

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

Vulkáni salakkúpok geomorfometriai vizsgálata SRTM és LiDAR adatok alapján

SZAKDOLGOZAT

FÖLDTUDOMÁNYI ALAPSZAK
TÉRKÉPÉSZ ÉS GEOINFORMATIKUS SZAKIRÁNY

Készítette:
Vörös Fanni

Témavezető:
Dr. Mészáros János
adjunktus
ELTE Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék

Konzulens:
Dr. Székely Balázs
docens
ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék



Budapest, 2017

A szakdolgozat a Hallgatói követelményrendszer (ELTE SzMSz, II. kötet)
V. fejezet 79 § (7) alapján elfogadott OTDK I. helyezett pályamunka.



OKLEVÉL

AMELY TANÚSÍTJA, HOGY

Vörös Fanni

A XXXIII. ORSZÁGOS TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

FIZIKA, FÖLDTUDOMÁNYOK ÉS MATEMATIKA

SZEKCIÓJA

Geomorfológia

TAGOZATÁBAN BEMUTATOTT PÁLYAMUNKÁJÁVAL

ELSŐ

HELYEZÉST ÉRT(EK) EL

(Prof. Dr. Pintér Ákos)

A SZEKCIÓ ÜGYVEZETŐ ELNÖKE

(Dr. Horváth Ákos)

A SZAKMAI BIZOTTSÁG ELNÖKE

(Prof. Dr. Szendrő Péter)
AZ OTDT ELNÖKE

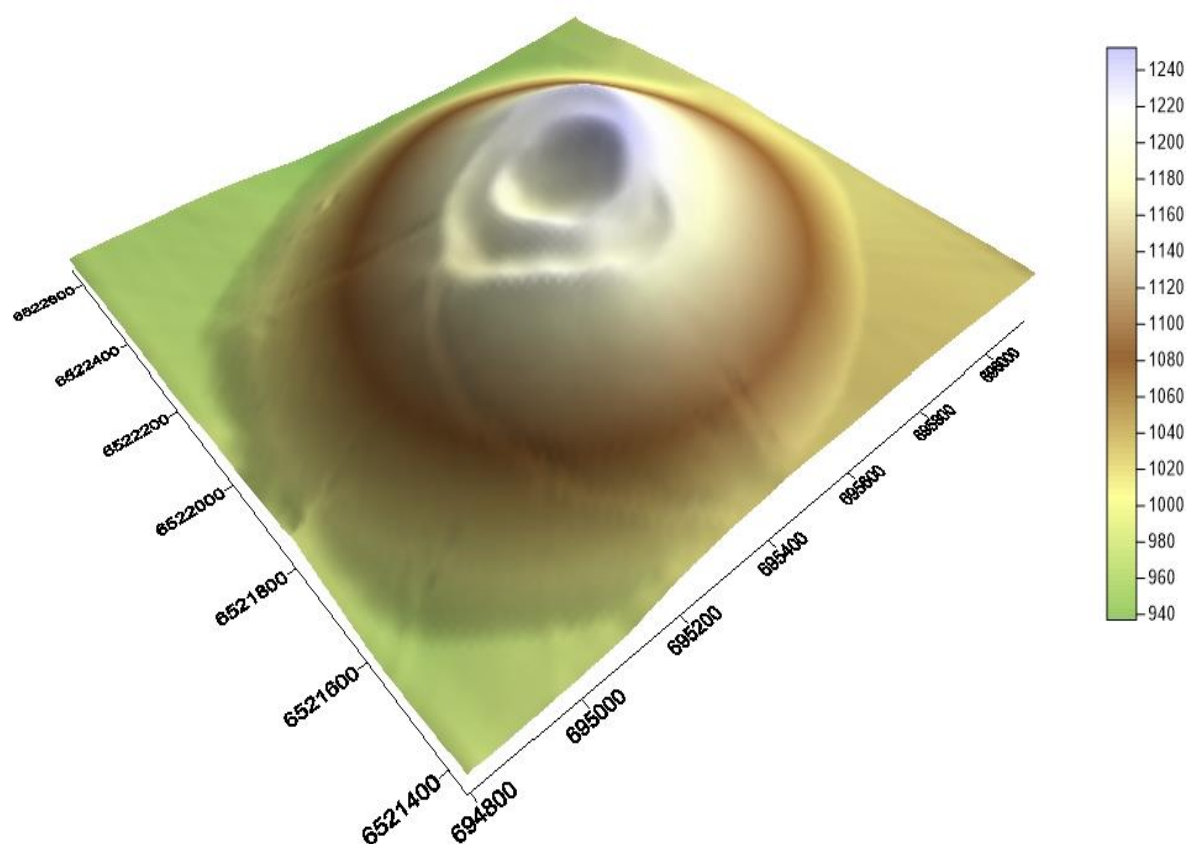
Debrecen, 2017. április 13.



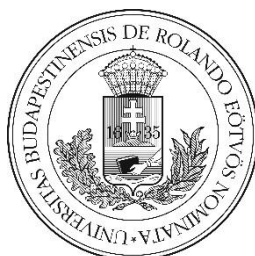
Vulkáni salakkúpok geomorfometriai vizsgálata SRTM és LiDAR adatok alapján

Tudományos diákköri dolgozat

Készítette: Vörös Fanni



Témavezető: Székely Balázs docens



Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Budapest
2016

Tartalom

A dolgozatban szereplő

rövidítések.....	2
1. Bevezetés és célkitűzés.....	3
2. Elméleti alapok.....	5
2.1. Korábbi kutatások.....	5
2.2. Salakkúp definíciója.....	7
3. A területek bemutatása.....	8
3.1. San Francisco Volcanic Field.....	8
3.2. Chaîne des Puys.....	11
4. Módszertan.....	14
4.1. Áttekintő.....	14
4.2. Használt DTM-ek bemutatása.....	14
4.2.1. SRTM.....	14
4.2.2. A felhasznált LiDAR adatok.....	17
4.3. Salakkúpok körvonalának és középpontjának meghatározása.....	20
4.4. A PCT bemutatása.....	20
5. A salakkúpok vizsgálata.....	25
5.1. PCT felhasználása.....	25
5.2. Magassági adatok.....	25
5.2.1. Abszolút, relatív magasság.....	25
5.2.2. Átlag, szórás.....	26
5.3. Kitettségi adatok.....	28
5.3.1. Átlag, szórás.....	28
5.4. Lejtőszög-adatok.....	29
5.4.1. Átlag, szórás.....	29
6. Eredmények.....	30
6.1. Magassági értékek térbeli eloszlása, és a korok összefüggései.....	30
6.2. Lejtőszög-értékek térbeli eloszlása és a korok összefüggései.....	32
6.3. Összefüggések bizonyítása Mann–Whitney-próbával.....	34
7. Diskusszió.....	37
8. Konklúzió.....	46
9. Összefoglalás.....	48
10. Kitekintés.....	49
11. Köszönetnyilvánítás.....	49
12. Irodalomjegyzék.....	50
Függelék (A).....	55
Függelék (B).....	56

