

## A pulai pliocén maarkráter (Dunántúli-középhegység) tavi üledékeinek földtani viszonyai

### *Geologic pattern of lake sediments in an Pliocene maar crater at Pula (Central Transdanubia, Hungary)*

CSIRIK GYÖRGY

Magyar Állami Földtani Intézet, H-1143 Budapest, Stefánia út 14.



**Tárgyszavak:** Dunántúli-középhegység, Magyarország, pliocén, maarkráter, krátertavak, bazalt, bazalttufa, tavi üledékek, laminit

#### Összefoglalás

A pulai maarkrátért 1973 novemberében fedezték fel a Dunántúli-középhegység földtani térképezése során (JÁMBOR, SOLTI 1976). A kráter a Kab-hegy DNy-i oldalán, Pulától Ny-ra, az Eger-patak (Vázsonyi-séd) völgyétől É-ra található (1. ábra).

A kráter ÉK–DNy-i irányban kissé elnyúlt, szabálytalan alakú zárt forma, amely két egymásba olvadó ellipszis alakú részmedencéből áll. Jelenlegi kiterjedése – amelyet a fekvő bazalttufafelszín és a domborzat metszésvonala határoz meg – É–D-i és K–Ny-i irányban egyaránt kb. 800 m. A kráter D-felé nyitott. A kráter oldalfalai Ny-on és DK-en jól felismerhetők, É-on a Kab-hegy lejtőjébe simulnak. ÉNy-i részében vízmosás alakult ki. Ennek DK-i előterében negyedidőszaki hordalékkúp képződött. Az ÉK-i medence DNy-i szélén egy 10 m magas gejzirkúp emelkedik ki (SOLTI 1981).

A krátérsáncokat bazalttufa alkotja. A bazaltvulkáni tevékenység végén a maarkráter közepén egy bazaltlávató képződött. Mindkét képződmény a Tapolcai Bazalt Formációba tartozik.

Ezután a környező terület vize a bazalttufa pórusain keresztül behatolt a kráterbe és egy tavat alkotott. A tavi üledékeket Pulai Alginit Formáció néven vonták össze. A Formáción belül három rétegcsoport különíthető el: bázis, olajpala és meszes rétegek. A közettani elkülönítés alapja az, hogy az olajpala rétegek faciése kevésbé változékony, mint a formáció alján és tetején lévő képződményeké.

A krátérsánc magassága a pleisztocénre lecsökkent, így a Kab-hegy időszakos vízfolyásai a kráterperemeken lepusztították a tavi üledékeket. A lepusztult képződmények helyére lősz rakódott. A DNy-i részmedence időszakos vízfolyása már létezett abban az időben.

A pulai kráter tavi üledékeinek földtani viszonyai az 1. ábra földtani térképével, a Tapolcai Bazalt Formáció (2. ábra, A), a bázis rétegek (2. ábra, C) magasság-szintvonalas, valamint egyes rétegtani egységek vastagság-szintvonalas térképével (2. ábra, B, D–F) és földtani szelvényekkel jellemezhetők (3. ábra). A földtani szelvények elhelyezkedése az 1. ábrán látható.

**Keywords:** Central Transdanubia, Hungary, Pliocene, maar craters, crater lakes, basalt, basaltic tuff, lake sediments, laminit

#### Abstract

The Pula crater was discovered in the course of geologic mapping of the Central Transdanubia in 1973 (JÁMBOR, SOLTI 1976). It is situated on the SW flanks of Kab Hill, W of Pula village, N of the valley of Eger (Vázsonyi-Séd) Creek (Figure 1).

The crater is a NE–SW elongated structure that consists of two subbasins intersecting each other. It measures about 800 m across both N–S and E–W on the line of intersection of the surface of the underlying basaltic tuff and of surface morphology. The SW part of the basaltic tuff ring has been eroded by the Eger Creek, so it is an open basin on the S. The crater ring can be easily recognised on its W and SE sides, on the N side it disappears into the S part of Kab Hill. A gully has been formed in the NW part. A fan is situated in its SE foreground. In the SW margin of the NE subbasin there is a geyser cone that is about 10 m high relative to its surroundings (SOLTI 1981).

The crater rim consists of basaltic tuff. A basalt lava lake has been formed in the center of the crater in the final phase of the phreatomagmatic activity. The tuff and the lava belong to the Tapolca Basalt Formation.

After crater formation the water of the adjacent area penetrated through the pores of the basaltic tuff forming a crater lake. The lacustrine sediments are grouped into Pula Alginite Formation. Within the Formation three units can be observed: basic, oil shale and lime beds. The basis of the petrologic differentiation is the fact that the facies of the oil beds is less variable than that of the sediments of bottom and the top of the Formation.

The height of crater rims decreased at the beginning of Pleistocene. The temporary streams of Kab Hill eroded the lake sediments at the crater rims. Loess was deposited in place of the eroded formations. The temporary stream in the SW subbasin existed at that time.

The geological conditions of Pula crater can be characterised by surface maps of Tapolca Basalt Formation (Figure 2, A), of basic beds (Figure 2, C), thickness maps of some stratigraphical units (Figure 2, B and D–F) and geologic profiles (Figure 3). The tracks of the profiles can be seen on Figure 1.

## Bevezetés

A pulai krátert 1973 novemberében fedezték fel a Dunántúli-középhegység földtani térképezése, ezen belül a vigántpetendi lap felvétele során a pulai Put-1 fúrás mélyítésével.

