

A FITOLITKUTATÁS SZEREPE AZ ŐSKÖRNYEZETTANBAN ÉS A KÖRNYEZET RÉGÉSZETBEN, VALAMINT HAZAI ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI

PETŐ ÁKOS^{1,2}

¹Szent István Egyetem, Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet, 2103-Gödöllő, Páter Károly u.1.

²Kulturális Örökségvédelmi Szakszolgálat, Régészeti Igazgatóság, Természettudományos Laboratórium
1036-Budapest, Dugovics Titusz tér 13-17. akos.peto@kosz.gov.hu

Abstract

The present paper is based on the presentation held on 31st March 2009 at the Hungarian National Museum on a workshop entitled "Archaeology – Geology - Pedology – how far have we got with palaeoecological reconstructions?" organised by the Archaeometry Workshop. Following paper intends to present the brief history and theoretical development of the discipline called phytolith analysis and intends to give a basic theoretical background of various methodological aspects, before discussing certain issues and experimental relations gained in Hungarian case studies.

The function of the uppermost Earth cover – defined as soil – is multifarious. Besides being the most important medium for crop cultivation and buffer of contaminations, it shelters the 'memories' of human history in the form of many different phenomena. Not only macrofossils or archaeological findings transmit information on how people managed their environment, but microscopic remains formed in and by living organisms are equipped with notable information package, too.

Phytolith analysis went through several phases of development during the last two centuries until the most important baselines of the discipline evolved. Nowadays these principles are widely used in environmental archaeology, palaeoecology and landscape studies. Tracing the development of the discipline provides useful lessons for all of those applying the method in environmental studies.

During the building of a soil-phytolith database, a wooded pasture in the Bakony Mountains was selected as a target area too conduct controll studies for the further development of the reference database. An ecological classification system was used to conduct the analysis of the target area, which was once densely covered by deciduous forest. Environmental change classified by 'forest – ploughland – wooded pasture' was underlined by the results of the controll Luvisol profile.

Kivonat

Jelen dolgozat a Régészeti és Művészettörténeti Társulat, az Archeometriai Műhely, az MTA X. Osztály Geokémiai és Ásvány-Kőzettani Tudományos Bizottságának Archeometriai Munkabizottsága által szervezett „Régészet – Geológia - Talajtan - hogy is állunk a környezetrekonstrukcióval?” című vitanapon elhangzott azonos című előadás tartalmára épít és bemutatja a fitolitikutatás rövid történeti és elméleti fejlődését, valamint kitér egy hazai esettanulmány kapcsán a fitolitik környezet rekonstrukcióban betöltött szerepére.

A fent említettek alapján a dolgozat részben áttekintő tanulmány, részben eredeti kutatások eredményeit bemutató szakkikk.

A földkéreg legfelső, mállott és szilárd burkaként definiált talaj egyik fontos funkciója, hogy kiemelkedő szerepe van a korabeli társadalmak és a természeti környezet múltját feltáró dokumentumok 'megőrzésében'. Nemcsak makroszkopikus leletek árulkodhatnak a korabeli ember és környezetének viszonyáról, hanem az élőszervezetekben képződő mikroszkopikus sejtzárványok is jelentékeny információ tartalommal bírnak.

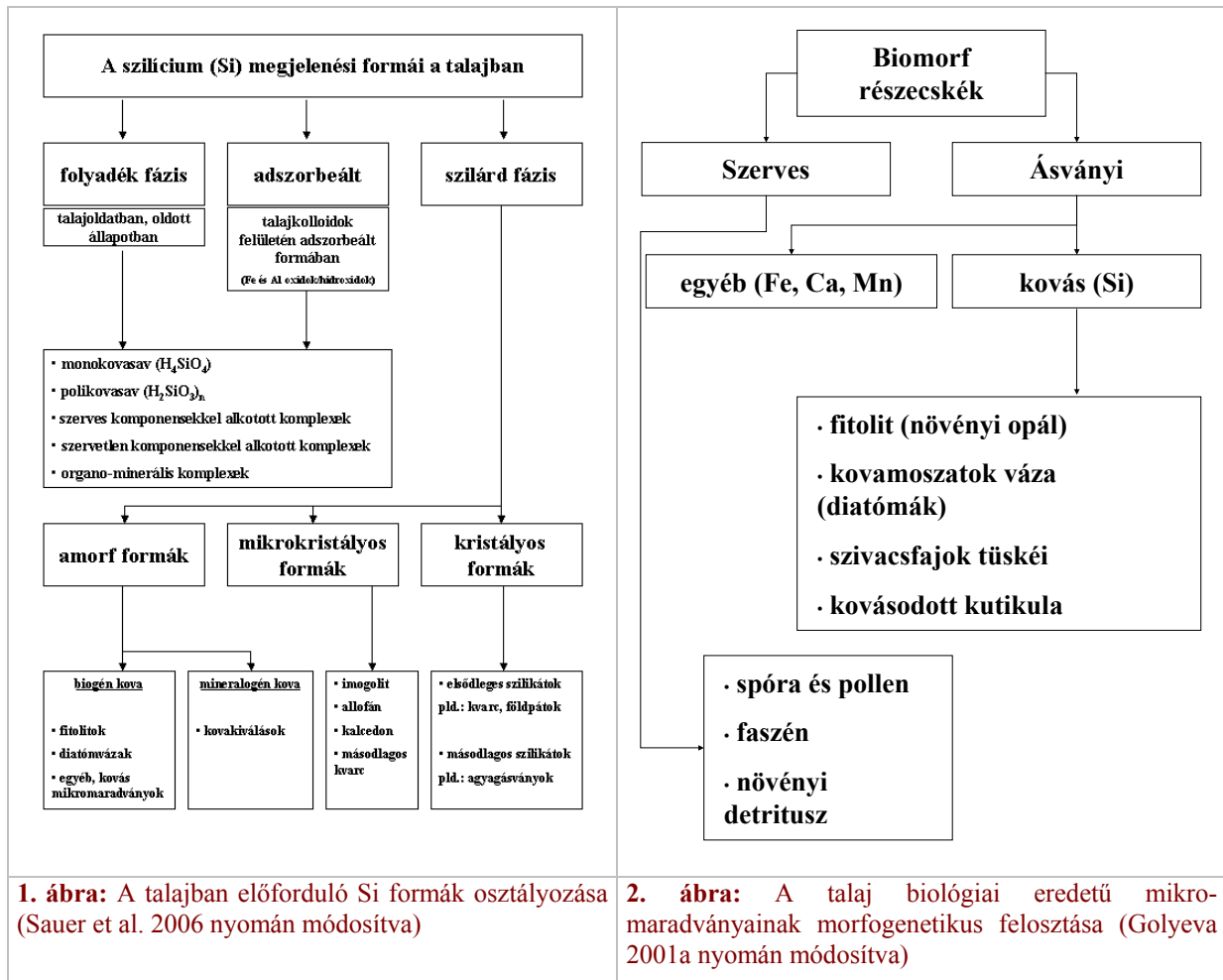
A közel két évszázados múltra visszatekintő fitolitikutatás több fejlődési fázison ment keresztül mire a környezetrégészetben, az őskörnyezettanban és táj kutatásban is alkalmazható alapvetések megszülettek. A tudományterület fejlődése számos tanulsággal szolgál, amelyek ismerete és figyelembevétele akkor is elengedhetetlen, ha alkalmazott tudományként szerepel a módszer egy tájtörténeti vagy (környezet) régészeti vizsgálat sorozatban.

Egy talaj-fitolit adatbázis kiépítése során, a magas-bakonyi Pénzesgyőr melletti hagyásfás legelőn nyitott talajszelvényt választottuk kontroll vizsgálati anyagként. Az egykoron erdőborította bakonyi terület élőhelyi viszonyainak vizsgálatát egy ökológiai osztályozási rendszer segítségével vizsgáltam. A klasszikus talajtani terepi- és laboratóriumi alapvizsgálatok segítségével meghatározott agyagbemosódásos barna erdőtalaj

szelvény mintáiból feltárt indikátor típusok szépen kirajzolták a terület korábban megismert 'erdő-szántó-fáslegelő' hármásával leírható tájtörténeti változásait.

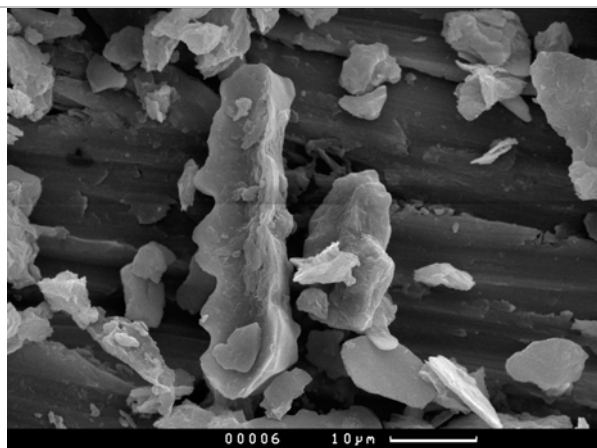
KEYWORDS: PHYTOLITH, PALAEOECOLOGY, ENVIRONMENTAL ARCHAEOLOGY

KULCSSZAVAK: FITOLIT, ŐSKÖRNYEZETTAN, KÖRNYEZET RÉGÉSZET

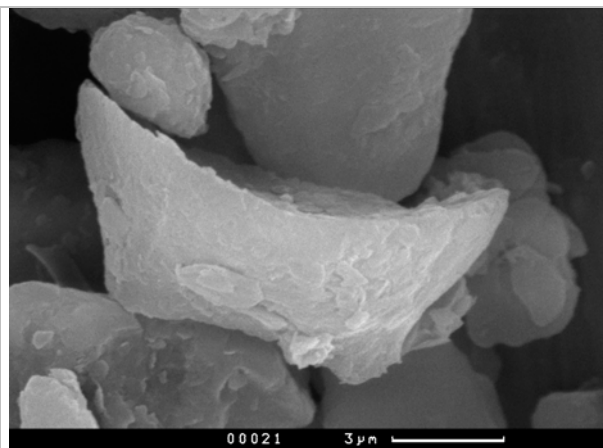


1. ábra: A talajban előforduló Si formák osztályozása (Sauer et al. 2006 nyomán módosítva)

2. ábra: A talaj biológiai eredetű mikromaradványainak morfofenetikus felosztása (Golyeva 2001a nyomán módosítva)



3. ábra: Szinuszos epidermális hosszúsejt fitolit (fotó: szerző. Vö.: 1. táblázat)



4. ábra: Epidermális rövidsejt fitolit, ún. saddle, azaz nyereg morfortípus (fotó: szerző. Vö.: 1. táblázat)

Mit tekintünk fitolitnak? Meghatározás és anyagi jellemzők

A növényi opálszemcsék kutatásának történetét hosszú ideig fogalmi és definícióbeli következetlenségek tarkították, amíg meg nem született az az egzakt meghatározás, amely ma a 'fitolit' kifejezés által jelölt természeti jelenséget takarja.