A dolgozatban szereplő rövidítések

CdP:	Chaîne des Puys (Auvergne, Franciaország)
DTM:	Digital Terrain Model
LiDAR:	Light Detection and Ranging
PCT:	Polar Coordinate Transformation
QGIS:	Quantum Geographic Information System
SFVF:	San Francisco Volcanic Field (Arizona, Amerikai Egyesült Államok)
SRTM:	Shuttle Radar Topography Mission
USGS:	United States Geological Survey

1. Bevezetés és célkitűzés

A 2000-es évek eleje óta, amikor egyre jobb és jobb felbontású digitális terepmodellek (DTM) jelentek meg, már nemcsak háttérként, illusztrációként játszottak szerepet, hanem egyre gyakoribbá vált azok használata a különböző geomorfometriai vizsgálatokban. Egyrészt sok esetben pontosabbak és részletesebbek a DTM adatai, mint a régebbi, terepi mérésből származó, illetve sztereofotogrammetriai alapú adatok, hisz a terepen pl. a növényzet elfedhet olyan mikrotopográfiai elemeket, amelyeket a finomabb DTM-en viszont jól láthatunk, másrészt nagy darabszámú csoportok, geomorfológiai formák vizsgálatára tökéletesen alkalmas (pl. KARÁTSZON *et al.* 2016), nem jelent nehézséget akár több száz forma elemzése sem.

Dolgozatomban az egyik legegyszerűbb vulkáni felépítményeket, a salakkúpokat vizsgáltam geomorfometriai szempontból. Mivel monogenetikus (egyszer kitörő) formákról van szó, tökéletesen alkalmasak a lepusztulás vizsgálatára. PORTERhez (1972), WOODhoz (1980a,b), és sok más kutatókhoz hasonlóan (ld. Korábbi kutatások) én is különböző paraméterekkel vizsgáltam ezt a lepusztulást, illetve kiegészítettem ezeket a salakkúp aszimmetriájára vonatkozó számításokkal is.

Kétféle felbontású DTM állt rendelkezésemre a két területen: ingyenesen a rosszabb felbontású SRTM-et tudtam letölteni, amelyet könnyebb volt feldolgoznom, viszont kevésbé pontos eredményeket adott. A LiDAR adatokat külföldről kaptam meg, azokat bár a nagyobb adatmennyiség miatt máshogy kellett kezelnem, valósághűbb értékeket adtak.

A DTM-ek elemzésekor a szakirodalomhoz hasonlóan először a salakkúpok magasságát, lejtőszögét, kitettségét, sugarát vizsgáltam. Minden egyes paramétert egy általam írt Python scripttel számoltam ki, az eredményeket pedig térinformatikai szoftverek segítségével integráltam, jelenítettem meg. Így a végén ezeket egységesítve egy olyan eszközrendszert, programokból álló, félautomatikus adatfeldolgozási láncot kaptam, amely az általam kiválasztott összes paramétert kiszámolja az adott vulkáni terület összes kúpjára.

Egy adott, nagyjából vagy elvileg körszimmetrikus geometriai alakzat szimmetriáját legkönnyebben úgy tudjuk vizsgálni, ha a feltételezett szimmetria-középpontból elindulva sugárirányban megnézzük, adott távolságonként mekkora az értékek eltérése. A polárkoordináta-transzformáció (SZÉKELY & KARÁTSZON 2004) pedig tökéletesen alkalmas az ilyen jellegű számításokhoz. Az először kiszámolt értékeket (a fent említett paramétereket és a hozzá tartozó szórást) később ábrázoltam, és így tettem láthatóbbá a kúpok alakjában lévő aszimmetriákat.

A kiszámolt paramétereket végül korcsoportok szerint vizsgáltam, és – követve a témában alkotó korai szerzőket – próbáltam összefüggéseket találni a kúpok kora és lepusztultsága között. Ezen összefüggések egy részét végül statisztikai vizsgálatoknak is alávettem.

A szélesebb alkalmazhatóság elérése érdekében nemcsak egy területen végeztem a vizsgálataimat, hanem két, más elhelyezkedésű, eltérő korú salakkúpokat magukba foglaló területen. A San Francisco Volcanic Field-re (Arizona) azért esett a választásom, mert egy alaposan – geomorfometriai szempontból is – vizsgált területről van szó, nagy változatosságú mind kor, mind lepusztultság szempontjából, és ami a legfontosabb, a területen több mint 600 salakkúp található, amelyből ~300 darabot vizsgáltam. A terület arid klímájú (legalábbis jelenleg), ez nagyban meghatározza a lepusztulás jellegét.

A másik terület, a Chaîne des Puys (Franciaország) pedig két okból került a dolgozatba: egyrészt erről szintén sok szakirodalmat lehet találni, pontos adatok álltak rendelkezésemre a korokat illetően, másrészt módomban volt a területet a legjobb szakmai vezetés mellett (ld. a Köszönetnyilvánítást) a terepen is tanulmányozni és a számításaimhoz nagy felbontású adatokat kaptam, így a kapott értékeim a lehető legközelebb állnak a valós értékekhez. A megfigyeléseimet, interpretációmat a vulkánmorfológia legjobb szakembereivel tudtam megbeszélni, az egyes formákról sokszor még a publikációknál is részletesebb információkat kaptam. Itt is érdemes megjegyezni, hogy ez a terület sokkal nedvesebb klímájú, a legtöbb salakkúp pedig jelenleg erdősült (ezért is kellett a LiDAR DTM, ld. később).

