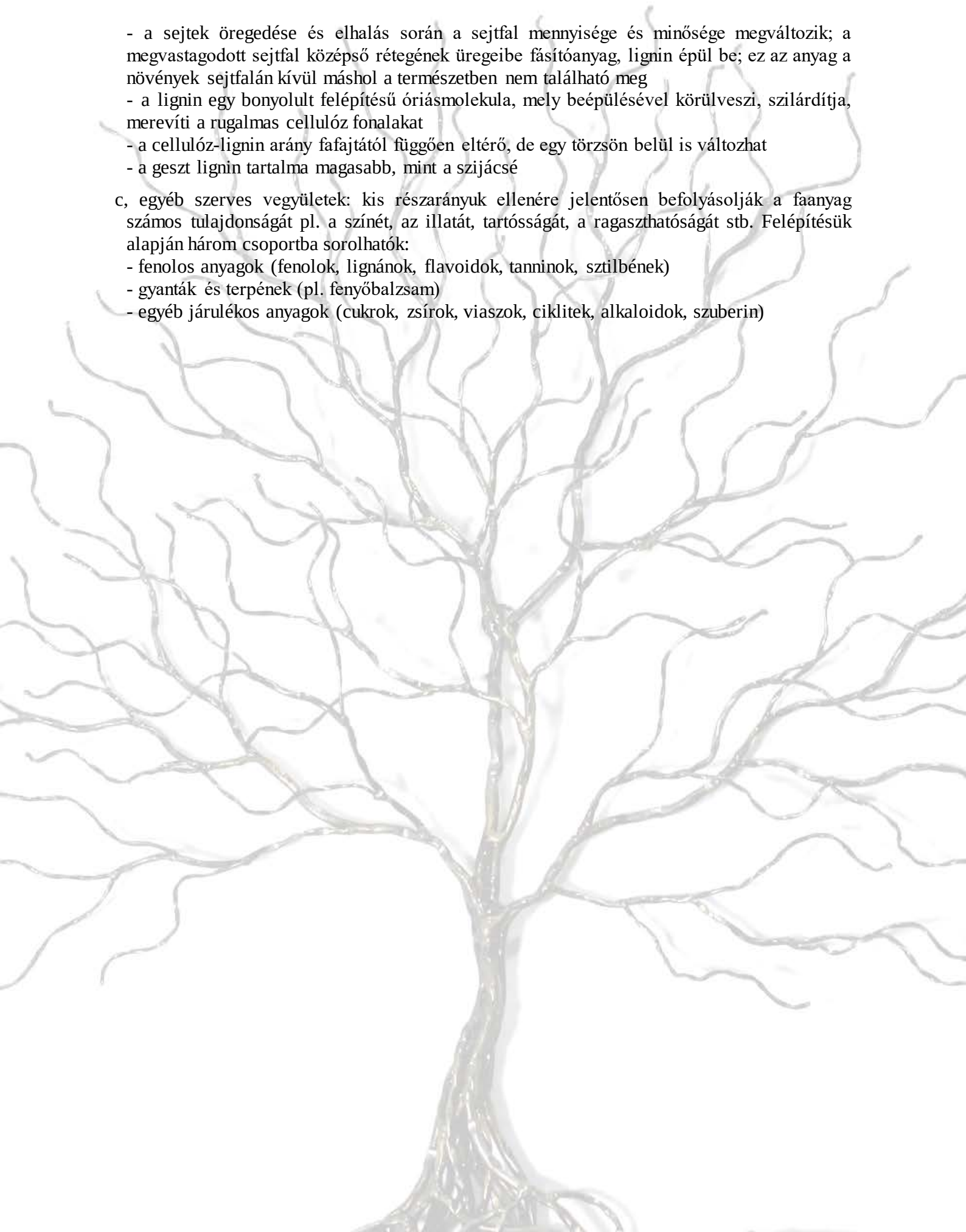
-hemicellulózok: a fában, mint a vázszerkezet anyaga és, mint tartalék tápanyag találhatók meg, ugyanis képesek az élő növényben is lebomlani

b, lignin

- a sejtek öregedése és elhalás során a sejtfal mennyisége és minősége megváltozik; a megvastagodott sejtfal középső rétegének üregeibe fásítóanyag, lignin épül be; ez az anyag a növények sejtfalán kívül máshol a természetben nem található meg
- a lignin egy bonyolult felépítésű óriásmolekula, mely beépülésével körülveszi, szilárdítja, merevíti a rugalmas cellulóz fonalakat
- a cellulóz-lignin arány fafajtától függően eltérő, de egy törzsön belül is változhat
- a geszt lignin tartalma magasabb, mint a szijácsé

c, egyéb szerves vegyületek: kis részarányuk ellenére jelentősen befolyásolják a faanyag számos tulajdonságát pl. a színét, az illatát, tartósságát, a ragaszthatóságát stb. Felépítésük alapján három csoportba sorolhatók:

- fenolos anyagok (fenolok, lignánok, flavoidok, tanninok, sztilbénok)
- gyanták és terpének (pl. fenyőbalzsam)
- egyéb járulékos anyagok (cukrok, zsírok, viaszok, ciklitek, alkaloidok, szuberin)



Források:

Molnár Sándor, Peszlen Ilona, Paukó Andrea: Faanatómia, 2007

Németh László: Faanyagok és faanyagvédelem az építőiparban, 2003

Prof. Dr. Molnár Sándor, NYME, FMK, Faanyagtudományi Intézet, Faanatómia előadás ppt-k <http://www.nyme.hu/index.php/8015/?&L=1>

Kovács Zsolt, Dénes Levente: Műszaki fatermékek; Furnér- és rétegelt lemezgyártás (előadás ppt., NYME, FMK) <http://tgyi.fmk.nyme.hu>

Veres Réka, Szerényi István, Bársony István: Faszervezetek építés I., 2009

Taskovics Péter: Faipari anyag- és gyártásismeret, 2005

Armuth Miklós, Bodnár Miklós: Fa tartószerkezetek – tervezés az Eurocode alapján, 2011

Dr. Wittmann Gyula: Mérnöki fa szerkezetek I., 2000

Dr. Rónai – Somfalvi: Fa tartószerkezetek – Tervezés, Méretezés, 1982

Kovács Illés: Faanyagismeret, 1979

