

KÜLÖNBÖZŐ FELBONTÁSÚ DOMBORZATMODELLEK BEFOLYÁSA VULKÁNI SALAKKÚPOK MORFOMETRIAI PARAMÉTEREIRE – ÖSSZEHASONLÍTÓ TANULMÁNY

VÖRÖS FANNI

A COMPARATIVE STUDY OF THE INFLUENCE OF DIFFERENT RESOLUTION DTMS
ON THE GEOMORPHOMETRIC PARAMETERS OF VOLCANIC SCORIA CONES

Abstract

Since the early 2000s, rapidly improving resolution digital terrain models (DTMs) have been used increasingly as input data in various geomorphometric studies. They are excellent for studying large areas, clusters, and geomorphological forms, and with their help, it is not difficult to analyse hundreds of forms. A common problem in the statistical evaluation of DTMs is that the results may depend on the resolution of the input data. My aim in this study was to examine one of the simplest volcanic forms, the cinder cones, from a geomorphometric point of view and to show the extent to which the result was affected by the different resolutions of the DTMs. The study areas were the San Francisco Volcanic Field (SRTM DTM resolutions 30 and 10 m) in Arizona (USA) and Chaîne des Puys (LiDAR DTM resolutions 90 and 0.5 m) in Auvergne (France). Polar coordinate transformation (PCT) was used, descriptive parameters (cone height and average slope) were calculated, and a comparison was carried out (with the help of the Mann-Whitney test) to show statistically significant differences for age groups and values derived from different resolutions. The slope values are the most sensitive to the resolution of the input data: comparing the age groups with themselves, but with values calculated from DTM with different resolutions, the slope shows a statistically significant difference in almost all cases. Based on the tests, an ideal resolution for scoria cone morphometric examination should be at least 10 meters, but if it is an area that contains older, smaller cones, a better resolution is a better choice. On the other hand, the 0.5 meters seems unnecessary for symmetry/parameter tests.

Keywords: scoria cones, digital terrain models, volcano morphometry, San Francisco Volcanic Field, Chaîne des Puys, statistical comparison

Bevezetés

A 2000-es évek eleje óta az egyre jobb és jobb felbontású digitális terepmodellek (Digital Terrain Models, vagy DTM-ek) megjelenésével azok nemcsak háttér-illusztrációként játszottak szerepet a tudományos kutatásokban, hanem egyre gyakrabban fordultak elő mint bemenő adatok a különböző geo-morfometriai vizsgálatokban (pl. WILSON, J. P. 2012, ŠILJEG, A. et al. 2019). Egyrészt a jobb felbontású DTM-ből származó adatok sok esetben pontosabbak és részletesebbek, mint a régebbi terepi mérésekből nyert vagy sztereofotogrammetriás adatok (LI, Z. et al. 2005), hiszen a terepen pl. a növényzet eltakarhat bizonyos mikrotopográfiai elemeket. Másrészt kiválóan alkalmasak nagy területek, felszínforma-csoportosulások, geomorfológiai formák vizsgálatára (pl. KARÁTSON D. et al. 2016), segítségükkel nem nehéz akár több száz formát is elemezni.

A DTM-ek statisztikai kiértékelésénél gyakran felmerülő probléma, hogy az eredmények nemcsak az adatnyerés módjától, hanem a bemenő adat felbontásától is függhetnek. Különösen igaz ez akkor, ha az értékelés lejtőszögszámításokat is tartalmaz: a gyengébb felbontású DTM-ek hajlamosak alábecsülni a meredekebb lejtőket (WOLOCK, D. M. – MCCABE, G. J. 2000, ZHANG, R. et al. 2022). Mivel a vulkán-morfometriában alapvető paraméter a lejtőszög, így ez a probléma kiemelkedő fontosságú lehet az ilyesfajta vizsgálatokban.

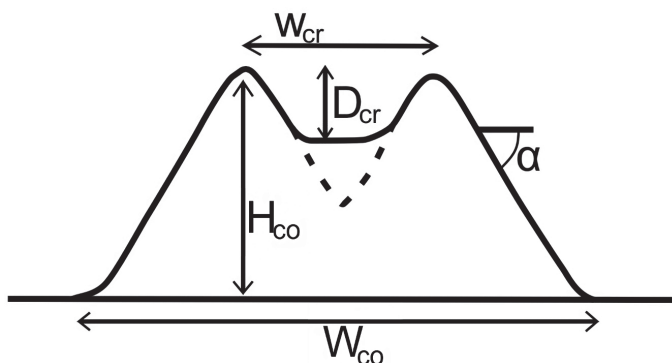
Célom ebben a tanulmányban az volt, hogy megvizsgáljam az egyik legegyszerűbb vulkáni formákat, a salakkúpokat geo-morfometriai szempontból. Mivel ezek monogenetikusak (lásd később), így tökéletesen alkalmasak a lepusztulás tanulmányozására. PORTER, S. C. (1972), WOOD, C. A. (1980a, b) és sok más kutató nyomán a franciaországi Chaîne des Puys és az észak-amerikai San Francisco Volcanic Field példáján ezt a lepusztulást különböző paraméterekkel vizsgáltam, majd jelenítettem meg polárkoordináta-transzformáció segítségével (SZÉKELY B.–KARÁTSZON D. 2004), hogy megvizsgálhassam az aszimmetriájukat, illetve hogy plasztikus képet kapjak a domborzatmodellek felbontási különbségeiről. Statisztikai próbák segítségével vizsgáltam meg, hogy a használt domborzatmodellek felbontása vajon jelentős, matematikailag kimutatható különbséget ad-e a kiszámolt paraméterek értékeiben.

A salakkúp-morfometriai kutatások áttekintése

A salakkúpok nagy valószínűséggel a leggyakoribb vulkáni felépítmények a Földön (WOOD, C. A. 1980a, b). Többnyire monogenetikusak, azaz egyetlen kitörés vagy kitörési fázis vesz részt a kialakulásukban (KARÁTSZON D. 2014). A kitörés jöhet egyetlen kúrtóból (WOOD, C. A. 1980a; WALKER, G. P. L. 2000), vagy néhány repedés mentén (RIEDEL, C. et al. 2003; FORNACIAI, A. et al. 2012). A „monogenetikus” kifejezést a mai napig széles körben használják (DE SILVA, S.–LINDSAY, J. M. 2015). FORNACIAI, A. et al. (2012) ezen kifejezés használatát – pl. HOUGHTON, B. F.–SCHMINCKE, H.-U. (1989), CALVARI, S.–PINKERTON, H. (2004), PIOLI, L. et al. (2008) alapján – azokra a kúpokra igyekezett korlátozni, amelyek kialakulása viszonylag rövid (néhány órától legfeljebb néhány hónapig terjedő) időt vett igénybe, kis térfogatúak, és túlnyomórészt mafikus kőzetolvadékok hoztak felszínre. NÉMETH K. (2010), KERESZTURI G.–NÉMETH K. (2012) és NÉMETH K. –KERESZTURI G. (2015) kimutatták, hogy a monogenetikus vulkánok formájukban és összetételükben is nagyon változók, és előfordulhat átmenet az egyszerű salakkúpoktól a hosszú életű poligenetikus vulkánok irányába is. A salakkúpok általában mezőkben csoportosulnak és létrejöhetnek sík vagy hegységi területen (FODOR E. 2012), vagy akár pajzs-, illetve rétegvulkánok oldalain, elszórt parazitakúpokként (pl. CORAZZATO, C.–TIBALDI, A. 2006) is.

A salakkúp-morfometriát vizsgáló tanulmányok jelentős része (lásd később) a friss salakkúpok egyszerű geometriai modelljén (PORTER, S. C. 1972) alapult, és nem vett figyelembe semmilyen aszimmetriát, egyenetlenséget a kúpon, pl. megnyúlást, összeesett vagy kráter nélküli kúpokat. Ez a hagyományos megközelítés a közelmúltban elkezdett kiegészülni újabb, az aszimmetriára vonatkozó kutatásokkal (pl. VÖRÖS F. et al. 2021; VÖRÖS F.–SZÉKELY B. 2022). PORTER volt az első, aki számszerű összefüggéseket állapított meg a különböző kúpmorfológiai mérőszámok között. Megvizsgálta a kúpok morfológiáját, eloszlását és méretének gyakoriságát a hawaii Mauna Keán. A legtöbb tanulmányban (beleértve a jelenlegit is) az ő terminológiáját (*l. ábra*) használták és használják a mai napig.

Az egyik legkorábbi tanulmány COLTON, S. H. 1967-ben újra kiadott, eredetileg 1937-es munkája volt, amely egy klasszikusnak számító morfometriai leírás az arizonai San Francisco Volcanic Field területén található salakkúpokról. Lepusztulásuk alapján 5 csoportba osztotta a kúpokot és a bazaltfolyásokat (lásd később). SCOTT, D. H.–TRASK, N. J. (1971) a nevadai Lunar Crater Volcanic Field salakkúpjain és lávafolyásain végeztek morfológiai, morfometriai, kémiai és radiometrikus méréseket. A maximális kúpméretedekség (lejtőszög) és a kúpszélesség/kúpmagasság aránya alapján 15 kúp relatív



1. ábra A hagyományosan meghatározott vulkán-morfometriai paraméterek (PORTER, S. C. 1972 alapján).
 Jelmagyarázat: W_{cr} – kráterátmérő; D_{cr} – krátermélység; H_{co} – kúpmagasság; W_{co} – kúpszélesség; α – lejtőszög.
 Figure 1 Classic volcanomorphometric parameters (based on PORTER, S. C. 1972).
 Legend: W_{cr} – crater width; D_{cr} – crater depth; H_{co} – cone height; W_{co} – base width; α – slope angle.