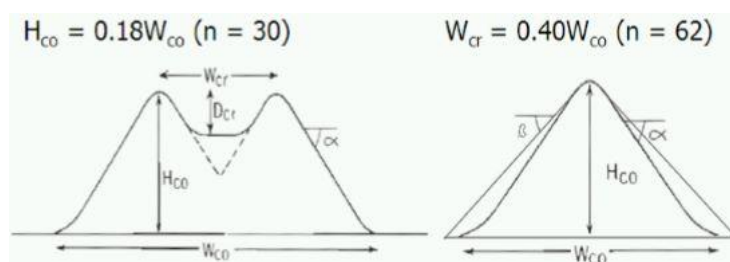
A kutatásom során hosszabb távú célom egy olyan rendszer létrehozása, amelyben a Föld bármely vízszintes településű salakkúpja az adott paraméterek alapján vizsgálható, és várakozásaim szerint – megfelelő bővítések esetén – beleilleszthető egy-egy kategóriába, és ezen paraméterek alapján meg tudom becsülni a kúpok korát, de legalábbis következtetéseket lehet levonni az alak, morfológia és a kor összefüggéseinek tekintetében. Ahhoz, hogy ezt létre tudjam hozni, a dolgozatban is bemutatott paramétereket ki kell egészítenem más, eddig még kevésbé vizsgált adatokkal is, amelyek létrehozása és feldolgozása komolyabb matematikai és programozási ismereteket kíván, mint amivel most rendelkezem.

2. Elméleti alapok

2.1. Korábbi kutatások

Elsőként COLTON 1967-ben írt munkáját érdemes kiemelni a vulkáni salakkúpterületekre vonatkozó kutatások közül. Úttörő munkájában a terület bazaltkúpjait és lávafolyásait különböző osztályokba sorolta be azok lepusztulásainak mértéke és a mállás alapján.

PORTER (1972) a Hawaii-n (többek között a Mauna Kea friss salakkúpjain) végzett kutatások eredményeként határozott meg morfolometriai jelentőségű vulkánparaméter-összefüggéseket, melyeket a későbbiekben több összehasonlító elemzéshez használtak fel, más területek vizsgálatánál is.



1. ábra: A vulkánparaméterek közti összefüggések [PORTER (1972)]

SETTLE (1979) hat vulkáni terület (Mauna Kea – Hawaii, Etna – Olaszország, Kilimandzsáró – Tanzánia, San Francisco Volcanic Field (SFVF) – Arizona, Paricutín – Mexikó, Nunivak-sziget – Alaszka) paramétereit vizsgálta, többek között az átlagos térfogatot, és a kúp magasság és átmérő arányát.

PORTERhez hasonló összehasonlító vizsgálatokat végzett WOOD (1980A,B), amelyek mérföldkönek számítanak a vulkánmorfolometriában. Kiterjedt geometriai méréseket végzett a SFVF salakkúpjain azért, hogy bebizonyítsa, a kúpok hozzávetőleges korára egyszerű morfológiai vizsgálatokkal következtetni lehet. Vizsgálta a kúpok lepusztulási folyamatait, amelyek vagy erózió, vagy egyéb tömegmozgások miatt következtek be. Több, a SFVF-hez hasonló vulkáni terület (Nevada, Oregon, Olaszország, Réunion) tanulmányozása után azt állította, a kúpok magassága (H_{co}), a magasság és az átmérő (W_{co}) aránya és a lejtőszögek (α) idővel csökkennek, míg a kráterátmérő (W_{cr}) és a kúpátmérő (W_{co}) aránya (1. ábra) nem változik a lepusztulással.

1976-ban az Egyesült Államok Geológiai Szolgálat (USGS) kezdett el geotermikus kutatásokat végezni. Ennek során több mint 650 vulkáni kúpot különböztettek meg TANAKA és szerzőtársai (1986). Vizsgálták a salakkúpok paleomágneseit, K/Ar módszerrel kormeghatározást, illetve kőzettani és rétegtani vizsgálatokat végeztek. Ezek során a vulkáni tevékenység vándorlását határozták meg. Tanulmányozták továbbá a terület kúpjainak az elhelyezkedésében fellelhető esetleges mintázatot és a kiszórt vulkáni anyag mennyiségét. Ezen vizsgálatok segítségével a SFVF összehasonlíthatóvá vált más

vulkáni területekkel, és következtetni lehetett az észak-amerikai lemez mozgására is (ld. a következő szakaszban, 5. ábra).

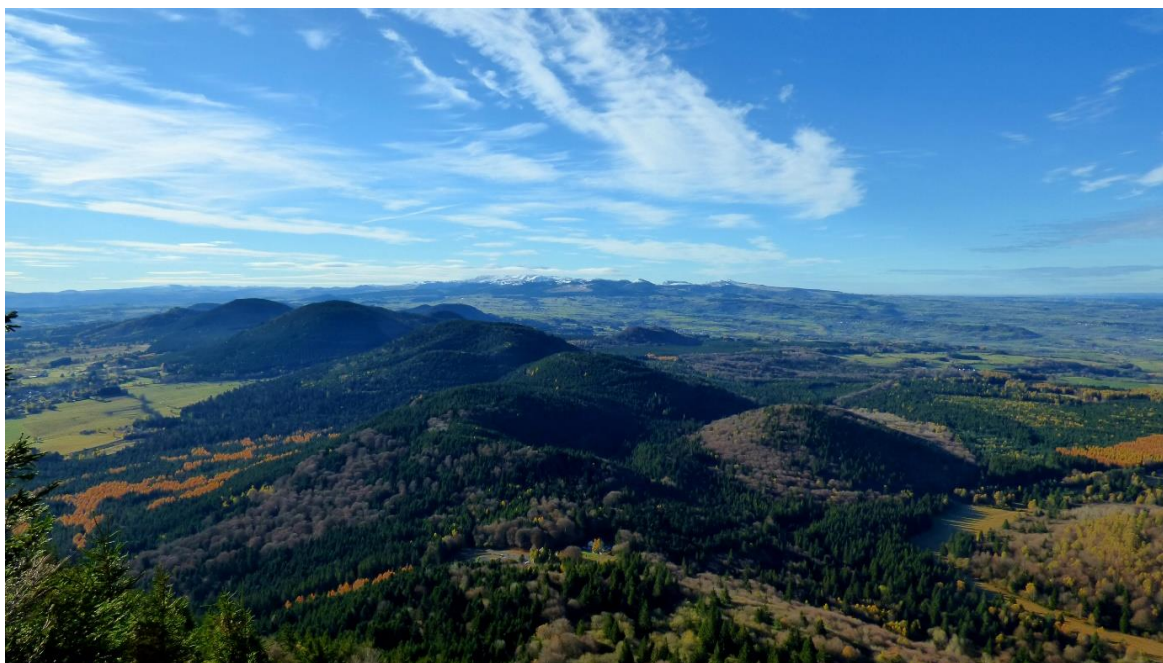
WOODot követően HOOPER & SHERIDAN (1998) végeztek fontosabb összehasonlító morfológiai vizsgálatokat, amelyek alanyai a felsívatagi éghajlatú SFVF és a tőle délkeletre található Springerville vulkáni terület salakkúpjai voltak. Modellezték a felszíni eróziós folyamatokat egy ideális salakkúpon. A modellezésük alapjául a következő paraméterek szolgáltak: magasság, a magasság és az átmérő aránya (H_{co}/W_{co}), a krátermélység és a kráterátmérő aránya (H_{cr}/W_{cr}) és a kúpok lejtőszöge. Szerintük az összehasonlító morfológiával történő relatív kormeghatározás alapja az idővel folyamatosan csökkenő morfológiai paraméterek vizsgálata. Ezt az elvet követem én is a kutatásom során.

