

A FASZÉN „ANATÓMIÁJA”

— Egyszóval még mindig fenntartja elképesztő állítását, uram?
— Igen! És önök nem fognak megtörni a rosszul föltett keresztkérdéseikkel!
— De hiszen ez hallatlan! — avatkozott a nem túlságosan barátságos párbeszédbe a harmadik utas, a negyedik útitársnak helyeslő bólogatásától kísérve. — Ön nem akarja tudomásul venni, hogy a vezetőség már döntött?!
— Nem döntött el semmit! — csattant fel most élesen a kérdezett hangja. — Vegyük tudomásul, uraim, hogy az igazságot sem önök, sem a vezetőség bármiféle döntései nem változtathatják meg. Nemsokára látni fogják...

A beszélgetés itt váratlanul félbeszakadt, mert hirtelen kinyílt az ajtó, s megjelent a kalauz.

— Szabad a jegyeket!? Meddig utaznak?

Atnyújtották a vasútjegyeket.

— Oruzsinig!

A vasutas nagyott nézett. Ilyen elegáns urak! És nem Otátrafüredre vagy Lomnicra utaznak!? Mi a csudát kereshetnek ezek abban az isten háta mögötti falucskában, Oruzsinban?

Csaknem száz éve, 1881 júniusában történt ez az eset a magyar tudománytörténetnek egyik nagy fontosságú kísérlete alkalmával. A kísérlet arról akarta meggyőzni az akkori tudományos élet nagyjait, amit ma minden általános iskolás tud, hogy valaha a mai Magyarország területén is élt az ősember. A század végén még elképesztő és valósággal felforgató állítás volt ez. Aki mégis megkockáztatta, az Róth Samu késmárki gimnáziumi tanár volt. Szabad idejében szívesen mászkált a hegyek között, barlangok mélyén, s eközben fedezte föl a ma már híres őruzsini barlangot. Ott ugyan nem talált ősemberi csontokat, mégis arra a meggyőződésre jutott, hogy Magyarország földjén igenis élt ősember. Mire alapította ezt? Elsősorban arra a barlangi üledékekben talált összefüggő faszénrétegre, amelyet sajátos elhelyezkedése alapján — helyesen! — az ősember tűzhelyének maradványaként ismert föl. A hivatalos tudomány — mert addigi tapasztalatai ellenkezőek voltak — hallani sem akart az őseemberről, s képviselői a fölfedezővel késhegyig menő viták után határozták csak el, hogy helyszíni szemlét tartanak a barlangban.

Akkor még Róth Samu sem tudta, hogy a faszén, amelynek ez esetben a pusztá otláté döntötte el, hogy ott ősember élt, a lét és nemlét kérdésénél sokkal több múltbeli eseményről tájékoztathatja a késői utókor tudósait. Az ember ugyanis csak később tanult meg olvasni a faszén jeleiből, mégpedig egy új tudományágnak, az *anthrakotómiának* (szó szerinti fordításban szénboncolás), magyarul a *faszénanatómiának* a segítségével (anatómia: alkattan, bonctan, a szerkesztő felépítésével foglalkozó tudományág).

A faszén a növények elfásodott részeinek tökéletlen égése után visszamaradt, javarészt *elemi szénből* álló anyag. (Ha mondjuk egy fadarabot hevítünk, először a víz távozik el belőle, s 110 C-fok fölötti hőmérsékleten gyakorlatilag víztelenné válik. 150 C-foktól hőbomlás révén a különféle szerves anyagok gázai illannak el belőle, majd 170–250 C-fok között bizonyos idő múltán lánggra lobban. Ha azonban felmelegedésekor a fa nem érintkezik oxigénnel, még egészen magas hőfokon sem ég el, hanem alkotórészeinek egy hányada elillan. Végül csaknem *tiszta elemi szén* — a faszén — marad vissza belőle.)

Szabályos sejtszerkezet

Vajon miről árulkodik egy-egy ilyen elszenesedett fadarab? Mindekelőbb a *fa anyagáról*: más egy bükkfából, egy fenyőből vagy mondjuk egy diófából visszamaradt faszéndarab szerkezete. A köztük levő eltérés tulajdonképpen a még életükben megvolt különbségekből adódik.