morfometriai korát határozták meg. SETTLE, M. (1979) hat vulkáni terület – Mauna Kea (Hawaii), Etna (Olaszország), Kilimandzsáró (Tanzánia), San Francisco Volcanic Field (Arizona), Paricutin (Mexikó) és Nunivak-sziget (Alaszka) – paramétereit vizsgálta, beleértve az átlagos térfogatot, a kúp magasságát és annak átmérőjét is. A salakkúp-morfometria egyik legjelentősebb munkája WOOD, C. A. (1980a, b) névéhez köthető: a COLTON, S. H. (1967) és MOORE, R. B. – WOLFE, E. W. (1986) által korcsoportokba osztott kúpokat vizsgálta és hasonlította össze. Megfigyelte azokat a tendenciákat, amelyeket öt másik salakkúpmezőben – Lunar Crater Volcanic Field (Nevada), Newberry-vulkán (Oregon), Wudalianchi-vulkán (Mandzsúria), Etna (Olaszország) és Piton de la Fournaise (Réunion) – is találtak, annak meghatározására, hogy a lepusztulási értékek megegyeznek-e más földi salakkúpterületekével. WOOD azt is kimutatta, hogy a (geológiai) térképek felbontása nem elegendő bizonyos paraméterek (pl. kráterátmérő) biztos megadásához. Azt állította, hogy a kúpmagasság (H_{co}) és az átmérő (W_{co}) aránya, továbbá a lejtőszögek (α) idővel csökkennek, míg a kráterátmérő (W_{cr}) és a kúpátmérő (W_{co}) aránya nem változik (1. ábra). WOOD nyomán HOOPER, D. M. – SHERIDAN, M. F. (1998) összehasonlító morfometriai vizsgálatot végeztek, számítógépes modellezéssel kiegészítve. Ebben a felszín eróziós folyamatait modellezték egy ideális kúpon. A maximális lejtőértékeket terepi felmérésekből, légi felvételekből és a szintvonalak távolságából számították ki. Ezen adatok kiegészítésére az Egyesült Államok Geológiai Szolgálatától (USGS) származó digitális terepmodelleket használták. Modellezésük a korábban ismertetett paramétereken – magasság, magasság-átmérő arány (H_{co}/W_{co}), krátermélység-kráterátmérő arány (H_{cr}/W_{cr}), lejtőszög – alapult. Szerintük az összehasonlító morfológiával történő relatív kormeghatározás alapját az idővel folyamatosan változó morfológiai paraméterek vizsgálata jelenti. A 2000-es évek elejétől a DTM-eket egyre gyakrabban használták morfometriai vizsgálatokhoz, és ahogy egyre szélesebb körben elérhetővé váltak, fokozatosan jobb felbontással.

Az eddig hivatkozott tanulmányokban főként szabályos kör alakú vagy elliptikus kúpokra írtak le összefüggéseket. Szabálytalan kúpok esetén nagy jelentősége van az átmérő megfelelő meghatározásának: FAVALLI, M. et al. (2009) megvizsgálták a lávafolyások miatti paraméterváltozásokat salakkúpmezőkben, illetve azt, hogy milyen hatása van a (nagyobb) vulkánoldalon való elhelyezkedésnek. Definiálták, milyen képlettel adható meg a kúpmagasság és szélesség ferde alapon. Ezekben az esetekben az „új”

magasságértékek alacsonyabbnak bizonyultak. Hasonló eredményeket írt le FORNACIAI, A. et al. (2012) is, eltérő felbontású DTM-eket használva 21 vulkáni területen különböző tektonikus és éghajlati elemek összehasonlítására. Kimutatták, hogy a DTM felbontása kulcsfontosságú a salakkúpterületek kiválasztásakor. A 90 m-es SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) többnyire nem megfelelő, a 30 m-es ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) kielégítő felbontású lehet, de a salakkúpvizsgálatokhoz tényleg csak a jobb felbontású adatok ajánlottak, pl. 5, ill. 10 m-es felbontású Light Detection and Ranging (LiDAR) alapú DTM. A morfolometriai paramétereket (térfogat, lejtőszög, H_{co} , W_{co} és W_{cr}) és a geometriai arányokat (H_{co}/W_{co} és W_{cr}/W_{co}) összesen 542 kúpra számították ki. A klasszikus paraméterek mellett VÖRÖS F. et al. (2021) szektorális megközelítést is alkalmaztak a jelen tanulmányban is vizsgált Chaîne des Puys vulkáni területen: meredekségeloszlásokat számoltak 25 különböző kőzetminőségű salakkúpra annak érdekében, hogy a kialakult aszimmetriát bemutassák.

Vizsgált területek

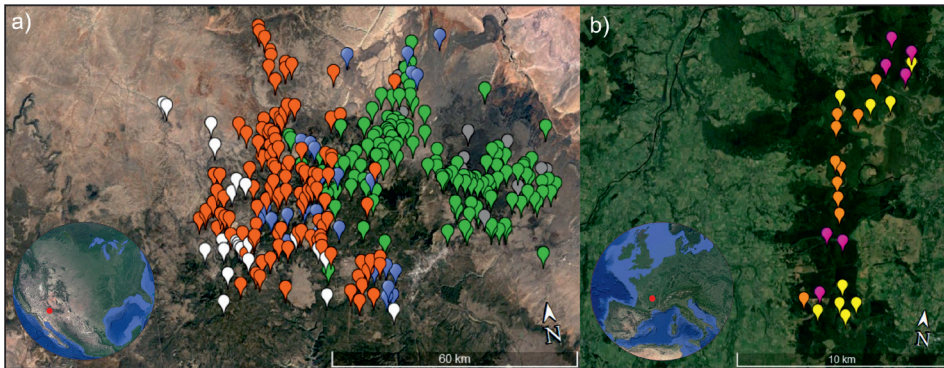
San Francisco Volcanic Field (SFVF)

A San Francisco Volcanic Field Észak-Amerikában, Arizona államban, Flagstaff közeliében található (2a. ábra). Nagyjából 600 salakkúp, lávadóm és lávafolyás található ezen a kb. 4700 km²-es területen. A kontinensen több hasonló vulkáni terület is kialakult a neogéntől kezdve, de a legnagyobb területet lefedő kitérők az Észak-Amerikai-plató D-i részéhez köthetők (PRIEST, S. S. et al. 2001). A SFVF uralkodó kőzete az alkálibazalt, emellett andezites magmából létrejött formákat is találhatunk, pl. a terület központi formája, a San Francisco rétegvulkán meghatározó kőzete andezit (KARÁTSZON D. et al. 2010). Ez utóbbi kőzet közepes viszkozitása miatt salakkúpok és lávadómok felépítője. A SFVF-en van néhány dácitos vagy riolitos összetételű dóm is (WOLFE, E. W. et al. 1987). A területet felépítő kőzetek története mintegy 2 milliárd évre nyúlik vissza (PRIEST, S. S. et al. 2001). A mai domborzat legmeghatározóbb felszínformái a vulkáni formák, amelyek története mindössze 5-6 millió évre nyúlik vissza. Ezen időintervallumon belül a felépítmények kora széles skálán mozog. Ugyanúgy előfordulnak pár ezer éves (Sunset Crater), millió éves (San Francisco Mountain: 0,4-1 millió év) és több millió éves (Bill Williams Mountain: 5-6 millió év) vulkáni formák is (TANAKA, K. L. et al. 1986). Jelen tanulmányhoz a COLTON, H. S. (1967), MOORE, R. B. – WOLFE, E. W. (1976) és BATA T. (2007) alapján meghatározott 5 korcsoport adta a salakkúpok csoportosításának alapját. Az idősebb, pliocén korú salakkúpok a SFVF Ny-i, DNy-i részein találhatóak, míg K felé egy fiatalodó trend jelenik meg (TANAKA, K. L. et al. 1986). A legkeletibb kúpok késő pleisztocén – holocén korúak. Ez a fiatalodó trend lehet a bizonyítéka annak, hogy a terület egy forró folt felett alakult ki (PRIEST, S. S. et al. 2001). A jelen kutatáshoz hasonló morfolometriai modellezéseket végzett a területen pl. BATA T. 2007, BATA T. et al. 2008, KIRÁLY E. 2009, KIRÁLY E. et al. 2009, SZÉKELY B. et al. 2009.

Chaîne des Puys (CdP)

A Chaîne des Puys Franciaországban, Auvergne-ben található, Clermont-Ferrand közelében (2b. ábra). A területen több mint 80 monogenetikus forma (salakkúp, lávadóm és maar) helyezkedik el kb. 40 km hosszan É–D-i irányban (BOIVIN, P. et al. 2017). A vulkánok mára az UNESCO Világörökségének részévé váltak. A kis bazaltos formáktól

a trachitos dómokig a legtöbb típusú vulkáni felszínforma megjelenik: egyszerű kisebb (néhány 10 m-es) és nagyobb (néhány 100 m-es) kúpok, illetve összetett kitérőseket mutató komplex lejtőjű formák ugyanúgy előfordulnak (BOIVIN, P. et al. 2017, VAN WYK DE VRIES, B. 2017). Bazalt, trachibazalt és trachandezit is megtalálható, de a dómok felépítő anyaga jellemzően trachitos. A legfiatalabb kúp kb. 4400, míg a legidősebb kb. 100 ezer éves (MIALLIER, D. et al 2010, 2012, VAN WYK DE VRIES, B. et al 2014). Látható, hogy az SFVF-del ellentétben itt sokkal kisebb időtartamról beszélhetünk, és korábbi kutatások nem csoportosították koruk alapján a kúpokat. A később bemutatandó statisztikai próba tulajdonságainak figyelembevétel a 26 kúp 3 csoportba került (2b. ábra).



2. ábra A két vizsgált terület a Google Earth-en megjelenítve (szerk. VÖRÖS F.).

a) A SFVF salakkúpjai 5 korszakra osztva.

Jelmagyarázat: szürke – 1. korszak; zöld – 2. korszak; kék – 3. korszak; piros – 4. korszak; fehér – 5. korszak.

b) A Cdp salakkúpjai 3 korszakra osztva.

Jelmagyarázat: citromsárga – 1. korszak; rózsaszín – 2. korszak; narancssárga – 3. korszak.

Figure 2 The two examined areas displayed on Google Earth (ed. by VÖRÖS, F.).

a) The cinder cones of the SFVF divided into 5 age groups.