A 2000-es évektől a digitális domborzatmodell (DTM, digital terrain model) lett az alapja a morfológiai kutatásoknak. Ezek segítségével vizsgálta FAVALLI és szerzőtársai (2009) a salakkúpmezőkön megjelenő lávaár általi körülfolysoknak betudható paraméterváltozásokat, és kimondták, hogy vulkáni lejtőre (réteg- vagy pajzsvulkán oldalára) települő salakkúpok magasságát az eddigiektől eltérően kell számolni. FORNACIAI *et al.* (2012) 21 vulkáni terület paramétereit vizsgálták 2, 10 és 30 méter felbontású DTM-ekkel.

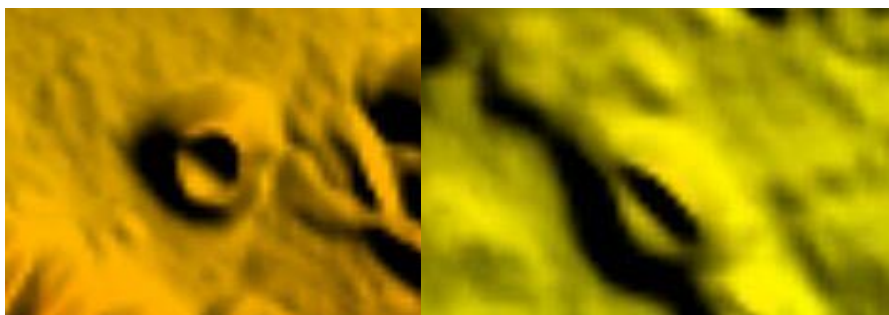
A SFVF domborzatmodellje alapján különféle morfológiai vizsgálatok készültek. Vizsgálták magát a San Francisco-vulkánt (pl. TELBISZ *et al.* 2007), illetve a salakkúpokat (BATA 2007, BATA *et al.* 2008, KIRÁLY 2009, KIRÁLY *et al.* 2009, SZÉKELY *et al.* 2009). Jelen dolgozat az utóbbi vizsgálatok sorába illeszkedik.

2.2. Salakkúp definíciója

A salakkúpok a legegyszerűbb (WOOD 1980a,b), szórt piroklasztitból álló vulkáni felépítmények. Monogenetikus formák, ami azt jelenti, egyszer törnek ki, amely kitörés során a teljes vulkáni felépítmény létrejön. Relatív kisméretűek: magasságuk általában 30-300 méter, de akár a 700 méteres magasságot is elérhetik, átmérőjük maximum pár száz méter (2. ábra). Közepes lejtőszögük 20-30°, amely a kúp idősödésével csökken (15-20°). A legfiatalabb – ideális – kúpok megközelítőleg szabályos, körszimmetrikus formák (3. ábra a). Bármiféle aszimmetriát okozhat az erózió, valamilyen vulkáni eredetű képződmény (pl. lávafolyás), vagy ha a kúp már eleve a kitörés során nem körszimmetrikusan, pl. valamilyen hasadék, vetődés mentén jön létre. Ez esetben maga a kúp ép, de elnyúlt, elliptikus alapú lesz (3. ábra b).



2. ábra: Salakkúpok láncolata a Chaîne des Puys területen (saját kép)



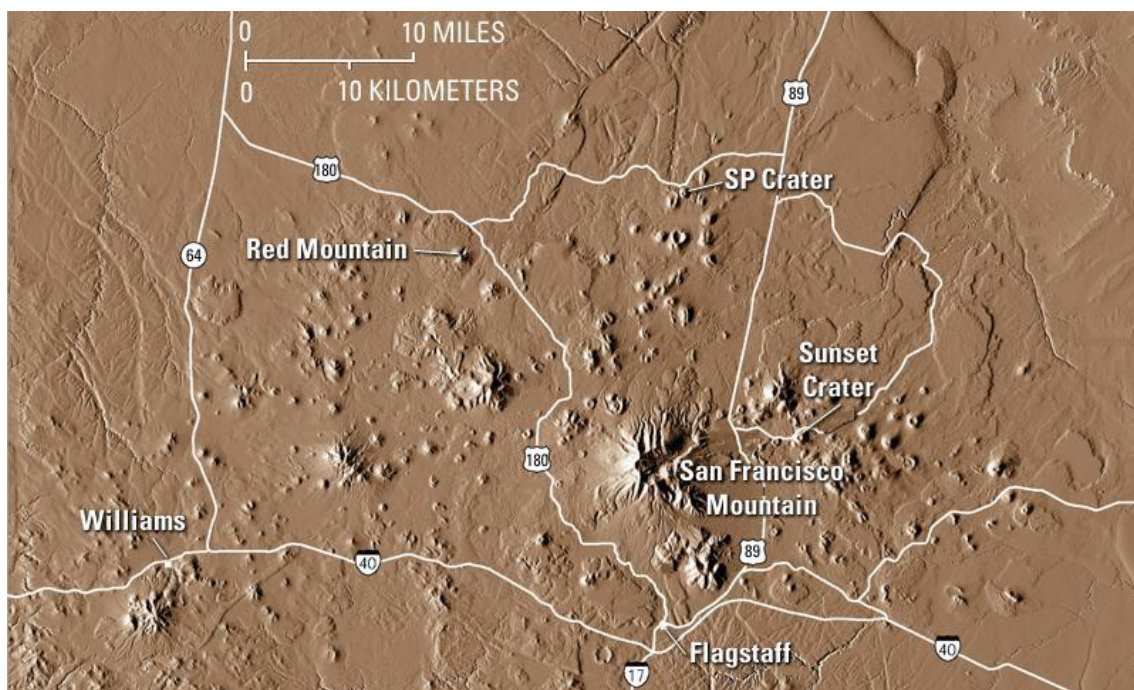
3. ábra Egy a) körszimmetrikus és egy b) elnyúlt, közel elliptikus alakú salakkúp a San Francisco Volcanic Field-en 30 méteres SRTM domborzatmodellen