A fitolitok (*sin.*: növényi kristály, növényi opál, kovász sejt, fű opál, biogén opál, opál fitolit, szilíciumdioxidos fitolit) az élő növény intra- és intercellulárisaiban kiválasztott, hidratált szilíciumdioxidból felépülő részecskék, amelyek a növényi szervesanyag elbomlása után szabadulnak fel a növényi szövetből (Madella 2008). Képződésük elsősorban a talajban hozzáférhető és oldott formában jelenlevő monokovaszav $[\text{Si}(\text{OH})_4]$ (1. ábra) koncentrációjától, klimatikus viszonyoktól és az adott növény szilícium-akkumulációs affinitásától függ (Piperno 2006).

Fitolitnak csak a növényekben előforduló, hidratált, amorf, polimerizált kovaszav ($\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$) részecskéket nevezik (2. ábra, 3. és 4. ábra), egyéb növényi sejt zárványokat, mint például az oly gyakori kalcium-oxalátot, nem sorolják ide (Piperno 1988). Az említett exkrétum ökoszisztémában jelentőségét több irodalom is részletekbe menően tárgyalja (Prychid és Rudall 1999), mindazonáltal a kalcium-oxalát anyagi jellemzői miatt, ezek a részecskék kevesebb sikerrel alkalmazhatóak a múlt növényzeti képének rekonstruálásában (Rapp és Mulholland 1992). Tágabb értelemben, a szóban forgó növényi opálszemcsék ún. 'biolit'-ok vagy 'biogén kovaszav' származékok (Matichencov és Bocharnikova 2001) (1. ábra). Azonban ezek az elnevezések minden talajból kimutatható növényi és állati szervezetből származó szerves, szilíciumból felépülő anyagra érvényesek, így például a szivacsstüskékre és a diatóma vázakra is.

A biogén kova olyan biológiai eredetű, optikailag izotróp, színtelen, halványbarna vagy átlátszatlan anyag, amelynek fajsúlya 1,5-től 2,3-ig terjed. A fitolitokat felépítő hidratált, nem kristályos szilíciumdioxid 4-9% kristályvizet tartalmaz. Jelentős mennyiségben fordulhatnak elő kemoszorpció, okklúzió és egyéb kémiai beoldódással felgyülemlett anyagok az opálszemcsékben. Ezek közül a legfontosabbak az alumínium (Al), a vas (Fe), a nikkel (Ni), a mangán (Mn), a foszfor (P), a réz (Cu), a nitrogén (N) és a szén (C) (Clarke 2003).

A növényi opálszemcsék felfedezésének és kutatásának rövid történeti áttekintése

A tudományterület fejlődéstörténetének kezdetei, és egyes sarokköveinek kiemelése hasznos információval szolgálhat, mind a régészet-, mind a természet- és környezettudománnyal foglalkozó szakemberek számára. Jelen alfejezet a teljességre való törekvés igénye nélkül foglalja össze a növényi opálszemcsék felfedezésének, kutatástörténetének fontosabb állomásait. (Kibővített, magyar nyelvű tudománytörténeti áttekintésért lásd: Pető 2009).

A növényi opálszemcsék szisztematikus kutatásának történelme G. A. Struve német tudós 1835-ös, *De silica in plantis nonnullis* című doktori disszertációjával vette kezdetét. Struve elsőként számolt be írott formában, és kísérelt meg rendszerezett leírást adni a növényekben megfigyelt kovatestekről. Kutatásait a Berlieni Egyetemre benyújtott téziseiben foglalta össze (Madella 2008), de a „fitolitok atyjának” mégsem őt, hanem a porosz származású C. G. Ehrenberget tekintik (Powers 1992; Krumbein 1995).

Kezdeti feltételezése, amely szerint a növényekben megtalált kovaszemcséket a növények testében élő, de a gazdaszervezettől független mikroorganizmusok termelik (Mulholland és Rapp 1992) arra vezérelte őt, hogy a Carl von Linné által korábban megalkotott binominális nomenklaturát használva osztályozza a megfigyelt növényi opálszemcséket. Később, 1866-ban ráébredt korábbi feltételezésének helytelenségére, de osztályozási rendszerének alapjait nem változtatta meg. Az általa megalkotott „*phytolitharia*” kifejezésből származtatjuk a ma is használatos „fitolit”, vagy angolul „*phytolith*” kifejezéseket.

1841 és 1854 között számos, fitolitokkal kapcsolatos publikáció látott napvilágot Ehrenberg tollából (Pető 2009). Ezek közül figyelemre méltó egyik 1851-es írása, amelyben a porosz tudós egy csernozjom (eredetiben: 'tchornoi zem') talaj mintáinak az elemzésével ökoszisztémában rekonstrukciós elméleteket fogalmaz meg, mindezt a talajból feltárt növényi opálszemcsékre alapozva. A vízborította területről származó talajmintákban megtalált és meghatározott 22 „nem-vízi phytolitharia” részecske alapján vont le azt a következtetést, hogy a vizsgálat tárgyát képező „talaj egy ősi erdő törmelékén képződött” (Ehrenberg 1851), és nem a jelenkori vízi környezet eredményeképpen fejlődött.

A földtan mikroszkópi világát bemutató nagy összefoglaló művében adta közre az 1830-as években elkezdett osztályozási munkájának teljes változatát. A *Mikrogeologie* 41 színes rézmetszeten mutatja be az általa megfigyelt és meghatározott mikrofosziliákat.

A *phytolitharia*-nak elnevezett növényi eredetű mikrofossziliákat négy paranemzetségbe sorolta. Mesterséges rendszerében, amelyre a *para*- előtag utal, három nemet a pázsitfűfélék családjának (*Gramineae*), egyet pedig a zsurlófélék családjának (*Equisetaceae*) szentelt.

A XIX. század közepéről ránk maradt szakirodalom, egy tudományos szempontból gyümölcsöző kapcsolatot tár fel, amely Ehrenberg és a korszak egyik legnevesebb tudósa, C.R. Darwin között bontakozott ki. Darwin érdeklődését az keltette fel, hogy a szélhordta üledékek finom sérülésnyomokat hagytak a Beagle csillagászati-optikai eszközein, amikor 1831. januárjában a Zöld-foki szigetek közelében horgonyoztak (Darwin 1845a). Utazásai során a tengeren begyűjtött szélhordta porokat (Gorbushina et al. 2007) Ehrenbergnek küldte további elemzés céljából, amely vizsgálat eredményeit így kommentálta Darwin a Londoni Geológiai Társaság beszámolójának hasábjain: „Ehrenberg professzor megvizsgálta a James hadnagy és az általam gyűjtött port, és arra az eredményre jutott, hogy jelentékeny része *Infusoria*, és nem kevesebb, mint 67 különböző formát rejt magában. Ez 32 kova pajzsos *Polygastrica* fajból, 34 *Phytolitharia*, vagy kovásodott növényi szövetformából, és egy *Polythalia*-ból tevődik össze” (Darwin 1845b).

A XIX. századi úttörő jellegű munkásságok talaján eresztett gyökeret több olyan tudományos műhely, amely számtalan, máig használatos leíró, deskriptív munkával gazdagította a fitolitkutatók történelmét. A növénytan kutatások korszakának központja Németország volt, ahol először Guntz (1866 in: Grob 1896), majd Grob (1896) jelentetett meg egy-egy monográfiát, amelyben száznál is több pázsitfűfaj epidermisz vizsgálatával lefektették a morfometriai fitolit osztályozás alapjait. Netolitzky (1929) önálló fejezetet jelentetett meg a korszak egyik meghatározó Növényanatómiai Kézikönyvében (*Handbuch der Pflanzenanatomie*) Kieslörper fejezetcímmel (Linsbauer 1929).

