

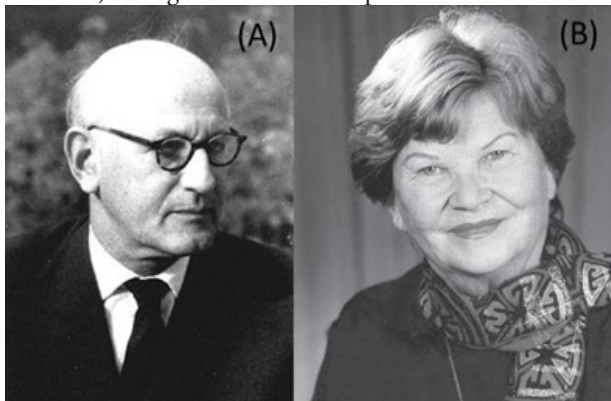
Pollen analízis és alkalmazása a régészetben

A pollen analízisről röviden

A pollen analízis a palinológia (pollenekkel foglalkozó tudomány) azon ága, mely fosszilis polleneket és spórákat valamint nem pollen palinomorfákat (non-pollen palynomorph, NPP: pl. gombaspóra, alga maradvány, stb.) vizsgál. A palinológia elnevezés a virágpór azon tulajdonságára utal (palynein: szétszóródni, görög szó), hogy nagy mennyiségben termelődik és szétterjed.

A pollen analízis az egyik legfontosabb módszer a földtörténeti korok növényzetének rekonstrukciójához, mivel a virágporszemek: 1) faj specifikusak (a virágporszem alapján az anyanövény sok esetben fajsztinon azonosítható, viszont számos esetben csak nemzetség vagy család szintű azonosítás lehetséges); 2) faluk igen ellenálló (a pollen fala sporopolleninből épül fel, ami hosszú szénláncú polimer); 3) nagy mennyiségben termelődnek; 4) szélesebb körben terjednek el, mint más fossziliák, így nagyobb régiók növényzetének rekonstrukciójára is alkalmasak; 5) tavi és lápi az üledékekből nagy mennyiségben nyerhetők ki.

A fosszilis pollenek vizsgálata a 19. század végéig nyúlik vissza. Az Európából kiindult tudományág módszereit a világon ma már mindenütt széles körben alkalmazzák. Hazánkban az első vizsgálatokat Moesz Gusztáv, Szepesfalvy János, Gustav Kintzler, majd Zólyomi Bálint végezték az 1930-as években (1. ábra). Zólyomi Bálint munkásságát Járainé Komlódi Magda teljesítette ki az 1960-as évektől kezdődő pollen analitikai vizsgálataival. A tudományág döntően hozzájárult a jégkorszakok klímafluktuációinak felismeréséhez, a lehűlések és felmelegedések során bekövetkező növényzeti változások mikéntjének felderítéséhez, és a fajok posztglaciális vándorlási útvonalainak felderítéséhez, különösen a holocén (utolsó 11700 év) interglaciális során. A pollen analízis továbbá



1. ábra Zólyomi Bálint (A, a pleisztocén és holocén vegetációdinamika első szisztematikus kutatója volt Magyarországon az 1920-1930-as évektől kezdődően; Járainé Komlódi Magda (B) ezt a munkát folytatta és kiteljesítette a negyedidőszaki pollen kutatásokat számos alföldi üledékgyűjtő pollenvizsgálataival.

fontos szerepet játszott a korai természetű növények detektálásában és a termelő gazdálkodás tájtalakító hatásának rekonstrukciójában.

A szélporozta növények, így a fák többsége, rengeteg pollent termelnek. Egy hektárnyi erdő pollentermelése milliárdos nagyságrendű. A szél hatására a pollenek viszonylagosan egyenletes eloszlásban érik el az üledékgyűjtők felszínét. A pollenösszetételre leggyakrabban vizsgált üledékgyűjtők a lápok (2. ábra), valamint az apró (néhány négyzetméternyi), közepes (néhány 100 méteres átmérőjű) és nagy (több kilométer átmérőjű) méretű taak (3. ábra).

2. ábra - 3. ábra

Egy terület hosszú évezredek során végbement vegetációfejlődésének értékeléséhez olyan üledékgyűjtő medencére van szükségünk, melyben a pollenek és spórák felhalmozódása folyamatos volt több évszázadon vagy több évezreden keresztül. A legtöbb kis és közepes méretű üledékgyűjtő medence néhány ezer vagy néhány tízezer évnyi üledéket tartalmaz. Több százezer évig aktív, és folyamatos bolygatatlan üledéket felhalmozó üledékgyűjtők ritkák a Föld felszínén (4. ábra). Európában vagy tektonikus mélyedésekben (pl. Tenaghi Philippon, Görögország), vagy vulkáni kráterekben (pl. Lago grande de Montichio - Olaszország, Lac de Bouchet - Franciaország) alakultak ki olyan lápok és tavak, melyek üledéke több százezer évet is lefed, és így a földtörténet utolsó szakaszának, a pleisztocén glaciálisok és interglaciálisok váltakozásának idejéről folyamatos képet ad.

4. ábra

A tavi üledékek pollen koncentrációja általában magas, 103-105 pollenszem köbcentiméterenként, ezért a pollen analízishez szükséges üledékmennyiség gyakran 1 cm³ vagy az alatti mennyiség.

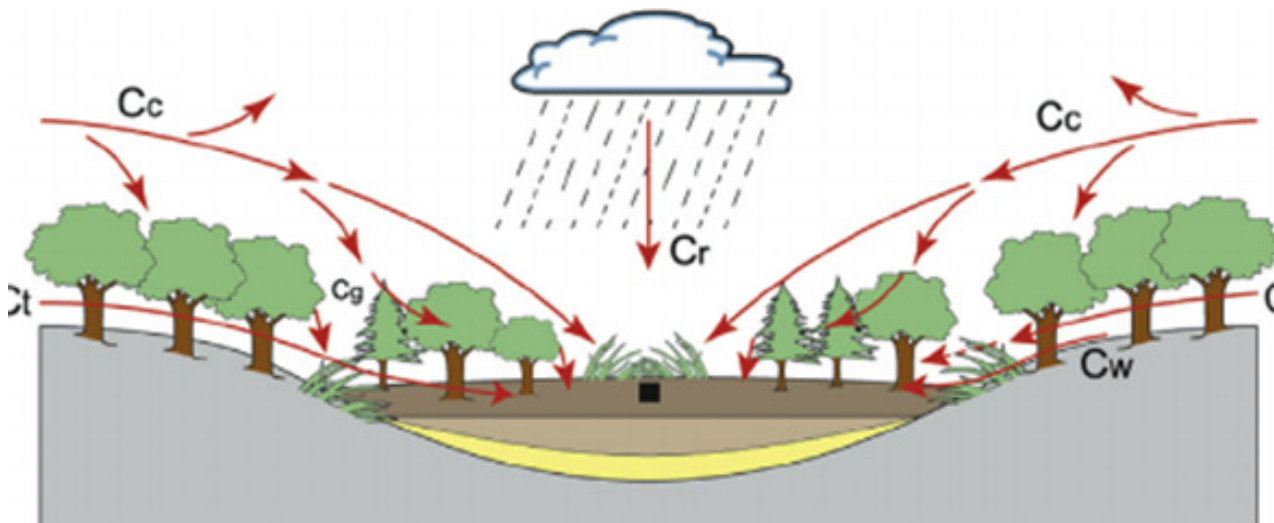
A módszer vitathatatlan előnyei mellett hátrányokkal is küzd. A vegetáció rekonstrukciója során ugyanis nagyon fontos, hogy képesek legyünk a tájban elhelyezni különböző növényzeti formációkat (gyakran csak társulás szint feletti egységeket), és észrevegyük azok mintázatbeli változását. Ahhoz, hogy egy ilyen tájkép jellegű rekonstrukciót el tudjunk végezni a pollen analízis módszerével egy néhány 10 km-es átmérőjű területről is több kis és nagy üledékgyűjtőből származó pollendiagramra van szükségünk. Mindez a pollen felhalmozódás törvényszerűségeivel, a polleneső homogenizáltságával magyarázható. Ahogyan arra Perntice már az 1980-as években felhívta a figyelmet (Prentice 1988), a pollen analízis rákfenéje az, hogy több egymástól eltérő vegetáció mintázat is képes

összességében azonos pollenésőt termelni. Ugyanakkor egy több tíz négyzetkilométernyi területen belül az üledékgyűjtők pollenösszetételét összevetve kiszűrhető a regionális homogén pollenéső komponens (Seppä 2007), és megállapítható a lokális-extralokális pollen komponens, mely az üledékgyűjtők körüli részletes vegetációrekonstrukciót lehetővé teszi. A másik fontos limitáció a lokális jelenlétre való következtetés pollen alapon. Természetesen, ha egy faj pollenje tömegesen fordul elő, akkor joggal következtetünk lokális jelenlétére, ugyanakkor ha ará-

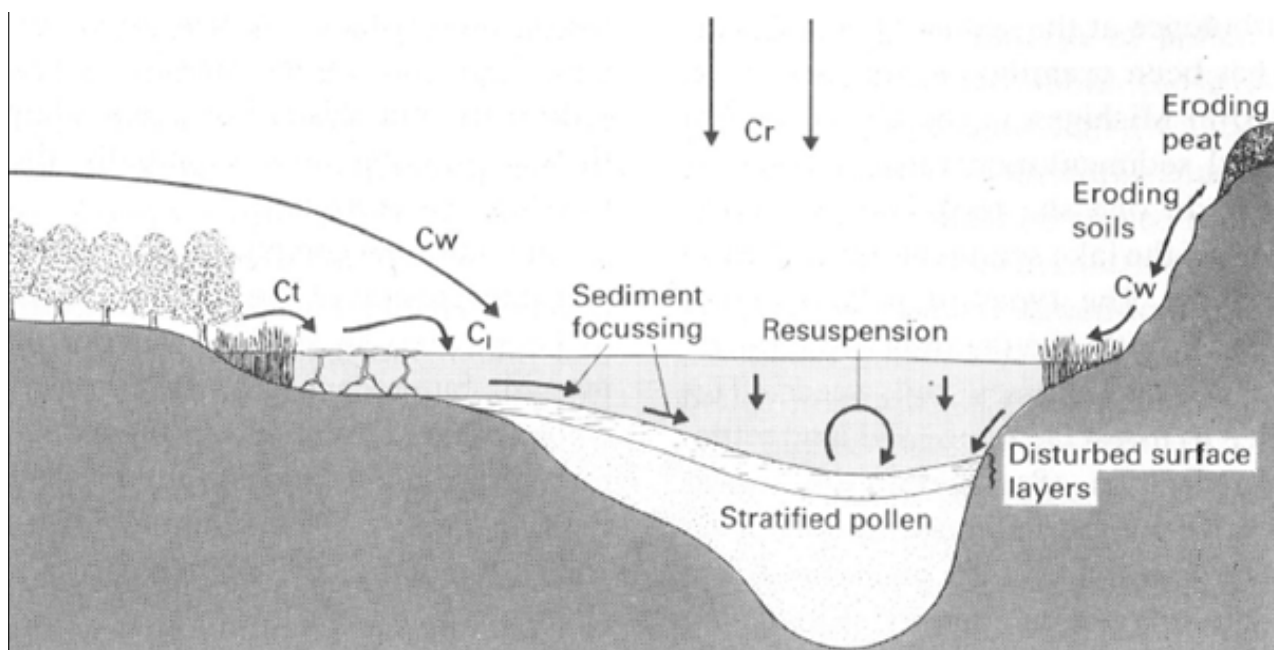
nyaiban kis mennyiségben fordul elő egy az két okból is lehetséges: 1) a regionális pollenésővel érkezett nagyobb távolságból; 2) lokális populáció mérete kicsi, és a faj relatíve kevés pollent termel. Manapság egy növényfaj lokális jelenlétére alacsony pollen koncentráció és százalékos érték mellett akkor következtetünk, ha ezt makrofosszília vizsgálatok is alátámasztják.

