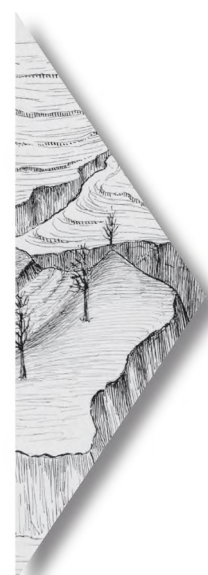


A szél felszínalakító munkája a Balaton környezetében

A szél felszínformáló erejéről elsőként valószínűleg mindenkinek a sivatagok örökké változó homokdűnéinek romantikus világa jut eszébe. Pedig a szél pusztító és építő munkájának eredményei hazánkban is kézzel foghatóak. Lóczy Lajos és Cholnoky Jenő már száz évvel ezelőtt felismerte, hogy a Dunántúl felszíni formakincseinek létrehozásában a szélnek sokkal nagyobb szerepe volt, mint azt korábban gondolták. Sőt, a Balaton monográfiában nem csak a pleisztocén kor jóval szárazabb éghajlatán fújó szelek felszínformáló bizonyítékait vették sorra, hanem a jelenkori szélerózió munkájáról is értekeztek. Arra azonban még ők sem gondoltak, amit az elmúlt évtizedek kutatásai alapján ma már tudunk, hogy a Balaton kialakulásában is kiemelkedő szerepe volt a szélnek. Mindennek a bizonyítékai a Balaton-felvidéken és a Somogyi-dombság területén körbevesznek bennünket: a szél alakította völgyek, medencék, a kőtengerek csiszolt sziklafelszínei, az éleskavicsok és a szél által lerakott üledékek, a lösz és a futóhomok.



A Balaton-tó medenczének helyzete és felépítése

További tapasztalataink azt bizonyítják, hogy a pliocénkor végén és a pleisztocén-vagy negyedkor elején száraz, sőt sivatagbéli klíma uralkodott a magyar medenczében, ennek a klímának különösen a Balatonfelvidéken és a Kis-Alföldön vannak jellemző maradványai. Felismertük, hogy az akkorig is uralkodó északi (ÉK—É—ÉN.) száraz szélviharok megtámadták, a száguldó homokkal koptatták, súrolták a Bakonyt, elhordták területéről a kiszáradó növényzettől nem védett, laza anyagokat, külö-

nösen a homokot. Messze délen, talán a Duna—Tisza közéig hajtotta a vihar a homokot, majd a füves puszták bekövetkezése idején porhullások takarták el vastagon Baranya, Somogy, Tolna és Veszprém vármegyék dombos hátságait 10–20 m vastag termékeny sárgafölddel, a löszszel.

Részlet Lóczy Lajos A Balaton földrajzi és társadalmi állapotainak leírása című könyvéből

A Balaton parti képződményei

... Fonyódon a meredek partfal homokos részeit az északi viharok megtámadják s ha valami kis eróziós beréselés barázdálja a fa-



▶
A fonyódi
széltölcsér képe

lat, ezen a kis barázdán fölkergeti a szél a homokot s fenn, a hegyperemen rakja le, ahol mindig egy kis szélárnyék képződik.

1915 április havában a templom, illetőleg a kis gloriette alatt egy kis barázda következtében a szélnek nevezetes támadó helye keletkezett. Fenn a peremen széles féltölcsér, ez alatt meredek kis rovátka s ez alatt finom homokból és agyagból álló, meredek törmelékgarmada keletkezett. A Spitzbergákon tanulmányozott, hasonló jelenség terminológiáját itt is megtartva, a felső, széles féltölcsért tölcsérnek, a szűk rovátkát garatnak s a törmelékhalmazt törmelékgarmadáknak neveztük, mert a törmelékkúp a vízzel szállított hordalékból felépített kúpokra már le van foglalva. Itt pedig a garmada szárazan hull össze, még pedig a szél munkájának hatására.

A felső tölcsér szélessége mintegy 15—20 méter, a garat szélessége 3—4 m, a szakadékos fal magassága a tó felett 50—60 méter. ... A tölcsér felső peremén a homokos pannóniai rétegek látszanak, vízszintes településben. A homokon keresztülhatoló repedések mentén leszivárgó víz, úgy látszik, egy parányit összecementezi a homokot, mert a szél finoman kipreparálja ezeket az összevisszamenő ereket, de oly lazák ezek is, hogy tapintással alig vehetnők észre, hogy keményebbek, mint a homokrétegek többi része. Fonyódi tartózkodásom alatt néhányszor néztem meg a töbröt s a szél munkáját szépen lehetett észlelni. Viharban nem lehetett megállni a tölcsér mögött, szembe nézve a tóval, mert annyira hord-



Deflációs garatrendszer a Fonyódi-hegy oldalán

ta a homokot, hogy fájdalmat okozott az arczon. Kissé hátrább kifútt fagyökereket lehet látni, ott is garázdálkodik a szél. A homokot aztán a tetőn a füvek és bokrok közt ejti le s ott rendetlen, de jól felismerhető homokbuczkák vannak. A szélről megmozdított homok egy része a garaton keresztül leperog és ebből épül fel a garmada.

A buczkák metszetét és elhelyezkedését jobban lehetett látni innen nyugatra, a villák előtt, egy nagyobb eróziós bevágódástól feltárva. A futóhomok egészen fiatal eredetét elárulja az a humuszos lösz-réteg, amely a futóhomokot a pannóniai homoktól elválasztja. ...

Részlet Cholnoky Jenő A Balaton hidrografiája című könyvéből

A szél felszínformáló tevékenységének szerepe a Dunántúl formakincsének létrehozásában a hazai földtudomány régóta vitatott kérdése. Lóczy Lajos és Cholnoky Jenő több mint száz évvel ezelőtt felismerte, hogy korábban a mainál jóval szárazabb éghajlat uralkodott a területen, és a szél pusztító erejének jelentős hatása volt a Közép-Dunántúl felszínének alakításában. A legnagyobb felszínformák kialakulását ugyanakkor szerkezeti mozgásokkal magyarázták: Lóczy szerint a Balaton vize két vető közt bezökkent tektonikus árokban gyűlt fel; a több 10 km hosszú, egyenes somogyi és zalai völgyek vonalában pedig törések mentén gyengült meg a kőzetanyag, amit aztán a légáramlás így el tudott hordani. Az 1970–80-as években Marosi Sándor, Szilárd Jenő és Pécsi Márton a kifúvás hatását kevésbé fontosnak ítélte, a formakincset inkább tektonikus, illetve folyóvízi eredetűnek tekintették. Az utóbbi két évtizedben a szerzők részvételével zajló földtani–geomorfológiai kutatások azt mutatták, hogy a szél szerepe jóval nagyobb a Balaton és környéke felszínformálásában, mint korábban gondolták, sőt, a korábbi elméletek-

kel ellentétben, köze van a Balaton keletkezéséhez is. A Dunántúl domborzatának és földtani felépítésének számos eleme árulkodik a szél felszínalakító erejéről, legyenek ezek szél által lenyesett síkságok, megcsiszolt kőzetfelszínek, szélvájta völgyek, vagy a kifújt kőzetanyagból felhalmozódott futóhomokmezők.