Legend: gray – 1st age group; green – 2nd age group; blue – 3rd age group; red – 4th age group; white – 5th age group.

b) Cinder cones of Cdp divided into 3 age groups.

Legend: yellow – 1st age group; pink – 2nd age group; orange – 3rd age group.

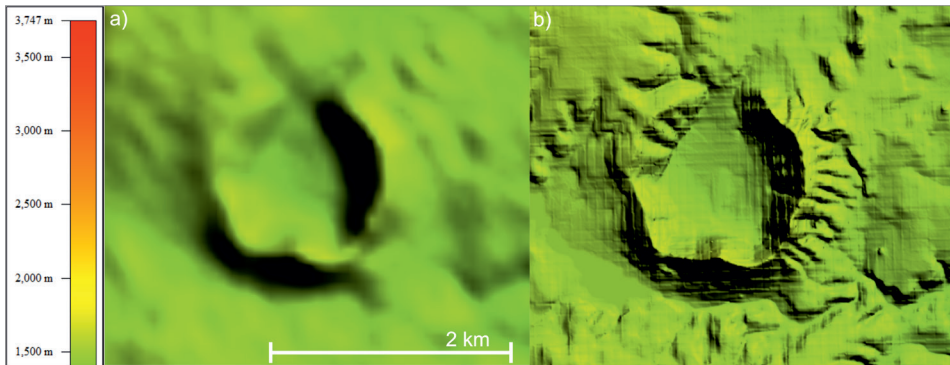
Adatok és módszerek

Felhasznált domborzatmodellek

Jelen kutatásban két forrásból dolgoztam: az SRTM globális adatbázis különböző felbontású változatait, illetve LiDAR felmérést használtam.

A digitális domborzatmodellek közül kiemelkedik az amerikai NASA (National Aeronautic and Space Administration) több európai partnerrel közös programja, az SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) (RABUS, B. et al. 2003). Az űrrepülőgépek 57°-os pályahajlásából következik, hogy a mérés a poláris területeket nem érintette, a térképezett terület így a 60°-os É-i, valamint az 57°-os déli szélességi körök közé esett, amivel a Föld felszínének mintegy 80%-át sikerült térképezni, 90 m-es horizontális felbontásban (<https://cgiaarsi.community/data/srtm-90m-digital-elevation-database-v4-1/>).

Az Amerikai Egyesült Államok területére rendelkezésre álló DTM-ek jelentős része ingyen letölthető a USGS (United States Geological Survey) weboldaláról (<https://apps.nationalmap.gov/downloader/#/>), és a legtöbb a globális 90 m-nél jobb felbontású (3. ábra). Ezeket manapság egyre gyakrabban egészítik ki LiDAR mérésekkel. A 3D Elevation Program



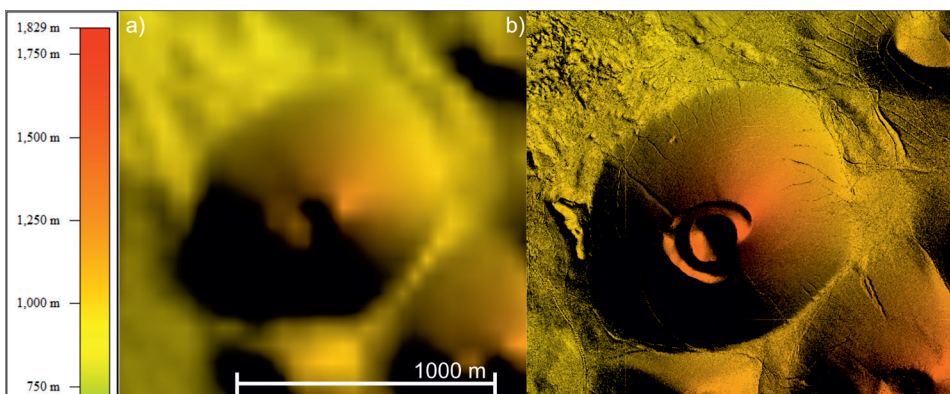
3. ábra A BT090-es kúp és környéke a) 30 és b) 10 m felbontású SRTM domborzatmodellen
 Figure 3 Cone BT090 and its surroundings on a) 30 and b) 10 meter resolution SRTM DTM

(3DEP) 10 m-es (1/3 ívmásodperc) felbontású DTM-je is ilyen LiDAR alapú projekt (<https://data.usgs.gov/datacatalog/data/USGS:3a81321b-c153-416f-98b7-cc8e5f0e17c3>).

Az egyik legpontosabb módszer a felszíni térképezésre, domborzatmodellezésre a LiDAR technológián alapuló lézerszkennelés, amely lézerpulzusokat (UV, látható vagy közeli infravörös hullámhosszú) bocsájt ki, majd annak a visszaverődési idejéből határozza meg a műszer és a visszaverő felszín távolságát. A LiDAR a nagyon jó felbontását a relatíve rövid hullámhosszának köszönheti. A nagyobb pontosság következménye egy terjedelmesebb adathalmaz, amelynek kezelése és precíz feldolgozása éppen ezért nagyobb kihívást jelent, mint pl. az SRTM-nél.

A kutatáshoz felhasznált LiDAR adatok a CRAIG (Centre Regional de Informational Geographique) honlapjáról (https://drive.opendata.craig.fr/s/opendata?path=%2Flidar%2Fautres_zones%2F2011_site_puy_de_dome_lidarverne) érhető el: az egész terület 5 m-es, míg a központi rész (ahol a jelen kutatásban vizsgált kúpok találhatóak) 0,5 m-es felbontásban tölthető le. Összehasonlításként a fent ismertetett SRTM domborzatmodell 90 m-es felbontású változatát használtam (4. ábra).

A két vulkáni területre elérhető domborzatmodellek jellemzőit, valamint a területen megvizsgált kúpok és alkalmazott korcsoportok számát az 1. táblázat mutatja.



4. ábra A Puy de Côme és környéke két különböző felbontású DTM-en:
 a) 90 m-es SRTM és b) 0,5 m-es LiDAR alapú domborzatmodellen
 Figure 4 Puy de Côme and its surroundings on two different resolution DTMs:
 a) 90-meter SRTM and b) 0.5-meter LiDAR-based DTM

Összesítés a két terület domborzatmodelljeiről és a vizsgált kúpokról.

Summary of the DTMs of the two areas and the examined cones.

Vulkáni terület	DTM felbontás	Kúpok száma	Korcsoportok száma
San Francisco Volcanic Field	30 m / 10 m	305	5
Chaîne des Puys	90 m / 0,5 m	26	3

Az alkalmazott módszertan

SETTLE, M. (1979) a klasszikus morfolometriai paramétereket (1. ábra) a következőképpen írta le:

- a kúp magassága (H_{co}) a kráter peremének maximális értéke, vagyis a csúcsmagasság és az átlagos alapmagasság közötti különbség;
- a kúpszélesség/alapátmérő (W_{co}) a maximális és a minimális átmérő átlaga;
- a kráterszélesség/átmérő (W_{cr}) a maximális és minimális átmérő átlaga;
- a krátermélység (D_{cr}) a maximális perem- vagy csúcsmagasság és a kráter legalacsonyabb magassága közötti különbség.

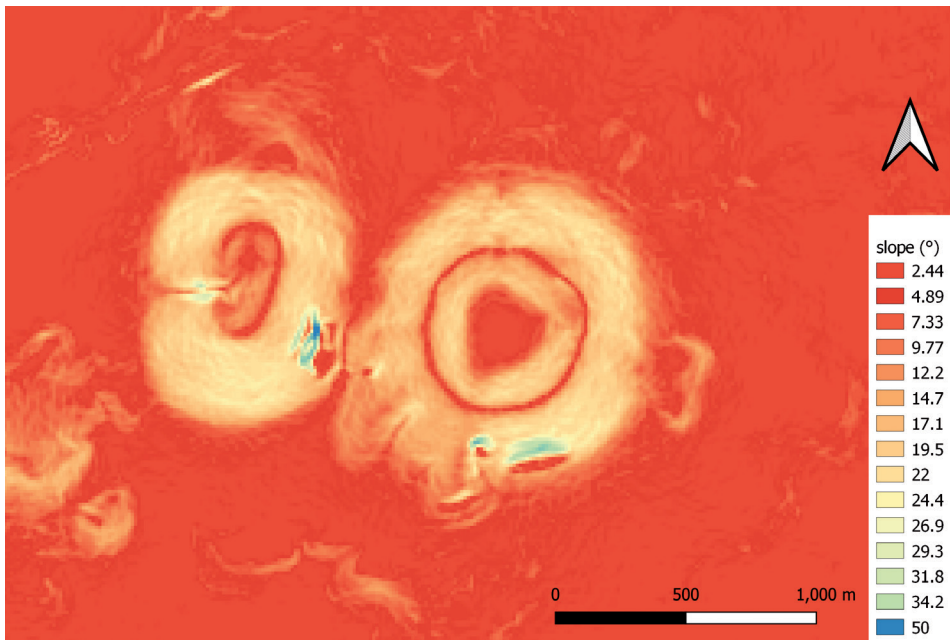
A lejtőszögeket kezdetben a terepen mérték, vagy a topográfiai térképek szintvonalai-ból számították ki (WOOD, C. A. 1980a, b). Manapság ezt a DTM-ből közvetlenül lehet kinyerni, ezáltal a valósághoz közelebbi értékeket kaphatunk, mint a klasszikus számításokkal (pl. VÖRÖS F. et al. 2021). Jelen összehasonlításhoz a SETTLE által definiált kúpmagasságot (H_{co}) és a DTM-ből kiszámított átlagos lejtőszöget használtam.

