

Röntgentechnikai cellulóz és rost- vizsgálatok — III.

Írta: Worschitz Frigyes, okl. erdőmérnök, erdőmérnöki doktor.

A fatest természetes rostállományának, cellulóz- és lignin- származékainak röntgenogrammjai.*

Jelen fejezetünk célja a fatest általános és fajlagos mikro-szerkezeti jellemzőinek összefoglaló ismertetése. Anyagunkat az előző fejezetekben levezettek betudásával az alanti fajokból, azok tavaszi és őszi pásztájából vettük. Hogy a rostdiagrammokat egymással összehasonlíthassuk, ill. hogy a korábban kimutatott membráneffektus (sejtfalvastagodások) diagrammleképező sajátosságaival is számot vessünk, egyedül olyan rostképletek röntgenspektrumai vétettek tekintetbe, melyekben a reflektáló szerkezetelemek, tehát a rostokban a priori irányított sejtfalak, membránok és lamellák mellett, a sejtfalvastagodásoktól függő fibrillák és micellák irányítottsága is a rosttengely szerint rendezett.

A *fenyők* tangentiális membránjaikban, a *lombfák* pedig az őszi pásztában jutottak vizsgálat alá, ahol a kevéssé vagy egyáltalán meg nem tört tracheidafalak, ill. a lombfáknál, a libriformrostok voltak a túlnyomók.

A *cellulóz- és ligninrostok* tekintetében a reflexiós szerkezetelemek ilyen számbavétele csak a lombfáknál volt követhető, s így ezek röntgenogrammjai minden további nélkül a megfelelő természetes képletekkel összehasonlíthatók voltak. A fenyőknél ezzel szemben számot kellett vetni azon ténnyel, hogy a delignizált, tehát tiszta cellulózrostok, mesterséges kötegelésekor a tangentiális és radiális membránsorok felborulnak. Ezen körülmény viszont a természetes és delignizált rostképletek röntgenspektrális képeinek összehasonlító vizsgálatát csak akkor engedi meg, ha

* Szerzőnek a Királyi Magyar Természettudományi Társulat kémiai-ásványtani szakosztályában 1934 január 30-án tartott előadása alapján.

azok az őszi pásztából kerültek ki, melyben a reflektáló szerkezet-elemektől megkövetelt tengelyirányú paratrópia mint a tangentiális, úgy a radiális membránsorokban, tehát azok felborulásával járó általános helyzete esetén is, egyaránt fennáll. Egészen más a helyzet a tavaszi pásztában. Itt az összehasonlítás kedvéért a mesterségesen kötegelt delignizált rostképletek reflektáló membránsorainak általános helyzetének megfelelően, a természetes rostokat is a radiális és tangentiális membránsorokra általános megvilágítási irány mellett kell reflexióba hoznunk, hogy a diagramösszehasonlításnak reális alapot biztosítsunk.

A ligninre vonatkozólag elvileg ugyanezen meggondolás állott fenn, a reá jellemző röntgenspektrális null-effektus azonban ennek követését illuzórikussá tette.

Vizsgálati anyagunkat a következő fajok alkották:

Hazaiak:

1. *Len.* (*Linum usitatissimum.*)
2. *Kender.* (*Cannabis sativa.*)
3. *Csalán.* (*Urtica dioica.*)
4. *Lúcfenyő.* (*Picea excelsa.*)
5. *Erdei fenyő.* (*Pinus silvestris.*)
6. *Vörös fenyő.* (*Larix europea.*)
7. *Bükk.* (*Fagus silvatica.*)
8. *Nyár.* (*Populus canadensis.*)
9. *Fűz.* (*Salix caprea.*)
10. *Juhar.* (*Acer negundo.*)
11. *Kőris.* (*Fraxinus excelsior.*)
12. *Dió.* (*Juglans regia.*)
13. *Szil.* (*Ulmus campestris.*)
14. *Gyertyán.* (*Carpinus betulus.*)
15. *Tölgy.* (*Quercus pedunculata.*)
16. *Akác.* (*Robinia pseudoacacia.*)
17. *Tiszafa.* (*Taxus baccata.*)
18. *Szilva.* (*Prunus gen.*)
19. *Hárs.* (*Tilia gen.*)
20. *Kecskerágófűz.* (*Evonymus europaeus.*)