Alapfogalmak

A pollenek egysejtű mikroszkópi méretű (15–100 μ m) nö-



2. ábra Pollen akkulációs modell lápi üledékgyűjtő medencékben. A felszínre kerülő pollent a lápi vegetáció csapdázza, a kiülepedést követően a pollen már nem mozog. Cr : esővízzel kimosott távoli behordású komponens, Cc : lombkoronai komponens, Ct : törzs közötti komponens, Cw : vízzel szállított komponens, Cg : gravitációs komponens



3. ábra Pollen akkulációs modell tavi üledékgyűjtő medencékben. A vízfelszínre kerülő pollent a hullámzás és a tavi áramlatok hatására fókuszálódhat a medence bizonyos pontjain, általában a legmélyebb pontokon. A hullámzás és az áramlatok továbbá felkeverhetik a felszíni üledéket, ezzel homogenizálva a felszíni üledékretegeket.



4. ábra Néhány dél-európai hosszú idősort adó pollenszelvények földrajzi helyzete. A legújabb, napjainkban sok palinológus kutatónak munkát adó üledékszelvényt 2013-ban az Ohridi-tóból emelték ki német kutatók, pollen szelvénye az utolsó 500 ezer évet fedi le.

vényi szervek, melyek a nyitva- és zárwatermő növények hím gametofitonjait tartalmazzák. A spórák a harasztok és mohák hasonszőrű szervei, bár morfológiai felépítésükben és funkciójukban különböznek.

A szélbeporzású növények általánosságban sokkal több pollen terelnek mint a rovar beporzásúak. A vadkender egy hajtásán például kb. 500 millió pollen termelődik, míg egy erdei fenyő hajtáson kb. 8-9 millió pollen termelődik. A rovarporozta növények pollentermelése jóval kisebb mértékű, de itt is akadnak kivételek, pl. a hárs és a fűz sok pollent termel. Természetesen ezeknek a polleneknek a döntő többsége amennyiben nem használdik fel a női gametofiton megtermékenyítésére, a talajfelszínre érve elhal és lebomlik. Egy kis részük ugyanakkor a tavak és lápok anoxikus környezetében megőrződik. Természetesen a sejttartalom ezen esetekben is bomlik, ami viszont megmarad, az pollen sporopolleninből (kitinszerű, nitrogéntartalmú szerves molekula) felépülő ellenálló burka.

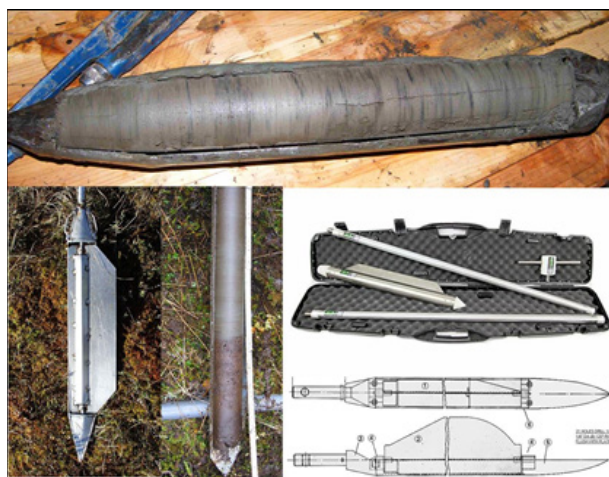
A pollen analízis első lépése – a mintavétel

A tavak és lápok anoxikus környezetében megőrződött polleneket üledékfúró berendezések széles skálájával mintázhatjuk. Lápok esetében leggyakrabban Orosz-típusú kézifúrót alkalmazunk (5. ábra).

5. ábra

Ez a fúrótípus 40-100 cm-es szakaszokban félhengeres mintát szolgáltat, ugyanakkor a robusztus fúrófej miatt két átlapoló mélységű furatra van szükség a fúrások illeszkedésénél fellépő bolygatás miatt.

Tavi üledékek esetében dugattyús fúrókkal dolgozunk, közülük legismertebb a Livingstone-típusú magmintavető. Ahogyan azt a 6. ábra mutatja ez a fúrótípus hengeres mintát ad, általában 4-15 cm átmérőjű fém vagy műanyag



5. ábra Az orosz típusú kézifúró felépítése és működése. A felső ábrán a magyar agyagos-közetlisztes üledékeken alkalmazott robusztusabb anyagból készült 40 cm hosszú és 7 cm átmérőjű félhengeres mintát adó Orosz-fúrót látjuk, a megmintázott üledék benne a kelet-magyarországi Kokadi-láp glaciális üledéke (kb. 20 000 éves). A kép összeállítás bal alsó negyedében tőzegmohalápokon alkalmazott Orosz-fúrókra látunk két példát. Ezeknek a szárnylapátja sokkal szélesebb, gyakran 1 méteres üledékszakaszok mintázására is alkalmasak. A jobb alsó negyedben egy kompakt, könnyen szállítható Orosz-fúrót látunk, alatta a klasszikus Orosz-fúrófej felépítését mutató rajzos ábrával.

csövekben történik a mintavétel, a dugattyú működési elvét szintén a 6. ábrán látjuk. Ez a fúrótípus biztosít a paleoökológiai, és ezen belül a pollen analitikai vizsgálatok számára legnagyobb térfogatú és legbolygatatlanabb üledékmintát. A 6. ábrán látunk példát varve (éves laminációjú) üledékek Livingstone fúrómagjára is, a képen jól látszik, hogy az éves lamináció szépen mintázható ebben az üledékmagban.

6. ábra

A fúrásmagok részletes leírása és fotódokumentációját követően a mintavétel pollen analízisre leggyakrabban 1-8 centiméteres üledékközönként történik, de a vizsgálat célja határozza meg a mintavételi sűrűséget, ez lehet



6. ábra Livingstone-típusú tavi fúróberendezés működés közben, és a fúró működési elve (bal alsó kép). A fúrót leggyakrabban csónakra vagy platformra épített állványzatról működtetjük, és a fúró fejlettebb változatai műanyag bélésű csőbe veszik a mintát, mely a fúrást követően flexsel kerül felnyitásra. A jobb alsó kép tipikus tavi furat mintát mutat.

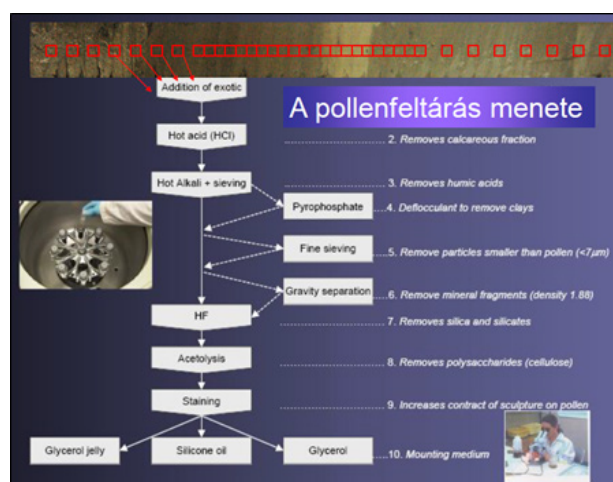
akár mm-es is. Szintén az üledék pollen koncentrációjától függően leggyakrabban 0,5-2 cm³ térfogatú részmintákat veszünk az üledékből, és ezeket a laboratóriumban vegyszerekkel kezelve bekonzentráljuk a mintákban a polleneket.

A minták laboratóriumi feltárása

A pollen feltárás menetét mutatja a 7. ábra. Az első lépés mindig a karbonátok eltávolítását szolgálja, 10 %-os sósavat adunk a mintákhoz, és ennél a lépésnél kerül a mintákhoz a pollenkoncentráció meghatározását segítő jelzőspóra, mely Lycopodium (korpafű) tabletta vagy Eucalyptus pollen koncentrátum. A lényeg, hogy általuk ismert mennyiségű jelző spórát vagy jelző pollent adunk a mintákhoz, melyeket a pollenek mellett számolunk a minták elemzése során, majd aránypárok segítségével állapítjuk meg a minták össz pollen koncentrációját, és az egyes taxonok pollenkoncentrációját.

Ezt követően a mintákat 10%-os NaOH vagy KOH oldattal kezelve oldjuk a humin anyagokat, majd leggyakrabban 180 mikronos lyukátmérőjű szűrőn eltávolítjuk a makrofosszília komponenseket (a szita lyuk mérete lehet kisebb is, 125 és 150 mikronos szitákat is alkalmazhatunk, előbbinél a nagyméretű légszakos pollenek esetenként elveszhetnek). A szűrést leggyakrabban hidrogén-fluoridos (HF) kezelés követi. Ez a vegyület a szilikát összetevőket távolítja el (homok, kőzetliszt és agyag frak-

ció). Előtte és utána is sósavas kezelést alkalmazunk savanyítás és HF-es kezelés során keletkezett csapadék visszoldására. Ezt követi a cellulóz vázú szövet maradványok oldatba vitele az acetolízis segítségével. Ez áll egy tömény ecetsavas kezelésből, melyet ecetsav-anhidrid:kénsav 9:1 arányú keverékével történő kezelés követ, és egy újbóli tömény ecetsavas kezelés zár le. Vizes mosást követően gyakran ezen a ponton szűrjük át a mintákat a 10 mikronos hálón ultrahangos vízfürdőn rázatva a szűrőt. A 10



7. ábra A pollenfeltárás menete. Erős savakkal (HCl, HF, ecetsav) és lúgokkal (NaOH) egyaránt dolgozunk a feltárás során, az oldósós lépések végén a mintákat laborcentrifugáljuk, majd a felülúszót eltávolítjuk. A mintákat szűrjük is, leggyakrabban a 180 és 10 mikron közötti mérettartományt tarjuk meg. A mikroszkópos vizsgálathoz a mintákat szilikon olajban vagy glicerinben tároljuk.



8. ábra Tavi üledékből kinyert pollenminták a feltárás végeztével. Eppendorf csövekben várják a mikroszkópi elemzést.

mikron feletti mintarészt tartjuk meg és festjük szafraninnal, víztelenítjük etanollal, majd leggyakrabban glicerinbe visszük át az ekkor már rendkívül koncentrált de kis mennyiségű pollen mintát (8. ábra). Mivel a glicerinben a pollenek a tárolás során fokozatosan duzzadnak, ezért etanol helyett terc-butanollal víztelenítve a mintákat szilikon olajba is ágyazhatjuk a polleneket. Ez a művelet bár kissé körülményes (ha víz marad a mintában a pollenek zárványszerűen a vízcseppekben maradnak), de mindenképpen tartósabb pollen preparátumot biztosít, melyben a pollen szemek nem duzzadnak a tárolás során.

A minták mikroszkópi elemzésének lépései

A pollenek azonosításakor figyelni kell a pollen méretére és alakjára, a csírányílások alakjára, számára és elhelyezkedésére, valamint a pollenfal szerkezetére és díszítettségére. A pollenek azonosítása species (faj), genus (nemzetség) illetve familia (család) szinten lehetséges, attól függően, hogy a növényfajnak hány közeli rokona van, hiszen azok pollenjei is igen hasonlóak (Félegyházi 1997; Moore et al. 2001; Beug 2004).

