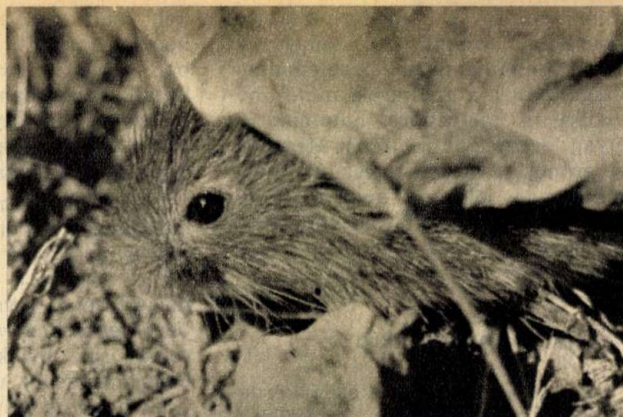


„Pocokhőmérő” — az elmúlt 10 000 év éghajlat- változásai házánkban



Közismert, hogy Grönland, az egykori Zöld-sziget, ma kietlen jégbirodalom, és a Szahara is csak a történelmi időkben vált sivataggá. Napjaink egyik legjelentősebb gazdasági válság-gója Afrikában van, és ennek egyik oka a sivatag terjeszkedése. E jelenségeket — a napjainkban is tartó — éghajlati változások okozzák, amelyek az utolsó eljegesedést követően 10 000 év alatt kialakították a Föld mai domborzatát, állat- és növényvilágát, sőt, döntően befolyásolták az emberiség fejlődését is.

Interglaciálisban élünk

A pleisztocén legutolsó hidegcsúcsa 18–20 000 évvel ezelőtt tetőzött, amikor a Skandináviából lehúzódó jégtakaró a Német—Lengyel síkságon keresztül a Kárpátok északi pereméig jutott el. Ennek következtében hazánk területén eljegesedés-peremi (periglaciális) klíma volt. Ezután a lassú felmelegedés hatására a jégtakaró kezdett visszahúzódní. Kb. 10 000 évvel ezelőtt a melegezés felgyorsult. A „jeges” szakaszok elmúltával az egész Földön nagy változások zajlottak le. Ezek közül legjelentősebb a jégtakarók nagy részének elolvadása volt. Ez a tengerek vízszintjének emelkedését okozta, s így a stabil kontinensek alacsonyán fekvő tengerpartjai víz alá kerültek. Ahol a vastag jégtakaró korábban lenyomta a szárazföldeket, ott kiemelkedés következett be, mint pl. a Balti-tenger környékén, vagy Angliában. Ahol eddig tundra volt, a felmelegedés hatására fenyőerdők, majd lombos erdők alakultak ki. Az állatvilág, amely mozgékonyasága miatt gyorsan követte az éghajlatváltozás okozta földtani és növény-tani átalakulást, gyorsan kicserélődött. A hideghez alkalmazkodott fajok vagy kihaltak (pl. mammut vagy barlangi medve), vagy éghajlati zónájukat követve vándoroltak (pl. rénszarvas, lemming). Az így létrejött zoológiai úrt az addig kedvezőtlen körülmények között tengődő állatok felszaporodott egyedei és az újonnan bevándorlók töltötték ki.

Az elmúlt 10 évben a kutatók fokozott figyelmet szentelnek erre az időszakra és változatos módszerekkel próbálják felderíteni a lezajlott eseményeket. Leginkább a lápokba zárt virágporaszemek eloszlásából következtetnek az éghajlati folyamatokra, de vizsgálják a tengeri párkányokon (selfeken) lerakódott mészvázú egysejtűeket is. Klasszikus módszer a tengerpartok kiemelkedési ütemének, vagy a gleccsernyelvek mozgását mutató morénaszakaszok vizsgálata. A modern technika különösen figyelemre méltó eszköze az oxigén stabil izotópjai arányából az uralkodó hőmérsékletre való következtetés, amelyet mészvázú egysejtűek, sarki jégtakarók és cseppkővek anyagán végeznek. A csontmaradványok aminosav és nitrogén tartalmának elektroforézis, ill. neutronaktivációs vizsgálatokkal megálapított alakulását is kapcsolatba próbálják hozni az éghajlatváltozásokkal.