3. A területek bemutatása

3.1. San Francisco Volcanic Field

A San Francisco Volcanic Field (SFVF) Észak-Amerikában, Arizona államban, Flagstaff közelében található, a Colorado-fennsík déli részén. A nagyjából 4700 km²-en elterülő vidéken körülbelül 600 salakkúp, lávadóm, lávafolyás és kiterjedt salak- és hamuüledék található (PRIEST *et al.* 2001). A neogéntől több hasonló vulkáni terület is kialakult a kontinensen, de a legnagyobb produktívumot adó kitörések a plató déli részéhez köthetők. Ezek a nagyobb – többségében bazaltos – vulkáni területek délkelet-északnyugati vonal mentén szelik ketté Arizonát. A SFVF-en kívül ilyen például a Mormon vagy a Springerville vulkáni terület is (BATA 2007). Hasonló módon alakultak ki: a késő miocéntól kezdve az észak-amerikai kőzetlemez ezen része elvékonyodott és vetők mentén kiemelkedett (WOOD & BALDRIDGE 1990).

A SFVF uralkodó kőzete az alkálibazalt. A bazalt a leggyakoribb kiömléses, magmás kőzetfajta. A láva alacsony szilícium-dioxid tartalma miatt (<54%) hígán folyós, a kis viszkozitásából adódóan szétterülve nagy területet fed le. Ezt a fajta vulkáni működést robbanásmentes kitörések jellemzik. A bazalt mellett andezites formákat is találhatunk: a terület központi formája, a San Francisco rétegvulkán meghatározó kőzete az 52%-63% SiO₂ tartalmú andezit. Közepes viszkozitása miatt salakkúpok és lávadóмок felépítője. A SFVF-en van néhány magasabb SiO₂ tartalmú, nagyobb viszkozitású dácitos vagy riolitos összetételű dóm is (WOLFE *et al.* 1987).



4. ábra: A USGS árnyékolt DEM modellje a területről (PRIEST *et al.* 2001)

A SFVF felépítő kőzeteinek története mintegy 2 milliárd évre nyúlik vissza (PRIEST *et al.* 2001). A terület legidősebb kőzetei a gránit és az agyagpala, amelyek kb. 1,7-1,8 milliárd éve, a

prekambriumban keletkeztek. Ezekre a kőzetekre vízszintes településsel homokkő, mészkő, agyag- és iszaprétegek rakódtak le a paleozoikumban (544–248 millió éve).

Noha a fenti geológiai felépítésből nem nyilvánvaló, mégis a terület legjellemzőbb formái vulkáni formák, és a SFVF vulkáni története fiatal, mindössze 5-6 millió évre nyúlik vissza. Ezen intervallumon belül a felépítmények kora széles skálán mozog. Ugyanúgy találhatunk pár ezer éves (Sunset Crater), millió éves (San Francisco Mountain: 0,4-1 millió év) és többmillió éves (Bill Williams Mountain: 5-6 millió év) kúpokat is (TANAKA *et al.* 1986). A következő táblázatban a fent említett tanulmányok (COLTON, 1967 és MOORE & WOLFE, 1976) által meghatározott korcsoportokat mutatom be.

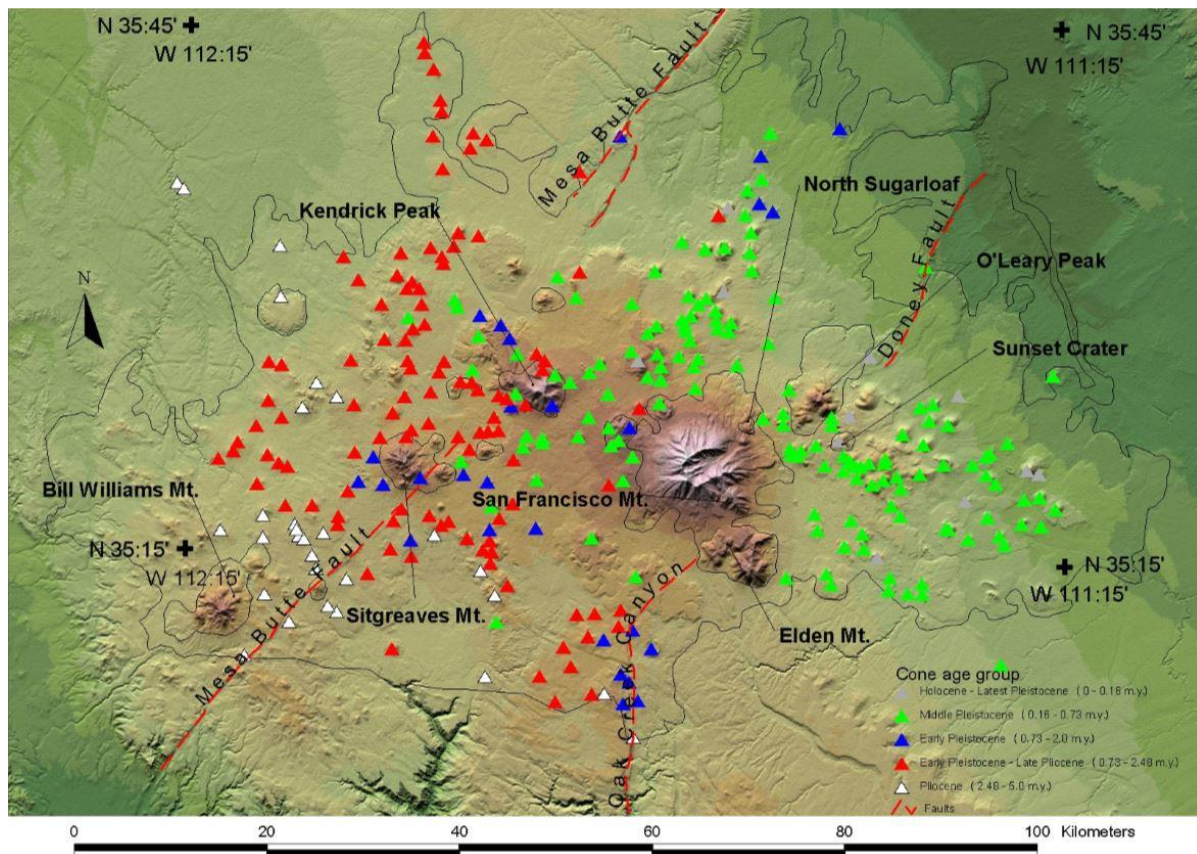
COLTON (1967) morfológiai csoportjai	Kor (Ma)	MOORE & WOLFE (1976)
5	0,001	Sunset kor
5	0,05	Merriam kor
4	0,2-0,7	Tappan kor
3	0,8-3,0	Woodhouse kor
2	3,0-4,0	Rim Basalt kor
1	5,5-6,0	Cedar Ranch kor