Ahogy a folyók, úgy a szél is más-más munkát végez eltérő típusú helyeken. Ha kiemelt területen hozzáférhető, növényzet által nem kötött, laza üledéket talál, azt lepusztítja, erodálja, egy darabig szállítja, végül lerakja. A szél irányát követve, északnyugatról délkelet felé mutatjuk be a Balaton tágabb környezetének szél által kialakított, más néven eolikus felszínformáit. Ezek a formák a mainál szárazabb éghajlatú időszakok folyamán alakultak ki, amikor a gyér növényzet alig védte a felszínt az erős szelektől.

A szél pusztító munkája

Síkságok és medencék

A Dunántúlon jellemző észak-északnyugati szelek az Alpok és a Kárpátok lealacsonyodó vonulatai között, a Bécsei-medence felől érke-



nek a területre. A Kisalföld egységes síkságként kezelt tája a felszín alatt több egységre bomlik. Északi fele Magyarország legmélyebb medencéi közé tartozik, ahol az idős (mezozoos) aljzat 6–7 km mélyen húzódik, a folyamatosan süllyedő felszínt pedig a Rába és a Duna vízrendszere töltögeti hordalékával. Míg itt a negyedidőszaki (az utolsó 2,6 millió évben lerakódott) üledékek több száz méter vastagságot is elérnek, dél-délkelet felé ezek egészen elvékonyodnak és helyettük a Pannon-tóban lerakódott felső-miocén (pannóniai) homokos–agyagos kőzetek vannak a felszínen és annak közelében. Ebben a sávban a síksági tájat nem a folyók feltöltő munkája alakította ki, hanem a szél hordta el a laza üledék felső részét. Csak ott maradtak kiemelkedések, ahol olyan keményebb kőzetek védték meg az alattuk fekvő üledéket a kifúvástól, mint a Somló és a Ság-hegy bazaltja vagy a Pannonhalmi-dombok tetejének homokköve.

A Kisalföld felől érkező szél ezután eléri a Dunántúli-középhegységet. A Bakony vagy a Balaton-felvidék kemény kőzeteit szárazabb éghajlatú időszakokban sem tudta érdemben kikezdeni, azonban elég ereje volt ahhoz, hogy

pusztítsa fölöttük azt a homokos rétegsort, amit körülbelül 9–8 millió éve a Pannon-tó hagyott maga után. A tavi üledékek a középhegység magasabb részeit vékonyabban fedték, míg az alacsonyabb helyzetben lévő alapkőzet fölött, a mai Tapolcai- és Káli-medencében több száz méteres vastagságot értek el. A tetőkről a homok szinte maradéktalanul lepusztult, már csak kis foltokban találjuk nyomait. Az említett medencékben ellenben válogató (szelektív) lepusztulás zajlott. A pliocén korban, 5–3 millió éve bazaltvulkánok törték át az üledéket, később pedig a homok és kavics bizonyos helyeken kovás oldatok hatására helyenként erősen cementálódott. A negyedidőszak során a laza üledékeket a szél és a víz szinte teljesen eltakarította a területről, csak a bazalttakaróval védett, illetve az ellenállóbb, cementált kőzettestek maradtak meg a teljes területet korábban befedő, homokos üledékekből. A kemény kőzettestek így kipreparálódtak a környezetük laza, könnyebben pusztuló anyagából. Ezen folyamatok alakították ki a tanúhegyek sorát, mint a Badacsony, a Szent György-hegyet és számos társukat, és így jöttek létre a Tapolcai- és Káli-

*A Kisalföld
deflációs síkságá-
ból kiemelkedő,
bazaltsapkás
Ság-hegy és
Somló.
A háttérben a
Bakony vonulata
sejlik fel*



li-medencében jellemző „kőtengerek” is. A kőtengerek szikláin megfigyelt, szélerózióra utaló bélyegek, mint a szélcsiszolta felszínek és élek, szélvályúk és -rovátkák arra engednek következtetni, hogy a felszín alacsonyodása ezekben a medencékben jelentős részben nem folyóvízi, hanem szélerózió útján történhetett. Ezt támogatja a terület morfológiája is: hiányoznak a bevágódott völgyek, a medencék sík domborzata pedig nem folyóvízi feltöltéssel jött létre, hanem felszínük egyenletes lepusztításával.

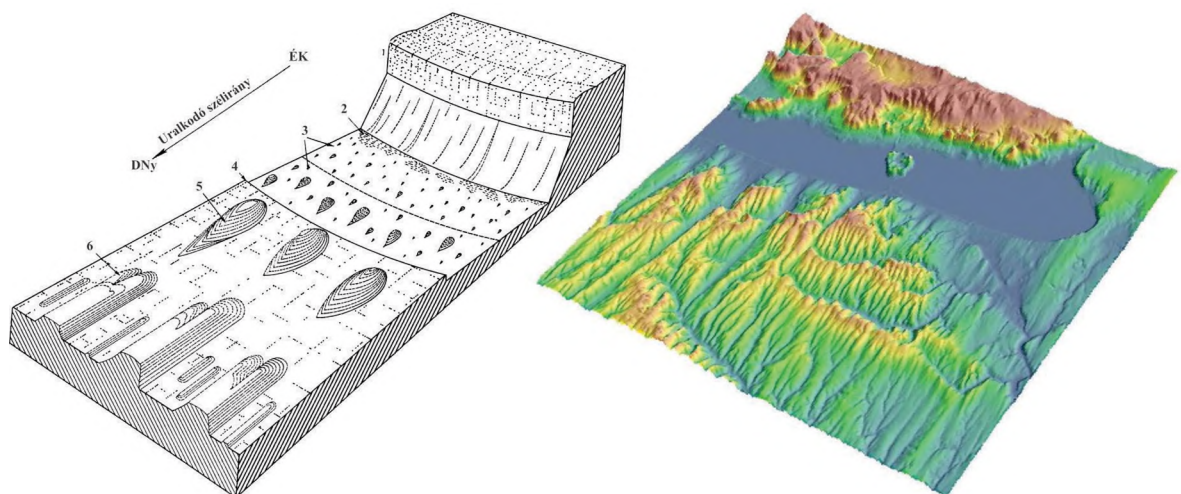
Szél alatti deflációs mélyedések

A Dunántúli-középhegység délkeleti oldalán következik a Balaton és attól valamivel északkeletebbre a Velencei-tó mélyedése. A területéhez képest mindkét tó rendkívül sekély: a Balaton 600 km²-es vízfelületéhez mindössze 3–4 m-es átlagos vízmélység tartozik, a Velencei-tó átlagos mélysége pedig másfél méter. Ezek az arányok általában a szélfújta mélyedésekben kialakuló tavakra jellemzőek.