Az ún. ökológiai és paleoökológiai kutatások előszeleként – az Ehrenberg-i 'tchornoj zem' példa mellett – több német és angol nyelven megjelent munkát ismerünk, amelyek már a növényi opálszemcsék régészetben, valamint táplálkozástörténeti kutatásokban való alkalmazhatóságát bizonyítják. Így például Schellenberg (1908) egy turkesztáni expedíció keretében vizsgálta az Anau-i ún. Északi Kurgánt, amelynek feltárási anyagából búza (*Triticum* sp.) és árpa (*Avena* sp.) jelenlétét tudta bebizonyítani. Érdekes fejtegetés olvasható az Osztrák Botanikai Folyóirat (*Österreichische Botanische Zeitschrift*) Netolitzky (1914) által jegyzett értekezésében, amelyben többek között rávilágít arra a megfigyelésre, hogy a kovásodott sejtek nyomot hagynak az emberi fogzománcban, illetve a fitolitok

visszanyerhetők az egyiptomi ásatásokon előkerülő múmiák és emberi leletek fogkövéről.

A fitolitkutatók XX. századi vándorlása jól nyomon követhető az egyes szakirodalmi adatok alapján. Egy oroszországi kiterő után (Usov 1943; Parfenova és Yarilova 1956; Yarilova 1956) már a nyugati világ halmozza el a tudományos szaklapokat növényi opálszemcsékkel kapcsolatos beszámolókkal. A bangori iskola kutatóinak nevéhez fűződik a növényi orgánusok szilifikációja és egyes abiotikus tényezők (éves és többéves klimatikus variációk, talaj pH, talaj vas- és alumínium tartalom stb.) összefüggés-vizsgálata is (Powers 1992; Madella 2008; Pető 2009).

Régészeti, illetve öskörnyezettani interpretációra is ismerünk példákat a korábbi korszakokból. Ezek a próbálkozások azonban még nélkülözték a későbbi korokban feltárt tudományos és elméleti alapokat, így – amellett hogy jelentékeny módon hozzájárultak a későbbi régészeti vonal fejlődéséhez – nem szisztematikusan használták fel a növényi opálszemcsék kínálta lehetőségeket.

A régészet tudományának érdeklődése akkor fordult a módszer felé, amikor ráébredtek annak fontosságára, hogy egyes feltárások, vizsgálatok nem szolgáltathatnak megfelelő információ tartalmú adatokat, így nem lehet választ kapni olyan égető kérdésekre, mint például egyes növényfajok domesztikációjának kezdete, vagy az adott területre történő behurcolása. Ez vezetett odáig, hogy egy, az öskörnyezettanban, régészetben, történeti ökológiában és egyéb interdiszciplinákban eredményesen és rutinszerűen alkalmazható módszertan kidolgozását több földrészen is elkezdték, és mára fitolitok alkalmazásának rendkívül széles spektrumával találkozhatunk.

Szerencsére, az eleinte az archeobotanikai kutatások kiegészítéseképpen alkalmazott fitolit elemzés (Gyulai 1993, 1996) hazánkban is egyre elterjedtebb, és szisztematikus kutatások indultak meg a régészet (Persaits et al. 2008), illetve öskörnyezettan (Pető 2007, Pető és Bucsi 2008, Barcsi et al. 2009) területén is.

Nevezéktan és klasszifikáció

A növényi opálszemcsék osztályozása a tudományterület történetének egyik sarkalatos, és egyben kulcsfontosságú kérdése. Számos azonos elv mentén elkészített, de mégis eltérő osztályozási rendszer ismeretes, amelyeket a világ különböző pontjain fejlesztettek ki. Ezek a rendszerek három nagy csoportba oszthatóak:

- taxonómiai megközelítés,
- tipológiai megközelítés és
- taxo-tipológiai megközelítés.

A taxonómiai alapú osztályozási rendszerek lényege, hogy az adott mikromaradvány morfológiai megjelenését, annak a növény szervezetében elfoglalt helye alapján definiálja. Ezt a megközelítési módot döntően a régészeti, archeobotanikai irányultságú kutatások dolgozták ki annak érdekében, hogy a feltárt mikromaradványok és egy modern növénytani referencia bázis alapján korabeli ember-növény interakciókat határozzanak meg. A tipológiai megközelítés esetében kevésbé fontos a sejtmardvány növényanatómiai helyzete, annál izgalmasabb, hogy milyen élőhelyet, vegetáció típust, közvetve klímát indikál megjelenése a mintában. A fentebb említett két, letisztultnak tekinthető megközelítés célszerű elegyítésével, illetve ismert módszertani alapok harmonizálásával juthatunk el a taxo-tipológiai megközelítésig, amely mindkét alapvető klasszifikációs rendszerből integrálja az adott feladat megoldásához szükséges legfontosabb elemeket.

Az osztályozási rendszerek mellett létezik egy „egységes nyelvezet”, amelynek használata minden esetben indokolt. Az ún. ICPN, vagyis International Code for Phytolith Nomenclature lényege, hogy egy olyan egységes nevezéktant szolgáltatson minden fitolit elemzéseket végző kutató számára, amely alapján az egyes tudományos műhelyek között az információ csere egyértelmű, és mindenki számára értelmezhető alapokon nyugszik (Madella et al. 2005). A nemzetközi fitolit nómenklatúra segítségével az egyes növényi opálszemcséket legfeljebb három jelzővel, illetve azok kombinációival kell/lehet megnevezni. Amennyiben nem szövetben elkovásodott, hanem egymagában megfigyelt, elkovásodott növényi sejtről van szó, annyiban meg kell adni annak:

- pontos alakját kettő (2D), vagy ha lehetséges, akkor egy három dimenziós (3D) jelző segítségével;
- textúráját, illetve felszíni mintázatát az ICPN listában szereplő jelzők segítségével, illetve
- a fitolit anatómiai származását, amennyiben az egyértelmű és kétséget kizáróan eldönthető.

Mindezek mellett vannak bizonyos morfortípusok, amelyek rendhagyó elnevezése olyan mélyen gyökerezik a fitolit elemzés gyakorlatában, hogy azok megváltoztatását nem tartották célszerűnek az ICPN Munkacsoport tagjai (Madella et al. 2005). Ezeket az egyszerűsített neveket *nomina conservanda* megjelöléssel találjuk a nevezéktanban. Minden jelző (*deskriptor*) latin vagy görög eredetre vezethető vissza, így elvileg számos nyelvre átültethetővé válnak ezek a

megnevezések. Az átültetés, illetve lefordítás gyakorlatával kapcsolatban több nemzetközi fórumon is elhangzottak aggályok, amelyek odavezettek, hogy ezeket a megnevezéseket általában az angol formájukban használják. Mindenesetre ismeretesek törekvések az ICPN jelzők angolon kívül, egyéb nyelvekre – így magyarra – való lefordítására is.

A számos osztályozás közül, az alábbi, **1. táblázat**, a Golyeva-féle, elsősorban közép- és közép-kelet-európai öskörnyezeti rekonstrukciós munkákban használt indikátorcsoportjait (Golyeva 1997; 2001b), illetve azok ICPN besorolását mutatja be. (Az ICPN jelzőket, magyarra átültetve, illetve dőltten szedve az eredeti angol jelzőt is tartalmazza a táblázat.) A módszer a tipológiai megközelítést alkalmazó rendszertani megközelítések közé sorolható. Az indikátorcsoportok kialakításához számos közép- és a közép-kelet-európai recens talaj fitolitikészletét, illetve élő növényekből készített referencia minták elemzését végezték el.

Az **1. táblázatban** felsorolt morfortípusok környezet indikáló szerepét Golyeva (2007) nyomán három süllyponti kategóriába oszthatjuk tovább:

- általános morfortípusok (több növény taxon által is képzett, diagnosztikai értékkel nem rendelkező tipológiai)
- lokális környezeti morfortípusok (adott mintában mért mennyiségük jelezheti az ökológiai viszonyokat)
- speciális környezetjelző morfortípusok (adott élőhelyre jellemző növénytársulásban előforduló fajok, élőhelyet jelző növényi opálszemcséi)

Ezek a kategóriák az eredmények interpretálásában játszanak jelentékeny szerepet, hiszen egyes indikátorok mintabeli megjelenése (pld.: erdei habitatot jelző indikátorok) alacsonyabb részarány mellett is fontos környezetjelző szereppel bírhat.

Módszertani megfontolások

A fitolitikutatásban kifejlődött mintavételi módszerek jelentékeny hányada a palinológia tudományterületén gyökerezik (Pearsall 2000). Az átfedések és módszertani megfontolások hasonlósága mellett azonban eltérések is mutatkoznak, amelyek a két növényi mikromaradvány minőségi tulajdonságaira, akkumulációs és tafonómiai jellemzőire vezethetők vissza.