1. táblázat: A SFVF salakkúpjainak besorolása korcsoportokba COLTON (1967), MOORE & WOLFE (1976) alapján [BATA 2007]

Ezen osztályozások, és a USGS 1: 50 000 méretarányú térképei alapján BATA (2007) a következő korcsoportokat definiálta, és a továbbiakban én is ezeket használom a dolgozatomban:

1. korcsoport: holocén – késő pleisztocén (0 – 0,16 Ma)
2. korcsoport: középső pleisztocén (0,16 – 0,73 Ma)
3. korcsoport: kora pleisztocén (0,73 – 2,0 Ma)
4. korcsoport: kora pleisztocén – késő pliocén (2,0 – 2,48 Ma, de ide tartozik még néhány, 0,73 – 2,48 Ma korú kúp is, amelyeknek a kora nem határozható meg egész pontosan)
5. korcsoport: késő pliocén (2,48 – 5,0 Ma)

Az idősebb, pliocén korú salakkúpok a SFVVF nyugati, délnyugati részein találhatók, míg kelet felé egy fiatalodó trendet láthatunk (TANAKA *et al.* 1986). A legkeletibb kúpok késő pleisztocén – holocén korúak. Ez a fiatalodó trend lehet a bizonyítéka annak, hogy a terület egy forrófolt felett alakult ki (PRIEST *et al.* 2001).



5. ábra: A salakkúpok kor szerinti elhelyezkedése a területen (BATA 2007)
szürke: 1. korcsoport, zöld: 2. korcsoport, kék: 3. korcsoport, piros: 4. korcsoport, fehér: 5. korcsoport

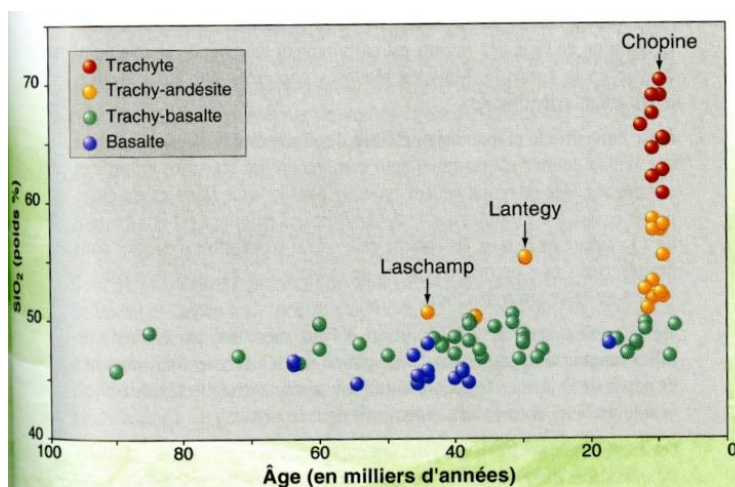
3.2. Chaîne des Puys

A Chaîne des Puys Közép-Franciaországban, Auvergne régióban, Clermont–Ferrand mellett található, a Massif Central déli részén. Ezen a döntően negyedidőszaki salakkúp-területen körülbelül 100 kitörési centrum található: 48 salakkúp, 8 lávadóm és 15 maar oszlik el észak-déli irányban mintegy 40 kilométeres szakaszon. Legmagasabb pontja a Puy de Dôme (6. ábra), amelynek 1464 méterét két lávadóm kinyomulása okozta 10 800 éve (MIALLIER *et al.* 2010, 2012, VAN WYK DE VRIES *et al.* 2014).



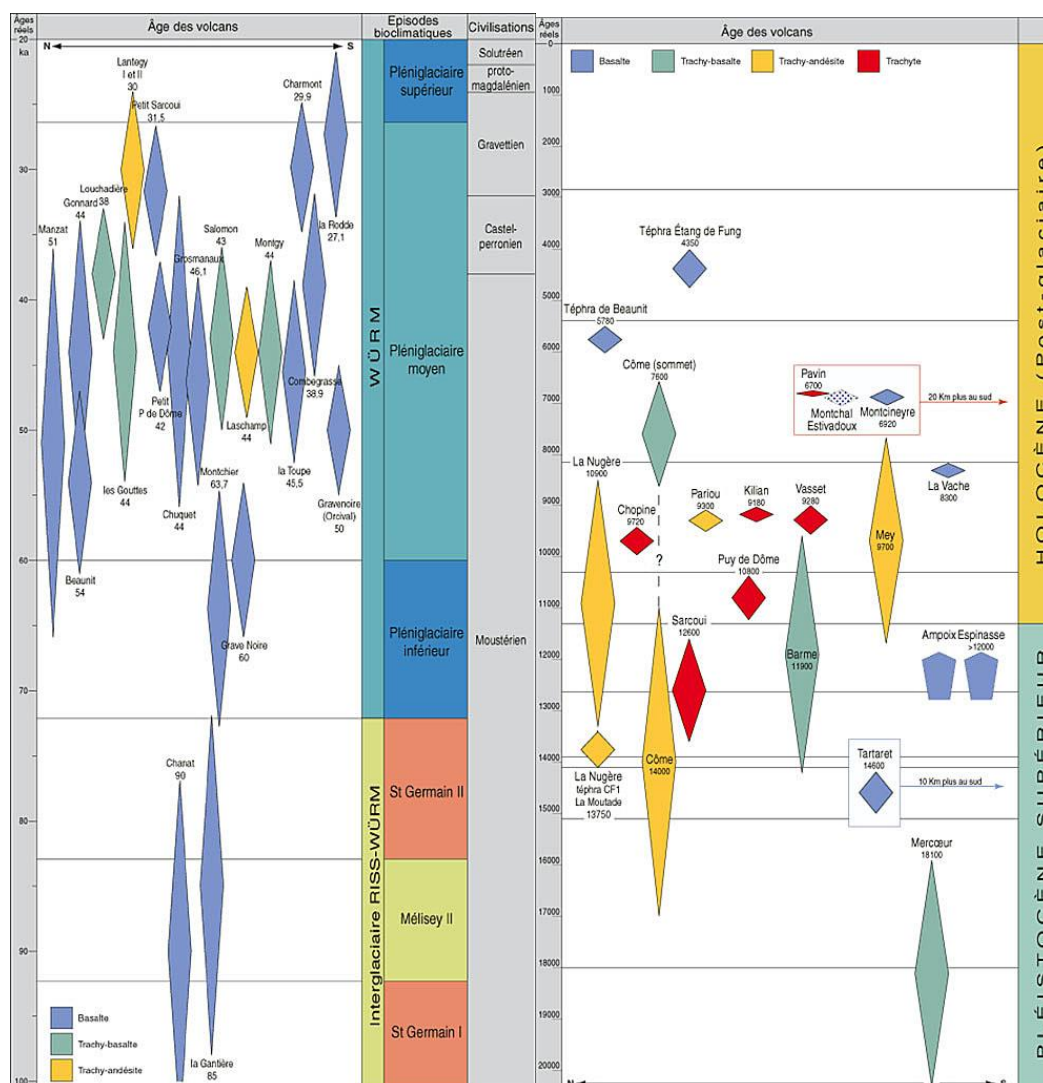
6. ábra: Puy de Dôme látképe a Puy de Côme-ról (saját fénykép)