A gerinces állatok maradványai mindaddig csak durva paleoklimatológiai következtetés levonására voltak alkalmasak. Magyar kutatóknak sikerült egy ilyen vizsgálati módszer — „pocokhőmérőt” — kifejleszteniük. Az eljárás pontossága felveszi a versenyt az eddigi vizsgálatokkal és sok hazai újdonságot nyújtott.

A „pocokhőmérő”

A „pocokhőmérő” módszer — amelyet Kretzoi Miklós alkalmazott először — elvi alapja az, hogy az Euráziát igen nagy tömegben és

fajgazdagságban benépesítő pocokfajok földrajzi eloszlása az éghajlati s növényzeti öveget követi. A Lyell-féle aktualizmus elvét kellő kritikával fogadva feltételezzük, hogy a pocok az elmúlt 10 000 évben is ugyanabban az éghajlati övben terjedtek el, mint ma. Ha tehát egy földrajzi ponton az egymás mellett levő fiatalodó kőzetrétegekben más és más pocokfajok váltják egymást, vagy faji arányuk eltér, akkor első sorban éghajlatváltozás okozta eltolódással számolhatunk. A „pocokhőmérő” gyakorlati alkalmazásának sok előfeltétele van. Először is olyan üledéket kell találni, amelyben sok pocokmaradvány van. A pocokokat a baglyok vadászútjukon válogatás nélkül összefogdossák, majd búvóhelyükre visszahúzódva emésztik meg zsákmányukat. Itt a szőrt és csontokat az egyéb emészthetetlen alkotókkal együtt kiköpdösik. Ezek az ún. bagolyköpetek nagy tömegben gyűltek össze a barlangok bejáratában. A pocokcsontokat is tartalmazó barlangi üledéket ásatással kell feltárni. Mindaddig, amíg az ásatásokat úgy végezték, hogy a barlangból, kiásott agyagot talicskában vagy kosarakban hozták a felszínre, és ott bányanedves állapotban kézzel válogatták, nem lehetett az összes csontot kiszedni, mert az alig 1 mm-es fogacskákat észre sem vették. Ezért a mintákat ma már mindenhol iszapolják, azaz a megszáritott üledéket 0,8 mm-es lyuk átmérőjű szitákon átmossák. Az iszapolás után csont, csiga, faszén, növénymagvak, kőtörmelékek maradnak a szitában. Ezt fekete papírra öntik és igen hosszadal-

* Az 1977. évi pályázatunkon III. díjjal jutalmazott cikk.

mas munkával csipesszel kiválogatják belőle a kisemlős fogakat. Ahhoz, hogy legalább 100 darab 3—4 mm-es, oszlopos, az orgonasípkokra emlékeztető, redős pocokfog előkerüljön, legalább egy mázsa üledéket kell feldolgozni!

Az iszapolás után laboratóriumban preparálják és mikroszkóppal meghatározzák az egyes pocokfajokra jellemző fograjzolatot. Ha már ásatási rétegenként meghatározták az összes pocokfajt, és kiszámították azok egymáshoz viszonyított gyakoriságát, akkor következhet a tényleges hőmérséklet-rekonstrukció.