Kúpok körvonalának és középpontjának meghatározása

Bármiféle (vulkán-)morfolometriai vizsgálathoz először meg kell határozni, hogy az adott objektum kiterjedésének hol van a határa, vagyis meddig tart (jelen esetben horizontálisan) a vulkáni forma, amit vizsgálunk, és hol kezdődik az alapfelszín, amire rátelepült. Ehhez a lépéshez SZÉKELY B. – KARÁTSZON D. (2009) különféle adatokból számított valószínűség/sűrűség-függvény kiszámítását javasolja, ám nagyszámú kúpra ez a lépés még nem alkalmazható. Salakkúpok esetében a domborzatmodellből előállított lejtőszögterképekből lehet a legkönnyebben meghatározni az alapfelszín és a vulkáni forma határát, ott ugyanis hirtelen lejtőszögérték-csökkenés jellemző. KARÁTSZON D. et al. (2006) ajánlanak egy megoldást a középpont kúphoz képesti viszonylagos irányának automatikus meghatározására (bizonyos szögponthoz belül), míg VÖRÖS F. – SZÉKELY B. (2022) Spatial Elliptical Fourier Descriptorok (ellipszisillesztés poligonra) segítségével határozták meg a már kijelölt (alapfelszín és vulkáni forma határával meghatározott) salakkúpok középpontját. Jelen kutatásban mind a kontúr (5. ábra), mind a középpont meghatározásához a vizuális kiértékelést (lejtőszögterkép, kiegészítve az árnyékolt domborzatmodellel) alkalmaztam. Utóbbi esetében a kráter középpontját vettem figyelembe.

Polárkoordináta-transzformáció (PCT)

Egy nagyjából körszimmetrikus objektum szimmetriáját legkönnyebben úgy tudjuk megvizsgálni, ha egy (feltételezett) szimmetria-középpontból kiindulva sugárirányban megvizsgáljuk az értékeket, illetve azok bizonyos távolságonkénti eltérését. A polárkoordináta-transzformációt (PCT) vulkán-morfolometriai vizsgálatokra SZÉKELY B. – KARÁTSZON D.



5. ábra Két salakkúp lejtőszögtérképen ábrázolva. Jól látható az alapfelszín és a kúpok határa.
 Figure 5 Two cinder cones depicted on a slope angle map. The base surface and the border of the cones are clearly visible.

(2004) vezették be, majd később más vulkánokra is alkalmazták (SZÉKELY B. – HAMPTON, S. J. 2007). A módszer egy koordináta-transzformációon alapul: az eredeti, descartes-i koordináta-rendszerben kijelölt pontot egy szélességi és egy hosszúsági érték jellemez (x és y [méter]), amely pontot a polárkoordináta-rendszerben egy adott középponttól való távolsággal [r (méter)] és az azimuttszöggel (a 0° -tól való horizontális szögeltéréssel, φ [°]) írhatunk le. Ez a módszer vizuális úton alkalmas egyrészt a kúpok aszimmetriájának vizsgálatához, másrészt mivel a nyers, interpolálatlan adathalmazzal dolgozik, annak sűrűsége és elégségességének kimutatására is, ezért használtam kutatásomban.

Mann–Whitney statisztikai teszt

A legelterjedtebb statisztikai teszt a t-próba, amelynek előfeltétele a normál eloszlás. Jelen esetben azonban az összehasonlítandó adatsorok nagy része jelentősen eltérő méretű, ezért a kétmintás t-próba nem parametrikus megfelelőjét kell használni, amelyek a nem normál eloszlású, valamint ordinális változók esetében használatosak. A Mann–Whitney-tesztet különösen kis elemszámú csoportok összehasonlítására használják, amikor az anyaeloszlásokról nincs információnk. A próba megadja, hogy mennyi a valószínűsége annak, hogy a két adathalmaz különböző eloszlású populációból származik-e. A szignifikanciaszintet általában 0,05-ben határozzák meg (MANN, H. B. – WHITNEY, D. R. 1947), jelen kutatás is ezt követte a számítások során.

HOOPER, D. M. – SHERIDAN, M. F. (1998) elvégezték ezt a statisztikai elemzést mindkét általuk vizsgált vulkáni területen (San Francisco és Springerville) a H_{co}/W_{co} arányok, a maximális és átlagos lejtőszögértékek tekintetében. Mivel a teszt a kora pleisztocén–késő pliocén és pliocén korcsoportpárok kivételével (maximális lejtőszögértékek esetén)

az egyes párok eloszlásában eltéréseket mutatott, azt állították, hogy a korcsoportok közötti különbségek statisztikailag szignifikánsnak tekinthetők. Ezt a kutatást követve végeztem el én is az összehasonlításokat, immár a DTM-ből kiszámolt lejtőszögre és a kúpmagasságra.

A teszt elvégzéséhez szükség volt korcsoportok definiálására. Ezt a SFVF esetében COLTON, H. S. (1967), MOORE, R. B.–WOLFE, E. W. (1986) és BATA T. (2007) alapján történt, míg a CdP-nél magam hoztam létre a Mann–Whitney-próba tulajdonságainak figyelembevételével – előnyös, ha a vizsgált csoportok egyenlő darabszámú elemet tartalmaznak – a három csoportot (2. táblázat).

2. táblázat – Table 2

A vizsgált területek korcsoportjai, és azokban található kúpok darabszáma
The age groups of the examined areas and the number of cones in them

Kor-csoport	SFVF	SFVF darabszám	CdP	CdP darabszám
1	0,00–0,16 Ma (késő pleisztocén)	11	8,45–19,00 ka	9
2	0,16–0,73 Ma (középső pleisztocén)	131	20,00–40,00 ka	8
3	0,73–2,00 Ma (kora pleisztocén)	26	43,00–63,70 ka	9
4	2,00–2,48 Ma (kora pleisztocén – késő pliocén)	113		
5	2,48–5,00 Ma (késő pliocén)	24		

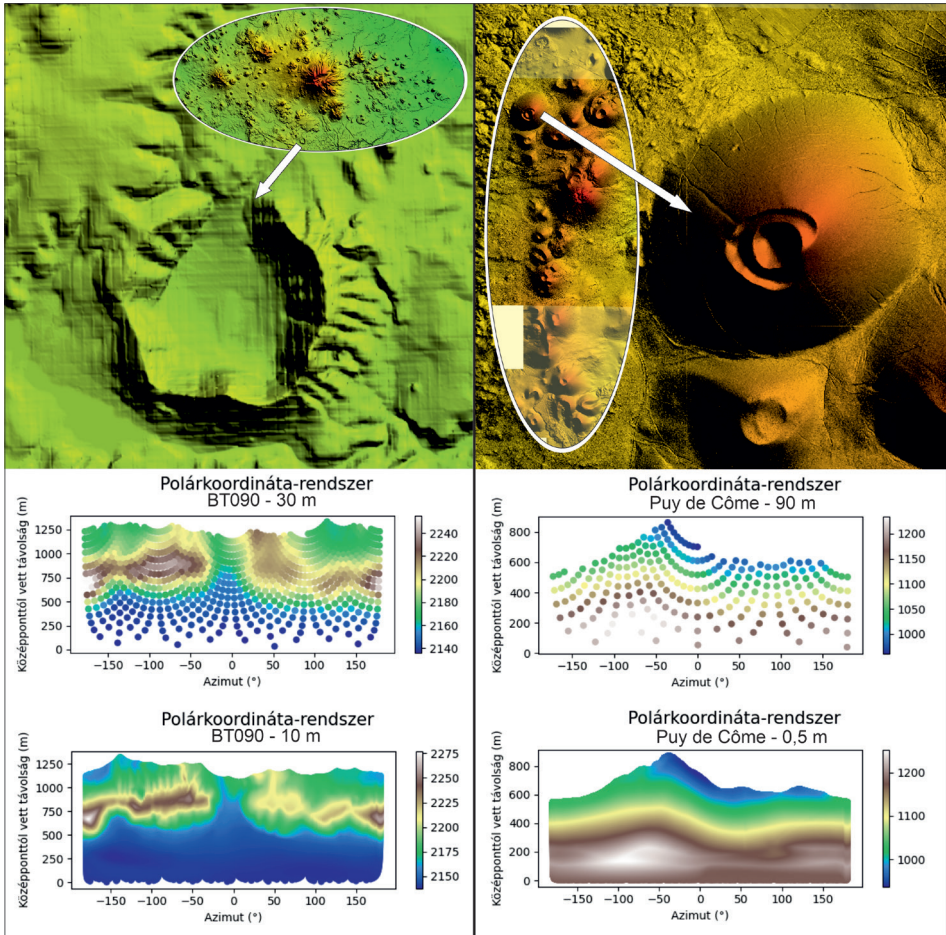
A Mann–Whitney-teszt eredményének vizuális reprezentációjához általában boxplot-diagramot (dobozdiagramot) alkalmaznak. Ezek egy adathalmaz interkvartilis terjedelmét (az alsó és felső kvartilis különbségét) mutatják. Fontos adatot mutatnak a kiugró értékek, illetve a medián és az átlag (\bar{x}) is.

Eredmények

Polárkoordináta-transzformáció (PCT)

Annak érdekében, hogy a DTM-ek felbontásában fellépő különbségeket a lehető legérzékletesebben lehessen megjeleníteni, az elkészült PCT-ábrákon nem történt interpoláció a konkrét magasságértékekkel rendelkező pontok között. Mindkét területen egy-egy salakkúp került kiválasztásra: a SFVF-en a BT090-es elnevezésű, míg a CdP-ről a Puy de Côme.

A 6. ábrán legfelül látható a két választott kúp domborzatmodellén megjelenítve. A felső sorban mindkét példa esetében a gyengébb, míg az alsó sorban a jobb felbontású domborzatmodellek alapján elkészült PCT-ábra látható. Mindegyik esetben az y tengelyen az r sugártávolság (középpont – adott pont), míg az x tengelyen az azimuttszög található. Utóbbi esetében nem $0\text{--}360^\circ$, hanem $-180^\circ\text{--}180^\circ$ látható; a 0° jelöli az É-ot, a 90° a K-et, míg a -90° a Ny-ot. A BT090-es egy kb. két km átmérőjű kúp a SFVF-en, patkó alakú kráterrel, amely É-i irányba nyitott. Ez a PCT-ábráról is leolvasható, a középponttól kb. 750 m távolságra található kráterperem 0° -nál megszűnik. A Puy de Côme egy majd másfél km átmérőjű kúp a CdP területén. Kettős kráterpereme van, ezek ~ 100 és 200 m-es távolságban találhatóak a középponttól.