1. táblázat: A Golyeva-féle ökológiai-tipológiai osztályozási rendszer egyes elemei és azok ICPN besorolása

Megnevezés		Megjegyzés
Főbb indikátor típusok		
Ökológiai megnevezés	ICPN jelzők* **	Leírás/jellemzés
Tülevelű fajok indikátorformái	a. köbös (<i>cubic</i> - 3D), négyzet (<i>square</i> - 2D) b. árkos (<i>scrobiculate</i>) c. epidermális eredet (<i>E – epidermal</i>)	A <i>Picea</i> spp. és a <i>Pinus</i> spp. által képzett fitolitok tartoznak ide. Izodiametrikus, köbös alak, jól látható gödröcskével a felszínén.
Erdei jellegű habitat pázsitfűfajainak trichomái	a. tűs (<i>acicular</i> - 3D), lándzsás (<i>lanceolate</i> - 2D) b. sima felszínű (<i>psilate</i>) c. trichóma (<i>E – epidermal trichom</i>)	Nagyméretű, hosszú alap (30-50µm), a trichoma csúcsi része nem lóg túl az alapján (7. ábra).
Mezei jellegű habitat pázsitfűfajainak trichomái	a. tűs (<i>acicular</i> - 3D), horog alak (<i>unciform</i> - 2D) b. sima felszínű (<i>psilate</i>) c. trichóma (<i>E – epidermal trichom</i>)	Kicsi, kör jellegű alap, hosszú, hegyes csúcsban végződő trichoma, mely jelentősen túl lóg az alapon.
Sztyeppei jellegű habitat pázsitfűfajainak indikátor fitolitformái	a. tölcsér alak (<i>conical</i> - 3D)*** b. sima felszínű (<i>psilate</i>) c. epidermális, rövid sejt (<i>SC – epidermal short-cell</i>)	Rendkívül kis méretű (10-15µm), egyik végén tölcsérszerűen kiszélesedő, másik végén enyhe, sokszor picit kiszélesedő köralapban végződő (4. és 8. ábra).
Száraz habitatok pázsitfűfajainak indikátorformái, illetve a természetbe vont (domesztikált) gabonafélék indikátorai	a. öbolszerű bemélyedések, hengeres (<i>clavate, cylindric</i> - 3D), nyújtott (<i>elongate</i> - 2D) b. dendritikus, tüskés felszínű (<i>corniculate, dendriform, echinate</i>) c. epidermális, hosszú sejt (<i>LC – epidermal longcell</i>)	Félsivatagos élőhelyek pázsitfűfajainak relatíve nagy méretű (20-40µm) epidermális származású indikátorformái. A xeromorfizmus egyik megjelenési formája. Súlyzóvéghez hasonló gömbformában végződnek, sok hegyes vagy lekerekített tüskékkel tarkítva fésűszerűen a testükön.
Többletvízhatás eredményeképpen fejlődött területek növényzetének indikátorai (pld.: <i>Phragmites communis</i> fitolitjai)	a. trapéz alakú, dendritikus (<i>trapeziform, cuneiform</i>) b. sima felszínű (<i>psilate</i>) c. nádusz (szár), (<i>stem – joint, E – epidermal</i>)	Nagy méretű (50-100µm) többé-kevésbé izodiametrikus forma, melynek egyik oldala mindig jól láthatóan homorú.

A szerves mikroszkopikus (v.ö.: pollen, keményítő szemcsék, mikrofaszén maradványok stb.) és makroszkopikus (v.ö.: magok, szenült növényi maradványok stb.) fossziliákkal szembeni előnyük, hogy a növényi szövetből való feltáródásuk után hosszan perzisztálnak a befoglaló közegben, és

extrém körülmények között is épen, képződésüknek megfelelő formában, textúrával, illetve mintázattal maradnak fenn. Mindezen tulajdonságuk okán ún. limitált (ös)környezeti paraméterek mellett is sikeresen alkalmazhatók palaeoökológiai és környezet régészeti kutatásokban (Blinnikov 2008).

1. táblázat, folyt.

Egyéb fitolitformák		
Ökológiai megnevezés	ICPN jelzők***	Leírás/jellemzés
Epidermális hosszúsejt fitolitok	a. hengeres (<i>cylindric</i> - 3D), nyújtott (<i>elongate</i> - 2D) b. sima felszínű, szinuszos oldalonak (<i>psilate, sinuate</i>) c. epidermális, hosszú sejt (LC – <i>epidermal longcell</i>)	Gyakorlatilag az összes pázsitfűfaj képez a bőrszöveti, ún. hosszúsejtjeiben fitolitot. Ezek alakja és mérete fajspecifikus, illetve külső környezeti tényezők függvénye is. Jól használható adott ösfelszín biomasza termelésének megítélésére (3. ábra).
Mohafajok fitolitjai	a. gömb alak (<i>globular</i> - 3D), kör alak (<i>orbicular</i> - 2D) b. sima felszínű (<i>psilate</i>) c. epidermisz (E – <i>epidermal</i>)	Nagyon kis méretű (8-10 µm), szabályos gömbalakot mutató fitolitok.
Egyéb szilikátos indikátorok		
Szivacsfajok tüskemaradványai		Nyújtott, tubuláris forma, melyen mindig megtalálható a belső, centrális csatorna. <i>Porifera</i> spp.
Diatómák (kovamoszatok vázmaradványai)		A <i>Bacillariophyceae</i> osztály tagjai. Változatos formavilágot mutatnak, legszebbek az ovális, elnyújtott kör alakot formáló szilícium-dioxidból felépülő maradványok, de ismereteselekerekített háromszöghöz, vagy éppen hajó, illetve ék alakhoz hasonló vázformák is.
Egyéb nem szilikátos növényi indikátorok		
Füdetritusz részecskék		Pázsitfűfajok (<i>Gramineae</i>) szerves eredetű törmeléke, szöveti maradványa.
Fadetritusz részecskék		Fásszárú növényfajok szerves eredetű törmeléke, szöveti maradványa.

Megjegyzések az **1. táblázathoz**

* **a.** az adott indikátorcsoport jellemző típusának formája; **b.** az adott indikátorcsoport jellemző típusának mintázata és/vagy textúrája, valamint **c.** az adott indikátorcsoport jellemző típusának anatómiai eredete

** jelen cikkben ábrán be nem mutatott morfortípusokért lásd: Barczy et al. 2009

****nomina conservanda*: rondel

A fitolit elemzés előnyeinek és hátrányainak ismerete és értékelése nélkül nehéz érdemben felelős döntést hozni, annak akár öskörnyezettani, akár régészeti kutatásokban való alkalmazásáról (**2. táblázat**). A módszer talán legnagyobb hátránya, hogy elmélyült és körültekintő munkát igényel olyan referencia kollekciónak (legyen az növénytani, talajtani, vagy módszertani) kialakítása, felépítése, amelyek alkalmazásával megfelelően interpretálhatóak a feltárt morfortípusok. Ellentétben a pollennel, a fitolitok a lokális környezetet indikálják. Ez a tulajdonság egyfelől előnyként, másfelől hátrányként jelentkezik, hiszen mikrokörnyezeti vonatkozásban könnyen lehet biztos és használható adatot nyerni, viszont

nagyobb területek környezet rekonstrukciójához több mintavételi pont, nagyobb mintaszám szükséges.

Abból adódóan, hogy a növényi opál szemcsék szervesen – tehát a környezeti hatásoknak jobban ellenálló – mikrofossziliák, könnyebb a minták kezelhetősége, és nem igényelnek komplikált bánásmódot. Régészeti szemcsőgből a legfontosabb annak eldöntése, hogy egy ásatás során a fitolit elemzéssel, mint kiegészítő környezettudományos vizsgálati módszerrel, milyen előnyökre lehet szert tenni, milyen kérdések megválaszolásában játszik kizárólagos, vagy additív szerepet.

2. táblázat: A fitolit elemzés előnyei és hátrányai

„pro”		„contra”	
i.)	szervetlen	vi.)	taxon specifikusság
ii.)	minimális diszperzió	vii.)	korrózió
iii.)	minimális kontamináció	viii.)	minimális diszperzió
iv.)	perzisztencia	ix.)	referencia kollekciók (részbeni) hiánya
v.)	könnyű kezelhetőség	x.)	hosszadalmas laborálás

Szakirodalmi és gyakorlati példák is azt mutatják, hogy a legizgalmasabb kérdések, amire a fitolit elemzés választ adhat a környezet régészeti és környezettörténeti munka során a(z):

- eltemetett talajsintek anyagának elemzése, az egykori, ősi járófelszín vegetációs jellemzőinek felderítése érdekében, amely hozzájárul(hat) a vizsgált terület környezeti viszonyainak rekonstrukciójához is (pld.: Barcsi et al. 2009),
- egyes kultúrrétegek vizsgálata, amellyel tisztázható az adott térszín funkciója (tűzhely, őrlőhely, kert funkció stb.), illetve megállapíthatóak a feldolgozott/termesztett növények jellemzői (pld.: Harvey & Fuller 2005), a vízszintes, tehát azonos genetikájú rétegből való mintázás elsősorban térbeni események, illetve funkciók rekonstruálására szolgál (háypadlók vizsgálata: tér-funkció elemzés);
- a növényi anyag feldolgozásához használt eszközökre (pattintott kőpengék, őrlőkövek stb.) szilifikálódott növényi opál szemcsék elemzése, a feldolgozott növényfajának kiderítése céljából (pld.: Jahren et al. 1997; Pearsall et al. 2004);
- a sírok, temetők vizsgálatával temetkezési, esetleg rituális szokások rekonstruálása;
- az edénytartalom és fogkő vizsgálatával táplálkozástörténeti vonatkozások (pld.: Henry & Piperno 2008), míg
- a kerámiacsiszolattal az edénykészítés módja elemezhető (pld.: Starnini et al. 2007).

Fitolit-talaj referencia bázis: Egy szelvény környezettörténete (esettanulmány)

Bevezetés

Korábbi paleoökológiai és paleotalajtani kutatások rávilágítottak arra a tényre, hogy a fitolit elemzést akkor lehet rutinszerűen és kielégítő eredménnyel

alkalmazni, ha a szűkebb környezetet jellemző adatbázis, illetve referenciagyűjtemény rendelkezésre áll.