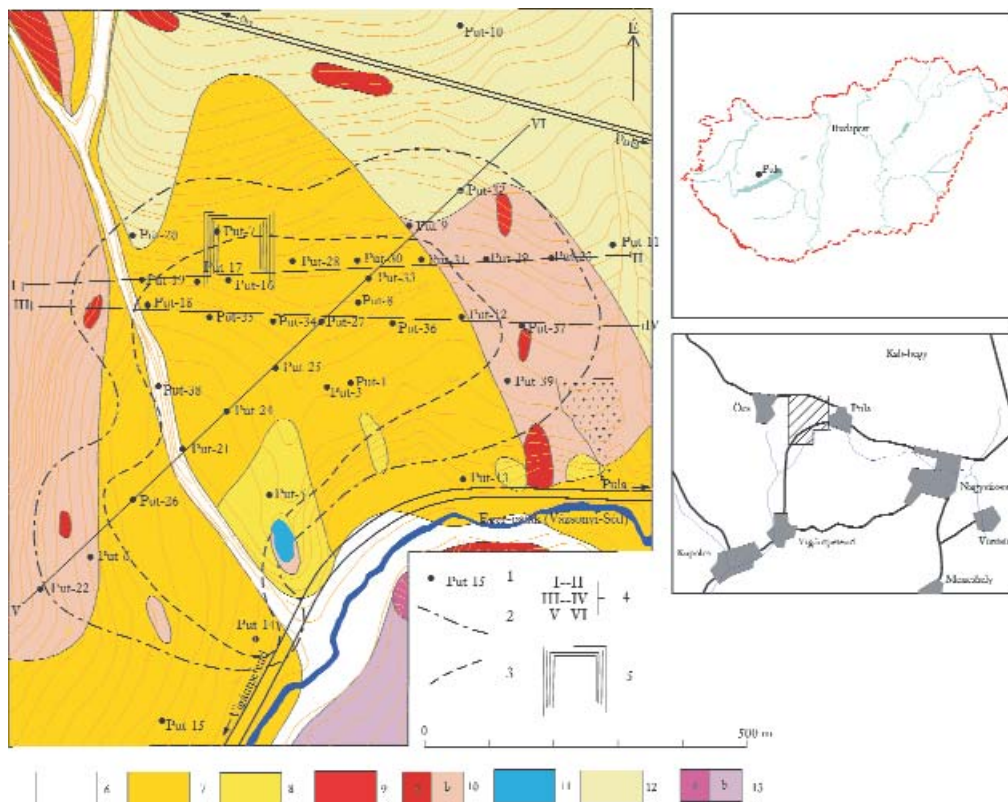
A kráterrel foglalkozó cikkeket a krátertavi üledékek vonatkozásában értékelem. A fúrások és a térképezés eredményeit bemutató cikkben (JÁMBOR, SOLTI 1976) a Put-3 fúrásban a krátertavi üledékeket kőzettani alapon különítették el (pl. bazalttufit, agyagmárgás aleurit, alginites agyagmárga stb.). A földtani szelvényeken ezt a részletes felosztást nem alkalmazták, és a krátertavi üledékeket alulról felfelé lemezes aleuritra, olajpala-tagozatra, „nagyvázsonyi mészkőre” és márgára osztották fel. Közölték az egyes kőzettípusok részletes anyagvizsgálati eredményeit. A fejlődéstörténeti viszonyok fejezetben jelentős, lényegében ma is helytálló megállapításokat tettek a krátertavi üledékek képződési körülményeire, amelyeket cikkembe beépítettem. RAVASZ (1974) végezte a pulai Put-3 fúrás kőzettípusainak kőzettani vizsgálatát. Ezeket a kőzettípusokat a későbbi fúrásirétegsor-leírásoknál azonban nem alkalmazták.

1974–1975. között 11 db kutatófúrás mélyült (Put-5–Put-14), amelyekkel a pulai maarkráter földtani viszonyait tisztázták.

BALOGH et al. (1982) szerint a pulai bazaltminták izokron kora  $4.15 \pm 0.17$  millió év. Mivel a minták bontatlanok és jól kigázosodtak, ez az érték nagyon pontosnak tekinthető.

SOLTI (1983) összefoglalta a megelőző 10 év kutatási eredményeit. Több kőzettípust is elkülönített, azonban ezeket a fúrások rétegsorait összefoglaló 2. sz. táblázatában nem alkalmazta (itt fedő, olajpala, fekü, bazalt, bazalttufit stb. kategóriák szerepeltek). A földtani szelvényeken holocén és pleisztocén képződményeket, édesvízi mészkövet, olajpálát, alginites ostracodás márgát, bazalthomokot, bazaltot, bazalttufitot és bazalttufát, valamint a kráterszerkezet fekéjét alkotó képződményeket tüntette fel.

1985–1986-ban Solti G. a már meglévő fúrások felhasználásával három szelvényben 24 db fúrást telepített a krátertavi üledékek települési viszonyainak részletesebb megismerése céljából (1. ábra). Ebben a kutatásban a szerző is részt vett. Az akkori előírásoknak megfelelő összefoglaló földtani kutatási zárójelentés és készlet-



1. ábra. A pulai maarkráter fedett földtani térképe (JÁMBOR és SOLTI 1976 után)

1 – Mélyfúrás jele és száma; 2 – A kráter határa; 3 – A bazalt és a bazalttufa közötti határ a maarkráterben; 4 – A földtani szelvény (3. ábra) nyomvonala; 5 – Külfejtés; 6 – Holocén: völgykitöltés; Pleisztocén: 7 – lejtőlöss, 8 – terasz kavics; Pliocén „*Congeria balatonica*” szint: 9 – bazalt, 10 – bazalttufa (a: szálban, b: törmelékben), 11 – gejzirít, lemezes, kovás forrásvízi mészkő, 12 – édesvízi mészkő; 13 – Felső-triász: földolomit (a: szálban, b: törmelékben)