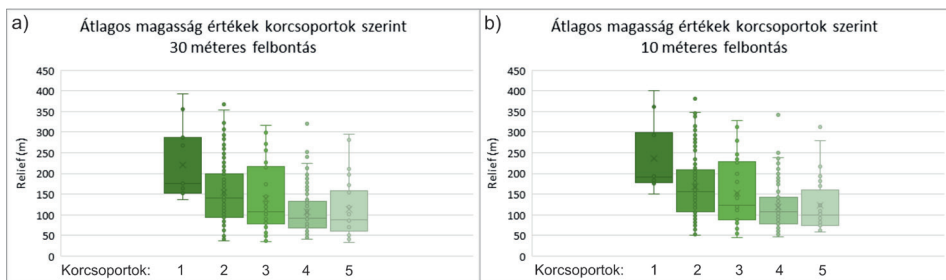


6. ábra A két kiválasztott salakkúp (BT090 és Puy de Côme – legfelső sor) PCT-ábrája gyengébb (felső sor) és jobb (alsó sor) felbontású DTM alapján
 Figure 6 PCT maps of the two selected scoria cones (BT090 and Puy de Côme – top row) based on DTM with lower (top row) and better (bottom row) resolution.

San Francisco Volcanic Field (SFVF)

Ahogy azt korábban említettem, a salakkúp-morfometriában használt két leggyakoribb paraméter, a H_{co} (a kúp relatív magassága) és az α (lejtőszög) került kiszámításra. Minden egyes kúp egy-egy átlagos lejtőszög és relief értékkel lett leírva. A SFVF-en összesen 305 kúp lett megvizsgálva: közülük 11 található az első (legfiatalabb), 131 a második, 26 a harmadik, 113 a negyedik és 24 az ötödik (legidősebb) korcsoportban (2. táblázat). A kiszámolt átlagos értékek csoporton belüli és egymáshoz viszonyított eloszlása boxplotdiagramokon lett megjelenítve (7. ábra).

Az ábra a) részén a 30 m-es, a b) részében a 10 m-es felbontást láthatjuk. Az egyértelműen leolvasható, hogy mindkét esetben a legfiatalabb korcsoportba tartozó kúpok átlagos magassága a legnagyobb, és ahogy idősödnek a kúpok (5-ös csoport felé haladva), ez a magasság is csökken. Elmondható, hogy az interkvartilis terjedelem a jobb felbontásnál



7. ábra A SFVF salakkúpjainak átlagos magassáértékei korcsoportok szerint boxplotdiagramon ábrázolva
 Figure 7 Average relief values of the scoria cones of the SFVF on boxplot diagrams according to the age groups.

kevésbé tág, szűkebb intervallumban helyezkedik el (nincs akkora bizonytalanság az értékekben). HOOPER, D. M. – SHERIDAN, M. F. (1998) nyomán Mann–Whitney-próbának lettek a korcsoportok alávetve. Az 3. táblázatban a 10 korcsoportpárra felírható p értékeket ábrázoltam. Kiemelten láthatók azok az értékek, melyek szignifikánsan különböznek (tehát $p < 0,05$).

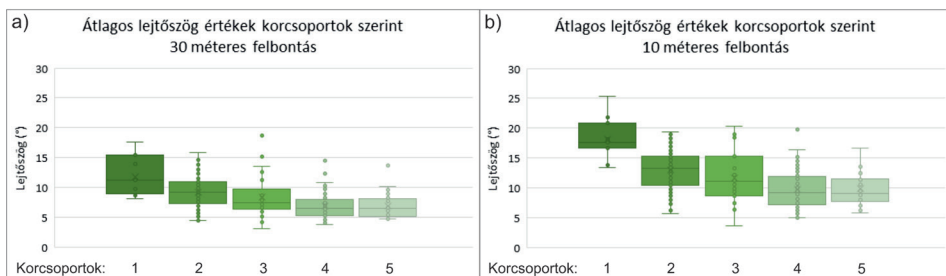
3. táblázat – Table 3

A SFVF korcsoportjai közti p értékek 30 m-es (cellák felső értéke) és 10 m-es (cellák alsó értéke) felbontás alapján; a $p < 0,05$ értékek vastag betűvel kiemelve p values of reliefs between age groups of the SFVF based on 30 (upper value of cells) and 10 (lower value of cells) meter resolution; $p < 0.05$ in bold.

Korcsoportok (30 m/10 m)	1	2	3	4	5
1	–	0,0784/ 0,0096	0,0375/0,0091	0,0001/<0,0001	0,0019/0,0005
2		–	0,2937/0,2501	<0,0001/<0,0001	0,0030/0,0016
3			–	0,0308/0,0673	0,1471/0,1141
4				–	0,7872/0,6455
5					–

Látható, hogy mindkét DTM esetében 6 szignifikánsan különböző csoportpárról beszélhetünk, a felbontástól függetlenül. Az 1-2 és a 3-4 csoportoknál történt változás: előbbinél jelentős mértékű, míg utóbbinál kisebb. A 3-5 és 4-5 csoportpárok nem különböznek szignifikánsan, függetlenül a domborzatmodell felbontásától.

A 8. ábrán a magassáértékekhez hasonlóan a lejtőszögértékek találhatók.



8. ábra A SFVF salakkúpjainak átlagos lejtőszögértékei korcsoportok szerint boxplotdiagramon ábrázolva
 Figure 8 Average slope values of the scoria cones of the SFVF on boxplot diagrams according to the age groups

Hasonló következtetést lehet levonni a lejtőszögek esetében is, mint a magassági értékeknel: minél idősebb egy kúp, annál kisebb lesz a lejtőszöge is, annál kevésbé meredek. Felbontástól függetlenül ahogy idősödik a kúp, úgy pusztaul le, és lesz egyre lankásabb. Az egy csoporton belüli értékek kisebb szórása itt még jellemzőbb, kevesebb a kiugró érték is.

4. táblázat – Table 4

A SFVF korcsoportjai közti lejtőszög-összefüggések és p értékek
30 (cellák felső értéke) és 10 (cellák alsó értéke) m-es felbontás alapján;
a $p < 0,05$ értékek vastag betűvel kiemelve
 p values of of slope angles between age groups of the SFVF based on
30 (upper value of cells) and 10 (lower value of cells) meter resolution; $p < 0.05$ in bold.

Korcsoportok (30 m)	1	2	3	4	5
1	–	0,0183 / <0,0001	0,0036 / 0,0002	<0,0001 / <0,0001	0,0001 / <0,0001
2		–	0,0488 /0,0801	<0,0001 / <0,0001	<0,0001 / <0,0001
3			–	0,0366 / 0,0278	0,1052/0,1236
4				–	0,9203/0,8572
5					–

Bár az értékekben (7. ábra) jelentős mértékű különbség látható, ez a Mann–Whitney-teszten nem látszik, az arányok nem változnak: mindössze a 2-3 korcsoport p értéke esik ki a szignifikanciaszintből.

Megvizsgáltam közvetlenül is az egyes korcsoportok értékeit: ugyanazon korcsoport átlagos magasság- és lejtőszögértékeit vizsgáltam meg a másik felbontásból kapott értékekkel (5. táblázat).

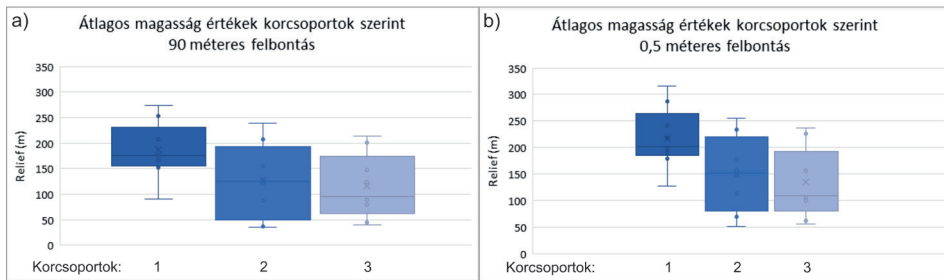
5. táblázat – Table 5

Ugyanazon korcsoportok paramétereinek összehasonlítása a különböző felbontású
(30 m és 10 m) DTM-ek szerint; a $p < 0,05$ értékek vastag betűvel kiemelve
Comparison of the parameters of the same age groups according to DTMs with
different resolutions (30 and 10 meters); $p < 0.05$ in bold.

30 m – 10 m	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5
magasság	0,2380	0,1052	0,3628	0,0394	0,3371
lejtőszög	0,0016	<0,0001	0,0033	<0,0001	0,0001

Chaîne des Puys (CdP)

A salakkúpok korcsoportba osztásakor az első (legfiatalabb) csoportba 9, a másodikba 8, míg a harmadikba (legidősebb) megint 9 kúp került. A CdP esetében a két domborzatmodell felbontása között jóval nagyobb a különbség, mint az SFVF-nél, így előzetesen nagyobb különbségek feltételezhetők az értékek eloszlásában is. A 9. ábrán hasonló trendet láthatunk, mint az 5. ábrán. Mivel az itt található kúpok időben sokkal közelebb állnak egymáshoz, mint a SFVF-en, így a csökkenő trend kevésbé markánsan jelenik meg, ám ettől függetlenül itt is megfigyelhető. A gyengébb felbontás több tíz m-rel alacsonyabbnak mutatja átlagosan a kúpokat, és itt is látható a nagyobb szórás az egy-egy korcsoporton belül.



9. ábra A CdP salakkúpjainak átlagos magasság értékei korcsoportok szerint boxplotdiagramon ábrázolva
 Figure 9 Average relief values of the scoria cones of the CdP on boxplot diagrams according to the age groups

A Mann–Whitney-teszttel kapott értékekben itt sincs változás, egy csoport értékei különülnek el szignifikánsan (11. ábra). Olyannyira nincs változás, hogy az 1-2 korcsoportok p értéke változatlan maradt (6. táblázat).