Minden fa, még az élő fa anyaga is zömében *elhalt*, üres, illetőleg levegővel vagy vízzel telt sejteknek a tömegéből áll, s a szakember egy-egy faanyag metszetének mikroszkópos képét látva a szállítóedények lefutásából, a sejttal szerkezetéből és más jelekből nem csupán azt mondja meg, *milyen fáról* vagy *cserjéről* van szó, hanem például azt is, hogy az a fa vagy cserje száraz vagy nedves helyen nőtt-e, s öreg vagy fiatal példány volt-e. A fák anyagát alkotó nagyon sokféle sejttípusnak az alakulása minden fajfajban más és más; például a fenyőfélék fájában sok a gyantajarat és a tracheidák* falán vermes gödörkés vastagodás van.



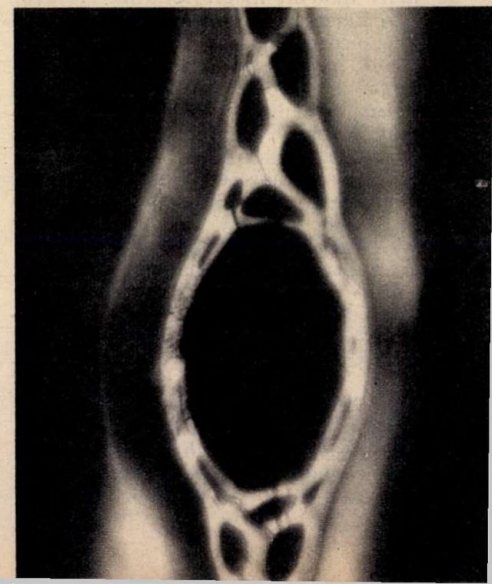
Ősemberi tűzhelyből előkerült, tölgyfából származó félig elszenesedett fadarab mikroszkópi képe

A szenesedés közben a faanyag — mint mondtuk — sok változáson megy keresztül, de ezek a *változások nem olyan nagyok, hogy elmosnák a különbségeket az eredetileg eltérő sejtszerkezetek között*. Ahol mód van maguknak a faanyagoknak a vizsgálatára, ott a faszénelemzésnek tulajdonképpen nem sok hasznát veszszük. Sajnos azonban a fa nem tartozik a tartós anyagok közé...

Ellenáll az időnek

Ha egy fadarabot nedvesség ér, megtelepszene rajta a *gombák*, a *baktériumok*. Ezek és a különféle *rovarok* a fa anyagából élnek, bontják azt, s aránylag rövid idő múltán a

Jégkori vörösfenyő faszénének úgynevezett bélsugara felvilágítós mikroszkópi technikával. (A felvételeket a szerző készítette)



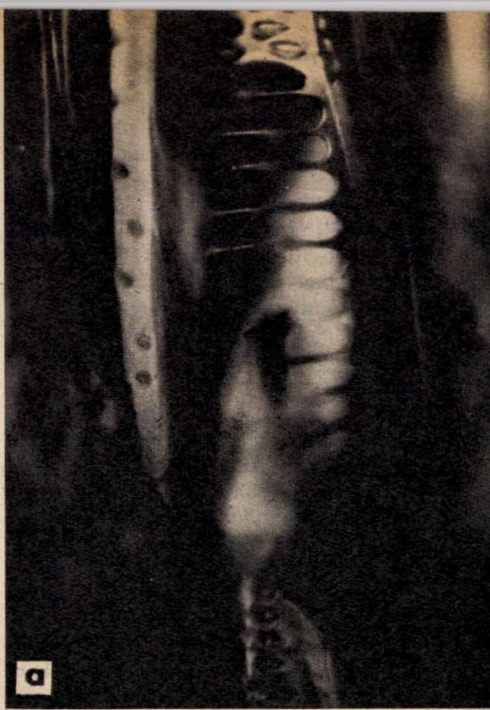


Az utolsó jégkor előtről származó ősemeri faszénderab (juhar, kb. 120 000 éves) keresztmetszetének mikroszkópi képe

fa teljesen porrá esik szét, végül nyomtalanul eltűnik az anyag örök körforgásában. Szerencsére a természetben a fából sokkal gyakrabban képződik faszén, mint gondolnánk. Az ember megjelenése előtt a villámcsapások, a vulkánkitörések és a meteoritbecsapódások nyomán vagy öngyulladásból támadt tüzek izzó parázsának belsejében, majd az ember rakta tüzek fészkeiben is képződött faszén.