Figure 1. Surface geological map of the maar crater at Pula (after JÁMBOR, SOLTI 1976)

1 – code and number of borehole; 2 – boundary of the crater; 3 – boundary between the basalt and the basaltic tuff within the crater; 4 – tracks of the geologic section (Figure 3); 5 – open pit; 6 – Holocene: alluvium; Pleistocene: slope loess, 8 – terrace gravel, sand; Pliocene “*Congeria balatonica*” zone: 9 – basalt, 10 – basaltic tuff (a: outcrop, b: detritus), 11 – geyserite, laminated, siliceous travertine, 12 – freshwater limestone; 13 – Upper Triassic: Main Dolomite (a: outcrop, b: detritus)

számítás (a jelentés az Országos Földtani és Geofizikai Adattárban nem lelhető fel) elkészítésében szerzett tapasztalatok alapján felmerült, hogy a krátertavi üledékeket egységes szempontok alapján kell felosztani. A részeket az akkori formáció–tagozat rendszerben el is neveztük (ezek a tagozatok azonban — elsősorban lokális elterjedtségük — miatt nem váltak hivatalossá). A szerző részt vett a fúrási rétegsorok terepi leírásában, kidolgozta a nyersanyagösszetétel részletek bontásának kritériumait, elvégezte a rétegsorok felbontását, a kapott adatok alapján megszerkesztette a vastagság- és képződményhatárok tengerszint feletti magasság-szintvonalas térképeit és a földtani szelvényeket, amelyeket a szakirodalom alapján értelmezett. Solti G. és a szerző az eredményeket közös cikkben tervezték megjelentetni, de ettől 1993-ban elálltak. Az eltelt 12 év alatt Solti G. a kutatás adatait és ezek feldolgozását nem publikálta.

HABLY, KVAČEK (1998) a gércsei és a pulai krátert övező pliocén mezofita erdővel foglalkoztak. Az alginítképződés korát 4,2 millió évre vagy egy kicsit fiatalabbra teszik. Átlagosan 10–13 °C hőmérsékletű és 1000 mm csapadékú éghajlatot feltételeztek.

WILLIS et al. (1999) a Put–39 fúrás magmintáinak elemzésével 124 ezer éves periodicitást mutattak ki. BALOGH et al. (1982) méréseire hivatkozva a pulai kráter képződését 3,82±0,93 millió évre (véleményem szerint tévesen hivatkoztak a legpontosabb kormeghatározásra, lásd fent), ugyanakkor a tavi üledékek képződésének intervallumát 3,0–2,6 millió közé teszik. Kort az üledékek mágneses polaritása és pollenösszetétele alapján adják meg. Valószínűtlennek tűnik, hogy 820 ezer évig (valójában 1,2 millió évig) nincs üledékképződés és utána 320 ezer évig van. Ez ellentmond HABLY, KVAČEK (1998) megállapításainak. Az üledékképződési sebességre 80 év/cm, azaz 0,125 mm/év értéket adtak meg.

NÉMETH et al. (2002) foglalkoztak a pulai maarkráter tavi üledékeivel. Négy litofáciest különítenek el: 1. központi rétegzett fácies (ezek a tavi üledékek); 2. központi

juvenilis-dús fácies, ami a kráterperemet alkotó bazalttufa egyik fáciése; 3. tufagyűrű fácies (szintén bazalttufa); 4. vulkanoklasztikus törmelékfolyás fácies, ami a kráterperem bazalttufájának krátertőbe áthalmozott anyaga. Magát a tavi üledékeket nem osztották tovább. Az egyes fáciések elterjedését — a központi rétegzett fácies kivételével — nem adták meg a mellékelt egyszerűsített földtani térképen.

GOTH et al. (2004) az alginitbánya szelvénye alapján értékelték a tavi üledékeket, melyek felosztásával nem foglalkoztak. Részben a korábbi eredményeket (JÁMBOR, SOLTÍ 1976; RAVASZ 1974) ismételték meg. Megemlítik a bányában feltárt esemény üledékeket.

CSILLAG et al. (2004) a pulai kráter térbeli felépítésével foglalkoztak (1) 40-nél több fúrás rétegsorának átértékelése (valójában csak 39 fúrás mélyült a kráterben és közvetlen környékén), (2) számítógépes modellezés és (3) a feltárások üledékföldtani vizsgálata alapján. Szerintük 4,2 millió évvel ezelőtt képződött a kráter. A krátertavi üledékek vastagságát 130 m-re tették (valójában legfeljebb csak 50 m). A cikk értékelését megnehezíti, hogy egy poszterbemutató szöveges kivonata az ábrák nélkül.