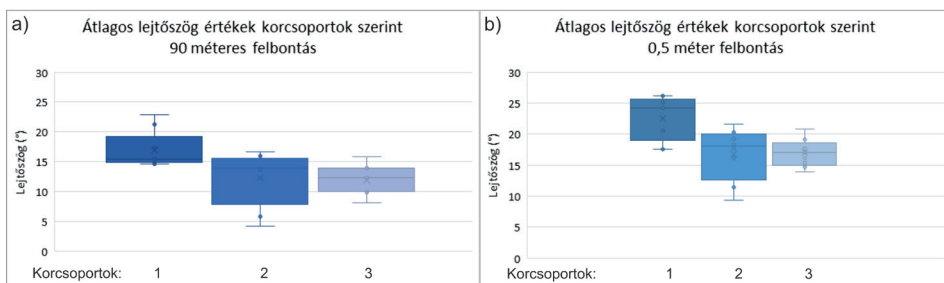
6. táblázat – Table 6

A CdP korcsoportjai közti magassági összefüggések és p értékek
 90 (cellák felső értéke) és 0,5 (cellák alsó értéke) m-es felbontás alapján;
 a $p < 0,05$ értékek vastag betűvel kiemelve

p values of reliefs between age groups of the CdP based on 90 and 0,5 meter resolution;
 $p < 0.05$ in bold

Korcsoportok (90 m / 0,5 m)	1	2	3
1	–	0,0601/0,0601	0,0271/0,0214
2		–	0,8887/0,5961
3			–

A CdP lejtőszögértékei a 10. ábrán láthatók.



10. ábra A CdP salakkúpjainak átlagos lejtőszögértékei korcsoportok szerint boxplotdiagramon ábrázolva
 Figure 10 Average slope values of the scoria cones of the CdP on boxplot diagrams according to the age groups

Ebben az esetben még látványosabb a felbontásból adódó különbség: bár a 9. ábra a) és b) része látszólag majdnem teljesen ugyanaz, a 90 m-es felbontás szerint a kúpok átlagos lejtőszögei a legfiatalabb kúpok esetében kb. 16°-osak, míg a 0,5 m-es esetében ez 24°. Mivel a terület geológiai múltja is sokkal fiatalabb, mint a SFVF-é, belátható, hogy az alacsonyabb értékek nem a valóságot mutatják. Akárcsak a korábbi esetekben,

a 7. táblázatból is az olvasható le, hogy bár az értékek nagyban különböznek, a csoportok közti összefüggések nem változnak.

7. táblázat – Table 7

A CdP korcsoportjai közti lejtőszög-összefüggések és p értékek 90 (cellák felső értéke) és 0,5 (cellák alsó értéke) m-es felbontás alapján; a $p < 0,05$ értékek vastag betűvel kiemelve
 p values of slope angles between age groups of the CdP: based on 90 and 0,5 meter resolution; $p < 0.05$ in bold.

Korcsoportok (90 m / 0,5 m)	1	2	3
1	–	0,0238/0,0238	0,0027/0,0080
2		–	0,3628/0,7339
3			–

A CdP-nél is megvizsgáltam ugyanazon korcsoportok különböző felbontásból adódó különbségeit (8. táblázat).

8. táblázat – Table 8

Ugyanazon korcsoportok paramétereinek összehasonlítása a különböző felbontású (90 és 0,5 m) DTM-ek szerint; a $p < 0,05$ értékek vastag betűvel kiemelve
 Comparison of the parameters of the same age groups according to DTMs with different resolutions (90 and 0,5 meters); $p < 0.05$ in bold.

90 m – 0,5 m	1-1	2-2	3-3
magasság	0,2891	0,4965	0,3789
lejtőszög	0,0047	0,0524	0,0020

Az 5. és 8. táblázatból is látható, hogy a lejtőszögértékek sokkal jobban függenek a domborzatmodell felbontásától; a legtöbb esetben statisztikailag szignifikáns a különbség.

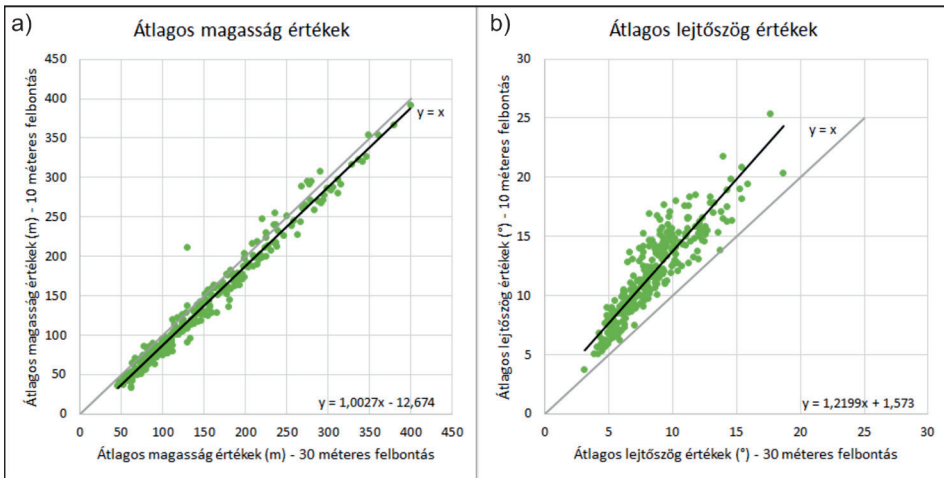
Diszkusszió

A statisztikai értékelést megelőző PCT-vizsgálatokból (melyek előbbi kiegészítésével szolgálnak) a következők mondhatók el: mindkét salakkúp esetében belátható, hogy a 6. ábra felső soraihoz (gyengébb felbontás) felhasznált DTM-ek adatsűrűsége nem kielégítő, még úgy sem, hogy az itt választott kúpok mindegyike egy viszonylag nagyméretű vulkáni felépítmény. Néhány száz m-es átmérővel rendelkező kúp esetében (amikorak a salakkúpok nagy része) pl. a 90 m-es SRTM mindössze néhány pixelértéket jelentene. Két pont között interpoláció végezhető el (tehát matematikai eszközökkel közelíthetünk a nem ismert értékekre), ám ezek mindig csak egy közelítő értéket adnak, így a domborzatmodell felhasználásával végzett számítások is csak közelítő értékeket adhatnak. Bár a BT090-es kúp 30 m-es felbontása esetében a nagyobb morfológiai jellemzők már megjelennek, kisebb elváltozásokat, egyenletlenségeket nem lehet detektálni, így ezt a felbontást sem tartom kielégítőnek. A jobb felbontású DTM-ek mind alkalmasak a mikrotopográfiai formák elemzésére, ám ha nemcsak a két választott kúpot nézzük, hanem pl. a SFVF egészét, kisebb kúpok esetében a 10 m sem mindig ad elegendő részletességet,

hiszen az idősebb kúpok néha nem nagyobbak néhány tíz m-nél. A 0,5 m-es DTM adja természetesen a legrészletesebb képet, ám ebben az esetben feldolgozásbeli problémák jelennek meg: a nagyméretű pontfelhők, illetve adattáblák egy sokkal lassabb feldolgozási folyamatot idéznek elő.

A DTM-vizsgálatok statisztikai értékelésénél gyakori probléma, hogy az eredmények függhetnek a bemeneti domborzatmodellek felbontásától. Ez különösen igaz, ha a kiértékelésben lejtőszögértékek is szerepelnek, mivel a gyengébb felbontású DTM-ek alábecsülik a meredekebb lejtőket (WOLOCK, D. M.–MCCABE, G. J. 2000, SZABÓ G. 2006, ZHANG, R. et al. 2022). Mivel a salakkúpok esetében a meredekség (lejtőszög) eloszlása (átlag, szórás stb.) az egyik legelterjedtebb leíró paraméter (pl. WOOD, C. A. 1980a, b, PORTER, S. C. 1972, HOOPER, D. M.–SHERIDAN, M. F. 1998, FAVALLI, M. et al. 2009, FORNACIALI, A. et al. 2012), a statisztikai vizsgálatok esetén mindig szembesülünk az előbb említett problémával – akár befolyásolja a felbontás az eredményeket, akár nem.

A 11. ábrán a SFVF salakkúpjainak magassági és lejtőszögértékei közti összefüggést láthatjuk. A domborzatmodell értékei közül az x tengelyen lévők a gyengébb, az y tengelyen lévők a jobb felbontásúak. A magasságot tekintve nincs különbség, az értékek nagyjából egy 45° -os ($x=y$) egyenes mentén helyezkednek el. A lejtőszögnél viszont nagyobb a szórás az egyenes mentén, a 0,5 m felbontású domborzatmodell magasabb értékekkel rendelkezik (8. ábra), a legtöbb esetben a különbség nagyjából 5° .

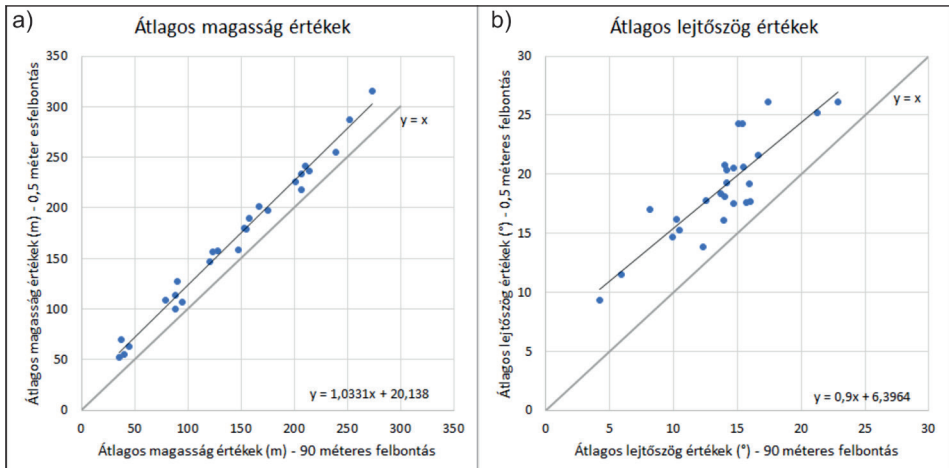


11. ábra A magasság (a) és a lejtőszög (b) átlagos értékeinek összehasonlító diagramja a különböző felbontású DTM-ek szerint a SFVF salakkúpjain

Figure 11 Comparison of average relief (a) and slope angle (b) values according to DTMs with different resolutions on SFVF scoria cones

A CdP esetében a két domborzatmodell felbontásában nagyobb a különbség (90 és 0,5 m). Ennek ellenére a magassági adatok továbbra is a 45° -os egyenes mentén helyezkednek el, de (a felbontás miatt) valamelyest eltolódnak az y tengely mentén. A meredekségértékek korábban kiemelt különbsége itt is látható: az egyes salakkúpok átlagos lejtésének különbsége általában nagyobb, mint 5° a különböző felbontásokban (12. ábra).

