

Montivaultia
l. lóczyana

Budai Tamás, Tari Gábor

A Balaton-felvidék földtani felépítése és fejlődéstörténete

A Balaton-felvidék hazánk egyik geológiai leggrégebben és legalap-
sabbban kutatott tájegysége, ahol a magyar földtan legjelesebb szemé-
lyiségei közül igen sokan dolgoztak. E természeti, tájképi szépségekben oly
gazdag terület titkait több száz éve kutatják a geológusok. Valószínű, hogy
változatos földtani felépítésén és üledékes képződményeinek faunagazdag-
ságán túl a Balaton közelsége, kellemes éghajlata és jó borai is minden
időben vonzották a szakembereket. E kutatások közül messze kiemelkedik
az id. Lóczy Lajos vezette Balaton-kutatás, melynek legtöbb földtani ered-
ménye máig megállja a helyét és azokat az elmúlt 100 évben csak finomí-
tani tudták az újabb kutatások. Ebben a fejezetben nem csupán a terület
földtani felépítését és ősmaradványait ismerhetjük meg részletesen, hanem
azt is megérthetjük, hogy Lóczy és kortársai miért vetették el a Dunántúli-
középhegység szerkezeti kapcsolatát az Alpokkal, annak ellenére, hogy az
itt található és a Keleti-Alpokat felépítő kőzetek megdöbbentő hasonlósá-
gát már a területen dolgozó osztrák geológusok is meglepve tapasztalták.

A Balaton-tó medenczének helyzete és felépítése

... A Balatonfelvidék és a tulajdonképeni Bakony tüzetes geológiai vizsgálatából azt a főeredményt szögezhetem le, hogy ezen a vidéken az Északkeleti- és a Déli-Alpok geológiai képződményei egymással váltakoznak és a két régióbeli fosszilis, tengeri faunák elkeveredtek. A Balaton mellékén a triász kori lerakódások partmelléki (neritikus) tengeri képződmények, amelyek vastag szárazföldi eredetű veres homokkővön a permi-korszak szárazulatának maradványain nyugosznak. Ezek alatt vannak a Balaton partján Alsóörs és Révfülöp környékén az erősen összegyűrt, metamorfált, régibb paleozoos palákból álló tömegek, amelyeket 100–300 m mé-



Fő-dolomit padok
Balatonfüreden
a siskevölgyi felső
forrásnál

lyen a síkság alatt Siófokon és Balatonföldváron ártézi kútfúrások értek el.

A Balaton partjaitól északnyugatnak, a Balatonfelvidékre felemelkedve mindinkább fiatalabb triász kori rétegeken keresztül haladunk. Egy órai járás után megismerkedünk az egész triász rétegsorral és pedig olyan kifejlődésekben, aminőket az Alpokban csak többnap kirándulásokban láthatunk meg. A triász csak a veszprém–nagyvázsonyi fennsíkig és a Séd–Torna-patak vízválasztójáig terjed, azután a jura- és krétakori rétegek tűzkőből és mészkőből álló kőzetei következnek, ezek építik fel a Zircz és Bakonybél körüli magas Bakonyt. Még csak északon a Bakonynak Kis-Alföldre néző ereszkedőjén bukkannak elő a felső triásznak dachsteini mészkőtömegei.

Az egész mezozoikumot képviselő képződmények közettani és fosszilis organikus

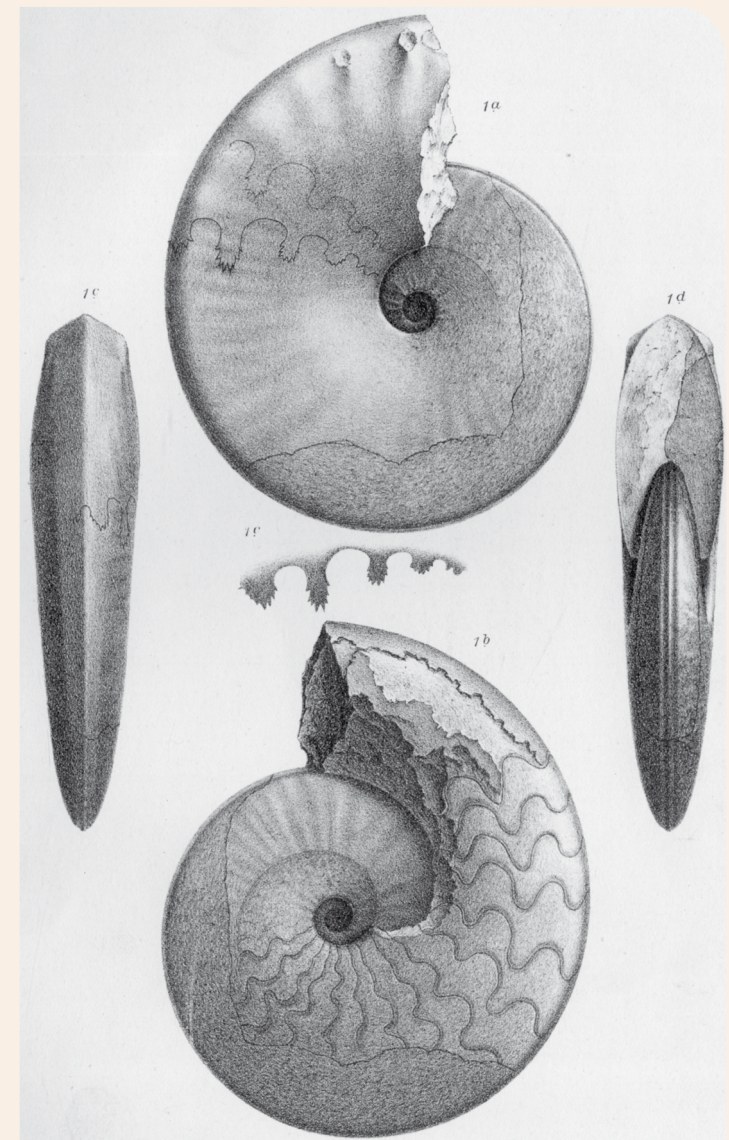
maradványaikban mutatkozó jellegét tekintve felismertük, hogy a Balatonfelvidéken az ősi szárazföld partjaihoz közel, az alsó- és középtriász rétegekben egymásmelletti különböző fáciesekkel rakódtak le tengeri üledékek, minél tovább távoztunk a parti régióktól északnyugatra, annál egyenműebb felsőtriász, jura- és krétarétegekkel találkozunk. Azzal magyarázom ezt a jelenséget, hogy a triásztenger öblökkel nyomult bele a miocén idejéig az Alföld helyén emelkedő nagy masszívumba, ezekben az öblökben keletkeztek azután a különböző képű parti lerakódások. A magyarországi, ezek közt a bakonyi mezozoos képződmények nagyjából pelagikusak, az alpiakkal megegyezők és általában ahhoz a nagykiterjedésű mezozoikus középtengerhez tartoznak,

amelynek a tudomány a tethysz nevet adta. Mindazonáltal vannak köztük olyan lerakódások is, amelyek középeurópai neritikus parti képződményekkel egyeznek meg. Ez arra mutat, hogy az Alpoktól keletre a magyar ősi nagy masszívumba nyúló öblökben és szorosokban északi és déli tengervizek közelítették meg egymást és lerakódásaik váltakoztak egymással.

Rá kell mutatnom még arra is, hogy miként az Alpokban és a Bakonyban is

nagyvastagságú és Megalodus kagylós mészkövek, mészalgas dolomitok, és a Hippuritesekkel és Nerinea-csigákkal jellemzett krétakorbéli lerakódások szintén littorális, zátonyszerű képződmények. Az igazi pelagikus jellegű, nagy parttávolságban keletkezett lerakódások tehát a Bakonyban alárendeltek. ...

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



Új cephalopodák
a bakonyi alsó
triaszból

Magyarország – geológiai vonatkozásban – egyik legrészletesebben kutatott tájegysége a Bakony déli részét képező Balaton-felvidék. A földtani kutatás kezdete „természetbúvárok”, a francia François Sulpice Beudant, az osztrák Victor Leopold Ritter von Zepharovich, majd Rómer Flóris nevéhez fűződik, akik leírták az első tudományos igényű megfigyeléseiket a területet felépítő képződményekről és a bennük előforduló ősmaradványokról. A kutatás történetének következő időszaka az Osztrák–Magyar Monarchia területének áttekintő jellegű földtani térképezése volt. A Bakony földtani felvételezését a bécsi földtani intézet geológusai végezték el 1860-ban és 1861-ben, amelynek eredményeként született meg az első földtani térkép a területről 1870-ben, 1: 596 000-es méretarányban.

A kiegyezést követően új lendületet kapott a magyar területek geológiai kutatása, amely a Magyar Királyi Földtani Intézet 1869-ben történt megalapítása után vált rendszeressé. A

részletes földtani felvételezés egyik első célterülete éppen a Bakony lett. Böckh Jánosnak *A Bakony déli részének földtani viszonyai* című értekezése a Balaton-felvidéki triász és a bakonyi jura rétegtan alapvető, azóta is példaértékű összefoglalása. Hofmann Károly is olyan színvonalon írta le a Déli-Bakony bazaltjait, hogy ahhoz érdemben nem lehetett sokat hozzátenni hosszú időn keresztül. Ennek a felvételezésnek az eredményeként készült el Magyarország dunántúli területének részletes földtani térképe 1:144 000-es méretarányban.

A Balaton-felvidék földtani kutatásának történetében messze kiemelkedő jelentőségű a *Balaton monográfia* megszületése. Id. Lóczy Lajos 1913-ban jelentette meg *A Balaton környékének geológiai képződményei és ezeknek vidékek szerinti telepedése* című korszalkalkotó munkáját, amelyhez 1920-ra készült el az 1:75 000-es méretarányú, részletes geológiai térkép. A kötet geológiai függelékében

Laczkó Dezső Veszprém környékéről, Vitális István pedig a Balaton környéki bazaltokról adott részletes földtani ismertetést. A négykötetes paleontológiai függelékben Európa legnevesebb tudósai foglalták össze a Balaton-felvidékről előkerült ősmaradványokról addig rendelkezésre álló ismereteket. Sok kőületet először éppen a Balaton-felvidékről írtak le, ami az egyes ősmaradványok nevében is kifejeződik (például *Hungarites*, *Balatonites*, *Arpadites* stb.).

Id. Lóczy Lajos munkásságát követően, mintegy hatvan éven keresztül szünetelt a rendszeres földtani felvételezés a Balaton-felvidéken. Az 1960-as évek közepén a Balaton partvidékének egyre fokozódó beépülése tette indokolttá a tó környékének, majd kiterjesztett üdülőkörzetének építésföldtani térképezését. Ezt követte a Balaton-felvidék legújabb rendszeres és részletes földtani felvételezése, amely a Magyar Állami Földtani Intézet regionális térképezési programjának keretében vette kezdetét 1982-ben. A térképezés eredményeinek összefoglalásaként jelent meg a Balaton-felvidék 1:50 000-es méretarányú tájegységi földtani térképe és az ahhoz tartozó térképmagyarázó, 1999-ben.

Földtani felépítés

Szerkezeti helyzetét tekintve a Balaton-felvidék a Dunántúli-középhegységi-egységhez, azon belül a Bakonyhoz tartozik. A Dunántúli-középhegység ÉK–DNy-i irányban elnyúlt szinklinális szerkezetét a tengelyétől a szárnyai felé távolodva egyre idősebb mezozoos, illetve paleozoos képződmények alkotják. A szerkezet déli szárnyát alkotó Balaton-felvidéken bukkannak felszínre a Dunántúli-középhegység legidősebb képződményei. A Balaton-fel-

Szinklinális szerkezet

Kompressziós (térrövidüléssel) tektonikus erőhatásra a közetekben létrejövő, plasztikus gyűrődéses (redős) szerkezet. A redőteknyt felépítő kőzetrétegek a redőszárnyak felől a redőtengely irányába dőlnek, és a szárnyak felől a tengely felé egyre fiatalabb képződmények települnek egymásra.



Devon–alsó-karbon rétegekből formálódott szinklinális szerkezet az Appalache-hegységben (Sideling Hill, Washington Állam, USA). A legfiatalabb képződmény a hegytetőt alkotó alsó-karbon konglomerátum, a teknős szerkezet tengelyében.

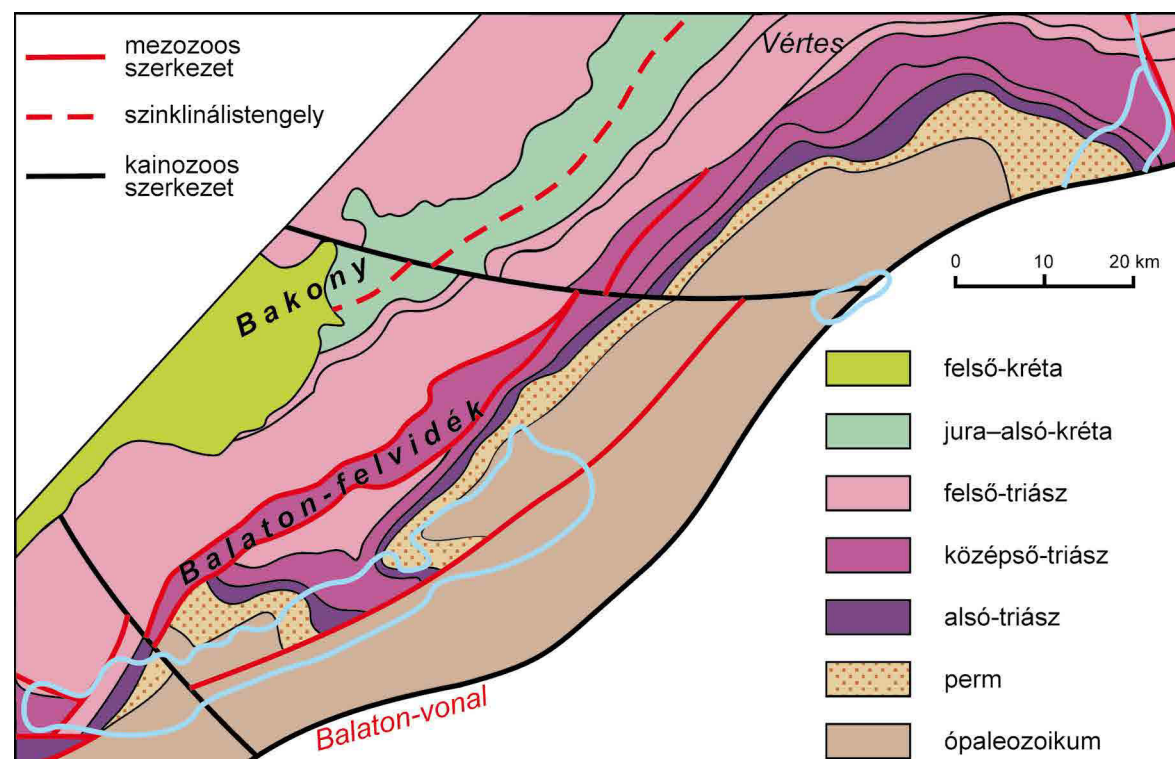
vidéket felépítő kőzetek közül a legidősebbek az ópaleozoikum során (körülbelül 500–360 millió évvel ezelőtt) képződtek, amelyek a variszkuszi tektonikai ciklus során szenvedtek kis fokú metamorfózist. A terület rétegsorának túlnyomó részét alkotó üledékes kőzetek a paleozoikum végén (a perm időszak során) és a mezozoikum elején, a triász idején keletkeztek. Ezeket nem érte metamorf hatás.

A Balaton-felvidék földtörténete – a földtani felépítés és a szerkezetfejlődés alapján – két nagyobb szakaszra osztható: a variszkuszi és az alpi lemeztektonikai ciklusra.

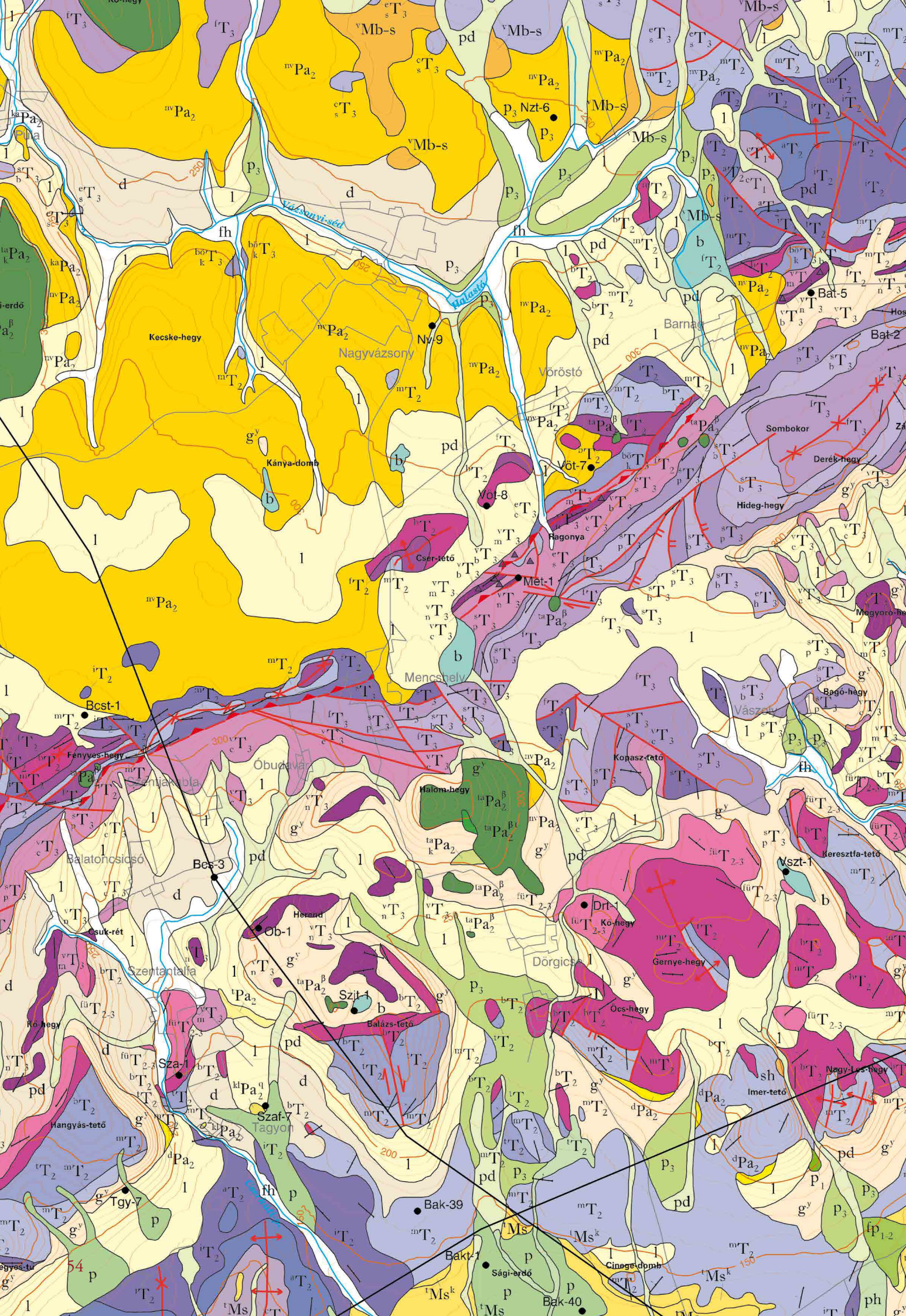
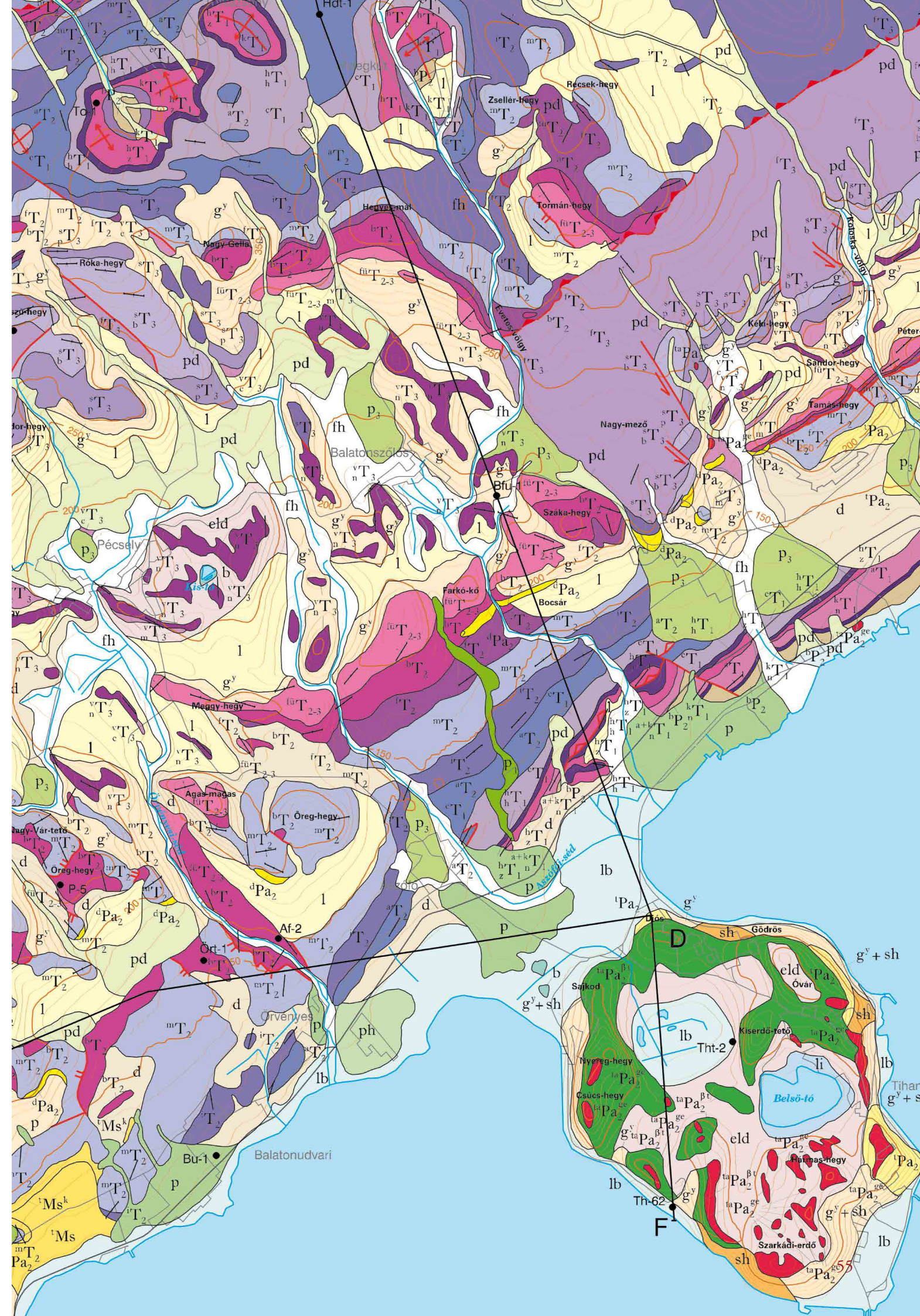
Variszkuszi lemeztektonikai ciklus

A Balaton-felvidék legidősebb képződményei az ópaleozoikum során lerakódtak, uralkodóan törmelékes tengeri üledékek, amelyek a variszkuszi hegységképződés során metamorfizálódtak. A rétegsort alkotó szürke agyagpala és aleurolitpala (Lovasi Agyagpala) Alsóörs és Révfülöp környékén

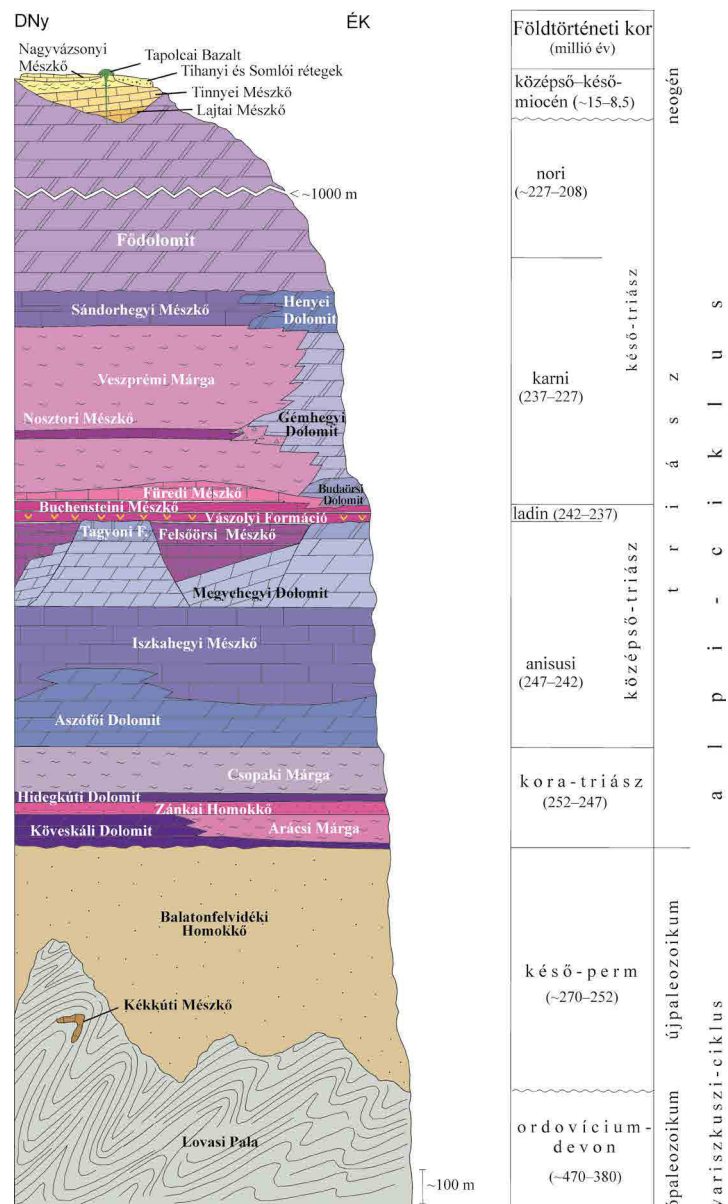
A Balaton-felvidék szerkezeti helyzete a Dunántúli-középhegységi-egységben belül (Haas et al. 2010 nyomán)



Részlet a Balaton-felvidék 1: 50 000-es méretarányú földtani térképéből (Budai et al. 1999a)



► *A Balaton-felvidéket felépítő képződmények elvi rétegoszlópa (Budai et al. 1999a)*



► *A triász végén kihalt gerinces csoport (Conodont) apró, fogszerű maradványai*

bukkan felszínre. A finomszemű törmelékes üledékek (agyag és kőzetliszt) lerakódása az ordovicium elejétől a devon közepéig igazolható ősmaradványokkal. Ezt két ízben szakította meg jelentősebb vulkáni esemény, amelyről az alsó-ordoviciumi riolit (savanyú vulkanit), és az annál feltehetően fiatalabb andezit (neutrális vulkanit) tanúskodik Alsóörs, illetve Révfölöp környékén.

A devon középső szakaszában a törmelékes üledékek képződését karbonátok lerakódása szakította meg a nyílt tengermedencé-

szárazföldi területeken. Ennek az időszaknak a jellegzetes üledéke a Balaton-felvidék jelentős területén felszínre bukkanó vörös homokkő,



ben. A Kékkúton mélyült egyik fúrás vörös, gumós mészkövéből olyan ősmaradványok (conodonták és tentaculitesek) kerültek elő, amelyek alapján meghatározható volt a kőzetek kora és képződési környezete. Devonnál fiatalabb paleozoos tengeri üledékek a Balaton-felvidéken nem ismertek.

Az újpaleozoikum első felében, a karbon idején játszódott le a variszkuszi hegységképződés, amelynek során meggyűrődtek és metamorfizálódtak a korábban képződött üledékes kőzetek, a radiometrikus korhatározások szerint mintegy 325–310 millió évvel ezelőtt.

Alpi lemeztektonikai ciklus

Az újpaleozoikum során, az őskontinensek közötti óceánok bezáródásával létrejött a Pangea szuperkontinens. A perm időszakban a variszkuszi hegységrendszer kiemelkedése és lepusztulása zajlott, amelynek eredményeként nagy mennyiségű törmelék rakódott le a

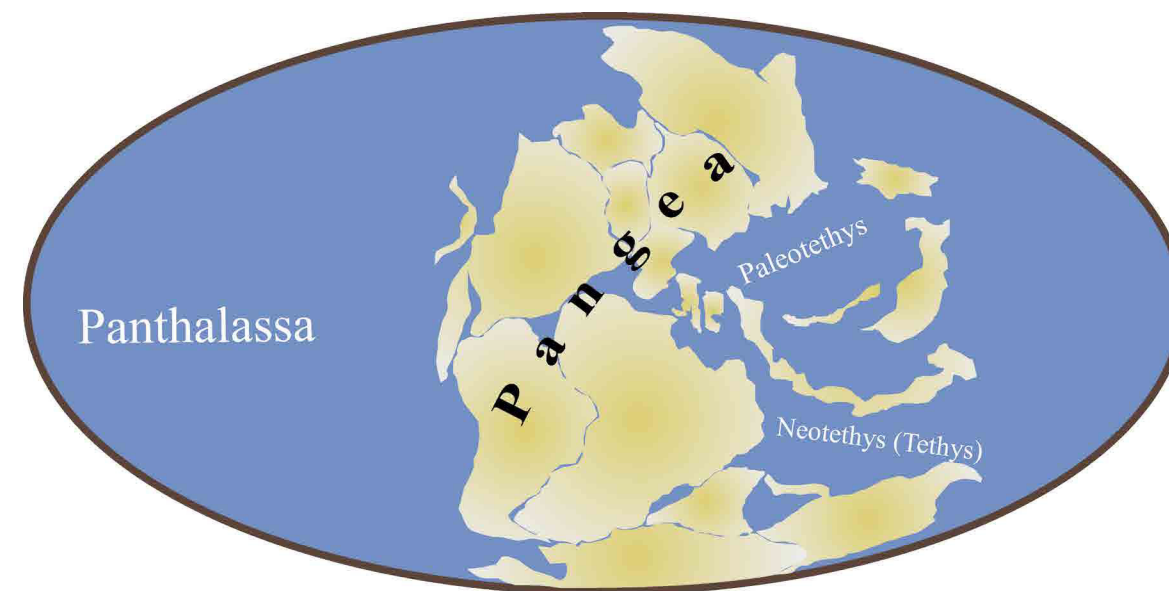


kavicsos homokkő, konglomerátum és aleurolit alkotta, több száz méter vastag rétegsor (Balaton-felvidéki Homokkő). A homokkőből előkerült egykori növények spóráinak a vizsgálata alapján folyóvízi és tavi üledékképződési környezet rekonstruálható a paleozoikum vége felé. Az összletre jellemző vörös, lilásvörös szín alapján oxidatív képződési környezet, félsivatagi éghajlat tételezhető fel. Kövületek a legnagyobb ritkaságnak számítanak benne, Pálköve kőfejtőjében azonban találtak őshüllő lábnyomokat.

A Balaton-felvidék területének túlnyomó része olyan kőzetekből épül fel, amelyek a mezozoikum első időszaka, a triász során lerakódott üledékekből képződtek, körülbelül

252–210 millió évvel ezelőtt. Az ősföldrajzi rekonstrukciók szerint a Dunántúli-középhegységi-egység területe ebben az időben annak a Tethys nevű, óceáni méretű öbölnek a nyugati peremén helyezkedett el, amely az ósóceánból (Panthalassa) a Pangea szuperkontinensbe kelet felől ékelődött be. Ennek az óceánnak a selfjén meglehetősen változatos rétegsor rakódott le, amelynek a részletes vizsgálata segítségével rekonstruálhatóak az egykori üledékképződési környezetek.

A perm során kialakult, nagy kiterjedésű folyóvízi síkságot a triász elején, mintegy 252 millió évvel ezelőtt öntötte el a tenger. Ennek eredményeként sekélytengeri self jött létre,



► *Az óceánok és kontinensek elrendeződése a triász időszak közepén*

44 millió év rövid története

A Balaton-felvidék nagy részét triász korú kőzetek építik fel. A triász üledékgyűjtő fejlődéstörténete öt nagyobb szakaszra osztható fel:

- kora-triász: sekélytengeri törmelékes és karbonátosself kialakulása;
- középső-triász első fele (kora-anisusi korszak): árapályövi síkság és sekélytengeri lagúna kialakulása;
- a középső-triász második fele (középső-anisusi és ladin korszak): sekélytengeri karbonátplatformok és azokat elválasztó mély tengermedencék kialakulása;
- a késő-triász első harmada (karni korszak): a tengermedencék feltöltődése és a karbonátplatformok folyamatos épülése;
- a késő-triász második harmada (nori korszak): a sekélytengeri karbonátplatformok uralomra jutása.

amelyen finomszemcsés törmelékek és karbonátok lerakódása vette kezdetét.

A sekélytengeri rétegsort a Balaton-felvidék délnyugati részén dolomit és homokkő (Köveskáli Formáció), a Tihanyi-félszigettől északkeletre pedig márga alkotja (Arácsi Márga). Mindkettőre jellemzők a *Claraia* kagylónemzetség fajai (*Claraia clarae* és *Claraia aurita*). A márga rétegsorán belüli mészkő közbetelepüléseiben igen gyakoriak az apró, néhány milliméter nagyságú csigák, amelyek feltehetően a belső selfmedencét a nyílt tengertől elválasztó homokdombokról halmozódhattak át.

A szárazföldi törmelék beszállítódásának erősödésére (azaz a tengert övező szárazföld

lepusztulásának a fokozódására) utal a vörös homokkő lerakódása a kora-triász közepe táján (Zánkai Homokkő). A vékonyréteges–lemezes szerkezetű homokkő réteglapjain gyakoriak a hullámfodrok, valamint a különböző tengeri kagylók meglehetősen rossz megtartású lenyomatai és kőbelei (*Bakewellia*, *Costatoria*, *Pseudomonotis*, *Unionites* stb.). Az üledékgyűjtő ezt követő átmeneti sekélyülését és bepárlódó lagúnák kialakulását jelzi a homokkő fölött települő gipszes dolomit rétegsor (Hidegkúti Dolomit).

A kora-triász második felében lezajlott tengerszint-emelkedés eredményeként alakult ki az a nyílt selfmedence, amelyben a korábban nagyobb vízmélységre utaló tengeri szervezetek maradványait tartalmazó márga rakódott le (Csopaki Márga). A rétegsor alsó szakaszában az ammoniteszek (*Tirolites casianus*) mellett gyakoriak a csigák (*Natiria costata*), a kagylók (*Costatoria*, *Eumorphotis*, *Gervilleia* stb.), valamint a tüskésbőrűek közé tartozó tengeri liliomoknak, a crinoideáknak a széthullott vázából származó töredékek.

A kora-triász tengermedence ezt követően sekélyebbé vált, és ennek nyomán nagy

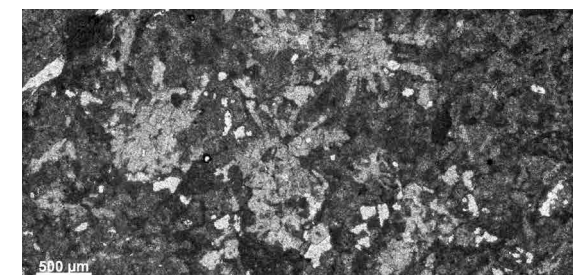


Kagylók, csigák és ammoniteszek vázából álló biogén mészkő a Csopaki Márga sólyi feltárási helyén

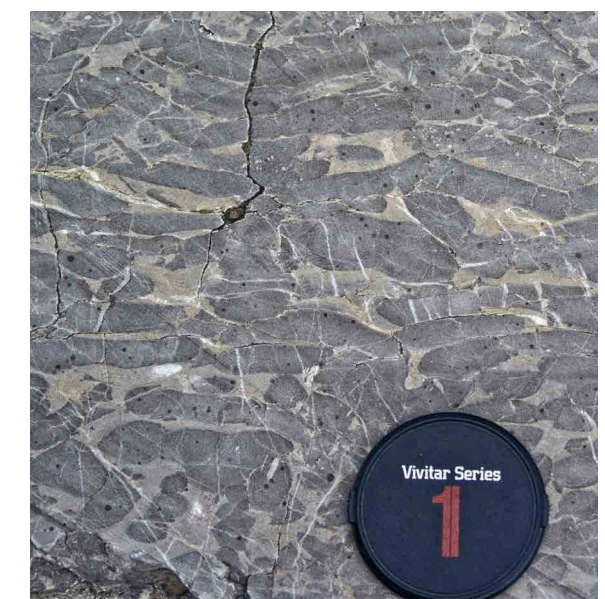
kiterjedésű árapályövi síkság jött létre a középső-triász elején, mintegy 247 millió évvel ezelőtt. A száraz, meleg, sivatagi éghajlaton a sekélytengeri (a mai Arab-öböléhez hasonló) lagúna időről időre bepárlódott. Erre utalnak a vékonyréteges–lemezes szerkezetű dolomitban (Aszófői Dolomit) gyakori száradási repedések és a gipszkiválások utáni apró „sejtüregek”.

A tenger ezt követő mélyülésével belső selflagúna-rendszer jött létre, amelyben mészsap lerakódása zajlott. A nyílt tengerről történt időszakos lefűződés időszakában a lagúnákat

pangó vizű, rosszul szellőző tengerfenék jellemezte. Erre utal a sötétszürke, bitumenes mészkő (Iszkahegyi Mészkő) alsó szakaszának lemezes szerkezete, amelyből az eredeti rétegződés megőrződése, azaz a fenéklakó, beásó szervezetek



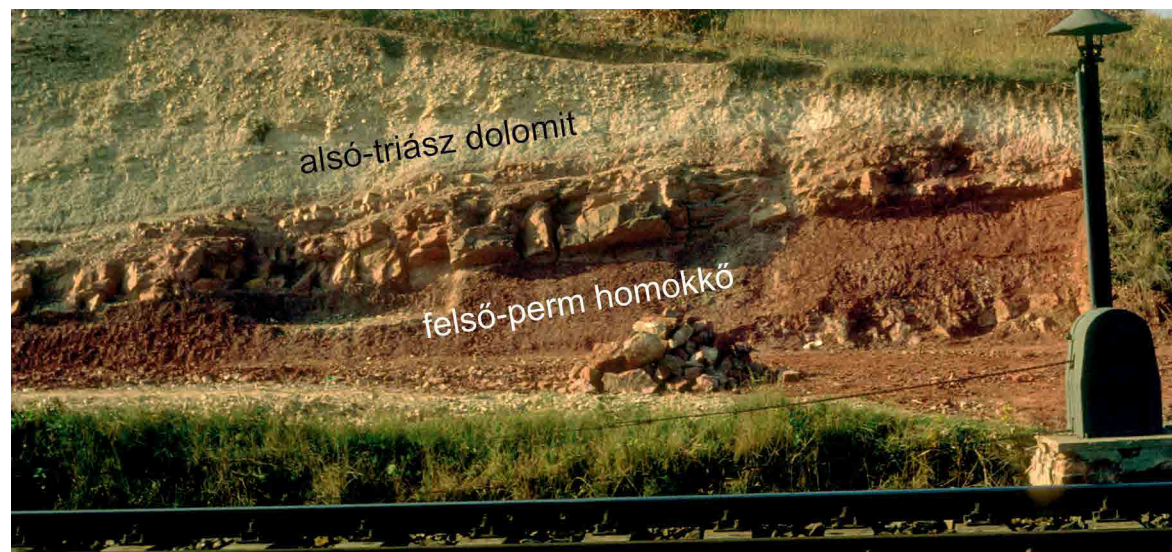
500 µm



Bioturbációra utaló „féregjáratos szerkezet” az alsó-anisusi Iszkahegyi Mészkőben (Balatonhenye, fotó: Csillag Gábor)

Gipsz utáni kiválások Aszófői Dolomitban

A kora-triász tengerelöntés dokumentuma a balatonarácsi vasúti bevágásban (fotó: Péter Csaba)



Balatonites

A Balatonites a triász időszak anisusi korszakában élt és világszerte elterjedt volt. Jellemzőes maradványai az ilyen korú tengeri üledékes kőzetek emblematikus fosszíliái. Lágy testének semmilyen részlete nem őrződött meg, de szépen díszített vázának maradványai gyakoriak a Balaton-felvidéken.

Az első Balatoniteseket alighanem Böckh János gyűjtötte a Balaton-felvidéken 1869–70-ben. A Balatonites balatonicus faj hivatalos leírója mégsem Böckh János, hanem kortársa, a triász ammoniteszek szakértője, a Bécsben dolgozó Edmund von Mojsisovics volt. Az ő nevéhez fűződik a faj első ábrázolása is.

Az ammoniteszek életmódjáról meglehetősen keveset tudunk, de távoli rokonaik, a nautilusok és a tintahalak ma is élnek a tengerekben. A Balatonites valószínűleg kiválóan tudott úszni, és feltehetően ragadozó életmódot folytatott.

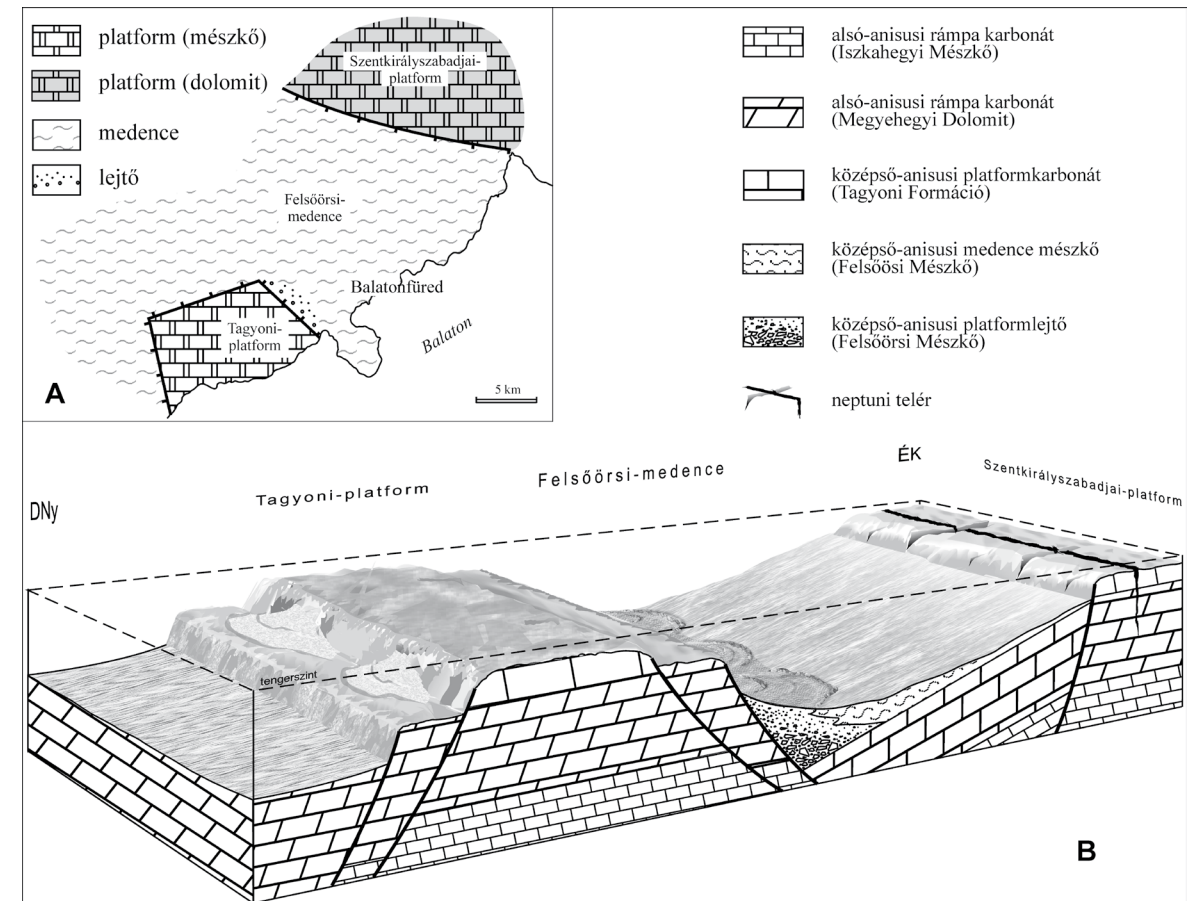
▲ Balatonites (fotó: Főzy István)

hiányára lehet következtetni. A rétegsor felső szakaszát alkotó pados mészkő jellegzetes féregjáratos (úgynevezett „hieroglifás”) szerkezete ugyan-

akkor a beásó szervezetek megjelenésére, azaz a tengerfenék szellőztetésének javulására utal.