A mikroszkóp alatt a mintákban nemcsak polleneket, de mikropernyéket, moszatokat, spórákat és más növénymaradványokat is láthatunk, amelyek sokszor szintén fontos információt adhatnak a környezetről. A 9. ábra a pollen lemezen található mikrofosztiliákról ad képes áttekintést.

9. ábra

A pollen diagram

A pollen diagramban a különböző mélységből előkerült pollenszemeket ábrázoljuk. Ezt megtehetjük úgy, hogy

relatív pollendiagramot készítünk, amikor a minta összpollenszáma = 100 %, és az egyes fajok előfordulási gyakoriságuk (%) alapján kerülnek ábrázolásra. Lehet koncentráció és akkumulációs ráta diagramokat is készíteni, amikor a ténylegesen megszámlolt virágporszem szám és jelzőspóra szám alapján az adott taxon koncentráció értékét határozzuk első lépésként a mintában, majd ezt követően a térfogatossá mintát által lefedett időtartomány ismeretében meghatározhatjuk az 1 cm²-re 1 év alatt hulló pollenek mennyiségét is. Ez utóbbi lesz az adott pollen taxon akkumulációs rátája, mely azonos üledék tafonomia és pollengyűjtő terület esetén arányos az adott taxon populáció méret változásával (10. ábra).

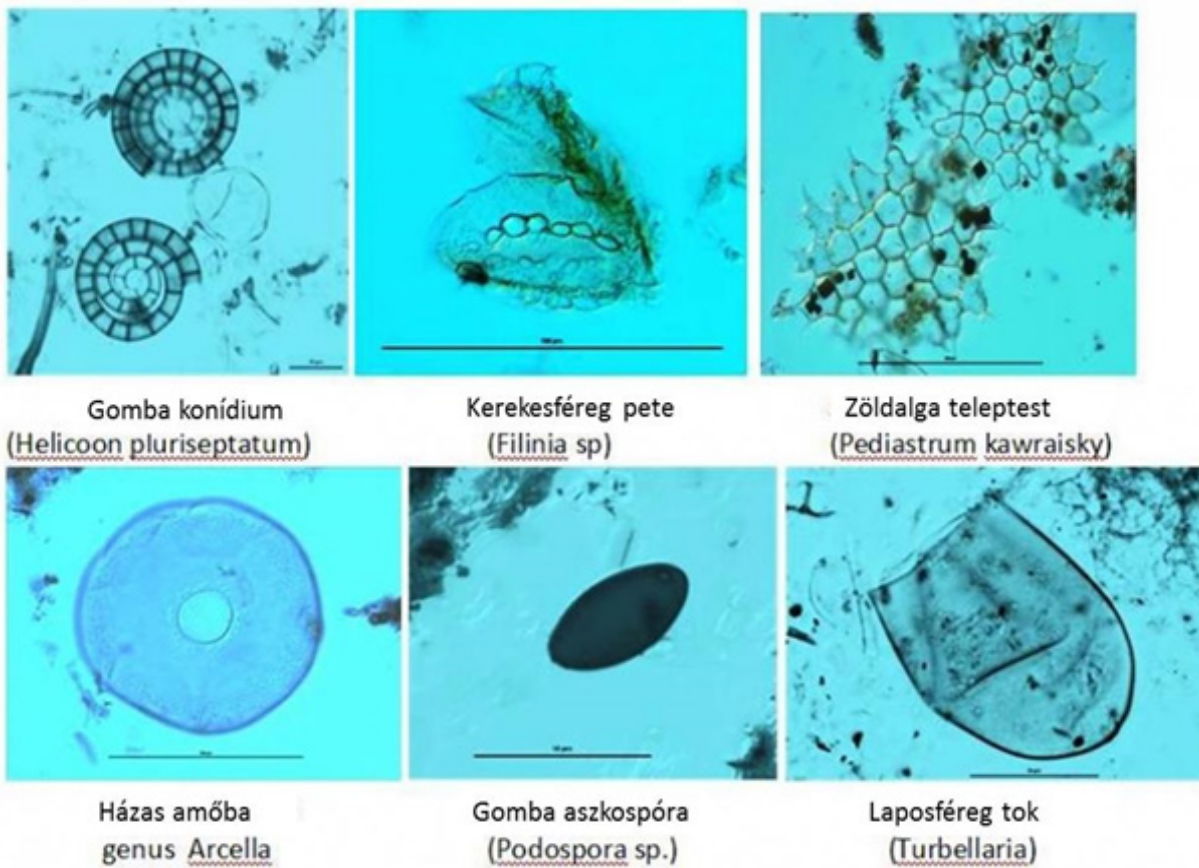
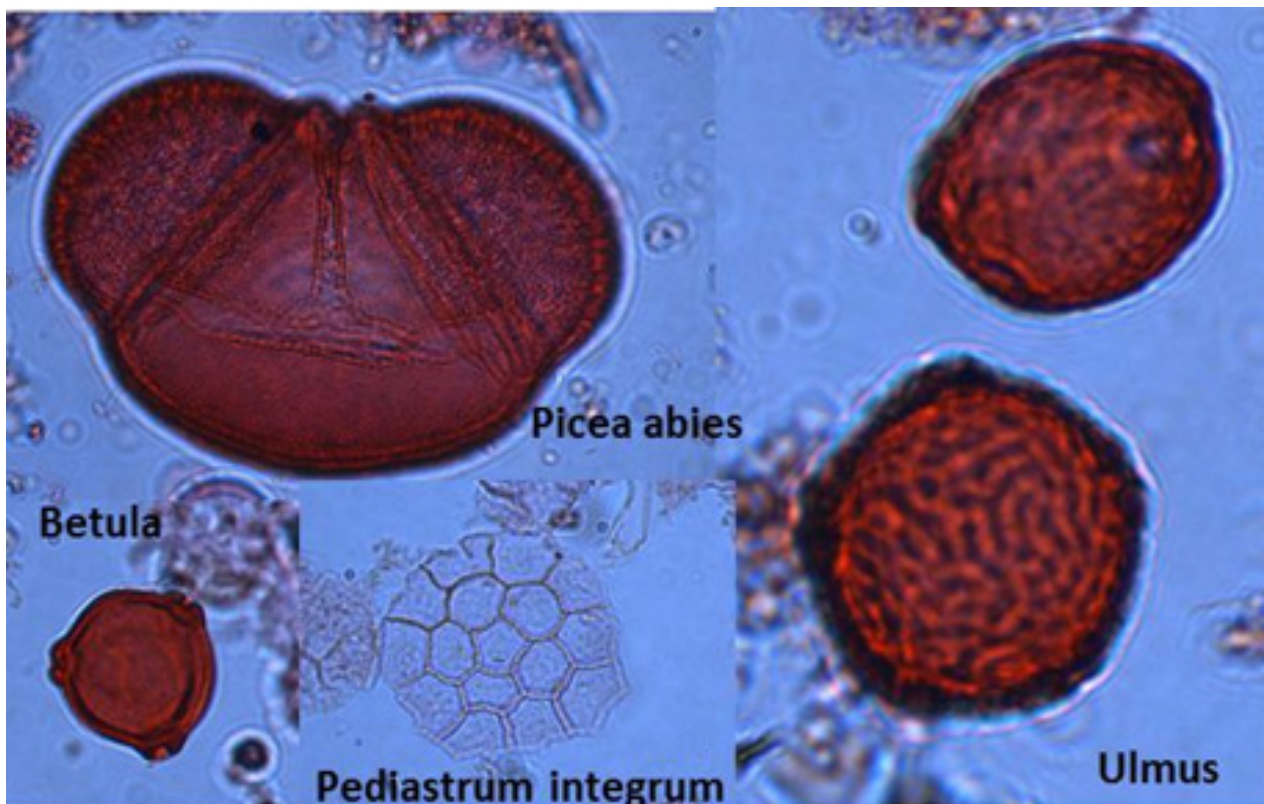
A diagramban célszerű csoportosítani a fajokat aszerint, hogy fás (AP = Arbor Pollen) vagy lágyszárúak-e (NAP = Non Arbor Pollen), illetve hogy vízi (Aqua) növények-e. További csoportosítás is végezhető a fajok élőhelye alapján, így a társulások könnyebben rekonstruálhatók.

10. ábra

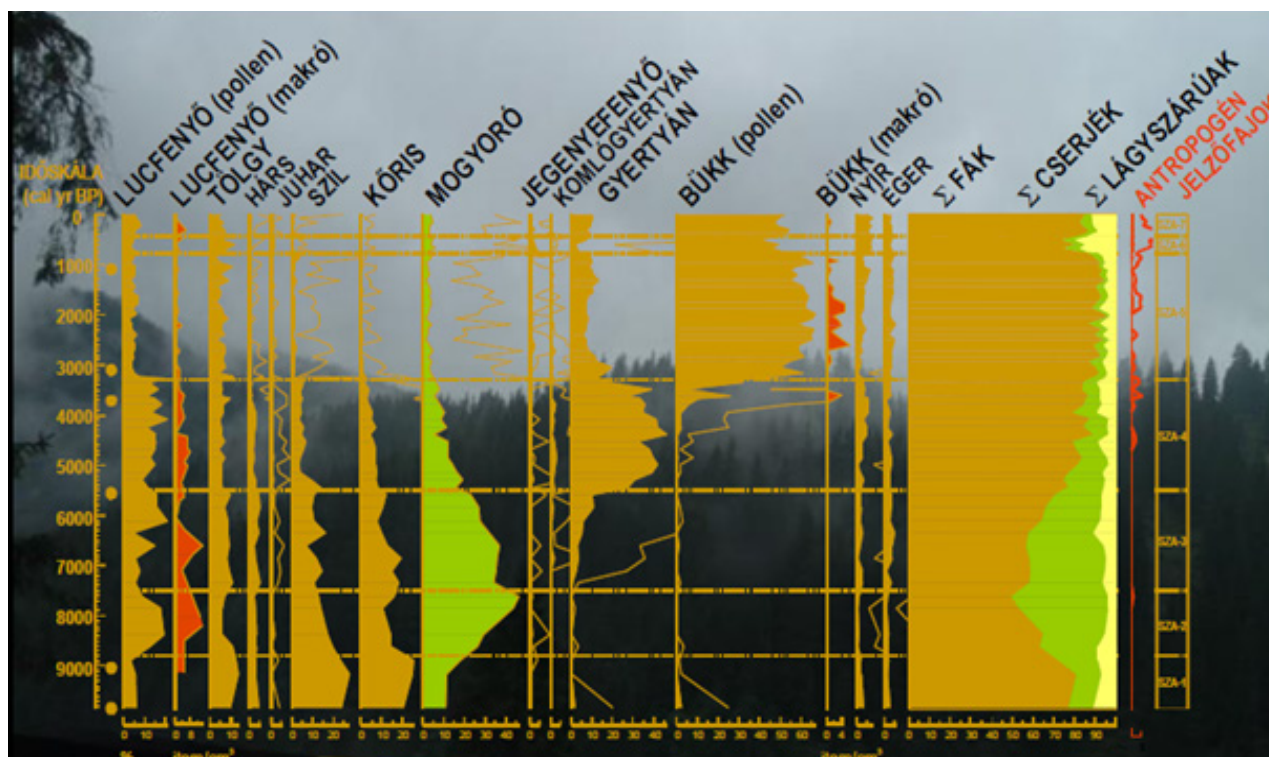
A pollen analízis alkalmazása a régészetben

A növénytakaróra gyakorolt emberi hatás a paleoökológiai/ paleoetnobotanikai/ archeobotanikai kutatások kedvelt területe volt már az 1960-as évektől kezdődően. Az ember által alakított környezet növénytakarójának rekonstrukciója a korai klasszikus tanulmányokban növényi makrofosztilia vizsgálatokon alapult (termések, magok, levélmaradványok vizsgálata), melyet gyakran egészítettek ki a régészeti ásatások közelében elhelyezkedő tavakból vagy lápokból származó pollen vizsgálatokkal.