Ismerve a pocokfajok mai eloszlásának optimális júliusi középhőmérsékleti értékét, és az egy időben, adott helyen kimutatott pocokfaj-eloszlást, az alábbi egyszerű képlettel számíthatják ki a hőmérsékletet:

$$T_{\text{július}} = \frac{(T_{p1} \cdot p_{1r}) + (T_{p2} \cdot p_{2r}) + (T_{pn} \cdot p_{nr})}{100}$$

ahol $T_{\text{július}}$ = a vizsgált réteg júliusi középhőmérséklete $T_{p1} \dots T_{pn}$ = az egyes pocokfajok mai elterjedésének optimális középhőmérsékleti értéke (°C),

$p_{1r} \dots p_{nr}$ = egy rétegben az egyes pocokfajok gyakorisága. A paloklimatológiai rekonstrukció helyessége a megfelelő módszeren túlmenően természetesen a pontos korhatározáson is múlik. Erre sok őslénytani és fizikai módszer van, ezek ismertetésére itt nem térünk ki.

Paleoklimatológiai alapgörbék

Az elmúlt 10 000 év hazai éghajlatunk változásait nagy vonásokban már tisztázta Zólyomi Bálint és Járainé Komlódi Magda polleanalitikai vizsgálatokkal. A „pocokhőmérő” módszer segítségével a meg-

ismert vázlatos képet tovább lehetett finomítani ill. pontosítani.

A klímarekonstrukció alapját képező pocokfajok 12 barlang kitöltéséből, összesen 62 rétegből származnak, ahonnan egyidőben csont, csiga, pollen és régészeti leletek is előkerültek. Az 1. ábra különböző hazai lelőhelyek pocokfajainak gyakorisága eloszlását mutatja. Három jellemző fajt emeltünk ki, feketével a szibériai pocok, sűrűn rácsozottan a mezei pocok és ritkán hálózva az erdei pocok mennyiségét jelöltük. Az ábrára rátekintve azonnal kitűnik, hogy a szibériai pocok i. e. 2—3000 éve eltűnt hazánkban.

A mezei pocok aránya kezdetben nagy, de az időszámítástól növekszik az erdei pocok, háttérbe szorítva a mezei pocokot. A korai középkortól kezdődően a mezei pocok száma ismét nő. A pocokfajok minőségi és mennyiségi fejlődési sajátosságai mellett mindenhol vannak helyi eltérések is, ami a többi pocokfajnál is mutatkozik. Az 1. ábra alapján lehetett megszerkeszteni a 2. ábrán látható görbét, amely az elmúlt 10 000 év „pocokhőmérőjének” grafikonja. Az A—A görbe a magyarországi adatok átlagából nyert júliusi középhőmérséklet, a B—B jelű a Brno környéki Velká Kobylanka lelőhely, míg a C—C a Frank Alb (Nyugat-Németország) hasonló adatait mutatja. Ugyanennek az ábrának kinagyított részlete a 3. ábra, amelyen az elmúlt 5000 év mozgalmasságának adatait hasonlítjuk össze. Az eddigi ábrák mind a „pocokhőmérő”-vel kiszámított júliusi középhőmérsékleti adatokat tartalmazzák.

A csapadék mennyisége, a nedveségviszonyok ismerete a hőmérséklet mellett a legfontosabb meteorológiai adat. Az egykori nedvességhi-

szonyokra utaló adat azonban már jóval kevesebb. Most a vízi pocokot (Arvicola) lehetett segítségül hívni. Ez az elterjedt, de csak állandó vízi környezetben élő rágcsáló viszonylagos gyakorisága jelzi a relatív évi csapadékmennyiséget. Az „Arvicola humiditas” görbe a 4. ábrán látható. A magyarországi A—A átlaggörbe összehasonlítható a Brno környéki B—B és a németországi C—C adatokkal.