A tenger ezt követő fokozatos sekélyülése nyomán jól átvilágított, enyhe lejtésű, sekélytengeri rámpa jött létre, amelyen továbbra is karbonátok lerakódása folytatódott (Megyehegyi Dolomit).

A triász közepe táján, mintegy 245 millió évvel ezelőtt az üledékgyűjtő addig nyugodt fejlődését drasztikus földtani esemény zavarta meg. A Neotethys-óceán kinyílásához kapcsolódó, tágulós szerkezeti mozgások hatására az addig egységes self különálló részekre tagolódott szét. A Balaton-felvidék középső, Tagyon és Aszófő közötti blokkja, valamint a Veszprémi-fennsík kiemelt helyzetben maradt, amelyeken sekélytengeri szigetplatformok jöttek létre az anisusi korszak középső szakaszában, a mai Bahama-padhoz hasonló, sekély vízzel borított árapályövi környezetben. A tengerszint ritmikus változására utal, hogy a Tagyoni-platform



▲ A középső-anisusi platformok és medencék kapcsolata a Balaton-felvidéken (Budai, Vörös 2003, 2006)

► A középső-anisusi sekélytengeri platform ciklusos rétegsora a kádártai kőfejtőben (balra), egy elemi ciklus részlete (jobbra), felül lemezes sztromatolittal (Szentkirályszabadja)



rétegsorában az árapályöv alatti lagúnában lerakódott vastagpados, biogén (zöldalgás, foraminiferás) mészkő ciklusosan váltakozik a lemezes szerkezetű, árapályövből képződött mészkővel (sztromatolit). A Balaton-felvidék északkeleti folytatását képező Veszprémi-fennsíkon (Szentkirályszabadjai-platform) ez a sekélytengeri mészkő utólag dolomitizálódott.

A szigetplatformok közötti bezökkent árkokban viszonylag mély tengermedencék alakultak ki (Felsőörsi-medence), amelyekben ammoniteszes, bitumenes mészkő képződött. A Felsőörsi Mészkő egyes szintjeiben a sekélytengeri szervezetek, például tengeri liliomok (crinoideák) és pörgekarúak (brachiopodák) maradványainak tömeges megjelenése arra utal, hogy a platformok lejtői mentén, időről időre jelentősebb mennyiségű üledék halmozódott át a sekélyebb

területekről a medencébe. A Balaton-felvidékről leírt gazdag ammonitesz-fauna alapján a földtörténetnek ezt a korszakát pelsóinak hívják szerte a világon, a Balaton latin neve után (*Lacus Pelso*).

Az anisusi és a ladin korszak határán, mintegy 240 millió évvel ezelőtt, a megelőző tá-



▲ A Felsőörsi Mészkő lemezes-bitumenes változata az aszófői alapszelvényben (fotó: Vörös Attila)

► *Pados-márgaközös
Füredi Mészke
a pécselyi
Meggy-hegy
köfőjtőjében*

gulasos tektonikai mozgások következtében megindult a vulkanizmus, melynek tufaszórásai elsősorban az anisusi végén voltak intenzívek (Vászolyi Formáció). A tengerszint ezzel egyidejű emelkedése eredményeként a sekélytengeri platformok „megfulladtak”, mivel a „karbonát-termelésben” a legjelentősebb szerepet játszó, nagy fényigényű zöldalgák élettere a jól átvilágított víznél mélyebbre került, ahol a fotoszintézishez már nem volt elég fény. Ebben az időben alakult ki a legmélyebb tengermedence a triász során, amit a vulkanitokkal váltakozó, gumós, tűzköves, ammoniteszes mészkő és a kovavázas egysejtűek (radioláriák) vázából képződött vékony rétegek, a radioláritok jeleznek (Buchensteini Formáció).



Balaton-felvidék egyik legkedveltebb építőköve, a világosszürke, pados Füredi Mészke.

A késő-triász korai szakaszában a Balaton-felvidék területének túlnyomó része sekélytengeri karbonátplatformok közötti tengermedence volt, amely a klíma csapadékossá válása nyomán felerősödött szárazföldi mállás és behordódás következtében finomszemcsés törmelékkel töltődött fel. Ennek a dokumentuma az a több száz méter vastag márgaösszlet, amelyet a múlt századi klasszikus lelőhelyek után Veszprémi Márgának neveznek. A márga rétegsorát mintegy 10–20 méter vastag, gumós, tűzköves mészkő osztja ketté (Nosztori Mészke).

A karni korszak végére a tengermedence fokozatosan feltöltődött a terrigén törmelék behordódása következtében, és ezzel egy időben a kiterjedése is csökkent az egyre nagyobb teret hódító sekélytengeri platformok között. Ennek eredményeként rosszul szellőző aljzatú, túlsós lagúna jött létre, amelynek üledékét a Sándor-



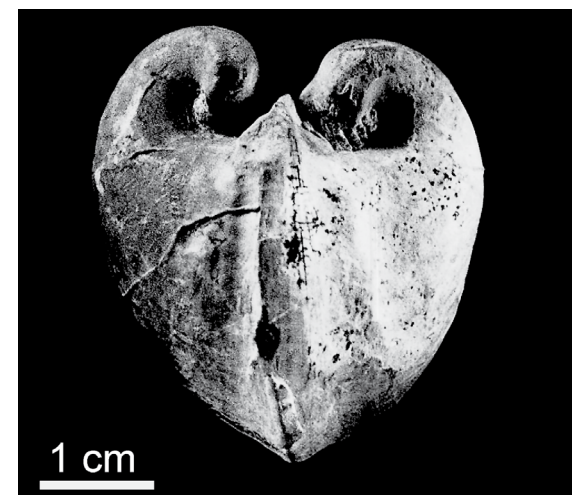
► *Gumós-kovás
mészke és
mállott vulkáni
tufa váltakozása
(Buchensteini
Formáció) a
kádártai
köfőjtőben*

A karni elején a Balaton-felvidéki platformok területe lényegesen kiterjedt a medencék rovására, amelyekben a platformokról átüledett, finom mésziszap lerakódása zajlott. Ennek eredményeként képződött a

hegyi Mészke bitumenes, lemezes alsó szakasza képviseli. A veszprémi Jeruzsálem-hegyen ebből a rétegcsoporthoz került elő a Bakony egyik legismertebb gerinces ősmaradványa, a „kavicsfogú álteknős” (*Placochelys placodonta*), amelynek első leírása Lóczy Lajos monográfiájának paleontológiai függelékében jelent meg.

A törmelékkel feltöltődő karni medencét tenger alatti hátságok választották el egymástól, amelyeken sekélytengeri karbonátok képződése folyt. A nagyobb kiterjedésű karni platformok a szűkebb értelemben vett Balaton-felvidéktől DNy-ra (a Keszthelyi-hegységben), illetve ÉK-re (a Veszprémi-fennsíkon) nyomozhatók.

A karni korszak végére, mintegy 227 millió évvel ezelőttre, a Balaton-felvidék középső-triászban felnyílt medencéi teljesen feltöltődtek, és a platformok összeolvadásával közelítően sík morfológiájú, összefüggő térszín alakult ki. A mai Bahama-platformhoz hasonló, de annál lényegesen nagyobb kiterjedésű árapályövi síkság volt a szintere annak a karbonátképződésnek a nora korszak során, amelyet a Dunántúli-középhegység legvastagabb képződménye, a mintegy másfél kilométer vastag Földolomit képvisel. Ciklusos felépítésű rétegsorában az



„Kavicsfogú álteknős”

A *Placochelys placodonta* maradványai a legidősebb hazai gerinces testfossziliák. Az ősmaradványt először Otto Jaekel berlini paleontológus írta le, 1902-ben. A maradványokat még 1899-ben találta a veszprémi Jeruzsálem-hegyen Laczkó Dezső, aki geológusként Lóczy Lajos munkatársa volt a Balaton környékének földtani térképezése során.

A „kavicsfogú álteknős” a triász tengerek ragadozója volt. Testhossza hozzávetőleg másfél méter lehetett. Feltehetően főként külső vázzal rendelkező állatokat fogyasztott, ugyanis a kavicsokra emlékeztető ovális fogaival össze tudta roppantani a pörgekarúak (brachiopodák), kagylók és csigák vázát. Ezt a táplálkozási módot héjtörőnek vagy durofágnak nevezzük.

Neve nem véletlenül álteknős: páncélos tengeri hüllő volt, de nem állt közvetlen rokonságban a mai teknősökkel. Páncélja kúpos lemezekből állt, amik nem voltak kapcsolatban a csontvázal, míg a teknősök páncélja a csontvázal összeforr.



árapályövi algaszőnyeg alkotta rétegek ritmusosan váltakoznak az árapályöv alatti lagúnaiban képződött, jellegzetes szív alakú kagylókat (*Megalodus*) tartalmazó padokkal.

A Földolomitnál fiatalabb mezozoos (legfelső-triász, jura és kréta) képződmények a Balaton-felvidéken hiányoznak. Ennek az oka, hogy a Bakony szinklinális szerkezetének kialakulása és kiemelkedése során, a szárnyakon intenzív lepusztulás zajlott a kréta középső és késői szakaszában, valamint a kainozoikum korai időszakában.

Jóval később, az alpi hegységképződés során az egykori Tethysből kialakult tengerárok a miocénben fokozatosan lefűződtek a

► *Placochelys
placodonta (fotó:
Lantos Zoltán)*

◄ *A Földolomit
legjellegzetesebb
ősmaradványa, a
Megalodus*

világtengerről. A Dunántúli-középhegység területe ebben az időszakban az egyre intenzívebben kiemelkedő Alpok északi előterében kialakult Paratethys-tenger része volt. Ennek részmedencéit időnként és helyenként tenger töltötte ki, máskor tavakká, vagy éppen folyók által feltöltött síksággá alakult.

A középső-miocén idején (14–11 millió évvel ezelőtt) sekélytengeri karbonátos üledékképződés zajlott a szűkebb értelemben vett Balaton-felvidéken. A badeni korú Lajtai Mészke és a szarmata korú Tinnyei Mészke meglehetősen tagolt partvidékkel jellemezett, sekély, meleg szigettengerben rakódott le, a mai Karib-tengeréhez hasonló környezetben. A badeni és a szarmata tenger partvonala jól követhető a Tapolcai-medence peremén, valamint Balatonszepezd, Zánka, Balatonakali és Balatonudvari környékén. Az egykori tengerpartot alkotó idős, perm vagy

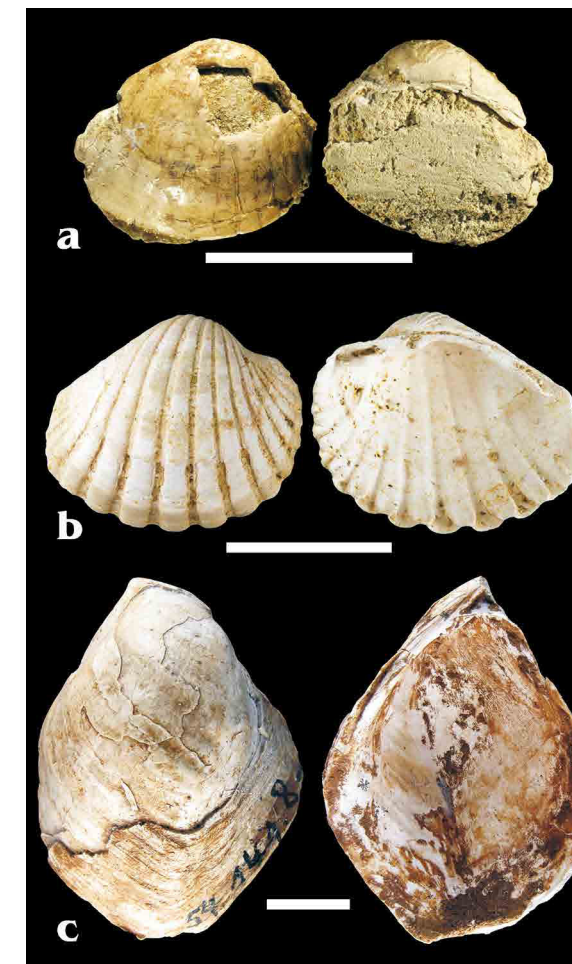
triász korú kőzetekből (homokkő, dolomit, mészkő stb.) a miocén tenger hullámverése (abrázio) eredményeként jól kerekített, koptatott parti kavics képződött, amely az egykori tengermedence belseje felé kavicsos mészkővel, majd ősmaradványokban gazdag, biogén mészkővel fogazódik össze.

A nyílt világ tengerről egyre inkább lefűződött miocén beltenger vizének fokozatos édesedését egyértelműen igazolják a mészkőösszletben gyakran kőzetalkotó mennyiségben megjelenő ősmaradványok (csigák, kagylók, foraminiférák), amelyek között – a rétegsorban felfelé haladva – a csökkent sós vízi fajok fokozatosan uralkodóvá válnak a tengeriek rovására.

A késő-miocén során, mintegy 11 millió évvel ezelőtt, a Paratethys többi medencéjétől teljesen elszigetelődött tó jött létre, amely a beömlő folyók vizének hígító hatására fo-

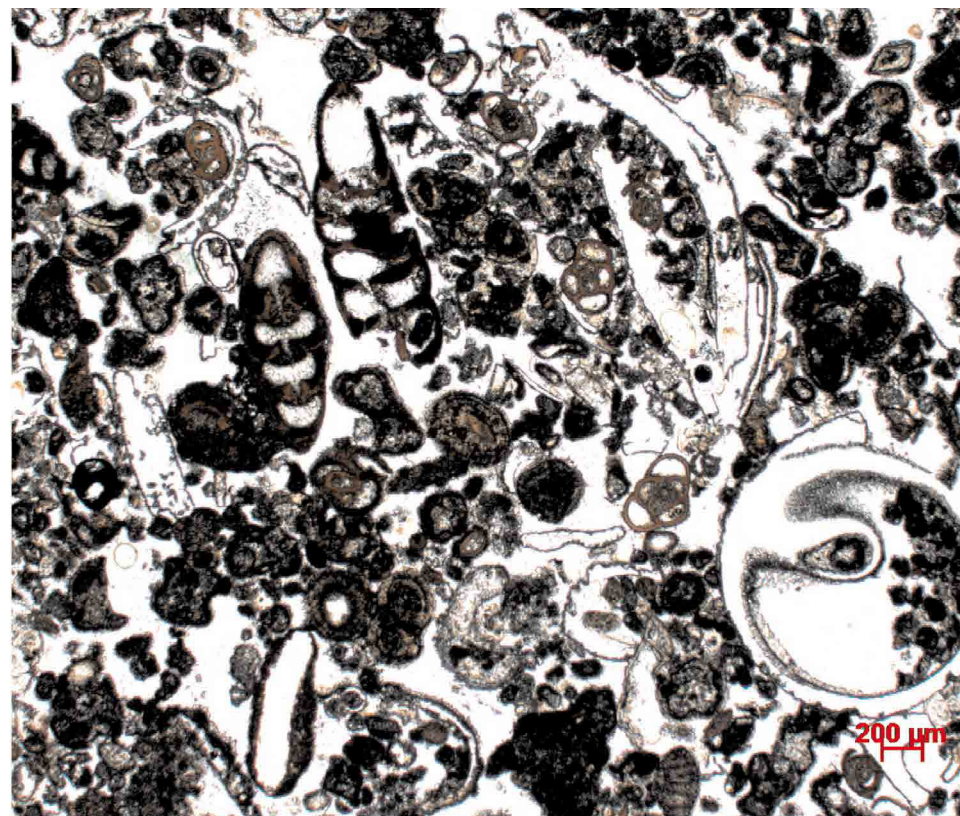
kozatosan édesedett, az általuk behordott törmelékekkel pedig fokozatosan feltöltődött a miocén végére. Ez az óriási kiterjedésű Pannon-tó a Kárpát-medence jelentős részét kitöltötte, jellegzetes partmenti üledékei a Balaton-felvidéken is elterjedtek (ismertetésüket lásd az 5. fejezetben). A „Balatoni riviéra” fölött magasodó hegység déli oldalán jól követhető a jól kerekített abrázio kavics (helyenként, például a balatonfüredi Bocsár oldalában konglomerátummá cementáltan), amelynek elterjedése a tó hullámverte partvonalát rajzolja körül. A Balaton-felvidék egyes területeire jellemző strandhomok és kavics típusú területe a Káli-medence (Kállai Kavics). A Pannon-tónak a vonulatok közé benyúló öbleiben finom szemcséjű homok, kőzetliszt, majd agyag és szenes agyag rakódott le (Tihanyi rétegek). A tóról a Balaton-felvidék vonulatai által lefűzött, csendes vizű nagyvázsonyi-lagúnában tavi mésziszap képződött (Nagyvázsonyi Mészke). A Balaton-felvidék pannóniai kőületei között leggyakoribbak a *Congerina* és a *Lymnocardium* nemzetségbe tartozó kagylók, valamint a *Melanopsis* nemzetségbe tartozó csigák.

Az alpi hegységképződési ciklus utolsó szakaszában intenzív bazaltvulkanizmus folyt a Balaton-felvidéken. A vulkáni működés első szakasza kis tömegű piroklasztitot és lávaközetet szolgáltatott, majd ezt követően indult meg a gőzrobbanásos (freatomagmás explóziós) vulkanizmus Tihanyban, körülbelül 7 millió évvel ezelőtt. (A vulkáni működés további részleteit lásd a 6. fejezetben). A pannóniai üledékképződési ciklus lezáródását követően, már a miocén végén megindult a Balaton-felvidék és a Déli-Bakony mai felszínének kialakulása. Az addigi süllyedést az emelkedés váltotta fel a



Jellegzetes „pannóniai” kagylók

Pórusos szarmata Tinnyei Mészke csiga-vázak lenyomatával (balra), vékonycsiszolati képe foraminifera- és csiga-vázakkal (jobbra) (fotók: Selmeczi Ildikó, Szurominé Korecz Andrea)



terület jelentős részén, ami a korábban lerakódott képződmények lepusztulásához vezetett.

Feltehetően a miocén és a pliocén fordulóján, mintegy 5,3 millió évvel ezelőtt zajló utóvulkáni működés hozta létre a tihanyi „gejziriteket”. A mai értelmezés szerint ezek az üledékek vulkanotektonikus törésvonalak mentén felszínre tört hévforrások üledékei. Az oldott ásványi anyagokban gazdag, forró vízből mészkő és dolomit anyagú üledék rakódott le a krátertavakban, amelyet a vízből kicsapódott kova itatott át.

A Balaton-felvidék történetét a pleisztocén során az erózió pusztítása, a patakok bevágódása és völgyképződés, a hegylancok és a közöttük húzódó medencesorok kialakulása, a szél általi erózió (defláció) jellemezte (ezeknek a folyamatoknak a részletes ismertetését lásd a



▲
*A tihanyi Arany-
ház dombját
alkotó, kovássodott
karbonátiszapból
álló gejzírit
(fotó: Cserry
Tibor)*

8. fejezetben). Az eljegesedések száraz, hideg időszakában a szél által szállított finom por rakódott le, helyenként 10–15 méteres vastagságban. Ennek a pornak a laza cementálódása eredményeként jött létre a lösz, amely a Balaton-felvidéken is jelentős területeket borít. Ezzel részben egy időben, részben ezt követően a pusztuló hegyoldalakon főként lejtőtörmelék, míg az azokat átvágó völgyek torkolatánál a patakok által lerakott hordalék-kúpok képződtek és képződnek ma is.

Mai ismereteink szerint a Balaton medencéje több szakaszban alakult ki a negyedidőszak során, maga a tó körülbelül 15 000 éve jelent meg több sekély, kezdetben egymástól elkülönült tavacska formájában (lásd a 9. fejezetben).

A Balaton-felvidék szerkezeti helyzete az Alpok rendszerében

A Balaton-felvidék paleozoos és mezozoos képződményei nagyfokú hasonlóságot mu-

tatnak az Alpok megfelelő kifejlődéseivel. Ez a jelenség már a területen dolgozó első kutató geológusoknak is feltűnt, ezért is használták az itteni rétegsorokra alpi neveket, mint például Buchensteini Mészkő, Dachsteini Mészkő stb. A jelenlegi földrajzi helyzetben ugyanakkor a Balaton-felvidék és az egész Dunántúli-középhegység látszólag önálló egységként, viszonylag távol, néhány 100 kilométeres távolságra helyezkedik el az Alpok vonulataitól. Milyen magyarázat adható erre a jelenségre és hogyan rekonstruálhatjuk azt az eredeti állapotot, amelyet a földtani rokonság sugall?

Az 1900-as évek elejére a földtani térképezés eredményeképpen két fő szerkezeti elem vált ismertté a Balaton-felvidéken: az északabbi a veszprémi, a délebbi a litéri feltolódás. Ezek a hosszanti (azaz a közép-hegységi szinklinális tengelyével párhuzamos) feltolódások délkeleti irányúak, és

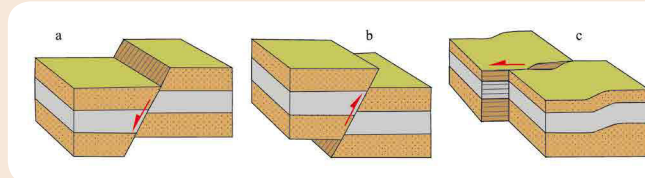
csapásirányban több mint 100 kilométeren át követhetőek. Kialakulásuk pontos kora azonban napjainkig is vitatott. Dudko Antonyina a feltolódásokhoz kapcsolódó mikrotektonikus szerkezetek vizsgálata alapján azt feltételezte, hogy ezek a szerkezeti elemek nagyobb mélységben, a herciniai aljzatban, egy lenyesési felülethez hajlanak. A két fő feltolódás mentén 1,5–2 kilométeres elmozdulást becsült, hozzátevé, hogy a valós érték ezt akár jelentősen meghaladhatja. A kérdés ezért úgy vetődik fel, hogy a kréta kompressziós szerkezetek a Balaton-felvidéken és a Dunántúli-középhegységben csak pikkelyeződésre vagy takarós felépítésre utalnak-e?

A Balaton-felvidék mezozoos rétegsorának nyilvánvaló hasonlósága az Alpok azonos korú képződményeivel más szempontból vetette föl ugyanazt az alapvető kérdést: jelent-e a nyilvánvaló kőzetkifejlődésbeli rokonság egyúttal hegységszerkezeti hasonlóságot is?

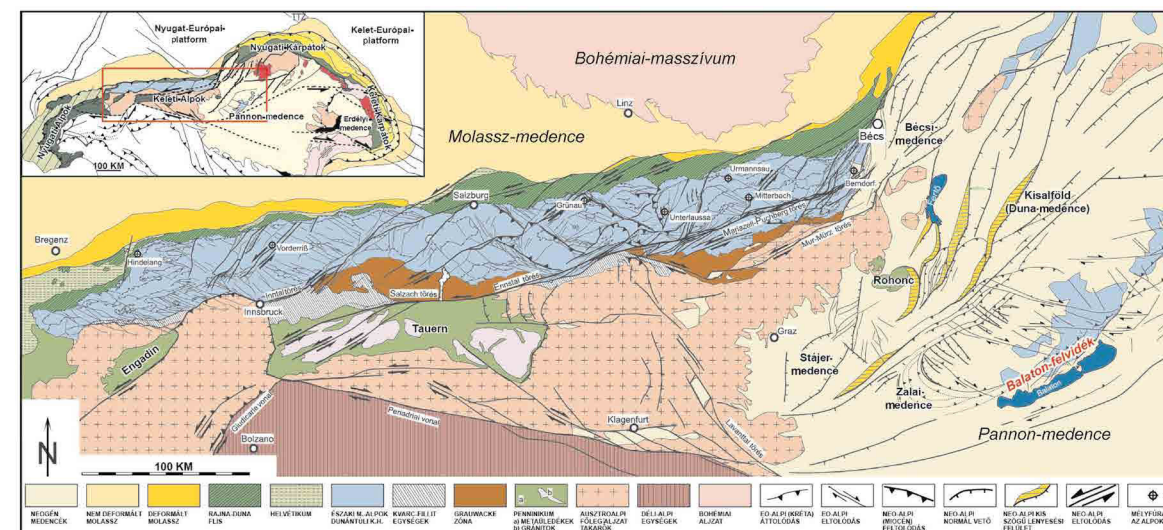
Lóczy és követői erre határozott nemmel válaszoltak, midőn a „plasztikusan” deformálódott alpi hegyláncoktól markánsan különböző, az alpi időszak során blokkosan feldarabolódó, merev közbelső tömeget képzeltek

A vetők

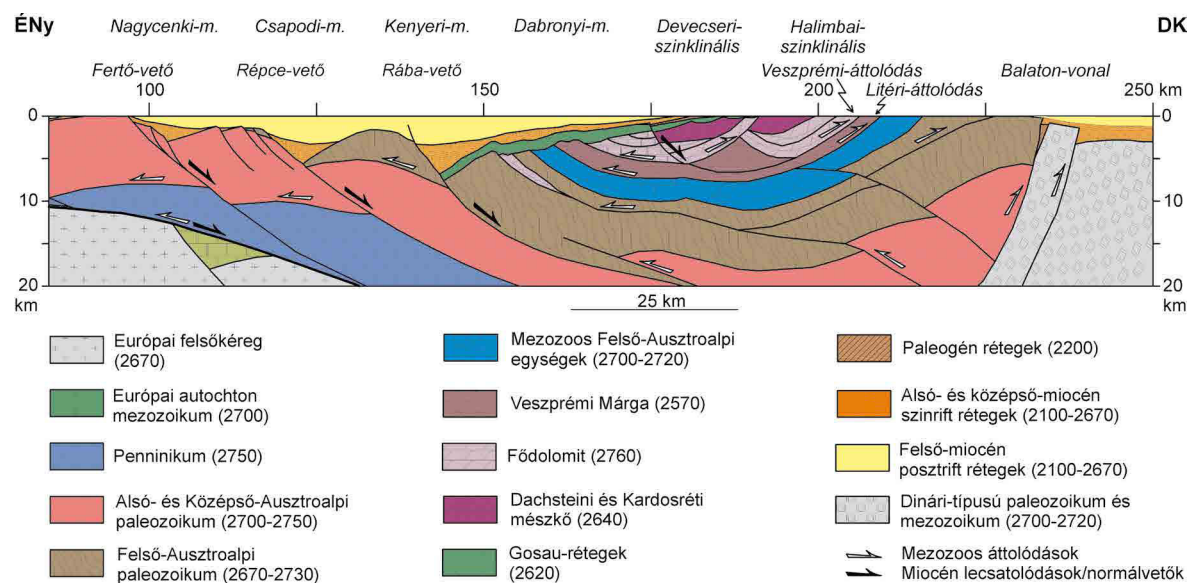
Tektonikus erőhatásra a kőzetekben létrejövő rideg (törésses) deformáció a kőzetblokkokat különböző irányokban mozdíthatja el egymáshoz képest. A törési felület fölötti kőzettet lefelé történő elmozdulása esetén a szerkezetet vetőnek (a), felfelé történő elmozdulása esetén feltolódásnak hívjuk (b). A kőzetblokkok egymáshoz képest vízszintes elmozdulása esetén a szerkezetet eltolódásként minősítjük (c). Utóbbi lehet balos vagy jobbos, attól függően, hogy a szerkezet áttelleges oldalán lévő blokk relatív elmozdulása mely irányban történt.



el az alp–kárpáti–dinári hegységkoszorú belsőjében (lásd 1. fejezet). Ugyanakkor Uhlig Viktor az akkor újnak számító mobilista koncepció alapján magyarázta a Kárpátok alpi fejlődéstörténetét, és a Dunántúli-középhegységet (beleértve a Balaton-felvidéket is) az ausztróalpi takarórendszer legfelső tagjaként értelmezte. Ezt a nagyszerű korai felismerést a magyar geológiai közvélemény „fantazmagóriának” tartotta sok évtizeden keresztül. Ez azonban nem szakmai szűklátókörűség, hanem azon a tényen alapult, hogy hagyományos földtani térképezéssel a Dunántúli-középhegység nagy tömegének



◀
*A Dunántúli-
középhegység
szerkezeti
helyzete az Alpok
rendszerében
(Linzer, Tari
2010)*



takarós helyzetét valóban nem lehet bizonyítani. A választ erre csak egy regionális, nagyobb területet átfogó értékelés adhatja meg, mert a földtani feltártsági viszonyok a Balaton-felvidéken nem engedik meg az alpi szerkezeti elemek részletes dokumentálását és meggyőző értelmezését.

Döntő mértékben a szénhidrogén-kutatás szeizmikus mérései és fúrási adatai alapján született az az értelmezés, hogy az Alpok és a Dunántúli-középhegység között elhelyezkedő Kisalföld és Zalai-medence aljzata zónás felépítésű, amelyet eredetileg jelentősen különböző paleogeográfiai pozícióban lévő közettartományok kompressziós feltorlódása hozott létre. A Dunántúl északnyugati részének medencealjzatát tehát az Ausztróalpi-takarórendszer Magyarország területére átnyúló szerkezeti egységei építik fel. Ezek alól bukkan ki a Keleti-Alpok szegélyén, a Kőszegi-hegységet alkotó Pennini-egység, amelynek metamorf jura összletét fillitek alkotják. E fölött az Alsó-Ausztróalpi-takaró paleozoos gneiszből és csillámpalából álló metamorf kőzetei következnek, amelyek a

Soproni-hegységben és környékén bukkannak felszínre. A Kisalföld aljzatát nagy részben alkotó, enyhén metamorfizálódott, paleozoos agyagpalából, metahomokkőből és dolomitból álló összlet a Felső-Ausztróalpi-takaróba tartozik. E fölötti szerkezeti helyzetű a Dunántúli-középhegységi-egység, amely az Ausztróalpi-takarórendszer legfelső, nem metamorfizálódott kőzetekből felépülő tagja. Utóbbi egységnek csak a variszkuszi paleozoos aljzata metamorfizált kissé, amelyben karbon gránittek helyezkednek el a Balaton-vonal mentén.

Szeizmikus mérések és fúrási adatok világossá tették, hogy a Kisalföld medencealjzatának szerkezetét néhány nagyon jelentős, ugyanakkor lapos szögű normál vető dominálja, amelyek nagymértékű megnyúlást (extenziót) eredményeztek a Pannon-medence középső-miocén kialakulása során. Ha az ezekkel a vetőkkel kapcsolatos miocén rész-medencéket és az alattuk elhelyezkedő paleogén/senon medencefragmentumokat elhagyjuk egy prekainozoos szintre kiegyenlített rekonstrukció segítségével, akkor látványosan

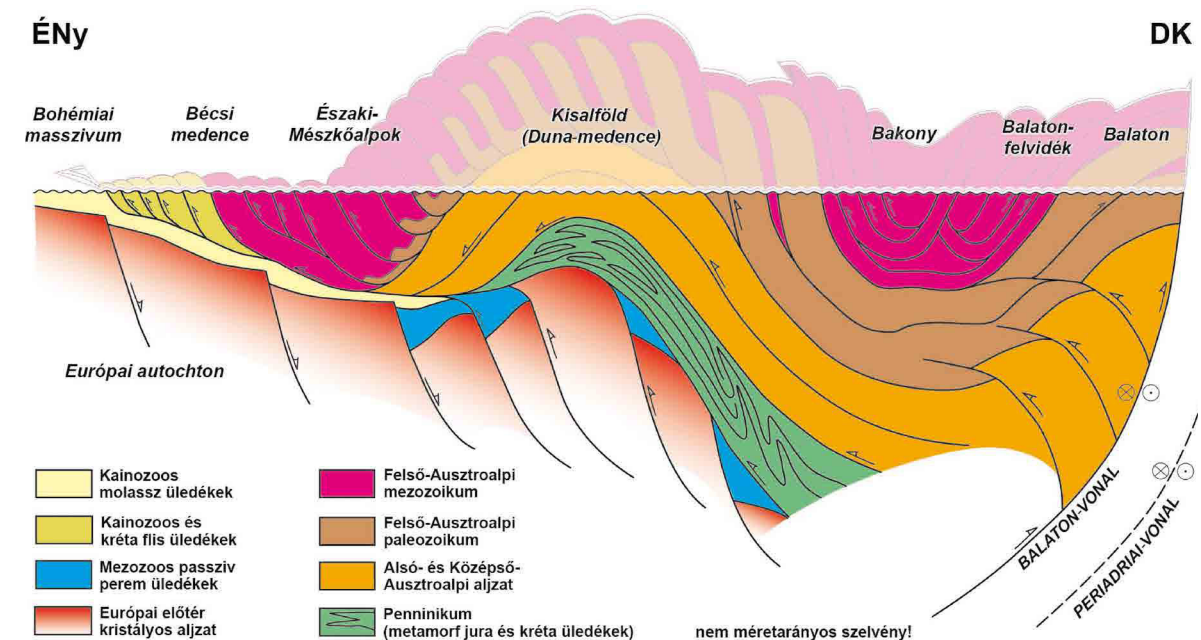
kirajzolódik a Dunántúli-középhegység alpi szerkezeti kapcsolata. Ez alapján megállapítható, hogy a Dunántúli-középhegység eredeti helyzetében – a legfelső-ausztróalpi takarórendszer integráns részeként – közvetlen fizikai kapcsolatban volt az Északi-Mészkőalpokkal, amely a késő-oligocén kiemelkedés és erózió, majd a kora-miocén kipréselődés (extrúzió) hatására szakadt meg. Ez a két alapvető oka annak, hogy a Balaton-felvidéket és a Dunántúli-középhegység egészét – a jelenkori látszólagos elszigeteltségük ellenére is – az Alpok részeként kell kezelnünk.

A Balaton-felvidék rétegtani kapcsolata a Déli-Alpokkal a legnyilvánvalóbbak. Szerkezeti szempontból azonban a Dunántúli-középhegységet a Keleti-Alpok takarós rendszerével lehet jobban korrelálni.

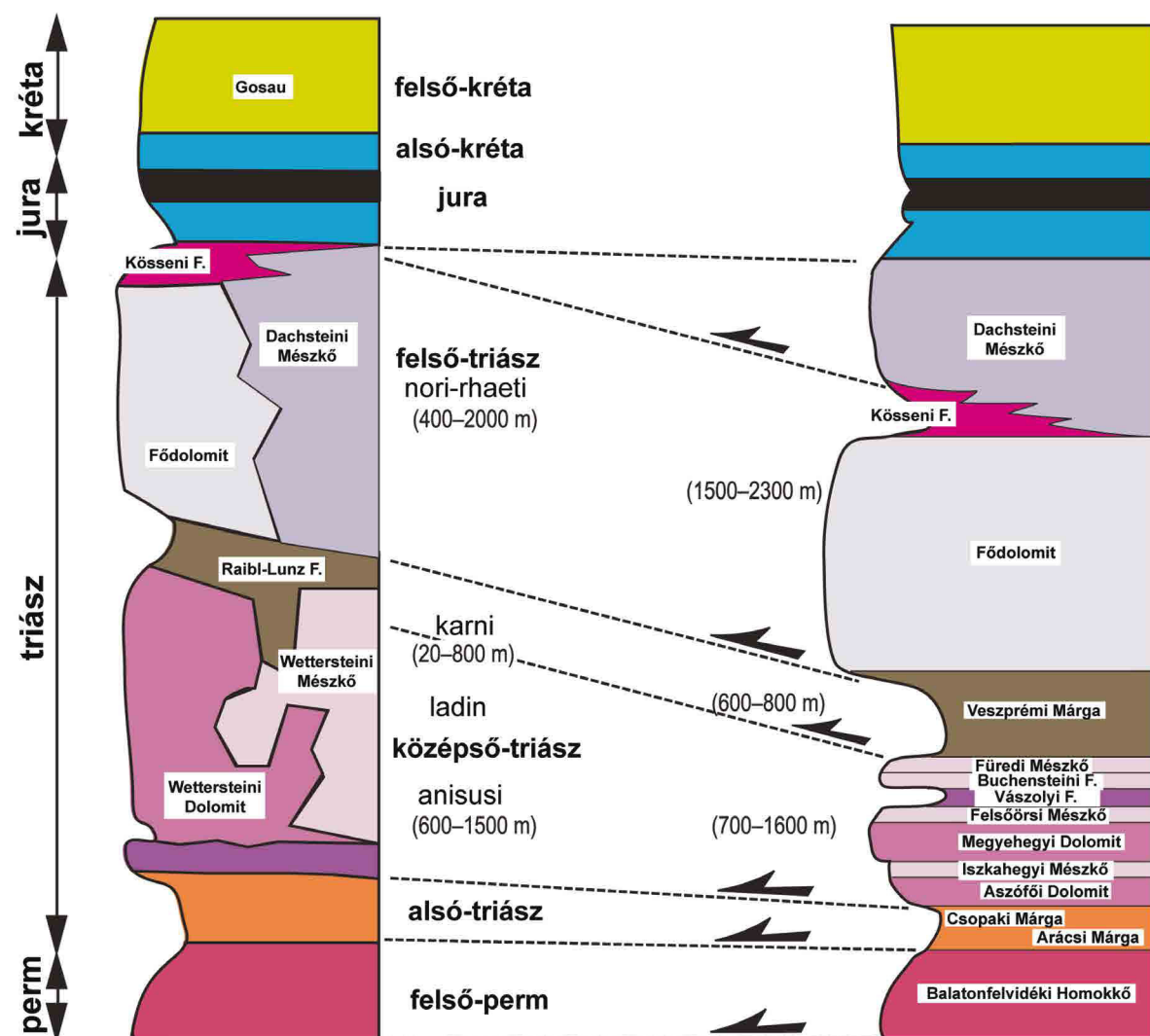
A középső-kréta kompressziós fázisok vastag paleozoos–triász–jura–neocom rétegsort deformáltak. Mivel ez a rétegsor közettanilag igen heterogén, egyes szintjei jóval nagyobb valószínűséggel működhetek

lenyesési felületként, míg más, ellenállóbb képződmények a kompressziós szerkezetek rámpáit biztosíthatták. Figyelmet érdemel, hogy ezek a szintek jól összevethetők az Északi-Mészkőalpokból leírtakkal.

A szeizmikus szelvényeken több takaróhatár rajzolódik ki a Dunántúli-középhegységi-egységen belül, ami arra utal, hogy a potenciális siklató rétegek közül több is működött. Az értelmezett szeizmikus szelvények információi arra engednek következtetni, hogy a Bakony kisalföldi szárnyán, laposan a hegység alá követhető feltolódásokhoz elsősorban a Veszprémi Márga szolgáltatja a siklató réteget, a rajta áttolódott pikkelyek fő tömegét pedig a rideg Földolomit és a Dachsteini Mészkő alkotja. Ebből és a siklató felületek geometriájából kézenfekvően adódik az a lehetőség, hogy a Balaton-felvidék fő feltolódásait, a Litéri- és a Veszprémi-áttolódást összekapcsoljuk a kisalföldi szárnyon megismert feltolódásokkal, s így alkossuk meg a tektonikailag konzisz-



► A Keleti-Alpok és a Balaton-felvidék tipikus alpi elnyíró felületeinek lenyészési felületekkel (Linzer, Tari 2010)



tens, ugyanakkor idealizált takarós modelljét a Dunántúli-középhegységnek.

Értelmezésünk szerint ennek a szerkezetnek a kialakulása két fő fázisban történt a kréta közepén. Az idősebb (apti) kompresszió felelős a Földolomitnak önmagára, a Dachsteini Mészőre, illetve a Zalai-medencében (Szilvágysíki és Csesztreg környékén) a jura képződményekre történt felpikkelyeződésért. Ezt az értelmességet támasztja alá a Keleti-Alpok Felső-Ausztróalpi-takarójának a grazi és Gurk-völgyi paleozoikumában végzett számos mikrotektonikai megfigyelés, amelyek alapján a legkorábbi eoalpi takarós áttolódások mű-

kódése 120–130 millió évvel ezelőttre tehető a radiometrikus mérések alapján.

Az ÉNy–DK-i vergenciájú takarós nagy-szerkezet ezt követően, az albai során jött létre, körülbelül 100 millió évvel ezelőtt (ausztriai-fázis). Ekkorra a korábbi NyÉNy–KDK irányú kompressziót ÉÉNy–DDK irányú váltotta fel. Mivel a Keleti-Alpok eoalpi takaróinak mozgásiránya lassan fordult el, ez a váltás a Bakony területén is fokozatosnak tűnik. Az albai során, a velencei antiklinálissal együtt alakult ki a Dunántúli-középhegység elsőrendű szinklinálisa. Az északnyugat–délkeleti rövidülést részben

jobbos törésként működő oldaleltolódások sorozata vette fel. Ezek a harántszerkezetek, mint például a Telegdi Roth-vonal, a miocén során újraéledtek, ugyanúgy mint ahogy az Északi-Mészőalpokban is. Térképi nézetben ezért is nagyon hasonló a Bakony és a Balaton-felvidék szerkezete az Északi-Mészőalpokkal összevetve, annak ellenére, hogy a jelenkori távolság a két terület között néhány száz kilométer nagyságrendű.

Összefoglalás

Az alpi kapcsolatokat illetően a Balaton-felvidék rétegtanilag legnyilvánvalóbban a Déli-Alpokkal korrelálható. Szerkezeti szempontból azonban a Balaton-felvidéket és az egész Dunántúli-középhegységet a Keleti-Alpok takarós rendszerével lehet jobban összefüggésbe hozni.

A magyar földtani irodalom összefoglaló munkáiban a rétegtani felépítést és szerkezetfejlődést – logikus módon – nagytektonikai ciklusok szerint és szerkezeti egységeként tárgyalják. A Dunántúli-középhegységi-egység mezozoos képződményeinek sokféleségével és viszonylag egyszerű szerkezeti felépítésével és viszonylag egyszerű szerkezeti felépítésével tűnik ki az általános képből. Az „egyszerűség” autochton szerkezet feltételezését jelenti a „Rába-vonal” és a Balaton-vonal által határolt tektonikai egységekre, beleértve a Balaton-felvidéket is. Ez a feltételezés egyfajta „közbeneső tömeg relikviává” degradálja a Dunántúli-középhegységet, jóllehet az Alpokhoz és a Kárpátokhoz hasonlóan ez a földtani egység is az eoalpi orogenezis frontzónájában helyezkedett el.

Elsősorban a kisalföldi és a zalai medence-területeken, szénhidrogén-kutatás céljából mélyített fúrások és szeizmikus szelvények értelmezése alapján nyert bizonyítást, hogy a Dunántúli-középhegység takarós szerkezetű

és a Keleti-Alpok szerkezeti hierarchiájában a legfelső allochton egységet képviseli, amint azt Uhlig Viktor több mint egy évszázada elképzelte. A Kisalföld alatt szeizmikusan térképezett középhegységi takaróhatárokról az feltételezhető, hogy a Bakony alatt átnyúlva a Balaton-felvidékre régóta ismert feltolódásokkal kapcsolódnak össze.