Bár a pollen analízis első alkalmazási területe a pollen-



9. ábra A pollen lemezeken fellelhető leggyakoribb mikrofossziliák



10. ábra Szimplifikált százalékos pollen diagram a Keleti-Kárpátokból. Szent-Anna tó, Csomád hegycsoport, 950 m tszfm. A pollenspektrumok ábrázolása időskála (kalibrált BP) mentén történt. Az időskála melletti pontok a radiokarbon kormeghatározások helyét jelölik. A szaggatott vízszintes vonalak a lokális pollen együttes zónákat mutatják.

összetételbeli változásokon alapuló klímarekonstrukció volt, Firbas már 1937-ben felismerte, hogy a gabonafélék pollenje elkülöníthető más fűféléktől, és ezt a felismerést felhasználva Iversen 1941-ben első alkalommal különített el pollen diagramjaiban gabonatermesztési periódusokat Dániában, mely az irodalomba Iveren 'landnam' fázisai-ként vonult be (11. ábra).

11. ábra

A landnam teória publikálása felkeltette más pollen analitikusok és régészek érdeklődését az emberi hatás történetének vizsgálatára, és sorozatosan jelentek meg e témában olyan tanulmányok, melyek ismert őskori telepektől kisebb nagyobb távolságra lévő lápok és tavak holocén üledékén készültek főként Közép és Észak-Európában. Németországban Karl-Ernst Behre (1980) munkássága, Skandináviában pedig Björn E. Berglund (1969) munkássága emelhető ki a 20. században nagy emberi hatás kutató paleoökológusok köréből (12. ábra). Az 1970-es és 80-as években óriási előrelépés történt a pollenek taxonómiai meghatározása terén. Sorra jelentek meg az ÉNY-Európai flóra pollentípusait növény családonként bemutató, határozókulccsal ellátott atlaszok (Punt et al. 1976-2003), majd a kilencvenes évektől a teljes európai pollenflórát feldolgozó pollen atlaszok (Reille 1992-1998) (utóbbiak határozókulcs nélkül). Ez lehetővé tette a lágyszárú növények pontosabb határozását, és ezzel egyide-

jűleg az emberi hatásra megjelenő legelő, rét, kaszáló növényközösségeinek pontosabb jellemzését/felismerését, valamint a gabonatáblákat kísérő gyomok határozását. Az 1960-as évek óta a pollen analízis nagyon gyakran jelenik meg a régészeti ásatásokhoz kapcsolódóan szisztematikusan együtt értelmezve a régészeti objektumból előkerült makrofossziliák vizsgálatával együtt emberi hatást vizsgáló tanulmányokban.

Észak Amerikában a pollen analízisre alapozott vegetációrekonstrukciók Margaret Davis munkásságának köszönhetően az 1970-es évektől indultak ugrásszerű fejlődésnek. Davis az állomány-palinológia területén alkotott nagyot. Kis méretű üledékgyűjtők sorozatát vizsgálat egy tájon belül, így a mikro domborzat okozta kisebb vegetációkülönbségeket is képes volt mennyiségileg megjeleníteni. Különösen az 1980-as évektől nagy hangsúlyt fektetett a növényzetet érő emberi hatás tanulmányozására is.

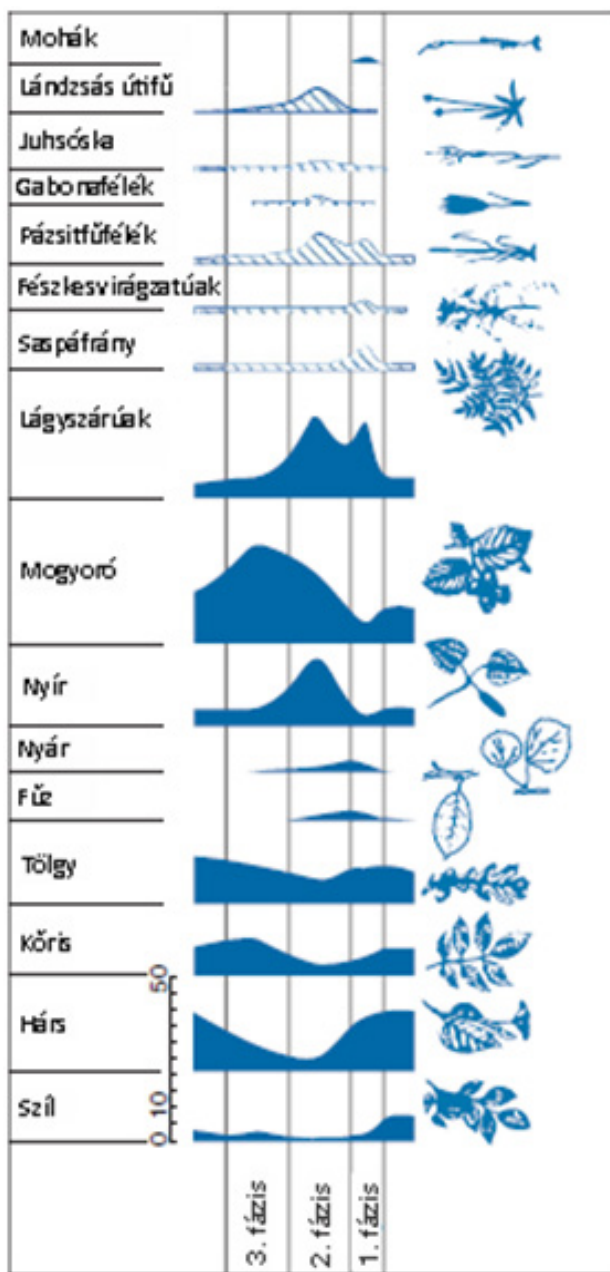
Milyen kérdéseket vizsgál a régészeti kutatásokhoz kapcsolódó pollen analízis?

A táj kulturális változásokhoz köthető átalakulásának kérdése a régészeket régóta foglalkoztatja, ezért a régészeti tárgyú pollenvizsgálatok során gyakran központi kérdés a kultúrtáj változása évszázados vagy akár évezredek léptékben. Gyakori kérdés, hogy milyen növényeket használtak fel a területen élő emberi kultúrák (pl. kará-

mépítéshez, tűzifának, épületfának, minek a természetét gyűjtögették, mely fákat/cserjéket hasznosítottak sarjvágással), és milyen volt a településeket övező növényzet, ez hogyan változott? A településtől milyen távolságokat jártak be a növényzet hasznosítása végett a telep lakói?

Emberi hatás és klímaváltozás

A klímaváltozás erdőösszetételre gyakorolt hatásainak a szétválasztása az emberi eredetű erdőösszetétel bolyga-



11. ábra A neolitikus földművelés fázis általánosított pollen diagramja a 3 jellemző fázisával: (1) első erdőirtási fázis, fák pollenszázalékainak csökkenése (különösen szil), lágyszárú növények terjedése; (2) erdőirtás kőbaltával és erdőtüzek, a hárs pollenjének erőteljes csökkenése, csökkenés a kőris és tölgy mennyiségében, emberi hatást (főként taposást) jelző lágyszárú növények pollenjeinek százalékos emelkedése (lándzsás útifű, első gabonapollen); a fűz (*Salix*) és nyár (*Populus*) pollenje kisebb maximumot ér el, melyet a nyír csúcsa követ; (3) a nyír és a taposást jelző gyomok csökkenése, mogoró pollen csúcsa, a növényzet regenerálódásának fázisa.

tás hosszú távú hatásaitól nem könnyű feladat. Egy-egy domináns faj cseréje a pollendiagramban, különösen a közép és késő holocén pollen szelvényekben nehezen eldönthető, hogy antropogén eredetű-e vagy a makroklíma változása okozta. ÉNy-Európában két klasszikus példa, máig is vitatott eset ismeretes erre a holocénből. A bükk (*Fagus sylvatica*) Észak-Európában csak a késő-holocénben kezd el terjedni, és sok kutató jutott arra a következtetésre, hogy az eredetileg lucfenyő dominanciájú erdőkben a bükk terjedését az emberi beavatkozás segítette elő, a klímáértelmezésével, melyben a bükk a neki megfelelő klímán erőteljesebben tudott kolonizálni, mint erdőirtás nélkül. Egy klímáértelmezés (zárótársulás) nagyon stabil ökoszisztéma, melyben egy új faj megtelepedése a környezeti tényezők lassú változása esetén is csak akkor tud végbemenni, ha az újonnan megtelepedni kívánó faj, melynek a környezeti feltételek a változás hatására szintén megfelelővé váltak, természetes vagy mesterséges lélekben kolonizál. Természetesen az emberi hatást helyettesítheti erdőtüz, rovarkár és bármilyen egyén drasztikus változást indikáló természeti jelenség, a bükk terjedésénél azonban a kutatók az emberi eredetű erdőirtásokhoz egyértelműen kötni tudják a bükk gyors terjedését a késő holocénben (3000 év után) a Skandináv félszigeten.

A másik klasszikus példa a közép holocén szilpollen csökkenés, mely ÉNy-Európa pollendiagramjaiban széles körben megfigyelhető, és sokan emberi hatásnak vélik, mások rovarkártevővel magyarázzák.

A Kárpát-medencében természetesen más fajok kapcsán merül fel az emberi hatás lehetősége. A Sümegi Pál (Sümegi 2012) köré épülő tudományos iskola a mogoró (*Corylus avellana*) kb. 11000 évtől egészen 7000 évig tartó magas pollenszázalékait mezolitikus emberi hatásnak tulajdonítja. Értelmezésükben a mogoró terjedését a gyakori erdőtüzek segítették elő, melyet a mezolitikus népesség a vadászathoz, vadcsapások kialakításához használt. A szegélyek kialakítása egyben bőségesebb mogoróterméshez is vezetett. Erre a feltételezésre egyértelmű bizonyítékaink a pollen diagramokban nincsenek. Az elmélet ellen szól, hogy a mogoró az egész közép-kelet európai térségben hasonló, domináns pollen a diagramokban 10200 és 7000 évek közt, a térségi erdőtüztrendek pedig tengerszint feletti magasságtól függetlenül a fiatal driasztól egészen 8000-7000 évig nagyon magasak, mely összefügg a kora holocén magas nyári inszolációjával (napból érkező sugárzás). Ezek értelmében a kora holocén erdőtüzek nem csak a síkságokat és dombvidékeket érintették régióinkban, ahol a neolitikus népesség vadászott, hanem a Kárpátok 1200 méter fölé eső régióit is, ahol mogoró nem nőtt.