## Földtani viszonyok

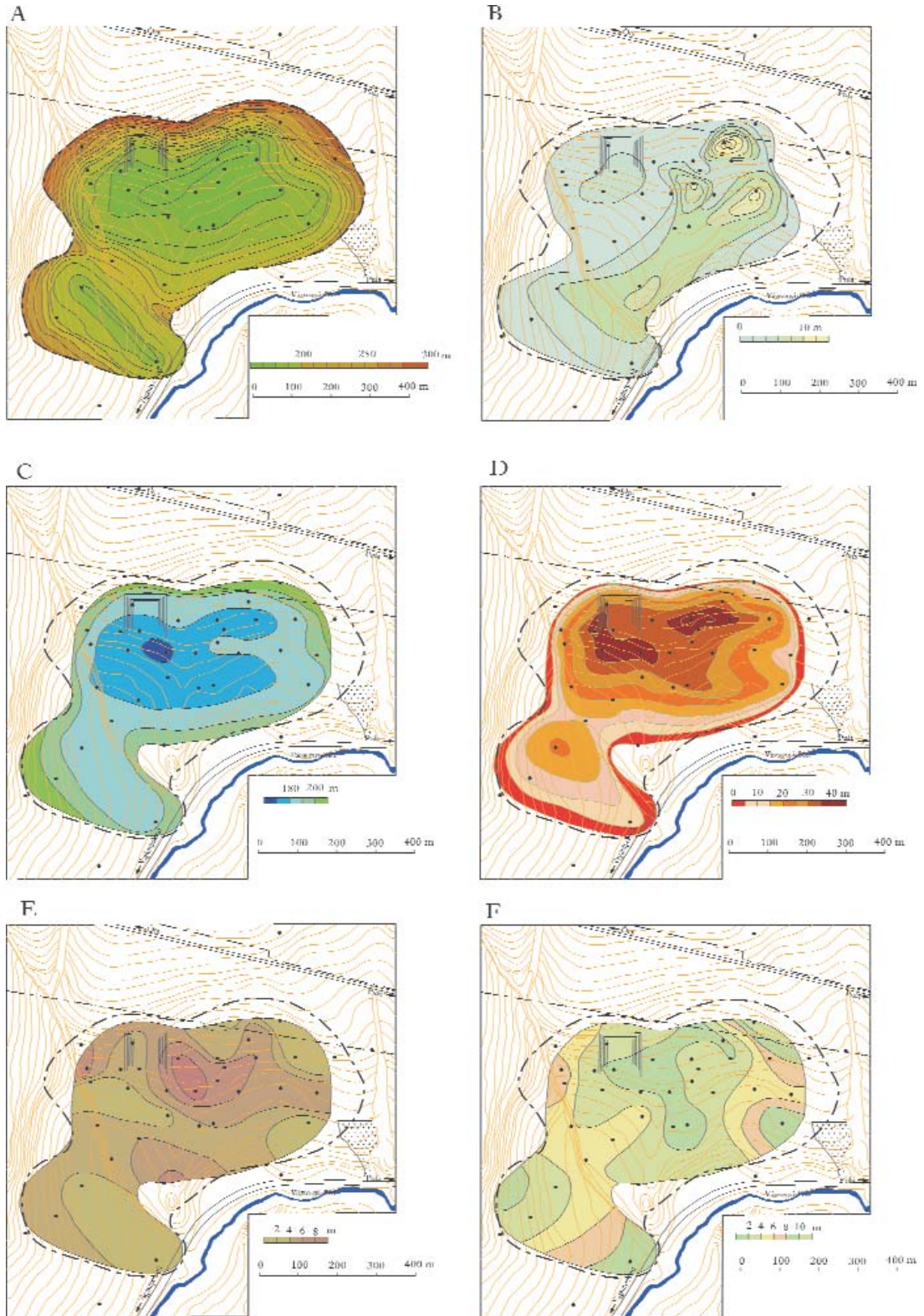
A pulai kráter a Dunántúli-középhegységben, a Kab-hegy DNy-i oldalán, Pulától Ny-ra, és az Eger-patak (Vázsonyi-séd) völgyétől É-ra található (1. ábra).

A kráter ÉK–DNy-i irányban kissé elnyúlt, szabálytalan alakú zárt forma, amely két egymásba olvadó ellipszis alakú részmedencéből áll. Jelenlegi mérete — amelyet a fekvő bazalttufafelszín és a domborzat metszésvonala határoz meg — É–D-i és K–Ny-i irányban egyaránt kb. 800 m. A kráter D-felé nyitott. A kráter oldalfalai Ny-on és DK-en jól felismerhetők, É-on a Kab-hegy lejtőjébe simulnak. ÉNy-i részében vízmosás alakult ki. Ennek DK-i előterében negyedidőszaki hordalékkúp képződött. Az ÉK-i

1. táblázat. A pulai kráter tavi üledékeinek rétegtani beosztása

Table 1. Stratigraphical subdivision of the lake sediments of Pula maar crater

Kor	Formáció	CSIRIK 1986	JÁMBOR, SOLTÍ 1976	SOLTÍ 1983
Pleisztocén -holocén		talaj, lösz, közettörmelékes agyag, patakhordalék, kavicsos homok, lejtőlösz, löszös agyag	ópleisztocén terasz kavics	holocén–pleisztocén képződmények (kavics, homok)
Pliocén	Pulai Alginit Formáció	meszes rétegek bentonitos agyag, mészsizapos alginít, agyagmárga, mészmárga, márga, aleuritos agyag, alginites aleurit	nagyvázsonyi édesvízi mészkő és márga, meszes dolomit	édesvízi mészkő (lemez márga, mészmárga, agyagmárga)
		olajpala rétegek alginít (lemez, tömeges)	olajpala tagozat	olajpala (lemez, tömeges)
		bázis rétegek agyagmárgás aleurit, alginites, diatomás aleurit, aleuritos alginít, kavicsos homokkő, kavics, bazalttufit, bazalthomok, autigén breccsa	lemez aleurit	alginities ostracodás márga, bazalthomok
	Tapolcai Bazalt Formáció	bazalt, bazalttufa, bazalttufit, salakos, hólyagos bazalt	salakos bazalt, bazalt, bazalttufa és bentonit	tömör és salakos bazalt, bazalttufit és bazalttufa