S a fa, ha már egyszer elszenesedett, nehezen alakul tovább. Száz fok alatt kémiaiilag teljesen közömbös, és

Az utolsó jégkor elejéről való, kb. 110 000 éves cirbolyafenyő (a), egy fűrásból előkerült, kb. 150 000 éves som (b) faszénderabjának belsőgárrészlete, s a somfa-szén egyik szállítópályájának belseje (c) térhatású (scanning) elektronmikroszkóppal. (Fotó: Takácsné)



Közép-kőkori mogoró (a) és jégkori erdeifenyő (b) faszénének szállítószövet-részlete felülvilágításos mikroszkópiával

benne sem baktériumok, sem gombák meg nem élnek, sőt erős lúgok, savak és más maró anyagok is érintetlenül hagyják. A fa hosszabb idő alatt még akkor is oxidálna, elporladna, ha az élőlények nem bántanák. Csak egészen kivételes esetekben, a körülmények nagyon szerencsés összejárása folytán maradhat meg hosszabb ideig. A faszénnek ellenben mindössze az erősebb mechanikai hatások árthatnak. Ha ezeket elkerüli, akár több százézer, sőt több millió évig is épségben, változatlanul megmarad, még a talaj felszínén is!

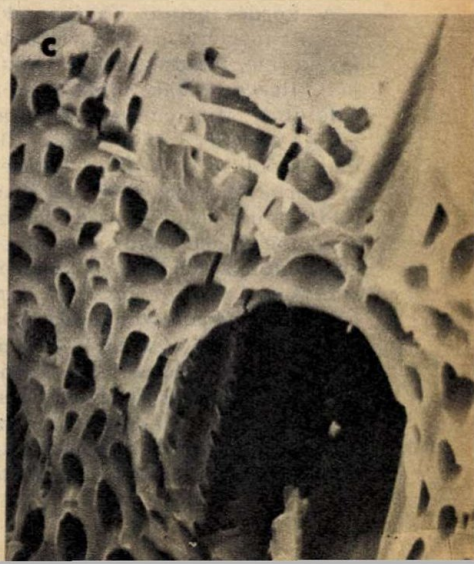
A faszén tehát egyáltalán nem tartozik a régészeti vagy a geológiai feltárások ritka leletei közé. A feltárásokból előkerült faszén helyezi a kutató mikroszkópjának a lencséje alá. (Persze a vizsgálat tárgya éppúgy lehet valamilyen frissen elégett faanyag is.)



Csak hogy a faszén rideg, törékeny és fekete, átlátszatlan anyag, a preparáláskor pedig elporlad. Ezért a század eleje óta bonyolult és hosszadalmas laboratóriumi eljárások garmadáját dolgozták ki a kielégítő mikroszkópi feltárás céljára. E kutatások hazai megalapozója és továbbvivője volt századunk elején Holendronner Ferenc botanikus, főiskolai tanár. (Az anthrakotómia műszó megalkotása is az ő nevéhez fűződik.)

Mikroszkóp alatt

Régebben minden faszénderabból legalább három különböző irányból mikroszkópi metszet készült, amelyeket azután átvilágítva szemléltek. Ennek nehézségei arra ösztönözték a kutatókat, hogy más, gyorsabb eljárásokat keressenek. A harmincas évek elején kezdtek alkalmazni az úgynevezett felülvilágításos mikroszkópiát. Az átvilágításos eljárással ellentétben most már a tárgy felszínét világítják meg különleges optikai eljárással. A módszer eleinte inkább csak a tűlevelűeknek a lombos fáktól való elkülönítésére volt alkalmas. Körülményes is volt, mert a