A területen találhatunk bazaltos, trachibazaltos és trachandezites kúpokot, illetve a többi felépítmény (dóm) közete döntően trachit (7. ábra).

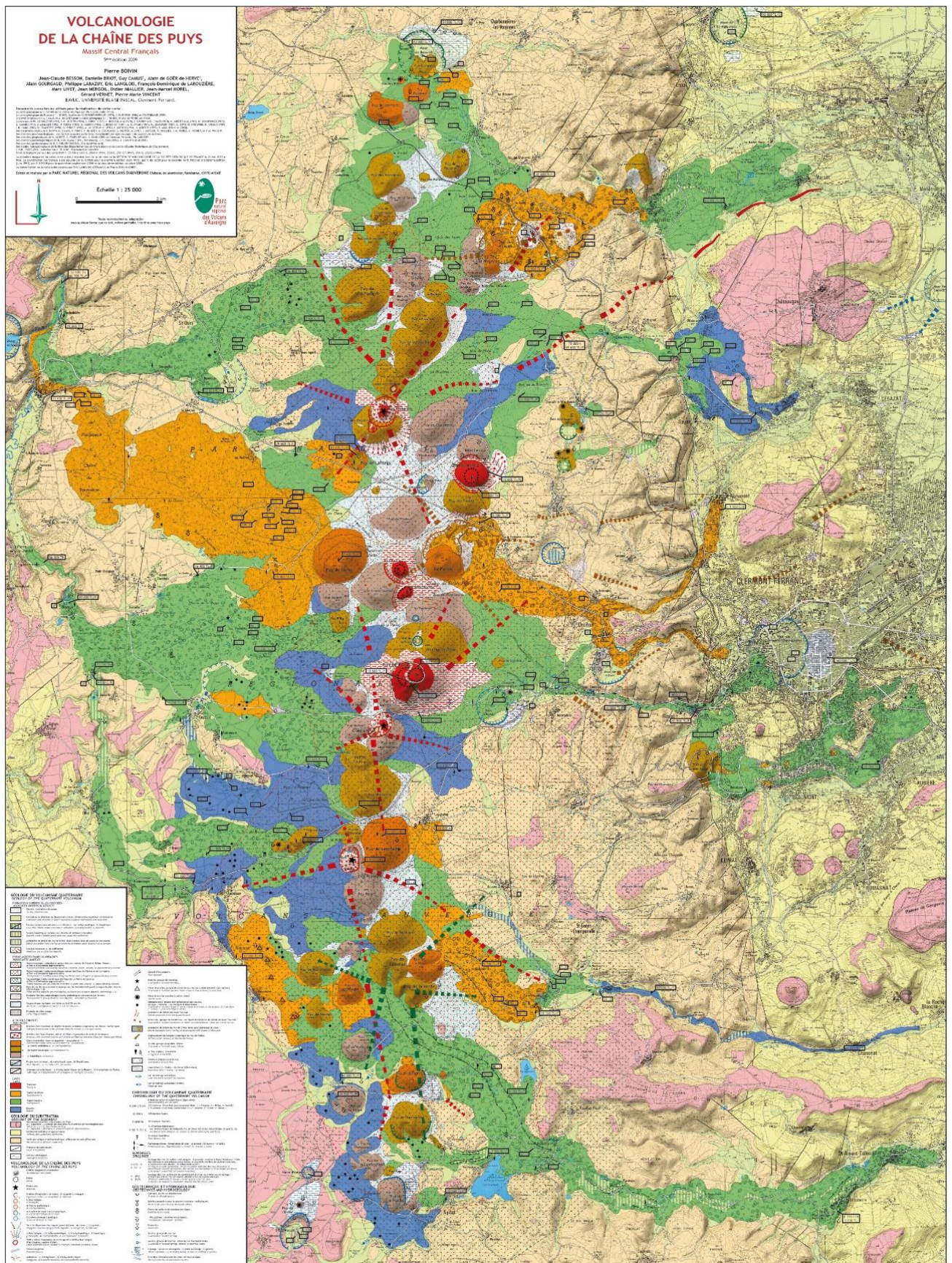


7. ábra: A CdP salakkúpjai koruk (ezer év) és SiO_2 tartalmuk alapján (BOIVIN, 2009)

A Chaîne des Puys (CdP) – viszonylag kicsinek mondható területének – geológiája mintegy 65 millió évre nyúlik vissza (9. ábra). A legfiatalabb salakkúp ~ 4,4 ezer éves, míg a legidősebb ~ 100 000 éves (8. ábra). Ezek alapján elmondható, hogy a SFVF-del szemben a CdP salakkúpjai kialakulásukat tekintve időben sokkal közelebb vannak egymáshoz.