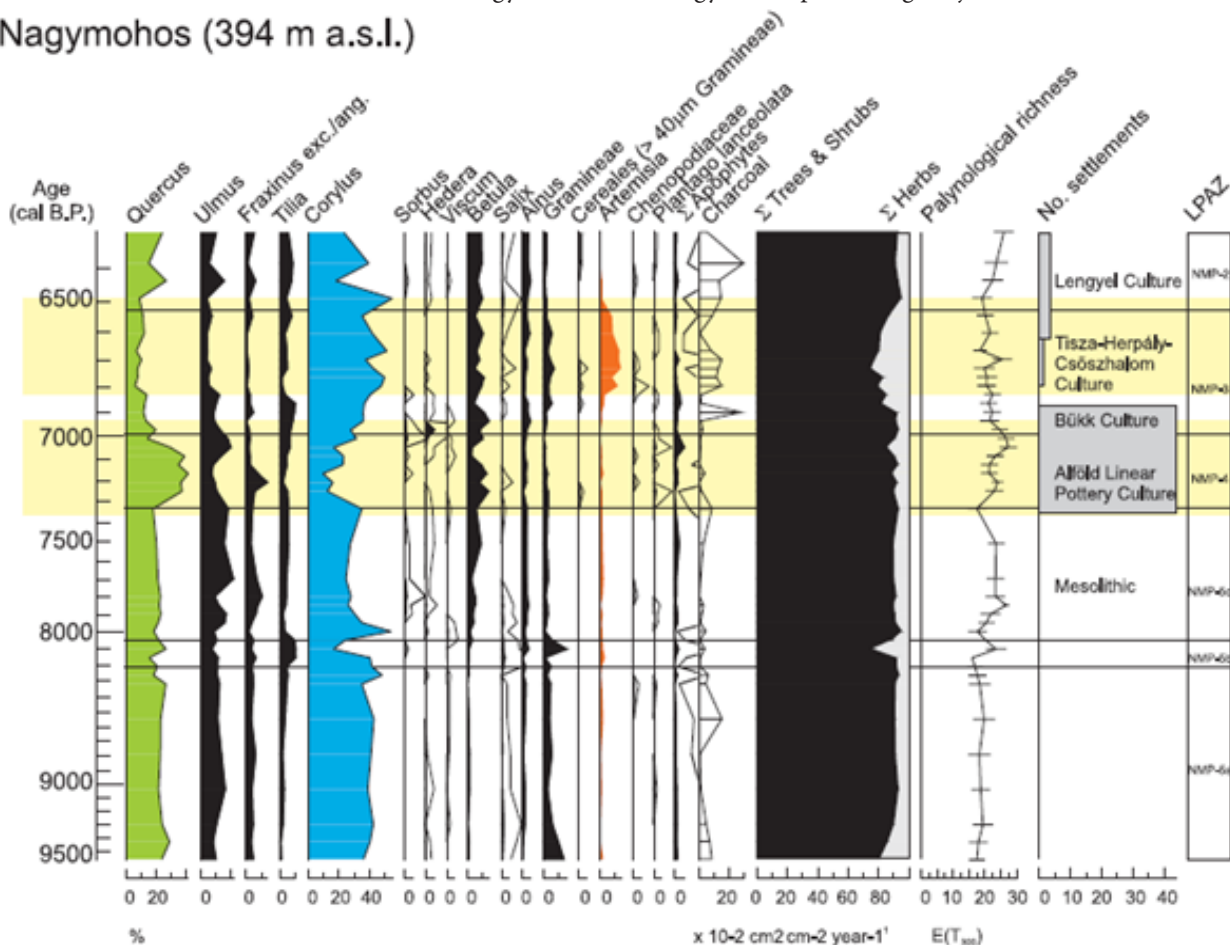
Mindezek ellenére a mezolitik népesség erőégetése kétséget kizárólag jelen volt a tájban, kérdés viszont hogy a pollendiagramokban megfigyelhető jelenségek milyen mértékben a makroklima és milyen mértékben az emberi beavatkozás termékei.

A Nagymohoson a Neolitikum idején több pollendiagramban is megfigyelhető a tölgy pollenek néhány száz évig tartó előretörése a mogoróval szemben 6800-7300 évek közt (13-14. ábrák). A síkvidéken ez az alföldi vonaldíszes kultúra, a hegyvidéken a bükk kultúra megtelepedésének idejére esik, és a kísérő százalékos pollen összetételbeli változások alapján ezt az erdőszerkezeti átalakulást nagy valószínűséggel a mogoró és részben a szilfa rendszeres sarjvágásos hasznosítása magyarázza. A sarjvágás során a fákat többször visszavágják, és ennek következtében évekig szünetel a virágképzés. A friss hajtások, különösen a mogoró esetében alkalmasak lombtetetésre, a néhány éves hajtások pedig karámépítéshez kiváló egyenes vesszőket biztosítanak. Ha rátekinünk a Nagymohos

pollenszelvényére (13. ábra), akkor abban a kőris és tölgy pollenek százalékos emelkedését látjuk ebben az időszakban, ami jól magyarázható a növekvő hozzáférhető fény mennyiség hatására fokozottabb kőris- és tölgyvirágzással. A mogoró kedveli az erdőszegélyeket, a vizsgált két vizes élőhely partján feltehetőleg jól megközelíthető állományai nőttek ebben az időszakban, mely a neolitikus népesség számára jól hasznosítható volt. Az emberi beavatkozásra utaló bizonyítékok a két terület vegetációváltozásának közel egyidejűsége, a neolitikus települések számának növekedése ebben az időszakban, és a jelenség korlátozódása néhány évszázadra. Hasonló sarjvágásos erdőkielérésre pollen analitikai bizonyítékokat más pollenszelvényekből is ismeretesek. Magyarországon például a Siroki-láp neolitikus és rézkori rétegeiből, ÉNy-Európában pedig főként neolitikus és vaskori pollen szelvényekből. Nagyon sok esetben a mogoró az elsődlegesen érintett fafaj.

A Nagymohos pollendiagramjában 6500-6800 évek közt

Nagymohos (394 m a.s.l.)



13. ábra A legfontosabb fásszárú és légyszárú pollentípusok százalékos pollen diagramja a Putnoki-dombságból származó Nagymohos tőzegmohaláp pollen diagramjában (Magyarai et al. 2012), és a lát 50 kilométeres körzetében talált neolitikus régészeti telepek száma. A Nagymohos az Északi-középhegység dombvidéki régiójában jelenleg gyertyános tölgyes erdők övezte tájban fekszik, a terület csapadéokban gazdag, a kontinentális klímahatás erős. Quercus: tölgy; Ulmus: szil; Fraxinus exc./ang.: magas kőris és pannon kőris; Tilia: hárs; Corylus: mogoró; Sorbus: madárberkenye; Hedera: borostyán; Viscum: fehér fagyöngy; Betula: nyír; Salix: fűz; Alnus: éger; Gramineae: fűfélék; Cereales (> 40 µm): gabonafélék; Artemisia: üröm; Chenopodiaceae: libatopfélék; Apophytes: a természetes növénytakaróban is előforduló, de emberi bolygatásra elszaporodásra hajlamos légyszárú növények; Charcoal: mikropertnye; Trees & Shrubs: fák és cserjék; Herbs: légyszárúak; Palynological richness: palinológiai diverzitás; No. settlements: települések száma; LPAZ: lokális pollen együttes zónák.

ismételten erős emberi hatás figyelhető meg, mely ezúttal a teljes erdőborítottság mértékének csökkenését is eredményezte. A leggyakrabban legelés hatására elszaporodó ürmök (*Artemisia*) pollen százalékanak emelkedését látjuk, amit a tölgy, szil és kőris csökkenése kísér. Ebből arra következtethetünk, hogy a láp környezetében erdőirtások történtek az egyébként kis térségbeli településszámmal bíró késő-neolitik Tisza-Herpály-Csőszhalom kultúra idején, ami a közép-neolitik sarjvágásnál jóval drasztikusabb és szembeötlőbb hatást gyakorolhatott a helyi erdőkre, és a táj markánsabb átalakulását hozta. A gabonapollenek növekvő mennyiségéből arra következtethetünk, hogy a közeli völgyekben a kiirtott erdők helyén szántóföldeket hoztak létre (ez egyébként a Bükk kultúra idején is látható hatás, csak kisebb mértékben). A mikroporanyag tartalom emelkedéséből pedig azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a térségben a tölgy-szil dominanciájú erdőket égetéses erdőirtással pusztították.

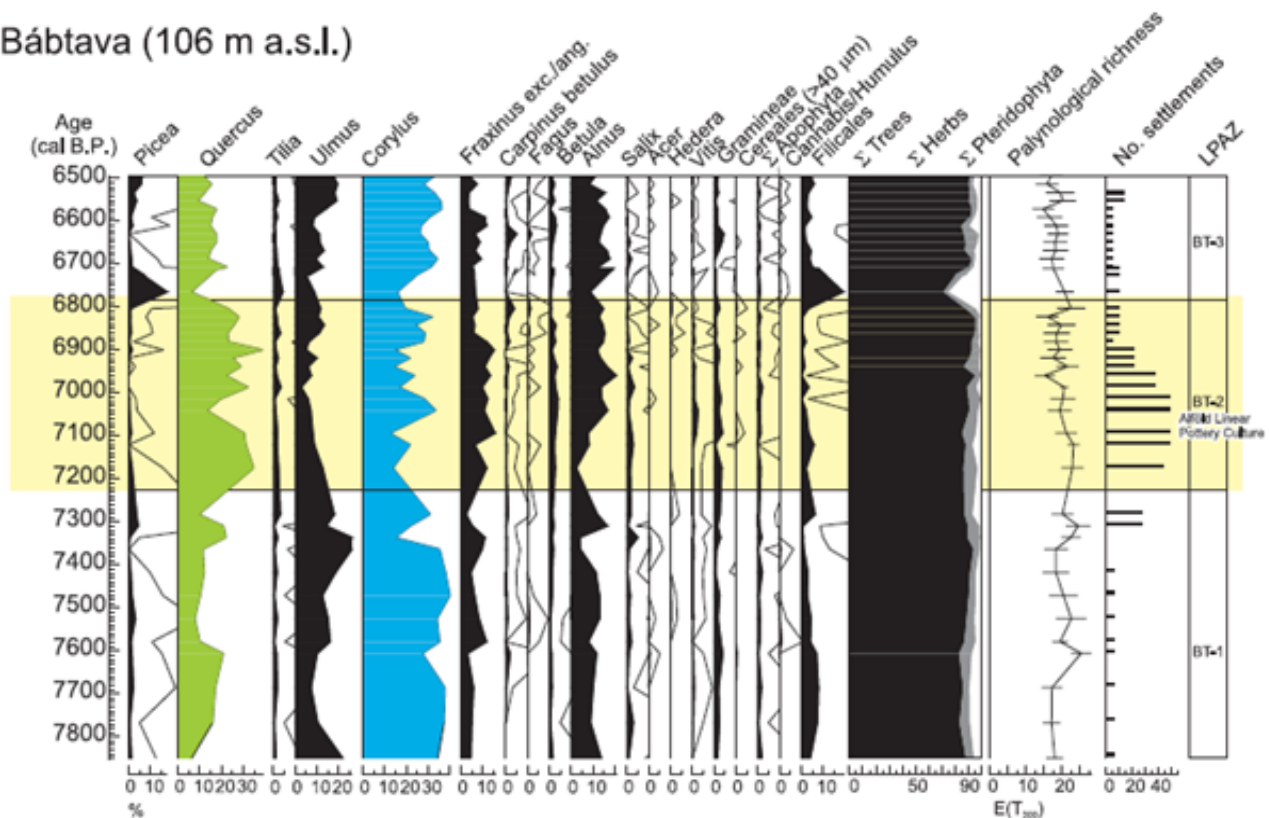
13. ábra

14. ábra

Emberi hatás és természetvédelem

Egy táj kultúrtörténetének ismerete, benne a természetes növénytakaró emberi beavatkozások sorozatán keresztüli átalakulás történetének ismerete értékes információkat szolgáltat a természetvédelem számára. A konzerváció biológusok és természetvédelmi döntéshozók körében egyre értékesebb egy-egy táj hosszú-távú történeti adatsorának ismerete. Amikor olyan kérdésekben kell döntést hozniuk, hogy hogyan állítsák vissza a természet közeli növénytakarót, vagy pl. milyen növényzeti formációnak van esélye hosszútávon emberi beavatkozás nélkül fennmaradnia az adott tájban, akkor a növénytakaró változásának évszázados/évezredes képe fontos kiindulási pontot jelenthet (pl. Bradshaw és Hannon 2004). Szükséges-e például fenntartani a rendszeres kaszálást a biodiverzitás megőrzése érdekében például lágyszárú dominanciájú kaszálóréteken? Milyen tájhasználat a legoptimálisabb (égetés, legeltetés) ahhoz hogy egy meglévő erdőszerkezet/erdőösszetétel hosszútávon fenntartható legyen. Ilyen és ehhez hasonló kérdések megválaszolása esetén jön szóba a táj hosszú-távú történetének és benne a növényta-

Bábtava (106 m a.s.l.)