2. ábra. A pulai maarkráter fő rétegtani egységeinek magasság- és vastagság-szintvonalas térképei

A = A Tapolcai Bazalt Formáció tetejének magasság-szintvonalas térképe (a kráteren belül), B = A bázis rétegek vastagság-szintvonalas térképe, C = A bázis rétegek tetejének magasság-szintvonalas térképe, D = Az olajpala rétegek vastagság-szintvonalas térképe, E = A meszes rétegek vastagság-szintvonalas térképe, F = A pleisztocén-holocén képződmények vastagság-szintvonalas térképe

**Figure 2.** Surface and thickness contour maps of the main stratigraphical units of Pula maar crater

A = Surface contour map of the Tapolca Basalt Formation (within the crater), B = Thickness contour map of the base beds, C = Surface contour map of the top of the base beds, D = Thickness contour map of the oil shale beds, E = Thickness contour map of the lime beds, F = Thickness contour map of the Pleistocene and Holocene formations

medence DNy-i szélén egy 10 m magas gejzirkúp emelkedik ki (SOLTI 1981).

JÁMBOR, SOLTI (1976) szerint a pulai kráter tavi üledékei alatt a fekvő bazaltvulkáni tevékenység végén a maarkráter közepén képződött lávató bazaltja, a kráter sáncait bazalttufa alkotja. A bazalt és a bazalttufa a Tapolcai Bazalt Formációba tartozik.

A fedőjükben települő krátertavi üledékeket Pulai Alginit Formáció néven vonták össze. A formáción belül három rétegcsoportot különítettem el: a bázis, az olajpala és a meszes rétegeket (1. táblázat).

A fedő negyedidőszaki képződményeket löszök és patakhordalékok képviselik.

A pulai kráter tavi üledékeinek földtani viszonyai az 1. ábra földtani térképével, a Tapolcai Bazalt Formáció (2. ábra, A), a bázis rétegek (2. ábra, C) magasság-szintvonalas, valamint egyes rétegek vastagság-szintvonalas térképeivel (2. ábra, B, D–F) és földtani szelvényekkel jellemezhetők (3. ábra). A földtani szelvények elhelyezkedése az 1. ábrán található.

A bazalt és a bazalttufa közvetlen rétegtani fekvését alkotó pliocén üledékek képződési körülményeit JÁMBOR, SOLTI (1976) vizsgálták. Szerintük a felső-pannoniai alemelet középső részén a területet sekély, gyakran kisebb-nagyobb résztavakra szakadozó, ismételt elmozdított tórendszer borította, amely az egész Tapolcai-Nagyvázsonyi medencére kiterjedt. Ezt a nyugodt, lassú üledékképződést zavarta meg a bazaltvulkanizmus, amely csak kis területen érezte hatását.

A maarkráter létrehozó kitérés befejeződése és a bazalt kihűlése után a környező terület vize beszivárgott a kráter-sáncot alkotó porózus bazalttufán keresztül. Az eredeti talajvízszint helyreállt és a vízutánpótlás folyamatos volt.

A Pulai Alginit Formációt a közettípusok és azok eloszlása alapján három részre bontottam: bázis, olajpala és meszes rétegekre (1. táblázat).

A *bázis rétegekbe* eltérő homogenitású és szemcse-nagyságú üledékek tartoznak: agyagmárgás aleurit, aleurit, alginites, diatomás aleurit, aleuritos alginit, kavicsos homokkő, kavics, bazalttufit, bazalthomok, autigén breccsa. A tagozat megfelel JÁMBOR, SOLTI (1976) lemezes aleuritjának, valamint SOLTI (1983) bazalthomokjának és alginites ostracodás márgájának. A kőzetek szervesanyag- és agyagtartalma kicsi; a mikrorétegzettség csak helyenként figyelhető meg. A Bázis és az Olajpala Tagozat közötti határt az első összefüggő lemezes alginitrétegnél húztam meg.

A bázis rétegek képződése képződése idejére az üledékképződési körülmények a következő módon vázolhatók. A rétegek vastagság-szintvonalas térképén (2. ábra, B) a kráter É-i, Kab-hegy felé eső részén egy hordalékkúp rajzolódik ki. Az V–VI szelvényből (3. ábra) látható, hogy ez a tény később is hatott az üledékképződésre. Figyelemre méltó, hogy a III–IV szelvény Ny-i részén, a Put–18 fúrásban kimaradnak a bázis rétegek (3. ábra). Ennek valószínű oka az, hogy ez a hely kiemelkedés volt és a törmelékforrástól messzebb esett. A frissen kialakult krátertóban a kráterfalak instabilitása és a szeizmikus tevékenység miatt

elsősorban gravitációs üledékek képződtek (BÜCHEL, LORENZ 1993). Ekkor még nem alakultak ki az eutrofizáció, melyhez elsősorban alkalikus víz és bőséges makro- és mikroelem utánpótlás kellett, amelyet a kráter-sáncot alkotó bazalttufa nagyobb fokú mállása biztosított.