Ajánlott irodalom

- Böckh 1872: A Bakony déli részének földtani viszonyai. I. – A Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve 2, 31–166.
 Böckh, J. 1874: A Bakony déli részének földtani viszonyai. II. – A Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve 3 (1), 1–155.
 Böckh 1881: Magyarország dunántúli kerületének részletes földtani térképe E.9-es lap. M=1: 144 000. – A Magyar Királyi Földtani Intézet kiadványa
 Budai T., Vörös A 2006: Middle Triassic platform and basin evolution of the Southern Bakony Mountains (Transdanubian Range, Hungary). – Rivista Italiana Paleontologica Stratigrafia 112/3, 359–371.
 Budai T., Csillag G., Dudko A., Koloszar L. 1999a: A Balaton-felvidék földtani térképe, 1:50 000. – Földtani Intézet kiadványa, Budapest
 Budai, T., Császár, G., Csillag, G., Dudko, A., Koloszar, L., Majoros, Gy. 1999b: A Balaton-felvidék földtana. Magyar-azó a Balaton-felvidék földtani térképéhez, 1:50 000. – Földtani Intézet Alkalmi Kiadványa 197, 257 p.
 Haas J, Budai T., Csontos L., Fodor L., Konrad Gy. 2010: Magyarország pre-kainozoos földtani térképe, 1:500 000. – Földtani Intézet kiadványa
 Hofmann K. 1875–78: A déli Bakony bazalt-közetek. – A Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve 3 (2), 339–525.
 Laczkó D. 1911: Veszprém városának és tágabb környékének geológiai leírása. – In: Lóczy L. (szerk.): A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei, I. kötet, Geol. Függ. I., 190 p.
 Linzer, H.G., Tari, G. 2012: Structural correlation between the Northern Calcareous Alps (Austria) and the Transdanubian Central Range (Hungary). – AAPG Memoir 100, 249–266.
 Lóczy L. id. 1913: A Balaton környékének geológiai képződményei és ezeknek vidékek szerinti telepődése. A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei, I./1. 617 p.
 Lóczy L. id. 1920: A Balaton-tó környékének részletes geológiai térképe. M= 1: 75 000. – A Magyar Királyi Földtani Intézet kiadványa, Budapest.
 Tari G., Horváth F. 2010: A Dunántúli-középhegység helyzete és eoalpi fejlődéstörténete a Keleti-Alpok takarós rendszerébe: egy másfél évtizedes tektonikai modell időszersége. – Földtani Közöny 140/4, 463–505.
 Uhlig, V. 1907: Über die Tektonik der Karpathen. – Kaiserlich-Königliche Hof- und Staatsdruckerei, Wien, 111 p.
 Vitális I. 1911: A balatonvidéki bazaltok – In: Lóczy L. (szerk.): A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei I/I., Geológiai Függelék II.

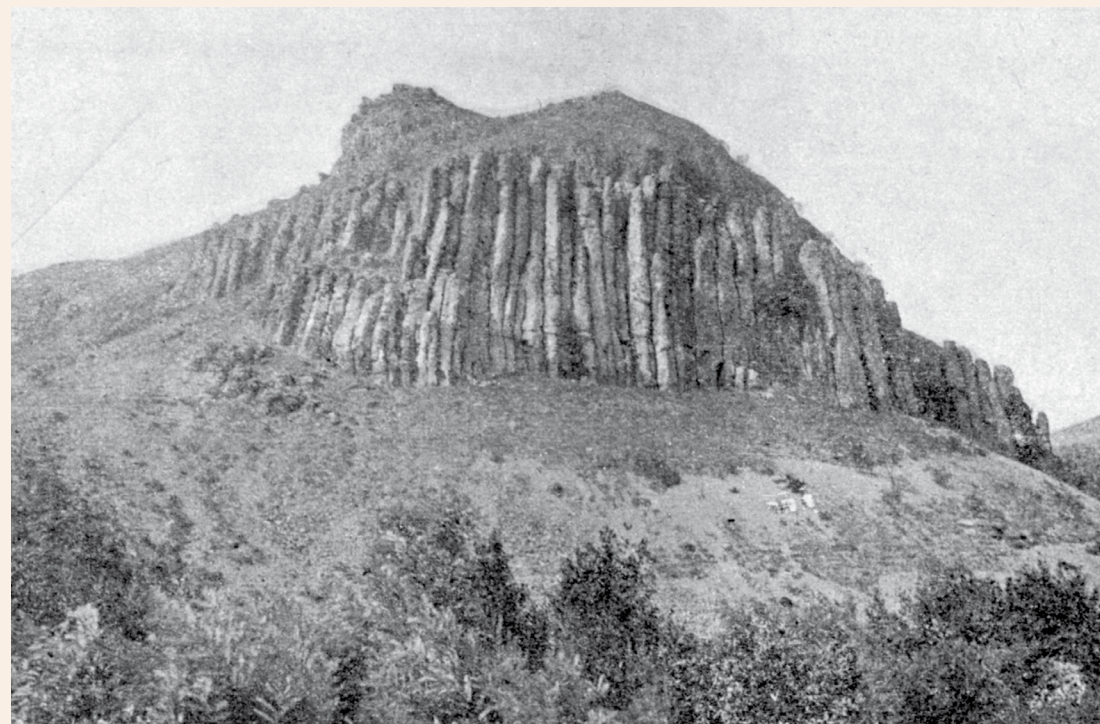
Németh Károly, Harangi Szabolcs, Csillag Gábor, Karátson Dávid

A Balaton-felvidék alkálibazalt-vulkanizmusa

Valószínűleg nincs olyan magyar ember, aki ne ismerné fel bárhol, bármikor a Badacsonyi sziluettjét. A Balaton partján sétálva, vagy egy hajó fedélzetéről nézve mindenki százszor, sőt ezerszer megcsodálta már a Balaton-felvidék bazaltvulkánjainak jól ismert, jellegzetes formáit. Nincs ezzel másképp a kutató sem: a környék első természet-tudományos érdeklődésű utazóitól máig mindenkit megragad e látvány. Már az első földtani képződményeket jelző térképeken megjelentek a kis „bazaltvakondtúrák” a Balatontól északra. Tudományos tanulmányozásuk az 1800-as évek közepén, Hofmann Károly vizsgálataival kezdődött, de a részletes kutatás id. Lóczy Lajos nevéhez fűződik. A Balaton monográfiában ismertetett eredmények és nyitva hagyott kérdések máig hatással vannak a kutatásokra. Az elmúlt száz év eredményei, ezek közül is elsősorban az 1990-es években indult, modern vulkanológiai szemléletű kutatások a Balaton-felvidéket nemzetközi szinten is a monogenetikus vulkáni mezők egy mintaterületévé tették.

Szentgyörgyhegy

A Szentgyörgyhegy a Balatonvidék egyik legérdekesebb hegye, Tapolczától délre, Hegymagos, Raposka és Kisapáti községek között emelkedik ki minden oldalról szabadon álló hegyszigetként a tapolczai öblözet 108—110 m. magas, alluviális takarójából. Az említett községek maguk a hegy lankás padkáján fekszenek, a mely lapos csonkakúp palástjaként szelíden emelkedik mintegy 140 m. magasságig, a szőlőkertek aljáig. Erre mintegy 190 m. magasságig meredekebb lejtőjű csonkakúppalást következik, a melynek az alján még laza homok, felsőbb részén meg már a bazalttufa és a kompakt bazalt murvája van túlsúlyban. E palást talaján köröskörül szőlőkertek vannak néhány kőületes feltárással, a melyekben egy helyen t. i. a Hegymagos községből a vörös



A Szentgyörgyhegy
északnyugati
oldalának
kelet felőli
bazaltoszlopai

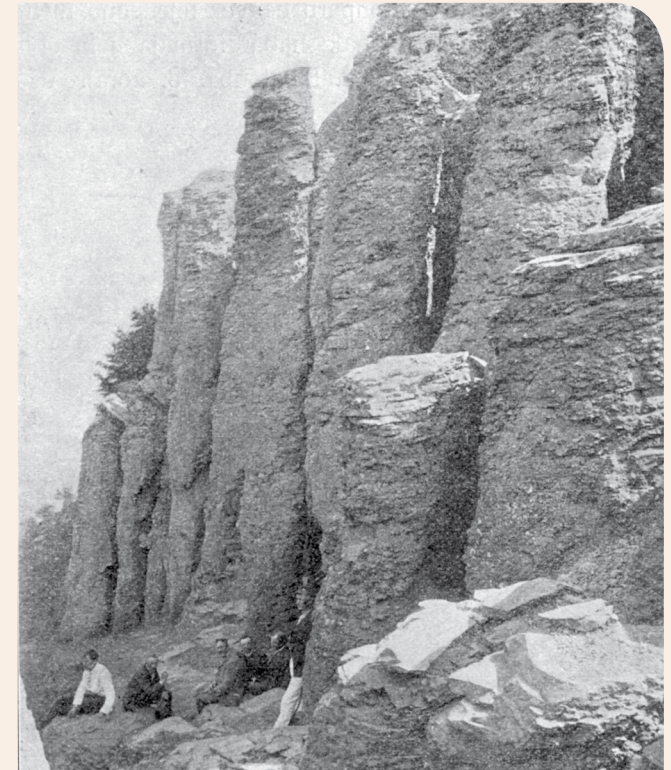
kereszt felé a Tókúthoz és a Szentgyörgyhegy tetejére vezető mélyút falában, m. e. 160 m. magasságban fedezte fel Lóczy L. azt a lelőhelyet, a honnan Vivipara Semseyi-t, Dreissensia auricularis-t, Melanopsis decollata-t és cylindrica-t, Limnocardium, Unio és Valvata sp.-t gyűjtötte. A kőületek tanúsága szerint a Szentgyörgyhegy dereka a pontusi korszak képződménye. E pontusi korú csonkakúp felső részén 270—290 m. magasságban a hegy észak-északkeleti, nyugati és keleti oldalán Tapolcza, Raposka és Apáti felől, bazalttufa látható több (4—5) m. vastagságban. Legösszefüggőbb tömegben látni a bazalttufát a hegy Tapolcza felőli oldalán. Itt a bazalttufa délnek, a hegy felé, dől lankásan 30—35° alatt. Raposka felett 3—4 m. magas tömbökben, Apáti község felett pedig a kipusztult szőlő első dőlőjében csak foszlányokban lelhető már.

Ezek a bazalttufa kibukkanások kisebb-nagyobb vastagságú részei annak, az egészben nem nagy tömegű bazalttufa gyűrűnek, mely az oszlopos bazalt alatt a pontusi rétegekre telepszik.

E bazalttufa-gyűrű felett közvetlenül bazaltomladék, kődara, „törött kő” fekszik, helyenkint egész kőtengert alkotva s ezekből emelkednek ki a 4. ábrán ábrázolt hatalmas bazaltoszlopok, a melyek olyan impozáns külsőt kölcsönöznek a Szentgyörgyhegynek. Különösen a hegy észak-északkeleti oldalán csoportosulnak szépen az e vidéken „Kőzsákok”-nak nevezett alakulatok és már Tapolcza környékéről szem-

betűnnek. Itt a kőkapunál ugyanis 20—25 m. magasak. Keresztmetszetük ellipszishez közeledő sokszög. Hosszabb, 1—1,2 m.-es átmérőjükkel a hegy felé fordulnak. Néhány oszlop azonban ijesztően szabadon áll s kissé északkelet felé, kifelé dől. Az oszlopok közötti feljáró ösvényen, ott a hol az a kőfolyásról a bazaltoszlopok alá ér, éles határokkal látszik az elpusztult oszlopok szabálytalanul hatszögletű körvonala. Ezen sokszög mentén 5—6 cm. vastag mállott réteg van. A hatalmas oszlopoknak elliptikus körvonalai és tompított éléi tehát nyilvánvalóan az elmállásnak eredményei.

Impozánsak a hegy északnyugati oldalán a mogyorósi „kőzsákok” is, valamint délnyugaton a Hegymagos felőli pillércsoport és az Apáti hegy oszlopcsoportja, a melyben 25—30 m. magas oszlopok is vannak.



A „Kőzsákok”:
a Szent György-
hegy bazalt-
oszlopai az
északkeletről
felvezető
ösvény felett

Egyébiránt a hegy oldalain másutt is, köröskörül, előbukkannak a bazaltoszlopok függőleges állásukkal jelezve, hogy az egykori láva vízszintesen terült el lepény módjára a bazalttufán.

Az átlag 22—23 m. magas oszlopok alsó része kevésbé, a felső erősebben elbontott sötétszürke, apró szemcsés, itt-ott hólyagos anamezitszerű bazalt. Az oszlopok fejein vízszintesen poliédrikus lapokra válik szét ez a kőzet s a szélső oszlopok fejeiről az oszlopok lábához hullanak le a lapok, a már említett „törött követ” illetőleg kisebb-nagyobb kőtengereket alkotva és táplálva. Különösen szépen látni ezt a folyamatot a hegy délnyugati oldalán, Hegymagos felett. ...

Részlet Vitális István A Balatonvidéki
bazaltok című művéből

A Balaton-felvidék fiatal bazaltvulkanizmusának tanulmányozása Lóczy Lajos munkásságának egyik fontos eleme volt. Lóczy a Balaton-felvidék földtani leírásában részletesen ismertette a bazaltvulkáni képződmények földtani, települési viszonyait. Munkássága nagyban meghatározta az őt követő évtizedek közöttani, vulkanológiai és ásványtani vizsgálatait. A *Balaton monográfia* függelékeiben megjelent, bazaltvulkanizmushoz kapcsolódó munkák közül ki kell emelni Vitális István *A balatonvidéki bazaltok* címen megjelent, részletes összefoglaló ismertetését. Vitális a bazaltminták részletes vizsgálatát a selmecbányai ásványtan–földtani tanszéken végezte, és pontos megfigyelései, leírásai maradandó alpmunkaként fontos kiindulást jelentenek mind a mai napig.

A mikroszkópos megfigyelésen alapuló köztani vizsgálatok az 1850-es években indul-

tak meg. Böckh János Hofmann Károlyt kérte meg, hogy végezze el a modern petrográfiai elemzéseket, aki „*készséggel engedett a felszólításnak s nyomban mikroszkópi vizsgálat alá vetette*” a Balaton-felvidék bazaltjait. Lóczy munkája a Balaton-felvidéki vulkanizmus megértésében jelentős részben Hofmann Károly 1875–78-as monumentális munkáján alapul, amely *A déli Bakony bazaltközetei* címmel a Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyvének III. kötetében jelent meg. Ezt Lóczy is többször említi a kötetében, hasonlóan Böckh János 1872–1874-ben, *A Bakony déli részének földtani viszonyai* címmel megjelent munkájához.

Lóczy munkásságának hatása napjainkig érezhető, hisz több olyan tudományos kérdést is felvetett, amelyek megválaszolása máig foglalkoztatja a szakembereket. A terület vulkánjainak megismerésében Lóczy szerepe elsősor-

ban a vulkánok lepusztulási folyamatára adott válaszaiban, és részben azok kitörésmechanizmusára adott első ötleteiben foglalható össze. Lóczy munkássága jelentős hatást gyakorolt Jugovics Lajos vulkanológiai kutatásaira is, aki majd 50 éven át meghatározó alakja volt a terület bazaltvulkánjai vizsgálatának. Jugovics több tucat tudományos műben, módszeresen, lépésről lépésre, vulkánról vulkánra dolgozta fel a Balaton-felvidék szinte minden egyes vulkáni területét a Keszthelyi-hegységtől a Tapolcai-medencén át a Tihanyi-félszigetig. Így jutott arra a következtetésre, hogy a vulkáni felépítmények jelentősen lepusztultak. Mi több, a Sümegprága környékén kibukkanó közzetelére mio-pliocén üledékekbe nyomult és idővel kipreparálódott maradványait is felismerte. A modern vulkanológiai szemléletű kutatások az 1990-es évek közepétől indultak, és a tudományos eredmények e térséget nemzetközi szinten is a monogenetikus vulkáni mezők egyik mintaterületévé tették, különösen a magma és a víz kölcsönhatása következtében zajló hidrovulkáni működés tekintetében.

Lóczynak az őslénytani és köztrétegtani vizsgálatokon alapuló eredményei jelentősen segítettek az üledékes képződmények kialakulásának megértését is. A vulkáni rétegek és az üledékes képződmények kapcsolatának felismerése azonban csak az 1980-as évekre tehető, a K–Ar kormeghatározásoknak köszönhetően.

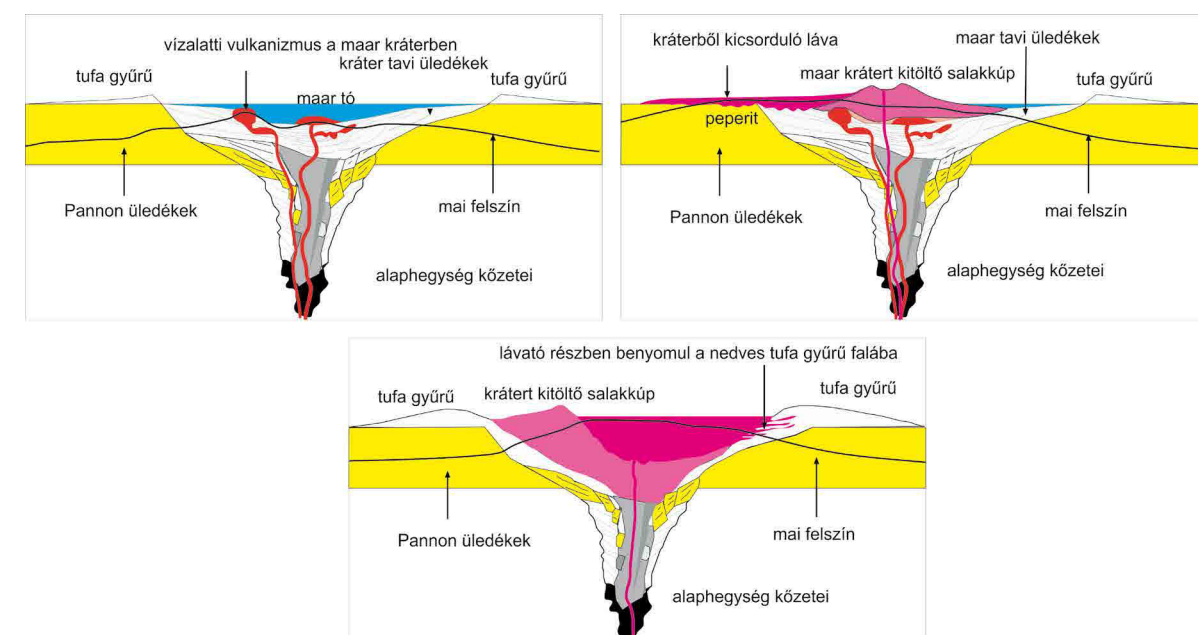
Monogenetikus bazaltvulkanizmus

A bazaltos magmákhoz kapcsolódó vulkáni működés legnagyobb térfogatot képviselő felszíni formái a szélesen elterülő pajzsvulkánok (például Mauna Loa, Mauna Kea, Galápagos-szigetek), azonban gyakoribb, hogy a bazaltos magma kis térfogatú (<1 km³) tűzhányókat épít, amelyek rövid életűek és általában nem működnek újra. Ez utóbbiak, melyek rendszerint csoportosan jönnek létre, vulkáni területeket (avagy vulkáni mezőket) képeznek. Ezek nagysága akár több száz vagy ezer km² is lehet, és elszórtan akár több száz egyedi kitörési központot, kisebb-nagyobb vulkánt is tartalmazhatnak.

A bazaltvulkáni mezőkön a kitörések rövid ideig tartanak (néhány nap, maximum egy év-



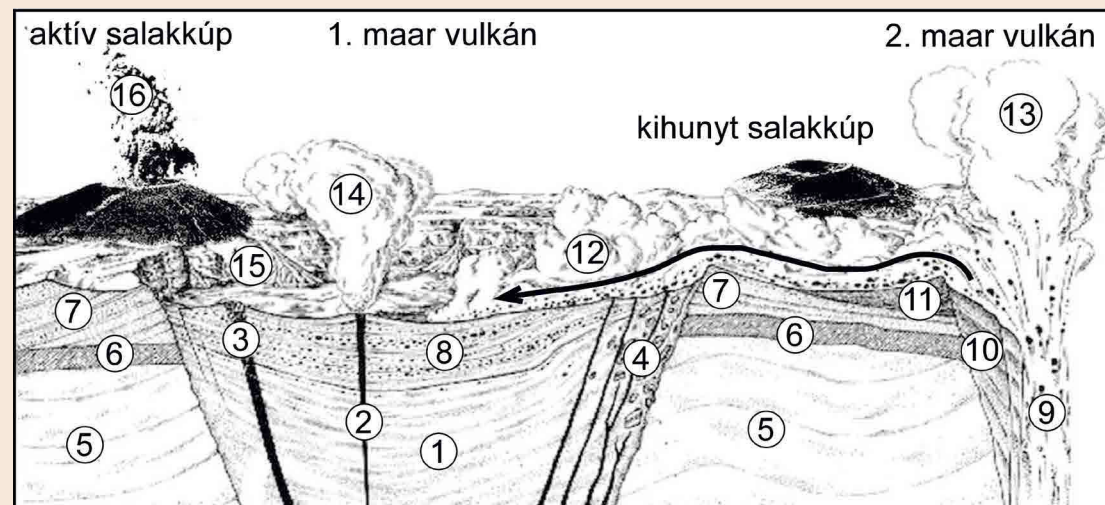
A Bakony–Balaton-felvidék monogenetikus bazalt vulkáni mezője



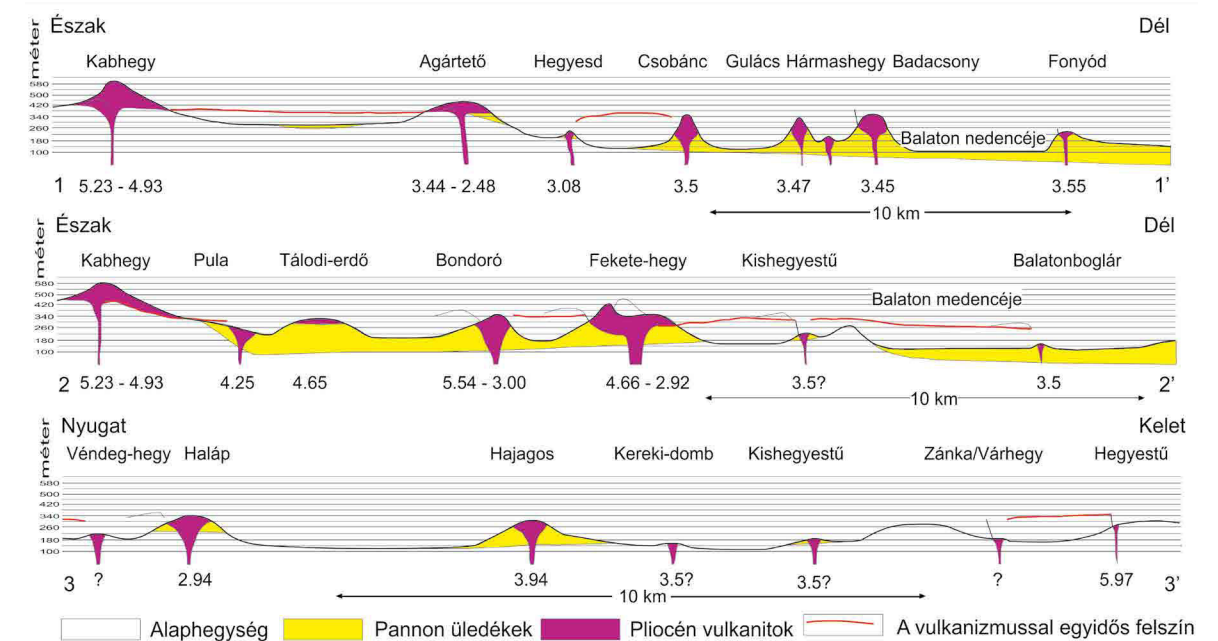
A monogenetikus bazaltvulkanizmus jellegzetes vulkáni formái

A vulkáni mezők vulkánjai

A vulkáni mezőket alkotó, kis térfogatú vulkánok többfélék lehetnek annak függvényében, hogy milyen módon alakultak ki, azaz hogyan játszódtak le a kitörések. Ebben különösen fontos tényező, hogy mennyire volt robbanásos a vulkáni működés, illetve ezen belül, milyen szerepe volt a külső víz és a magma kölcsönhatásának. A csupán a magma belső gáztartalmának hatására visszavezethető robbanásos kitörések során erősen hólyagüreges bazaltdarabokból álló salakkúpok alakulnak ki. Ha a bazaltmagma feláramlása gyors, a felhabzó magmatest magasra felcsapó lávaszökőkút formájában tör a felszínre. Ekkor lávafröccskúpok, lávasáncok jönnek létre, a lávacafatok akár össze is hegyedhetnek és nem ritka, hogy a kitörés előrehaladtával végül lávaöntés történik és a kúp körül egy lávamező alakul ki. Amennyiben a magma mozgása lassabb, akkor a gázbuborékok hamarabb felszínre juthatnak és a néhány kilométer mélységben lévő magmatározóból olvadékkal teli, nyílt kürtön keresztül feláramló méretes gázbuborékok ismétlődő lávatűzijáték kitöréseket okoznak, amelyek végül salakkúpokat hoznak létre. A felfelé nyomuló magma gyakran találkozik víztartó, vagy vízzel átitatott rétegekkel. A magma és a víz (illetve vizes üledék) keveredése heves robbanásos kitörést okoz, amit hidrovolkáni működésnek nevezünk. Ha a felszínre robbanó anyagban jelentős mértékben (legalább a teljes térfogat 10%-a) szerepelnek a szétrobbanó magma foszlányai, szemcséi, akkor freatomagmásnak nevezzük a kitörést. Ha a robbanás elsősorban a mellékközetet aprózza fel és dobja a felszínre, akkor a kitörés típusa freatikus. Abban az esetben, ha a magma felszínközeli rétegvízzel, vízzel telített üledékkel vagy sekély tavak, folyók vagy sekélytenger csekély mennyiségű vizével keveredik, a keletkező heves gőzrobbanás hatására finomszemcsés vulkáni hamu keletkezik, és tufagyűrűk születnek, amelyek általában sekély, de széles krátert vesznek körbe. Ha a magma jelentősebb mennyiségű felszín alatti vagy felszíni vízzel lép kölcsönhatásba, akkor vízgőzben gazdag kitörési felhő keletkezik és meredekebb oldalú, kisebb kráterrel jellemzett tufakúpok alakulnak ki. Ha a magma és a víz kölcsönhatása nagyobb mélységben történik, akkor a robbanások mély, akár több száz méter mélyre húzódó vulkáni kürtöt hoznak létre, amit a felszakított mellékközet kisebb-nagyobb darabjai töltenek ki. Ezeket diatrémának nevezik, a vulkáni felépítmény pedig a maar. A maar vulkáni kitörések során mély kráterű, kis vastagságú vulkáni gyűrűk jönnek létre, amelyekben az aljatközet darabjai sokkal nagyobb mennyiségben vannak jelen, mint a magma szemcséi. Egy vulkáni mezőn mindezek a különböző tűzhányó típusok együtt is előfordulhatnak. A vulkánok morfológiája, a vulkánokat felépítő képződmények fontos tanúi az egykor zajlott kitörések történetének.



- | | |
|---|---|
| 1 Diatrémát kitöltő piroklasztit kőzetek | 9 Aktív maar vulkán születő diatrémája |
| 2 Maar vulkáni kitörést követően kialakult, aktív kürtőcsatorna | 10 Kráterperemről beszakadó rétegek |
| 3 Már nem aktív kürtőcsatorna | 11 Az aktív maar kráter körül kialakult tufa gyűrű rétegei |
| 4 Maar kráter pereméről beszakadt köztömegek | 12 Az aktív maar kitörése során kialakult alapi torlóár |
| 5 Idős alaphegység kőzetei | 13 Freatomagmás kitörési felhő, amelyben akkréciós lapilli alakulhat ki |
| 6 Pannon üledékes kőzetek | 14 Freatomagmás kitörési felhő |
| 7 Az első kitörések során kialakult tufagyűrű rétegei | 15 Mély maar kráter peremén kialakuló törmelékű kúpok |
| 8 Maar kráterben felhalmozódott üledékes kőzetek | 16 Salakkúpot építő lávatűzijáték kitörés |



A Bakony és a Balaton-felvidék bazaltvulkánjainak jelenlegi morfológiája (a számok a bazalt korát jelzik millió évben)

tized), és sok esetben egy kitörés egyetlen vulkáni felépítményt hoz létre, ahol aztán később nem újul fel a vulkáni működés. Ezért ezeket monogenetikus vulkánoknak nevezik. A tipikus monogenetikus vulkáni mezők esetében a kitörések rendre új helyen történnek. A tűzhányók gyakran a földkéreg gyengeségi zónáit követve, szerkezeti vonalakhoz köthetők, vagy pedig a vulkánok eloszlását a földkéreg alatti olvadékforrás alakja határozza meg, úgynevezett vulkán csoportokat létrehozva. Összességében egy vulkáni mező élete jóval hosszabb – gyakran millió években mérhető –, mint egy összetett tűzhányóé. A Bakony–Balaton-felvidék legalább 35 monogenetikus vulkánja, vulkáni felépítménye a 8 és 2,3 millió évvel ezelőtti időszakban, tehát csaknem 6 millió év alatt született. Fontos azt is megjegyezni, hogy az aktív fázisok között olykor több százezer év is eltelt, sőt a kezdeti kitörések (Tihany, Hegyestű) után, jelen ismeretünk szerint, több mint 2 millió év telt el kitörés nélkül, majd kezdődött egy újabb aktív szakasz!

A monogenetikus vulkáni mezők működése kiismerhetetlen: nem lehet tudni, mikor és hol lesz újabb vulkánkitörés és még az sem mondható meg biztosan, hogy az miképpen fog lezajlani. A Bakony–Balaton-felvidék vulkáni mező és a kisalföldi (vagy Kemenesalja) vulkáni mező egymáshoz legközelebbi vulkáni előfordulásai között közel akkora távolság van, mint a két vulkánmező belső vulkánjainak távolsága. Így térben nehéz az elkülönítés, időben pedig még nehezebb, hisz a kisalföldi vulkánok közel azonos időtartományban voltak aktívak, mint a Bakony–Balaton-felvidék vulkánjai. Az egyetlen különbség, hogy a kisalföldi vulkánmező aktivitásának csúcsa valamivel korábbra tehető (úgy 5–6 millió év között).

A Bakony és a Balaton-felvidék területén több millió éven keresztül zajló, aktív és hosszú szunnyadási időszakokkal jellemzett vulkánosság során a kitörések változó környezetben folytak, szárazulaton, részben sekély víz alatt. Ez a keletkező vulkántípusok igen nagy változatosságát eredményezte.

A monogenetikus vulkanizmus modellje Smith és Németh (2018) alapján. Ilyen lehetett a Fekete-hegy, Tihany vagy éppen a Bondoró, Pula, Tálodi-erdő vidéke

Monogenetikus bazaltvulkáni mezők kialakulása

A monogenetikus vulkáni működés kutatásában Lóczynak és munkatársainak munkássága mérföldkőnek tekinthető, hisz először ők tanulmányozták részletesen a Balaton-felvidék bazaltvulkanizmusát. Kutatásaik rávilágítottak arra, hogy a Balaton-felvidéki vulkánok döntően az eróziós maradványai olyan kis méretű vulkánoknak, amelyek robbanásos kitörések során születtek, míg némelyikük jelentősebb térfogatú lávatakarót is létrehozott.

Az utóbbi években fontos fejlődés történt a vulkáni mezők alatti magmás folyamatok megismerése terén is. A Bakony és a Balaton-felvidék térsége ebből a szempontból is egyfajta természeti laboratóriumnak tekinthető. Ez már egy újfajta kutatási filozófia: egy vulkán, egy vulkáni mező működésének megismerése a „forrástól a felszínig”, azaz a magmaképződéstől, a magmatározó folyamatokon keresztül egészen a vulkánkitörések mechanizmusáig.

Többek között a Balaton-felvidéki bazaltok tanulmányozása során merült fel annak lehetősége, hogy rétegtanilag jól megfogható mintavételezéssel lehetőség nyílik a monogenetikus vulkánt tápláló magmák kémiai változatosságának dokumentálására. Ilyen vizsgálatok történtek Tihanyban, a Bondorón, a Fekete-hegyen, a Füzes-tónál, illetve

a kisalföldi Kissomlyón. A Balaton-felvidéki vulkánok kicsik lehetnek, azokat csak nagyon csekély térfogatú magma szülte, azonban a kitöréseket bonyolult magmás folyamatok során létrejött, összetett magmaforrások táplálhatták. Ezeken a helyeken különleges formájú vulkáni bombák is előkerültek a bazaltsalak-rétegekbe ágyazva, vagy önállóan. Ezek általában orsó alakúak, íves formájúak, a külső részük olykor felrepedezett és kenyérhéjra emlékeztető megjelenést mutat. Belsejükben gyakran található kisebb-nagyobb méretű, olivinben gazdag, zöld színű kőzet. Ezek a korábban „olivinbombának” nevezett peridotitok, amelyek a földköpenyből származnak. Nemzetközileg is híres lelőhely a Bondoró, Szentbékállá és a Füzes-tó, az innen származó kőzetzárványok kutatása alapján jól ismerjük a litoszféra alsó, földköpeny részét. Ezeket a kőzetdarabokat a gyorsan felnyomuló bazaltos magma sodorta magával a felszínre.

Az 1990-es évek elejétől zajló, modern szemléletű vulkanológiai kutatások a Balaton-felvidéki vulkáni mezőt globális kutatási területté alakították és nemzetközi szinten is segítették az ilyen típusú vulkáni működés jobb megértését. Az integrált, egyre mélyebb részletekbe menő kutatásoknak köszönhetően kiderült például, hogy felül kell



Bazaltbombák a Bondorón

vizsgálni a működés monogenetikus jelzőjét is. Hagyományos értelemben a monogenetikus vulkán annyit jelent, hogy egy adott bazaltos magmacsomag által táplált, rövid ideig tartó kitöréssorozat során keletkezett és annak befejeződése után később nem újult fel a működése. A nagy felbontású kőzettani és geokémiai vizsgálatok azonban igazolták, hogy még kis térfogatú tűzhányók esetében is változhat időben a kitörést tápláló magma összetétele. A vulkánrétegtani elemzések alapján pedig egyre gyakrabban olyan következtetésre juthatunk, miszerint a szigorúan monogenetikus vulkánok is jól elkülöníthető kitörési fázisokban növekedtek, és az egyes fázisok között jelentősebb időintervallumok – órák, napok, sőt hetek vagy hónapok – is eltelhettek. Ezek nyomai, mint diszkordancia-felületek láthatóak a monogenetikus

vulkánok rétegsorában. Ilyeneket a Balaton-felvidéken is dokumentáltak (például a Bondorón). Ezek a geológiai értelemben rövid időtartamok hosszabbak annál, mint ami ahhoz kell, hogy egy kürtőben a feláramló magma megdermedjen. Ez azt jelenti, hogy egy monogenetikus vulkán növekedése során sem egy, hanem akár több magmaforrás és/vagy egy hosszú életű, összetett magmatározóból kiinduló magmacsomag több elkülöníthető tápcsatornán keresztül működte az adott vulkánt. Azaz a korábban monogenetikusnak vélt bazaltos tűzhányók sok esetben valójában polimagmásak (eltérő összetételű magmák által tápláltak), sőt akár policiklikusak (ismétlődő, rövidebb-hosszabb szünetekkel elválasztott kitörési események során felépülők) lehetnek. Erre kitűnő példa a Bondoró és a Fekete-hegy.

A Tapolcai-menedence bazaltvulkánjainak eróziós formái a Halápról (balról jobbra): Halagos, Csobánc, Tóti-hegy, Gulács, Badacsony, Szent György-hegy



Korszerű elméletek a monogenetikus vulkáni mezőkről

A monogenetikus vulkanizmust az intenzív kutatások eredményeképpen többen is újraértelmezték az utóbbi években. Ezek között az egyik leg részletesebb összefoglaló tanulmány Ian Smith és Németh Károly tollából, a *The Geological Society of London Special Publications – Monogenetic Volcanism* kötetben jelent meg 2017-ben. A szerzők által tárgyalt „rég, új” értelmezésnek a lényege, hogy a monogenetikus vulkáni tevékenységet a vulkanizmus egyik végpontjának tekintik, mely fokozatos átmenetet mutat a poligenetikus vulkanizmus felé. Az átmenetben egy természetesen meghatározott határ jelölheti ki a monogenetikus vulkanizmus tag definícióját.

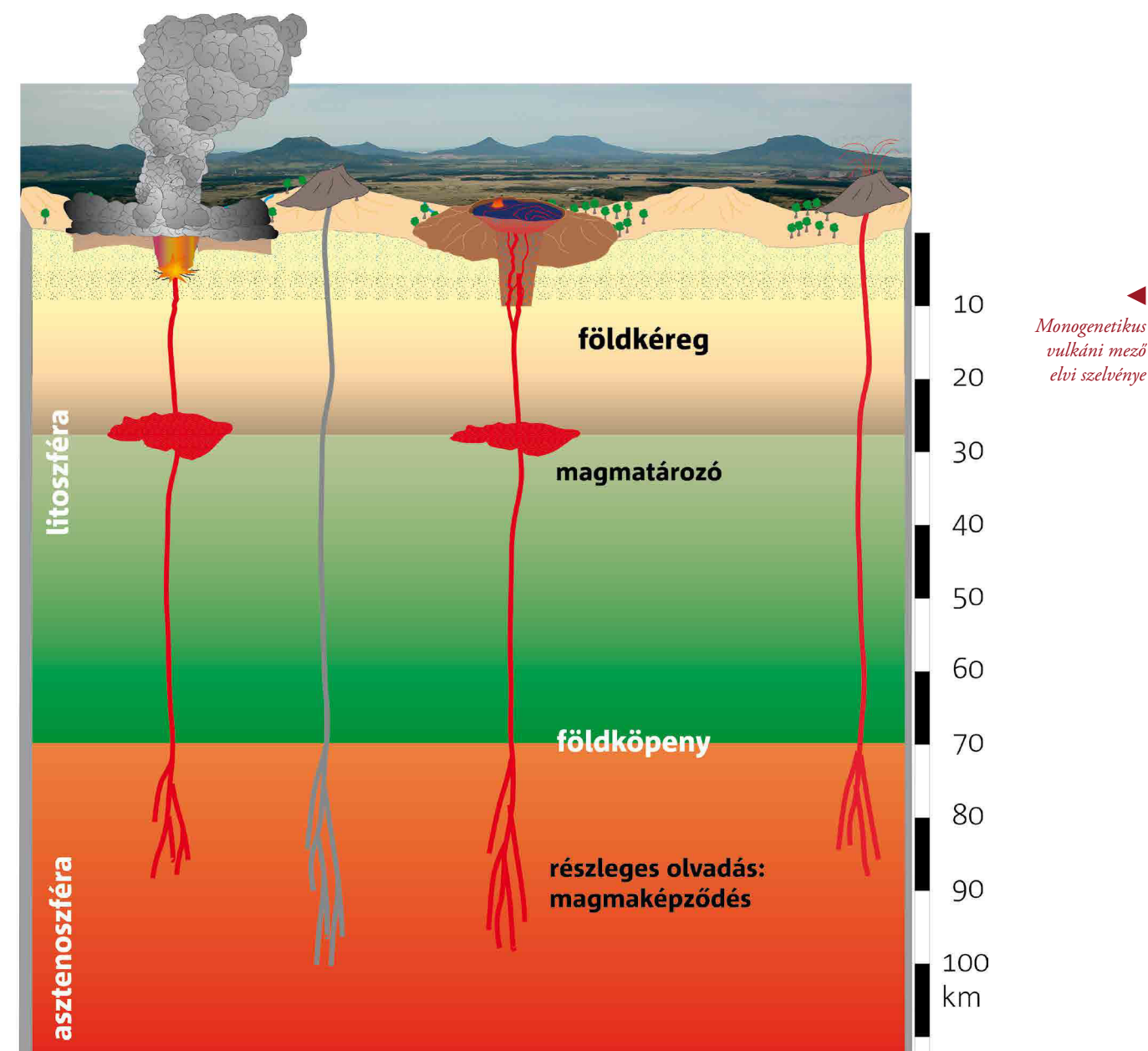
Az új meghatározások alapvetően közösek abban, hogy a monogenetikus vulkanizmus rövid életű, és tipikusan nem működik néhány évnél tovább, de valójában csak a néhány órán, esetleg néhány napon át működő vulkánokat tekintjük igazán monogenetikus vulkánoknak. Ugyanígy, illetve a fenti definícióból kiindulva, a tipikus monogenetikus vulkán magma produktivitása kicsi, messze az 1 km^3 tömör kőzet egyenérték alatti. Sőt, a legtöbb monogenetikus vulkán teljes magma produktivitása a $0,001$ és $0,05 \text{ km}^3$ tömör kőzet egyenértékkel fejezhető ki. Ez nagyon kicsi érték, a Mt. St. Helens 1980-as kitörése során például több mint 1 km^3 vulkáni anyag jutott a felszínre.

Ugyancsak az új meghatározások szerint a monogenetikus vulkánok egyszerű vulkáni felépítményt hoznak létre, amelyek egy olyan vulkáni törmelékes üledéksorból állnak, melyekben nem találhatók jelentős kitörési szünetre utaló eróziós üledékhányok. Mindez persze nem jelenti azt, hogy egy monogenetikus vulkán rétegsora nem lehet bonyolult. Erre kitűnő példa akár a Fekete-hegy, Tihany vagy Bondoró rétegsora, ahol

finomszemcsés vulkáni hamu, lapillitufa vagy akár tufabreccsa rétegei váltakoznak, gyakran valamilyen rendszert követve, vagy akár teljesen véletlenszerű módon. E változatosság mind azt jelzi, hogy a vulkánkitöréseket igen sokféle hatás befolyásolhatta. A bonyolultság viszont alapvetően a magma és a víz robbanásos kölcsönhatása során bekövetkező, úgynevezett hidrovulkáni kitörések és a magmás robbanásos kitörések állandó, gyakran nem szisztematikus változékonyságaira vezethetők vissza.

Ugyancsak fontos elem a monogenetikus vulkanizmus új definícióiban, hogy az minden esetben a vulkán tápcsatornájából egy vagy csak néhány független kőzettelér benyomulásának eredménye alapján született vulkáni képződmények összességét tekinthetjük szűkebb értelemben véve monogenetikus vulkánnak. Mindez azt jelenti, hogy egy tipikus monogenetikus vulkán legtöbb esetben egyetlen felnyomuló magmacsomagból táplálkozik. Ez a kritérium azonban ritkán teljesül, hisz geokémiai és kőzettani vizsgálatok egyértelműen azt mutatják, hogy ezeket a kis térfogatú tűzhányókat is akár eltérő összetételű, azaz eltérő eredetű magmák táplálhatják.

A „forrástól a felszínig” irányú kutatások – többek között az MTA-ELTE Vulkanológiai Kutatócsoport munkatársainak vizsgálatai a Bakony és a Balaton-felvidék területén – azt mutatják, hogy a monogenetikus vulkanizmus szigorúan véve valójában nem a „földköpeny tükre”, azaz nem egyedi, a földköpeny egy adott mélységében, részleges olvadással keletkezett egyedi magma produktuma, hanem e mögött jóval bonyolultabb magmás történet rejtőzik. Ez fontos felismerés a vulkáni kitörések előrejelzésében is.