A kifúvásnak, más néven deflációnak Lóczy és Cholnoky már a múlt század elején szerepet tulajdonított a Balaton kialakulásában. A medence létrejöttét ugyanakkor mindketten elsősorban tektonikai mozgásokkal magyarázták,

melyek során a középhegység tengelyével párhuzamos vetők közt a Balaton sávja árokszerűen bezökkent volna. A vetők menti besüllyedés elméletét később sokan támogatták (pl. Marosi Sándor és Szilárd Jenő), akik szerint a süllyedés még a holocénben, néhány ezer éve is zajlott. A tópart mentén húzódó feltételezett vetők létét az eddigi földtani térképezések azonban nem tudták igazolni. A régebbi megfigyelések – mint például amit Lóczy tehetett száz évvel ezelőtt – azt mutatják, hogy a negyedidőszaki üledékekben kivételes, és a késő-miocén üledékekben is nagyon ritka a vetődés nyoma. A balatoni vasút bevágásakor általa megfigyelt vetők, vagy más helyen észlelt szerkezetek nem párhuzamosak a „Balaton-árok” feltételezett peremvetőivel, így azokra nem adnak közvetlen bizonyítékot. A peremvetők nyomára rábukkanhatnánk a tó partvonalának meghosszabbításában is, azonban ott sem igazolódtak ilyen szerkezetek, pedig a zalai terület felszín alatti felépítése a kőolajföldtani kutatásoknak köszönhetően elég jól ismert. A nagyon részletes vízi szeizmikus mérésekkel kimutattak egy vetőzónát a Balaton alatt (lásd a 4. fejezetet), ez azonban lényegesen nem járulhatott hozzá a feltételezett árkos szerkezethez, mivel nem a Balaton peremén húzódik és nem

► *A Balaton környezetének fő felszínformái jól magyarázhatók a szél pusztító hatásával. A Szaharában megfigyelt formagyűttes jellemző övezetei (balra) megtalálhatók a Balaton környékén is (jobbra).*



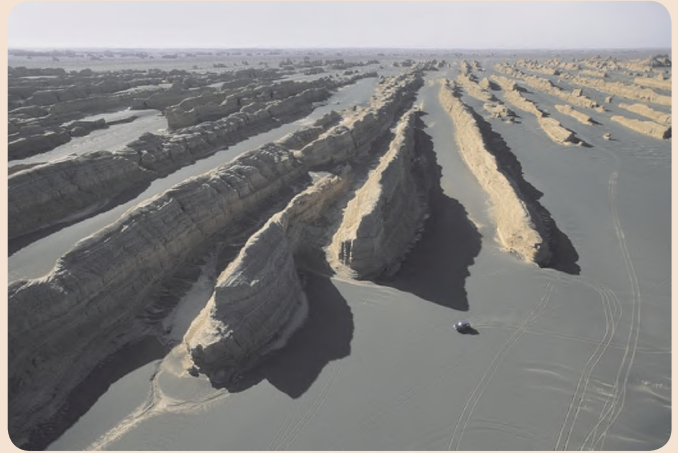
okozott érdemi függőleges elmozdulást sem. Hozzátehetjük ehhez, hogy a Pannon-medence utolsó néhány millió évében uralkodó összenyomós feszültségmező jellege és iránya sem kedvez árkok kialakulásának (részletesen lásd a 4. fejezetben). Összegezve tehát: a törészónák a tómeder mélyülésében nem játszhattak döntő szerepet – más megoldást kell tehát keresnünk.

Ha a Balaton medencéjét elsősorban a szél hozta létre, akkor meg kell találnunk ezt a formakincset a sivatagokban. És valóban, a Szahara homokkővidékeinek geomorfológiájáról készült ábrázoláson igen hasonló formaegyüttest látunk, mint a Balatonnál. A kemény kőzetekből álló, kiemelkedő hegyvonulat meredek, szél alatti oldalán a légáramlás hirtelen bukik le, akár vissza is örvénylik, így túlmélyíti a hegy lábánál húzódó sávot. A terepakadály által megkavart szél néhány km-rel távolabb visszanyeri rendezettségét, és mély, egyenes, párhuzamos völgyeket mélyít a felszínbe. Bár a növény- és vízborítás miatt a szél jelenleg nem tudja hatékonyan pusztítani a felszínt, a balatoni hajósok számára ma is jól ismert a hegyekből lecsapó, viharokat hozó „bakonyi főszele”, amelyre a vizet járó ember kellő tisztelettel és óvatossággal tekint.

Az eolikus domborzatformáláshoz szükséges száraz éghajlat a negyedidőszaki eljegesedések során rendelkezésre állt. A lehűlések idején az északi-sarki jégtakaró messze előrenyomult dél felé, így hazánk területe a periglaciális („jégköri”) éghajlati övbe esett, amelynek hideg sivatagi viszonyai közt az erős szelek könnyen pusztíthatták a ritkás növényzettel borított tájat. Támogatják ezt az elképzelést a balatoni üledékek korvizsgálatai is. A tavi iszap alatt tőzegtelepek fekszenek, egykori lápos-mocsaras térszint jelezve a mai tó helyén. A bennük megőrződött pollenek és a radiokarbon kormeg-

Yardang

A Belső-Ázsiából származó kifejezés meredek oldalú gerincet jelent, amelyet a szél egy korábbi egységes felszínből vés ki. A szállított homokszemekkel pusztítja a kőzetet, a keletkező törmelékzemcséket elhordja, és így keskeny, hosszú, párhuzamos völgyek sorát mélyíti ki.



határozás eredményei alapján tudjuk, hogy az első mocsári rétegek a késő-pleisztocénben, mintegy 18–17 ezer évvel ezelőtt kezdtek lerakódni. A tőzeg alatt a tó legnagyobb részén már nincs fiatal (negyedidőszaki) üledék, közvetlenül a felső-miocén pannon-tavi kőzetek következnek, azaz a mocsaraknak helyet adó mélyedésnek nem sokkal a tőzeg lerakódása előtt kellett létrejönnie. Erre kiválóan alkalmas volt az utolsó nagy eljegesedés időszaka, körülbelül 26–18 ezer évvel ezelőtt. Ekkor véshette ki a szél a tó részmedencéit, amelyekben kialakultak a tőzeges mocsarak. Az egységes víztűkör aztán a holocén kezdetén, mintegy tízezer éve jött létre, amikor a csapadékosabbá váló éghajlaton megemelkedett a vízszint, kiterjedt a vízfelület, és a részmedencék közti küszöbök a hullámvás is segített elmosni.

Bár a Balaton árkos besüllyedését a szerkezetföldtani vizsgálatok nem támasztották alá, tudjuk, hogy vannak függőleges kéregmozgások a területen. A Balaton északnyugati oldala a délinél jobban emelkedik, évi néhány tized mm-es különbséggel. Ez része annak a nagy kiterjedésű emelkedésnek, ami a Dunántúlt szinte

teljes mértékben érinti, és ami nagyobb léptékű a Dunántúli-középhegységben, mint a somogyi és zalai dombok esetében. Ez az eltérő mértékű kiemelkedés nagy szerepet játszott a szélróziónak kedvező domborzat kialakításában, hiszen fokozatosan növelte a Bakony és a Balaton-felvidék magasságát a délkeleti előtérhez képest, így növelve a lefutó szelek hatékonyságát.