A Szent István Egyetem, Környezet- és Tájgazdálkodási Intézetében folytatott táj- és paleoökológiai, illetve paleotalajtani vizsgálatok során célul tűztük ki, hogy a természet- és tájvédelmi szempontból értékes, valamint a mezőgazdasági és földhasználati szempontból jelentős talajtípusokat kiválasztva, meghatározzuk azok fitoliteloszlását, fitolitikusjelét. Ez alapján elkészíthető egy olyan kataszter jellegű, határozókulcsként is funkcionáló adatbázis, amely viszonyítási alapként szolgál későbbi őskörnyezeti kutatásokban. A vizsgálatban szereplő talajtípusok mindegyikénél természetes állapotú (potenciális vegetáció) és a típusra leginkább jellemző művelési ág (pld.: szántó, gyep, erdő stb.) alatti szelvények egyidejű megmintázását tűztük ki célul. Ez az összehasonlító elemzés szolgáltat később alapot arra, hogy kimutathatóvá váljanak az antropogén hatásokból, illetve egyéb természetes környezeti változásokból adódó eltérések a talajtípusok fitolit profiljában. Elképzelésünk szerint ennek nyomán értelmezhetővé, magyarázhatóvá válnak a régészeti és őskörnyezeti kultúrrétegek és paleotalajok szelvényeinek fitoliteloszlási görbéi.

Jelen dolgozat a fent tárgyalt módszer bemutatását az egyik kontroll szelvény korábban közölt előzetes eredményeinek (Pető et al. 2008) részletes és tételes kiegészítésén keresztül célozza meg.

Anyag és módszer

Kontroll területként a Magas-Bakonyban, Pénzesgyőr határában elhelyezkedő hagyásfás legelőre esett a választás.



5. ábra: Vizsgálati terület és kontroll szelvény elhelyezkedése a Bakonyban (MEPAR, 1:100 000)

Ez, többek között, a legelő feltárt tájtörténeti múltjával magyarázható (Kenéz et al. 2007; Saláta et al. 2007; Szabó et al. 2007) (**5. ábra**).

Az elemzések szerint az egykori gyertyános tölgyesek (*Quercus petraeae-Carpinetum*), illetve szubmontán bükkösök (*Laureolae-Fagetum*) által uralt területet (Király et al. 2008) erős fakitermelési hullám sújtotta, amely elsősorban szociográfiai tényezőkkel magyarázható. A későbbi időkben, a faállomány jelentékeny részének letermelése után, részben legelőként hasznosították a területet, részben szántó művelési ágba került a vizsgált parcella, amelyet aztán felhagytak és ennek köszönhetően alakult ki, az oly sok növénytani és élőhelyi ritkasággal büszkélkedő, hagyásfás legelő.

A mintaterületen belül a vizsgálati szelvényt több, a helyszínen felvett talajszelvény közül választottuk ki. A Pürckhauer-féle talaj szűrőbot segítségével, katenában elvégzett térképező fúrások (Finnern 1994) során kiválasztott szelvény esetében fontos kritérium volt, hogy a fáslegelő olyan pontján helyezkedjen el, amelyet minden műveléság-váltás érintett, illetve talajtani szempontból is jól meghatározható, a legkevesebb erodált típusszelvénye legyen a területnek.

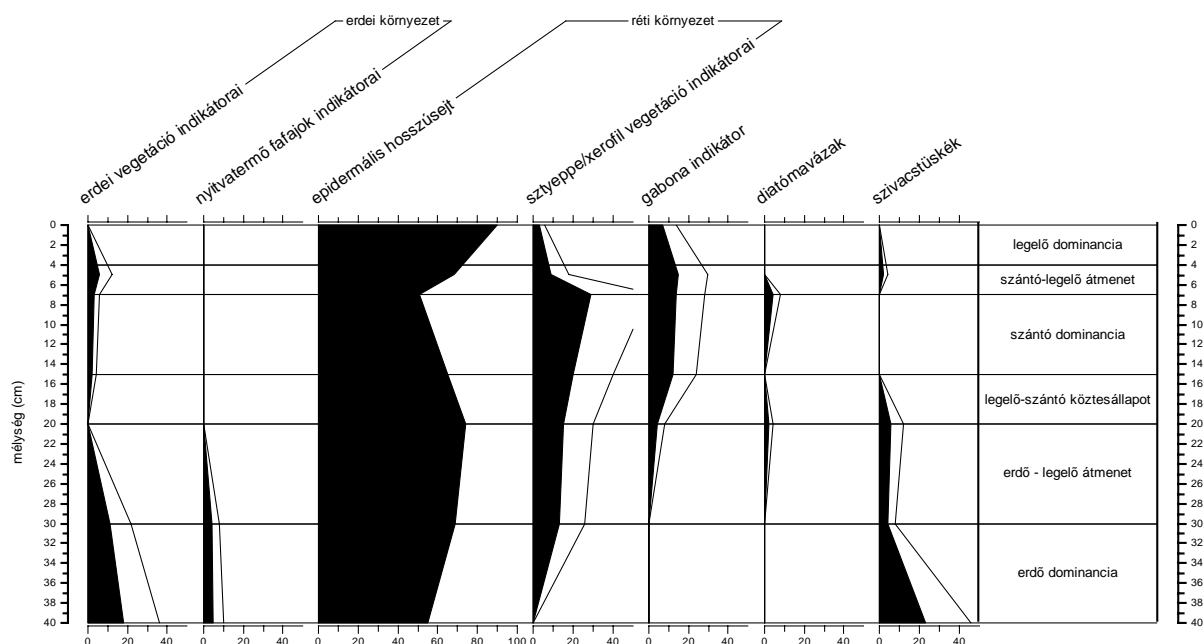
Légifelvételek, történeti térképek és a terület domborzati adottságainak függvényében megválasztott talajszelvény A₀ (organikus) szintje

7 cm-es, sötétbarna, a lágyszárúak gyökereivel jól átszőtt, gyengén szerkezetes. Alatta mintegy 30 cm vastag Ae (E) kilúgzási szint következik, amely szárazon fakó, kagylós törésű, fizikai félesége vályog. Ez a szint enyhén benyúlik (EB) a felhalmozódási B-szintbe is, amely rozsdabarna, agyagos, agyaghártyás. A B-szint szerkezete poliéderez, gyengén hasábos. Az agyagtartalom következtében kialakuló időszakos, gyenge függővízhatásra redukciós bélyegek utalnak. A szelvény 104 cm mélységtől detektálható alapkőzete Nummuliteszes mészkő (Szóci Mészkő Formáció), de valószínűsíthető, hogy a formációt egykoron vékony löszös lepel boríthatta, amely áttalajosodott. Szénsavas mésszel csak az alapkőzetben találkozunk, a szelvény kilúgzott, gyengén-közepesen savanyú kémhatású. A morfológiai bélyegek és a felismerhető talajtani folyamatok alapján az agyagbemosódásos barna erdőtalajok típusba tartozik, amely talaj a 700 mm-nél több éves csapadékkal rendelkező gyertyános tölgyesek és szubmontán bükkösök jellegzetes talaja a Bakonyvidéken.

Egyes talajtani paraméterek (pH [H₂O][KCl], TOC%, H%, összes só%, P_{összes}, K_A, mechanikai elemzés) vizsgálatán túl (Buzás 1988), a szelvény fitolitkészletét 7 talajminta segítségével dolgoztuk fel.

3. táblázat: A vizsgálatba vont, bakonyi kontroll szelvény talajtani adatai

genetikus talajszint	mélység	Vizsgált paraméter						
		pH		CaCO ₃ %	H%	TOC%	P _{összes} [ppm]	Mechanikai elemzés [a% / v% / h%]
		(H ₂ O)	(KCl)					
A₀	0-7	5,90	4,88	-	1,43	5,64	448,5	15,1 / 23,7 / 61,2
E	7-37	6,40	5,18	-	0,50	3,37	355,9	15,5 / 24,0 / 60,5
EB	37-47	6,53	4,93	-	0,60	2,35	231,0	17,3 / 22,4 / 60,3
B	47-104	6,01	4,24	-	0,40	3,30	428,7	32,0 / 20,8 / 47,2
D	104-120	-	-	-	-	-	-	-

**6. ábra:** A pénzegyőri hagyásfás legelőn felvett kontroll szelvény kovavázak indikátorainak százalékos eloszlása a mintázott réteg mentén

A mintákat vertikálisan, enyhén növekvő intervallumokban a 0-2 cm (A₀-szint), 2-4 cm (A₀-szint), 4-7 cm (A₀-szint), 7-15 cm (E-szint), 15-20 cm (E-szint), 20-30 cm (E-szint), illetve 30-40 cm-es (E/EB-szint) rétegekből vettem. A minták szerves anyagát, homok és agyag frakcióját egy több lépcsős szeparációs eljárással választottam el, majd a mintákat glicerine merítve fénymikroszkóppal történt meg a növényi opálszemcsék meghatározása és összeszámolása (Pearsall 2000). Jelen szelvény esetében a fentebb bemutatott ökológiai osztályozás alapelveit követtem (Golyeva 1997; 2001b) a minőségi elemzésnél, még a mennyiségi eloszlásnál a savoldhatatlan vályogfrakcióban (AIF) mérhető fitolit-tartalmat vettem alapul (Albert 2003).

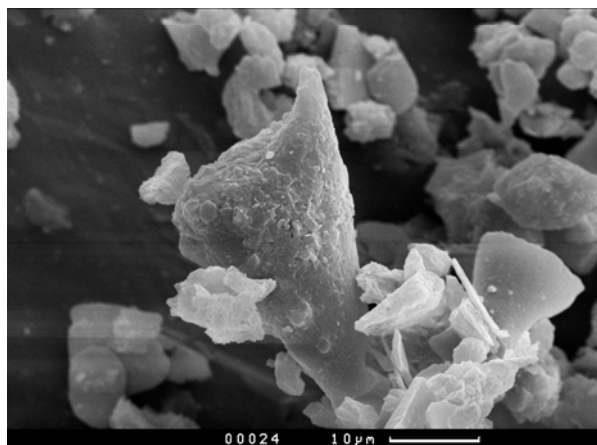
Eredmények és megvitatásuk

A fenti, **3. táblázat** a kontroll szelvény talajtani adatait tartalmazza. A részletes fitolit vizsgálat mellett, a minden esetben elkészülő alaptalajtani vizsgálatok a talaj, genetikai talajosztályozási rendszerbe (Stefanovits 1992) való besorolását segíti, illetve az adott típusnak megfelelő értékek ellenőrzése céljából készül.