Vulkánkitörésekhez vezető magmás folyamatok

A „forrástól a felszínig” szemléletű kutatásokban jelentős szerep jut a vulkáni kőzetek vizsgálatának, amelyeken keresztül le lehet látni a tűzhányók alá, és feltárhatók a kitöréseket megelőző, több kilométer mélységben zajló folyamatok. A bazaltok leggyakrabban zöld színű olivineket tartalmaznak, esetenként piroxének tűnnek fel a sötét alanyanyagban, ami – az olivinen és piroxénen kívül – plagioklászából, vas-titán oxidokból,

apatitból, ritkán földpátpótlókból épül fel. Ezek alkotják a bazaltos kőzetet, amiről alapesetben azt gondoljuk, hogy összességében egy olyan magmából keletkezett, ami vagy közvetlenül a felső földköpeny uralkodó kőzetének, a peridotitnak a részleges megolvadása során jött létre és összetétele azóta nem változott lényegesen (ezeket primitív bazaltoknak nevezik), vagy többkevesebb kristály kiválása után alakult ki (ezeket differenciált bazaltoknak nevezik). Az alapveté-

sünk tehát az, hogy a teljes kőzet kémiai összetétele megegyezik egy olyan magma összetételével, amit vagy a megolvadás vagy a kristályosodás körülményei alakítottak ki. A kémiai összetételből tehát kiolvasható, hogy milyen mélységben, hogyan zajlott a magmaképződés és milyen további folyamatok zajlottak a vulkánkitörés előtt.

A Balaton-felvidéki bazaltok vizsgálata kőzettani szempontból világviszonylatban is meghatározó eredményeket hozott. Lóczy és Vitális monográfiája, majd Mauritz Béla és Jugovics Lajos munkái kiemelték a leíró kőzetan fontosságát a vulkánokat tápláló magmák azonosításában. Ezt az alapvetést mind a mai napig megőrizte, továbbfejlesztette, és később a numerikus geokémiai módszerekkel elegyítette a magyar kőzetan és geokémia tudománya.

A földköpeny felső részén történő olvadás elsődleges oka a peridotit kőzet olvadáspontjának a megváltozása, ami a nyomás csökkenésére vezethető vissza. Ez azt jelenti, hogy a földköpeny kőzete mozgásban kell, hogy legyen, és egyre sekélyebb mélységbe kell jutnia. A felemelkedés során csökken a felette lévő kőzettest vastagsága, azaz csökken a litosztatikai nyomás. Az olvadás, azaz a magmaképződés folyamata tehát egy dinamikus esemény. Szükséges egy felfelé mozgó kőzetanyag, ami egy adott mélységben – ahol az olvadáspontja a környező hőmérséklet alá kerül – elkezd megolvadni. Mozgó kőzetanyag a felső földköpenyben alapvetően az asztenoszféra lehetséges. A litoszféra alsó része merev, mozgásra nem képes. A litoszféra és asztenoszféra határa tehát egy reológiai határ, ami egy felső korlátot jelent az anyagáramlásnak.

Mindezt figyelembe véve, a bazaltos magma kialakulásának elsődleges helyszíne az asztenoszféra, aminek kőzetanyaga lassú mozgásra képes. Egy másik fontos következmény, hogy a

magmaképződés nem egy statikus folyamat, nem egy meghatározott mélységben zajlik, hanem egy mélységintervallumban, egy úgynevezett olvadási oszlopban. Alsó határát a földköpeny anyagának olvadáspontja jelöli ki, felső határa pedig a reológiai litoszféra-asztenoszféra határ. A bazaltok kémiai összetétele alapján ma már sok mindent elmondhatunk a magma kialakulásáról, akár számszerűsíthetjük a részleges olvadás mértékét, körülményeit és a magma fejlődésének mozzanatait. A Bakony és a Balaton-felvidék térségében előforduló bazaltok többsége – kémiai összetételük alapján – csak kismértékű magmás differenciáción esett át, ezért modellezhető a magmaképződés körülménye. A petrogenetikai modellszámítások alapján a bazaltos magma 80–90 km mélységben kezdett megolvadni, azaz a gránát-peridotit csupán néhány százalékos olvadásával jöttek létre az elsődleges alkáli bazalt magmák.

A kőzetekben lévő ásványfázisok megjelenése és kémiai összetétele lehetőséget ad egyfajta vulkándetektív munkára, ebből rakható össze az, hogy mi történik a mélyben. Vannak esetek, amikor a bazaltos magma néhány nap alatt átörtheti a földkéreg kőzettestét, és a földköpenyből a felszínre jut. Máskor évszázadokig vagy évezredekig a földkéreg és földköpeny határán reked meg, és onnan szabadulhatnak ki kisebb magmacsomagok, amik kis térfogatú bazaltvulkánokat építenek. Az MTA–ELTE Vulkanológiai Kutatócsoport kutatásai arra is rámutattak, hogy a térségünk alatti asztenoszféra földköpeny mélységében a környezet közel áll ahhoz, hogy magma keletkezessen, erre a lehetőség tehát még mindig adott. Azonban az kulcskérdés, hogy ez vajon bekövetkezik-e, és ha igen, akkor vajon a magma mennyisége elegendő lesz-e ahhoz, hogy a felszínre törjön vagy megakad a földköpenyben és nem éri el a felszínt.

A vulkánkitörés mechanizmusa

A vulkánkitörés mechanizmusát a bazaltos magma kémiai és fizikai tulajdonságai, valamint a külső környezet határozza meg. A kis viszkozitású magmában a feláramlás közben az illók könnyen ki tudnak válni (buborékosodás), és méretük is növekedhet kis ellenállás mellett. A gázbuborékok csökkentik a magma sűrűségét, és ezzel elősegítik felnyomulását. A gyorsabban mozgó gázbuborékok a magmatest felső részén koncentrálnak, és nagyobb mélységben jelentős túlnyomást okoznak, ami elősegíti a kőzetesetek repesztését. A felszín közelébe érve azonban a gázfázis akár könnyen meg is szökhet a repedések mentén, aminek eredményeképpen már egy kigázosodott magma jut a felszínre. Ezzel magyarázható, hogy a bazaltos magmák kitörése gyakrabban jár lávaöntéssel, mint robbanással.

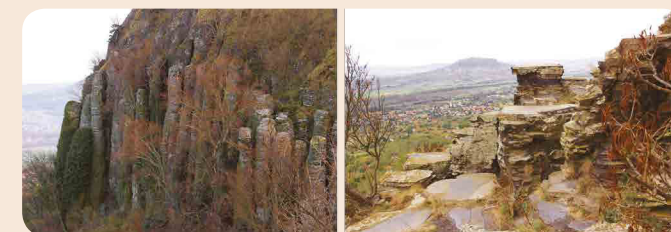
A Balaton-felvidéken számos lávamező ismert, de vannak olyan vulkánok is, ahol a láva egy egykori széles krátert töltött ki, azaz lávató alakult ki. Legszebb példái a Szent György-hegy és a Badacsony. A lávatavak, illetve kürtőcsatornában megakadt bazaltos olvadék kihűlt, oszlopos elválású kőzeteit (például Hegyestű) – melyek a terület különleges természeti értékei – az erózió tárja fel.

Sok esetben tapasztaljuk azt, hogy kezdetben robbanásos kitöréssel jut a bazaltos magma a felszínre, majd később lávaöntéssel folytatódik. Ebben az esetben is az a magyarázat, hogy a gázbuborékok a kis viszkozitású magmában gyorsan mozogva elérik a felszínt a kitörés elején, majd a már kigázosodott magma ömlik ki, miközben a vulkáni gázok szabadon áramlanak ki a légkörbe. A felszínre törő magma, annak folyóssága (viszkozitása) függvényében mozog a felszínen, és különböző formákat ölthet.

A hígan folyós láva szétterül, a felszíne bőszerűen megdermed, de még jó ideig ké-

Bazaltoszlopok

A bazaltmagma a megszilárdulása során kb. 3% térfogat-zsugorodást szenved, ami miatt a már megszilárdulófélben lévő bazalttesben, a hűlési felszínre merőlegesen hosszanti repedések alakulnak ki. A repedéshálózat a felszínre kerülő bazaltban, főleg a hőmérsékletváltozás miatt egyre tágul, a kőzettömbök e mentén válnak el, így alakulnak ki a szabályos, hosszú bazaltoszlopok. Ezek többnyire ötszög vagy hatszög átmetszetűek. Minél vastagabbak az oszlopok, annál lassabban történt a hűlés. A hűtő felület felé pedig gyakran az oszlopok vékonyodását lehet észrevenni, mint ahogy ez a Hegyestűn szépen látszik. A Badacsony és a Szent György-hegy esetében a vastag kőzsákok (oszlopok) mind azt jelzik, hogy az egykori lávató anyaga lassan hűlt le. A 2018-ban felújított vulkanológiai tanösvények bepillantást nyújtanak ezek kialakulásába. Előfordulnak elhajló oszlopok is, amik arra utalhatnak, hogy a bazaltos olvadék egy egykori völgyben, vagy egy kráter „edényszerű” mélyedésében hűlt ki. Erre kitűnő példákat látnunk a Haláp, a Hegyestű és a Hajagos felhagyott kőbányáiban.



pes képlékeny alakváltozásra. Így egy összetett ráncolattal, összegyűrt felszínnel, gyakran kötélszerű formákkal fedett lávafelszín alakul ki, melyet polinéz nyelven pahoe-hoe lávának neveznek (Hawaii vagy Szamoa szigetein ilyen lávafolyások a tájkép meghatározó elemei). A Balaton-felvidéken, a vulkáni működés néhány millió éves kora miatt ezek a lávafelszínformák már nehezen azonosíthatóak. Azonban – kis keresgéléssel a fűben – a Fekete-hegy, a Bon-doró, az Agártető vagy a Kab-hegy területén találhatunk olyan bazalt lávaközetdarabokat, amelyek felszínén felismerhetőek az üvegesen megdermedt, kékes, feketés, jellegzetesen gyűrt formák, jelezvén, hogy e területeken valószínűleg pahoe-hoe típusú lávák folyhattak.

A friss lávautánpótlás a még plasztikus alakváltozásra képes, de lassan megdermedő felszíni

réteg alá folyik, azt megemeli. A jól szigetelő felszíni réteg alatt kialakuló magmacsatornában a láva több kilométert megegyezhet anélkül, hogy hőmérséklete csökkenne és ezzel a mechanizmussal hosszú lávafolyamok alakulhatnak ki. Amint lecsökken a magmautánpótlás, a lávacsatornákból kifolyik a kőzetolvadék és hosszanti üregek, lávabarlangok maradnak vissza. A Balaton-felvidéken, a Kab-hegy területén (pl. Pulai-bazaltbarlang) ismerünk néhány kisebb barlangot a bazaltban, ám azok eredete sokkal inkább másodlagos (például eróziós omlással, vagy törések menti hasadék-kiszéledéssel jöttek létre), mintsem a magma hűlésekor keletkezett gázbuborékokkal, vagy lávacsatornák kiürülésével kapcsolatos.

A kissé sűrűbben folyó (viszkózusabb) láva a pahoehoe típusú lávafelszínhez képest más felszínt alakít ki. A lassabban mozgó láva felszíne megszilárdul, majd blokkokra töredezik. A kisebb-nagyobb salakos kőzetblokkok a lávafronton gördülnek le. A lávafolyam, mint egy lánc-talp görgeti a gyorsan hűlő lávadarabokat. Az ilyen típusú lávából álló mezők éles tömbökkel fedett, építkezési törmeléklepéhez hasonló, nehezen átjárható vidékek lesznek. Néhány polinéz szigeten, főleg Tongán az ilyen lávafolyások gyakoriak, a helyiek minden mezítlábas átkelés után gyakran kiálthatták, hogy „*ahhh... ahhh... ahhh...*”, így az ilyen típusú lávafelszíneket a típusúnak nevezzük. Magyar turisták közeleb-

bi helyszíneken, a Kanári-szigeteken, például Lanzarotén sétálhatnak hasonlóan. A Balaton-felvidéken szinte biztosan vannak ilyen lávamezők. A több millió éves felszínformáló erők hatása ellenére is felismerhetők izometrikus, tömör lávatömbök, amelyek éles sarkokkal, gyakran kristályosabb szövettel rendelkeznek.

A Bakony–Balaton-felvidék vulkáni mező területén is azonosítható a felszínre törő magma tulajdonságaiban lévő különbségekből adódó változó vulkánkitörési mechanizmus. Jellemzőek voltak a kezdeti robbanásos kitörések, amit helyenként lávaöntő működés követett. A jelentős térfogatú lávaöntéssel járó vulkáni működés pajzsvulkánokat hozott létre, aminek legjobb példája a Kab-hegy, de így keletkezett az Agár-tető, és számottevő bazalt lávafolyás alakította ki a Bondorót, valamint a Fekete-hegy területét. A bazaltos magmában lévő gázbuborékok okozta robbanásos kitörések sokszor a lávaöntő kitörésekhez kapcsolódtak, amikor lávaszőkökutat emelkedtek a magasba, mint például a Badacsony és a Szent György-hegy tűzhányójának kitörése során. Ezt a magma gyors felemelkedése okozhatta, amikor a gázbuborékok nem tudtak elkülönülni, elszökni az olvadéktól, és a magmás test felső része a felszín alatt szinte felhabzott. A Balaton-felvidéken számos ilyen lávafröccsökből álló kúp, vagy azok maradványa ismert. A Fekete-hegy nyugati oldalában található Boncsos-tető felhagyott kőbányájában

tárul fel legszebben a vöröses, sötétszínű, gyakran kilapított lepényre emlékeztető fröccsszerű kőzet, amely lapított hólyagokat tartalmaz, időnként sötétebb színű, tömör bazaltsávokkal tarkítva. Ezek a kőzetek annak a hírmondói, hogy ezen a helyen a kitörés lávaszőkökutakkal kezdődött. Hasonló lávafröccskúpok tarkítják a Tihanyi-félsziget nya-

és a felszín alatti vagy a felszíni vizek, vizes üledékek érintkezése hatalmas energia-felszabaduláshoz vezet – ez az úgynevezett gőzrobbanás. A felszabaduló energia a magma és a víz érintkezési zónájából, az üvegesen megdermedő magmából üvegszilánkokat hasít le és azokat a hirtelen kitáguló gőz robbantja ki, üveges, finomszemcsés vul-



Jellegzetes hidro-vulkáni robbanásos kitörésekkel, piroklastaszt szórással és alapi torlóárral létrejött vulkáni rétegsorok: Tihanyi, Barátlakások

kánál húzódó gödrösi és diósi lankákat, bár itt többnyire csak a szántásból kiforgatott, gyakran méteres lávafröccs-példányokat láthatjuk.

Amennyiben a gázbuborékok nagyobb gáz-hólyaggá állnak össze a lassabban felfelé áramló magmában, a felszínre érve szétpattannak, és szétvetik a kisebb gázbuborékokat tartalmazó magmatestet is. Ezek a lávatűzijáték kitörések, amit az olaszországi Stromboli vulkánon megfigyelhető kitörésekre utalva Stromboli-típusú kitöréseknek nevezünk. Jellemzői a likacsos, a hőhatásra lejátszódó oxidáció miatt gyakran vöröses színű, salakos bazalt-darabok, az orsó alakú, kötelszerű vagy gömbölyded kőzetbombák. A Balaton-felvidéken több helyen figyelhetők meg ilyen képződmények, így a Badacsony bazaltbányáiban, de több helyen a Fekete-hegyen is.

A robbanásos vulkánkitörések másik okozója a magma-víz kölcsönhatás. A feláramló magma

káni hamut létrehozva. Az ilyen úgynevezett freatomagmás kitörések jellegzetes rétegsort hoznak létre, melyekben a finomszemcsés hamu döntő mennyisége lesz az egyik legszembetűnőbb és a terpen is felismerhető tulajdonsága a rétegeknek. Ezek gyakran tartalmaznak a mélyből feltépett kőzetzárványokat is. Ha a robbanás a felszín alatt következik be, a felszín alatti rétegeket feltépi a robbanás energiája, és azokat, mint egy ágyúgolyó repíti ki a kitörés. A feltépett kőzetdarabok, hajítási pályát követve landolnak a frissen lerakott, nedves, így képlékeny hamurétegekre, ahol kisebb-nagyobb becsapódási krátert hoznak létre. Oldalról tekintve, ezek a kráterek, mint a rétegek bezákolódásai ismerhetők fel. Ennek legjobb példái a tihanyi Barátlakások sziklafalain figyelhetők meg. A Barátlakások falában jól kivehetők a permi vörös homokkő, a szilur agyagpala, és néhány triász mészkő becsapódási krátere. A pannó-

Lávaszőkökút és lávatűzijáték kitöréssel létrejött piroklastasztok a Balaton-felvidéken: Boncsos-tető és Badacsony



► Repített
kőzetblokkok
alatt kialakult
beszákolódá-
sok a tihanyi
Barátlakások
szelvényében



niai rétegek agyag és homokbombái, mivel azok nem voltak cementált kőzetek a vulkanizmus idején, gyakran „szétfröccsentek” a becsapódás során, így azok csak kis mélységű beszakolódást hoztak létre, szemben a permi vörös homokkőtömbök krátereivel. Kis gyakorlattal, még az eredeti hajítási irány is megadható, amelyek gondos vizsgálat után a kitörési központ helyét is kiadhatják, mint azt a tihanyi vizsgálatok során már Hoffer András is említette az 1940-es évek kutatásaiban.

A térség vulkánjainak kialakulása sok esetben úgy értelmezhető, hogy először hidrovolkáni kitörések történtek. A robbanásos kitörések által kialakított tufagyűrűk, maar vulkánok laza vulkáni törmelékes anyaga azonban később könnyen lepusztult, így ezekről a kitörésekről van a

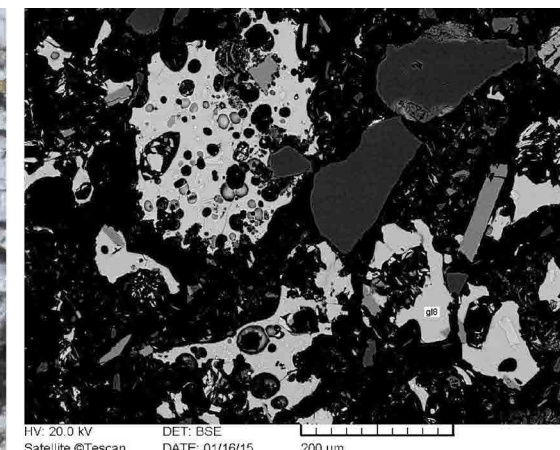
► Egy maar vulkáni kitörés jellemző piroklasztitja: figyeljük meg a kőzetdarabok nagy változatosságát (Szentbékállá)



legkevesebb emlék, megmaradó képződmény. A forró magma és hideg víz vagy vizes üledék keveredésének tanúi az apró kőzetüvegszilánkok, amelyek tufa- és lapillitufa-rétegekben fordulnak elő és csak mikroszkóppal ismerhetők fel. Az ol-

vadék a vízzel való kontaktus következtében hirtelen dermed meg, ezért barnás kőzetüveg, úgynevezett szideromelán keletkezik. Ezzel szemben a magmában lévő gázok okozta, úgynevezett magmás robbanásos kitörések során többnyire lassabb a hűlés, és emiatt eltérő megjelenésű, sok piciny kristályt tartalmazó kőzetüveg, a tachylit jön létre. A lávaszőkökutak peremi részein szintén kialakulhat szideromelán kőzetüveg, de abban sok kerekded üreg figyelhető meg, utalva az olvadékban lévő egykori gázbuborékokra. A Bakony és a Balaton-felvidék vulkánjainak robbanásos kitörések során létrejött képződményeiben sok esetben látjuk azt, hogy szögletes és üreges szideromelán kőzetüveg egyaránt előfordul, ami arra utal, hogy már egy „felhabzott” magma találkozott felszín alatti vízzel és okozta végül a hidrovolkáni robbanásos kitörést. A magma és víz kölcsönhatása robbanásmentes kimenetelű is lehet, ekkor a magma és vizes üledékek különböző formában keverednek egymással, ami úgynevezett peperit képződéséhez vezet. Erre számos példát találunk a Balaton-felvidéken, pl. a Halyagoson vagy Sümegprágán.

A bazaltos robbanásos kitörések rétegeinek jellemzői, a szemcseméret, az osztályozottság, a piroklasztok típusa alapján elkülöníthetők a magmás és freatomagmás kitörési események. Felépíthető a kitörés története, rekonstruálhatók a vulkáni működés során kialakult morfológiai



formák (salakkúp, fröccskúp vagy tufagyűrű, tufakúp, maar stb). Azonban jóval kevesebbet tudunk a bazaltos magmákhoz kötődő, nagyobb robbanásos vulkáni eseményekről, olyanokról, amelyek jelentős területen okoztak hamuhullást, sőt piroklaszt-árakat. A Fekete-hegy nyugati oldalában azonban piroklaszt-ár üledékekhez hasonló mátrixgazdag, kaotikus szövetű lapillitufa és tufabreccsa rétegek ismertek. Ezek egy igazi piroklaszt-ár üledéktől abban különböznek, hogy nagy mennyiségű freatomagmás robbanásokra utaló üveges juvenilis piroklasztok és feltépett kőzetzárványok (ezeket nevezhetjük hidroklasztoknak) dominálnak bennük. Ezeket a speciális üledékeket eredetük alapján hidroklaszt-áraknak írhatjuk le, amik nemzetközi szinten is ritka képződmények.

A Balaton-felvidéken eddig nem sikerült olyan rétegeket találni, amelyek nagy területet egyenletesen befedő erőteljes szubplinuszi tí-

pusú kitörésről árulkodnának. A disztális, azaz a vulkánkitörés helyétől távol lerakódott tefrarétegek (robbanásos kitörések üledéke) megtalálása sokszor nem egyszerű. Szárazföldi területen ezek hamar lepusztulnak, vízi környezetek üledékei esetében pedig fúrásos kutatások szükségesek, hacsak a későbbi erózió következtében nem tárolnak fel ezek a képződmények. Előfordulhat, hogy adott területeken teljesen eltörlődik az ilyen vulkáni események nyoma. Felismerésük azonban nagy fontosságú, különösen a még mindig aktív bazaltvulkáni mezők veszélyességének felmérésében. A kitörési mechanizmus rekonstruálása, azaz a klasszikus fizikai vulkanológiai munka eredményei, ötvözve azokat a kvantitatív becslési modellekkel és modern távérzékelési eszközökkel, a társadalmat, az embereket közvetlenül érintő információvá válnak. A vulkáni veszély felméréséhez azonban szükséges azt is tudni, hogy az adott terület mennyire van kitéve nagyobb



► Szideromelán kőzetüveg szilánk optikai mikroszkópos és visszaszórt elektronsugaras képe

► Egy különleges vulkáni képződmény a Balaton-felvidéken: hidroklaszt-ár üledéke Szentbékállán. A jobboldali ábrán gőzkielépési csatornák láthatók.

robbanásos kitörésekhez kapcsolódó hamuhullásnak. A Bakonyban és a Balaton-felvidéken eddig nem voltak ismertek ilyen képződmények, jóllehet a maar vulkánokban felhalmozódott tavi üledékekben potenciálisan megőrződhetnek. A pulai maar alginitrétegsorában azonban olyan üledékes közbetelepülést sikerült azonosítani, amelyben legalább 37 tefralamina különíthető el. Az előzetes geokémiai elemzések szerint ezek különböző összetételű bazaltos magmákhoz kapcsolódnak, és elképzelhető, hogy a Bakony–Balaton-felvidék vulkáni mező heves robbanásos kitörésekkel jellemzett eseményeit rögzítik.

A környezet hatása: hidrovulkáni kitörések

A Balaton-felvidék vulkánjainak működése során a magma és víz kölcsönhatásából származó freatomagmás robbanásos kitörések alapvető fontosságúak voltak. Az ilyen kitörések úgynevezett maar-típusú vulkáni krátereket eredményeznek. Már a korábbi vizsgálatokban is voltak

utalások a jellegzetes, üveges piroklasztot tartalmazó kőzettípusok jelenlétére, de eredetükre igazi magyarázat nem volt. Lóczy munkájában megjelent, különösen a tihanyi vulkáni kőzetek keletkezését illetően, hogy azok iszapszerű árákból ülepedhettek le. Erre Hoffer András is utalt a tihanyi vulkanizmust leíró, 1943-as munkájában. Az 1990-es években a tihanyi vulkanizmus vizsgálata, melyet Németh Károly és munkatársai végeztek, az első integrált kutatásként szisztematikusan áttekintette Tihany vulkanitjainak kőzetszöveti képét, és megállapította, hogy azokban az üveges piroklasztitok jelenléte dominál, a tihanyi vulkánok tehát elsősorban freatomagmás kitörések nyomán születtek. Hasonló vizsgálatok ez időtől kezdve a Balaton-felvidék minden egyes vulkáni területén történtek, egyértelműen igazolva, hogy a hidrovulkáni robbanásos események szinte mindenhol meghatározó elemei voltak legalább a kezdeti robbanásos kitöréseknek. Tihany, különösen a Barátlakások

és a Kiserdő-tető, a szigligeti Várhegy vagy a fekete-hegyi Vaskapu-szurdok feltárásaiban a finomszemcsés, vajszínű hamurétegekben, gondos vizsgálat során néhány milliméterestől akár centiméteres nagyságú tufagalacsinokat fedezhünk fel. Ezek a kerekded tufagalacsinok, avagy tufagyöngyök meghatározott rétegekben jelennek meg (tudományos nevük akkréciós lapilli). Ezek akkor születnek, amikor a finomszemcsés vulkáni hamufelhő hőmérséklete a víz forráspontja alá kerül, a hamufelhőben kicsapódik a gőz, és az apró vízcseppek elektrosztatikusan magukhoz vonzzák a hamufelhő piciny szemcséit. Mivel egy freatomagmás robbanásos kitörés rengeteg vízgőzt pumpál a kitörési felhőbe, az annak kondenzációja során keletkező akkréciós lapilli-rétegek fontos (indirekt) bizonyítékot jelenthetnek a freatomagmás típusú kitörésekre.

A meghatározóan freatomagmás robbanásos kitörési folyamatok jelenléte alól csak néhány, elsősorban a terület magasabb, a Déli-Bakonyban található egykori vulkán, mint az Agár-tető vagy Kab-hegy tekinthető kivételnek. A freatomagmás törmelékes kőzetek között találunk olyanokat, melyek jelentős része vulkáni üvegből áll (például Kis-Hegyes-tű). Gyakoribbak azonban azok, melyekben a nem vulkáni eredetű, aljzatból feltépett más kőzetdarabok dominálnak (pl. Tihany), jelezvén, hogy a vulkáni robbanások a felszín alatt, elzárt kürtőkben következtek be. Az egyszerű szöveti elemzés számos esetben arra engedett következtetni, hogy a Balaton-felvidék bazaltvulkánjainak nagy része kezdetben ún. maar vulkán lehetett.

Az üveges piroklasztok és a feltépett egyéb kőzetárványok aránya alapján kirajzolódott, hogy a Balaton-felvidéki vulkánok alapvetően mélyen a felszín alatt (100 méternél is mélyebben), a bezáró kőzetoszlopban történt robbanások nyomán jöttek létre. Aszerint, hogy milyen rétegek alkották a felszín alatti kőzeteket, és azoknak milyen vízföldtani adottságai voltak, a hidrovulkáni kitörés különbözőképpen mehetett végbe. Ha a felszín alatti kőzetoszlop alapvetően pórusvízben gazdag rétegekből állt, a feláramló magma az abból származó vízzel lépett kölcsönhatásba. Mivel az ilyen kőzettípusok (gyakran homok és agyag üledékek) permeabilitása eltérő, és vízzel való újratöltődésük bizonyos időt vett igénybe, gyorsan feláramló magma esetén a kezdeti freatomagmás kitörések gyorsan átválthattak pusztán a magma gáztartalma által meghatározott kitörésekbe. Így a vulkán alapját freatomagmás eredetű vékony piroklasztit-összlet alkothatta, melyre vastag, magmás eredetű robbanásokból származó rétegsor, pl. bazaltsalak települt (például a Tapolcai-medence tanúhegyei esetében).

Olyan esetben viszont, ahol a magma mélyebben fekvő mezozoikumi karbonátos kőzetekkel, elsősorban különböző karsztos és hasadékvíz-tároló képződményekkel lépett

Tefralaminák
a pulai alginitrétegsorában:
távolról nagy
vulkáni kitörések
finomszemcsés
üledékei



Akkréciós
lapilliben gazdag
réteg a tihanyi
Kiserdő-tető
sziklafalában

kölcsönhatásba, az volt a döntő tényező, hogy e víztározók szinte kimeríthetetlen és gyors víz-utánpótlással rendelkeztek. A freatomagmás robbanások ilyenkor hosszantartóak voltak, és mélyből feltépett közettörésekben gazdag, vastag tefraréteget raktak le. Ennek egyik legszebb példái a Tihanyi-félszigeten láthatók.

A Balaton-felvidék bazalt vulkáni mezője a világ egyik legjobban tanulmányozott, tudományos mintaterülete lett, ezzel olyan vulkáni mezők között említett régió, mint a német Eifel-vulkánmező, az új-zélandi Auckland-vulkánmező, a katalán Garrotxa-vulkánmező, a francia Chaîne des Puys vulkánmező vagy az ausztrál

►
Mélyről feltépett
közetdarabok
(főleg perm-i vörös
homokkő) a
tihanyi Barátla-
kások maar-vul-
káni robbanások
kitöréssel létrejött
vulkáni képződ-
ményében



Victoria állambeli Newer vulkánmező. A Balaton-felvidék azonban nem csak a freatomagmás robbanásos vulkanizmusa miatt került a nemzetközi vulkanológiai kutatások középpontjába, hanem annak komplex fejlődéstörténetével, az itt leírt vulkántípusok különlegességével, és a vulkanizmusnak a környezetre ható jelenségeivel is.

A Balaton-felvidéken a terület 8 millió évvel ezelőtti születésétől számítva a legfiatalabb, alig 2,3 millió éves kitörésekig a létrejött vulkáni formák a terület éghajlatváltozásait is tükrözik. Azokban a periódusokban, amikor a terület éghajlata kissé szárazabb volt, a vulkanizmus egyértelműen a magmás gázok által befolyásolt módon zajlott: robbanásos kitörésekből született salakkúpok kialakulásával volt jellemezhető.

Nedvesebb időszakban viszont nagyobb méretű freatomagmás vulkánok születtek. Ugyan a korreláció gyenge, mégis elmondható, hogy a Balaton-felvidéki kutatások indították el a klíma és a vulkáni felszínformák közötti kapcsolatot firtató kutatásokat, mint az Auckland vulkánmező vagy a mexikói felföldön lévő területek esetében. Jelenleg ez a téma a vulkanológia tudományának egyik legizgalmasabb területe.

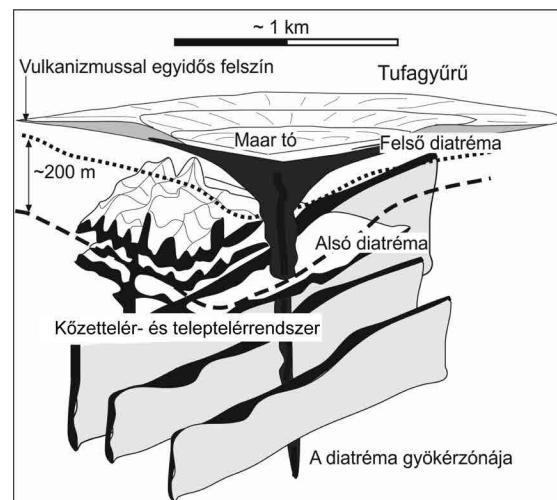
A Bakony–Balaton-felvidék a monogenetikus vulkanizmus típusterülete

A Balaton-felvidék jellemzően freatomagmás monogenetikus vulkáni mezőként egy egykori folyóvízi–tavi–mocsári üledékgyűjtő medencében, azzal együtt fejlődve született. A vulkánkitörések idejét K–Ar izotópos módszerrel határozták meg, amiben elvülhetetlen szerepe volt Balogh Kadosának, a debreceni MTA Atomki fizikusának. A térségben elsőként épített olyan tömegspektrométert, amivel lehetővé vált argonizotópok mérése, és ez megteremtette a lehetőségét a kőzetek kormeghatározásának. Balogh Kadosa nagy odafigyeléssel hozott kormeghatározási eredményeit később a nagy pontosságú Ar–Ar koradatok is alátámasztották. A vulkanizmus az egykori Pannon-tó parti síkságán kialakult nedves, mocsári területen indult meg úgy 8 millió éve, a mai Tihany területén. Idős, 8 millió év körüli vulkánok Tihanytól ÉNy-ra is ismertek, mint például a Hegyestű, bár ezek erősen lekoptatott állapotban, nehezen értelmezhető helyzetben találhatók. A vulkánmező legtöbb vulkánja jóval később, a 4,5 és 3 millió év közötti időszakban született, és a vulkanizmus központja enyhén nyugatra tolódott, míg a legfiatalabb (3–2 millió évvel ezelőtti) vulkánok (pl. Bondoró, Füzes-tó) a terület középső részén jöttek létre.

A mélyfészktű hidrovulkáni robbanások nyomán kialakult maarok kráterében különböző típusú tavi üledékek rakódhattak le. A pulai maar esetében részben turbidit jellegű áramlatok jellegzetes mélyvízi (akár 100 méter mély) üledékei halmozódtak fel. A pulai maar esetében bebizonyosodott, hogy a krátertő több mint 100 ezer éven át „működhetett”. A maar kráter kezdeti mélysége elérhette a 100 métert, ami átlagosnak nevezhető a világ ma ismert maar kráterei között. Míg Pula esetében a maar kráter jelenlétét mélyfúrásokkal és komplex geofizikai kutatásokkal lehetett bizonyítani, más helyeken az eredeti maar kráter létének bizonyítása problémákba ütközött. Több helyen is csupán egy kisméretű, piroklasztitokból álló eróziós csomk maradt meg az egykori vulkánból, általában paleozoos és mezozoos kőzetek alkotta felszínen (pl. zánkai Vár-hegy, barnagi Kő-hegy, Ragonya). Az egykori felszín, amelyen a freatomagmás robbanások a vulkáni szerkezetet kialakították, a ma ismert vulkánroncs felett volt. Ezeket a területeket egykor 100–200 m vastag laza homok- és agyagrétegek, a Pannon-tó üledékei fedték. Ezen a felszínen alakult ki a maar kráter. Az elmúlt évmilliók során ezek a rétegek a vulkán felső részével együtt lepusztultak, így ma az egykori vulkáni szerkezeteknek sok helyen csak a mélyebb részei ismertek. Ahol a maar kráterében nagy vastagságú lávaösszlet halmozódott fel, ott az erózió csak a környező laza üledéket pusztította le. Ezekre a legszebb példák a Tapolcai-medence tanúhegyei. A bazaltvulkánok eróziós maradványait szelvényrajzaikon már Hofmann Károly és Lóczy Lajos is kráter- vagy kürtökitöltésként ábrázolta. Ez az értelmezés tehát napjainkban is megállja a helyét. Ez a gondolat jól követhető Jugovics Lajos munkáiban is. Jugovics a *Tapolcai-környéki bazalttufa-előfordulások* című cikkében a szigligeti Várhegy meredeken települő tufarétegei-

re azt írja, hogy a „*helyenként 20–40 m magas tufafalai, elliptikus alakja valószínűleg az egykori kráter alakját, esetleg méreteit rögzítik*”. Ugyanebben a munkában a szigligeti dombok, a Badacsony, Gulács, Öregerdő, Hármashegy és a Tóti-hegy is hasonlóan lett ábrázolva. Ezt a gondolatot tovább fűzve, különösen a szórványosan előforduló, igen kis térfogatú bazalttufa-előfordulásokkal kapcsolatban, azok közettani jellegére alapozva Németh Károly, Ulrike Martin és Csillag Gábor arra a következtetésre jutott, hogy ezek nem mások, mint egykori freatomagmás vulkánok kürtőroncsai, vagyis kipreparálódott diatrémák. A vulkáni és a vulkanizmusnál idősebb kőzetek települési viszonyai alapján számos újabb munka született hasonló eszmefuttatást követve, és a Balaton-felvidéki kürtőroncsokat a nógrád–gömöri diatrémákhoz hasonló előfordulásokként értelmezték.

A kérdést Jugovics Lajos is több munkájában részletesen taglalta. Ő a kutatásainak első évtizedeiben egyértelműen a kürtökitöltő (pl. diatréma) modellel magyarázta a legtöbb bazalttufa-előfordulás eredetét. Ez a gondolat különösen erős volt a Hármashegyről alkotott nézeteiben, ahol így írt: „*Ezekután felmerül az a sokat vitatott és még eldöntetlen kérdés, mi az oka, hogy a dunántúli bazaltvulkánosság térszíni megjelenésében, az egymáshoz egész közel fekvő és önálló vulkánoknál is, oly nagy magasságkülönbségek adódnak. Az ezzel kapcsolatos hosszú és régi viták egyik gyakran emlegetett példája éppen a Hármashegy tufagerince, mely mint láttuk, a 180 m-es pontusi térszínből emelkedik ki, és csak 211 m magas, míg mellette a 438 m-re emelkedő Badacsony-hegyen a pontusi képződményekre átlag csak 300 m-en települ a bazalttufa.*” A fenti ellentmondás feloldható: a bazalttufák nagy része kürtökitöltés, és azok a „pontusi” (=Pannon-tavi) rétegekbe vágva keskeny kürtőcsatornákat, krátereket töltenek ki, így azok lepusztulásával a



„pontusi” és bazalttufa képződmények magassága a lepusztulás mértékével változó érték lesz.

A fenti nézetet alátámasztani látszik az a felismerés, hogy a legtöbb piroklasztit-összlet legalább 30%-ban tartalmaz feltépett kőzet-zárványokat, ami arra utal, hogy a robbanások jelentős mennyiségű kőzetanyagot apróztak fel, ami tipikus maar kráterek kialakulásához vezetett. Ezek mélysége több tíz, de akár 100 méternél is nagyobb lehetett, attól függően, hogy miből is állt a vulkán alatti rétegsor. Olyan területek is ismertek, ahol a feltépett kőzetzárványok mennyisége a 90%-ot is eléri. Ez arra utal, hogy a robbanás fészke igen mély volt (több 100 méter).

A világ számos területén folyó kutatások alapján a maar kráterek alatt kialakuló diatrémák szerkezetéről a XX. század végére világos ismereteink lettek. Bár megújuló viták folynak róla, a diatréma olyan, a freatomagmás robbanásos kitörések során létrejövő és folyamatosan szélesedő kürtő, amit a kitépett és felhalmozódott piroklasztanyag tölt ki. Egy maar krátere alatt található diatréma – a maar tó feltöltődését követően, majd a térszín lepusztulása után – mint kipreparálódott diatrémaroncs maradhat meg. A Balaton-felvidéken több ilyen (térképi nézet-

ben) kisméretű diatrémaroncs ismert. Ezek jelenléte tehát azt jelzi, hogy az eredeti maar vulkán, az annak krátere körül kialakult tufagyűrű, és az egykori kráterkitöltés jelentős része már lepusztult. A számítások szerint e helyeken akár száz métert is meghaladó mértékű lepusztulás történt. A maar kráterek azonban sokszor nem vízzel töltődnek fel. Vagy közvetlenül a maar születése után, vagy hosszabb idő elteltével, a kráterek belsejében lávatavak is létrejöhetnek, sőt, a krátert kisebb salakkúpok és azokból kiinduló lávamezők tölthetik ki, amelyek a maar kráter belsejét mintegy kibélelik, erózióknak igen ellenálló képződményekkel. Ezek a maar kráterkitöltések azonban az eredeti térszín alatt képződtek, tetejük nagyjából az eredeti térszín helyzetét, magasságát jelezheti. Ez a gondolat indította el az 1990-es évek végétől a terület bazaltvulkánjainak geomorfológiai célú vizsgálatait, melyek arra a következtetésre jutottak, hogy a legtöbb Balaton-felvidéki kitörési központ jelentős lepusztuláson esett át, és a ma látható legmagasabb pontok, ahol diatréma jelenlétére utaló képződmények ismertek, az egykori térszín alatti, de ahhoz közeli magasságokat jelölnek.

Záró gondolatok

A XXI. századba lépve a bazaltok kutatása is új kihívásokat hozott a vulkanológusok számára. A pusztán tudományos megismerés által vezérelt, a bazaltos vulkanizmust feltáró, a tűzhányók működésének jobb megértését segítő munkák mellett egyre inkább jelentkezik a társadalmi igény a vulkánkitörés-veszélyeztetettség irányából is. Ehhez jó keretet ad a forrástól, azaz a magmaképződés körülményeinek lokális és regionális rekonstrukciójától a felszínig, azaz

a vulkán kitörésmechanizmusáig terjedő folyamatsort elemző kutatási szemlélet. Ebben nagy szerepet kaphatnak az olyan új kutatási módszerek is, mint például a közettani vulkanológia, ami a kőzetek nagy felbontású, integrált ásványszöveti és -kémiai elemzésén keresztül igyekszik választ adni a bazaltos tűzhányók működési mechanizmusára. A vulkáni működés veszélyeit elemző kutatások mellett egyre nagyobb teret kap a földtani örökségvédelem is, ami a vulkáni működés megmaradt különleges formáit, képződményeit igyekszik bevonni az oktatásba, a tudomány népszerűsítésébe és a turizmusba. A Balaton-felvidék bazaltvulkáni területe ebben is kulcsszerepet játszik. A gazdag vulkáni örökségre építve, azt kiegészítve a földtani múlt változatos képződményeivel létesült a Bakony–Balaton Geopark, ami geotúra-vezető tanfolyamokkal, rendszeres ismeretterjesztő programokkal igyekszik minél jobban bevonni a helyi lakosokat, megismertetve velük a közvetlen környezetükben előforduló természeti értékeket. A fejlesztési támogatások lehetővé tették, hogy 31 megállóponthoz vulkanológiai tanösvények létesüljenek és a tihanyi Levendula Ház mellett a hegystűi kiállítás is méltó keretet adjon a vulkáni működés szakszerű bemutatására.

A bazaltok több mint egy évszázadot felölelő intenzív kutatása a XXI. században sem marad új, felfrissítő perspektívák nélkül. A Kárpát–Pannon térség ebben továbbra is fontos természeti laboratóriumot nyújthat, ahol a bazaltok kutatása szép hagyományokra tekint vissza – Lóczy Lajos szellemi hagyatékát Mauritz Béla, Jugovics Lajos, majd Embey-Isztin Antal, Dobosi Gábor örökölte, majd rábízta annak megőrzését és továbbvitelét a következő kutatói nemzedékre.