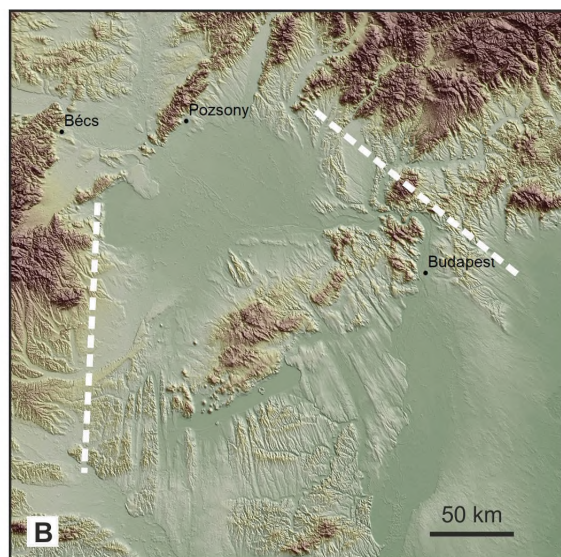
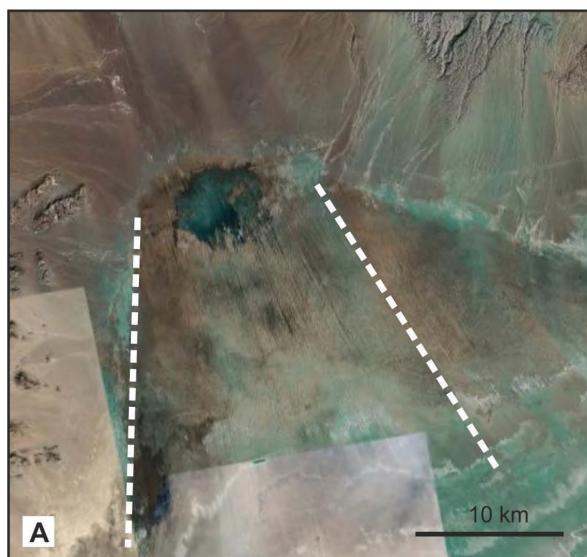
Sugárirányú völgyek

A Balatontól délre és nyugatra futó hosszú, egyenes völgyek és hátaik rendszere már korán felkeltette a földtudósok figyelmét. Ezeket a völgyeket szokták meridionális (a délköröknek megfelelő irányú) völgyekként emlegetni uralkodó észak–déli lefutásuk miatt, vagy sugárirányú völgyekként, mert dél–délkelet felé sugarasan széttartanak. A meridionális völgyeket Lóczy és Cholnoky egyaránt a szélróziónal magyarázták. Cholnoky a zalai és somogyi völgyeket „szélbarázdaként”, a köztük emelkedő hátaikat pedig maradékgerincként, vagy a nemzetközi szakirodalomban használt szóval yardangként értelmezte. A szél munkája mellett Lóczyék és hozzájuk hasonlóan Jámbor Áron is fontosnak tartotta a völgyek szerkezeti meghatározottsá-

gát, azaz, hogy a völgyek nyomvonalát törések jelölték ki, ezek aprózták fel a kőzetet, amit aztán a szél elszállított (lásd a 4. fejezetet). Más szerzők általában a tektonika szerepét gondolták elsődlegesnek, ahol a vetők mentén létrejött völgyeket a folyóvíz, esetleg a szél formálta tovább.

A közelmúlt geofizikai vizsgálatai azonban azt mutatták, hogy a völgyek alatt nem húzódnak jelentős törések. A „mélybelátó” szeizmikus szelvények 15–20 méternél nagyobb elmozdulást biztosan azonosítanak, de ilyenekre a vizsgálatok során nem bukkantak. A meridionális völgyek Balaton alatti meghosszabbításában még a kisebb vetők létét is kizárhatjuk, hiszen az ottani geofizikai anyag rendkívül részletes (lásd a 4. fejezetet) és nem mutat a völgyek irányában haladó, fél méternél nagyobb elvetésű vetőket. A hosszú, egyenes forma mellett a sugárirányú völgyek egyéb alakj jellemzői is eolikus eredetre utalnak. Völgytalpuk lapos, és ha van is bennük vízfolyás, az aránytalanul kicsi a völgy szélességhez képest. Akár több km hosszú szakaszokon sincs lejtésük. Folyóvízi üledék sok helyen nincs bennük vagy igen vékony, viszont több szakaszon futóhomokbuckák ülnek a völgytalpon. Hasonló megjelenésű völgyek és hátaik

▶
*Hosszú, egyenes („sugárirányú”) völgyek és hátaik rendszere
A) a sivatagos Caidam- vagy Qaidam-medencében, Kína belső-ázsiai részén (GoogleEarth műholdkép) és
B) a Dunántúlon (domborzatmodell)*



rendszere a Föld számos sivatagos területén jött létre, ahol erős és állandó irányú szelek fújnak (a műholdfelvételeket nézve könnyen rájuk találhatunk). Nyílt területeken a völgyek párhuzamosak egymással, mint például a Szaharában. Ha viszont a szél hegyek közt tör át és a medencében szétterül, a keletkező völgyek és hátaik sugaras elrendeződésűek lesznek, mint Belső-Ázsia hegyvonulatai közt vagy a Kárpát-medencében.

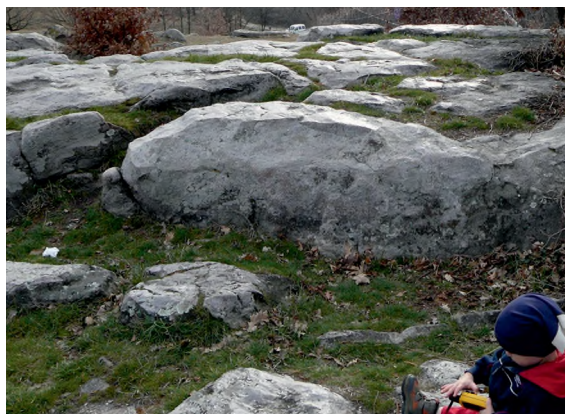
Kisformák: kőtengerek, csiszolt sziklák, éleskavicsok

Ahol a munkaképes szél kemény kőzeteket és szállítható homokot egyaránt talál, változatos kisformákat tud kialakítani. Ezek közül a legfontosabbak a kőtengerek és az éleskavicsok.

A kőtengerek Balaton-felvidéki típusa különleges, Magyarországon csak itt fordul elő. A kőtenger általában olyan területet jelent, amelyet szögletes, aprózódással – például szétfagyással – keletkezett kőtömbök borítanak. A Balaton-melléki kőtengerek azonban más megjelenésűek, és máshogy is keletkeztek. A Kővágóörs vagy Salföld melletti előfordulások fűből kiemelkedő szétszórt, lesimított sziklái valóban emlékeztetnek egy tenger kővé vált hullámaira, ahogy a népnyelv is magyarázza keletkezésüket. Szentbékállai határában már jóval nagyobb, különleges formájú sziklaalakzatok emelkednek. Másutt egész dombot alkot a homokkő, ilyen a Csobánc lábánál a Papsapka vagy másik nevén Kőmagas. Közös jellemzője ezeknek a helyeknek, hogy a sziklák homokos környezetből emelkednek ki, felszínük pedig sok helyütt sima és fényesen csillogó.



Keletkezésüket a szelektív lepusztulásnak és a szél munkájának köszönhetik. A Pannon-tóban lerakódott homokot később foltokban kovás ol-



◀
A laza homokból kiemelkedő, kovás kőtésű, kemény homokkő sziklák fényesre csiszolt felszíne a szentbékállai kőtengeren

datok cementálták homokkővé: a meleg, változva nedves és száraz éghajlaton a talajvízfelszín közelében kova vált ki a homokszemcsék közt



◀
Szélvéste vályúk egy homokkő tömb felszínén Salföld határában. A szél a képen jobbról balra fúj

és szabálytalan alakú, akár több méter vastag kovakérget hozott létre. Megfelelően száraz időszakban aztán a szél a homokkőtömbök közül

◀
Kőtenger Kővágóörs mellett

▶
A szentbékállai
kötenger sziklájá-
nak felszín a tol-
lal párhuzamos
barázdákat a
szélhordia homok
vájta a kőzetbe,
elcsiszolva a ka-
vicsok felső felét



elhordta a laza homokot, és a magával hajtott homokszemcsékkel fényesre is csiszolta a kőtömbök felszínét, éleket és vályúszerű mélyedéseket marva rájuk. A vízszinteshez közeli felszíneken megfigyelhető barázdák és rovátkák pontosan mutatják az egykor uralkodó szél irányát.