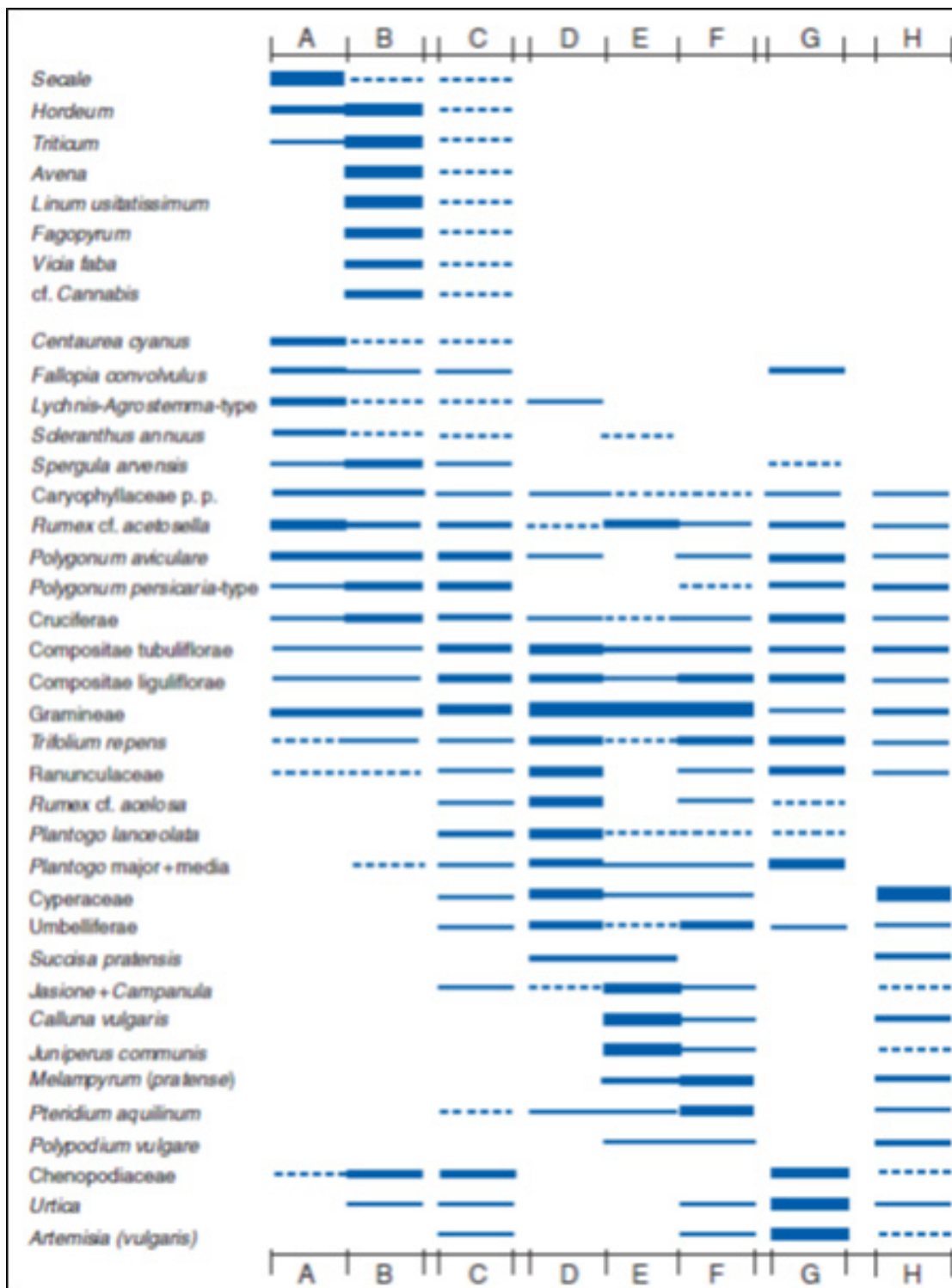
14. ábra A legfontosabb fászszerű és lágyszárú pollentípusok százalékos pollen diagramja a Beregi-síkról származó Bábtava pollen diagramjában (Magyarai et al. 2012), és a holt-meder 50 kilométeres körzetében talált neolitik régészeti telepek száma. A Beregi-sík a nagyalföld észak-keleti, legcsapadékosabb, erősen kontinentális klímájú csücske. *Picea*: lucfenyő; *Quercus*: tölgy; *Tilia*: hárs; *Ulmus*: szil; *Corylus*: mogyoró; *Fraxinus exc./ang.*: magas kőris és pannon kőris; *Carpinus betulus*: közönséges gyertyán; *Fagus*: bükk; *Betula*: nyír; *Alnus*: éger; *Salix*: fűz; *Acer*: juhar; *Hedera*: borostyán; *Vitis*: vadszőlő; *Gramineae*: fűfélék; *Cereales* (> 40 µm): gabonafélék; *Apophyta*: a természetes növénytakaróban is előforduló, de emberi bolygatásra elszaporodásra hajlamos lágyszárú növények; *Cannabis/Humulus*: vadkender/ komló; *Filicales*: harasztfélék egy csoportja; Σ Trees: fák; Σ Herbs: lágyszárúak; Σ Pteridophyta: harasztok; Palynological richness: palinológiai diverzitás; No. settlements: települések száma

ró átalakulását mozgató rugóknak (sokszor ezek emberi eredetűek) az ismerete.

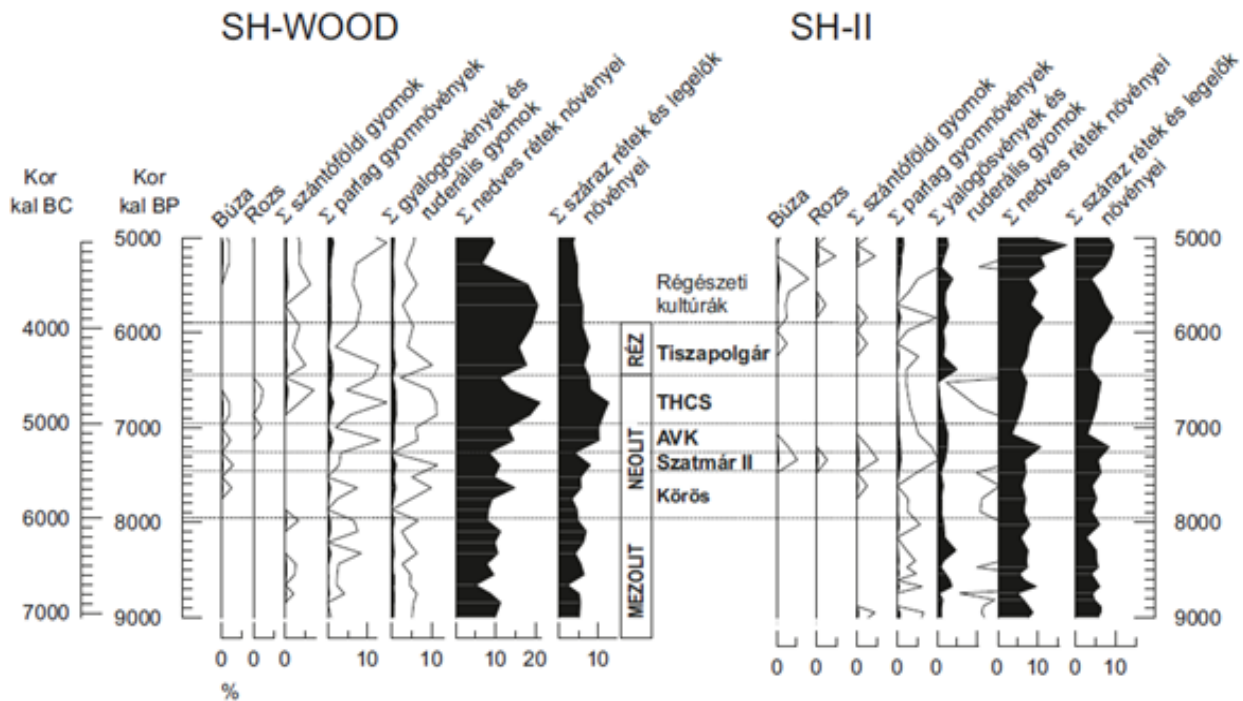
A pollen adatok alapján rekonstruálható emberi hatás módszerei

Indikátor faj szemlélet

Ez a szemlélet a növényfajok modern ökológiáján alapszik. Sok növény érzékeny a talaj milyenségére, így használható például talaj-jelző indikátor növényként, de beszélhetünk szűk hőtűrésű növényekről is, és természetesen vannak olyan növényfajok melyek elszaporodásának kedvez a legeltetés, az erdőirtás vagy a kaszálás. Ebben a megközelítésben a modern analógiákból indulunk



15. ábra A pollen diagramokban megfigyelhető főbb antropogén jelző taxonok és előfordulásuk különböző mezőgazdasági kultúrákban ÉNy-Európában (az Alpoktól északra). A gyakoriság a növényre és nem a pollenjére vonatkozik! Behre (1981) alapján. A: őszi gabonák; B: tavaszi vetésű gabonák és gyökérnövények; C: tarló; D: nedves rét és legelő; E: száraz rét és legelő; F: legeltetett erdő; G: ösvények és ruderális területek; H: természetes növénytársulások.



16. ábra A pollen diagramokban detektált legfontosabb természetű növények és nekik megfelelő pollen típusok a Kárpát-medencében

ki. A pollenek mennyisége másodlagos, inkább a jelenlét vagy a hiány amiből következtetéseket vonunk le. Ugyanakkor az fontos, hogy ezek az indikátor fajok tartósan, hosszabb ideig jelen vannak-e a pollenspektrumban vagy csak epizódikusan fordulnak elő. Behre 1981-ben publikálta ezen az indikátor faj megközelítésén alapuló tanulmányát az emberi hatást jelző pollen taxonokra vonatkozóan (15. ábra).

15. ábra

Ezt a megközelítést nagy sikerrel alkalmazták a 80-as 90-es években a különböző tájhasználati formák elkülönítésére, az emberi hatás mértékének változását is képesek voltak ezzel a módszerrel becsülni, így vált az indikátor-faj megközelítés fokozatosan szemi-kvantitatív módszerré. Ennek során az antropogén jelzőfajok pollenjeit összegezték és együttesen ábrázták. A 16. ábrán egy ilyen szemi-kvantitatív megközelítést látunk az Észak-Alföldön, Polgár-Tiszagyulaháza térségében. A Tisza-árteret övező pleisztocén kiemelkedett ártéri felszíneken gyakoriak a prehisztórikus telepek, különösen a közép- és késő-neolitikumból.

16. ábra Különböző lágyszárú növénytársulásokat és emberi tájhasználati formákat indikáló pollen típusok kumulatív görbéi a Tiszagyulaháza közelében elhelyezkedő Sarló-hát pollendiagramjainak 5000 és 9000 évek közé eső szakaszán a régészeti korbeosztás feltüntetésével. SH-WOOD és SH-II két külön fúrás a sarló-háti Tisza

holt-meder két pontján.