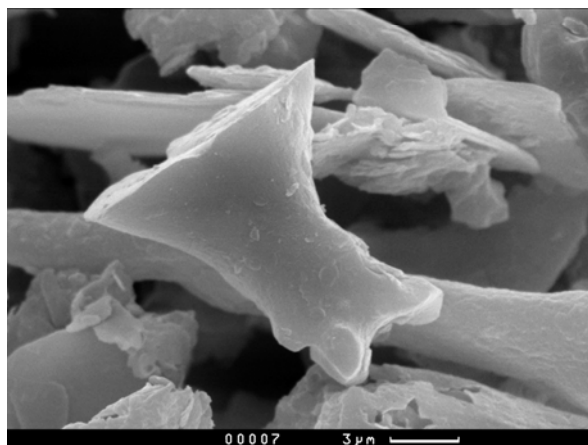
A vizsgálat során az egyes fitolitok (indikátortípusok) mintán belüli teljes mennyiségét a mellékletben foglalt eredménytáblázat (**Melléklet 1.**) adja közre, míg - az indikátortípusok összevonásából kialakított - indikátorcsoportok részarányát egy, az értelmezést segítő grafikon mutatja be (**6. ábra**).

4. táblázat: A pénzesgyőri hagyásfás legelő területhasználati múltja és a kontroll szelvény mintáiból feltárt élőhelyjelző indikátorok vertikális változása

Idősík	Információ hordozó	Környezeti állapot	Indikátorok és mintavételi mélység
1763-'68	I. Katonai Felmérés	I. fázis	40-30 cm – erdei indikátorok (speciális környezetjelzők)
1852-'54	II. Katonai Felmérés		
1879	III. Katonai Felmérés		
1880-1920	Veszprém Megyei Levéltár (Saláta et al. 2007 nyomán)	II. fázis	30-20 cm - csökkenő erdei indikátor arány, növekvő epidermális hosszúsejt és nyílt, réti élőhelyet jelző indikátor arány
1950-1968	légifelvételek	III.-V. fázis	20-4 cm növekvő, tetőző, majd csökkenő cereália indikátor arány
jelenkor	terepi megfigyelés	VI. fázis	4-0 cm csökkenő gabona indikátor arány, megnövekedő réti környezet jelzők



7. ábra: Erdei jellegű habitat pázsitfűfajainak trichomái (Pénzesgyőr, PA01 szelvény 30-40 cm) (fotó: szerző. Vö.: **1. táblázat**)



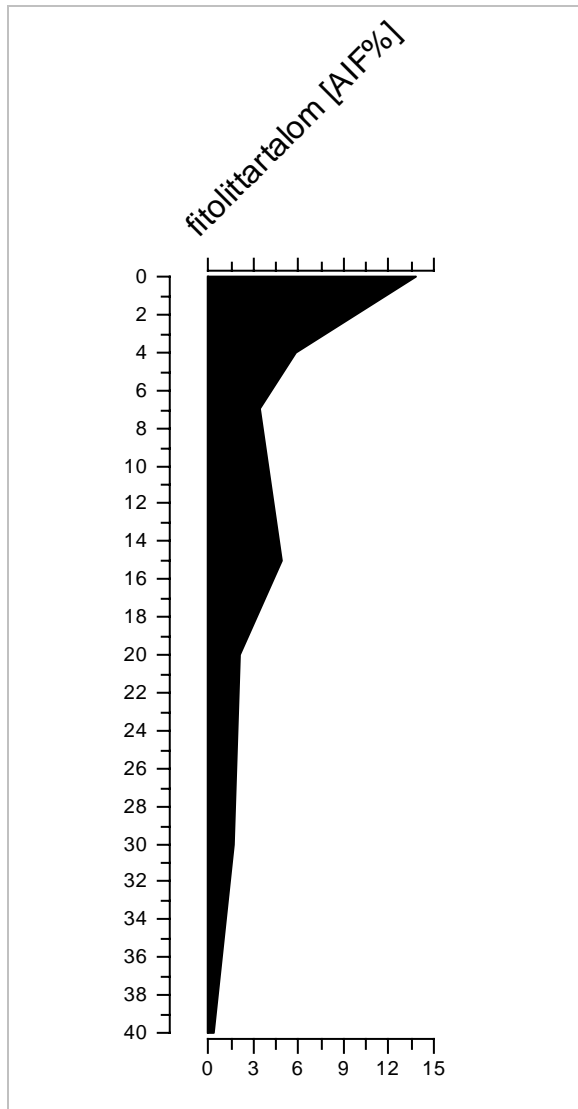
8. ábra: Sztyepei jellegű habitat pázsitfűfajainak indikátor fitolitformái (Pénzesgyőr, PA01 szelvény 4-7 cm) (fotó: szerző. Vö.: **1. táblázat**)

A megmintázott réteg kovavázis indikátorainak grafikus ábrázolásával jól kirajzolódnak a terület egykori felszínborítás, illetve tájhasználati változásai. A szelvényben talált kovavázis indikátorok eloszlásgörbéi alapján 6 élőhelytípus, - változat különíthető el, amelyek egymást időben váltva jelentek meg a területen. Természetesen az egyes váltások nem választhatóak el egy egyértelmű vízszintes vonallal, és nem válnak el egymástól sem térben, sem időben elvágólag, mégis az egyes fejlődési fázisok indikátorcsoport-összetétele és a korábban megismert fejlődési fázisok közötti megfeleltetés elvégezhető (**4. táblázat**).

Amennyiben alulról kezdjük elemezni a szelvényt, szembeötlő, hogy a zárt erdőt indikáló fitolit morfolópusok mellett (I. fázis: *erdő dominancia*, 40-

30 cm-es réteg, **7. ábra**), az egykori geográfiai pozícióval összefüggésbe hozható többletvízhatásra utaló szivacsüstök is jelentékeny mértékben képviseltetik magukat a mintában. A 30-20 cm-es rétegben az erdei indikátorok részarányának erőteljes csökkenése mellett, a gyepevegetációt megjelenítő epidermális hosszúsejt fitolitok, illetve a szárazabb, zárt erdőborítást nem kedvelő pázsitfűfajok indikátorai jelennek meg. Az említett indikátorcsoport-váltás feltehetően a már ismert tájhasználati változással állhat összefüggésben (II. fázis: *erdő-legelő váltás/átmenet*), hiszen a fakitermelést követően már az első években megjelenhetnek olyan, a területen addig ismeretlen pázsitfűfajok, amelyek a nyíltabb, viszonylagosan szárazabbá váló élőhelyet benépesítik.

A területhasználat történeti feldolgozásából tudjuk (Saláta et al. 2007), hogy az erdőirtást, fakitermelést követően nem került azon nyomban szántó művelési ágba a terület, hanem kettős funkciót látott el.



9. ábra: A péznesgyőri hagyásfás legelőn felvett kontroll szelvény sav-oldhatatlan vályog frakciójában mért fitolitttartalom (AIF%)

Ezt a fázist jelenítheti meg a **6. ábra** 20-15 cm-es rétege (III. fázis: *legelő-szántó köztesállapot*).

A szelvény 15-7 cm-es rétegéből feltárt indikátorok egyrészt jól kirajzolják a szántó dominanciáját (IV. fázis: *szántó dominancia*) a területen, amely egyértelműen megmutatkozik a természetett gabonafélékre jellemző indikátorcsoport megjelenésével és részarány-növekedésével. Ezzel a növekedéssel jó összhangot mutat az epidermális hosszú sejtek részarány-csökkenése, amely feltehetően a területen maradó biomassza-csökkenés egyik markáns, nem elhanyagolható jele. A természetett gabonák jelenlétét indirekt úton a szárazabb élőhelyet kedvelő növények indikátorcsoportjának növekedése is jelzi a

rétegben, hiszen ezek a gyakorinak tekinthető, természetett növényfajok (pld.: *Triticum* spp., *Avena* sp., stb.) is képeznek olyan, nem kizárólagosan diagnosztikus fitolitokat, amelyek az említett indikátorcsoport mennyiségét növelhetik. A szántó/gyep konverzió megvalósulását (V. fázis: *szántó-legelő átmenet*), potenciális időbeli lefolyását a szelvény felső 4-7 cm-es rétege képviseli. Ez természetesen annak a folyamatnak az előjele, amely aztán a szelvény legfelső mintáiból kiolvasható őshonos gyep vegetáció előretörését, és a szántó felhagyását jelzi számunkra (VI. fázis: *legelő dominancia*).