A szélhajtotta homok a kisebb kődarabokat is megcsiszolta, ha azok a felszínen heverték. Ezeket éleskavicsoknak, más néven sarkos kavi-

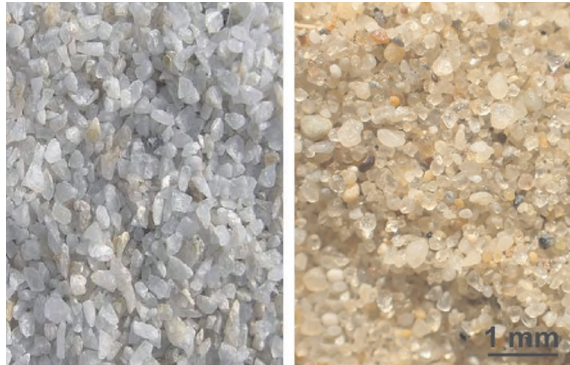
csoknak hívják, könnyen felismerhetők határozott éleikről és fényes felületükről. Elterjedésük jóval szélesebb, mint a csiszolt sziklafelszíné. Anyaguk igen sokféle lehet, bármilyen kőzetből ki tudnak alakulni, ami elég kemény illetve elég finomszemű. A leggyakoribbak a kvarcit és kvarchomokkő anyagúak, de találhatunk éleskavicsot dolomitból, bazaltból, kovás fatörzsből, sőt akár puhatestű héjából is. A képeken is ez a változatosság tűnik szembe: látható itt kvarckavics Hegyesd mellől (A), perm és felső-miocén homokkő a salföldi homokbányából (B), felső-miocén konglomerátum a Majális-völgyből, Tapolcától északra (C), valamint a „balatoni kecskekörömként” ismert *Congeria unguicaprae* miocén kagylófaj szélcsiszolta búbjai Veszprémvarsány mellől (D).

▶
Különböző
méretű és anyagú
éleskavicsok a
Balaton-felvi-
dékről



Szélhordta üledékek: lösz és futóhomok

Az országban a legelterjedtebb szélfújta üledék a lösz. A laza, porózus, világos, sárgásbarna kőzet anyaga a levegőben szállítódott porból származik. A kiülepedő port a jégkorszakok idejének ritkás, uralkodóan lágyszárú növényzete kötötte meg. A por a magas légkörben nagy távolságokat megtehet, elég, ha csak a manapság nem ritkán előforduló színes esőkre gondolunk, amit a Szaharából származó sivatagi por fest meg. A Balaton környékén különösen Zalában és Külső-Somogyban halmozódott fel a lösz nagy vastagságban és kiterjedésben, és a rajta kifejlődő jó termőtalaj miatt lényeges szerepe van a mezőgazdaságban is. A Balaton-felvidéken és a Bakonyban már szaggatottabb az elterjedése. A hegyek északi és északnyugati, az uralkodó széliránnyal szemben fekvő oldalán rendszerint hiányzik, itt az erős légáramlás miatt nem tudott leülepedni. Hasonlóképpen hiába keressük a kitett fennsíkokon, valamint a hegyek szél alatti előterében, mint például Balatonkenese, Balatonfűzfő és Berhida közt, ahol a Balaton-medencénél leírt módon a lebukó szél pusztította a felszínt. Inkább találkozhatunk lösszel olyan helyzetben, ahol a hegyek szélárnyékos oldalán vagy völgyekben csapdázódva halmozódott fel.



◀
A futóhomok (jobbra) koptatott, gyakran matt homokszemcsékből áll (Mezőföld, Paks), míg a folyóvízi homokot szögletes, fényes szemcsék alkotják (balra)

A másik jellemző eolikus üledék, a futóhomok durvább szemcséjű a lösznél. A homokszemcséket átlagos domborzaton még az erős légáramlás sem képes néhány méternél magasabbra emelni, a homok túlnyomó része a földfelszín fölötti néhány dm-es sávban közlekedik, ugrálva vagy a földön gördülve. Hosszas szállítás esetén a homokszemcsék az ütközésektől lekerekítődnek, felületük matt lesz. E bélyegek alapján a futóhomok jól megkülönböztethető a víz által szállított homoktól. A forrásterülethez közel a futóhomok szemcséinek még nem volt ideje úgy lekoptatódni, mint a nagy sivatagokban az akár több 100 km-es utazásuk során, ilyenkor a homok vegyesen tartalmaz szögletes és jól koptatott, fényes és matt szemcséket is. Ez a megjelenés jellemző a hazai előfordulások egy jelentős részére, így a Dunántúlon Belső-Somogy északi részére vagy a Mezőföldre, ami arra utal, hogy a homok anyaga közelről –



◀
A Tapolcai-medencéből kifújó felső-miocén homok Belső-Somogyban halmozódott fel futóhomokként. Darány mellett borókák nőnek a homokbuckákon.



▲
A Látrány melletti homokbánya a látrányi sugárirányú völgy északi részében felhalmozódott futóhomokot tárja fel

a Dunántúli-középhegységen és környezetében lerakódott felső-miocén összletből – származik.

A Balaton-környék legnagyobb futóhomok-területe Belső-Somogy. Az itteni homok északról érkezett mai helyére, erre utal a dél felé csökkenő szemcseméret és a szemcsék növekvő koptatottsága. A homokot Lóczy a Dunántúli-középhegység felső-miocén üledékeiből származtatta, amit elsősorban a Tapolcai-medencéből fúj ki a szél. Később elterjedt egy másik elmélet, amely szerint a Duna őse a Tapolcai-medencén keresztül folyt dél felé, hordalékát Somogyban rakta le, és ezt az üledéket mozgatta át a szél futóhomokká. Azóta már tudjuk,

hogy ez a folyórekonstrukció téves adatokon alapult, ugyanis negyedidőszakinak és folyami eredetűnek tekintette a Tapolca környéki Pannon-tavi (felső-miocén) kavicsokat. A Duna mai tudásunk szerint sosem járt erre, így továbbra is elfogadhatjuk Lóczy érvelését.