Az emberi hatást jelző pollentípusok

Elsődleges emberi hatást jelző fajoknak a természetű növényeket (főként gabonákat) és a gabonátáblákat kísérő gyomnövényeket tekintjük. A 17. ábra a Kárpát-medencében gyakori természetű növényeket és a nekik megfelelő pollen típusokat mutatja, míg a 18. ábrán a gabonátáblák gyomnövényeit látjuk.

16. ábra A pollen diagramokban detektált legfontosabb természetű növények és nekik megfelelő pollen típusok a Kárpát-medencében

17. ábra

Az ábrák jól szemléltetik, hogy a gabonák közül a különböző búzafajtákat pollen alapon nem lehet elkülöníteni. Tovább nehezíti az emberi hatás felismerését, hogy több gabonanövény nemzetség pollentípusa vad fajokat is magában foglal, melyek a neolitikum előtt már nagy valószínűséggel előfordultak a Kárpát-medencében. Ilyenek például az egérárpa (*Hordeum murinum*), a vad alakor (*Triticum boeoticum*) és a vadrozsa (*Secale sylvestre*). A gabona polleneket sok esetben csak egy összefoglaló csoportba tudjuk besorolni morfológiai bélyegeik alapján. Ezt Cereales csoportnak nevezzük. Közös jellemzőjük, hogy a csírányílást vastag annulus veszi körül, és 40 mikronnál nagyobbak a pollenek. Ez a csoport szintén magában foglal nem gabona polleneket is, mint pl. a *Glyceria* (harmatkása), *Elymus* (tarackbúza) és *Bromus* (rozsok) nemzetség tagjait. A rozs (*Secale cereale*) pollenje sokszor



Triticum durum

Antropogén indikátor pollenek a Kárpát-medencében

Gabonanövények és egyéb termesztett növények



Pisum sativum

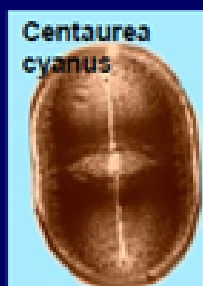
Növényfaj	Ekvivalens pollentípus
Közönséges rozs (<i>Secale cereale</i>)	<i>Secale</i>
Alakor (<i>Triticum monococcum</i>)	<i>Triticum</i>
Közönséges búza (<i>Triticum aestivum</i>)	
Tönke, durum, hasas búza (<i>Triticum turgidum</i>)	
tönköly (<i>Triticum spelta</i>)	
árpa (<i>Hordeum vulgare</i>)	<i>Hordeum</i>
zab (<i>Avena sativa</i>)	<i>Avena</i>
köles (<i>Panicum miliaceum</i>)	Poaceae undiff.
kukorica (<i>Zea mays</i>)	<i>Zea</i>
borsó (<i>Pisum sativum</i>)	<i>Pisum-típus</i>
lencse (<i>Lens culinaris</i>)	<i>Pisum-típus</i>
pohánka (<i>Fagopyrum esculentum</i>)	<i>Fagopyrum</i>
vadkender (<i>Cannabis sativa</i>)	cf. <i>Cannabis</i>
szegletes lednek (<i>Lathyrus sativus</i>)	<i>Lathyrus/Vicia-típus</i>
lóbab (<i>Vicia faba</i>)	<i>Vicia faba</i>
szőlő (<i>Vitis vinifera</i>)	<i>Vitis</i>




Secale cereale

16. ábra A pollen diagramokban detektált legfontosabb termesztett növények és nekik megfelelő pollen típusok a Kárpát-medencében


Növényfaj	Ekvivalens pollentípus
<i>Agrostemma githago</i> (konkoly)	<i>Lychnis-Agrostemma-típus</i>
<i>Centaurea cyanus</i> (katángkóró)	<i>Centaurea cyanus</i>
<i>Bromus secalinus</i> (gabonarozsnok)	Poaceae undiff.
<i>Spergula arvensis</i> (mezei csibehúr)	<i>Spergula arvensis</i>
<i>Consolyda regalis</i> (mezei szarkaláb)	<i>Consolyda regalis</i>
<i>Neslea paniculata</i> (sömörje)	Cruciferae undiff.
<i>Chenopodium album</i> (fehér libatop)	<i>Chenopodium album</i>



Centaurea cyanus



Spergula arvensis



Agrostemma githago

17. ábra A Kárpát-medence pollen diagramjaiban leggyakrabban előforduló szántóföldi gyomnövények néhány jellegzetes pollentípus fotójával

fajszerint is határozható, ugyanakkor a pollenek változatossága miatt néhány egyed a *Hordeum* (árpa) pollen típusba kerül. Az árpa típusú pollen közé tartozik ugyanakkor néhány pászitfűféle, ami nem gabona faj, például a harmatkása (*Glyceria* sp.), a rozsnokok (*Bromus* sp.) az angolperjék (*Agropyron* sp.) és a homoki hajnalperje (*Elymus arenarius*). A zab (*Avena*-típus) magában foglalja a természetett zabon kívül a hélazabot (*Avena fatua*) és néhány muhar fajt (*Setaria* sp.). Ezek a nehézségek a gabonapollenek határozásában óvatosságra intenek a pollen diagramok értelmezése során. Fontos, hogy a gabona pollenek mellett jelen legyenek a gabonatáblákat kísérő gyomnövények pollenjei és a taposást jelző gyomok (pl. lándzsás útifű – *Plantago lanceolata*), és szerencsés ha növényi makrofosszília vizsgálatokkal is támogatni tudjuk a pollen analitikai eredményeket.

A növénytermesztéssel kapcsolatos fajok mellett, emberi hatás szempontjából fontosak a bolygatott, taposott területek gyakran nitrogénkedvelő ruderalis gyomnövényei (15. és 18. ábrák), melyek szintén az ember jelenlétére utalnak más kísérőfajokkal együtt. Ilyenek például a lándzsás útifű, nagylevelű útifű, juhsóska, mezei sóska, fehér libatop, fekete üröm, a madárkeserűfű, a parlagi pipitér és a fehér here. Mivel ezek a növények a Kárpát-medencében mind a természetes növénytakaró elemei, melyek emberi hatásra terjednek, összefoglaló néven apofiton növényeknek nevezzük őket.

18. ábra

A pollen összetek lágyszárú elemi közt a leggyakoribbak gyakran szintén emberi hatást jelzők lehetnek. Különö-

sen fontosak a fűfélék (*Poaceae* vagy *Gramineae*), melyek számos nemzetséget magukba tömörítenek, és arányuk mindig nő, ha az erdőket irtják és legelő vagy kaszáló területeket alakítanak ki. Szintén hasonló hatásokat jeleznek a szélporozta ürömök (*Artemisia*) és libatopfélék (*Chenopodiaceae*). Ők is gyakoriak a pollen összetekben és arányuk nagyon gyakran emberi hatást követően nő a holocén pollen diagramokban. Itt kell megjegyezzük, hogy a Kárpát-medencében a természetese melegkontinentális sztyepeknek e három pollen taxon a természetes alkotója is, ami komplikálja a pollen spektrumok értelmezését, és óvatosságra int.

ÉNY-Európa pollen diagramjaiban a gabona pollenek mellett a legfontosabb emberi hatást jelző pollen típusok a házi len (*Linum usitatissimum*), lándzsás útifű (*Plantago lanceolata*), az üröm (*Artemisia*), a mezei és juhsóska (*Rumex acetosa/acetosella*), a csarab (*Calluna*), valamint a fűfélék, a sásfélék és a fészkes virágzatúak.

Más kontinensekre kitekintve, Észak-Amerikában természetesen a kukorica (*Zea mays*) pollenjének megjelenése a legfőbb emberi hatást, ezen belül is növénytermesztést jelző pollenje. Szerencsésen faj szinten el lehet különíteni. Emellett az üröm, a parlagfű (*Ambrosia*), a sóska, az útifüvek és a libatopfélék ezen a kontinensen is fontos emberi hatást jelző pollenek.

Mexikóban magashegyi tavak üledékében az első kukorica pollen 3700 évvel ezelőtt jelenik meg, és utal a növény termesztésére. Guatemalában viszont már 8000 évvel ezelőtt megjelenik kukorica pollenje, amit a szavannát alkotó fák arányának csökkenése, a *Melastomataceae*

Növényfaj	Ekvivalens pollentípus	Termőhely
<i>Anthemis arvensis</i> (parlagi pipitér)	<i>Anthemis</i> -type	parlag, gyomtársulások
<i>Calystegia sepium</i> (sövényszulák)	<i>Calystegia sepium</i>	mocsár, nádas
<i>Bildardykia convolvulus</i> (szulák keserűfű)	<i>Bildardykia convolvulus</i>	száraz gyep, degradált rét
<i>Plantago lanceolata</i> (lándzsás útifű)	<i>Plantago lanceolata</i>	félszáraz gyepek, legelők
<i>Plantago major</i> (nagy útifű)	<i>Plantago major</i> + <i>media</i>	taposott gyomtársulások
<i>Plantago media</i> (réti útifű)	<i>Plantago major</i> + <i>media</i>	félszáraz gyepek
<i>Rumex acetosella</i> (juhsóska)	<i>Rumex</i> cf. <i>acetosella</i>	mészkerülő gyepek, rétek
<i>Rumex acetosa</i> (mezei sóska)	<i>Rumex</i> cf. <i>acetosa</i>	üde ártéri rétek
<i>Trifolium repens</i> (fehér here)	<i>Trifolium</i> -type	kaszálórétek, üde gyomtárs.

18. ábra A pollendiagramokban emberi hatást jelző lágyszárú növények, melyek a természetes vegetáció elemei, ugyanakkor növekvő mennyiségük, más emberi hatásra utaló tényezővel együtt gyakran a természetes növénytakaró bolygatásának hatására növekszik a pollen diagramokban. Összefoglaló néven apofiton lágyszárú növényeknek nevezzük őket.



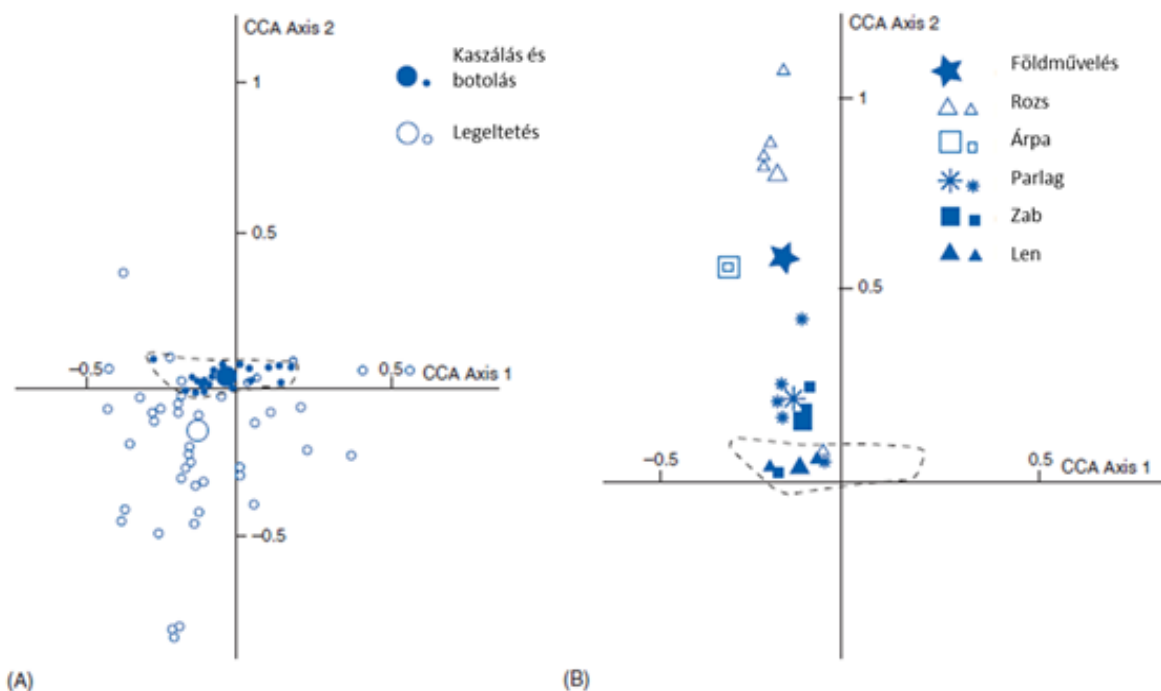
19. ábra Erdőirtásos váltógazdálkodás Svédországban (bal ábra, Smaland, 1904) és a perui amazóniai őserdőben (jobb ábra) 2012-ben. Forrás: google

növénycsaládba tartozó cserjék terjedése, valamint az erdőtűzre utaló mikropernyék arányának növekedése kíséri. Mindebből égetéses erdőirtásokra, erdőirtásos váltógazdálkodásra lehet következtetni (slash and burn). A 19. ábra erre mutat be egy-egy példát Dél-Amerikából és Skandináviából. A korai földművelők módszere ma is széles körben elterjedt, nagyobb közösségek összefogását igényli, és lényege hogy egyszerű eszközökkel (macsete, balta, fejsze) kivágják a fákat és cserjéket, a trópusokon néhány hónappal a száraz évszakot megelőzően. A növényzetet hagyják kiszáradni, majd a száraz évszakban (Európában télen) felégetik. Ezt követően egyből vetik a gabonát vagy más haszonnövényt, a földet csak kapával