Külföldiek:

21. *Pe-mou.* (Fokiana Hodgensii A. Henry.)
22. *Acacia-franc.* (Enterolobium Schomburgkii.)
23. *Ayous.* (Triplochiton scleroxylon.)
24. *Bossé.* (Uarea cedrata.)
25. *Okoumé.* (Aucoumea Klaineana.)
26. *Padouk.* (Pterocarpus Soyauxii.)
27. *Amaranta.* (Peltogyne sp.)
28. *Azobé.* (Lophira procera.)
29. *Ében.* (Diospyros ebenum.)
30. *Dracéna.* (Dracéna indivisa.)

I. Nativ (természetes) rostkötegek röntgenjellemzői:

a) Fenyők: *Lúc-, vörös- erdei fenyő.*

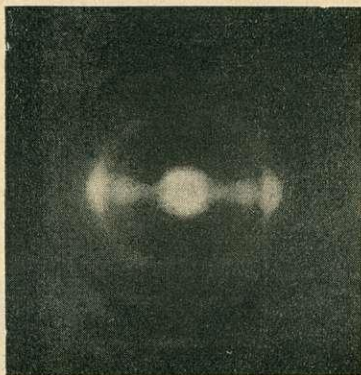
A fatest (másodlagos fa) egyedül tracheidákból és fás parenchymból áll. A tracheidák a fás kötegek tengelyével koaxiálisak s úgy alakultak ki, hogy a tavaszi pásztában a radiális és tangentiális membránok egyaránt, az ősziben pedig főleg a tangentiális falak fejlődtek ki. A tracheidák udvaros-gödörkés vastagodása a radiális membránok perforációja, míg a tangentiális membránok hasonló jellegű vastagodása kisebb és gyéreb. A bél-sugarak egy-egy sejtsor szélesek, parenchymatikus szerkezettel, melyek sejtjei a tracheidákkal azok radiális membránjain át kis, hasítékszerű, egyszerű-gödörkés perforációkkal közlekednek. Specifikus jellegű bennük a vízszintes tracheidák elhelyezkedése. A gyantajáratok hol szűkek, ritkák, vastagfalú épithél-sejtekkel, hol vastagok, gyakoriak vékony épithéllel, vagy kisebbek, gyérebek, az épithél utóbbi jellege mellett.

A vizsgálat alá került fajok az *őszi pásztában*:

a) radiális besugárzás esetén, tehát a tangentiális membránokra merőleges analízis mellett, mivel ezek membránreliefje vastagodásokkal meg nem tört, s így axiálisan paratróp mikroszerkezeti elemek a predominálók, röntgenreflexiókkal a cellulóz-

kristallitok textúrájára jellemző, ponteffektusos diagrammban képeződnek le;

a felvétel



b) tangenciális besugárzás mellett, tehát radiális membránok frontális beállítottsága esetén, mivel a fatest ezen zónájában a tracheidák „laposak”, tehát a radiálmembránok alig kifejlődtek, s következésképpen gyéren perforáltak, a röntgenrostdiagramm kialakulása teljesen hasonló az előbbihez.

A *tavaszi pásztában* aszerint, hogy a besugárzás a vastagodásokkal csak igen kis mértékben megtört tangenciális (*a*) felvételt), vagy az erősen perforált radiális membránsorokra merőleges (*b*) felvételt), az előbbi esetben a paratróp, az utóbbiban a diszperzív (atróp) membrán-textúra miatt, ponteffektusos, ill. gyűrűsen fedett sáv-effektusos rostdiagrammot kapunk.

a felvétel



b felvétel



(A *pe-mou* atypusos reflexiói a kanadai nyáréhez hasonlóak s az utóbbival együtt külön vizsgálatok tárgyát képezi.)