Kisebb, szintén a középhegység területéről származtatható futóhomokfoltok találhatóak a külső-somogyi sugárirányú völgyekben. A völgyek északi szakaszán több méter vastagságban felhalmozódott homokot helyenként bányásszák is. Kisebb buckák és homokleplek formájában messze délre vándorolt a homok a völgyek talpán. A völgyek oldalában váltakozva rakódtak

▶
Lóczy fényképe a fonyódi magaspart tetején lévő 15 m magas homoklencséről



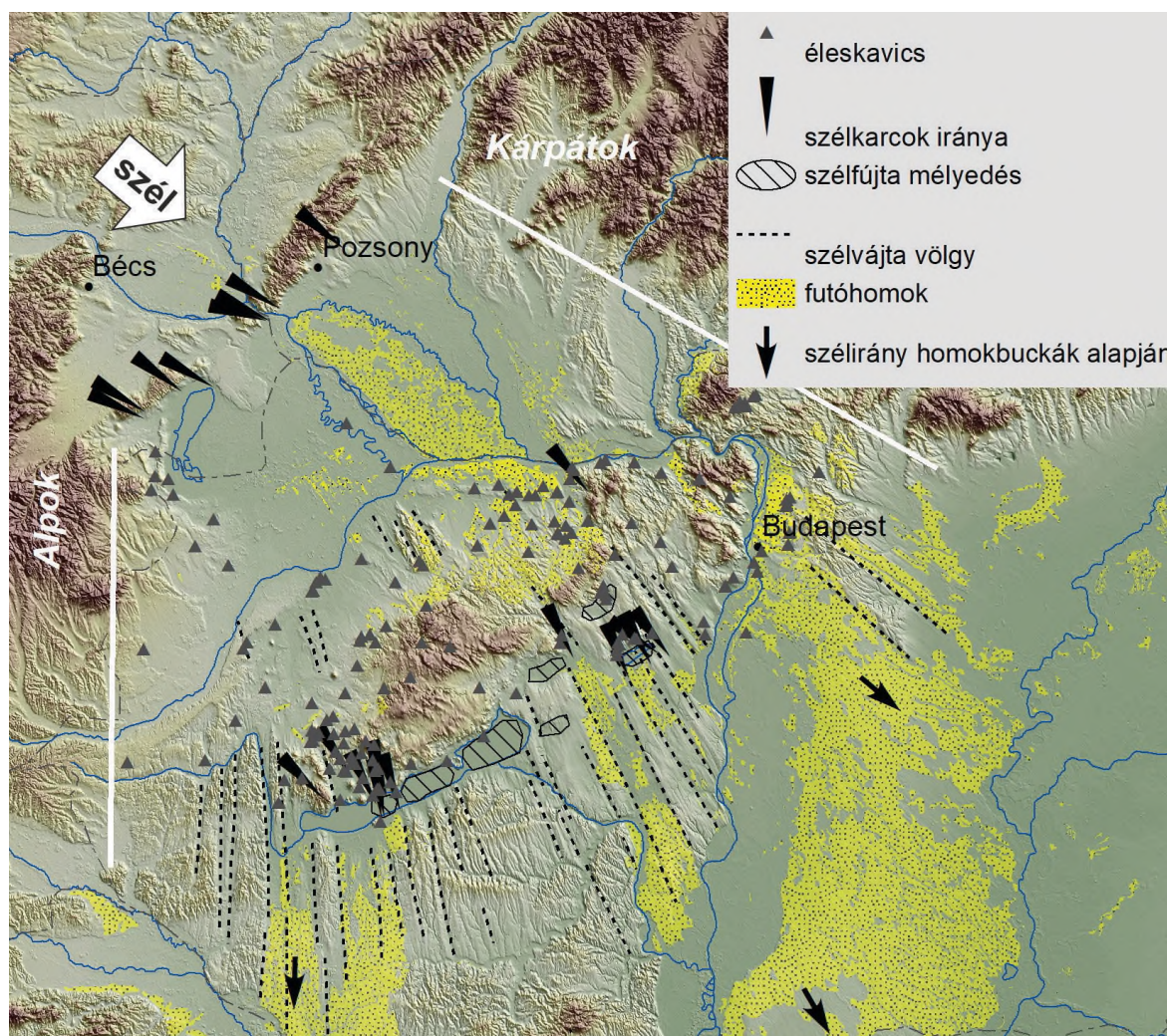
le homok- és löszrétegek. Ez az összefogazódás azt mutatja, hogy a két képződmény egy időben keletkezett: míg a völgyekben a légáramlás összeszorult és felgyorsult, és a végigsüvítő szél a homokot hajtotta a völgytalpon, addig a tágas tetőkön a lassabban áramló levegőből ki tudott hullani a finom por is, lerakva a lösz alapanyagát.

Különleges körülmények között hegytetőkön is halmozódhat fel futóhomok. A fonyódi magaspart tetején lévő homoktestről Lóczy közölt jó fényképet, és számos további előfordulást említett a környékről. E jelenség magyarázata, hogy az uralkodó szél irányába néző – meredek, akár függőleges – lejtők fölött a szél a sík terepen mért sebességének

több mint másfélszeresére is felgyorsul, így képes akár cm fölötti szemcséket is felfelé szállítani. A tetőn lévő buckák anyaga rendszerint a szirt falából származik, amire a buckák települnek. A homok a szirt élétől csak kis távolsáig szállítódik, emiatt gyakran rosszul osztályozott és szemcséi alig koptatottak.

A negyedidőszaki szélrendszer

A Dunántúlra a hegységkeret legalacsonyabb részén, az Alpok és a Kárpátok közt tudnak betörni a felszínközeli szelek. A viszonylag szűk átjáró után a légáramlás legyezőszerűen szétterülhet, ennek megfelelően változik nyugatkeleti irányban az eolikus völgyek tájolása.



A Kárpát-medence nyugati részének szél alakította formakincse

A sekély, viszonylag zárt mélyedések, mint a Velencei-tó vagy a Balaton részmedencéi a kiemelkedő Dunántúli-középhegység mögött sorakoznak. Mind ezek, mind a sugárirányú völgyek kivéséséhez a szél fel tudta használni az északabbról lepusztított és szállított homokot. A jelentős futóhomok-lerakódások szintén a forrásterületként szolgáló középhegység szél alatti oldalán, de valamivel távolabb – főleg Belső-Somogyban és a Kiskunságban – jöttek létre. A Kárpát-medencén belüli szélirányokat tehát alapvetően a domborzat, azaz a hegységkeret lefutása határozza meg. Ez a hatás még erősebben érvényesülhetett az eljegesedések idején, amikor a felszínközeli szelek a mainál nagyobb sebességűek lehettek.

Az eljegesedések idején a szélerózió szerepe megnövekedik a jégtakaró körüli sávban, hiszen a hideg és száraz periglaciális éghajlaton a felszakadozott növényzet nem képes a laza üledékeket megvédeni a lepusztulástól. Ilyen nagy léptékű széleróziós felszínformák kialakulása ugyanakkor nem általános a hideg övön, ehhez a Kárpát-medencében számos körülmény kedvező összejártsága kellett. A hegységkeret csatornázza a felszínközeli szeleket, valamint részleges esőárnyékot okozott a medencén belül. Az utóbbi néhány millió évben zajló tektonikus kiemelkedés miatt pedig kiemelt helyzetbe kerültek a laza, könnyen erodálható kőzetek, elsősorban a Pannon-tó üledékei. Ezek a szél által pusztulnak, szállítódás közben anyagukkal csiszolják a szél útjába eső ellenállóbb kőzeteket, majd valamivel távolabb futóhomokként lerakódnak.

A dunántúli szélerózió kora

Láthattuk, hogy a Balaton medencéjének kialakításában a szél játszhatta a legfontosabb

szerepet. Földtörténeti léptékben ez igencsak a közelmúltban, alig több mint tízezer éve történt.