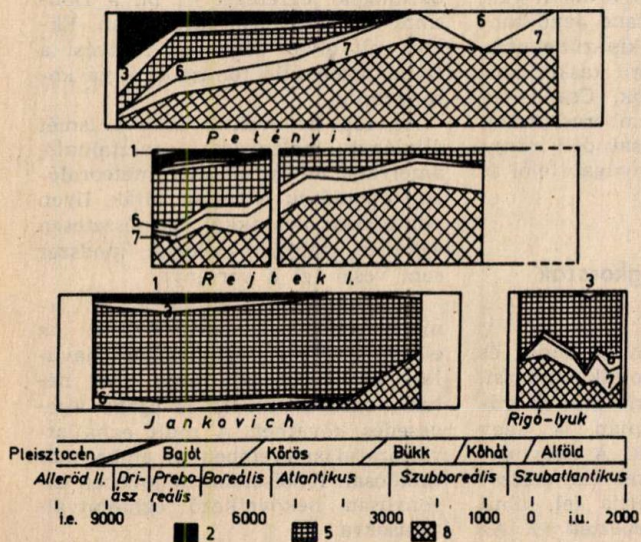
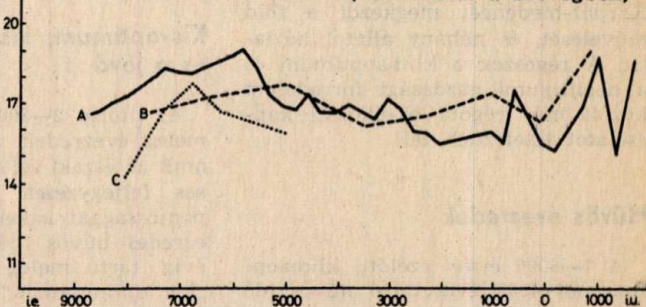
Arktikus hidegtől a klímooptikumig

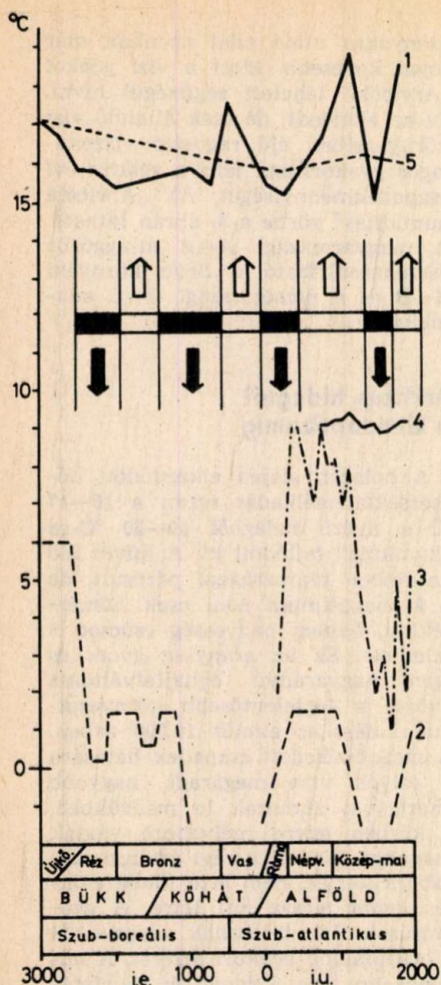
A holocén elején elkezdődött hőmérsékletemelkedés során a 16—17 °C-os nyári melegből 19—20 °C-os „kánikula” fejlődött ki. A hűvös idő kezdetben szárazsággal párosult, de a klímooptimum nem csak hőmérsékleti, hanem nedvesség csúcsot is jelentett. Ez az aránylag gyors és igen nagyarányú éghajlatváltozás okozta a legjelentősebb környezetátalakulást az elmúlt 10 000 évben. A megnövekedett csapadék hatására a folyók vize megáradt, nagyobb energiával zúdultak le medrükben, s közben egyre mélyebbre vágták magukat. Ezáltal a régi árter magassabbra került, nem érte többé előntés, tehát terasz jött létre. A geográfusok II/a. terasznak nevezik ezt a legfiatalabb egykori árteret. A növényzetet még a fenyő és nyírfafélék alkotják, de már megjelennek a klímooptimumot követően és robbanásszerűen elterjednek a lombos erdők. Az állatvilág utolsó, a jégkorszakot túlélő fajai már nem viselik el a nedves meleg éghajlatot, kihalnak vagy elvándorolnak. Ilyen volt a barlangi medve, a rénszarvas, a hófajd, a szibériai pocok, az örvös lemming, a fűttenyű nyúl és tár-