Ajánlott irodalom

- Budai T., Csillag G. (szerk.) 1999: A Balaton-felvidék földtana: magyarázó a Balaton-felvidék földtani térképéhez, 1:50 000. – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 257 p.
- Falus Gy., Szabó Cs. 2004: Felsőköpeny eredetű xenolitok Tihanyról: nyomkövethető litoszféra-fejlődés a Bakony–Balaton-felvidék vulkáni területén? – Földtani Közöny 134 (4), 499–520.
- Harangi Sz., Lukács R. 2019: A Kárpát-Pannon térség neogén-kvarter vulkanizmusa és geodinamikai kapcsolata. – Földtani Közöny 149 (3–4), 197–232.
- Harangi Sz., Jankovics M. É., Taracsák Z., Németh K., Sági T., Kiss B., Soós I., Lukács R., Zemeny A., Pál-Molnár E., Ntaflós, T. 2015: Bazaltok: a magmaképződéstől a vulkánkitörésig – új eredmények és perspektívák. – In: Pál-Molnár E., Raucsik B., Varga A., (szerk.) Meddig ér a takarónk? A magmaképződéstől a regionális litoszféra formáló folyamatokig. 6. Közettani és geokémiai vándorgyűlés Szeged, 9–21.
- Hencz M., Karátson D., Németh K., Biró T. 2017: A Badacsony freatomagmás piroklasztit-sorozata: következtetések a monogenetikus bazaltvulkáni működés folyamataira és formáira. – Földtani Közöny, 147 (3), 297–310.
- Jugovics L. 1948: Adatok Tátika-Prága-Sarvaly-hegyek vulkanológiai felépítéséhez. – Földtani Közöny 78, 196–205.
- Jugovics L. 1969: A dunántúli bazalt és bazalttufa területek. – A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1967-ről, 75–82.
- Jugovics L. 1971: A Balaton-felvidék és a Tapolcai-medence bazaltterületeinek felépítése. – A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1968-ról, 223–244.
- Jugovics L. 1971: Kabhegy és a körülötte települő bazaltterületek (kabhegyi bazaltcsoport). – A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1968-ról, 245–255.
- Kereszturi G., Németh K. 2012: Monogenetic basaltic volcanoes: genetic classification, growth, geomorphology and degradation. – In: Németh K. (ed.). Updates in Volcanology – New Advances in Understanding Volcanic Systems. in Tech Open, Rijeka, Croatia, 3–88 [http://dx.doi.org/10.5772/51387]
- Lexa, J., Seghedi, I., Németh, K., Szakács, A., Konečný, V., Pécskay, Z., Fülöp, A., Kovács, M. 2010: Neogene–Quaternary volcanic forms in the Carpathian–Pannonian Region: a review. – Central European Journal of Geosciences 2 (3), 207–270.
- Martin, U., Németh, K. 2004: Mio/Pliocene phreatomagmatic volcanism in the western Pannonian Basin. – eologica Hungarica series Geologica 26, 192 p.
- Németh K., Cronin, S. J., Haller, M. J., Brenna, M., Csillag, G. 2010: Modern analogues for Miocene to Pleistocene alkali basaltic phreatomagmatic fields in the Pannonian Basin: „soft-substrate” to „combined” aquifer controlled phreatomagmatism in intraplate volcanic fields. – Central European Journal of Geosciences 2 (3), 339–361.
- Németh K., Martin, U., Csillag G. 2003: Lepusztult maar/diatrema szerkezetek a Bakony–Balaton-felvidék vulkáni területéről. – A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése a 2000. évről, 83–99.
- Németh, K., Kósik, Sz. 2020: Review of Explosive Hydrovolcanism. – Geosciences 10 (2), 44. [https://www.mdpi.com/2076-3263/10/2/44]
- Vitális I. 1911: A balatonvidéki bazaltok. In: Lóczy L. id. (szerk.): A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei. I/I. (Geol. függ. II.), 169p.

A Balaton környékének geomorfológiája

A geomorfológia a földfelszín formáit vizsgáló tudomány. A felszín formáinak jelentős része a földtörténeti közelmúltban, az elmúlt 1–2 millió évben nyerte el mai alakját. Ezért a földtörténet legfiatalabb időszakának, a mintegy 2,5 millió éve kezdődött negyedidőszaknak a kutatása sok szempontból elválaszthatatlan a felszínalak-
tantól, a geomorfológiától. Jelen fejezet is ebben a megközelítésben mutatja be a Balaton környékének domborzatát, képződményeit. A sort a legöregebb felszínmaradványok, a több százmillió évvel ezelőtt karsztosodott meszes üledékfelszínek nyitják, melyek megismerése a bányászatnak köszönhető. Ilyen trópusi tönkfelszínek a földtörténet több időszakában keletkeztek a térségben. A geológiai közelmúltban már a Pannon-tó és a vulkanizmus formálta a tájat. Napjaink felszínének kialakításában pedig a víz, a szél, a lejtőmozgások játszották a főszerepet. A fejezet végén pedig arra is fény derül, hogy miért is okoznak olyan sok bosszúságot a balatoni magaspartok mind a mai napig.

Aszófőtől Badacsonyig

Nagyon csinos, jól elhatárolt kis félmedence nyílik a tóra Badacsonytomajnál. Messze földön ritkítja párját ez a völgykaréj sajátos alakulásával. Keleten az Örsihegy festői meredekséggel koronázott, lankásabb alsó lejtője, hátul a Tóti-hegy és a Gulács pompás bazaltkúpjai, nyugaton az alacsony szinten álló Hármashegy és a Balaton legszebb díszje, a Badacsony határolják. Nagyon kevés víz jön itt össze, a hegyek lábánál fakad néhány jelentéktelen forrás, némelyik ásványos vizet hoz fel. A tomaji öböl mindenestre sokkal mélyebben benyúlt hajdan, mint ma, de széles deltalápat hordtak össze a hegyekből lejövő vízmosások.

A Badacsonynak egész délkeleti lejtőjét ehhez a vízterülethez vettem, mert sem a tomaji amfiteatrumból, sem erről a lejtőről nem jut állandó patak a tóba.

A Badacsony egymagában már egész morfológiai tanulmány tárgya lehet. A hegy aránylag lapos tetejéről sekély mélyedésekben indul meg a víz, aztán meredek peremű bevágódás következik, igazi rováték a bazalt-sziklák fantasztikusan kimállott oszlopai, sajátalakú elválás-darabjai közt. Sebesen rohan itt alá a vadvíz, elérkezik a sziklák lábához s apró törmelékkel borítja el a sziklafalak lábát környező kőfolyásokat, úgy hogy a víz itt részben a kövek fölött, részben a kövek közt szalad alább s megint mind előbukik a kőfolyások alján. Ilyenféle eredete van a híres



A badacsonyi patakok bevágódásának idealizált tömbszelvénye

Kisfaludi-forrásnak is. De mivel a hegy lankás lejtőjű, alsó része pannóniai homok- és agyagrétegek változásából áll, természetes, hogy a homokrétegekből mindig törhet elő forrás. Mivel a hegy déli lejtőjén sokkal több ilyen kis forrás van, mint az északi lejtőn, ebből az következik, hogy a pannóniai rétegek igen lankásan dőlnek dél felé s az északi oldalon esetleg a homokban eltűnik a víz, a délin meg kicsurog belőle.

A pannóniai rétegek közt természetesen a patakocskáknak normális, V alakú bevágódása van, a hegy lábánál pedig törmelék-kúpja. ...

A Badacsony leírásakor Lóczy már reámutatott arra, hogy milyen erős az északi szél hatása a hegy N oldalán. A pannóniai lejtő is rövidebb, termelésre alkalmatlan az északi oldalon. Ezt Korkoványinak hívják, állítólag a sváb (német) borkereskedők szavajárása után (Gar ka' Wein!). Annyi bizonyos, hogy ez az oldal száraz, széles és az északra néző lejtő nem alkalmas szőlőművelésre. Szántóföldekkel próbálkoztak itt, de a szél elhordja a termőföldet.

A déli oldalon is a lejövő patakok annyira megfogyatkoznak az alacsonyabb, lankásabb térszínen, hogy nyíltan alig jut víz a tóba s mérni lehetetlen.

Itt van helyén felemlítenem azt a sajátos dolgot, hogy a Balaton-felvidéki patakok völgyeiben nem találunk terraszokat.



A Badacsony észak-északkeleti oldala a Kőkapu szikláival

Magyarország többi hegyvidékének minden patakja rendszeren két jól kifejlett terraszsal lépcsőzött völgyben fut. Ennek az okát abban leljük, hogy az Északnyugati-Felvidék és Erdély stb. folyóinak erózióbázisa az Alföld s ennek három ízben, szakaszosan történt tektonikus süllyedése okozta a három megifjodást és bevágódást. A Bakony és a Balaton-Felvidék patakjainak erózió-bázisa azonban a denudációval lepusztult, pannóniai rétegekkel fedett síkság. Ennek lepusztulása nem volt szakaszos, hanem folytonos, azért az erózióbázis süllyedése is folytonos volt, a völgybevágódások tehát pihenés nélkül fejlődtek. A szél-denudáció hatalmas, regionális elterjedésének mindenestre igen fontos bizonyítéka a terraszok hiánya, szemben az Alföldre támaszkodó folyóvölgyekkel.

Részlet Cholnoky Jenő A Balaton hidrografiája című könyvéből

A Balaton környékén jellegében, kialakulásának korában is élesen elválnak két terület. A Balaton-felvidék és a Bakony felszínét alkotó kőzetek jelentős hányada a paleozoikumban és a mezozoikumban keletkezett. Ezeknek a rétegeknek a felszínre kerülése, a domborzat kialakulása több szakaszban, részben már ezekben a periódusokban elkezdődött. A somogyi, zalai, Kisalföld peremi területek felszínét viszont a Pannon-tóban lerakódott laza üledékek alkotják. Ezeken a felszín kialakulása csupán néhány millió éve, a tó fokozatos feltöltődését követően kezdődött meg. Ugyanakkor egy laza, homok, kőzetliszt, agyag alkotta felszín sokkal gyorsabban pusztul, más jellegű formák alakulnak ki rajta, mint a kemény, sok esetben karsztosodó, idős kőzetek felszínén.

A legöregebb felszínmaradványok

A Balaton környékének domborzata hosszú idő, sok tízmillió év során formálódott, míg a

ma ismert felszín kialakult. A Bakony és a Balaton-felvidék sok százmillió éves paleozoos és mezozoos kőzetei uralkodóan tengerekben rakódtak le. A tengeri üledékképződés azonban időközönként megszakadt, néhány millió éves szakaszokban szárazföldek alakultak ki. A klíma jellemzően trópusi volt, a meleg nedves környezetben a kőzetek mállása, intenzív karsztosodása volt a jellemző. Ilyen körülmények között vastag málladéktakaró, a karsztos felszíneken karsztbauxittelep kialakulása a jellemző. Az így kialakuló felszínek a trópusi tönkfelszínek, etchplaineik.

Az újabb tengerelőöntések ezeket a felszíneket befedték, gyakran sok száz méter vastag rétegsorok rakódtak följük. A terület változatos, szerkezeti vonalak mentén történt részleges kiemelkedése és ezzel járó eróziója részben újra feltárta ezeket a felszíneket, részben ma is a felszín alatt találhatóak. A trópusi tönkfelszínek jellemző képződménye, a bauxit is változatos helyzetben

Karsztbauxittelep a darvastói bányában



Az úrkúti mangánbányában feltárt paleokarszt



található. Számos helyen külszíni fejtésekben bányászták, míg másutt mélyen a felszín alatt található telepek szolgáltatnak jó minőségű nyersanyagot az alumíniumipar számára.

Napjainkban ezek az idős trópusi tönkmaradványok viszonylag kis területen, a fiatal hatásoktól változó mértékben átalakítva, mozaikszerűen vannak jelen a felszínen. Ezek között található a hazánkban jelenleg ismert legidősebb felszínmaradvány is. A perm időszakban lezajlott mállási folyamatok több tíz méter vastag málladéktakarót alakítottak ki a paleozoos agyagpala alkotta felszínen. Erre a perm vörös homokkővet létrehozó folyóvízi összlet több száz méter vastag rétegsora rakódott le. A felszín a vastag homokkőtakaró alól csak kis területen bukkant a felszínre Kővágóörs mellett, többi előfordulása csak a felszín alatt, fúrásokból ismert.

A kréta időszak volt a Kárpát-medence területén az egyik legjelentősebb trópusi tönkösödési időszak, és ezzel együtt járt természetesen

az egyik legjelentősebb karsztbauxit-képződés is. Az ekkor kialakult felszínek maradványai sok helyen megtalálhatóak a Dunántúli-középhegységben. A mai felszínen nehéz egyértelműen azonosítani ennek a kréta felszínalakulásnak a maradványait, azonban a bauxitbányászat során, számos helyen feltárultak az egykori felszín nyomai. A leglátványosabb karsztformák az iharkúti bányában kerültek napvilágra. A bánya rekultivációja során ezeket a trópusi kúparsztokat, kanyonokat nem őrizték meg, ma csak fotók tanúsítják az egykori formákat.

Nagyobb felszíni elterjedésben ismertek az eocén domborzat maradványai. Ezeken fordul elő a legtöbb bauxittelep. Ezzel kapcsolatban érdemes megemlíteni Bulla Béla és Szabó Pál Zoltán geomorfológusok nevét. Bulla a nemzetközi szakirodalomban is az elsők között ismerte fel és írta le a trópusi tönkösödés folyamatát, jelentőségét. Munkája kiemelkedő, mert szemben a hasonló eredményeket közlő

A trópusi tönkfelszínek osztályozása

A felszíneket Pécsi Márton geomorfológus az 1960-as években feltártságuk alapján osztályozta. Megkülönböztette az ismételten felszínre került „exhumált”, a többé-kevésbé felszínre bukkant „szemiexhumált” és a mélyen a felszín alatt maradt, úgynevezett eltemetett felszíneket. Ez az osztályozás a felszínek mai helyzetét pontosan leírja, azonban nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy akár ugyanannak az egykori, egységes tönkfelszínnek az egyes részletei is lehetnek a fent leírt három különböző helyzetben napjainkban.

kutatókkal, nem a mai trópusi területeken dolgozva jutott erre a felismerésre, hanem a hazai területek paleofelszíneinek vizsgálata, értelmezése vezette erre a jelentős következtetésre. Szabó Pál Zoltán a karbonátos kőzeteken kialakult trópusi tönköket vizsgálta, és írta le az úrkúti Csárda-hegyen a mangánbányászat során feltárt karsztos formákat, mint trópusi felszínen kialakult kúparszt maradványait.

Hazánk területén a miocén eleje, közepe volt az utolsó olyan időszak, amelynek során a trópusi tönkösödéshez szükséges meleg, nedves klíma uralkodott. Korábban kialakult, eltemetődött, majd ismét kitakaródott felszínek alakultak át jelentős mértékben. Ezért lehet új felszínről beszélni ebben az esetben is. Ekkor alakult ki a Nagyvázsonyi-fennsík, a Veszprémi-fennsík domborzata is. Nagyméretű, viszonylag sekély karsztmélyedések alakultak ki ezen a területen a triász időszakban keletkezett dolomiton. Azonban kivételesen – feltehetően

szerkezeti mozgások hatására – Nagyvázsony környékén közel 100 méter vastag vörösgyag összlet települ helyenként a karsztos térszínre.

A legnagyobb kiterjedésű töbrök ugyancsak Nagyvázsony környékén találhatók. Leglátványosabb ilyen mélyedés a Vízvörös-tó és környéke. A mélyedést kitöltő agyagon csapadékos időszakokban időszakos tó is kialakul. A mélyedéseket helyenként sok bauxit- és vaskéregtörleméket tartalmazó kaolinites vörösgyag tölti ki. A töbröket kitöltő üledék jelentős hányada az idősebb bauxitlepek áthalmazott anyaga. A vörösgyag felhalmozódásával egy időben lezajlott vulkánkitörésekből származó, a vörösgyagban felhalmozott cirkonásványokon mért korok alapján a töbröket kitöltő anyag a miocénben, nagyjából 20 és 10 millió év közötti időszakban rakódott le. Lóczy Lajos és Cholnoky Jenő a XX. század elején a fennsíkok kialakulását a középső-miocén tenger abrázójának tulajdonították. A kort nagyjából helyesen állapították meg, azonban a kialakulás igazi folyamata eltérő az általuk feltételezettől.

A Keszthelyi-hegységben és Tapolca közelében, az Uzsai-erdőben más jellegű formák alakultak ki ebben az időszakban. Kis átmérőjű (5–30 méter körüli), függőleges falú, mély töbrök keletkeztek az általában rendkívül

nehezen karsztosodó dolomitban. A Keszthelyi-hegységben 50 métert megközelítő, az Uzsai-erdőben a 100 métert is meghaladó az ismert mélysége ezeknek a mélyedéseknek. A töbröket ezen a területen tűzálló agyag minőségű kaolinit tölti ki. A Keszthely melletti Cserszegtomaj töbreinek bányászata az 1950-es évektől közel 20 éven keresztül folyt. Az agyagtest kitermelésével napvilágra kerültek a tönkfelszínen kialakult karsztüregek is. Sajnos napjainkra ezeket szeméttel töltötték fel, ezzel is veszélyeztetve a rendkívül érzékeny felszín alatti karsztvízrendszert. A töbröket kitöltő kaolinites agyag kora körülbelül 20 millió és 15 millió év közé tehető. Ez az időszak részben egybeesik az úgynevezett miocén klímaoptimummal, ami a Kárpát-medence területén a trópusi tönkösödésnek kedvező utolsó időszak volt. A cserszegtomaji töbröket kitöltő anyag – ellentétben a többi töbr kitöltésével – nem az idősebb bauxitlepek áthalmazásából, hanem jelentős részben a levegőből hullott vulkáni porból, a trópusi körülmények között lezajlott mállási folyamatok eredményeként alakult ki.

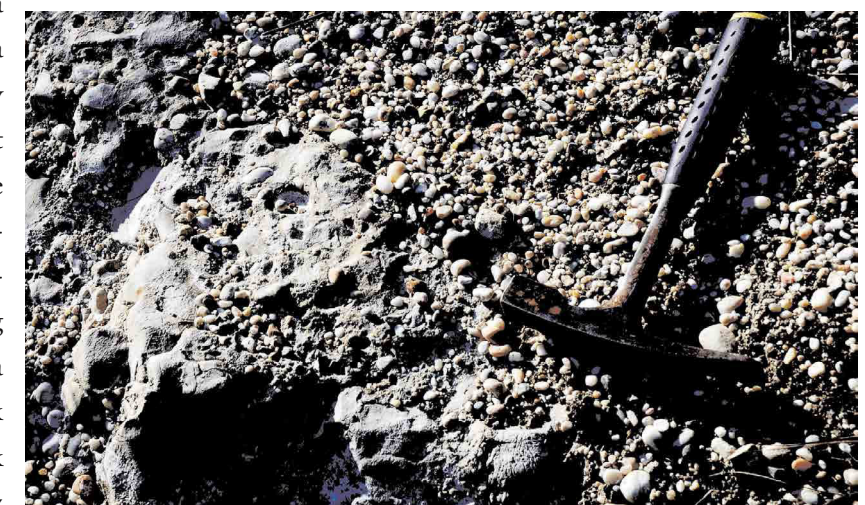
Körülbelül 11 és 8 millió év között, a Bakony és a Balaton-felvidék területének legnagyobb részét elborította a Pannon-tó.

Mindössze a Bakony, a Keszthelyi-hegység és a Balaton-felvidék néhány területe állt ki szigetként a tó legnagyobb elöntése idején. Ennek az időszaknak a mai domborzatban nem őrződtek meg az emlékei. Azonban a Pannon-tó üledékeinek minősége, elterjedése sok helyen mutatja az erre az



A Pajtika-tető utolsó nyitott töbre 1982-ben (Cserszegtomaj)

időszakra kialakult domborzat jellegét. A Balaton-felvidéken és a Keszthelyi-hegységben sok helyen találkozhatunk nagyon jól kerekített, a helyi kőzet anyagából keletkezett kavicsokkal. Ezek a parti hullámverés eredményeként keletkezett abrázios kavicsok az egykori sziklás partokra utalnak. A hullámverés kes-



Triász dolomit hullámveréssel formált sziklafelszíne, rajta a helyi dolomitból keletkezett, jól kerekített abrázios kavicsokkal

A Vízvörös-tó és környéke 2015 márciusában



keny, néhány méteres, úgynevezett abráziós teraszokat, színlőket vésett a meredek, sziklás partokba. Helyenként ezeknek a színlőknek a maradványai felismerhetők, nem csupán a kavicsok, hanem a hullámverés formálta sziklák felszíne is megőrződött napjainkig.

A Keszthelyi-hegységbe mélyen benyúló völgyekben helyenként a Pannon-tóban keletkezett lignitrétegek, valamint édesvízi mészkő található. Ez bizonyítja, hogy ekkorra a korábban kialakult tönkfelszín feldarabolódott, mély völgyek tagolták a hegységet, amelyekbe

benyomult a tó vize. A partoktól távoli, hullámverésmentes, sekély vízben rakódtak le az ott ma a felszínen található rétegek.

A Pannon-tó után, a vulkánok története

A Pannon-tó körülbelül 8 millió éve töltődött fel a Balaton-felvidéken és közvetlen környékén. Tőle délre még létezett a tó, de néhány százezer, esetleg egy-két millió év alatt a somogyi vidék is szárazulattá vált. A lassan visszahúzódó, feltöltődő tó sík vidéket hagyott hátra, amin az Alpok és a Nyugati-Kárpátok felől

érkező, a tavat feltöltő folyók vették át az uralmat. Az egykori folyók hordaléka helyenként vastag homok- és agyagösszlet formájában rakódott le. Ezek nyoma – jelenlegi ismereteink szerint – a Dunántúli-középhegység területén nem található meg. Feltehetően a folyók megkerülték a középhegységet, nem folytak át rajta. A Tapolcai-medence az egyik valószínűsíthető nyomvonal, bár az egykori folyó üledékeit eddig nem lehetett kimutatni ezen a területen sem.

A Dunántúli-középhegységben tehát ebben az időszakban két jelentős változás történt. A terület egésze szárazulattá vált, megindult a szárazföldi felszínformálódás, valamint még egy felszínala-

kító hatás is megjelent: 8 millió éve Tihanyban megkezdődött a Bakony és a Balaton-felvidék területén több mint 5 és fél millió éven át ismétlődő bazaltvulkáni tevékenység.

A sík, alig tagolt domborzat hosszú időn át, de csak lassan formálódott. Az egyre tagoltabbá váló domborzat nyomát a vulkáni folyamatok segítettek megőrizni. Két nagy lávatararó alakult ki. A Kab-hegy takarója az 5 millió év körül kialakult felszínt fedte le. Az Agár-tető ennél fiatalabb, 3 millió év körül alakult ki a lávatararója. A lassan formálódó felszínbe dél

felé lejtő völgyek vágódtak be. Néhány vulkánkitörés anyaga ilyen völgyeket töltött ki. Az egyik legfiatalabb kitörés Monostorapáti mellett, a Kopácsi-hegy salakvulkáni kráterét hozta létre. Az innen lezúduló piroklaszt-ár által kitöltött egykori völgy a Kopácsi-hegytől dél felé, egészen Szentbékálláig nyomozható.

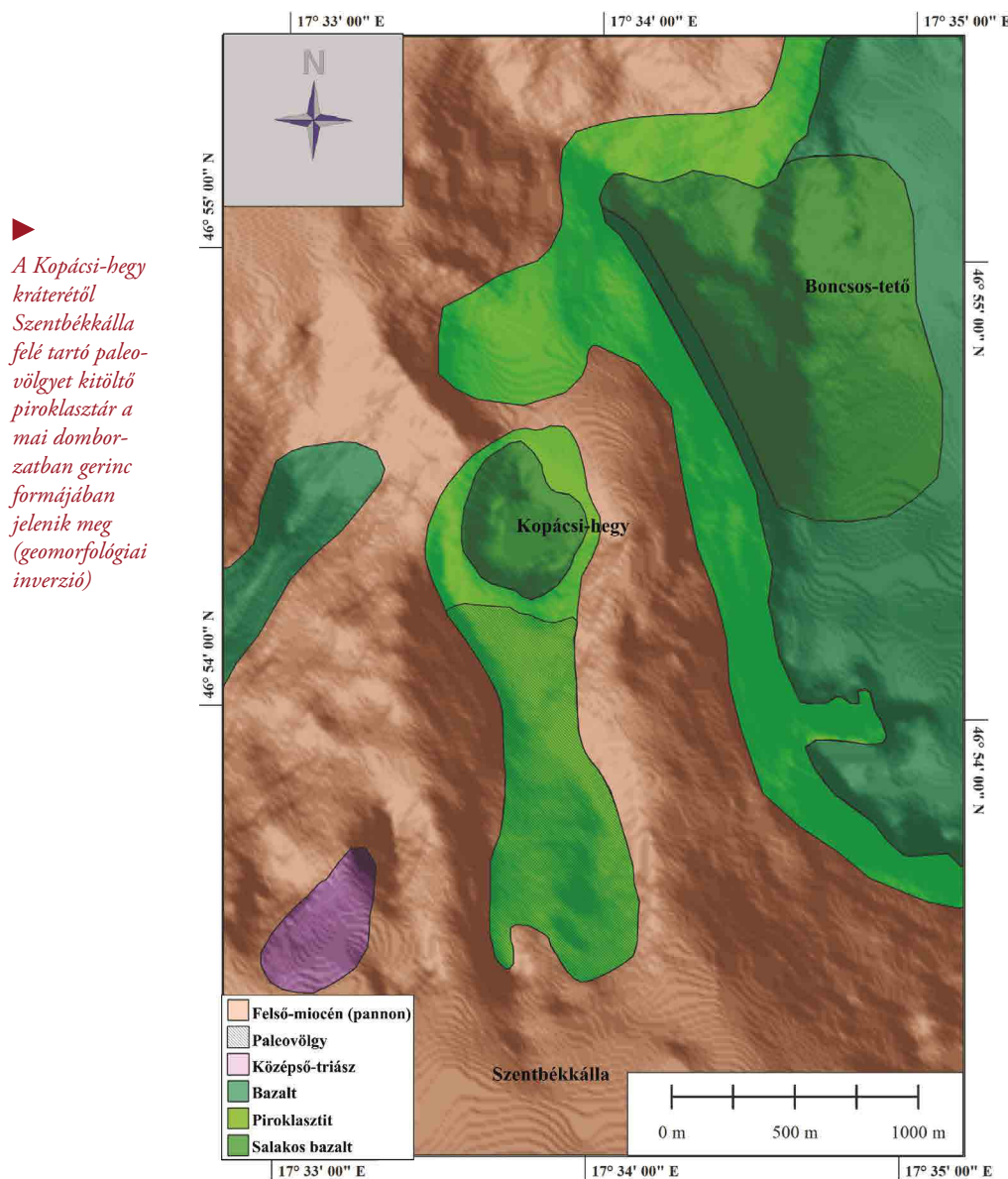
A Mencshely melletti Halom-hegy kitörése során az egyik lávafolyás egy körülbelül 600 méter hosszú, sekély völgyet töltött ki, ami a bazalttörmelék elterjedése alapján, dél felé Dörgicse közeléig követhető a mai felszínen. Ezek, a nagyjából 4 millió és 2,6 millió év közötti egykori völgyek a Pannon-tó laza üledékein alakultak ki. Az elmúlt évmilliók során a laza üledékek lepusztultak, az egykori völgyeket kitöltő, a környezetüknél keményebb, ellenállóbb

vulkáni kőzetek ma kiemelkednek környezetükből. A domborzat tehát megfordult, az egykori mélyedésből lett a mai kiemeltebb, környezeténél magasabb domborzat. A földtudományok ezt geomorfológiai inverciónak nevezik.

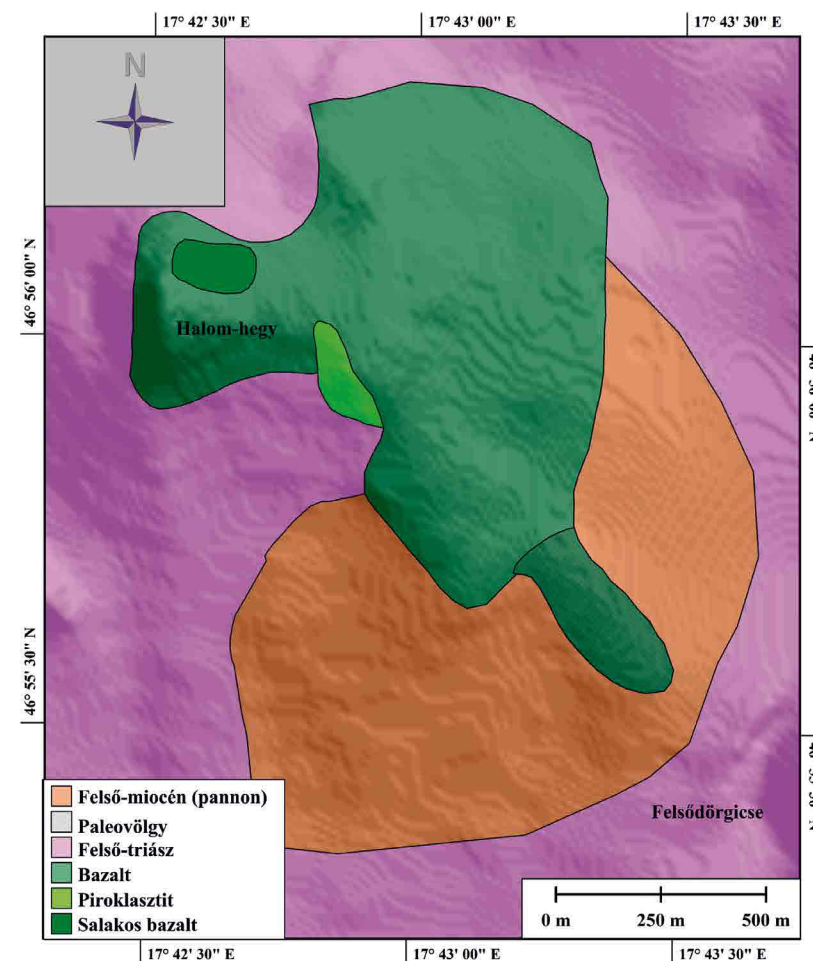
Ami a vulkánokból megmaradt

Gyakran felmerül két kérdés: mi őrződött meg az egykori vulkáni formákból és vajon a Tapolcai-medence tanúhegyei egykori vulkáni hegyek maradványai-e? A válasz az előbbire: kevés, az utóbbira: nem. Érdekes azonban ennél részletesebben válaszolni a két felvetésre.

A tanúhegyek bazaltja maarkáterek belsejében halmozódott fel. A Badacsony, a Szent György-hegy bazaltösszletének vastagsága helyenként a száz métert is meghaladja. Mit je-



A Kopácsi-hegy kráterétől Szentbékállá felé tartó paleovölgyet kitöltő piroklasztár a mai domborzatban gerinc formájában jelenik meg (geomorfológiai inverzió)

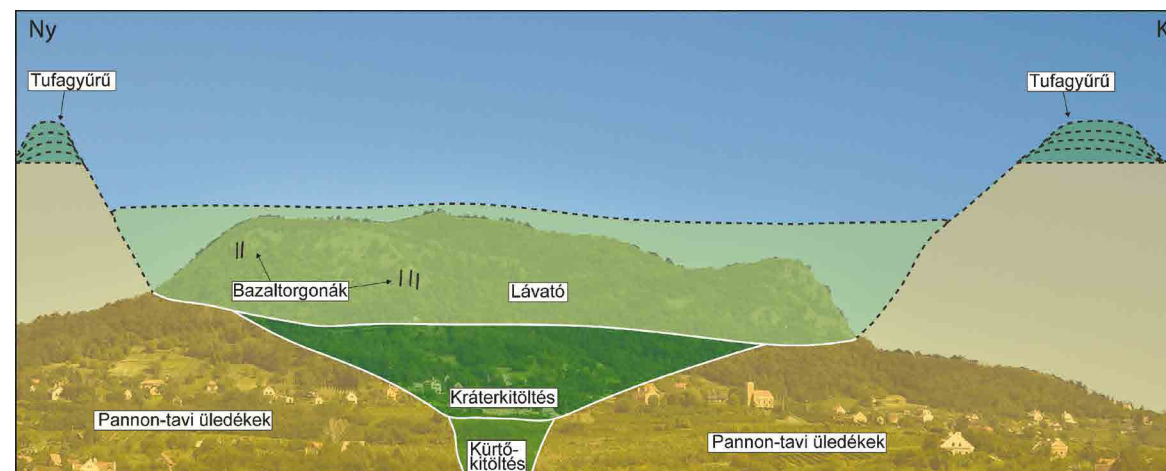


A Halom-hegyről kiindult, a paleovölgyet kitöltő lávafolyás elterjedése

lent tehát ez? 3–4 millió éve, a vulkánkitörés hatalmas robbanással, 100 métert meghaladó mélységű krátert alakított ki a Pannon-tóban több millió évvel korábban lerakódott homok, kőzetliszt, agyag összetételű rétegeken kialakult szárazföldi térszínen. A robbanás a kráter körül létrehozott egy tufagyűrűt a felszínre dobott vulkáni porból, lapillikból, vulkáni bombákból, valamint az áttört, kirobbantott üledékes kőzetekből. A kráter belsejét láva töltötte ki. Az elmúlt évmilliók során a Tapolcai-medencét kialakító külső erők (víz, szél, tömegmozgások) a Pannon-tó laza üledékeit elszállították. Így az egykori kráterek belseje kipreparálódott, majd az eróziós folyamatoknak köszönhetően, a

meg, hogy erodálódott, többé-kevésbé lepusztult, elsődleges vulkáni képződmények azonosíthatók a Bakonyban és a Balaton-felvidéken. Az Agár-tetőn, a Fekete-hegyen környezetük fölé emelkedő bazalthátak egykori lávafolyások maradványai. Az erősen megnyúlt hólyagüregek részletes mérésével feltehetően a folyásirány is megállapítható lenne. A Fekete-hegy fennsík-jának tavai (Bika-tó, Monostori-tó, Kálomis-tó stb.) az egykori lávafolyások által elgátolt mélyedéseket töltik ki napjainkban.

Látványosabb, nagyobb vulkáni maradványformák is megőrződtek azonban. A legtöbb vulkáni területen az utolsó kitörések salakvulkáni kúpokat építettek fel. A Badacsony,



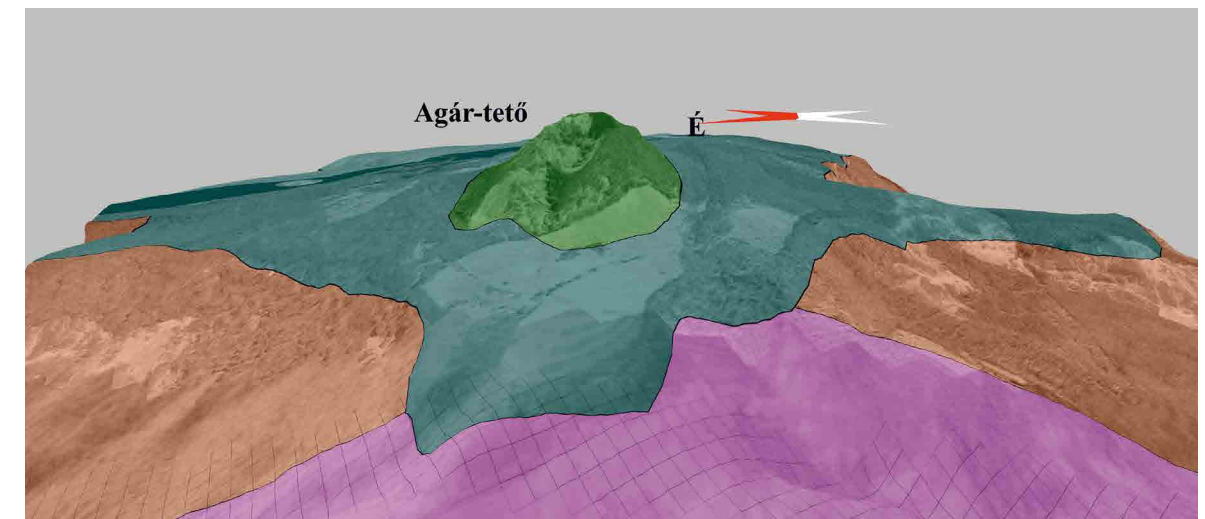
A Szent György-hegy panorámaképe, a pliocén maarkráter lepusztult és máig megőrződött környezeteinek feltüntetésével

környezeténél sokkal jobban ellenálló „bazaltsapka” az egyre jobban pusztuló, alacsonyodó környezetből fokozatosan egyre inkább kimagasodott. Hasonlóan a vulkáni képződményekkel kitöltött völgyekhez, ebben az esetben is geomorfológiai inverzió történt.

A Tapolcai-medence tanúhegyei tehát nem vulkáni hegyek maradványai! Ezek a bazalttestek eredeti helyzetükben a korabeli felszínnél mélyebb helyzetben keletkeztek, a maarok belsejében. Mi őrződött meg akkor az egykori vulkáni formákból? A kevésnél bővebb válasz úgy adható

a Szent György-hegy és néhány más bazalt-hegy tetején ezek teljesen lepusztultak, csak néhány kis sziklafeltárás és a felszínen található vulkáni salak törmeléke bizonyítja létezésüket. Azonban a Fekete-hegy fennsíkjának északnyugati részén a Boncsos-tető 70–80 méterrel magasodik a környezete fölé. A hegyet teljes egészében bazaltsalak építi fel. A hegy az egykori salakvulkán máig megőrződött déli fele, a hegy északi része mára lepusztult.

Az Agár-tető csúcsa 50–60 méterrel emelkedik ki a platóból. Alakja első ránézésre igen furcsa.



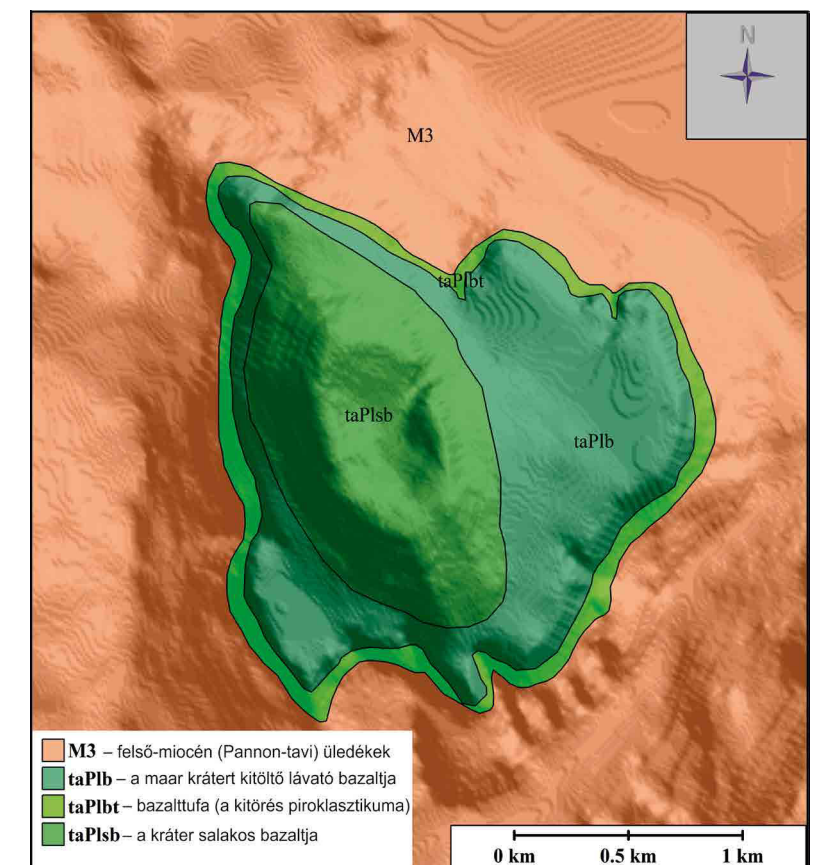
Az Agár-tető salakvulkáni kúpja

Gerince keskeny, meredek, északnyugat felé nyitott ellipszist alkot, amit bazaltsalak épített fel. A gerinc az egykori kráterperem, amit északnyugat felől az erózió átvágott a kráter belsejéig hatolva. Az egykori kráter környezetében számos egykori lávafolyás őrződött meg többé-kevésbé erodált, keskeny, hosszú dombsorok formájában.

Hasonlóan salakkúp őrizte meg a formáját az Agár-tetőtől keletre, a Bondorón. Ezt a krátert is elérte egy völgy bevágódása. A völgy két oldalán feltárt kőzetek arra utalnak, hogy a Bondoró kúpjának kialakulásában a salakvulkáni működés mellett kisebb lávafolyások, lávafröccsök is jelentős szerepet játszottak. Talán ezek a keményebb alkotók is hozzájárultak a vulkáni kúp viszonylag kismértékű eróziójához.

Az egyik legépebben megőrződött vulkáni forma a szentbékállai piroklaszt-ár leírásánál már megemlített Kopácsi-hegy salakvulkán-

ja. Ennek mérete sokkal kisebb az előbb leírtaknál, az egykori kráter körül mindössze egy néhány méter magas, bazaltsalak anyagú gyűrű alakult ki. A gyűrű kelet felé nyitott. Ebben az esetben felmerül annak lehetősége is, hogy ez a nyílás már a kitörés során kialakult, mivel előterében egy kis bazalttufa



A Bondoró krátere

domb emelkedik. Lehetséges, hogy ez egy kisebb piroklaszt-ár felhalmozódásával keletkezett, ami ezen a nyíláson hagyta el a krátert.

A viszonylag épségben megőrződött vulkáni formák 3,3 és 2,6 millió év között keletkeztek. Jelenleg nincs válasz arra a kérdésre, hogy miért erodálódtak szinte teljes mértékben egyes – feltehetően idősebb – salakvulkáni kúpok és miért őrződtek meg viszonylag épségben a pliocén legvégén kialakult salakvulkánok.

A mai felszín kialakulásának első lépései

A Balaton és környékének mai felszíne a negyedidőszakban alakult ki. A negyedidőszak első, hosszabbik szakasza a pleisztocén volt. A mintegy 2,5 millió éve kezdődött kort a holocén, vagyis a jelenkor követte, alig több mint 10 000 éve. A pleisztocénben történt meg a nagy fordulat. Addig a domborzat változásának legtöbb eseménye a Balaton-felvidék és a Bakony szilárd kőzeteiből álló felszínein történt. Ettől kezdve azonban jelentős változáson ment át a mai Somogyi- és Zalai-dombság, valamint a Mezőföld laza üledékekből felépült területe.

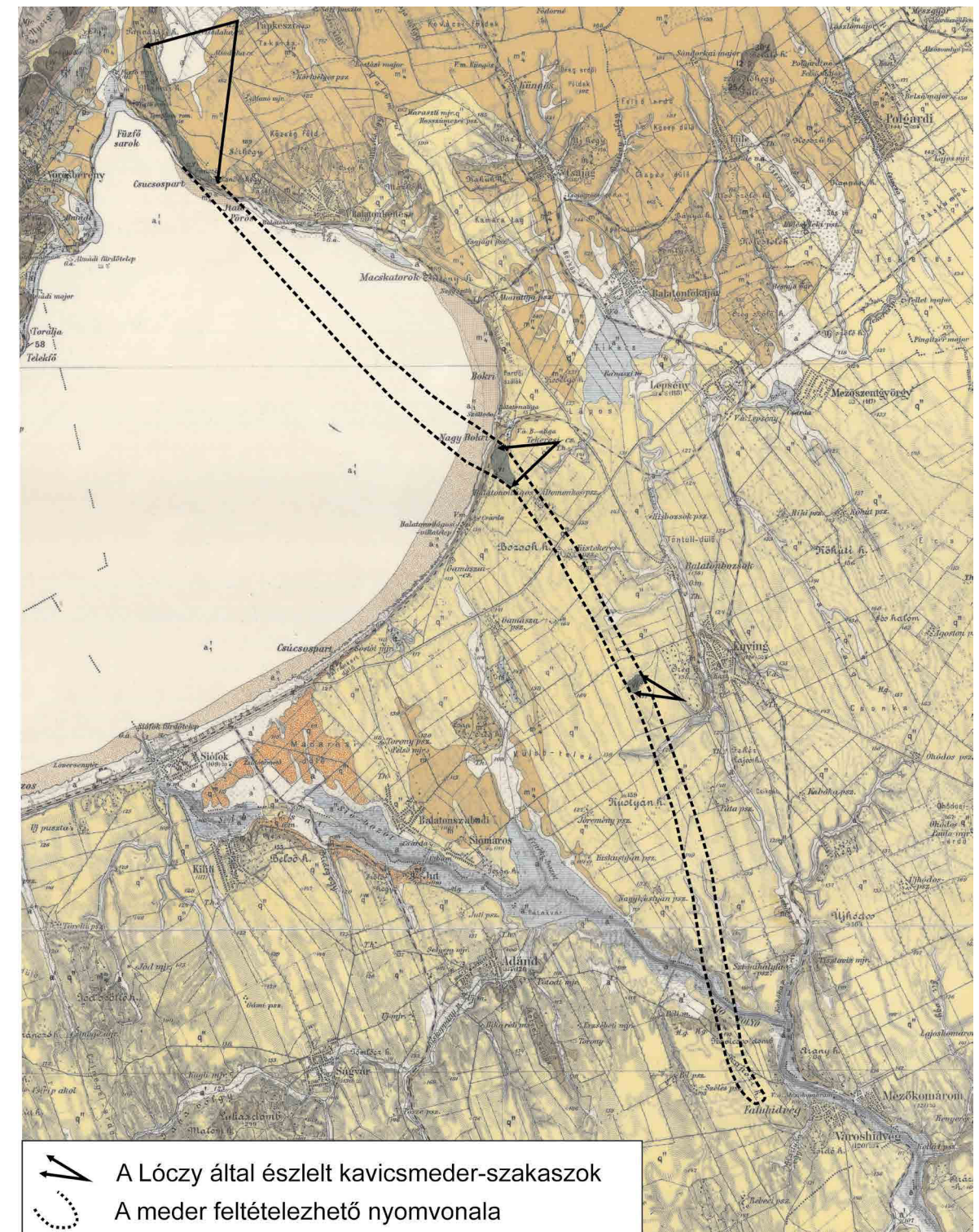
A Somogyi-dombság területe nagyon kevésbé ismert. Lóczy munkáján kívül átfogó feldolgozás kevés született. A legjelentősebb munka Erdélyi Mihály kétrészes cikke volt, ami 1960-ban jelent meg. Geomorfológiai kutatásokat pedig csupán Szilárd Jenő és Marosi Sándor végzett az 1950-es és 1960-as években Somogy területén.