és ásóval művelik. Ebben a gazdálkodási formában a felégetés tápanyagot juttat a földbe, a termőterületeket viszont csak kimerülésig használják, sok esetben egy vagy néhány évig. Ezt követően az erdő lassú regenerációja indul meg ezeken a területeken, kezdetben legeltetnek rajta. Ez a gazdálkodási forma még a 19. században is gyakori volt Skandináviában, ahogyan azt a 19. ábra svéd példája mutatja.

19. ábra

Ez a gazdálkodási forma a mediterránemuban is honos volt különösen a római birodalom kialakulása előtt, ugyanakkor a mediterrán erdőségek a klíma és az erőteljes talajerózió miatt következtében kevésbé voltak képe-



20. ábra A pollen/vegetáció/tájhasználat összefüggéseinek vizsgálata Dél-Svédországban. (A) Kanonikus korrespondencia analízis (CCA) első két tengelye 124 pollen mintára, melyben 60 pollen és spóra típust különítettek el és 16 különböző módon hasznított tájból érkeztek. Az ábra nem mutatja az összes minta és változó helyzetét, csak néhány fontosabb minta helyzetét látjuk kis körökkel, valamint néhány fontosabb tájhasználati formát látunk nagy körökkel. Az (A) és (B) ábrák azt mutatják, hogy a pollen összetétel alapján elkülöníthető a legelő, kaszáló és a gabonaföld (rozs és árpa). Rövidítések: CULT: kultiváció; FAL: parlag; O: zab; FL: len; M: kaszálás; P: botolás/nyesés (pollarding); GR: legeltetés. Gaillard (2007) alapján.

sek regenerálódni, mint északi társaik, ezért az erdőirtásos váltógazdálkodás ezeken a területeken a természetes növénytakaró teljes átformáláshoz vezetett. Így alakult ki a mai macchia vegetáció. A sűrű, szinte áthatolatlan magas cserjésekben gyakoriak a tüskés, illóolaj-tartalmú, színpompás virágokat fejlesztő növények. Mivel az erózió a védtelenül maradt talaj jó részét lepusztította, az elvékonyodott termőrétegben csenevész, eltörpült fák próbálnak gyökereikkel megkapaszkodni a rájuk rendszeresen felkúszó bokrok között.

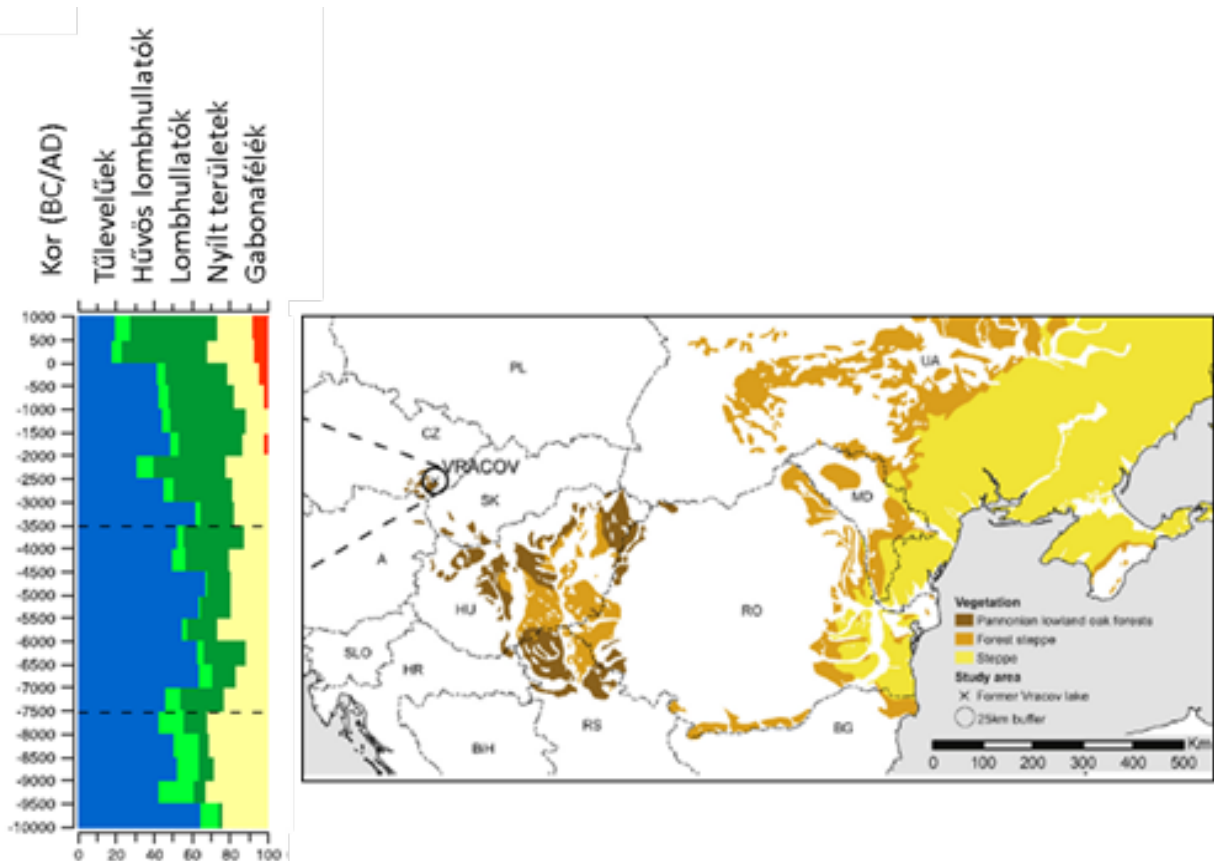
Összességében az erdőirtásos váltógazdálkodás a pollen-diagramokban jól felismerhető. Az epizódikus erdőirtásokat magas mikro és makro pernye koncentrációk kísérik, megjelennek a gabona pollenek és gyakoriak a másodlagos erdei szukcesszió miatt kialakuló sorozatos fafaj váltások (pl. nyír, nyár, kőris megjelenése a visszaerdősülés kezdetén).

A kárpát-medencei pollen diagramokban gyakori a dió (*Juglans regia*) és helyenként a szelídgesztenye (*Castanea sativa*) pollenjének gyakorivá válása különösen a vaskortól kezdődően. Valószínűleg mindkét faj természetesen is jelen volt a medencei erdőségekben (ezt több erdészeti tanulmány megkérdőjelezi a dió esetében), azonban a termesztés nyomai, majd a kertek felhagyását követő elvadulás és terjedés arányukat jelentősen növelte a másod-

lagos erdőségekben.

Az összehasonlító megközelítés

Az 1980-as években fellendülő indikátor faj szemlélet mellett, szintén ebben az időszakban kezdődött meg egy másik szemlélet alkalmazása a növényzetre gyakorolt emberi hatás felismerésében és jellemzésében. Ez különböző tájhasználatú növényzeti együttesekből vett felszíni pollenminták elemzését, majd a felszíni pollen együtteseknek a fosszilis pollen együttesekkel történő összevetését foglalta magába. Az első ilyen megközelítésű publikáció Berglund nevéhez köthető (Berglund 1986). Ebben a dél-svédországi tanulmányban nem trágyázott legeltetett és kaszált rétekről származó moha minták (jó pollencsapdázók) pollen tartalmát vetették össze lápokból származó fosszilis pollen együttesekkel, hogy pontosan kiderítsék milyen múltbéli tájhasználati formák jellemezték a vizsgált területet. Később Berglund tanítványa, Jose-Maria Gaillard terjesztette ki ezeket a vizsgálatok, 120 mintából álló felszíni pollen adatbázist hozott létre Dél-Svédországban. A minták különböző módon kezelt növényzeti formációkból jöttek. A felszíni minták többek közt lehetővé tették a legeltetett rétek elkülönítését a kaszálórétektől, a rozstermesztés kimutatását és azon időszakok elkülönítését, amikor parlagok voltak (20. ábra).



21. ábra A REVEALS modell alapú vegetáció komponensek Csehország DK-Csehországban, a Pannon-alföld észak-nyugati csücskében. Forrás: Kunes et al (2015) The origin of grasslands in the temperate forest zone of east-central Europe: long-term legacy of climate and human impact

20. ábra

Tájképi rekonstrukciók pollen szelvények alapján

Az ember okozta erdőborítás csökkenésének, a táj erdőborításának pontos rekonstrukciója mindig nagy kihívást jelentett a pollen analitikusoknak. A leggyakoribb mérőszám, a non-arbor pollenek össze százaléka (NAP) köztudottan alulbecsüli ezt az értéket, különösen magas erdőborítás (>70%) esetén. A pontosabb becslésekhez jelenleg rendelkezésünkre állnak olyan pollen modellek (bementi paraméterei többek közt a pollenterjedés, kiülepedési sebesség, tó méret, szélirány, stb), melyek segítségével pontosabban becsülhető többek közt az erdőborítottság (REVEAL modell), és egy kistájban elhelyezkedő tó vagy lápsorozat pollen szelvényeinek összevetésével tájképi rekonstrukció is végezhető (LRA: landscape reconstruction algorithm). Ez utóbbi esetben a tájban növényzeti formációk különíthetők el, melyek térképen is megjeleníthetők. A módszer lényege hogy több pollenszelvény összevetésével meghatározható a regionális pollenesőből érkező, minden tóba közel azonos összetételű pollenhalmozatot szállító regionális komponens, melynek eltávolításával elének tárul a pollen spektrum üledékgyűjtő körüli vegetációt megjelenítő eleme. Természetesen ehhez meg kell határozzuk a releváns pollen gyűjtő terület nagyságát (RSAP: relevant source area of pollen). A módszer különösen hasznos a nyílt területek arányának becslésére (21. ábra), a túlevelű erdővel borított területek lehatárolására, a lomberdők területi lehatárolására, a szántóföldek elhelyezésére a tájban. A modell kidolgozója és a hozzá kapcsolódó számítógépes programok fejlesztője egy japán származású kutató, Shinya Sugita.

21. ábra