A két bemutatott területen a kúpok összlétszáma nagyon eltérő (305 és 26), a vizsgált paramétereik azonban hasonlóan bizonyultak. A következtetések ellenőrzése végett a SFVF értékei (sajnos a CdP esetében az összes kúp száma ehhez túl alacsony) rando-



12. ábra A magasság (a) és a lejtőszög (b) átlagos értékeinek összehasonlító diagramja a különböző felbontású DTM-ek szerint a Cdp salakkúpjain
 Figure 12 Comparison of average relief (a) and slope angle (b) values according to DTMs with different resolutions on Cdp scoria cones

mizálásra, majd véletlenszerű csoportosításra kerültek. A 10 ilyen véletlenszerű tesztből 8 esetben $p > 0,05$ értéket mutatott az elemzés minden (10) csoportpárra, és csak 2 esetben mutatott $p < 0,05$ értéket (azaz szignifikáns különbséget). A Mann–Whitney-teszt eredményei a fentiek alapján egyértelműen azt mutatják, hogy a korcsoportok szoros összefüggésben állnak a kúpok lepusztulásával összefüggésbe hozható morfológiai paraméterekkel.

Jelen tanulmányom arra kíván rámutatni, hogy létezhet egy olyan küszöbfelbontás, amely már alkalmas a statisztikailag szignifikáns különbséget adó korcsoportok meghatározására. Már önmagában a PCT-vizsgálattal kizárható mind a 90, mind a 30 m-es felbontás. Ha megnézzük a Mann–Whitney-teszt eredményeit, azokból is kijelenthető ugyanez. HOOPER, D. M.–SHERIDAN, M. F. (1998) a salakkúpok átlagos lejtőszögét 8° és 26° közé teszi: a 30 m felbontású domborzatmodell nagymértékben alábecsüli ezeket az értékeket, várhatóan valótlan adatot szolgáltatva. Ezzel szemben a 10 m-es domborzatmodell segítségével ezek az értékek reprodukálhatók, ahogy a 0,5 m-essel is. Az ott kapott magasabb lejtőszögértékek a fiatalabb vulkáni terület miatt vannak.

Következtetésem megegyeznek a FURNACIAI, A. et al. (2012) által leírtakkal: ők a 90 m-es SRTM-et nem, míg a 30 m-es ASTER-t (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) és az annál jobb felbontású adatokat (pl. LiDAR) ajánlják, ezeken belül is inkább a 10 m felbontású domborzatmodelleket (amennyiben elérhető a területre) – ám ennek is 10% feletti a hibája kisméretű kúpok esetében. ZHANG, R. et al. (2022) különböző felvételező technikájú és különböző felbontású ingyenesen elérhető DTM-eket vizsgáltak. Ők a legtöbb esetben az AW3D30-as ingyenes adatbázist ajánlják (amely 30 m-es DTM-et ad), ezt követi az SRTM és az ASTER.

Összefoglalás

Kutatásomban két terület, az amerikai San Francisco Volcanic Field és a francia Chaîne de Puys salakkúpjainak paramétereit (átlagos magasság és lejtőszög) vizsgáltam különböző felbontású (30 m és 10 m, illetve 90 m és 0,5 m) domborzatmodelleken. Az volt

a célom, hogy több módszer segítségével megnézzem, ezen vulkáni formák morfolometriai vizsgálatára milyen minimális felbontású domborzatmodell szükséges. Egyrészt vizuális úton (PCT), másrészt statisztikai tesztek (Mann–Whitney-teszt) segítségével végeztem el ezt az összehasonlítást. A kapott eredmények alapján a következők jelenthetők ki:

- 1) A PCT-módszer vizuális megjelenítése jól alkalmazható a domborzatmodellek előzetes szűrésére; az interpolálás nélküli adatok jobban kiemelik az adathalmazok sűrűségét.
- 2) A jobb felbontású domborzatmodellekből kiszámolt lejtőszögek a valósághoz (terepen mért értékekhez) közelebbi értékeket adnak (HOOPER, D. M. – SHERIDAN, M. F. 1998).
- 3) Ez akkor nem mutatható ki, ha a csoportokat egymáshoz viszonyítva elemezzük: azok arányai nem változnak jelentősen.
- 4) Ellenben ha ugyanazon csoportot vizsgáltam, de a különböző felbontású DTM-ből kiszámolt értékekkel, a lejtőszög majdnem minden esetben statisztikailag szignifikáns különbséget mutatott, míg a magasságértékek esetében ez nem volt jellemző.
- 5) A felbontásból adódó jelentősebb különbségek a lejtőszögértékekben vannak, így az olyan jellegű kutatásokban, ahol a morfolometriai számítások között lejtőszögérték-számítások is vannak, döntő fontosságú lehet a megfelelő domborzatmodell kiválasztása. A vizsgálatok alapján ez az ideális felbontás minimum 10 m kell, hogy legyen, de ha olyan területről van szó, ami idősebb, kisebb kúpokat tartalmaz, jobb választás az ennél nagyobb felbontás. Ellenben a 0,5 m-es már feleslegesnek tűnik a szimmetria-, illetve paramétervizsgálatokhoz.
- 6) Nagy darabszámú kúp vizsgálata esetén (mint jelen esetben az SFVF-en) a kor szerinti csoportosítás egyértelmű különbségeket mutat a morfolometriai mutatók eloszlásában. Ezen megfigyelést támasztja alá, hogy a csoportok randomizálásakor a legtöbb esetben nem mutattak szignifikáns különbséget az értékek, tehát a csoportok szerint megfigyelt eltérő paraméterek nem magyarázhatók egyszerűen a véletlennel.

VÖRÖS FANNI
ELTE Földtudományi Doktori Iskola, Budapest
fannivrs@gmail.com

IRODALOM

- BATA T. 2007: Morfolometriai paraméterek meghatározása vulkáni kúpokon a San Francisco vulkáni terület (USA, Arizona) példáján. – Szakdolgozat. Eötvös Loránd Tudományegyetem Természetföldrajzi Tanszék, Budapest. 89 p.
- BATA T. – SZÉKELY B. – KARÁTSÓN D. 2008: Determination of morphometric parameters of scoria cones in San Francisco Volcanic Field (USA, Arizona). – Geophysical Research Abstracts 10. Paper 05631. 2 p.
- BOIVIN, P. – BESSON, J. C. – BRIOT, D. – CAMUS, G. – DE GOËR DE HERVÉ, A. – GOURGAUD, A. – LABAZUY, P. – LANGLOIS, E. – DE LAROUZIÈRE, F. D. – LIVET, M. – MÉDARD, É. – MERGOIL, J. – MERCIÉCCA, CH. – MIALLIER, D. – MOREL, J.-M. – THOURET, J.-C. – VERNET, G. 2017: Carte volcanologique de la Chaîne des Puys 1 : 25 000. – Parc Naturel Régional des Volcans d’Auvergne.
- CALVARI, S. – PINKERTON, H. 2004: Birth, growth and morphologic evolution of the ‘Laghetto’ cinder cone during the 2001 Etna eruption. – Journal of Volcanology and Geothermal Research 132. pp. 225–239.
- COLTON, H. S. 1967: The basaltic cinder cones and lava flows of the San Francisco Mountain volcanic field. – Museum of Northern Arizona Bulletin 10. 58 p.
- CORAZZATO, C. – TIBALDI, A. 2006: Fracture control on type, morphology and distribution of parasitic volcanic cones: An example from Mt. Etna, Italy. – Journal of Volcanology and Geothermal Research 158. 1–2. pp. 177–194.