A pleisztocén elején a Balaton-felvidékről lefutó patakok a somogyi területen keresztül tartottak a Kapos völgye felé. Erről a legmagasabb tetőkön ritkán megőrződött, dolomit, mészkő, perm vöröshomokkő anyagú kavicsok tanúskodnak. Másutt vastag vörösgyagyas talaj képződött, ami alatt vastag mészfelhalmozódási szint alakult ki. Ebben az időszakban tehát a mai Balaton felé

tartó somogyi lejtők még nem léteztek, a terület egységesen, enyhén dél felé lejtett. Ez a domborzat már a pliocénben sőt, feltehetően már a miocén végén kialakulhatott. A kora-pleisztocén során azonban elkezdődtek a változások.

A vulkáni működés megszűnése és a mai felszín kialakulásának kezdete közel egy időre tehető. A Balatonnak még ekkor sem volt nyoma. Ennek látványos bizonyítékát szolgáltatva Lóczy Lajos földtani térképe. Az ábrán sötétzölddel jelölt képződmény egy hajdani folyómeder kavics, homok anyagának maradványa. Jól látható, hogy az egykori meder keresztezte a mai Balatont. A balatonkenesei magaspárt tetején, közel 70 méterrel a tó vízszintje felett találhatók ezek a kavicsrétegek. Az egykori folyó a térképen ábrázoltnál is hosszabban követhető ma már. Ismerjük előfordulását Szabadhídvég (Lóczy korában Városhídvég) mellett is. Az egykori folyó maradványai több mint 30 km hosszan követhetőek. A kenese–szabadhídvégi meder a Duna felé tartó dunántúli folyórendszer része volt. Ekkor azonban a Duna is másutt járt, a mai medertől keletre, így ez az egykori, a Balaton-felvidék és a Bakony keleti részének vizeit összegyűjtő folyó is a mai Sárvíznél hosszabb utat kellett megtegyen a dunai torkolatáig, ami akkoriban valahol Baja és Szeged között lehetett.

A folyóvízi kavics geomorfológiai jelentőségét Lóczy Lajos ismerte fel. Az előkerült molluszkák és elefánt-félék (*Elephas meridionalis/antiquus*, napjainkban *Mammuthus meridionalis* néven említik) maradványai már a XX. század elején világossá tették, hogy a folyóvíz – Lóczy szerint az Ős-Séd – a kora-pleisztocénben, a negyedidőszak elején alakította ki ezt a medret. Az elmúlt években Virág Attila dolgozta fel az elefánt-félék hazai leleteit. Vizsgálatai szerint a szabadhídvégi maradványok kora mintegy 2,2–2,0 millió évre



A Lóczy-térkép részlete a Kenese–Városhídvég melletti meder maradványaival

tehető. A Balatonföldvár melletti Köröshegy régi téglagyárában mutattak ki hasonló korú folyóvízi üledéket. Noha Köröshegy környékén csak egyetlen ponton ismerünk ilyen korú folyóra utaló nyomokat, úgy tűnik, hogy ez a folyó

már nem keresztezte a Somogyi-dombságot, hanem annak tövében, a Balaton déli partján, 170 méter körüli magasságban, közel 70 méterrel a mai tó szintje felett, vagy a kenese–városhídvégi meder felé, vagy Fonyód felé tarthatott.



Marosi Sándor és Szilárd Jenő az 1980-as évek elején hívta fel a figyelmet arra, hogy meg kell különböztetni a Balaton tómedencéjét a Balaton-felvidék és a Somogyi-dombság között a pleisztocén során kialakult, fokozatosan alacsonyodó területtől, amit „Balatoni-medence” néven írtak le. A tómedence legmagasabb szintje 112 méter körül lehetett a legmagasabb vízállás idején. A „Balatoni-medence” szintjei e fölött alakultak ki a pleisztocén során, anélkül, hogy a Balaton valamiféle elődje kialakult volna a területén. A köröshegyi molluszka és gerinces leletek kora Krolopp Endre és Kretzoi Miklós paleontológusok szerint nagyjából egyidősnek tekinthető a szabadhídvégi faunával. Tehát a „Balatoni-medence” a Balaton-felvidék és Somogy között ebben a 170 méter körüli szintben körülbelül 2 millió éve már megjelent a domborzatban.

Miért ilyen a mai felszín?

Az elmúlt kétmillió év során a külső erők alakították ki a Balaton környékének mai domborzatát. Melyek ezek a „külső erők”? Hogyan hatottak, alakították a felszínt? Ezekre a kérdésekre

válaszolva ismerhető meg annak a domborzatnak a kialakulása, amit ma a Balatonon egy hajóról körbenézve, repülőgépen a vidék fölött elrepülve láthatunk.

A víz, a szél, a gravitáció közvetlen hatásai azok az úgynevezett külső erők, amelyek a felszínt alakítják, helyenként azt letarolva, másutt lerakva az elszállított anyagot. Ebben a fejezetben csupán a vízről és a gravitá-

ciós tömegmozgásokról lesz szó, a szél felszínalakító munkájáról a következő fejezetben olvashatnak.

A felsorolt külső erők aránya azonban a klímától függően mindenkor változott. A negyedidőszakban a Kárpát-medence klímája is sokszor megváltozott. Az északi féltekén négy jelentős lehűlés, eljegesedés történt, amelyeket glaciálisoknak neveznek. Hazánk területén szárazföldi jégtakaró soha nem alakult ki, azonban a hideg időszakokban úgynevezett periglaciális, jégtakaró környéki, mainál sokkal hidegebb klíma uralkodott. A lehűlések közötti, úgynevezett interglaciális időszakokban pedig felmelegedés történt, egyes időszakokban a mainál is jelentősen melegebb volt az éghajlat. A hideg, száraz időszakokban a szél eróziós és üledékfelhalmozó tevékenysége, a meleg szakaszokban a folyóvízi erózió volt a legjelentősebb felszínformáló tényező.

A víz felszínformáló szerepe

A felszínre hulló csapadék egy része elpárolog, egy része beszivárog a felszín alá, egy része lefolyik. A felszín formálódására az elpárolgó víznek természetesen nincs hatása. A felszín alá



beszivárgó víz a mészkő és dolomit alkotta területeken, a felszínen kisebb-nagyobb karsztfarmákat alakított ki a Bakony és a Balaton-felvidék területén is. Szép karr formákkal sok helyen találkozni mészkő és dolomit felszíneken egyaránt. A beszivárgó víz, karbonátos kőzet esetén, a felszín alatt fejti ki felszínformáló hatását (barlangképződés), de a felszín alatti hatás befolyásolhatja a felszíni domborzatot is (dolina).

A felszíni vizek szerepe azonban sokkal jelentősebb volt. Ezek nem csupán a mai völgyeket alakították ki, hanem a lejtők felszínén lefolyva is hozzájárultak a domborzat formálódásához. Kialakult a mai völgyhálózat. Helyenként mély szurdokvölgyek alakultak ki. Ezek szép példái a Keszthelyi-hegységben a Szent Miklós-völgy,

Kígyós-völgy, a Balaton-felvidéken a Nosztori-völgy, a Bakonyban az Eger-patak völgye.

A hegyek közül kiérkező völgyek előterében változatos méretű hordalékkúpok képződtek. A legnagyobb ilyen formák a dolomitterületek lábánál találhatók. A hideg periódusokban, a fagyaprózódás hatására nagy mennyiségű törmelék keletkezett. A dolomit a többi kőzetnél jobban aprózódik, így a dolomitfelszíneken több törmelék keletkezett. A száraz időszakokra jellemző epizodikus, ritkán bekövetkező, hirtelen lezúduló, nagy csapadékmennyiség hatására kialakuló áradások változatos, a homoktól a hatalmas blokkokig terjedő szemcseméretű, több méter vastag hordalékkúpokat építettek fel.



▶ Dolomitkavics és -homokrétegek a Vári-völgyet kitöltő hordalék-kúpban (Keszthelyi-hegység)



A Balaton-felvidéken az eróziós völgyek kialakulása hozzájárult a mai domborzatot meghatározó, úgynevezett márgamedencék létrejöttéhez is. A felszínt felépítő, uralkodóan enyhén északnyugat felé dőlő triász rétegsor változatos képződményekből áll. A kemény mészkő- és dolomitrétegek között egy, a felszínen több kilométer széles zónát alkotó, körülbelül 500 méter vastag, erősen agyagos, a mészkőnél és a dolomitnál sokkal puhább kőzetösszetételű (Veszprémi Márga, lásd a 2. fejezetet). Ezen a márgaösszleten alakultak ki a Balaton-felvidék középső és keleti részének medencéi. A legnagyobb ezek közül a Pécselyi-medence.

Ezek a medencék a geomorfológiában szelektív lepusztulásnak nevezett folyamatnak köszönhetik kialakulásukat. A bevágódó völgyek

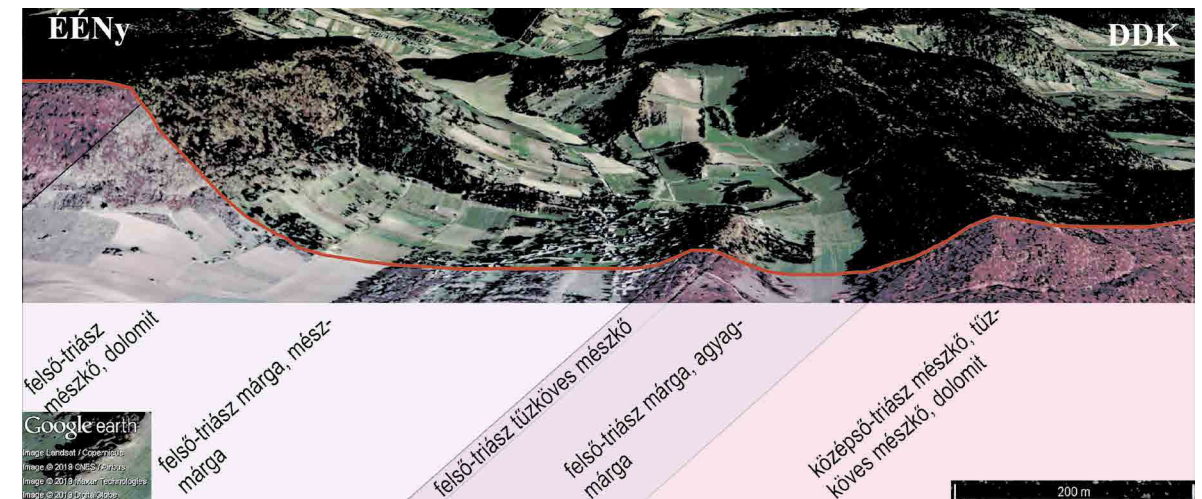
eróziója a puha kőzeteket sokkal könnyebben szállítja el. A lejtők lepusztulása is gyorsabb folyamat puha, agyagos kőzetek, mint a kemény mészkő- és dolomitrétegek esetében. Így alakulnak ki az enyhén hullámos felületű medencék, széles, vizenyős, mocsaras völgytalpakkal, míg a medencék fölötti és alatti völgyszakaszok sokkal szűkebbek, gyakoriak a szurdokvölgyek.

A Pécselyi-medence vizeit több völgy vezeti le a Balatonba. Az Örvényesi-séd hosszan kanyarog a medence déli peremén Vászolytól kelet felé, amíg megtalálja a ki-

járatát Pécselytől délre, ahonnan a Körtvélyes és Ágas-magas dombjai közötti szűk völgyben, áttörve a triász mészkő- és dolomitrétegek vonulatát eljut a Balatonba. Az Örvényesi-séd mellett még két másik séd vezeti le a medence vizeit, amelyeknek hasonló a morfológiája. A medencék belső területének domborzata is látványos példája a kőzetminőség-különbség hatásának. A több száz méter vastag puha márgaösszletet egy mindössze 10 méter vastagságú kemény, tűzköves mészkő osztja ketté. A környezetükből az erózió által kipreparált keskeny mészkőgerincek a műholdak képein is felismerhetők.

Gravitációs tömegmozgások

A szilárd kőzetek formálódásában a pleisztocén hideg szakaszaiban az aprózódás volt a legjelen-



több tényező. Ennek leglátványosabb emlékei a bazalthegyek meredek peremein kialakult úgynevezett törtlejtők. A lejtő felső szakaszát a függőleges, 90 fokos sziklafelszínnek, sok esetben a híres bazaltorgonák alkotják. Ezek alatt a szétfagyott sziklák törmeléke alkot 30 fok körüli felszínű lejtőt, amit kizárólag durva, 5–50 cm-es, kerekítetlen bazalttörmelék alkot. Ezek az úgynevezett periglaciális kőfolyások, amelyek megtalálhatóak a Tapolcai-medence tanúhegyein, de néhány más bazalthegy lejtőin is.

A lejtőkön kisebb-nagyobb mozgások sok helyen előfordulnak. Azonban jelentős, nagy területet, nagy kőzettömeget érintő mozgásokkal a Balaton környékén csupán a bazalthegyek lejtőin és a Balaton magaspartjain találkozunk. A legnagyobb méretű mozgások földcsuszamlások voltak, az omlások általában kisebb kiterjedésűek.

A bazalthegyek lejtőinek mozgása korábbi időszakokban játszódtott le. (Az elmúlt 150 év során csak a Tihanyi-félszigeten történtek nagyobb méretű csuszamlások, azonban ezeknek a mozgásoknak a kiváltója a Balaton volt, így ezek a mozgások a magaspartok csuszamlásaihoz sorolhatók.) A lávatarakók, lávavakkal kitöltött egykori kráterek oldalában kialakuló csuszamlások kiváltó oka a fekvő laza

üledékek teherbíró képességének változása. Ez bekövetkezhet egy csapadékos periódus során, a rétegek képlékenyebbé válása következtében, vagy az eróziós folyamatok hatására, amikor az elszállított anyagtömeg hiánya miatt a lejtő instabillá válik. Ilyen csuszamlások eredményeként találhatók napjainkban a Szent György-hegy, a Csobánc oldalában olyan nagy tömegű, mai helyzetükbe tömegmozgással került hatalmas bazalttestek, amelyekben régebben kőbányák is működtek. A domborzatban karéjosan ívelt szakadási falak, alattuk hullámos, zavart domborzat utal az egykori csuszamlásokra, például az Agár-tető, vagy a Sátorma oldalában.

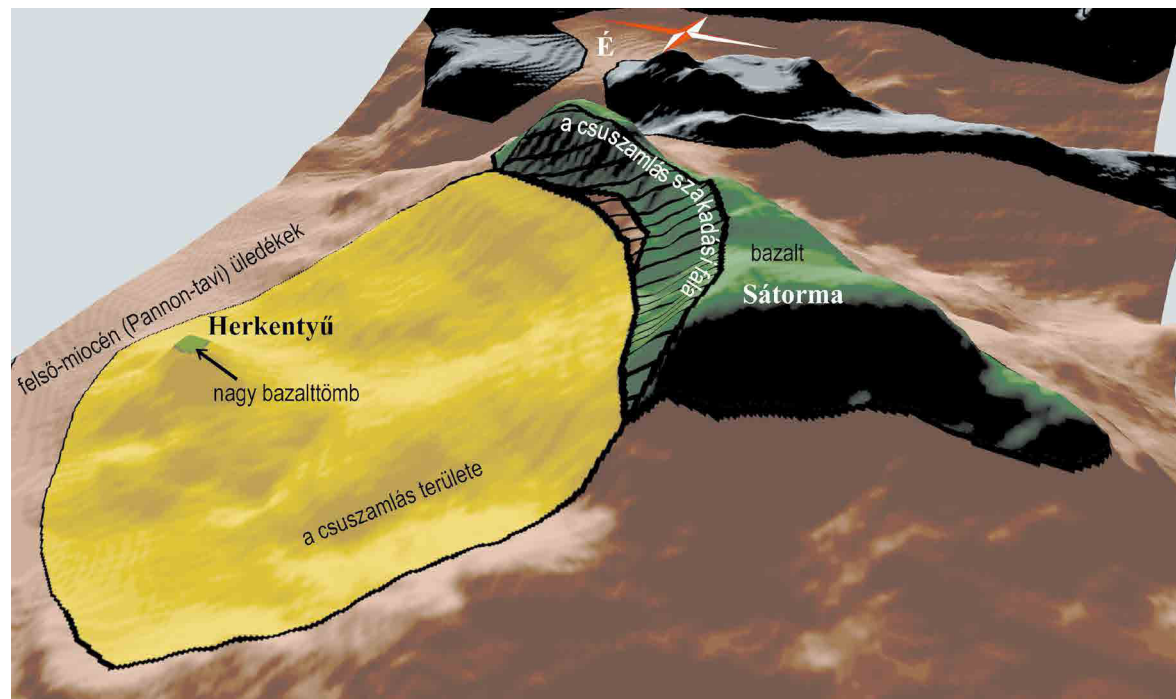
A Kovácsi-hegység úgynevezett bazaltut-cáját sok túrázó ismeri. Ennek kialakulása



▶ A felső-triász (karni) márgán kialakult monoszlói medence

▶ Bazalttörmelék

► Csuszamlással mélyebb helyzetbe került bazalttest a Sátorma É-i oldalában (Herkentyű-domb)



vagy kisebb méretű csuszamlással történhetett, vagy a meredek perem bazaltsziklái omlottak le, és alakult ki az eredeti helyzetben marad sziklák és a hatalmas, leomlott tömbök között, a sziklapereimmel párhuzamos

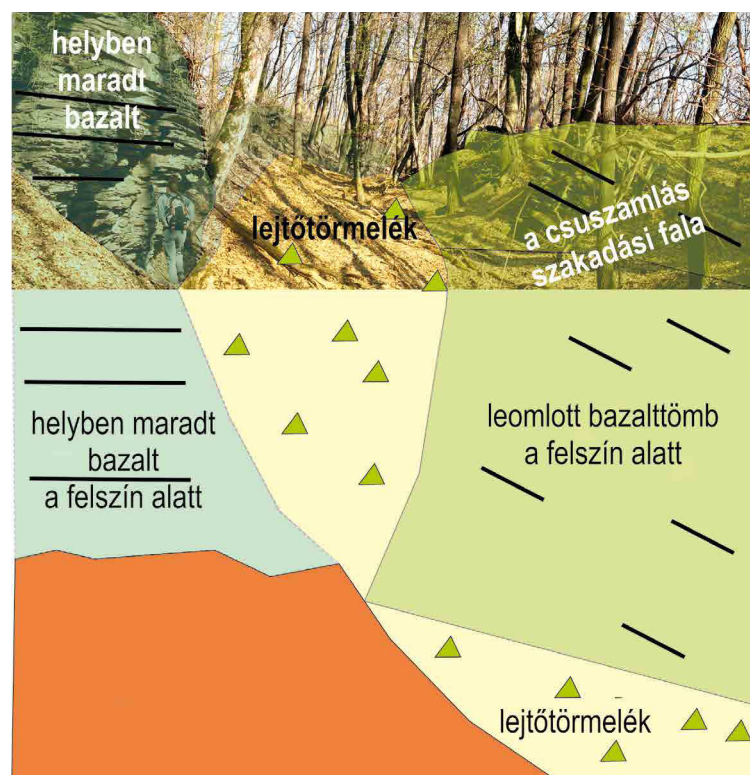
mélyedés, a bazaltutca. Hasonló folyamatok más bazalttestek peremén is lejátszódtak.

A Balaton meredek partjainak csuszamlásai napjainkban sem ritkák. A tó hullámverése alá-mossa a partot, a tó felé áramló talajvíz, rétegvíz

hatására a rétegek képlékennyé válnak, hatalmas csuszamlások alakulnak ki a tó partján. Ez a folyamat gyakran ismétlődve játszódhatott le, amíg a partrendezéssel az emberi tevékenység le nem állította a folyamatot. Bár ez napjainkig sem járt teljes mértékben sikerrel.

Tihanyban az elmúlt 150 évben több nagyobb csuszamlás is történt. A part mentén kiépített út egyben gát is, ami a hullámverés eróziós hatását megállította. Ezzel sikerült viszonylag stabilabbá tenni a lejtőket, noha kisebb csuszamlások a lejtőkön fakadó rétegvíz-források környezetében

► Omlással, esetleg kisebb csuszamlással a sziklafalról leszakadt bazalttömbök és a sziklafal közötti „bazalt utca” az Agár-tető peremén



Fortepan / Magyar Műszaki és Közlekedési Múzeum / Történeti Fényképek Gyűjteménye

ma is előfordulnak. Hasonló a helyzet a fonyódi magasparton is. A hullámverés nem támadja a falat, hiszen attól a vasút és az országút is elválasztja, azonban a földtani értelemben kisebb csuszamlások időnként járhatatlanná teszik a parti közlekedési utakat.

Sokkal több bajt, gondot okozott Balatonaliga, Balatonakarattya, Balatonkenese környékén a magaspárt. A balatoni hullámverés miatt alátámasztását veszített partszakaszok hatalmas csuszamlások formájában szakadtak be a Balatonba. A XX. század elején épült ki az északi parti vasút, amely ezen a mozgásveszélyes szakaszon ereszkedik le a magaspárt tetejéről a Balaton partjára. Minden óvintézkedés ellenére a vasúti pálya számos alkalommal súlyosan sérült. Ez nem csupán a múlt században, de az elmúlt években is több alkalommal előfordult. A legsúlyosabb bal eset 1914 májusában történt, amikor egy szerelvényt is a Balatonba döntött a csuszamlás.

Zárszó helyett

A Balaton környékének domborzata hosszú idő alatt nyerte el mai formáját. Legidősebb részletei még a földtörténeti ókorban, több mint 250 millió éve keletkeztek. Mozaikokból

áll össze a kép: kréta időszaki és eocén karsztfelszínek maradványai, néhány tíz-, esetleg száz-ezer éves tavi üledékei mellett a lejtőmozgások napjainkban keletkező formái, üledékei együtt alkotják mai élettelen környezetünket, az élővilág változatosságának alapjait biztosítva.

Ám a napjainkban is újra és újra előforduló lejtőmozgások mindenkit figyelmeztetnek: az élettelen természet is folyamatos változásban van, a felszín, a domborzat napjainkban is alakul, amit a társadalom nem hagyhat soha figyelmen kívül.

Ajánlott irodalom

- Budai T., Csillag G. (szerk.) 1999: A Balaton-felvidék földtana. Magyarázó a Balaton-felvidék 1:50 000-es földtani térképéhez. – A Magyar Állami Földtani Intézet alkalmi kiadványai 197, 257 p.
- Budai T., Csillag G., Dudko A., Koloszar L. 1999: A Balaton-felvidék földtani térképe, M=1:50 000. – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- Cholnoky J. 1918: A Balaton hidrografiája. – In: Lóczy L. id. (szerk.): A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei I/II, 318 p.
- Csillag G., Fodor L., Sebe K., Müller P., Ruszkiczay-Rüdiger Zs., Thamóné Bozsó E., Bada G. 2010: A defláció szerepe a Dunántúl hegységi és dombvidéki területeinek felszínfejlődésében. – Földtani Közöny 140, 463–481.
- 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, 617 p.

► Az 1914 májusában bekövetkezett csuszamlás következményei, a Balatonba sodort szerelvény

Síkhegyi Ferenc, Timár Gábor, Brezsnyánszky Károly,
Galambos Csilla, Zlinszky András

A Balaton ábrázolása térképeken

A Balaton a történelem elmúlt évszázadaiban mindig kiemelt szerepet kapott. A Kárpát-medencének ez a különleges természeti csodája az irodalom és a képzőművészet örök témája, utazók és pihenni vágyók minden korban kedvelt célpontja. Különlegessége a földrajz, a térképészet és a földtudományok számára is kiemelt kutatási témát jelentett, és ez jól nyomon követhető az elmúlt évszázadok során megjelent térképek áttekintésében is. A XV. század végéig kellett várni arra, hogy a Balaton a térképeken megjelenjen, onnantól kezdve azonban felgyorsultak az események. A tónak számos különféle ábrázolása jelent meg, amelyek néha még csak nem is hasonlítottak egymásra. Az első, a Balatont valódi alakjában ábrázoló térképek az 1700-as évek elején jelentek meg, külföldi hadimérnökök vázlatain. A precíz osztrákok pontos katonai felmérései a XVIII–XIX. században pedig már az alapjait szolgáltatták az első, kifejezetten földtani célzattal készült térképeknek. Napjainkban ezek a régi térképek is modern formában kelnek új életre, alkalmazkodva korunk digitális kihívásaihoz.

A Balaton a XVI. század térképein

... Sajnos — s ez a történelmi rész szövegéből is már látható volt — a mohácsi vészig terjedő időkből a Balatonról rajzolt térképet eddig még nem ismerünk.

Ámde éppen ez a körülmény szinte kíváncsossá teszi, hogy a Balatont ábrázoló azokat a legelső s legérdekesebb térképeket ismertessük, amelyek ugyan közvetlenül a mohácsi vész után jelentek meg csak nyomtatásban, de talán már előbb is készültek. Ezek a térképek kevés előnyükkel, annál több hibájukkal mintegy átmenet a historiából a geografiába. A geografsok is csak megrögzítették mindazokat a tévedéseket, hibákat, amiket a krónikások és historikusok egy időben a Balatonról össze-vissza írtak.

Ne várjunk tehát pontos, megbízható, kifogástalan térképeket, mert ezek inkább csak érdekesek lesznek, s érdekesekké is éppen azok a csodabogarak teszik, amelyeket még talán a legnagyobb képzelőtehetséggel megáldott krónikás is megsokalna. ...

Apianus, igazi nevén Bienewitz vagy Bennevitz Péter német csillagász, ingolstadti matematikus, Münster kortársa, 1528. év május havában, tehát a mohácsi gyásnap után alig két évre, Magyarországról nyitott ívrétalakú térképet adott ki négy oldalon.

A térkép eredetét és keletkezését, magán a térképen, díszesen rajzolt tojásdad keretbe írt latin magyarázat mondja el, mely tulajdonképpen nem más, mint a földabrosz hosszú címe.

Eszerint a térképet Bakács Tamás esztergomi bíbornok-érseknek Lázár nevű

hajdani titkárja tervezte, minden valószínűség szerint tehát egy térképrajzolásban jártas egyházi személy. Majd pedig Tanstetter-Collimitius György a tervezetet átvizsgálta és bővítette, Cuspinianus (Spieszhammer) János pedig már egy ízben kiadta. ...

A térkép jellege: nevezetesen pedig újgót és latin betűs helynevei, helyrajzi adatai és egész rajzmodora, mint pl. a hegységeket oldalnézetben ábrázoló „szénapetrencze rendszerre” valló jelzése, s a helységeket szintén oldalnézetben feltüntető jellegzetes rajza, határozottan arra vallanak, hogy a térkép a XVI. század elején, az Apianus rendszerű újabb térképrajzolás gyermekkorában keletkezett. ...

Pannonia inferior-ban — mint a térkép a Dunántúlt nevezi — azonnal szembeűnik a „Balaton lacus” derékban tört hosszúak alakja, mely északról délnek nyúlik el, nyugaton, a dunántúli középhegység, a Bakony, aljában. A helyzet, melyben a tó rajzolva van, szokatlan és hibás. Ennek pedig az az oka, hogy a térképen az égtájak elhelyezése teljesen hibás. ...

Lássuk azonban tovább a Balatont és vidékét.

A tó alakjáról, helyesebben alaktalanságáról már fentebb röviden említést tettünk; ennél többet alig tehetünk, mert a tó partformációja egyenesbe futó vonalakból áll; öblök, félszigetek és mocsárjelzések által meg nem szaggatott. A szerző, a tó alakjának kidolgozására semmiesetre sem fordított annyi gondot, amennyit az megérdemelt volna s amily szorgalommal például a Duna folyását, ismert szigeteivel, kanyarulataival felrajzolta.

A tó hossza az adott mérték szerint 11 ½, legnagyobb szélessége pedig körülbelül 2 ½



német mérföld, azaz a tó 85,33 km. hosszú és 18,55 km. széles. Talán nem is egészen a véletlen műve a tó akkori és mostani nagysága közt tapasztalható eltérés; mert már e század történetíróinál is azt láttuk, hogy a tóról közölt méretek mind túlhaladják annak jelenlegi nagyságát. A tónak adott méretei elfogadhatók, s ennek figyelmen kívül nem hagyandó egyik bizonyítéka az is, hogy a térképen a jelenlegi Kisbalaton a nagy tóval összefüggő rész gyanánt van felrajzolva és pedig a tó Hídvég alatt sokkal mélyebben nyúlik le délre, mint jelenleg.

A Balaton méreteinek nagyságát tehát az indokolja, hogy a XV—XVI-ik században

vízfelülete — ha nem is feltűnően, de — kiterjedtebb, vízbősege nagyobb volt.

Emellett látszik bizonyítani az az érdekes jelenség is, hogy a Balaton tavában a térkép egy önálló, egész szigetet tüntet fel Tihany várával. Ez az adat amellet bizonyít, hogy a tó vízállása magasabb volt, mint a jelenben s nemcsak a pusztavéletlen, indokolatlan tudakosság, avagy tudatlanság volt szerzője ennek a balatoni szigetnek. Arról, hogy Tihany már a XI. században is sziget volt, fentebb, I. András koráról szólván, is megemlékeztünk.

Részlet Makay Béla A Balaton a történelmi korban című könyvéből

◀ Az Apianus (Bienewitz) Péter (1495–1552) ingolstadti matematikus kiadásában 1528-ban megjelent „Tabula Hungarica ad quatuor latera” című térképről [Lázár deák térképe – a szerk.]

A térképek megrajzolása, megszerkesztése – bármilyen méretű terület ábrázolásakor – bizonyos jellegzetes pontok helyzetének meghatározásával kezdődik, illetve arra vonatkozóan is kell egy eljárás, hogy a megismert helyzetű pontokat hogyan helyezzük el a leendő térkép egyelőre üres papírlapján. A pontok kiválasztása, helyzetük megadása a geodéziai felmérés feladata, a meghatározott (és általában a földrajzi szélességgel és hosszúsággal megadott) helyzetükhöz a térképi pozíció (a papírlapon például milliméterben megadva) kiszámítását a térkép úgynevezett vetülete szolgáltatja. Egyes vetületek területtartók, vagyis a térképen ábrázolt területdarabok kiterjedésének aránya megegyezik a részek valóságos területi arányával. Más területek szögtartók, ami azt jelenti, hogy a térképről leolvasott szög megegyezik a terepen mérhető szöggel. És természetesen nagyon sok vetülettípus egyik most említett tulajdonsággal sem rendelkezik; sem a területek sem a szögek nem valódi mértékükkel vagy arányaikkal szerepelnek. Az viszont mindegyikre igaz, hogy ezek az arányok nagyjából (ha nem is teljesen pontosan) jól jelennek meg; torzulásaik nem igazán zavaróak. Előrebocsátjuk, hogy a most tárgyalt, a Balatont vagy azt is ábrázoló térképek között területtartó térkép nem szerepel; és a szögtartó térképek is csak a XX. században jelentek meg, a hadsereg, ezen belül a tüzérség igényeinek megfelelően.

Az említett geodéziai felmérés fontossága azonban nehezen becsülhető túl. A felméréshez választott pontok (az úgynevezett geodéziai alappontok) jelentik a térkép „csontvázát”. Amennyiben pozíciójukat hibásan állapítjuk meg, az torzíja a teljes térképi tartalmat. Ezt leginkább akkor vehetjük észre, ha a korabeli térképet, annak geodéziai alapjait felhasználva a mai adatbázisokra, például a mobil eszközök GPS-programjaiba töltjük: a hibás alappontok környékén a térkép elcsúszik a nyilvánvaló – például hegyek, települések által kijelölt – helyétől. Valójában a geodéziai alappontok elhelyezése szükségszerűen soha nem tökéletesen pontos; a jellemző és a felmérés korában szokásos hiba határozza meg, hogy az illesztés mennyire lehet jó. Ezt a hibát minden tárgyalt térképmű esetében megadjuk. E szempontból a geodézia paradigmaváltása és az ebből következő ugrásszerű minőségi javulás a XIX. század első felére-közepére tehető. Azt ezt megelőzően készült térképek, térképművek esetén az alappontok helye inkább néhány száz méter – 1–2 kilométer, vagy akár ezt meghaladó belső torzulási hibával terhelt, ami már számít a térkép értelmezésekor. A XIX. század közepétől a felmérési pontosság annyit javult, hogy az ebből származó pozícióhibák alig, vagy egyáltalán nem észlelhetők; e térképek saját méretarányukban pontosan vetítettnek tekinthetők.

A térkép a földrajzi valóságnak, vagy a földrajzi valóság egy témájának síkbeli, egyszerűsített ábrázolása. A térkép szolgálhat általános tájékozódásra – tehát saját helyzetünk megállapítására az ábrázolt tereppontok között –, vagy tereppontok megtalálására. Ezek a topográfiai térképek. A közismertebb térképtípusok közül a turistatérképek, vagy az autóstérképek tartoznak leginkább ebbe a kategóriába. Térképeink azonban mutathatnak valamilyen, a terepen nehezen, vagy egyáltalán nem látható, de az adott területhez kapcsolható információt – ezt a típust tema-

tikus térképnek nevezzük. Az iskolai atlaszainkban látható népsűrűségi térképek, vagy az időjárás portálokon található, a pillanatnyi hőmérsékletet mutató térképek is ilyenek; de a tematikus térképeken ábrázolható tartalmaknak szinte csak fantáziánk – és az ábrázolandó információk térbeli jellege – szab határt.

A Balaton megjelenik az általános topográfiai célú országtérképeken, emellett a tavat, illetve környezetét tematikusan is térképezték. E fejezetben időrendben tekintjük át a topográfiai térképeket, a tematikus térképek közül pedig – a kötet földtudományi irányultságának megfelelően – a geológiai, geomorfológiai, illetve egyes hidrológiai térképeket vizsgáljuk. E térképek mindegyike a készítésének idején bemutatott földrajzi, vagy tematikus valóság, illetve az arról meglevő korabeli ismeretek fontos tanúja. A különböző idők topográfiai térképein követhetjük nyomon a terep változásait, a természeti környezet és a települések aktuális helyzetét.

Miközben feltételezzük, hogy a térképek készítési ideje közötti időtartományban a felszín morfológiai és geológiai állapota nem változott, az egyes korok földtani adatokat hordozó térképeiről tájékozódhatunk az adott időszakban elfogadott, vagy a készítő által helyesnek gondolt geológiai ismeretekről. Jelen kötet ihletőjének, id. Lóczy Lajosnak 1920-ban publikált Balaton-térképe e szempontból mérföldkő: ez az a térkép, amelyhez képest mai ismereteink generálisan már nem, hanem inkább csak a részterületek pontosításával módosultak, fejlődtek. A fejezet végén bepillantást engedünk abba, hogy az elmúlt évszázadok térképei hogyan jeleníthetők meg, akár mobil alkalmazásokban a mai, elektronikus térképek fedvényeként, egyfajta időgép adataiként használva azokat.

Hány méter az egy méter?

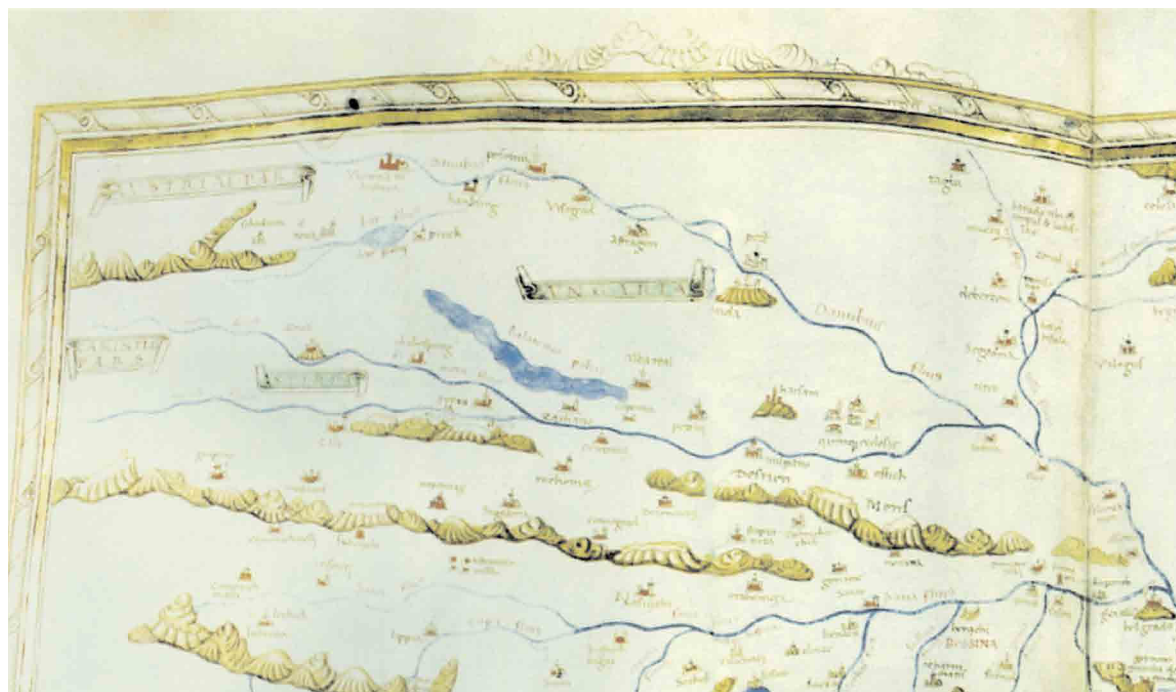
A térképeket jellemző számos minőségi mutató közül talán a legfontosabb a méretarány. Ez – kis egyszerűsítéssel – azt mutatja meg, hogy a térképet hányszorosára nagyítva kapjuk meg a valós terepet. Ha a térkép méretaránya 1:100 000, akkor százezerszeres nagyítással jutunk el a valódi terepi méretekhez. A Föld görbült alakja miatt viszont ez az egyszerűsítés csak kb. 1:1 millió méretarányig ad elfogadható közelítést. Minél nagyobb a térkép méretaránya (vagyis minél kisebb a méretarány „1:X” kifejezésében az egységgel arányba állított „X” szám), annál részletesebben mutatja be a területet. Ennek az az „ára”, hogy egy kézbe vehető méretű térkép ilyen felbontásban csak viszonylag kisebb terület bemutatására alkalmas. Minthogy a Balaton hossza körülbelül 77 kilométer, ha a tó térségét 100 kilométernek tekintjük, egy széthajtogatva 1 méter kiterjedésű térkép méretaránya 1:100 000 lehet: a térképi 1 méter a valóságban százezer méter hosszúságig nyúló területet mutat be. A mai technológia sokkal inkább a mobil eszközökön történő térkép-megjelenítést támogatja, természetesen egyre inkább a GPS által szolgáltatott pozíció feltüntetésével. E fejezetben a Balaton történeti térképeit tekintjük át egészen a közelmúltig, és mivel e térképek papír alapúak, így a méretarány ismerete továbbra is fontos a tárgyalásukkor.

Topográfiai térképek

Az első, mai értelemben térképnek nevezhető kéziratok és nyomatok a XV. századból maradtak fenn. Ezek, a Kárpát-medencét a török hódoltság előtt és alatt ábrázoló térképek mai értelemben még nem minősülnek topográfiai térképnek. Az ismert kéziratok és nyomtatott térképek legfeljebb topológiai értelemben adnak felvilágosítást. Számos esetben még így is feloldhatatlan ellentmondások mutatkoznak az egyes térképek összehasonlításakor. Jelentős részükben, ha alig felismerhetően is, de megjelenik az ország, a Balaton azonban hiányzik róluk. Ennek oka, hogy a legtöbb térkép Ptolemaiosz, a neves ókori tudós másolataiban fennmaradt könyvének alapult, amiben számos hely földrajzi koordinátáját táblázatba foglalta, de a tó nem szerepelt ezek között.

Más részükön, amelyek már a középkor végi utazások leírásain alapultak, megjelenik a Balaton körvonala. Első ábrázolása Henricus Martellus Germanicus kéziratban Ptolemaiosz atlaszából ismert. Itt az alakja elnyúlt, valódi csapására szinte merőlegesen megjelenő orsó. Másik végletben kerekded, ahogy Magyarországon egyik első, Giovanni Andrea Vavassore által jegyzett fametszetes térképén látható. E térképektől pontosságot és alakhűséget nem lehet elvárni. Kevés és pontatlan helymeghatározás állt a térképek torzításai mögött, amelyek a XVI. század elejétől egészen a XVIII. század közepéig alig módosultak. A Kárpát-medence a törökökkel folytatott szakadatlan küzdelem színtere volt, ezért hiába ébredt felfokozott érdeklődés az itt zajló események irányába, helymeghatározási és térképezési munkák lényegében nem zajlottak. Ugyanakkor a térképkiadók és országleírók törekedtek szóbeli hírek térképi ábrázolására, ezért gyakran fordultak a tó

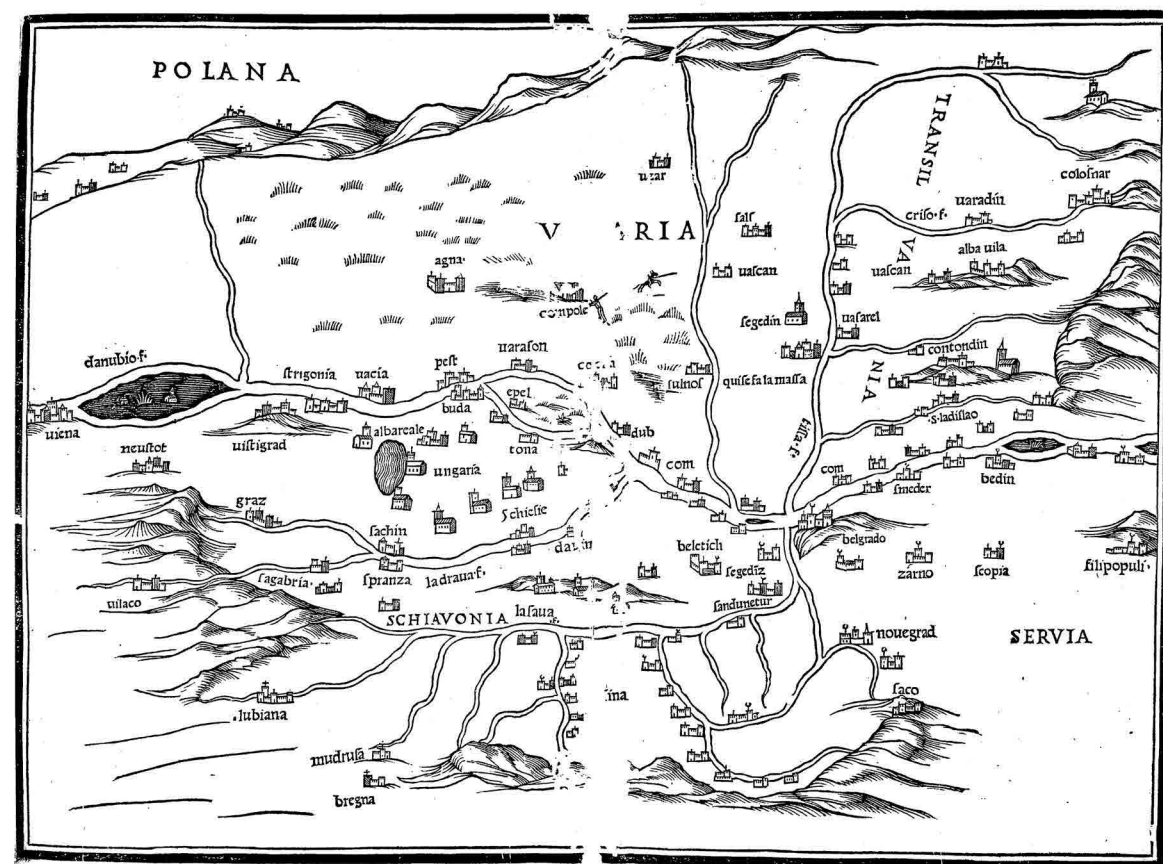
► A Balaton első ismert ábrázolása Henricus Martellus Germanicus XV. század végi kézíratos térképén. Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze



helyzetének és alakjának korábbi térképeken megjelenő másolásához, így örökítve akár évszázadokon át az elkövetett hibákat.