A növényi opálszemcsék feltárása során a szénsavas mésztartalom, szervesanyag-, agyag- és homoktartalom elválasztása után visszamaradó vályog frakció az ún. AIF (*acid insoluble fraction*), amely a fitolitokat is tartalmazza. A talajszelvény mentén mérhető AIF-en belüli mennyiségi fitoliteloszlás további támpontokkal szolgál az elemzéshez (Albert 2003; Kamanina 1997). Jelen esetben az AIF-en belül mért fitolitttartalom fokozatos csökkenését látjuk, amely lefutástípus egy kiemelkedő pont kivételével megfelel egy el nem temetett, fokozatosan fejlődött talaj esetében várható lefutási görbe vonalának (**9. ábra**). A legfelső, megmintázott rétegben mért 13,84%-os fitolitttartalom [AIF%] 0,39%-ra való lecsökkenése 40 cm-nél jelzi számunkra (Melléklet 2.), hogy a talajszelvény 40 cm-nél mélyebb rétegeiből vett minták elemzése nem bővítette volna meghatározó módon ismereteinket a szelvény fitolitösszetétele és -eloszlása tekintetében. 15 cm-es mélységnél, amely a talaj eluviális szintjének felső harmada, enyhe dúsulási réteget lehet észlelni. Egy agyagbemosódásos barna erdőtalaj esetében a fitolitok feldúsulását az eluviális szint és a felhalmozódási B-szint határán váránk a megváltozó textúra viszonyoknak köszönhetően, hiszen a növényi opálszemcsék vertikális mozgását, akkumulációját közvetlenül befolyásolja a talaj fizikai félesége (Hart & Humphreys 1997). A péznesgyőri szelvény esetében 47 cm körül mutatkozik a textúrabeli váltás az E/B - E-szintek átmeneténél (**3. táblázat**). A természetes fitoliteloszlástól eltérő lefutási görbéknek sok esetben antropogén hatásokban keresendő a magyarázata, amely a péznesgyőri vizsgálati területen a szántással, és a szántás mélységével mutathat összefüggéseket. A természetes talajfejlődés folyamán kialakuló vertikális fitoliteloszlási profil lefutási görbéjében erős eltéréseket szedimentációs (erodatív és akkumulatív egyaránt) folyamatok (Kamanina 1997), illetve fizikai féleségben mutató eltérések okozhatnak. Jelen szelvény geomorfológiai pozíciója kizárja az erózió eredményeképpen történő feldúsulást, a kimutatott csúcs pedig nem esik egybe a szelvényen

belül megfigyelt és laboratóriumi eredményekkel alátámasztott textúrdifferenciálódás rétegével. Amennyiben összevetjük a minőségi elemzés eredményeképpen kapott fejlődési fázisokkal, akkor azt láthatjuk, hogy a szántó dominanciájával fémjelzett IV. fázis által megjelenített rétegbe esik a mennyiségi eloszlásnál mért kiugró csúcs a **9. ábrán**, így nemcsak az egyes indikátortípusok megjelenése és feldúsulása, hanem a szántás keverő hatásának mennyiségi növekedést előidéző hatása is tetten érhető a szelvény fitoliteeloszlásában.

A tárgyalt példa egy kontroll szelvény, és természetesen egy ilyen részletes rekonstrukció nem mindig valósítható meg csak és kizárólag a fitolitelemzés módszerével. Mégis, a cél, amely arra irányult, hogy információhoz jussunk egy hazai fitolit-talaj adatbázis létjogosultságát illetően megvalósulni látszik, hiszen ahogy ez a példa is mutatja, ha a megfelelő módszerrel „olvasunk” a talajok által tárolt, őrzött emlékek között, akkor többlet információval gazdagíthatjuk egy terület, térség, vagy akár régió tájfejlődésének ismeretanyagát.

Összességében elmondható, hogy a szelvényből feltárt növényi opálszemcsék elemzéséből nyert adatok, jó összhangot mutatnak a terület, történeti adathordozók alapján felvázolt tájhasználati képével. Természetesen a fitolit elemzés nem mindenható eszköz a kezünkben, de úgy tűnik, hogy létjogosultsága a tájfejlődési és területhasználati kutatásokban, rekonstrukciós munkákban megalapozott és adott esetben nemcsak többlet információval szolgálhat, hanem jó határfokkal szűkítheti egy problémakör kapcsán felvázolt hipotézisek számát.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti Dr. Alexandra A. Golyevát, az Orosz Tudományos Akadémia, Földrajztudományi Kutató Intézetének kutató professzorát a fitolitelemzés területén nyújtott segítségével, illetve Dr. Barczy Attilát, a Szent István Egyetem, Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet egyetemi docensét a talajtani munkák területén nyújtott segítségével és a téma kidolgozásában tanúsított támogatásáért. Köszönettel tartozom továbbá Bányász Ágnesnek a talajminták alapvizsgálatainak laborálásában nyújtott segítségéért.

Irodalomjegyzék

ALBERT, R.M., BAR-YOSEF, O., MEIGNEN, L. & WEINER, S., 2003: Quantitative Phytolith Study of Hearths from the Natufian and Middle Palaeolithic Levels of Hayonim Cave (Galilee, Israel). *Journal of Archaeological Science* **30**, 461-480.

BARCZI, A., GOLYEVA, A.A. & PETŐ. Á., 2009: Paleoenvironmental reconstruction of Hungarian kurgans on the basis of the examination of paleosoils and phytolith analysis. *Quaternary International* **193(1-2)**, 49-60. [Perspectives on Phytolith Research: 6th International Meeting on Phytolith Research]

BLINNIKOV M., 2008: Phytolith analysis in limited paleoenvironmental contexts: AAA (Arctic, alpine or aquatic). *7th International Meeting on Phytolith Research – 4th Southamerican Meeting on Phytolith Research. Book of Abstracts*, p. 4.

BUZÁS, I. (szerk.), 1988: *Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszertan* 1-2. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest

CLARKE, J., 2003: The occurrence and significance of biogenic opal in the regolith. *Earth-Science Reviews* **60**, 175-194.

DARWIN, C.R., 1845a: *Journal of Researches into the Natural History and Geology of the countries visited during the voyage of H.M.S. Beagle round the World, under the Command of Captain Fitz Roy, R.A.*, Second edition, corrected, with Additions. London, John Murray, Albemarle Street.

DARWIN, C.R., 1845b: An account on the fine dust which often falls on vessels in the Atlantic Ocean. *Quarterly Journal of the Geological Society of London* **2**, 26-30.

EHRENBERG C.G., 1851: On the tchornoï zem of Russia. *Quarterly Journal of the Geological Society of London* **7(2)**, 112-113.

FINNERN, H. (ed.), 1994: *Pedological mapping manual*. 4. Verbesserte und erweiterte Auflage. Hannover.

FRANCESCHI, V.R. & NAKATA, P.A., 2005: Calcium Oxalate in Plants: Formation and Function. *Annual Review of Plant Biology* **56**, 41-71.

GOLYEVA, A.A., 1997: Content and distribution of phytoliths in the main types of soils in Eastern Europe. In: PINILLA A., JUAN-TRESSERAS J. & MACHADO M. J. (eds.): *Monografías del centro de ciencias medioambientales, CSCI (4), The state of-the-art of phytoliths in soils and plants*, Madrid, p. 15-22.

GOLYEVA, A.A., 2001a: Biomorph analysis as a part of soil morphological investigations. *Catena* **43**, 217-230.

GOLYEVA, A.A., 2001b: *Phytoliths and their information role in natural and archeological objects*. Moscow, Syktyvar Elista, p. 200.

GOLYEVA, A.A., 2007: Various phytolith types as bearers of different kinds of ecological information. In: MADELLA, M & ZURRO, D. (eds.): *Plants*,

people and places. *Recent studies in phytolith analysis*. Oxbow Books, pp. 196-201.

GORBUSHINA, A.A., KORT, R., SCHULTE, A., LAZARUS, D., SCHNETGER, B., BRUMSACK, H.-J., J. BROUGHTON, W.J. & FAVET J., 2007: Life in Darwin's dust: intercontinental transport and survival of microbes in the nineteenth century. *Environmental Microbiology* **9**(12), 2911–2922.

GROB A., 1896: Beiträge zur Anatomie der Epidermis der Gramineenblätter. *Bibliotheca Botanica* **36**, 1-63.

GYULAI F. 1993: Environment and Agriculture in Bronze Age Hungary. *Archaeolingua*, Budapest, 59 p.

GYULAI F. 1996: Balatonmagyaród-Hídvégpuszta késő bronzkori település növényleletei és élelmiszermaradványai (Die Pflanzenfunde und Lebensmittelreste aus der spätbronzezeitlichen Siedlung von Balatonmagyaród-Hídvégpuszta). *Zalai Múzeumok* **6**, 169-195.

HART, D.M. & HUMPHREYS, G.S. 1997: The mobility of phytoliths in soils; pedological considerations. In: PINILLA, A. - JUAN-TRESSERAS, J. - MACHADO, M. J. (eds.): *Monografías del centro de ciencias medioambientales, CSCI (4), The state of-the-art of phytoliths in soils and plants*, Madrid, p.93-100.

HARVEY, E.L. & FULLER, D.Q., 2005: Investigating crop processing using phytolith analysis: the example of rice and millets. *Journal of Archaeological Science* **32**, 739-752.

HENRY, A.G. & PIPERNO, D.R., 2008: Using plant microfossils from dental calculus to recover human diet: a case study from Tell al-Raqa'i, Syria. *Journal of Archaeological Science* (in press).

JAHREN, A.H., TOTH, N., SCHICK, K., CLARK, J.D. & AMUNDSON, R.G., 1997: Determining Stone Tool Use: Chemical and Morphological Analyses of Residues on Experimentally Manufactured Stone Tools. *Journal of Archaeological Science* **24**, 245–250.

KAMANINA, I.Z. 1997: Phytoliths data analysis of soils of different landscape zones. in: PINILLA, A.; JUAN-TRESSERAS, J. & MACHADO, M. J. (eds.): *Monografías del centro de ciencias medioambientales, CSCI (4), The state of-the-art of phytoliths in soils and plants*, Madrid, p. 23-32.

KENÉZ, Á., SZEMÁN, L., SZABÓ, M., SALÁTA, D., MALATINSZKY, Á., PENKSZA, K. & BREUER, L., 2007: Természeti védelmi célú gyephasznosítási terv a pénzegyőr hárskúti hagyásfás legelő élőhely védelmére. *Tájökológiai Lapok* **5**(1), 35-41.