Taxus. A fenyők szövetének általános jellegei mellett a tracheidák vastagodása spirális, egyformán az őszi és a tavaszi pásztaban. A gyantajáratok hiányoznak. Ezen szerkezeti sajátosságok miatt a röntgenreflexiók a tavaszi és őszi pásztaban egyazon diagrammot alkotják, s ugyancsak nem jelent eltérést a radiális vagy tangenciális besugárzás sem. A reflektorok atrophiája miatt a diagramm többé-kevésbé teljes gyűrű;



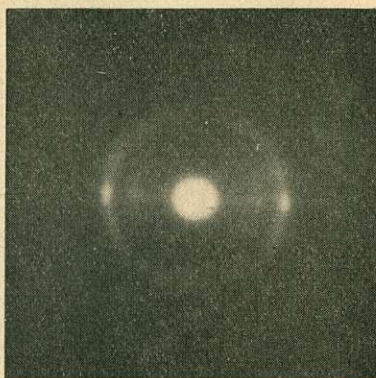
b) Lombfák:

A fatestet képező biostruktúrelemek: Edények (tracheák), udv.-gödörkés vastagodású edény-tracheidák, udvaros-gödörkés tracheidák, az ezekkel legtöbbször periferikus vagy radiális, esetleg hullámos asszociációkat alkotó parenchymatikus elemek, s a fatest szilárd részét, zömé talkotó libriform, esetleg sclerenchym rostok, az ezekkel járulékos hasonló, de plazmát, keményítőt tartalmazó ú. n. rostsejtekkel. A bélsugarak parenchymatikus szerkezetűek, egy, gyakrabban több sejtsorból állók, erősen változó magassággal. A histológiai elemek ezen tarkasága s erősen változó elrendeződése és mérete a fenyők szöveti textúráját jelző tangenciális és radiális membránzónák kialakulását lehetetlenné teszi, s így a beeső röntgensugárnak ezekhez való helyzete mindenkor a legáltalánosabb.

1. A vizsgálatok alá vett azon fajok, melyek az ú. n. *gyűrűs-likacsúakhoz* tartoznak, a tavaszi pásztában nagylúmenű tracheákkal, az azokat kísérő parenchymatikus szerkezetekkel, már histológiai textúrájukban is, csak részben axiális paratrópiájuk, míg a membrán-textúra a tracheák reliefje, valamint a parenchym halmaz miatt diszperzív, szemben az őszi zónában kis-lúmenű, elszórt és kevés edény, de túlnyomó libriform-, histológiai és membrántextúrás paratrópiájával. Az idetartozó fajok:

Tölgy, akác, kőris, szil, Prunus gen.)*

Likacsos tavaszi pásztájuk gyűrű-fedte sávós, — a) — őszi pásztájuk pedig ponteffektusos. b)

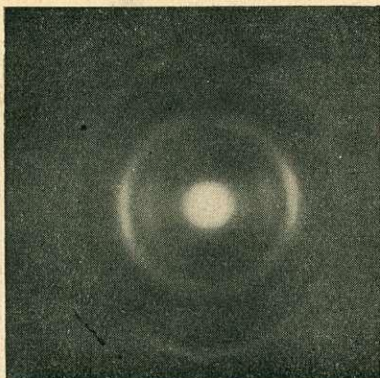


2. A *szórtlikacsúak*, tehát azok, melyeknél a pórusok az évgyűrűn belül mind a két zónában közel azonos számban és szét-szórtan lépnek fel a szerkeztelemek azonos volta miatt, a röntgenreflexiók topográfiáját mint a tavaszi, úgy az őszi pásztában azonosan alakítják ki, főleg akkor, ha a két pászta közötti átmenet elmosódott.