Az *olajpala rétegeket* nagyrészt jellegetesen mikrorétegzett, alginitnek nevezett kőzet alkotja. Megfelel JÁMBOR, SOLTI (1976) „olajpala-tagozatának” és SOLTI (1983) „olajpalájának” (lemezes, tömeges). Az olajpala rétegek alsó határa többé-kevésbé követi a fekvő bazalt felszínét (2. ábra, C). Ez arra utal, hogy a bázis rétegek a Tapolcai Bazalt Formáció felszínének egyenetlenségeit töltötték ki. Az olajpala rétegek a peremek felé kiékelődnek. Az olajpala rétegeket egy-egy fúrásban tovább lehetett bontani tömeges és lemezes változatra, de ezek szelvénybeli nyomonkövetése nem volt lehetséges.

A tömeges alginit rétegzetlen, illetve az elválás mentén vékonyréteges (10–15 cm) kőzet, Korábban a fúrásleírásokban bazalthomokként említették, de megállapították, hogy uralkodóan *Botryococcus braunii* KÜTZING zöld algából áll (Góczán F. szóbeli közlés). Létrejöttét a krátertő D-i részén található gejzír is elősegíthette. Feltehetően ennek forró vize miatt nem alakult ki az évszakos hőmérsékletingadozást tükröző mikrorétegzettség. Felvetődhetne az inbentosz megnövekedett szerepe is, de ezt ősmaradványok nem támasztják alá. A gejzír és az alginit összefogozódását a Put–5 fúrás tárta fel (SOLTI 1981).

A lemezes alginitben található mikrorétegek három alkotórészből állnak: agyagásványokból, karbonátokból és szervesanyagból. Az alkotórészek aránya a különböző mikrorétegeken belül eltérő.

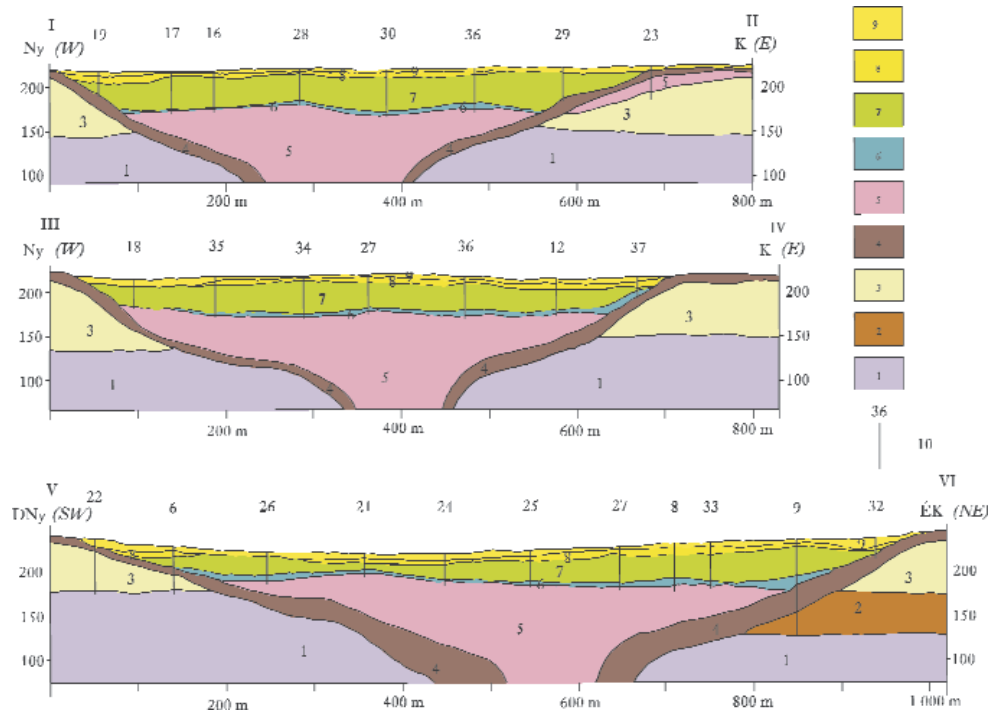
Az agyagásványok elsősorban montmorillonitból, illit-montmorillonitból, illitből és kaolinitből állnak. Ezek a bazalttufa mállástermékei, és mint agyagásvány-kristálycsírák kerültek az üledékgyűjtőbe.

A karbonátokat aragonit (MEZŐSI, MUCSI 1976), dolomit és kalcit alkotja. Az aragonit 29 °C fölötti hőmérsékletű vízben képződik, amelyet a gejzír biztosíthatott. A kalcit és a dolomit a növények által felhasznált oldott CO<sub>2</sub> hiány miatt fellépő egyensúlybomlás következtében vált ki.

A szervesanyag elsősorban a *Botryococcus braunii* KÜTZING zöld algából, alárendelten a kráterfalakon megtelepülő növényzetből származik. A szervesanyag az anaerob tófenékvizviszonyok miatt csak kis mértékben bomlott el.

Az alginitben jelentős mennyiségben található amorf anyag is. Ez a már említett szervesanyag mellett átalakulatlan vulkáni üvegből, rosszul kristályosodott agyagásványokból és kovából (többek között Diatomákból, HAJÓS 1976) áll. A kova ebben a lúgos közegben nagyon sokáig oldatban maradhat, azonban a fenékvizekben felhalmozódva savas közegben kicsapódik. RAVASZ (1976) mikroszkópi vizsgálattal több kovaváltozatot mutatott ki.