1. Hazai lelőhelyekről származó pocokfajok százalékos megoszlása

Az egyes rétegek megfelelő régészeti, gerinces őslénytani, kronoztratigráfiai és kalendáriumi helyükön vannak. Az egyes rétegek pocokfajainak megoszlása adta a júliusi középhőmérséklet számítás alapját. 1 = havasi pocok; 2 = szibériai pocok; 3 = patkányfejű pocok; 4 = csaltjáró pocok; 5 = mezei pocok; 6 = vízi pocok; 7 = földi pocok; 8 = erdei pocok

2. A „pocokhőmérő”-vel számított júliusi középhőmérséklet változása a holocénben (Részletezés a szövegben)





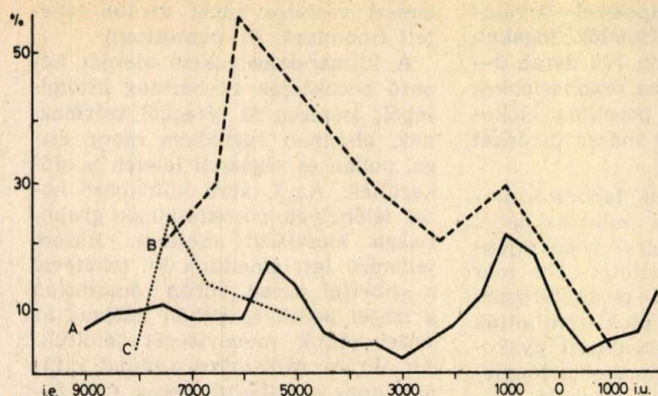
3. Az elmúlt 5000 év hőmérsékleti változása hazánkban (1); és összefüggése más területek különböző módszerrel vizsgált eredményeivel

2 = Keewatin (Kanada); 3 = Madrid mellett (Spanyolország); 4 = Közép-Anglia évi középhőmérsékletének mért adatai; 5 = Anglia. A fekete nyílak a világméretű lehűlési, a világosak a felmelegedési tendenciákat jelzik

saik. Nem sokáig maradt állatvilágban szegény a vidék, mert az új bevándorlók elszaporodtak: mind több a denevér, az egér, a hörcsög, a bivaly stb. Erre az időre esik a hazai leletekben szegény középső-kőkor (mezolitikum), s a klímaoptimum indítja el azt a hatalmas népvándorlást, amely során a csiszolt kőkor (neolitikum) embere elárasztja a Kárpát-medencét, megkezd a földművelését, és néhány állatot háziasít. A régészek a klímaoptimum és a neolitikumi gazdasági forradalom között már régóta ok-okozati kapcsolatot tételeznek fel!

Hűvös évezredek

A 7–8000 évvel ezelőtti klímaoptimumot 4000 évig tartó hűvös idő



4. A vízi pocok (Arvicola) gyakoriságának változása a többi pocokfajhoz viszonyítva az elmúlt 10 000 évben

A görbék a csapadék-viszonyok relatív változásáról nyújtanak felvilágosítást (Arvicola humiditás). (Részletezés a szövegben.)