* A tracheák a tavaszi pásztában viszonylag nem nagy lúmenűek, csak a számuk tetemesen nagyobb mint az őszi pásztában, s következésképpen az évgyűrűk belső határa erősen laza.

Az idetartozó fajok két csoportját különböztethetjük meg:

A rostdiagramm a tavaszi és őszi pásztában egyaránt sávos: *Dió, gyertyán, fűz, okoumé, bossé. Evonymus,*



A rostdiagramm a tavaszi és őszi pásztában ponteffektusos: *Bükk, juhar, hárs, ayous, acacia-franc, padouk, ében, azobé, amaranta.*

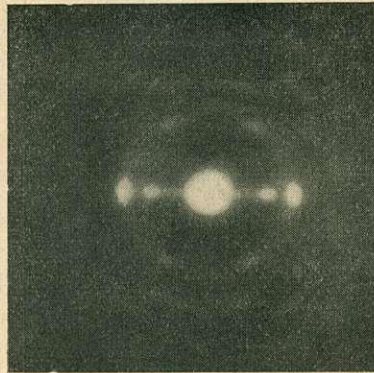


(A harmadik csoportba tartozna a *nyár*, melynek rostdiagrammja a tavaszi pásztában ikersávos, az ősziiben pedig ponteffektusos. Erről a fajtáról a hasonlóan atypusos pe-mou-val egyetemben külön emlékezünk meg.)

A vizsgálat alá vett fenti fajok közül azok, melyek hazaiak, az első vegetációs szakból („egyévesek”) származó rostképletekben is röntgenelemzés alá kerültek. Mivel azonban ezek rost-diagrammjai a primér fa mikroszerkezetének képében, gyűrűs-effektusokban jelentkeztek, ezekre külön kitérnünk szükségtelen.

c) Nem „fásodó” kétszikűek. Zöld szárképleteik röntgen-reflexiós jellemzői erősen diffúz jellegek mellett sávosan fedett gyűrűk, macerált (tilott) rostképleteik pedig ponteffektusosak.

Vizsgálat alá került fajok: *Len*, *kender*, *csalán*.



d) „Fásodó” egyszikűek. Ezeknél évgyűrűkialakulásról olyan értelemben, mint a kétszikű angio- és gymnospermáknál nem szólhatunk. A gyűrűkkel általában nem tagolt fatest rostkötegeit a parenchymatikus alapanyagban elszórt edénynyalábok mellett a mechanikai szerepet betöltő rost, esetleg kollenchym-kötegek alkotják. Ezen utóbbiak legtöbbször subepidermális előfordulásúak, a mint ilyenek, a bordásodás okozói. Ezen alkotó histológiai komplexumok szerkezetelemeinek rendjét mint a parenchymatikus alapszövetben, úgy az edénynyalábos kötegekben és rostkötegekben ismerve, a mikroszerkezet röntgenográfiai leképezése is csak az utóbbiaknál lesz lehetséges, amennyiben ponteffektusrendet csak ezen rostkötegekből várhatunk, az edénynyaláb-kötegek gyűrűs rostdiagrammjaival szemben.

Vizsgálat alá került egyedül a *dracéna*. Anatómiája a fás egyszikűek fenti általános jellegeitől annyiban tér el, és így leg-

alább alakilag közeledik a vizsgálat tárgyát képező többi fához, hogy az évyűrűkhöz hasonlóan itt is évi vastagodási zónák lépnek fel, melyek azonban azért, hogy a periodikusan osztódó merisztéma parenchymatikus alapszövetben elszórt önálló, zárt edénynyalábokat hoz létre, az előbbiektől, melyek a meglévő edénynyalábok xylémjét gyarapítják, nemcsak szerkezetileg, de fejlődéstani szempontból is eltérnek. Mikroszerkezeti jellegei gyűrűsek-sávosságok, aszerint, hogy a képleteket a túlnyomó parenchym mellett csak edénynyalábok, vagy rostkötegek is alkotják. *a.*) és *b.*) felvételek:

a felvétel*b* felvétel

II. Cellulóz rostok. (Delignizált képletek.)

A cellulóz-lignin komplexum mikroszerkezetét a natív, s delignizált, tehát tiszta cellulóz, valamint a lignin röntgenogrammai útján véltük megközelíteni. E célból kísérleteinkbe vont valamennyi fás anyagból *Cross—Bevan* módszerével a lignint kivontuk, a lúgos foltárást, klórozást és szulfitos főzést addig ismételve, míg a rostok fehérek nem voltak, s a lignin-reakciókat többé nem mutatták. Az így rendelkezésünkre álló tiszta cellulózrostokat (negatív oxi-cellulóz reakció mellett) egymásra fektetve, azok hossziránya szerint rendezetten, celloidin-fóliával vontuk be, s az így kiképzett mesterséges kötegeket a natív rostokhoz hasonlóan vettük vizsgálat alá.

A delignizálás folyamán a farostokat (libriform, tracheida)

kísérő histológiai asszociációk legnagyobb részben leváltak, s a mesterséges kötegeléshez túlnyomóan rostszálak jutottak, melyek a natív anyagban, annak őszi pászttájában uralkodók, miért is a delignizált rostokról készült röntgenogramokat a natív anyagok őszi pászttájából kikerült képletek rostdiagrammaival szabad egyedül összehasonlítani.

Mint a másodlagos, úgy a primér fa cellulóz-rostjainak diagramjai egymásközött egyezők és azonosak a natív rostok őszi pászttájának rostdiagrammaival. Eltérés egyedül a reflexiók kisebb intenzitásában, valamint abban van, hogy a cellulóz diagrammaiban a gyűrűs-fedés gyöngébb; az előbbi a mesterséges kötegelés miatt gyérbb rostoknak, az utóbbi pedig a natív képletek rostjait kísérő diszperzív biostruktúrák hiányának tudható be.

III. Lignin.

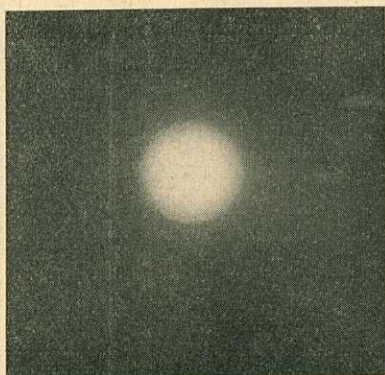
A ligninnek, mely *Klason, Jonas, Cleve v. Euler, Odén* szerint „oldható szénhidrátokból”, *König, Rump, Green, Fuchs, Casparis, Schellenberg, Nathansson* és mások szerint a cellulóz „másodlagos változásából” keletkezik, alkylcsoportok belépésével, s mely *Wislicenus* szerint kolloidkémiai törvényszerűségek mellett rendezett „kollektív anyagi fogalom”, *Ritter* az „amorf” (membrán) és „struktur” (középlamella) lignin föltételezésével kettős modifikációját adja meg. Hogy a cellulózhoz kémiailag (*J. Erdmann, Hoppe—Seyler, F. Czapek, V. Grafe, P. Klason, M. M. Metha* stb. stb.) vagy fizikailag (mechanikailag) kötött (*Payen, Schulze, R. Sachsse, J. König, C. F. Cross*, de mindenekelőtt *Wislicenus*) annyira nyílt kérdés, mint a lehető kémiai és mechanikai kötési módok meghatározása. Egyedül föllépéséről tudjuk, hogy a sejtek plazmatelt állapotával kapcsolatos, s hogy először azok membránreliefje, tehát a vastagodási képletek „fásosodnak” el. Úgy látszik, hogy ez a fásosodás, mely a tiszta cellulóz, pektintartalmú és lignintelített membrán (*Fuchs*) irányában, a felsorolás sorrendjében a szövetegységek membránjaiban (*ontogenetikus lignifikáció*) megy végbe, megisméltlődése a rendszertani fejlődés függvényében fokozódó lignifikációnak (*phylogenetikus*), mivel az egysejtű, sejtkolóniás, vagy a legmagasabb fokon is csak gyöngé szöveti differenciálási jelleggel bíró növények (*thallophyták*) membrán-