De nem csupán a tó, hanem a vízhálózat és a korabeli településhálózat – különösen érvényes ez a feltüntetett településnevekre

► Vavassore 1987-ben kötetestáblából előkerült Magyarország térképe



– hasonlóan eltorzítva jelent meg a térképek többségén. A legszembetűnőbb elrajzolás a vízhálózatban a Duna szinte egyenes ÉNy–DK-i lefutása a Dunakanyar nélkül, valamint a Tisza, amely hegyesszögben torkolt a Dunába. Ez a napjainkban igen durva, a másolásokból eredő vízrajzi váz csak valamikor a XVIII. század közepén tűnt el a térképekről.

Lázár deák térképe

Hazánk és a Kárpát-medence térképi ábrázolásának történetében korszakos előrelépést jelentett az úgynevezett „Lázár deák térképe”, a Tabula Hungariae. Ez az egy példányban fennmaradt fametszetes lap tekinthető Magyarország első „valódi” térképének. A Mátyás-korabeli ország területét a Kárpátoktól az Adriai-tengerig, Boszniával együtt ábrázolja. Az adatsűrűség és az olvashatóság megszabta méretaránya helyről helyre változóan 1:1 200 000 körüli. A kívánt részletességű térkép fizikai kiterjedése meghaladta mind a „kézbe vehető”, mind pedig a nyomdai dúcba helyezhető méretet, ezért a teljes országot négy összeillő szelvényen ábrázolta. A térkép tájolása meglehetősen érdekes: a földrajzi észak mintegy 40 fokkal balra el van forgatva a térképi „felfelé” iránytól, vagy a jobb helykihasználás és az esztétikusabb megjelenés, vagy pedig egyszerűen a Ptolemaiosz-féle világtérképeken használt vetület alkalmazása miatt.

A térképnek már volt mind geodéziai, mind vetületi alapja. A fontosabb városok földrajzi helye Ptolemaiosz ókori táblázatán alapul, de a reneszánsz időszakban az ehhez hozzátett kiegészítések lehetővé tették egy jóval pontosabb térkép elkészítését. Ptolemaiosz egy vetület leírását is megadja ókori művében – ennek alkalmazása a Lázár-térkép esetében matematikailag valószínűsíthető. A térkép illesztési pontossága a

mai térinformatikai adatbázisokhoz meglepően jó – egy kilométer körüli – azokon a helyeken, ahol Mátyás idején csillagvizsgáló működhetett, viszont az ország központjától távoli helyeken – az erdélyi és a déli határvidéken, illetve az adriai partokon – 20 kilométeres hibák is előfordulnak.

A térkép publikálásának dátuma 1528, felmérése azonban feltehetően Magyarország XV. századi hatalmi csúcspontjához, a késői Mátyás-korhoz kötődik. Valószínűleg a már szinte teljesen elkészült térképre, a kiadás előtt vezették fel a mohácsi csata helyét és annak sematikus ábrázolását, valamint egy Budáig felnyúló pontsorral a törökök uralta országrész határát is.

Lázár térképe nemcsak az országot, illetve a régiót, hanem a Balaton tekintetében is az első, valóban valamelyest felmérési alapot és



► Lázár deák térképének balatoni részlete

► Lázár deák egy példányban fennmaradt Magyarország térképe



terepbejárás tapasztalatokat is tartalmazó térképi munka. A tó ábrázolása azonban nagyon sematikus. Fő értékét az jelenti, hogy

megadja a török háborúk előtti településhálózatot, közöttük a Balaton-felvidék fontosabb várait is. Ez igen fontos adat, hiszen a török

hódoltság korában a Balaton több mint száz évig a törökök által megszállt országrész és a maradék Magyar Királyság közötti határvonalon feküdt. A munka jelentőségét mutatja, hogy még ugyanebben a században legalább hat Magyarország térképéhez szolgált alapul (például Vavassore, Zsámboky, Lafreri stb.).

Földrajzi szempontból különösen érdekes, hogy Tihany e térképen szigetként szerepel. Ezt a mai domborzat, a félszigetet az északi parttal összekötő földnyelv mocsári üledékei, a tó középkori, magasabb vízszintje ugyanúgy lehetségessé teszik, mint a jelenlegi felszínmozgásokból visszakövetkeztetett korabeli helyzet.

A Lázár-féle térkép topográfiai értelemben nem tekinthető adatforrásnak. Miközben a térkép geodéziai kontrollja a Balaton térségében 5 kilométer pontosságúnak becsülhető, maga a tó ábrázolása nem is emlékeztet a mai alakjára. Ez Tihany sziget-jellege esetén akár el is fogadható, azonban más információt nem tartalmaz azon túl, hogy van ott egy tó, amely délnyugat–északkeleti irányban elnyúlt. Ráadásul a tó hossza eltúlzott: Székesfehérvár irányában túlmutat a mostani partvonalon, amely – épp a kenesei magaspart kiemelt morfológiai helyzete miatt – kizárt. Az lehetséges, hogy a tótól északkeletre akár több kisebb, a Balatontól különálló tó is hullámozott egészen a Velencei-tóig (például a Tikacs süllyedéke), de ezeknek a mai domborzat és a mocsári üledékek hiánya miatt nem lehetett balatoni kapcsolatuk.

Szintén érdemes megjegyezni, hogy Lázár térképén a Balatonnak sem tápláló, sem lecsapoló vízfolyása nincs feltüntetve, vagyis a Zala folyó – mint a korban is jelentősnek számító vízfolyás – nem kapcsolódik a tóhoz. Ezt még érdekesebbé teszi, hogy a ma szintén kis vízhozamú Sárvíz és Kapos viszont rajta vannak a térképen.

Vízrajzi változatok a XVI–XVIII. századi Magyarország ábrázolásokon

Sajátos az utóélete a Balaton és benne Tihany fenti térképi ábrázolásának. A XVI. század közepétől egy laikusok számára is feltűnő néma vetélkedés indult meg két, egymásnak ellentmondó Tihany-ábrázolás között. A térképolvasóknak maguknak kellett választaniuk, hogy a déli vagy az északi vízparthoz kapcsolódó Tihanyi-sziget ábrázolást fogadják-e el valósnak. A helyszíni ellenőrzések lehetetlensége miatt ez a kettősség folyamatosan tovább élt a XVIII. század közepéig. Magyarázatot leginkább az ad erre, hogy az újabb térképek főként a korábbiak másolásával készültek, amikhez további elrajzolások és a velük együtt fellépő névrajzi romlások járultak.

Az ellentmondás eredete Wolfgang Laziusnak, I. Ferdinánd császár udvari térképészének 1552–1556-os Magyarországot, majd a Dunántúlt ábrázoló 1557-es haditérképére vezethető vissza. Ekkor készített „javított” változata nem véletlenül idézőjeles: e térképről sokat elmond, hogy Tihanyt, amely Lázárnál sziget, a déli parthoz kapcsolja. Ez nyilvánvaló tévedés: a Balaton legmélyebb része, hidrológiai okokból épp a Tihanyt Szántódtól elválasztó szorosban húzódó, 10 méteres mai mélységet is meghaladó Tihanyi-kút és nincs okunk kételkedni abban, hogy ez akkoriban is így volt. Inkább azt valószínűsítjük, hogy Lazius, vagy felmérésbeli segítői – épp a tó „frontvonal-jellege” miatt – a török kézben levő déli partra nem látogathattak el.

A hiba tovaterjedésének okát leginkább Laziusnak egy rendkívül széleskörűen ismertté vált Magyarország térképlapjában találhatjuk meg, amely belekerült a kor legfontosabb térképkiadójának, Abraham Orteliusnak több mint 40 kiadást megért atlaszába. Még a XVIII. század közepén is

► Lazius Magyar-
országot bemu-
tató térképének
részlete a Balat-
on környékéről



adtak ki neves térképkiadók olyan Magyarország
lapot, amelyen ez a hiba megjelenik.

Zsámboky János 1579-ben metszett, szín-
tén Ortelius kiadásában megjelent Magyar-
ország térképén ugyanakkor több vízrajzi
elem valószínűbben jelenik meg, mint a sok-
kal elterjedtebb Lazius változatokon. Tihany
az északi parttól nyúlik a tóba. Emellett a
Zala-folyó is határozottan a Keszthelyi-öböl-
be csatlakozik, torkolatához közel pedig kü-
lön kiemeli a Kis-Balaton lápos–mocsaras vi-
dékét, valamint egy markáns kettős vonallal
Zalahídvéget (számos névváltozatban), mint
átkelési lehetőséget a Zala mocsaras völgyé-
ben. Emellett a Duna lefutása is valóság-
hűbb, mint a Lazius térképen a szinte egye-
nes, átlós lefutása a Kárpát-medencében.

Amikor a Zala a XVI. század térképein
megjelenik, Lazius 1566-os térképén a Drá-
vába folyik, míg Zsámboky 1579-es kiadású

Magyarország térképén a Balatonba. Ez az
ellentmondás talán feloldható azzal, hogy a
Zalavári-hátat jelenleg is áttörő folyó keskeny
keresztvölgyét kis erőbefektetéssel elgátolva a
folyásiránya továbbra is déli irányba tartott,
akár a Dráváig. Katonai–stratégiai oka lehe-
tett, hogy így a legjelentősebb vízfolyás eltéri-
tésével a tó szintje leaszthatóvá vált.

Zsámboky 1579-es országtérképének Lazi-
ustól alapjaiban eltérő, de valósághűbb Balaton-
és Duna-ábrázolása szintén tovább követhető.
Számos, átmásolással szaporított klónja ismert,
amelyek időben a XVII–XVIII. század fordul-
ójáig követhetők (például Matthias Quad 1592,
Giacomo Cantelli da Vignola 1686, Vincenzo
Maria Coronelli 1688, Matthäus Seutter 1728).
Ritka kartográfia történeti különlegesség, hogy
Ortelius – nem tudván igazságot tenni Zsám-
boky és Lazius térképváltozatai között – mind
a kettőt belekötötte atlaszaiba.



► A Balaton
környéke
Zsámboky J.
1579-ben
megjelenő Orte-
lius atlaszlapján

A legszembetűnőbb térképi hibák korrekciója a törökök Balkánra szorítását követően gyorsult fel. A karlócai és a pozsareváci békéhez (1699 és 1718) vezető győztes harcok során számos külföldi hadimérnök tevékenykedett az országban, köztük Luigi Fernando Marsigli gróf, aki Duna menti felmérései során asztronómiai megfigyelésekkel rögzítette a Duna Dunakanyarnál

sából 1709-ben Johann Christoph Müller elkészítette Magyarország első, lényegében valósághűnek tekinthető térképét.

A török uralom alól felszabadult ország újjáélesztése, betelepítése rendkívül sokrétű felmérési és kitűzési feladatot rótt a szakemberekre. A katonai térképészek leginkább csak új települések kitűzésében és telepítési térképek készítésében vettek részt. A köz-

Geometricum-on folyt a képzés. Selmezbányán az 1735-ben megindult felsőfokú bányászati akadémia ugyancsak számos földmérőt bocsátott ki. Itt tanított a hazai polgári térképészet jeles tudósa, Mikovinyi Sámuel, akinek munkái rendkívüli hatással voltak a polgári térképészetre. A földmérők számtalan pontos kéziratot térképpel szolgáltattak a kisebb méretarányú térképek szerkesztéséhez.

Mikoviny Sámuel megyetérképe

A Balatonról újabb érdemi információkat leginkább Mikoviny Sámuel, 1735(?) -ben jelent, Veszprém megyét ábrázoló kéziratot térképén találhatunk. Bár Veszprém megye ebben az időben csak a tó parti sávjának kis részére (nagyjából Balatonalmáditól Siófokig) terjedt ki, a partvonal-ábrázolás és a vízrajz változása jelentős Lázárhoz képest. Tihany itt már az északi parthoz csatlakozó félsziget, benne a Belső- és Külső-tóval, a somogyi

parton Boglár és Fonyód dombjaival, és megjelenik a Sió, amely a Cinca vizét felvéve a Kaposba ömlik. Mikoviny megyei térképei az elsők, amelyeket dokumentált földrajzi helymeghatározás alapján kapott koordinátákkal is elláttak, ezek pontossága körülbelül 5 szögpercre (5–8 kilométer) becsülhető. Mikoviny megyetérképei azonban nem készültek el teljes számban, így a Zala megyei mű sem, pedig a Balaton szinte teljes északi partja Zala megyéhez tartozott akkor.

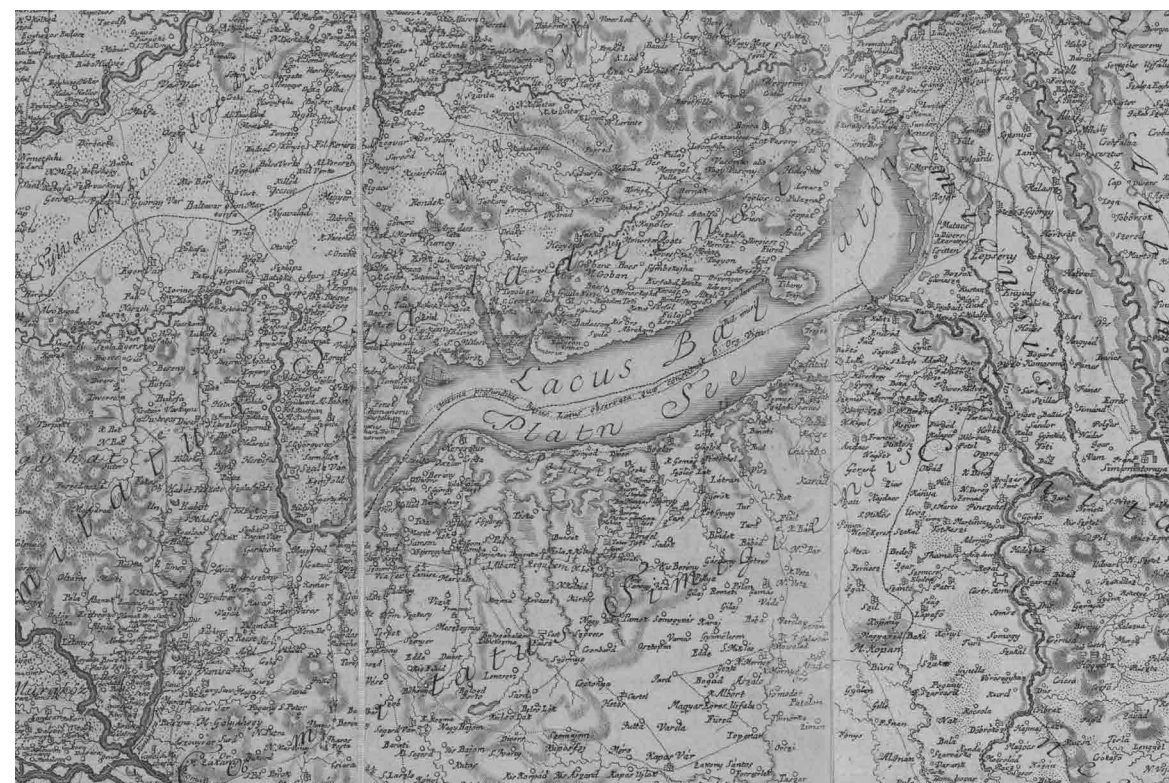
A déli partvonal hiányát Müller Ignác 1769-es országtérképe pótolta valamelyest. Számunkra e térkép az eddigiekben megadott topológiai elemek (Tihany félsziget-jellege és tavai, déli parti dombok, vízfolyások) megerősítésén túl már a Balaton vízmélységére is utal. Térképén a mainál a Kis-Balaton irányába akkor természetesen hosszabb tó furcsa banánalakban a két végén északra hajlítva jelenik meg, ami felmérési hibákból adódhat. Ugyanakkor

▶ *Matthäus Seutter 1728-as országtérképe*



délre forduló irányát, kiküszöbölve ezzel a korábbi térképek ÉNy–DK-i csapású Duna ábrázolásának vízrajzi torzítását. Ugyanebben az időben Stephan Wallner mérnökszázados a Tisza völgyének hasonló felmérését végezte el. A századforduló új és a korábbiakat lényegesen meghaladó pontosságú alapanyagainak felhasználásával a magyar Kamara megbízá-

igazgatás (adóztatás), a birtok-, erdő- és határrendezések, vízszabályozási munkák alapvetően polgári feladatok voltak, és a fellendült szakemberigény magával hozta a felsőfokú szakképzést. Nagyszombat egyetemén már az 1600-as évek második felétől számos földmérő és térképész tanult, majd az egyetem Budára költözése után az Institutum



▶ *A Balaton legmélyebb részét kijelölő vápa Müller I. 1769-ben készült térképén*

az ő térképe az első, amely mélységadatot tartalmaz: a tó nyugati medencéjének a középvo-
nalában egy 6 bécsi öl (11,3 méter) maximális
mélységű keskeny árkot ábrázol.

Krieger Sámuel 1776-os kéziratos Balaton-térképe

Az első olyan térképmű, amelynek kifeje-
zett célja a Balaton ábrázolása volt, Krieger
Sámuel 1776-os, két kéziratos példányban
fennmaradt Balaton-térképe. A térképe-
zés célja a Balaton lecsapolásának előkészí-
tése volt. A gigantikusra tervezett termé-
szetátalakítás célja egyrészt a Sió és Zala
hajózhatóvá tétele, másrészt pedig termőföld
nyerése lett volna. A térkép tehát feltünteti a
becsatornázandó folyószakaszokat és az egyes
települések leendő határát a tómeder helyén.
A térkép méretaránya 1:34 560 (a kor mér-
tékegységeivel egy hüvelyk ötszáz ölnek felel

meg), tehát a mai turistatérképekhez hasonló
részletességű, papíron körülbelül 2x0,5 méter
területű. Krieger részletesen bejárta a Balaton
környékét, és korának legjobb geodéziai mód-
szereivel és eszközeivel dolgozott. A munka
során felvette a Balatonba betorkolló folyók
vízhozamát, sőt vízmélység-méréseket is vég-
zett, bár mérési pontjainak nem ismerjük a
helyét. Megfigyeléseit, eredményeit a térkép-
hez kapcsolt részletes latin nyelvű dokumen-
tációban közölte, ami a tóról írt legkorábbi
tudományos monográfiának tekinthető.

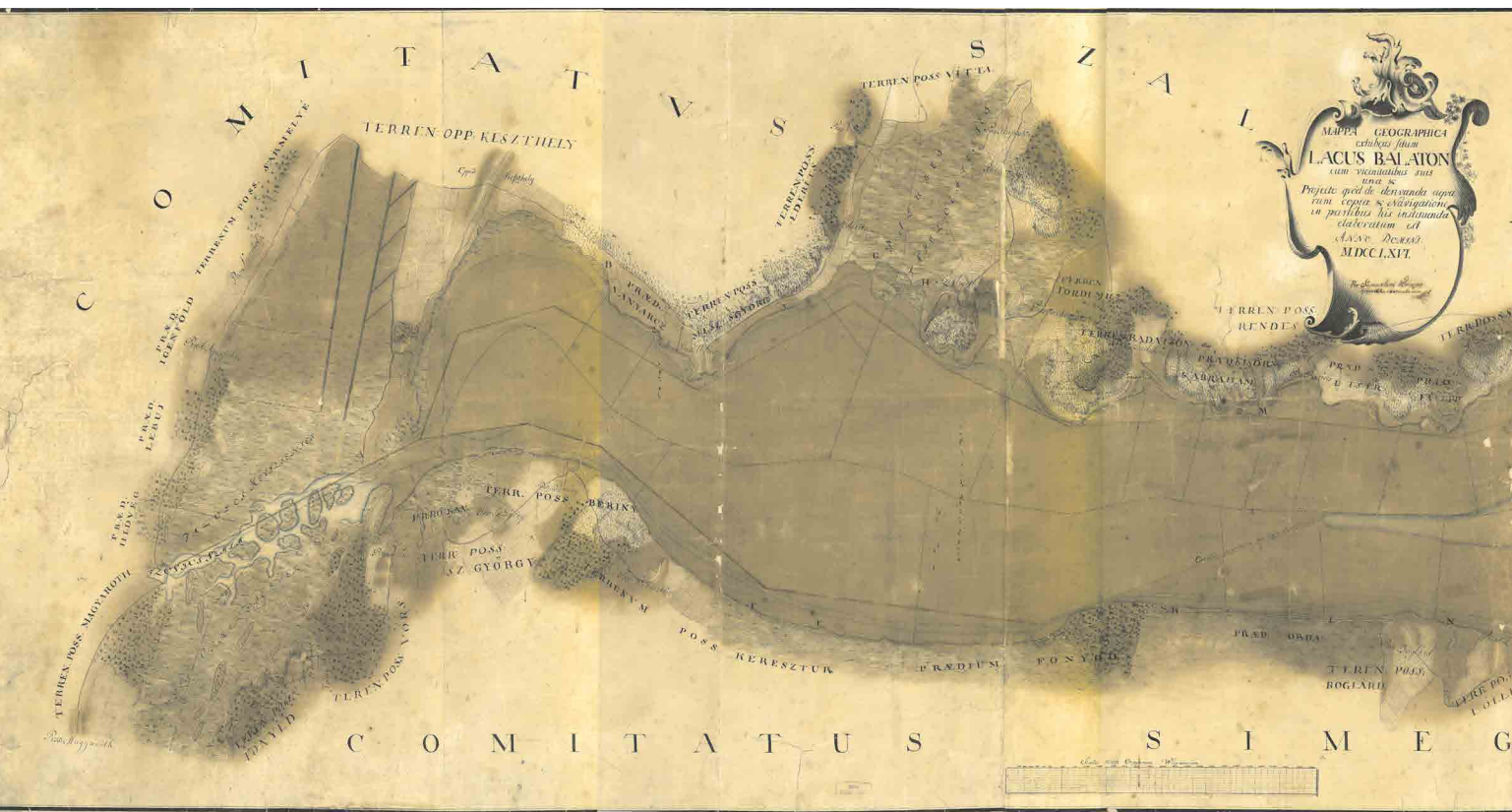
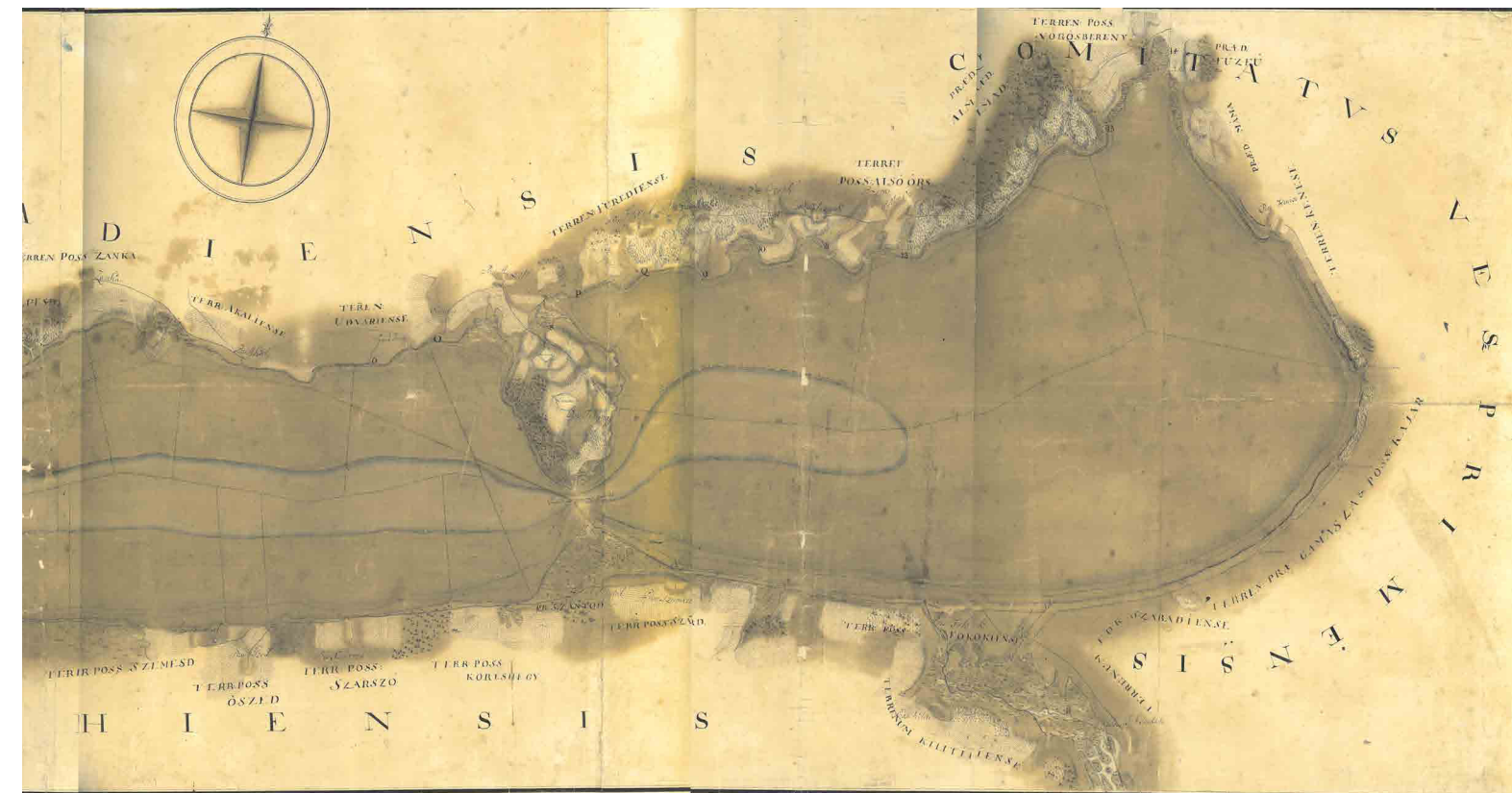
A Krieger-térkép mélységvonalai lehetővé
tették a tó vízszintjének rekonstrukcióját. Ha
elhanyagolhatónak vesszük a tó átlagában a
feliszapolódást – vagyis feltételezzük, hogy
Krieger idejében a vízszint más volt, mint
most, de a tómeder nagyjából hasonlított
a jelenlegihez –, akkor az általa feltüntetett

mélységvonalak helyén a meder tengerszint fe-
letti magasságához hozzáadhatjuk a Krieger ál-
tal mért vízmélységet, és megkapjuk a Krieger
korabeli vízszint tengerszint feletti magassá-
gát. Ha ezt több pontban is elvégezzük, az
eredmények szórásából következtethetünk a
becslés pontosságára. A Krieger-térkép esetén
ez a művelet meglepően pontosnak tűnő ered-
ményeket adott. A rekonstrukció eredménye
azonban némiképp meglepő: 107,0 méteres
Adria alapszint fölötti magasságot kaptunk,
tehát Krieger idejében a Balaton középvíz-
szintje a jelenleginél csak két méterrel volt ma-
gasabb. Ez az adat a tó legkorábbi, geodéziai
felmérésből származó vízszintje.

A XVIII. század végére a katonai és pol-
gári térképészet szinte függetlenül működött
egymás mellett. Az osztrák irányítású katonai
térképészet (Militar-Geographische Institut,

Bécs) megkezdte a több mint 140 évig tartó
katonai felméréseket a birodalom területén.
Ebből a polgári térképészet szinte semmit,
vagy igen szerény részt tudott csupán fel-
használni. Saját, polgári célú mérései azon-
ban fokozatosan lehetővé tették a jelentősebb
birtokok, erdők, régiók és teljes vármegyék
mai értelemben vett „pontos” felvételét. Kül-
önösen fontossá vált a vízszabályozás és a
vízrendezés feladata, mert az évszázadokig
elhanyagolt munkák miatt az évenkénti ár-
vizek és a kiterjedt lápvilág a közlekedéstől
a termőföldek használatba vételéig minden-
féle fejlődést gátolt. A katonai térképek tit-
kossága miatt ezekre a polgári céllal készült
részletekre támaszkodhatott Lipszky János,
aki a XIX. század első felének igen népszerű,
az adott körülmények között a legkorrektebb
országterképét szerkesztette meg.

Krieger Sámuel
kéziratos
Balaton
térképének
részlete,
körülhatárolva
a tó legnagyobb
mélysége



A Krieger-térkép...

Krieger térképét mai digitális térinformatikai rendszerbe illesztve átrajoltuk a rajta feltüntetett mélységvonalakat, és a rajz minden egyes töréspontjára kiszámítottuk a meder tengerszint feletti magasságát. A térképen a két- és háromöles mélységvonalakat tartottuk hitelesnek (az egyöles mélységvonal a későbbi partvonalváltozások, feltöltések miatt túl sok hibás pontot tartalmazott), így két, részben függetlennek tekinthető mintarendszer adatait hasonlíthattuk össze, egyenként több ezer ponttal. Az adatok szórása egy méter körüli, a két adatrendszerből számított vízszint különbsége fél méternek adódott. Krieger leírja azt is, hogy a tó vízszintje egy-egy éven belül három–négy lábat ingadozik (0,9–1,2 m), tehát a becslés hibája belül esik a rendszeres ingadozáson.

Lipszky János térképe

Lipszky János huszártiszt 1804–1810 között elkészített, 12 szelvényes, körülbelül 1:480 000 méretarányú (tehát körülbelül a mai autótérképek felbontásában készült) térképműve a két évtizeddel korábbi, első katonai felmérésen kívül az első olyan térkép, amelyet nagyjából pontosan illeszthetünk a mai térképekre, így számszerű vizsgálatokra is alkalmas. Méretaránya alapján országtérkép, a Balaton és környéke a 4. szelvényen, egyben látható. Rátéekintve a mai szemmel ismerős alakot követi, délnyugaton a Kis-Balaton ekkor még szerves részét képezi. A kapcsolódó folyóháló-

zat már a modern ismeretekkel nagyrészt azonos, a partvonal egyes apró részletei azonban mai ismereteink alapján bizonytalanok, illetve felszínközeli mintavétellel esetleg igazolhatók.

Népszerűségét számos kiadása, kisebbített változata, és az Edmund von Zuccheri kiadásában újrametszett, számos kiadást megélt falitérképe igazolja. A Lipszky-térkép szolgált François Sulpice Beudant geológiai országtérképének topográfiai alapjaként is.

A Habsburg katonai felmérések

A Habsburg Birodalom egymást követő katonai felmérései jelentik a nagy felbontású (nagy méretarányú) topográfiai igényű térképeket tágabb régiókról, így a Balaton környékéről is. Magyarországon az első felmérés 1783–86 között; a második felmérés 1822–1861 között; a harmadik felmérés 1880 után zajlott.

Az első katonai felmérés térképeinek méretaránya metrikus rendszerben a francia mintánál háromszor nagyobb (részletesebb), azaz 1:28 800, vagyis a mai turistatérképeknél is részletesebben ábrázolta a terepet. Geodéziai

A Habsburg katonai felmérések eredete

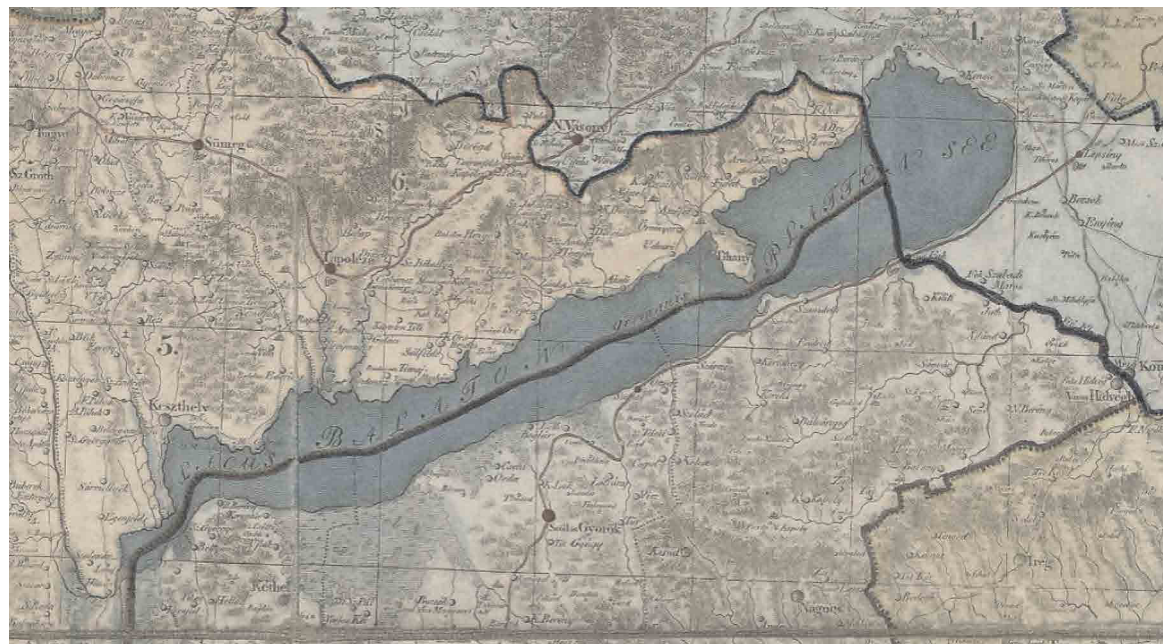
Az 1700-as évek közepétől Franciaországban a Cassini-csillagászdinasztia négy, egymást követő tagja állt igazgatóként a párizsi obszervatórium élén. Munkájuk eredményeként elkészült az első topográfiai országtérkép, 1:86 400 méretarányban. A felmérés és a térképezés módszere hamarosan egyfajta európai szabvánnyá vált. Miután a hét éves háborúban (1750–1757) Franciaország és a Habsburgok szövetségben voltak, és a baráti viszony egész a francia forradalmi időszakig fenn is maradt, a francia tudósok ezt az ismeretet 1761-ben átadták az osztrákoknak. Az első katonai felmérés a birodalom területén ezt követően indult meg. Magyarország területén már II. József császár idejében készült el, emiatt a térképművet „Jozefiánus felmérés”-ként is emlegetik.

hátttere bizonytalan, szelvény-alapú illesztéssel a mai térképekhez képest 1–2 kilométeres vízszintes eltolás mutatkozik, amit helyi korrekcióval 200 méter alattira lehet javítani. Az első katonai felmérés – a bő fél évszázaddal későbbi második felméréshez hasonlóan – a gyalogsági harcászat igényeinek megfelelően készült. Emiatt elsődleges fontosságú célja az volt, hogy az egyes terepszakaszok megközelíthetőségét bemutassa; így a területek „mocsár” jellege minden mást felülír, a „mocsaras erdők” esetében az „erdő” bemutatása sokszor elmarad. De épp emiatt az első katonai felmérés a Balaton környéki berkek, lápok és mocsarak első nagyméretarányú térképi ábrázolása is. A

tó partvonalának helyzete a mainál némileg magasabb vízszintnek megfelelő.

A második katonai felmérés az első olyan topográfiai térképmű, amelynek geodéziai

▶ Lipszky János 1805-ben kiadott ország-térképének Balatont ábrázoló részlete



▶ A második katonai felmérés topográfiai térképlapja (részlet)

kontrollja már megközelíti a mai kartográfiai termékekét. Méretaránya azonos az első felmérésével. Bár a szelvények az első felméréshez hasonlóan sem földrajzi sem térképi-vetületi koordinátákat nem adnak meg, a szelvényhatárok vetületi hálózati vonalakként értelmezhetők, és így egy ismert geodéziai elhelyezésű alapfelületen, a bécsi Stephansdommal, mint vetületi kezdőponttal definiált Cassini-vetületben a szelvények sarokpontjai elhelyezhetők. E módszerrel a mai térképekhez történő illesztésének hibája térségünkben maximum 40–50 méter (2 térképi milliméter), amit akár a szelvények szkennelés előtti hajtogatása, vagy vászonra kasírozása is okozhat.

A második katonai felmérés – méretarányát, az ábrázolás és a geodézia minőségét együttesen tekintve – korának vezető térképműve volt, vagyis Magyarország és így a Balaton is a XIX. század közepén a világ legkorszerűbben feltérképezett részéhez tartozott. A térképmű felmérési ideje a Balaton térségében a szabadságharc körüli: Veszprém környéke 1846–1847; míg a part nagy részén 1855–1857 közötti, vagyis bőven az 1867-es déli parti vasútépítés és a kapcsolódó vízszintcsökkentés előtti. Az 1:28 800 méretarányú felmérési szelvények alapján 1:144 000 méretarányú, rézbe metszett átnézeti térképek is készültek. Ezek a polgári felhasználók számára egyéb térképművek híján igen jelentősek voltak. A földtudományi jelentőségük abban nyilvánult meg, hogy az alábbiakban ismertetett, 1:144 000-es földtani térképek számára ez a térképmű szolgált munkatérképként, azaz fekete-fehér alapként, amelyre a geológiai ismereteket manuálisan „rászínezték”.

A harmadik katonai felmérés gyökeres változást hozott az előzőkhöz képest. A Cassini-féle felmérési és térképezési módszer helyett immár a

tűzéség igényeinek megfelelő, szögtartó térkép-sorozat elkészítése volt a cél. A felmérés méretaránya 1:25 000 volt, és az ezekből származtatott, azonos korú állapotot mutató 1:75 000 méretarányú szelvényekkel gyakran találkozhatunk például antikváriumokban; utóbbit ugyanis már sokszorosították, ezért a széles közönség számára is elérhetővé vált. Az 1:75 000-es méretarányú szelvényeket még a második világháborút követően is felhasználták a geológiai, illetve geofizikai észlelési térképek munkatérképeiként.

A térképmű geodéziai és vetületi alapja mindazonáltal az új technológia miatt számos gyermekbetegségben szenvedett. A geodéziai alappontok hálózatát elkezdtek az akkor kifejlesztett Gauss-féle kiegyenlítéssel ellipszoidra helyezni, ez a munka azonban nem fejeződött be az 1878-as Balkán-háború miatt. A szelvényeket az 1880-as évek elején rohammunkában kinyomtatták úgy, amilyen állapotban épp voltak, emiatt azonban a vízszintes illeszkedés globális hibája ismét több száz méter lett, ami szerencsére az egyes helyszíneken javítható. A hálózati kiegyenlítés 1892-ben elkészült, és adatai 1901-től elérhetővé váltak. A korrigált térképek egy részét a háború idején kiadták, a teljes új kiadás azonban a Monarchia megszűnése miatt elmaradt.

A térkép vetülete az 1:75 000-es lapokhoz rendelt síkdarabokból álló poliéderhálózat. Ez szelvényen belül szögtartó, de a szelvényhatáron a térkép nem illeszthető síkban. Az 1:25 000 méretarányú szelvényeken helyenként már megjelenik a szintvonalas domborzatábrázolás. (Ezt megelőzően a domborzatot számszerűen csak a csúcsokon és a geodéziai alapponton adták meg, minden más helyen a gyalogsági hadviselésben fontos meredekségre utaló „csíkozás” volt a domborzatábrázolás alapja, bár az esésirányú csíkozás megrajzolásához szükség volt a szint-

vonalak meghúzására.) A hiányos magassági adatok kiegészítésére a földtani terepbejárások elmaradhatatlan műszerévé váltak a közelítő magasságot megadó barométerek.

Magyar felmérések

A függetlenné vált ország területi változásai szerencsére nem érintették a Balaton térségét. Az önálló magyar térképészet, katonai irányítás mellett megkezdte a korábbi osztrák–magyar térképek felújítását és a változó terepviszonyok feltüntetését. Ez a munka a második világháborúra a teljes (ideiglenesen megnőtt területű) országra elkészült. A térképmű méretaránya 1:50 000 lett, amelyet részben a Gellérthegy-középpontú síkvetületi koordinátákkal, részben a második világháborúban, a német hadsereg által használt koordinátarendszerrel láttak el.

A második világháborút követően, az 1950-es években először ezen térképek felújításával készült el az ország 1:25 000 méretarányú katonai térképsorozata. Hazánk északkeleti tájain ennek koordinátarendszere már a Szovjetunióban használt 1942-es rendszer volt, míg az ország egyéb tájain – így a Balaton térségében is – az 1950-es évek elején még a német világháborús katonai hálózat volt az alapfelület. Ez a helyzet 1958-ig állt fenn. Az új, egységes katonai térképsorozat már a szovjet rendszert használta, és ennek minimális módosításával és felújításával készült az 1983-as katonai sorozat is.

Időközben, 1975-ben a magyar polgári térképészet bevezette az Egységes Országos Vetületet (EOV), amely mindmáig a hazai topográfiai és kataszteri térképészet koordinátarendszere. Ebben a rendszerben a legrészletesebb térképek méretaránya 1:10 000. A Magyar Állami Földtani Intézet 2000-es években kiadott geológiai térképsorozatának alaptérképeit az EOV

1:100 000 méretarányú lapjai jelentik, míg a megelőző, szocialista korszakban a geológiai térképek bázisát a szovjet rendszer 1:200 000 méretarányú lapjai adták, hasonlóan a Varsói Szerződés többi tagállamához.

Földtani térképek

Országleírások földtani vonatkozású térképekkel

Az 1700-as évek végétől kezdve, a Magyarországról kevés információval rendelkező nyugat-európai országokból számos utazó tett kisebb-nagyobb körutat hazánkban, amelyek alapján aztán térképmellékleteket tartalmazó, vaskos országleírások készültek. Előbb Robert Townson, angol természettudós járta be az országot, aki 1797-ben megjelent könyvének mellékletéhez egy már meglévő, Korabinszky János Mátyás által szerkesztett térképet használt fel. Térképe – így a Balaton és vidéke is – a helyszíni ellenőrzés nélküli, másolt források miatt elnagyolt, de különös értéke, hogy az északi országrészekben, foltszerűen egyes földtani képződmények elterjedését is feltünteti. A térkép, bár tartalmaz utalásokat a kőzetek minőségére, előfordulására, csak távoli rokona a mai geológiai térképeinknek: a tudós utazásának helyszínein és azok környékén, nem feltétlenül saját észlelései, hanem sokszor a helyiek elmondása alapján rajzolt be foltszerűen kőzetjeleket Korabinszky országtérképére. A Townson-térkép a Balaton térségére még nem ad helyi geológiai ismereteket.