követte. A lehűlés előbb gyorsan, majd kisebb-nagyobb ingadozásokkal fokozatosan tartott 3–4000 évvel ezelőttig. A nedvesség is csökkent 4–5000 évig, de 3000 éve ismét csapadék maximumot tapasztaltak. E lehűlés első fele tehát szárazodást is jelentett (erősödő kontinentálisizálódást?), míg a másik felében hűvös nedves (óceáni?) klíma volt. A hirtelen jött meleget követő éghajlati romlás hatására a fenyőerdők már nem hódították vissza a lombos fák által elfoglalt területeket, de a már kialakult tölgyesek helyett a bükkösök jutottak uralomra. Kedvezett az időjárás a lápok, mocsarak kialakulásának is. Az állatok között jégkorszaki fajt már csak elvétve, reliktumként találunk. Elszaporodtak az erdei kisemlősök ugyanúgy, mint az erdei nagyvadak, pl. a szarvas, a barna medve, a hiúz, vagy csapadékosabb évszázadokban a hódok. Az emberi települések a mészkőhegységek barlangjait, sík területen pedig a vizes környezetből kiemelkedő halmokat foglalták el. Érdekes nyomon követni, hogy az elmúlt 10 000 év során mikor használták a barlangokat tartósbabban búvóhelyként az emberek. Ezek az időszakok mindig hideg, hűvös időre esnek: a neolitikum végén a bükki kultúra (Aggtelek, Hillebrand Jenő-barlang, Kecske-lyuk), és kis szünet után a későbronzkorban, kora vaskor idejére (Aggtelek, Kőlyuk, Csapás-tetői-barlang). Az embercsoportok vándorlása már nem csak déli irányból, hanem kelet és nyugat felől is erőteljesen megindul.

Kis-optimum, kis-jégkorszak és a jövő...

Az utolsó 2–3000 évben hideg és meleg évezredek váltották egymást, amit az északi féltékről már az írásos feljegyzések alapján is nagy pontossággal ismerünk. A négy évezredes hűvös időt két és félezer évig tartó meleg váltja fel, amit „kis optimumnak” neveztek el. Az

óceáni hatás gyengül, a szubtrópusi öv kiterjeszkedik, erre az időre esik a római birodalom hatalmának kiterjeszkedése is. Ők hozzák magukkal a szőlőtermelést, a vadszamarat, a házimacskát és a szír katonák tevéhaton masíroznak Pannónia földjén. Karthágóban ugyanekkor — a mai sivatag helyén — nagyarányú gabonatermesztés volt. Valószínűleg az sem véletlen, hogy az időszámítás kezdete körül bekövetkezett nagyarányú hőmérséklet-csökkenés kapcsolatban volt az ázsiai népvándorlás megindulásával és ezzel együtt a római birodalom összeomlásával. Az i. sz. 6–8. sz.-ig tartó lehűlést kb. 700 és 1200 között általános melegedés váltotta fel. Kezdeti szakaszára esik Grönland „kizöldülése”, a vikingek kalandozásai, majd 1100 körül Angliában már szőlőt tudtak termesztetni. A középkori „temperáltságot” igen kemény és az agrárorságokat nagyon sújtó tartós lehűlés váltotta fel. A 12–13. sz.-tól egészen a múlt század közepéig tartó lehűlést hívják „kis jégkorszaknak”. A hűvösödés egyúttal csapadékossgal is párosult. Ennek következtében a gleccserek nyelve néhány száz méterrel hosszabb lesz, de ekkor halmozódnak fel egyes barlangok jéggrétegei is, pl. a Dobsinai- vagy Szilicei-barlangban. Ekkor volt olyan tél, hogy Mátyást a Duna jegén álló tömeg királlyá koronáztatta.

Az 1850-es évektől kezdve ismét általános melegedés tapasztalható, amelynek lefolyását már meteorológiai állomások is regisztrálták. Ilyen pontosságú adatokkal természetesen egyetlen paloklimatológiai módszer sem veszi fel a versenyt.

A jövőt néhány kutató a múlt ismeretében ismét hűvösnek jelzi. Az elmúlt 10 000 év éghajlatának javulása csak átmeneti, amit már néhány ezer év múlva is újabb eljegesedés követhet. A múlt éghajlatváltozásai ismeretében az ember már tudatosan felkészülhet a jövőben bizonyosan bekövetkező éghajlatváltozásokra.