KIRÁLY, G., MOLNÁR, ZS., BÖLÖNI, J., CSIKY, J. & VOJTKÓ, A., 2008: *Magyarország földrajzi kistájainak növényzete*. MTA ÖBKI, Vácrátót, p. 248.

KRUMBEIN, W.E., 1995: Gone with the wind — a second blow against spontaneous generation. In memoriam, Christian Gottfried Ehrenberg (1795–1876). *Aerobiologia* **11**, 205-211.

LINSBAUER, K. (ed.) 1929: *Handbuch der Pflanzenanatomie*. Berlin, Gebrüder Bornträger.

MADELLA, M., 2008: The „stones from plants”: A review of phytolith studies and classification in Europe, Asia and North America. In: ZUCOL A.F., OSTERRIETH, M.L. & BREA, M. (eds.): *Fitolitos estados actual de su conocimiento en America del Sur*. Universidad Nacional de Mar del Plata, p. 23-39.

MADELLA, M., ALEXANDRE, A. & BALL, T., 2005: International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. *Annals of Botany* **96**, 253–260.

MATICHENCOV, V.V. & BOCHARNIKOVA, E.A., 2001: The relationship between silicon and soil physical and chemical properties. In: DATNOFF, L.E., SNYDER, G.H. & KORNDÖRFER, G.H. (eds.): *Silicon in Agriculture*. Elsevier Science B.V., pp. 209–219.

MULHOLLAND, S.C. & RAPP, JR.G., 1992: Phytolith systematics: An introduction. In: RAPP, JR.G. & MULHOLLAND S.C. (eds.): *Phytolith Systematics: Emerging issues. Advances in archaeological and museum sciences*, Vol. 1., Plenum Press, New York. p. 1-13.

NETOLITZKY, F., 1914: Anatomische Beobachtung an Zerealienfrüchten. *Österreichische Botanische Zeitschrift*. LXIV Nr. 7. p 265-272.

NETOLITZKY, F., 1929: Die Kieselkörper. In: Linsbauer K. (ed.) 1929: *Handbuch der Pflanzenanatomie* 3/1a: p. 1-19., Berlin, Gebrüder Bornträger.

PARFENOVA, E.I. & YARILOVA, E.A. 1956: The formation of secondary minerals in connexion with the migration of elements. *Pochvovedenie* **4**, 38-42

PETŐ Á., 2007: Introducing the phytolith analysis: A suitable method in palaeoecology and landscape ecology. *Tájökológiai Lapok* **5**(1), 91-102.

PETŐ, Á., 2009: A növényi opálszemcsék kutatásának rövid tudománytörténeti áttekintése a felfedezéstől napjainkig. *Tájökológiai Lapok* **7**(1), 39-63.

PETŐ Á, BUCSI T., 2008: Kiegészítő adatok a Csípő-halom paleoökológiai elemzéséhez. *Tájökológiai Lapok* **6**(1-2), 197-208

- PETŐ, Á., BARCZI, A, JOÓ, K & GRÓNÁS, V., 2008: Phytolith analysis of modern soil profiles as a tool to demonstrate land use changes and anthropogenic impact. (Case study from the Bakony Mountains). *Cereal Research Communications* (Supplement) **36**, 955-958.
- PIPERNO, D.R., 1988: *Phytolith analysis: An Archaeological and Geological Perspective*. Academic Press, Harcourt Brace Jovanovich, Publishers, San Diego, 268 pp.
- PIPERNO, D.R., 2006: *Phytoliths. A comprehensive guide for archaeologists and palaeoecologists*. Altamira Press, 238 pp.
- PERSAITS, G., GULYÁS, S., SÜMEGI, P. & IMRE, M. 2008: Phytolith analysis: environmental reconstruction derived from a Sarmatian kiln used for firing pottery. In: Szabó, P. & Hédl, R. (eds.): *Human Nature: Studies in Historical Ecology and Environmental History*. Institute of Botany of the Czech Academy of Sciences, Pruhonice, pp. 116-122.
- PEARSALL, D.M., 2000: *Paleoethnobotany. A handbook of procedures*. Academic Press, London
- PEARSALL, D.M, CHANDLER-EZELL, K & ZEIDLER, J.A., 2004: Maize in ancient Ecuador: results of residue analysis of stone tools from the Real Alto site. *Journal of Archaeological Science* **31**, 423–442.
- POWERS, A.H. 1992: Great Expectations: A short historical review of European phytolith systematics. In: RAPP, JR. G. & MULHOLLAND, S. C. (eds.): *Phytolith Systematics: Emerging issues. Advances in archaeological and museum sciences*, Vol. 1., Plenum Press, New York. p. 15-35.
- RAPP, JR. G. & MULHOLLAND, S.C., 1992: *Phytolith Systematics: Emerging issues. Advances in archeological and museum sciences*, Vol. 1., Plenum Press, New York, 350 pp.
- PRYCHID, C.J. & RUDALL, P.J., 1999: Calcium Oxalate Crystals in Monocotyledons: A Review of their Structure and Systematics. *Annals of Botany* **84**, 725-739.
- SALÁTA, D., SZABÓ M., KENÉZ, Á., MALATINSZKY, Á., DEMÉNY, K. & BREUER L., 2007: Adatok a pénteszgyőr-hárskúti hagyásfás legelő tájtörténetéhez. *Tájökológiai Lapok* **5**(1), 19-25.
- SAUER, D., SACCONI, L., CONLEY D.J., HERRMANN, L. & SOMMER, M., 2001: Review of methodologies for extracting plant-available and amorphous Si from soils and aquatic sediments. *Biogeochemistry* **80**, 89–108.
- SHELLENBERG H.C., 1908: Wheat and barley from the North Kurgan, Anau. In: PUMPELLY, R. (ed.): *Explorations in Turkestan* Vol. 3. p. 471-473. Carnegie Institute, Washington DC.
- STARNINI, E., SZAKMÁNY, GY. & MADELLA, M., 2007: Archaeometry of the first pottery production in the Carpathian Basin: Result from two years of research. *Atti del IV. Congresso Nazionale AIAR. Pisa, 1-3 febbraio 2006*. Estratto p. 401-411.
- STEFANOVITS, P., 1992: *Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest*, p. 380
- SZABÓ, M., KENÉZ, Á., SALÁTA, D., SZEMÁN, L. & MALATINSZKY, Á., 2007: Studies on botany and environmental management relations on a wooded pasture between Pénteszgyőr and Hárskút villages. *Cereal Research Communications* **35**(2), 1133-1136
- USOV N.I., 1943: Biological accumulations of SiO₂ in soils. (Pedology) *Pochvovedenie* **9-10**, 30-36.
- YARILOVA E.A., 1956: Mineralogical investigation of a sub-alpine chernozem on andesite basalt. *Kora Vyvetrivaniya* **2**, 45-60.

Melléklet 1.: A pénzgyöri ABET szelvény mintáiból feltárt, meghatározott és leszámolt növényi opálszemcsék

Kód	Mintavételi mélység	Genetikus talajszint	Indikátor típusok											Összesen				
			Növényi opálszemcsék							Egyéb kovavázias indikátor		Egyéb növényi indikátorok*		n	%			
			1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.					
PA01-1	0-2 cm	A ₀	90,3	0,0	0,0	3,2	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	+	31	100,0
PA01-2	2-4 cm	A ₀	68,1	6,4	0,0	8,5	14,9	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	-	++	47	100,0
PA01-3	4-7 cm	A ₀	51,4	2,8	0,9	27,5	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	0,0	0,0	-	++	109	100,0
PA01-4	7-15 cm	E	65,3	2,0	2,0	18,4	12,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	+	49	100,0
PA01-5	15-20 cm	E	74,1	0,0	1,9	9,3	3,7	3,7	0,0	0,0	0,0	1,9	5,6	0,0	-	+/-	54	100,0
PA01-6	20-30 cm	E	68,5	11,1	1,9	3,7	0,0	7,4	3,7	0,0	0,0	0,0	3,7	0,0	++	+	54	100,0
PA01-7	30-40 cm	EB	54,5	18,2	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	22,7	0,0	0,0	+	+	22	100,0

1. epidermális hosszúsejt fitolitok, 2. erdei jellegű habitat pázsitfűfajainak trichómái, 3. mezsei jellegű habitat pázsitfűfajainak trichómái, 4. sztyepei jellegű, száraz habitat pázsitfűfajainak indikátor fitolitformái, 5. gabona indikátor, 6. polylobate, 7. túlevelű fajajok indikátorformái, 8. kovamoszat vázak, 9. *Porifera* spp. tüskéi, 10. fűszárú detritusz, 11. légyszárú detritusz

* csak szemikvantitatív információ

Melléklet 2.: A pénzgyöri ABET szelvény mintáiban mért fitolit koncentráció

Kód	Mintavételi mélység	nyers minta [g]	centrifuga tubusba mért minta tömege [g]	[AIF]	centrifugálás utáni feltárt minta tömege [g]	AIF%
PA01-1	0-2 cm	11,25		5,200	0,720	13,846
PA01-2	2-4 cm	12,03		5,460	0,320	5,861
PA01-3	4-7 cm	11,40		5,000	0,170	3,400
PA01-4	7-15 cm	11,90		5,520	0,270	4,891
PA01-5	15-20 cm	12,79		9,660	0,210	2,174
PA01-6	20-30 cm	12,44		9,520	0,160	1,681
PA01-7	30-40 cm	12,74		10,030	0,040	0,399