A FASZÉN „ANATÓMIÁJA”

faszéndarabkákon olyan *törési felületeket* kellett létrehozni, amelyeknek síkja megegyezett a fő anatómiai irányokkal (a keresztmetszettel, valamint az érintő és a sugárirányú hosszsmetszettel). Mégis ez volt a feladat egyszerűbb része. A nehezebb az, hogy ezeket a síkokat vizsgálatkor a mikroszkóp optikai tengelyével *merőleges síkba* kellett állítani. A rendszerint szabálytalan alakú fosszilis faszenek esetében e művelet többnyire csak a nagyobb darabokkal sikerült különleges *precíziós rögzítő*kkal, és csak ritkán a szerkesztő károsodása nélkül.

A módszert az ötvenes években hazánkban tökéletesítették, s akkor ezeket a problémákat mind megoldották az úgynevezett *kombinált opak* eljárás segítségével. Ennek lényege, hogy a *beállítás egy kisebb nagyítású mikroszkópban* történik, s csak ezután kerül a minta a vizsgáló mikroszkóp alá.

Ez az eljárás ugyan több különleges mikroszkópot igényel, de még így is olyan gyors és megbízható lett, hogy *sorozatvizsgálatokra* is sor kerülhetett. Legújabbban a minta rögzítését is sikerült kiiktatni. Ehelyett *apró golyócskák közé ágyazzák* be a faszéndarabkákat, s a mikroszkóp alatt azok a kívánt irányba állíthatók.

A mikroszkópia és az elektronmikroszkópia fejlődése szintén segítette az anthrakotómiai módszerek további korszerűsítését. Ma felülvilágításos fáziskontrasztos és interferencia-kontrasztos mikroszkópokkal, továbbá letapogató elektronmikroszkóppal a faszén szerkezetének eddig nem ismert részleteit is megismerhetjük.

Ősnövényzet és őshajlat

A kérdés persze önként adódik: vajon megtérül-e a szakemberek igyekezete, fáradságos kutatómunkája? Mit *várhatunk a faszenek vizsgálatától*? Mint említettük, a faszén több százezer évig változatlanul megőrződik, s ez számos elméleti és gyakorlati hasznot rejt magában. A földtörténet legutolsó nagy korszaka, a geológiai *negyedkor* egymillió évvel ezelőtt kezdődött, és *nincs olyan szakasza, amelyet a faszenek segítségével ne tudnánk tanulmányozni*. A negyedkor első szakasza a pleisztocén, s ez 12—18 ezer éve végződött. E rendkívül szélsőséges változásokkal terhelt kor Földünk mai arculatára is rányomja a bélyegét. Hazánk gazdaságilag hasznosított területének

több mint *négyszázötvene negyedkori* — ennek is legalább a fele pleisztocénbeli — földtani képződményen, néha „csak” 2—3 méter, többnyire azonban több száz, sőt 1000 méter vastagságú rétegen nyugszik. Az ipar- és a várostelepítés, a vízkészlet-gazdálkodás, a nagyüzemi mezőgazdaság stb. e képződményeknek igen részletes ismerete és állandó kutatása nélkül ma már legtöbbször szinte elképzelhetetlen.

Ugyanerre a korra esik az *emberiség őstörténetének nagy korszaka*, a kőeszközöket készítő embernek és az őt megelőző előembernek a térhódítása. Az ősember tűzhelyeiben vagy az erdőtüzek során képződött faszének a rájuk rakódó üledékek óvó takarója alá kerülve épségben maradtak, s így a *helyszínen őrizték meg az egykori növénytakaró emlékeit*. A leletek elemzésével megismerhetjük a területen *egykor élt fásodó növényfajokat*, az egyes fajok *maradványának gyakoriságából pedig az egész erdő képét rekonstruálni tudjuk*. A természetes növénytakaró és ennek időbeli változása a legjobb műszereknél is érzékenyebben mutatja az *éghajlat legkisebb változásait* is. Egy-egy faszenes réteg vizsgálatával tehát nemcsak arra következtethetünk, hogy milyen volt a hajdani növényzet, hanem sokszor arra is, hogy milyen volt az akkori éghajlat. Ahol pedig egymásra rakódott összefüggő rétegsorban találunk faszenet, ott gyakran *sok ezer éven át követhetjük nyomon a növényzet és a klíma változásainak sorozatát*.