Lényegesen fontosabb földtudományi szempontból a francia François Sulpice Beudant háromkötetes munkája. Az 1822-ben napvilágot látott vaskos munka mérőföldkönek tekinthető, mert kétkötetnyi országleírás mellett a harmadik kötet teljes egészében egy alapos bejárason nyugvó leírást ad az akkori idők

Földtani térképek

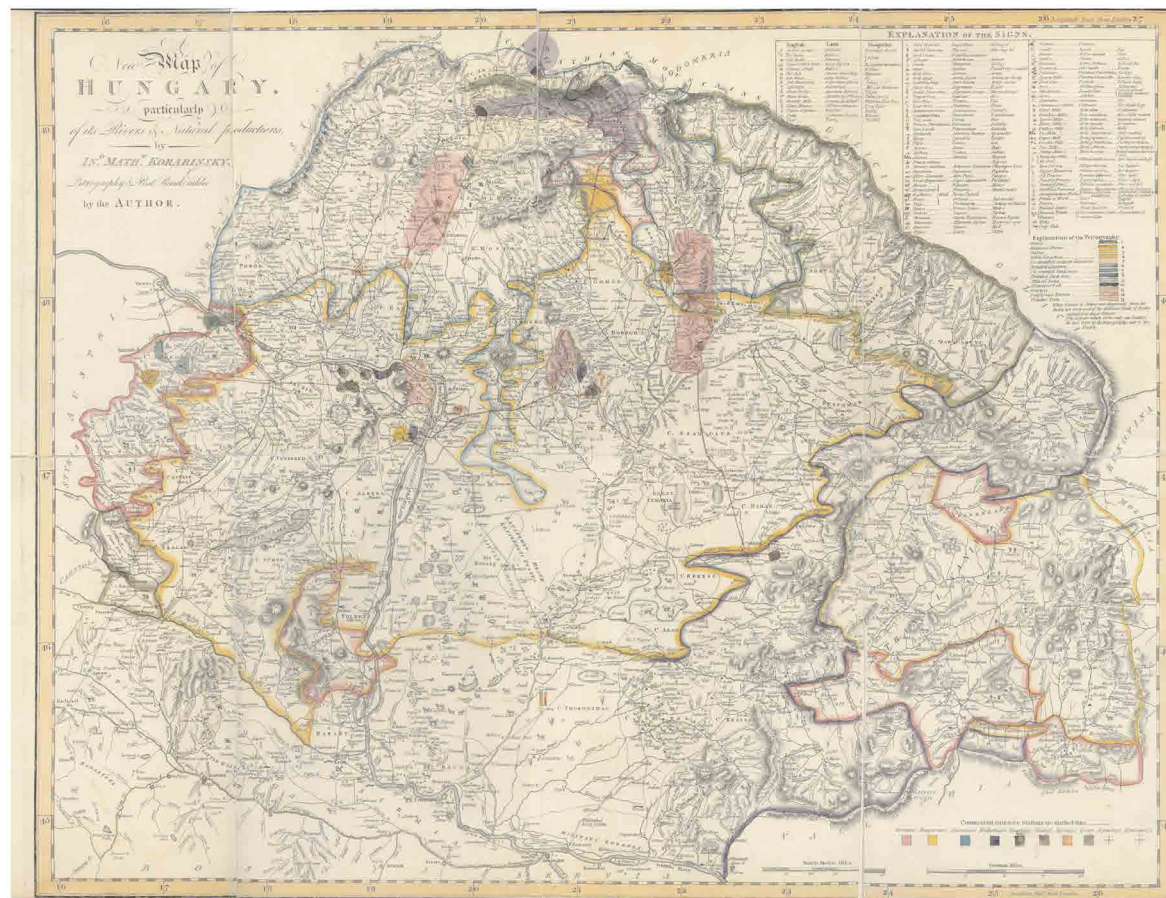
Földtani (geológiai) térképeknek azokat nevezzük, amelyek a felszínen található, vagy az eltemetett kőzettestek anyagi minőségét (kőzettípusát) és esetleg azok érdekes, számszerűsíthető paramétereit térképszerűen mutatják be. A geológiai térkép lehet „fedett földtani térkép”, amelyen a legújabb időszak üledékei „elfedik” az idősebb kőzeteket és csak a felszínen található kőzettípusokat (az úgynevezett formációkat) mutatják be. Ezzel szemben a „fedetlen földtani térkép” csak egy bizonyos kornál idősebb kőzetek elterjedését ábrázolja. A földtani térképeknek is van geodéziai alapjuk; rendszerint valamely topográfiai térképmű vagy országterkép fontosabb síkrajzi elemeit (folyókák, tavak, utak, települések, határok) tartalmazó változatát használják e célra; ezt színezik ki geológiai tartalommal úgy, ahogy gyerekeink a kifestő könyvet – a nem elhanyagolható különbség, hogy ezek esetében a „kifestést” komoly terepi és laboratóriumi vizsgálatok alapján végzik.

világszínvonalú francia földtani ismereteinek az alkalmazásával, térképi mellékletei pedig egy külön, 4. kötetbe vannak egybekötve.

Az országtérkép alapjául – ahogy a szövegben meg is jegyezi – a korábbiakban leírt Lipszky-féle térképet használta fel. Méretarányai is újszerűek, rendhagyók voltak: az új, méter alapú francia hossz mértéket alkalmazta, évtizedekkel megelőzve a mindenféle váltószámokkal (mérőföld, lépés, öl, láb, vonal stb.) dolgozó térképészeket. Az országtérkép egymillió, a részlettérképek, így a Balaton vidéke is, százeres méretarányú. Ezért térképészeti tekintetben is úttörő jelentőségű a kiadvány.

Az országhatárokon túlnyúló földtani térkép 27 jelkulcsi elemével a közettani alaptípusok tekintetében napjainkban is helytálló, számos földtani szelvénye pedig jól tükrözi a leírt képződmények települési viszonyait.

Két részterületet külön kiemel a munkájában:
Selmezbányának és környékének a bányászati je-



▶ *Hazánk első,
nagyobb területet
ábrázoló, színe-
zett földtani
térképe*
(Townson, 1797)

[illegible]

*François Sulpice
Beudant
földtani tartalmú
térképe a Balaton
környékéről.
M=1:100 000*

lentősége indokolja a részletes térképét; a Balaton vidékének kiválasztásában pedig a földtani felépítés és a földrajzi–vízrajzi különlegessége is szerepet kaphatott. Mindazonáltal a Balaton térségének geológiáját nagy vonalakban pontosan vázolja fel: felismeri a Dunántúli-középhegység fő tömegének és a Keszthelyi-hegységnek a karbonátos jellegét, a fiatalabb üledékes formációkat, és a Balaton-felvidék bazaltfoltjait is.

A földtudományi célú térképek megjelenése

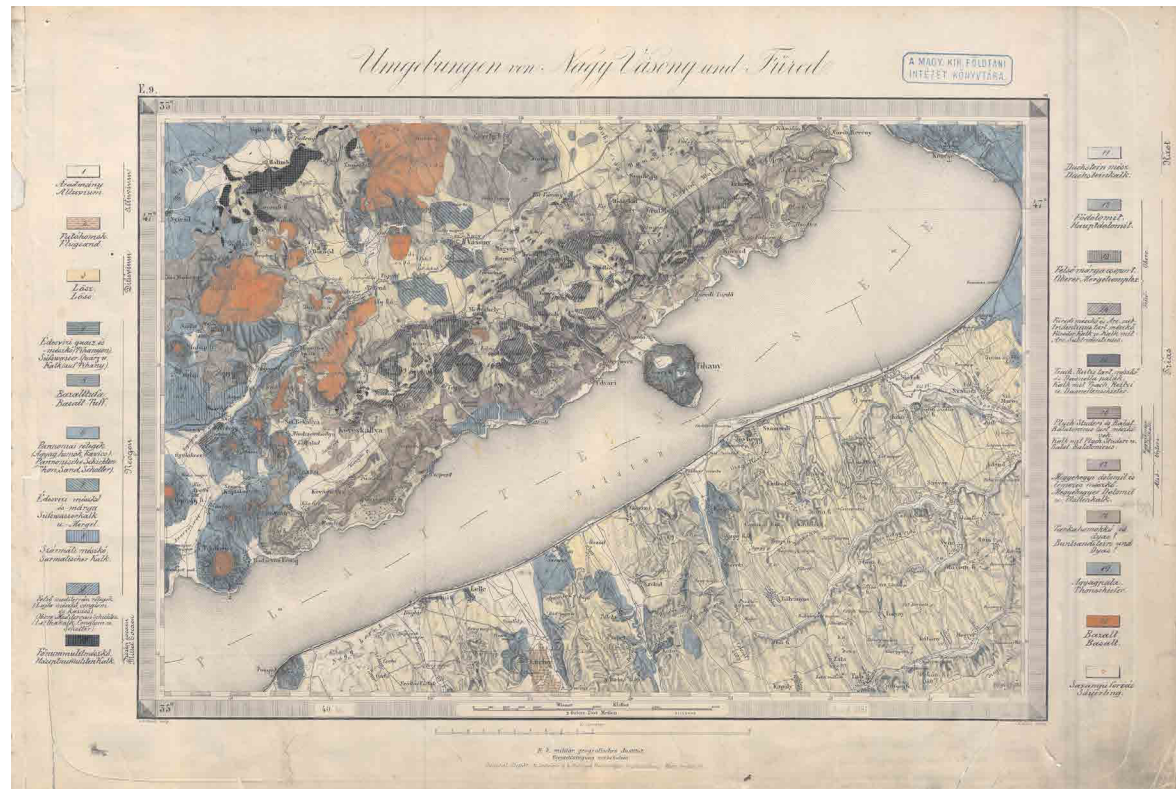
Ahogy a Balaton és a hozzá kapcsolódó mocsarak ábrázolásának kezdeti tökéletlenségei fokozatosan elmaradtak, úgy vált a XIX. században egyre inkább lehetőséggé a tónak a mind részletesebb ábrázolása, a környezetében zajló folyamatoknak a szakszerű kimutatása, a változások meghatározása és számszerűsítése.

Ahhoz, hogy a talpunk alatt lévő szilárd közeg földtani jellegzetességeit, így korukat, képződési viszonyaikat és közetösszetételüket meg lehessen határozni, alapfeltétel a megfelelő topográfiai térképalap. Az Osztrák Császárs-

ságban ugyan elsősorban hadi célok vezérelték a topográfiai térképezést, de a felszabadított területeken megindult iparosodás következtében megnövekedett a nyersanyag- és energiaigény, és persze az állandó háborúskodáshoz nélkülözhetetlen nemesfémbányászat. Ezek fejlesztése magával hozta a nyersanyagkutatás alapvető feltételének, a rendszeres geológiai kutatásoknak és a földtani térképezésnek a birodalmi szintű irányítását. Ennek központi szervezete az 1849-ben alakult bécsi Geologische Reichsanstalt, és az 1869-től önállóan működő Magyar Királyi Földtani Intézet lett.

Mindkét intézmény a földtani felvételek végzéséhez igényelte a megfelelő részletességű topográfiai térképi alapokat. Kézenfekvő lett volna az első és második katonai felvétel térképeihez fordulni, de a katonai titkossági rendszabályok felülírták az értelem szabályait. Az egypéldányos (kétpéldányos) kéziratok titkosak voltak, és igen nehéz volt ezt az akadályt megkerülni. Legelőször a második katonai felvétel eredetijéről engedélyezték egyszerűsített másolatok készítését, amit

► *Nagy-Vázsony és Füred vidéke. (Umgebungen von Nagy Vazsony und Füred 1:144 000) M. Kir. Földtani Intézet kiadványa (Böckh János, 1881, kézirat)*



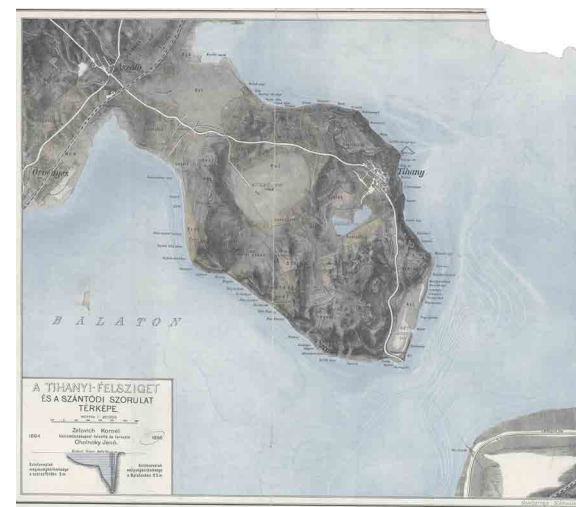
aztán a terepen használni lehetett. A felvételi lapok azonban sohasem váltak közkinccsé. Mindössze annyit ért el a polgári közigazgatás és a civil oldalról egyre hangsúlyosabban fellépő igény, hogy 3×3 felvételi lap egybevonásával összeállított, úgynevezett részletes térképek (Spezialkarte) 1:144 000-es lapjai megjelenhettek nyomtatásban.

Ennek megfelelően, az országról készülő rendszeres földtani felvételt is ezeken a nyomtatott szelvényalapokon kezdték el közreadni. A lapokon már főbb vonalakban felismerhető a földtani felépítés a mai ismereteinknek megfelelő alakban, így megfelelő támpontot adtak a részletesebb felvételeknek. Ilyen például a Balaton túlnyomó részét magába foglaló nagyvázsonyi szelvény.

Cholnoky Jenő Balaton kutatásai

Cholnoky Jenő eredetileg vízépítő mérnökként végzett 1892-ben. Első balatoni térképét is vizes témában készítette Zelovich Kornél-lal, aki akkor a József Műegyetem Mérnöki

Osztály Víz-, Híd-, Út- és Vasútépítéstan Tanszéke tanársegédje volt. Közös munkájuk *A Tihanyi-félsziget és a szántódi szorulat térképe* néven jelent meg, magyar és német kiadásban. Feltételezhetően ez a munka indította Lóczy Lajost, hogy a fiatal mérnököt pályaelhagyásra ösztönözze, és bevonja a balatoni kutatásokba. Ennek eredménye a Balaton monográfia limnográfijának leírása, aminek a

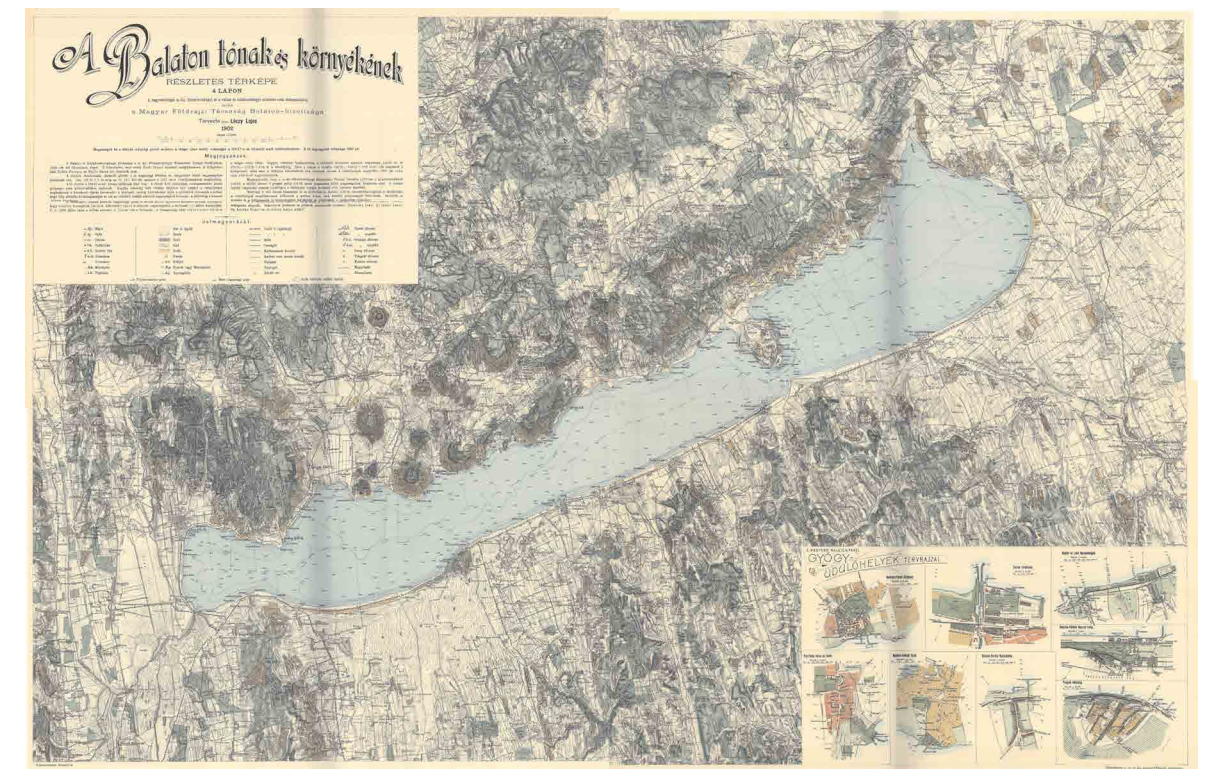


► *Cholnoky J. és Zelowicz K. 1897: A Tihanyi-félsziget és a szántódi szorulat térképe 1:20 000*

részeként megkezdődött a tó vízszíntingadozásainak (denivellációjának) rendszeres mérése, a Balatonkenesén és Keszthelyen létesített „limnografus”-ok telepítésével. Ugyancsak őt bízta meg Lóczy, hogy a Balaton medencéjének hidrográfiai leírását elkészítse. Cholnoky munkásságának folytatásaként még számos Balaton szintvonalas mélységtérkép keletkezett 1896 és 1930 között, egy részük nyomtatásban.

A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei

Az 1800-as évek végén indult meg a Magyar Földrajzi Társaság kezdeményezésére a Balaton és az azt körbezáró régió kutatása. A megjelentetett, *A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei* című monográfiában



természetszerűleg kiemelt helyet foglalnak el a földtudomány különféle szakterületei és 1:75 000-es méretarányú térképei.

Maga a térkép két változatból áll. Először, 1903-ban a topográfiai alap jelent meg. Négy

finom rajzolatú lapján a mederben szintvonalak mutatják a tófenék domborzatának abszolút magasságait 1 m-es mélységközökkel.

A másik változatot, a Balaton-felvidék földtani térképezésének és szintézisének térképét az I. világháború miatt késéssel, 1920-ban publikálták. Alapja az 1903-as részletes térkép volt. A fenékmélység ugyan hiányzik róla, de topográfiai alapja így is bőséges lehetőséget ad az alapos tudományos értékelésekhez. A rétegsorok monografikus leírásai még napjaink földtani felvételeinek menetét és rétegtani felosztását is alapvonalaiiban határozzák meg. Maga a jelkulcs is mutat érdekességeket, különösen annak tükrében, hogy geológus eleink folyamatosan részt vettek a nemzetközi egységesítésben és a nemzetközi földtani

► *A Balaton vízmélységének szintvonalai Lóczy 1903-ban kiadott 1:75 000-es topográfiai térképén*

jelkulcs kialakításában. Lóczy remek kartográfusi érzékkel rendelkezett, így szabadon átlépett néhány színkulcsi előírást, és a Balaton-felvidéken kitérképezett, a rétegek csapása mentén több tíz kilométeren át követhető vezető szinteket kék

raszterrel, vagy akár függőleges barnás vonalkázásokkal emelte ki. A szabályostól eltérő ábrázolási mód tökéletesen kirajzolja az idős permi és mezozoikumi üledékes összletek szerkezetét. Zseniális húzás: a közérthetőség elsődlegessége a görcsös szabálykövetések helyett.

említett Wolfgang Laziusnak és Zsámboky Jánosnak az Ortelius-atlaszban együtt megjelenő változatait, a számos nyomtatást megélt Mercator-féle térképet, továbbá Münsternek a *Magyar- és Lengyelország új leírása* című falmetszetes térképét. Ez utóbbit még a többinél

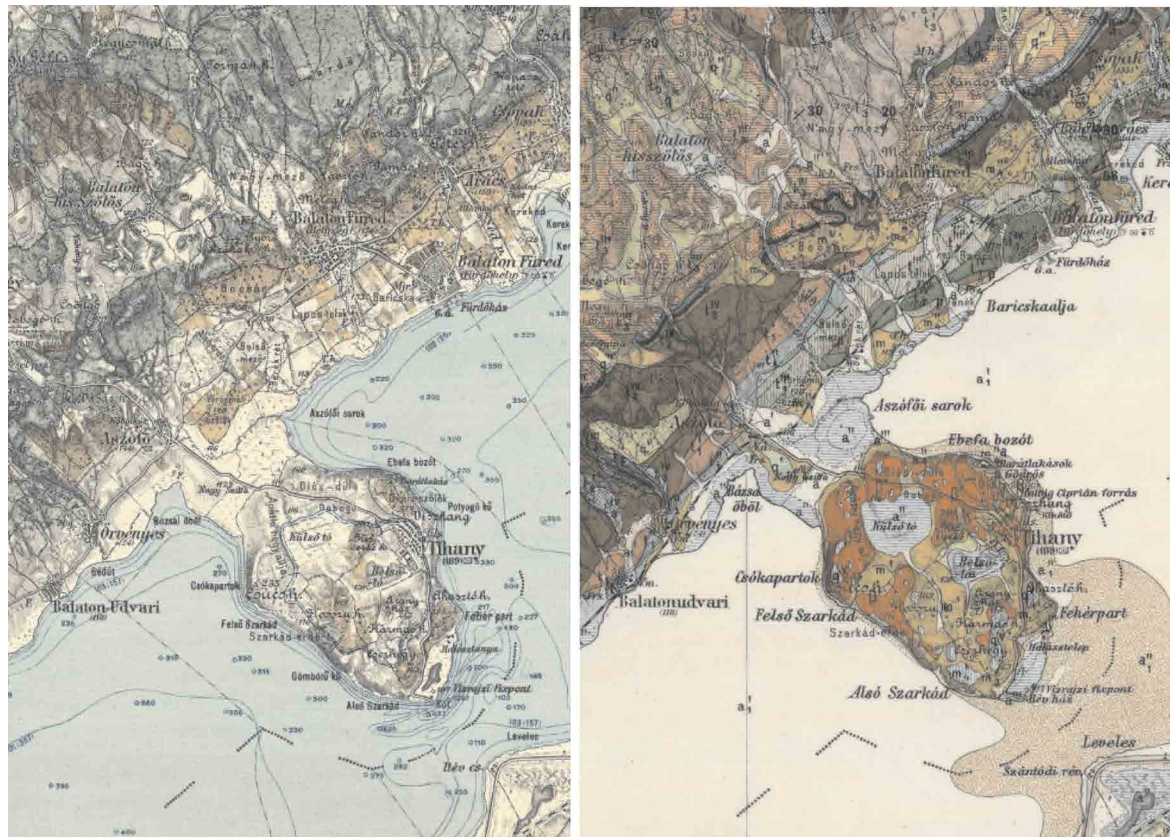
kiadványa a magyar műszaki tudományok és a kartográfia kiemelt jelentőségű, mindenhol számon tartott alkotása. A felvételezések viszsztatérően, több generációban ismétlődtek, ami a tematikával szemben támasztott felhasználói igények szakadatlan változásából és az alkalmazott módszerek fejlődéséből ered.

Az ország területéről készült korai, XIX. századi földtani térképekről már volt szó. A XIX. század végének és a XX. század elejének térképei közül első helyen a Magyarhoni Földtani Társulattal együttműködésben, Böckh János vezetésével megszerkesztett, 1896-ban kiadott térképet, valamint a szintén egész Kárpát-medencét ábrázoló 1:900 000 méretarányú, Lóczy Lajos által szerkesztett, és halála után Papp Károly közreműködésével kiadott térképet említjük. Ezek a kartográfiai és nyomdatechnikai értelemben vett csúcsteljesítmények a mai országhatáron túli területekre is kiterjedtek, és tökélete-

sen visszaadják a Kárpátok által körülzárt terület egységes és szétválaszthatatlan földtani felépítését.

Az utóbbi évtizedekből, a mai országhatárterületet bemutató térképek közül az 1956-ban megjelent, 1:300 000 méretarányú falitérképet, és az 1984-ben 1:500 000 méretarányú földtani térképet emeljük ki. Az 1950-es években készült egy térképsorozat 1:25 000 méretarányban, ez azonban kéziratban maradt. Jellegzetessége, hogy a hegyvidéki területeken a már meglévő felvételeket egységesítették, míg a domb- és síkvidéki részekben új, gyors (úgynevezett kerékpáros) felvételeket végeztek. Ezek a térképek szolgáltak alapjául az 1960-as és 1970-es években, több változatban, KGST szabványok alapján készült 1:200 000-es sorozatnak. Az akkor titkos minősítésű sorozat az egész ország területét felöleli, egy próbanyomati lap (Sopron) kivételével nyomtatásban is megjelent 1961–1977 között. Egy-egy tájegységről is megjelentek

► A Tihanyi-félsziget és Balatonfüred környékének topográfiája (1903) és földtana (1920) Lóczy térképein

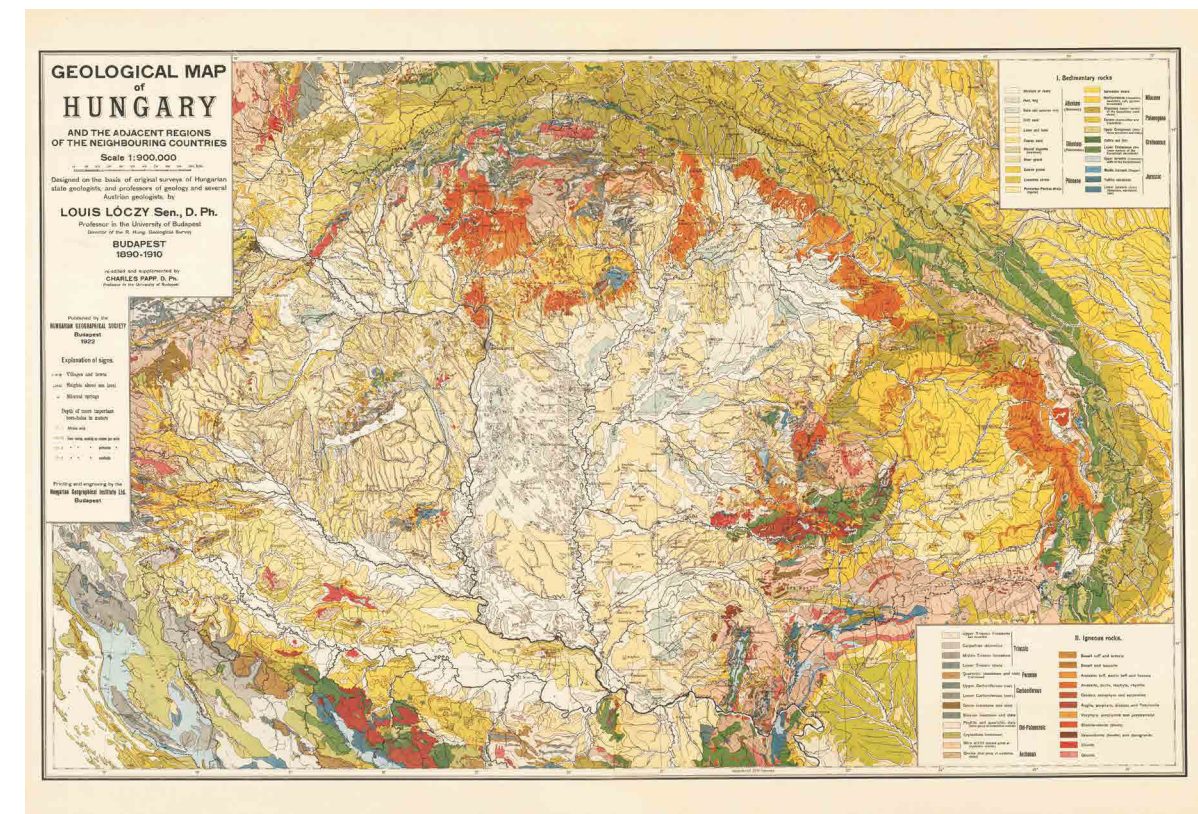


A monográfia külön fejezetben foglalkozik a XVI. század folyamán megjelent térképekkel, elsődlegesen a tó megjelenésével és környékének víz- és névjárával. Értékelése kissé szigorú: hibákról és elrajzolásokról beszél, figyelmen kívül hagyva, hogy csak a XIV–XVI. században, a földrajzi felfedezések és a fél kontinensekre kiterjedő háborúskodások miatt kezdett el felgyorsulni a helymeghatározások és térképi ábrázolások fejlődési folyamata. A fellelhető térképek csupán a legelső lépései voltak egy több évszázados folyamatnak. Részletesen elemzi Lázár deák térképét, a már

is hevesebben bírálja, pedig a térkép csupán a szerző egyik kedvelt ismeretterjesztő kiadványának a melléklete volt, egy, a számos kiadást megért világleírás tengerinyi képe között.

Földtani térképek Lóczy monográfiája után

A Magyar Királyi/Állami Földtani Intézet az 1869-es alapítása óta alapfeladatának tekintette a kor színvonalának megfelelő igényességű áttekintő, vagy részletes földtani térképezések végrehajtását, kutatási eredményeinek térképi és szöveges formában való közreadását. Számos



► Lóczy által szerkesztett országos földtani térkép (1922)

1:10 000-es és 1:25 000-es méretarányban térképsorozatok, és ezek összesítő tájegységi térképei is, de ezek jelkulcsa minden tájegység esetén egymástól eltérő elvek alapján készült.

A 100 000-es térképsorozat

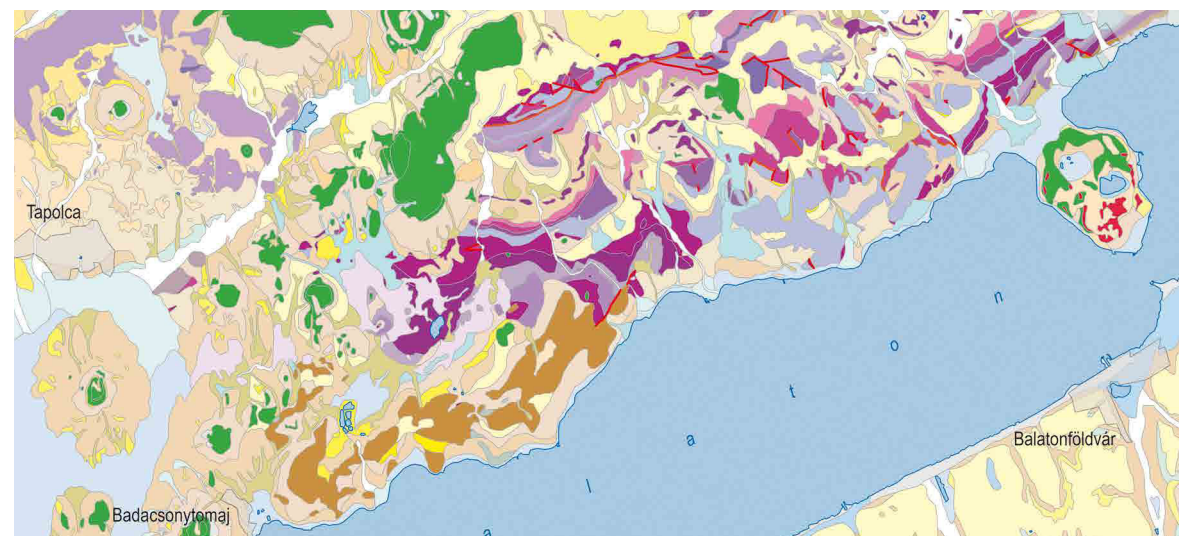
A Magyar Állami Földtani Intézet 2001-ben hosszútávú kutatási célként jelölte meg „Magyarország földtani térmodellje” című, geoinformatikai rendszerének a fejlesztési irányát. Ennek egyik lényeges kiindulási eleme az informatikai eszközök és GIS programok gyors ütemű fejlődése volt. A másik alappillér a felhalmozott földtani ismeretek, információk korszerű, a felhasználói igények messzemenő figyelembevételével történt adatrendszerekbe szervezése volt.

A térképezési módszertanban is jelentős változások történtek. A síkvidéki felvételek negyedidőszaki képződményeinek légifényképkiértékeléseket alkalmazó, a kor, a genetika és a jellemző közettani összetétel szerinti elkülönítése a hegyvidéki területeken is alapvető feltétellé vált, az idősebb képződmények esetén pedig a korábbi évtizedekben uralkodó kor, fontosabb ősmaradványok és fácies jellemzése helyett a litosztratigráfiai egységek, a formációk

és a tagozatok elkülönítése vált a térképi elkülönítés alapjává. A korábban elkészült térképek esetében ez jelentős átértékelést, újabb litosztratigráfiai egységek bevezetését kívánta meg.

Az új szemléletű térképkészítés eredménye a MÁFI által közreadott 1:100 000 méretarányú földtani térképsorozat. A térképsorozat egységes, az ország valamennyi földtani képződményét magába foglaló jelkulcs alapján készült, szerkesztése Gauss-Krüger szelvényezésű, de EOVS rendszerű térképlapokon történt. Az ország területét 92 darab térképlap fedi le. Az országos áttekintésű, egységes jelkulcs alapján szerkesztett térkép az intézet több mint 130 éves térképezési eredményeinek korszerű szintézisét jelenti. Ezen túlmenően web-es szolgáltatásként elérhető digitális változata közvetlenül felhasználható gyakorlati feladatok, regionális tervezések alapjául, ugyanakkor alapot szolgáltat tudományos kutatási feladatok megoldásához, további tematikus térképek készítéséhez.

Ebből az országtérképből szerkesztette meg a Földtani Intézet a kisebb méretarányú, kétszázézeres, félmillió és millió földtani térképváltozatot. Ez utóbbi belekerült Magyarország 2019-ben megjelent Nemzeti Atlaszába.



A Magyar Állami Földtani Intézet 100 000-es földtani térképsorozatának balatoni részlete



A felszíni földtani térkép domborzatárnyékolása (földtan: Budai et al. 1999a, kartográfia: Vikor Zsuzsanna)

A Balaton-felvidék térképe

Id. Lóczy Lajos születésének 150. évfordulója (1999) alkalmából jelentette meg a Magyar Állami Földtani Intézet egy csaknem két évtizeddel előtte, nagy lendülettel megindult, majd megtorpant kutatási programjának lezárásaként a Balaton-felvidék 1:50 000 méretarányú földtani térképét és a hozzá tartozó magyarázót. Az intézet ezzel kívánt adózni egykori igazgatója, a világhírű tudós emlékének. Több mint 80 évvel Lóczy nagyszerű Balaton-térképe után elérkezett az idő egy új, a legújabb kutatások eredményeit tükröző földtani térkép megalkotásának.

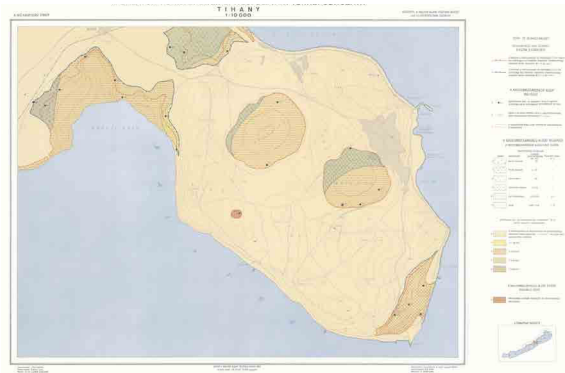
A Balaton-felvidék földtani térképe némiképp túlnyúlik a tájegység földrajzi határain. Magába foglalja a Keszthelyi-hegység teljes tömegét, a Zalasántó–Várvölgyi-medencét, nyugat felé a Zalai-dombvidék keleti peremét. Északkeleten – Veszprém környékén – a Déli-Bakony keskeny sávját, keleten pedig a Mezőföld legnyugatibb csatlakozó részét.

Az új térkép a Balaton-felvidék hegységszerkezeti felépítése tekintetében nagy vonalakban megegyezik a Lóczy-féle alapvetéssel. A különbségek a részletekben vannak. Az elmúlt

évtizedekben számos mélyfúrás tárta fel a hegység mélyebb rétegeit, és hozott új eredményeket. Lóczy Lajos kora óta nagyon nagy fejlődésen ment át a rétegtan, mind módszereiben, mind pedig a nemzetközi közmegegyezéshez igazított időbeosztás tekintetében. Ennek köszönhetően számos új rétegtani egység került fel a térképlapra, vagy változott meg korbesorolása mind a paleozoos, mind a mezozoos rétegsor esetében.

Mérnökgeológiai térképek

Az idegenforgalom, az üdülés tömegessé válása az 1950-es évektől egyre nagyobb környezeti terhelést jelentett a tavon és annak közvetlen parti sávjában. A települések és környezetük egyre intenzívebb beépítése tette szükségessé a Balaton parti sávjának építésföldtani felmérését részletes, 1:10 000 méretarányban. A munkálatokat a Földtani Intézet végezte külső szakértők bevonásával. A munka első szakasza, a Tihany atlasz elkészítése (1969) meghatározó jelentőségű volt a részletes építésföldtani térképezés módszertanának kialakításában. A partvidéket lefedő, 1:50 000-es méretarányú, négy változatban megjelent atlaszok a földtani térképre alapozott



vízföldtani, építésföldtani, geomorfológiai térképváltozatokat tartalmaznak. Az atlaszok része egy szintetizáló térkép is, ami az építésföldtan szempontjából legfontosabb információk kombinációján alapuló értékelést, építés-alkalmassági körzetbeosztást ad a vizsgált területről.

A parti sáv építésföldtani feldolgozása után – kielégítve a tó vonzáskörzetének megnövekedése miatt felmerült igényeket – 1982 és 1991 között, kézirat formájában elkészült a Balaton Kiterjesztett Üdülőkörzet Építésföldtani Térképsorozata a tó tágabb környezetéről, 1:100 000-es méretarányú, szerkesztett változatban is.

Ismeretterjesztés

150 év alatt az intézet könyvtárának és térképtárának állománya számos ország- és földtani térképpel gyarapodott. A közfeladatok ellátása érdekében több kiállítást szervezett az intézet a Balaton környéki térképeinek megismertetésére is. Többek között a teljes Balatonra, továbbá Tihany, a Kis-Balaton és Fonyód köré szervezett kiállításokat, egyes parti településekkel együttműködve, amiket magyarázó füzetekkel látott el a látogatók ismereteinek minél mélyebb megőrzése érdekében.

Az intézet fennállásának 140. évfordulójára pedig egy olyan CD készült el, ami az elmúlt kétszáz év minden jelentősebb térképezési programját és térképét mindenki számára hozzáférhetővé tette digitális formában.

A jelenkori földtani folyamatok kimutatása a meglévő térképek GIS összevetésével

Már a Habsburg Katonai Felmérések pontossága is lehetővé tette, hogy a Balaton környéki mocsarak, vízenyős területek körvonalait átrajzoljuk egy térinformatikai rendszerbe. Régóta tartotta magát a feltételezés, hogy a Balaton környéki mocsarak kiszáradását a tó 1863-as jelentős (körülbelül 3 m) vízszintcsökkentésének köszönhetjük, de ez csak a terület- és vízszintváltozások számszerű összehasonlításával igazolható vagy cáfolható. A második és harmadik katonai felmérés vetületi rendszere lehetővé teszi az automatikus konverziót és összehasonlítást, de az első katonai felmérés illesztéséhez minden egyes térképlaphoz kontrollpontokat kellett felvenni. Ezek olyan épületek, útkeresztezések lehetnek, amelyek bizonyíthatóan nem mozdultak el a térkép készítésének időpontja, tehát a XVIII. század második fele óta. A muemlekem.hu internetes adatbázis segítségével találtunk a tó teljes vízgyűjtő területén összesen több, mint ötszáz ilyen pontot.

A területváltozások elemzése azt mutatta, hogy a Balaton környéki mocsarak területcsökkenése nem egyidejű a tó vízszintjének csökkenésével. A Sió-zsilip 1863-as megnyitása előtt, 1847-ben elbontották a Sió a Balatonhoz legközelebbi malom gátját – ez tekinthető a tó vízszintjébe való legkorábbi célzott emberi beavatkozásnak. A vízgyűjtő mocsarainak egyharmada (mintegy 120 km²) viszont még ezelőtt – az első és második katonai felmérés között – bizonyíthatóan kiszáradt, illetve lecsapolásra került. Az adatok alapján tehát semmiképpen sem mondhatjuk, hogy a tó vízszintcsökkentése okozta volna a legnagyobb változást a mocsarak kiterjedésében, ez a területcsökkenés inkább annak köszönhető, hogy a helyi földbirtokosok célzottan lecsapolták a saját földjük mocsarait.



Régi térképeink modern formában

Hazánk régi térképeinek minél jobb olvashatósága és összehasonlíthatósága érdekében számos térinformatikai fejlesztés történt az elmúlt tíz évben. Ezek célja az volt, hogy a jelen cikkben taglalt térképeket eredeti pontosságuk korlátaival együtt ráillessze a jelenkori térképekre, műholdak és légifényképek állományaira. Lehetővé vált a Lázár térkép, Krieger kézirat Balatonjának, vagy éppen Lipszky 12 lapon közzétett térképének megfelelő pontosságú illesztése. A katonai felmérések vetületi paramétereinek feltárásával pedig már a MAPIRE digitális térképkezelő felület jelenlegi topográfiai alapra illesztése is megoldott.

Ezeket az elemzéseket ma már bárki megteheti, aki számítógépén belép a MAPIRE történeti térképes adatbázisba, ahol a történeti topográfiai és kataszteri térképművek a mai térképek fedvényeként tekinthetők meg. A viszonylag nagy méretarányú katonai felmérési térképeken gyakorlatilag a falusi házak alaprajzszerű ábrázolásának szintjéig nagyíthatunk a korabeli táj térképi ábrázolásába, ahol a régi térképes réteget átlátszóvá téve a mai terep jelenik meg, segítve ezzel a korabeli helyszínek azonosítását. Az így létrejött, mintegy két és fél évszázadra visszamenőleg al-

kalmazható „időgép” a térképészeti alkalmazások egyik gyorsan fejlődő ága, amellyel a Balaton térségében is sok érdekességet fedezhetünk fel.

Ajánlott irodalom

- Bendeffy L., V. Nagy I. 1969: A Balaton évszázados partvonalváltozásai. – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 215 p.
- Budai T., Csillag G., Dudko A., Koloszar L. 1999: A Balaton-felvidék földtani térképe, 1:50 000. – Földtani Intézet kiadványa, Budapest
- Galambos Cs., Brezsnaynszky K., Timár G. 2020: Magyarország első közepes méretarányú (M=1:144 000) földtani térképsorozatának georeferálása. – Földtani Közöny 150/1, 185–194.
- Gyalog L., Síkhegyi F. (sorozatszerk.) 2005: Magyarország földtani térképe, M=1:100 000. – Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa, Budapest.
- Jankó A. 2007: Magyarország topográfiai felmérései 1763–1950. – Hadtörténeti Intézet és Múzeum Könyvtára, Argumentum Kiadó, Budapest, 196 p.
- Lóczy L. id. 1903: A Balaton-tónak és környékének részletes térképe négy lapon. Topográfiai és geológiai atlasz. I. rész 1:75 000 – Cs. és Kir. Katonai Földrajzi Intézet, Wien.
- Lóczy L. id. (szerk.) 1920: A Balaton-tó környékének részletes geológiai térképe 4 lapon. Topográfiai és geológiai atlasz. II. rész 1:75 000. – Cs. és Kir. Katonai Földrajzi Intézet, Wien.
- Plihál K. 2013: A Tabula Hungariae... Ingolstadt, 1528 térkép és utóélete. – Kossuth Kiadó, Budapest, 224 p.
- Plihál K. 2009: Magyarország legszebb térképei 1528–1895. – Kossuth Kiadó, OSZK, Budapest, 240 p.
- Stegena L. 1998: Tudományos térképezés a Kárpát-medencében 1918 előtt. – Akadémiai Kiadó 69 p.
- Szathmáry T. 1987: Descriptio Hungariae. Magyarország és Erdély nyomtatott térképei 1477–1600. – Szerzői kiadás, Fusignano Grafiche Morandi, 261 p.
- Szántai L. 1996: Atlas Hungaricus. Magyarország nyomtatott térképei, 1528–1850 I–II. – Akadémiai Kiadó, Budapest, 777 p.
- Timár G. 2016: Hol futnak a Balaton régi partvonalai? – Függőleges felszínmozgások a Dunántúlon. – Természet Világa 2016/1 különszám, 17–19.