Az olajpala rétegek képződési körülményeire döntő hatással volt a kráterfalakon megtelepülő növényzet, amely elősegítette a kráterperemet alkotó bazalttufa nagyobb fokú mállását. Szűrő hatása miatt az üledékgyűjtőbe elsősorban oldatok, valamint agyagásvány-kristálycsírák jutottak



3. ábra. A pulai maarkráter földtani szelvényei (a szelvények nyomvonalát az 1. ábrán látható)

1 – Felső-triász: Földolomit Formáció; 2 – Középső-miocén (?) szárazföldi üledékek; 3–8. Felső-pannoniai: 3 – Taliándörögdí Formáció; Tapolcai Bazalt Formáció; 4 – bazalttufa, 5 – bazalt; 6–8 – Pulai Alginit Formáció: 6 – bázis rétegek, 7 – olajpala rétegek, 8 – meszes rétegek; 9 – Pleisztocén-holocén képződmények; 10 – Mélyfúrás száma és szelvénye

Figure 3. Geologic sections of Pula maar crater (for location see Figure 1)

1 – Upper Triassic: Main Dolomite Formation; 2 – Middle Miocene (?) terrestrial sediments; 3–8 – Upper Pannonian: 3 – Taliándörögd Formation; Tapolca Basalt Formation: 4 – basaltic tuff, 5 – basalt; 6–8 – Pula Alginite Formation: 6 – base beds, 7 – oil shale beds, 8 – lime beds; 9 – Pleistocene and Holocene formations; 10 – borehole and its serial number

(JÁMBOR, SOLTÍ 1976). Az oldatok lúgossá tették a tó vizét. KELTS (1986) szerint a lúgos vízü tavak sokkal több tápanyagot és oldott széndioxidot tárolnak, mint amelyek vize hasonló hőmérsékletű, de savas és semleges kémhatású.

A tó eutróf vize az algák számára ideális volt. A tó felső vízrétegében a *Botryococcus braunii* KÜTZING zöld alga nagy mennyiségben élt. Az elhalt szervezetek lesüllyedtek, és az aljzaton többé-kevésbé elbomolva a vizet anaerobbá és kissé savassá tették. Ezt támasztja alá az is, hogy az üledékek mikrorétegzettek és nem tartalmaznak bentosz faunát. A mikrorétegek feltehetően évszakos változásokat tükröznek, a karbonátdús réteg nyáron képződött (JÁMBOR, SOLTÍ 1976). RAVASZ (1974) felvetette, hogy a kovaföld, a finomlemez opalit és a kovás anyag képződése savas közegben, a diatomitos kőzetátalakulás semleges és gyengén lúgos közegben, a mészkő, dolomit, márga és a szapropelit képződése lúgos közegben játszódott le. Véleményem szerint ez így van, de nem kell arra gondolni, hogy a krátert egész víztestének pH-ja változott meg, mert a lemezes alginit képződése idején a felszín közeli lúgos és a tófenék közeli savas vízréteg nem keveredett. Mivel a kovaválasztatok elég alárendelték, arra lehet következtetni, hogy az algaszőnyeg megakadályozta a kovavázak lesüllyedését a savas kémhatású tófenék közeli vízrétegbe, így a felszín közeli lúgos vízrétegben azok feloldódtak.

A meszes rétegek megfelelnek JÁMBOR, SOLTÍ (1976) „nagyvázsonyi mészkövének és márgájának”, valamint meszes dolomitjának és SOLTÍ (1983) édesvízi mészkövének (lemezes márga, mészmárga, agyagmárga). Benne a lemezes alginitban található alkotórészek (agyag-ásványok, szervesanyag és karbonátok) egy-egy vékonyabb (0,5–1,0 m) rétegben uralkodóvá válnak, a vékonylemezesség alárendelt, valamint jelentősen megnő a karbonáttartalom. A meszes rétegek és a negyedidőszaki üledékek legnagyobb vastagságukat a krátertömedence ÉK-i részének közepén érik el, és itt egy kis sülyedéket alkotnak (2. ábra, E–F). A krátertő feltöltődésével a külső tényezők jobban hatottak, emiatt sokkal gyorsabban változtak az üledékképződési körülmények. A krátertő D-i részén, a pulai Put-5 fúrás környékén a gejzír hatása érvényesült.

A tavi üledékképződés után, a pleisztocénben az erózió alakította a tájat (2. ábra, F). Ekkorra a kráterfalak már annyira lepusztultak, hogy a kráteren belül a kráteren kívüli üledékképződés is hatott; elsősorban a Kab-hegy oldalában található kőzetek durvatörmelék változatai: patakfordalék, lejtőtörmelék, valamint lösz rakódtak le. A kráter K-i részén két mély (11,5 és 11,0 m) eróziós vályú alakult ki, amelyet elsősorban lösz töltött ki. A kráter ÉNy-i részében időszakos vízmosás képződött.

## Összefoglalás

A pulai maarkráter pliocén korú bazaltvulkáni tevékenység eredménye. A krátérsáncokat bazalttufa alkotja. A tevékenység végén a maarkráter közepén egy bazalttufa képződött. Mindkét képződmény a Tapolcai Bazalt Formációba tartozik. Ezután a környező terület vize a bazalttufa pórusain keresztül behatolt a kráterbe és egy tavat alkotott. A tavi üledékeket Pulai Alginit Formáció néven vonták össze. A Formáción belül három rétegcsoport különíthető el: bázis, olajpala és meszes.