- DE SILVA, S. – LINDSAY, J. M. 2015: Primary volcanic landforms. – In: SIGURDSSON, H. (főszerk.): The encyclopedia of volcanoes. Academic Press, Cambridge. pp. 273–297.
- FAVALLI, M. – KARÁTSÓN, D. – MAZZARINI, F. – PARESCHI, M. T. – BOSCHI, E. 2009: Morphometry of scoria cones located on a volcano flank: A case study from Mt. Etna (Italy), based on high-resolution LiDAR data. – *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 186. 3–4. pp. 320–330.
- FODOR E. 2012: A Persányi-hegység salakkúpjai a DEM-morfometria tükrében, – *Földrajzi Közlemények* 136. 3. pp. 307–316.
- FORNACIAI, A. – FAVALLI, M. – KARÁTSÓN D. – TARQUINI, S. – BOSCHI, E. 2012: Morphometry of scoria cones, and their relation to geodynamic setting: A DEM-based analysis. – *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 217–218. pp. 56–72.
- HOOPER, D. M. – SHERIDAN, M. F. 1998: Computer-simulation models of scoria cone degradation. – *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 83. 3–4. pp. 241–267.
- HOUGHTON, B. F. – SCHMINCKE, H.-U. 1989: Rothenberg scoria cone, East Eifel: A complex Strombolian and phreatomagmatic volcano. – *Bulletin of Volcanology* 52. 1. pp. 28–48.
- KARÁTSÓN D. 2014: *Vulkanológia II.* – ELTE Eötvös Kiadó. Budapest. 279 p.
- KARÁTSÓN D. – NÉMETH K. – SZÉKELY B. – RUSZKICZAY-RÜDIGER Zs. – PÉCSKAY Z. 2006: Incision of a river curvature due to exhumed Miocene volcanic landforms: Danube Bend, Hungary. – *International Journal of Earth Sciences* 95. 5. pp. 929–944.
- KARÁTSÓN D. – TELBISZ T. – SINGER, B. S. 2010: Late-stage volcano geomorphic evolution of the Pleistocene San Francisco Mountain, Arizona (USA), based on high-resolution DEM analysis and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronology. – *Bulletin of Volcanology* 72. 7. pp. 833–846.
- KARÁTSÓN D. – YEPES, J. – FAVALLI, M. – RODRÍGUEZ-PECES, M. J. – FORNACIAI, A. 2016: Reconstructing eroded paleovolcanoes on Gran Canaria, Canary Islands, using advanced geomorphometry. – *Geomorphology* 253. pp. 123–134.
- KERESZTURI G. – NÉMETH K. 2012: Monogenetic basaltic volcanoes: genetic classification, growth, geomorphology and degradation. – In: NÉMETH K. (szerk.): *Updates in volcanology. New advances in understanding volcanic systems.* IntechOpen. London. pp. 3–88.
- KIRÁLY E. 2009: A San Francisco Volcanic Field egyes vulkáni kúpjainak morfometriai paraméterbecslése. – Szakdolgozat. Eötvös Loránd Tudományegyetem Geofizikai és Űrtudományi Tanszék. Budapest. 66 p.
- KIRÁLY E. – SZÉKELY B. – BATA T. – LÓCSI L. – KARÁTSÓN D. 2009: 3-dimensional geometric modeling and parameter estimation of scoria cones of the San Francisco Volcanic Field, Arizona, USA. – *Geophysical Research Abstracts* 11. Paper 12086. 1 p.
- LI, Z. – ZHU, C. – GOLD, C. 2005: *Digital terrain modeling, Principles and Methodology.* – CRC Press, Boca Raton–London–New York–Washington. 318 p.
- MANN, H. B. – WHITNEY, D. R. 1947: On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. – *The Annals of Mathematical Statistics* 18. 1. pp. 50–60.
- MIALLIER, D. – BOIVIN, P. – DENIEL, C. – GOURGAUD, A. – LANOS, P. – SFORNA, M. – PILLEYRE, T. 2010: The ultimate eruption of Puy de Dôme volcano (Chaîne des Puys, French Massif Central), about 10,700 yr ago. – *Comptes Rendus Géoscience* 342. 11. pp. 847–854.
- MIALLIER, D. – PILLEYRE, T. – SANZELLE, S. – BOIVIN, P. – LANOS, P. 2012: Revised chronology of the youngest volcanoes of the Chaîne des Puys (French Massif Central). – *Quaternaire* 23. 4. pp. 283–290.
- MOORE, R. B. – WOLFE, E. W. (szerk.) 1986: *Geologic map of the eastern San Francisco Volcanic Field, Arizona 1:50,000.* – USGS Miscellaneous Investigations Series Map I-953.
- NÉMETH K. 2010: Monogenetic volcanic fields: Origin, sedimentary record, and relationship with polygenetic volcanism. – In: CAÑÓN-TAPIA, E. – SZAKÁCS A. (szerk.): *What is a volcano? The Geological Society of America, Special paper 470.* Boulder. pp. 43–66.
- NÉMETH K. – KERESZTURI G. 2015: Monogenetic volcanism: Personal views and discussion. – *International Journal of Earth Sciences* 104. 8. pp. 2131–2146.
- PIOLI, L. – ERLUND, E. – JOHNSON, E. – CASHMAN, K. – WALLACE, P. – ROSI, M. – GRANADOS, H. D. 2008: Explosive dynamics of violent Strombolian eruptions: The eruption of Parícutin Volcano 1943–1952 (Mexico). – *Earth and Planetary Science Letters* 271. 1–4. pp. 359–368.
- PORTER, S. C. 1972: Distribution, morphology, and size-frequency of cinder cones on Mauna Kea volcano, Hawaii. – *Geological Society of America Bulletin* 83. 12. pp. 3607–3612.
- PRIEST, S. S. – DUFFIELD, W. A. – MALIS-CLARK, K. – HENDLEY, J. W. – STAUFFER, P. H. 2001: The San Francisco Volcanic Field, Arizona. – USGS Fact Sheet 01701. Flagstaff. pp. 1–2.
- RABUS, B. – EINEDER, M. – ROTH, A. – BAMLER, R. 2003: The shuttle radar topography mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. – *Photogrammetric Remote Sensing* 57. 4. pp. 241–262.
- RIEDEL, C. – ERNST, G. – RILEY, M. 2003: Controls on the growth and geometry of pyroclastic constructs. – *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 127. 1–2. pp. 121–152.

- SCOTT, D. H. – TRASK, N. J. 1971: Geology of the Lunar Crater volcanic field, Nye County, Nevada. – USGS Professional Paper 599-1. 22 p.
- SETTLE, M. 1979: The structure and emplacement of cinder cone fields. – *American Journal of Science* 279. 10, pp. 1089–1107.
- ŠILJEG, A. – BARADA, M. – MARIĆ, I. – ROLAND, V. 2019: The effect of user-defined parameters on DTM accuracy – development of a hybrid model. – *Applied Geomatics* 11. 1. pp. 81–96.
- SZABÓ G. 2006: Eltérő alapú DEM-ekből származtatott kvantitatív geomorfológiai térképek pontosságának vizsgálata. – *HunDEM 2006*. Miskolc. 8 p.
- SZÉKELY B. – HAMPTON, S. J. 2007: DEM-aided volcanic reconstruction and collapse recognition of degraded Miocene volcanic edifices: a case history of Lyttelton Volcano, New Zealand. – *Geophysical Research Abstracts* 9. Paper 10295. 2 p.
- SZÉKELY B. – KARÁTSÓN D. 2004: DEM-based morphometry as a tool for reconstructing primary volcanic landforms: examples from the Börzsöny Mountains, Hungary. – *Geomorphology* 63. 1–2. pp. 25–37.
- SZÉKELY B. – KARÁTSÓN, D. 2009: A probabilistic approach to determine volcanic eruption centres of degraded volcanic edifices. – *Geophysical Research Abstracts* 11. Paper EGU2009-11808. 1 p.
- SZÉKELY B. – KIRÁLY E. – KARÁTSÓN D. – BATA T. 2009: A parameterisation attempt of scoria cones of the San Francisco Volcanic Field (Arizona, USA) by conical fitting. – In: PURVES, R. S. – GRUBER, S. – STRAUMANN, R. K. – HENGL, T. (szerk.): *Geomorphometry 2009 Conference Proceedings*. Department of Geography, University of Zurich. pp. 178–182.
- TANAKA, K. L. – SHOEMAKER, E. M. – ULRICH, G. E. – WOLFE, E. W. 1986: Migration of volcanism in the San Francisco volcanic field, Arizona. – *Geological Society of America Bulletin* 97. 2. pp. 129–141.
- VÖRÖS F. – SZÉKELY B. 2022: High-resolution DTM-based estimation of geomorphometric parameters of selected putative Martian scoria cones. – *Icarus* 377. 114923. 14 p.
- VÖRÖS F. – VAN WYK DE VRIES, B. – KARÁTSÓN D. – BALÁZS SZ. 2021: DTM-based morphometric analysis of scoria cones of the Chaîne des Puys (France) – the classic and a new approach. – *Remote Sensing* 13. 10. pp. 1–22.
- VAN WYK DE VRIES, B. 2017: Volcanoes of France. – In: JERRAM, D. – SCARTH, A. – TANGUY, J.-C. (szerk.): *Volcanoes of Europe*. Dunedin Academic Press. Edinburgh–London. pp. 217–234.
- VAN WYK DE VRIES, B. – MÁRQUEZ, A. – HERRERA, R. – GRANJA BRUÑA, J. L. – LLANES, P. – DELCAMP, A. 2014: Craters of elevation revisited: forced folds, bulges and uplift of volcanoes. – *Bulletin of Volcanology* 76. 11. Paper 875. 20 p.
- WALKER, G. P. L. 2000: Basaltic volcanoes and volcanic systems. – In: SIGURDSSON, H. – HOUGHTON, B. F. – McNUTT, S. R. – RYMER, H. – STIX, J. (szerk.): *Encyclopedia of volcanoes*. Academic Press, Cambridge. pp. 283–289.
- WILSON, J. P. 2012: Digital terrain modeling. – *Geomorphology* 137. 1, pp. 107–121.
- WOLFE, E. W. – ULRICH, G. E. – HOLM, R. F. – MOORE, R. B. – NEWHALL, C. G. 1987: Geologic map of the central part of the San Francisco Volcanic Field, North Central Arizona. – USGS miscellaneous field studies map 1:50,000. MF-1959.
- WOLOCK, D. M. – McCABE, G. J. 2000: Differences in topographic characteristics computed from 100- and 1000-m resolution digital elevation model data. – *Hydrological Processes* 14. 6, pp. 987–1002.
- WOOD, C. A. 1980a: Morphometric evolution of cinder cones. – *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 7. 3–4. pp. 387–413.
- WOOD, C. A. 1980b: Morphometric analysis of cinder cone degradation. – *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 8. 2–4. pp. 137–160.
- ZHANG, R. – KERESZTURI G. – BRENNAN, M. – SAN AHN, U. 2022: Sensitivity assessment of morphometric parameters of monogenetic volcanic landforms with global free DEMs. – *Geomorphology* 415. 4. Paper 108408. 2011_Site_Puy_De_Dome_LiDARverne-Fichiers-Drive Opendata Du Craig. – https://drive.opendata.craig.fr/s/opendata?path=%2Flidar%2Fautres_zones%2F2011_site_puy_de_dome_lidarverne (hozzáférés: 2022. 02. 23.)