Kicsit tágabb környezetben elsősorban a futóhomok adhat adatot azon időszakok koráról, amelyek során a szél volt az egyik fő felszínformáló erő. Futóhomokból ezekben a sugárirányú völgyekben még nem történt kormeghatározás. A Tapolcai-medence irányából érkezett belső-somogyi futóhomok esetében viszont tudjuk, hogy a formák döntő része a késő-pleisztocén végén, körülbelül 18 és 12 ezer évvel ezelőtt alakult ki, azaz a futóhomok mozgása a Balaton-medence kivésődése alatt, sőt azt követően is tarthatott. Hasonlóan fiatal a Mezőföld futóhomokjainak túlnyomó része is, kisebb részük azonban 140 ezer évesnél is idősebb a kormeghatározási eredmények alapján.

Vajon a szél munkája csak ennyi ideje tart a Balaton tágabb környezetében? A kérdés jogos, hiszen az eddigiekben már olvashattuk, milyen jelentős volt a szél szerepe a Dunántúl felszínének alakításában, mekkora formákat vésett ki a felszínből, márpedig ez időigényes folyamat lehetett. Lóczy és Cholnoky úgy gondolta, hogy a Dunántúl szél általi formálása elsősorban a pliocén kor (5,3–2,6 millió évvel ezelőtt) meleg sivatagi éghajlatán zajlott. Későbbi szerzők, például Pécsi Márton vagy Jámbor Áron már fontos szerepet tulajdonítottak a negyedidőszaki eljegesedések hideg száraz időszakaiban zajló folyamatoknak, többek között az éleskavicsok rétegtani helyzetére alapozva. A szélerózió mértékéről és pontos koráról a közelmúltig igen kevés számszerű adat állt rendelkezésünkre, csakúgy, mint a ma megfigyelhető felszínformák koráról, stabilitásáról és lepusztulási sebességéről. Ez nem is csoda, hiszen az erózió által lepusztított és elszállított anyag már nincs a kezünkben, a „hűlt helyüket” pedig nem egyszerű mérni. Szerencsére modern mérési eljárások segítségével ma már



közvetlen információt kaphatunk a szélerózió idejéről. A szél által lecsiszolt kőzetfelszín korát a helyben keletkező kozmogén (kozmos sugárzás hatására létrejövő) izotópok koncentrációjának mérésével lehet megállapítani. Így megtudhatjuk, hogy az adott kőzet mióta van a kozmikus sugárzásnak kitett helyzetben, vagyis a vizsgált felszínforma mikor keletkezett.

Helyben keletkező kozmogén ^{10}Be -izotópos vizsgálatok a Tapolcai- és Káli-medence szélciszolta kőzetfelszínein, azaz kőtengerein történtek, több eltérő tengerszint feletti magasságú helyszínen. A jól megőrződött mm–cm méretű szélvájta barázdák és vályúk arra utalnak, hogy e felszínek az utolsó széleróziós periódus óta nem szenvedtek lepusztulást, így kitétségi koruk megismerésével a szélerózió általi felszínalakulás idejéről kaphatunk számszerű adatokat.

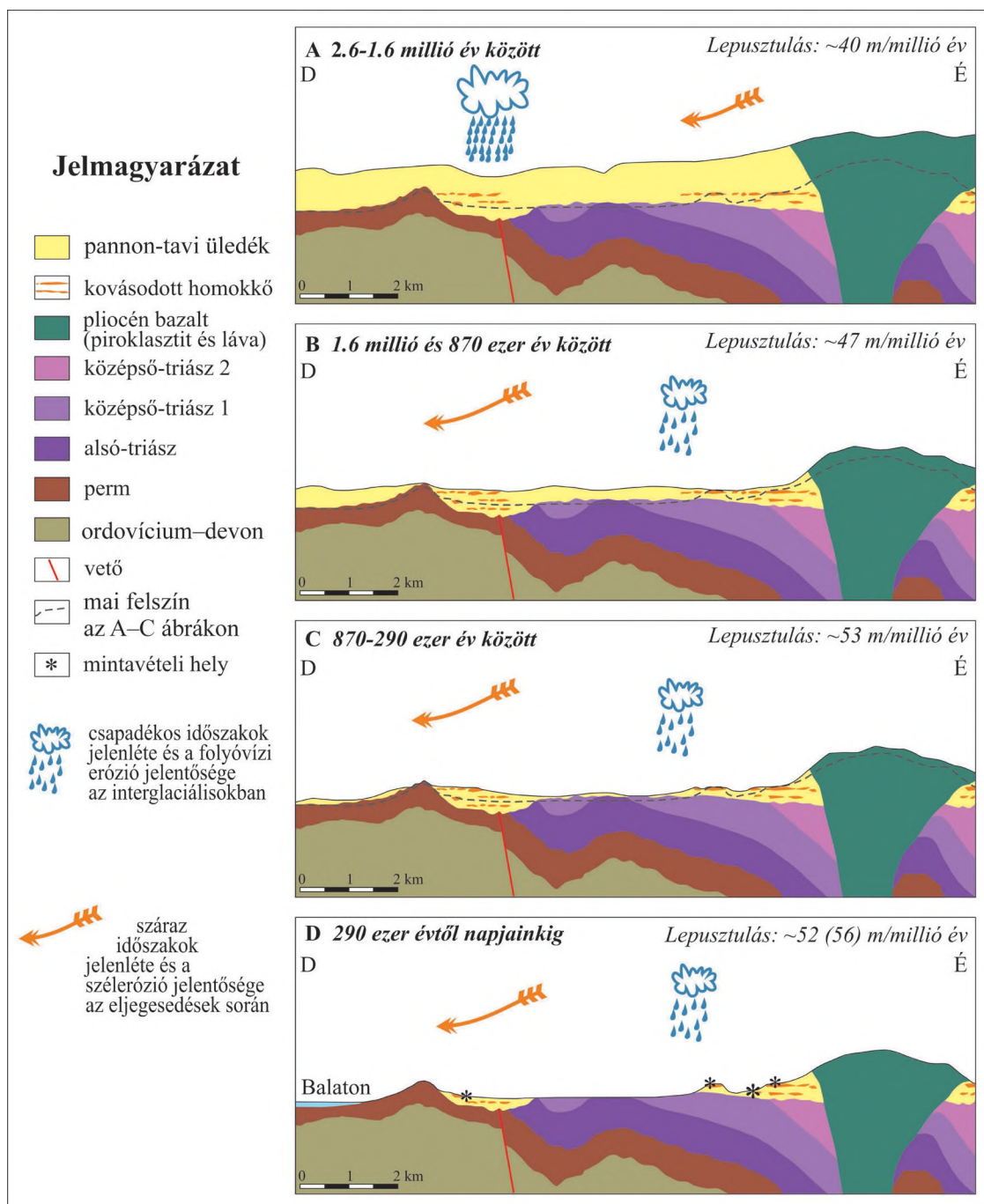
A kormeghatározás eredményei azt mutatják, hogy a legmagasabban (~200 m tszf. magasságon, a Kelemen-kő körül) fekvő kőtenger akár 1,6 millió éve a felszínen lehet, míg az egyre alacsonyabban fekvő kőtengerek (170 méteren a Papsapka és 140 méteren a Salföld melletti kőtenger) csak később, ~870 ezer, illetve ~290

ezer évvel ezelőtt preparálódhattak ki az őket körülvevő laza üledékrétegek alól. A ^{10}Be -izotópos mérések alapján, a felszín kitétségi korának és lepusztulási ütemének egyidejű modellezésével kiszámítható volt a megmintázott ellenálló kőzetfelszín alacsonyodása is az adott helyszínen. Ez a helyi lepusztulás igen lassúnak, átlagosan 3–4 m/millió év üteműnek bizonyult, szemben a környező laza homokból álló térszín ~55 m/millió éves lepusztulási rátájával (utóbbi a Kővágóörs melletti homokbányából származó adat).