A maarkrátertavi üledékek képződési körülményeire a következők jellemzők. A bázis rétegek lerakódása idején a krátérsáncok nagy reliefenergiával rendelkeztek, anyaguk még konszolidálatlan volt, a bazalttufa hőtartáléka nagy vízhőmérsékletet biztosított, és a szeizmikus tevékenység is erősebb volt. Ezért nagyon eltérő üledékek rakódtak le (1. táblázat). Az olajpala rétegek képződése idején az üledékképződési körülmények kiegyenlítettek voltak. Jellemző a vízszint állandósága, a kráterfalak növényzettel való borítottsága, ezért nőtt a bazalttufa mállási foka, és finomszemű üledékek rakódtak le a parti növényzet szűrő hatása miatt is. A tó vize eutrofizálódott, vastagon beborította az algaszőnyeg, ami csökkentette a hullámzás okozta

keveredést és a krátertón kívüli tényezők hatását. A krátertő feltöltődött és a peremét alkotó bazalttufa is lepusztult. Ezért a Meszes Tagozat képződése idején alapvetően megváltoztak a körülmények: a krátertávon kívüli hatások jobban érvényesültek, a vízszint állandósága is megszűnt (JÁMBOR, SOLTI 1976 kiszáradási jelenségeket említ), és külső üledékek is bekerülhettek az üledékgyűjtőbe, valamint megkezdődött a lerakódott üledékek lepusztulása.

## Köszönetnyilvánítás

A cikk a Magyar Hitelbank Magyar Tudományért Alapítvány anyagi támogatásával jött létre. A munka szakmai támogatói és egyben bírálói dr. Jámbor Áron, a Magyar Állami Földtani Intézet főmunkatársa, a földtudomány doktora és K. D. Bennett, a University of Cambridge, Sub-department of Quaternary Research igazgatóhelyettese voltak. Fáradozásukat ezúton is köszönöm. Külön köszönet illeti meg dr. Balla Zoltán sorozatszerkesztőt, akinek állhatatos és korrekt munkája nagymértékben emelte a cikk színvonalát. Köszönet illeti meg Dr. Korpás Lászlót hasznos tanácsaiért és javaslataiért.

## Irodalom — References

- BALOGH K., JÁMBOR Á., PARTÉNYI Z., RAVASZNÉ BARANYAI L., SOLTI G. 1982: A dunántúli bazaltok K/Ar radiometrikus kora. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1980. évről*, pp. 234-259.
- BÜCHEL, G., LORENZ, V. 1993: Syn- and post-eruptive mechanism of the Alaskan Ukinrek maars. in 1977. — In: NEGENDANK, J. W. F., ZOLITSCHKA, B. (eds): *Paleolimnology of European Maar Lakes. Lecture Notes in Earth Sciences*, Springer-Verlag, 49, pp. 15-60.
- CSILLAG G., NÉMETH K., MARTIN, U., GOth, K., SUHR, P. 2004: 3D architecture of a Pliocene maar volcano on the basis of drill core data and its implication for synvolcanic geomorphology, Pula Maar, western Pannonian Basin. — In: NÉMETH K., MARTIN, U., GOth, K., LEXA, J. (eds): *Abstract Volume of the 2nd International Maar Conference, Lajozsmizse/Kecskemét, Hungary, Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary* 203, p. 60.
- GOTH, K., MARTIN, U., NÉMETH K., CSILLAG G. 2004: Crater lake sediments in the Pliocene Pula maar (Western Hungary) — In: NÉMETH K., MARTIN, U., GOth, K., LEXA, J. (eds): *Abstract Volume of the 2nd International Maar Conference, Lajozsmizse/Kecskemét, Hungary, Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary* 203, p. 50.
- JÁMBOR Á. és SOLTI G. 1976: A Balaton-felvidéken és a Keme-nesháton felkutatott felsőpannóniai olajpala-előfordulás földtani viszonyai. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1974. évről*, pp. 193-220.
- HABLY L., KVAČEK, Z. 1998: Pliocene mesophytic forests surrounding crater lakes in western Hungary. — *Review of Paleobotany and Palynology* 101, pp. 257-269.
- HAJÓS M. 1976: A pulai Put-3. sz. fúrás felsőpannóniai képződményeinek diatóma flórája. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1974. évről*, pp. 263-285.
- KELTS, K. 1986: Environments of deposition of lacustrine petroleum source rocks: an introduction. — In: FLEET, A. J., KELTS, K. and TALBOT, M. R. (eds): *Lacustrine petroleum source rocks, Geological Society Special Publication*, 40, pp. 3-26.
- MEZŐSI, J. and MUCSI, M. 1976: Data on the geology and mineralogy of the oil shale occurrence at Pula, Hungary. — *Acta Mineralogica- Petrographica, Acta Universitatis Szegediensis* XXII (2), pp. 195-220.
- NÉMETH K., CSILLAG G., MARTIN, U. 2002: Pliocene crater lake deposits and soft-sediment deformation structures associated with a phreatomagmatic volcano: Pula maar, western Hungary. — *Geologica Carpathica* 53 (Special Issue).
- RAVASZ CS. 1974: A Put-3. sz. fúrás mintái vékonycsiszolatainak vizsgálati eredménye. — *Kézirat*, Országos Földtani és Geofizikai Adattár, Budapest.
- RAVASZ CS. 1976: A pulai és gercei olajpala közettani vizsgálata. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1974. évről*, pp. 221-245.
- SOLTI G. 1981: A pulai gejzirit. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1979. évről*, pp. 214-247.
- SOLTI G. 1983: Földtani kutatási (összefoglaló) jelentés és vagyonszámítás a pulai olajpala (alginit) előfordulásról az 1982. december 31-i állapot szerint. — *Kézirat*, Országos Földtani és Geofizikai Adattár, Budapest.
- WILLIS, K. J., KLECZKOWSKI, A., CROWHURST, S. J. 1999: 124,000-year periodicity in terrestrial vegetation change during the late Pliocene epoch. — *Nature* 397, pp. 685-688.