jai cellulóz, a már centrális vezetőkötegeket felmutató szervezetelek (*bryophyták*) pektin, az edényes (áledényes, tracheidás nyalábú) kryptogámok (*pteridophyták*) fokozódó lignintartalmúak, a teljesen fásosodó virágosnövények (edénnyalábos szervezetek) sejtmembránjaival (*anthophyták*) szemben.

Vizsgálatainkhoz *Klason* előírása szerint kivont lignint használtunk, mégpedig a fa reszelékéből nyert porszerű-, valamint a rostsálakból kioldott cellulóz után az anatómiai felépítés megtartásával, rostszerű alakban. Ezeket ilyen rostkötegekben, az előbbieket pedig kolloidum-amylacetáttal pálcikává préselve helyeztük az elemző röntgensugár útjába.

A lignin ezen mindkét anyagáról készült röntgenfelvételek a fajoktól függetlenül, egyedül szórtsugárzást leképező, röntgenreflexióktól mentes effektust mutattak.

Lignin.



A felvételek ezen jellege a cellulózrostok, valamint a natív rostelemek diagrammazonosságából körülbelül előrelátható volt, s kiegészíteni látszik alanti értelemben, *J. König* és *E. Rump* kémiai és optikai észleléseit, melyek szerint a „nyersrost”-ból kioldott cellulóz után visszamaradt anyag a növényi membrán eredeti szerkezetét megtartotta, s melyből a lignin mechanikai kötése mellett döntöttek. Röntgentechnikai vizsgálatainkat megelőző kémiai preparatív munkánk ugyanezt a membránszerkezetet eredményezte, sőt a cellulózrostok esetén ezen szerkezetállandóságot

nemesak anatómiai, de kristallitorientációs, tehát kristallitszerkezeti tekintetben is fönnállónak mutatják. A *König—Rump* tagadta kémiai kötés a cellulóz-lignin komplexumban a röntgendiagrammjainkból levezethető következtetésünkben is valószínűtlennek látszik, mert a cellulóz és natív rostdiagrammazonosság — fásosodással kapcsolatos — intermicelláris, a cellulóz rostos és lignin amorf leképezése pedig kristallográfiai vonatkozásoktól mentes jelenségnek bizonyítékai.

A fatest szöveti szerkezetének röntgenspektrális kitapintása nem célja, de eszköze azoknak az anyagvizsgálati kutatásoknak, melyek a mikroszkópos és biológiai vizsgálatokon túlmenően, esetleg azok kiegészítéseképpen, hivatottak a fa anyagi minőségének meghatározására, s amelyekről a következő fejezetben, az ép és beteg, valamint fáradttöréses anyag szerint elkülönítve, részletesebben emlékezünk meg.

Ezen fejezetünkben egyedül annak ismertetése volt feladatunk, hogy a fenyők és lombfák tavaszi és őszi pásztájának szöveti állománya milyen röntgenspektrumok leképezésére képes, ill. hogy ezekben a reflektáló szerkezetelemek alakjának és térbeli helyzetének, irányítottságának változása szerint, az Anthophytákra általánosságban jellemző cellulóz-micella szerkezet milyen spektrumban ver vissza. Levezethető volt többek között a faanyag korának majd, a fásosodásnak passzív finomszerkezeti szerepe, s azon tény, hogy a röntgenspektrális leképezésben a lignin nem, egyedül a cellulóz alapanyag micellaszerkezete vesz részt.

(Folytatjuk.)