Az izotópos kormeghatározások segítségével vázolható volt a Tapolcai- és a Káli-medence negyedidőszaki fejlődéstörténete (lásd a következő oldali ábrát). A pliocén közepén (3–4 millió éve), a bazaltvulkánosság csúcspontján a felszín átlagmagassága a mai 260–300 m tszf. körül lehetett, mélyen bevágott völgyek nélkül. A negyedidőszaki klímaváltozás előhírnökeként nedves és száraz periódusok váltakoztak, a folyóvízi és eolikus folyamatok együttesen alakíthatták a felszínt.

A negyedidőszak elején még nagy vastagságban fedték a területet a Pannon-tó és az azt feltöltő folyók üledékei. A klímaingadozások

▲
A Balaton-felvidék domborzatmodellje a kozmogén ^{10}Be -izotópos mintavételi helyekkel



ekkor erősebbé váltak: szárazabb–nedvesebb és hűvösebb–melegebb periódusok is előfordultak, így a felszín pusztításában a folyóvízi és a szél általi erózió váltakozva vehetett részt. A kora-pleisztocén második felében (~1,6 millió és ~870 ezer év között) a klíma hidegebbé és szárazabbá válása következtében a szél szerepe egyre jelentősebbé, a folyóvízi erózió pedig

egyre alárendeltebbé vált, és ez a pleisztocén végéig jellemző maradt a térségre.

A medencék szél-erózió általi alacsonyodása az éghajlat ingadozásainak megfelelően, szakaszosan következhetett be, és a hideg és száraz, erősebb szelekkel jellemzett periódusokban lehetett jelentős, amikor a gyér növényborítás alig védte a felszínt. A defláció és szélmarás eredményeként elsőként

a legmagasabb helyzetű kemény homokkő- és konglomerátumrétegek kerülhettek a felszínre. Ez a Kelemen-kőnél kb. 1,56 millió éve, vagyis a kora-pleisztocén közepén történhetett. A panon-tavi üledékek fokozatos kifúásával az ellenállóbb vulkáni kőzetek és a cementált üledékek fokozatosan kipreparálódtak, a felszín tovább alacsonyodott. Az alacsonyabb felszín talajvízszintje környékén a megfelelő éghajlatú időszakban megint kovakéreg tudott kialakulni, újabb homokkölencsüket hozva létre. Ezek körül a szél a következő száraz időszakban kifújta a homokot és létrejött a következő kőtenger. A Papsapka szintjét (170 m) a felszínalacsonyodás ~870 ezer éve, míg Salföld környékét (140 m) ~290 ezer éve érte el.

Az adatok alapján az alacsonyodás a területen, a negyedidőszak során nagyjából állandó, 40–60 m/millió éves ütemben zajlott. Ez annyit jelent, hogy az utolsó ~1,6 millió év alatt körülbelül 65–95 m vastagságú laza homok pusztult le a területéről, ami a teljes negyedidőszak (2,6 millió év) alatt körülbelül 105–155 m lepusztulást jelent. A szél csak a száraz homok elszállítására képes, azaz csak a mindenkori erózióbázis (praktikusan a talajvízszint) magassága felett számolhatunk jelentős szélérozióval. Ennek értelmében a 40–60 m/millió éves lepusztulási ütem jó közelítéssel megadja a Dunántúli-középhegység délnyugati részének negyedidőszaki kiemelkedési ütemét.

A terepi geomorfológiai megfigyelésekkel együtt a koradatok arra is rámutatnak, hogy egy adott területen a különböző korú felszínformák hasonló szélirányt jeleznek, és ez az irány igen hasonló a mai szélirányokhoz. Az uralkodó szélirány tehát időben meglehetősen állandó. Ennek oka az lehet, hogy az erős szelek irányát a hegységkeret határozza meg, így a Kárpát-medencében stabil szélrendszer tudott fennállni legalább a negyedidőszak folyamán.

A környezetéből kiemelkedni kezdő Dunántúli-középhegység szél alatti oldalán korábbi száraz időszakokban többször is létrejöhetnek a Balaton-medencéhez vagy a Velencei-tó medréhez hasonló szélvájta mélyedések. A rákövetkező, a maihoz hasonló enyhe és nedves periódusban aztán ezekben tó gyűlhetett fel. Mivel azonban a Közép-Dunántúl szép lassan emelkedik, a következő száraz időszak alatt a szélérozió kicsit mélyebbre tud hatolni, mint korábban, és eltávolítja az előző tó üledékeit is. Emiatt nem tudhatjuk, hogy hány „Ős-Balaton” élvezhettek előttünk e vidék lakói.

Ajánlott irodalom

- Budai T., Császár G., Csillag G., Dudko A., Koloszar L., Majoros Gy. 1999: A Balaton-felvidék földtana. Magyarazó a Balaton-felvidék földtani térképéhez, 1:50 000. – AMagyar Állami Földtani Intézet alkalmi kiadványa 197, 257 p.
- Cholnoky J. 1937: Balaton. – Franklin Társulat, Budapest, 191 p.
- Cholnoky J. 1918: A Balaton hidrografiája. Lóczy L. id. (szerk.): A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei I/II, 318 p.
- Csillag G., Fodor L., Sebe K., Müller P., Ruzsiczay-Rüdiger Zs., Thamóné Bozsó E., Bada G. 2010: A defláció szerepe a Dunántúli hegységi és dombvidéki területeinek felszínfejlődésében. – Földtani Közlöny 140, 463–481.
- Jámbor Á. 2002: A magyarországi pleisztocén éleskavics előfordulások és földtani jelentőségük. – Földtani Közlöny 132/különszám, 101–116.
- Kiss T., Györgyövcis K., Sipos Gy. 2012: Homokformák morfológiai tulajdonságainak és korának vizsgálata Belső-Somogy területén. – Földrajzi Közlemények 136 (4), 361–375.
- Lóczy L. id. 1913: A Balaton környékének geológiai képződményei és ezeknek vidékek szerinti telepedése In: Lóczy L. id. (szerk.): A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei I/I/I, 617 p.
- Ruzsiczay-Rüdiger, Zs., Braucher, R., Csillag, G., Fodor, L., Dunai, T. J., Bada, G., Bourlés, D., Müller, P. 2011: Dating Pleistocene aeolian landforms in Hungary, Central Europe, using in situ produced cosmogenic ¹⁰Be. – Quaternary Geochronology, 6, 515–529.
- Sebe K., Csillag G., Ruzsiczay-Rüdiger Zs., Fodor L. I., Thamó-Bozsó E., Müller P. M., Braucher, R. 2011: Wind erosion under cold climate: A Pleistocene periglacial mega-yardang system in Central Europe (Western Pannonian Basin, Hungary) and its implications on yardang formation. – Geomorphology 134, 470–482.
- Timár G., Csillag G., Székely B., Molnár G., Galambos Cs., Czanik Cs. 2010: A Balaton legnagyobb kiterjedésének rekonstrukciója a függőleges kéregmozgások figyelembevételével. – Földtani Közlöny 140 (4), 455–462.

Scalpellum lóczyi

FE 2.

0.4

SCALPELLUM LÓCZYI