Kormeghatározás faszénnel

Egy terület hajdani növényvilágának ismeretében — vagyis ha tudjuk, hogy ott mely korszakban milyen növények éltek — egy-egy újabb ottani feltáráskor *megállapítható a faszenet bezáró geológiai rétegek hozzávetőleges kora*. Egy ismert korból előkerült faszénleleteket — pontosabban benne a különféle fák *gyakoriságát* — összevetve más leletekkel, mód van az utóbbiak korának meghatározására. Hiszen tudjuk, hogy bizonyos területeken a különféle fafajok mely korszakokban terjedtek el jobban, s mikor szorultak vissza. Az anthrakotómia így nemcsak az ősrégészet és általában a negyedkorral foglalkozó tudományok számára, hanem sokszor a *legközvetlenebb gyakorlati problémák, bányászati és geológiai feladatok megoldásában is hasznos lehet*.

A negyedkori növényzet- és klíma-változások történetének időrendi vizsgálatára persze más, a faszén-elemzésnél sok szempontból hatásosabb eszközeink is vannak. Ilyen a

megmaradt növényi levelek, magvak és virágporsemek vizsgálata is. A faszén ugyanis *csak a fásodó szárú növényekből* képződik, általa tehát a *fűfélékről nem sokat tudhatunk meg*. A virágpor ellenben elvileg az egész magasabbrendű növényvilágot képviseli. Az el nem szenesedő növényi részek persze csakis levegőtől elzártan, legalább eleinte nedves körülmények között, lápokban, tőzeg-lápokban, édesvízi mészakókban maradhatnak meg. A faszén nedves, száraz, hideg és meleg körülmények között egyaránt változatlan marad. Ez az oka annak, hogy éppen a *jégkorok sok ezer évig tartó hideg és száraz szakaszaiból virágpor- és egyéb növényi maradványok csaknem teljesen hiányoznak*, a faszenek azonban megvannak. Míg tehát az anthrakotómia a negyedkoron belül *gyakorlatilag a teljes időt átfogja*, a virágpor-elemzéshez is, de a többi növényi maradvány elemzéséhez is: *csak az „enyhébb”, illetve a konzerválódásukhoz megfelelőbb időszakokból maradtak fenn leletek*.

Azonkívül a faszén — legalábbis a történelem előtti korok faszenek — csaknem mindig a *feltárási helyszínen* egykori növényzetének tanúja. A virágporsem ellenben gyakran több ezer kilométer távolságból kerül a konzerválódás helyére. Például a teljesen fátlan jeges-tengeri Spitzbergák tőzeglápjainak a felszínén talált pollen elemzése azt bizonyítaná, hogy ott hatalmas hárs-, nyír- és fenyőerdők vannak. Márpedig a legközelebbi fa onnan több mint ezer kilométerre él! Mindez nem azt jelenti, hogy bármelyik kutatási ágat el kellene vetni, sokkal inkább azt, hogy *összeműködve egymás hiányait kell kiegészíteniük*.

Az anthrakotómiának fontos szerep jutott századunk első felében, amikor *meghatározóan járult hozzá a jégkorok helyes értelmezéséhez*, sőt hazánkban a jégkorok vegetáció-történetére vonatkozó ismeretek alapját is elsősorban ezek a kutatások vetették meg.

Ma az új módszerek és új műszerek birtokában élénk kutatások indultak meg, s az egész országban szétszórt több mint 150 lelőhely és 10 000-nél több vizsgálat alapján immár *átfogó képünk van a pleisztocén növényzetének és éghajlatának változásairól* (ehhez különösen az utóbbi időben a pollen- és travertínóvizsgálatok* is nagymértékben hozzájárultak). Az anthrakotómia ma már rétegsorok *statisztikai növénytan* kiértékelésével is foglalkozik. Egyebek közt ilyen módon sikerült grafikusán is ábrázolni a sokat vitatott jégkor végi vegetációváltozás folyamát.

Dr. Stieber József