8. ábra: A CdP salakkúpjai pontos koruk és kőzetminőségük alapján (BOIVIN, 2009)

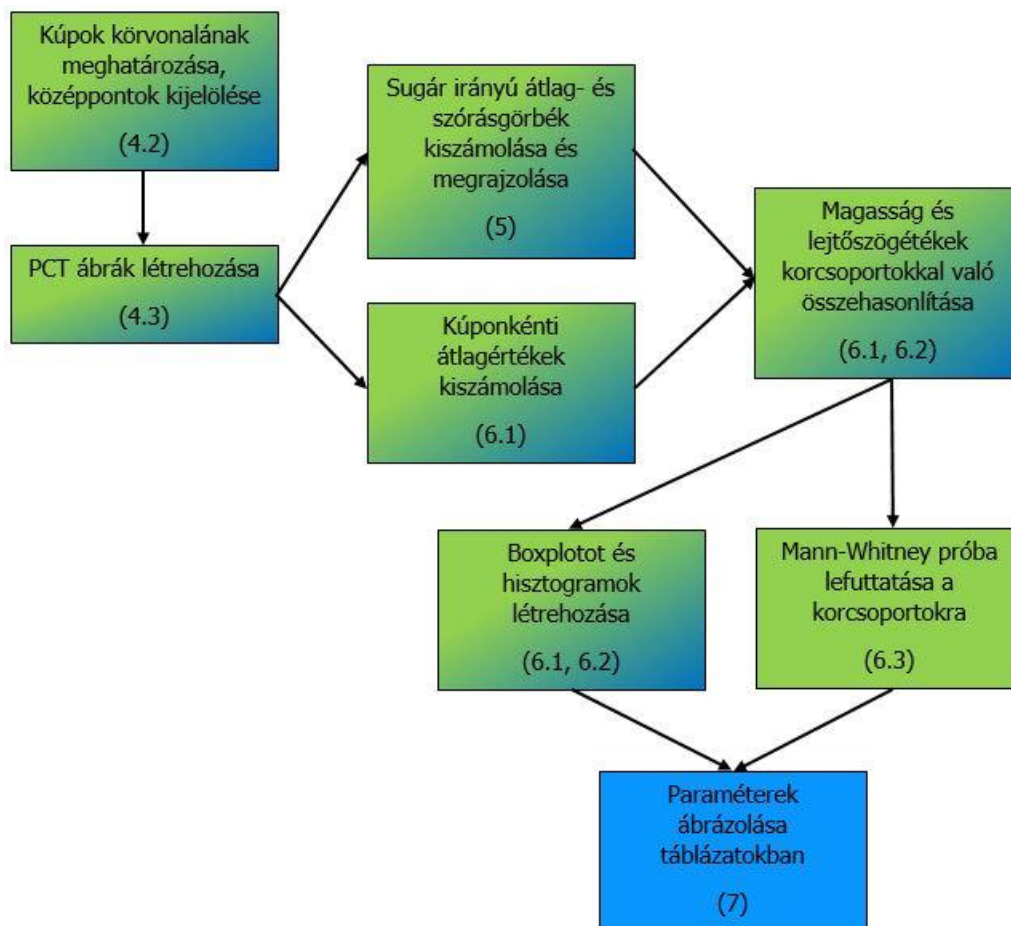


9. ábra: A Chaîne des Puy's geológiai térképe (BOIVIN, 2009)

4. Módszertan

4.1. Áttekintő

Az átláthatóság kedvéért 10. ábrán a kutatásom során végrehajtott lépéseket folyamatábrán jelenítettem meg, zárójelben a lépés dolgozaton belüli helyével.



10. ábra: A kutatás során elvégzett lépések, késsel a SFVF, zölddel a CdP adatai

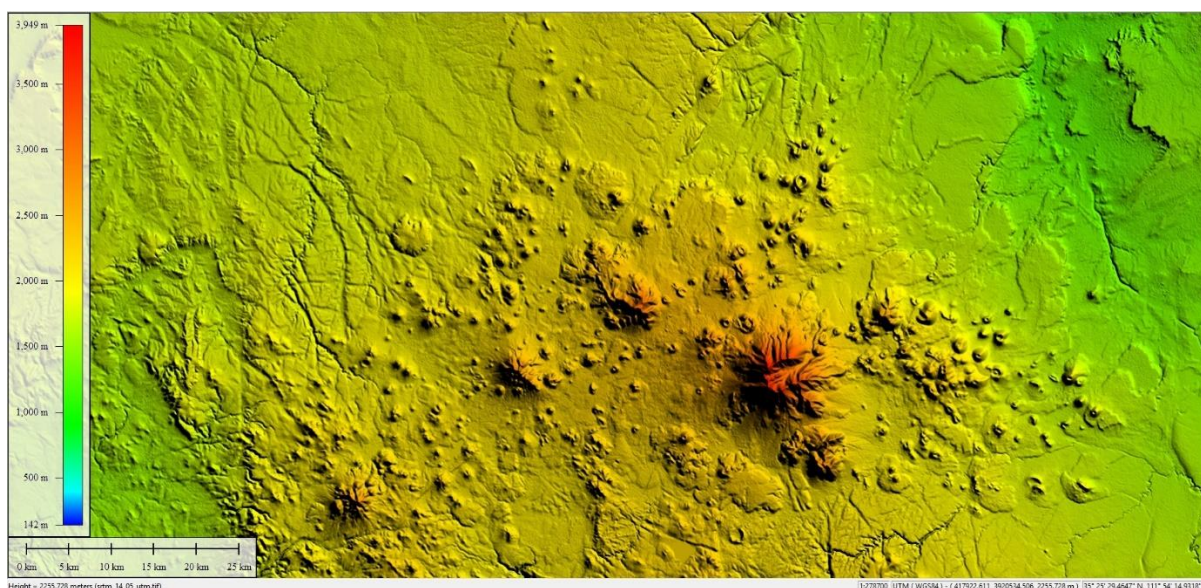
4.2. Használt DTM-ek bemutatása

Munkám során kiindulásként digitális domborzati modelleket (DTM) használtam, a két területről különböző felbontású adatok álltak a rendelkezésemre. A SFVF DTM-jét ingyenesen le tudtam tölteni az SRTM honlapjáról (ld. lejjebb), míg a Chaîne des Puys LiDAR adatait Prof. Benjamin VAN WYK DE VRIES (Laboratoire Magmas et Volcans, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand) szíveségéből használhattam.

4.2.1. SRTM

A digitális domborzatmodellek közül is kiemelkedik az amerikai NASA (National Aeronautic and Space Administration) több európai partnerrel közös programja, az SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), amelynek célja a földfelszín mintegy 80 %-ának a feltérképezése volt. Maga a repülés – hosszú előkészületek után – 2000 februárjában indult el, és 11 napig tartott. Ennek során a

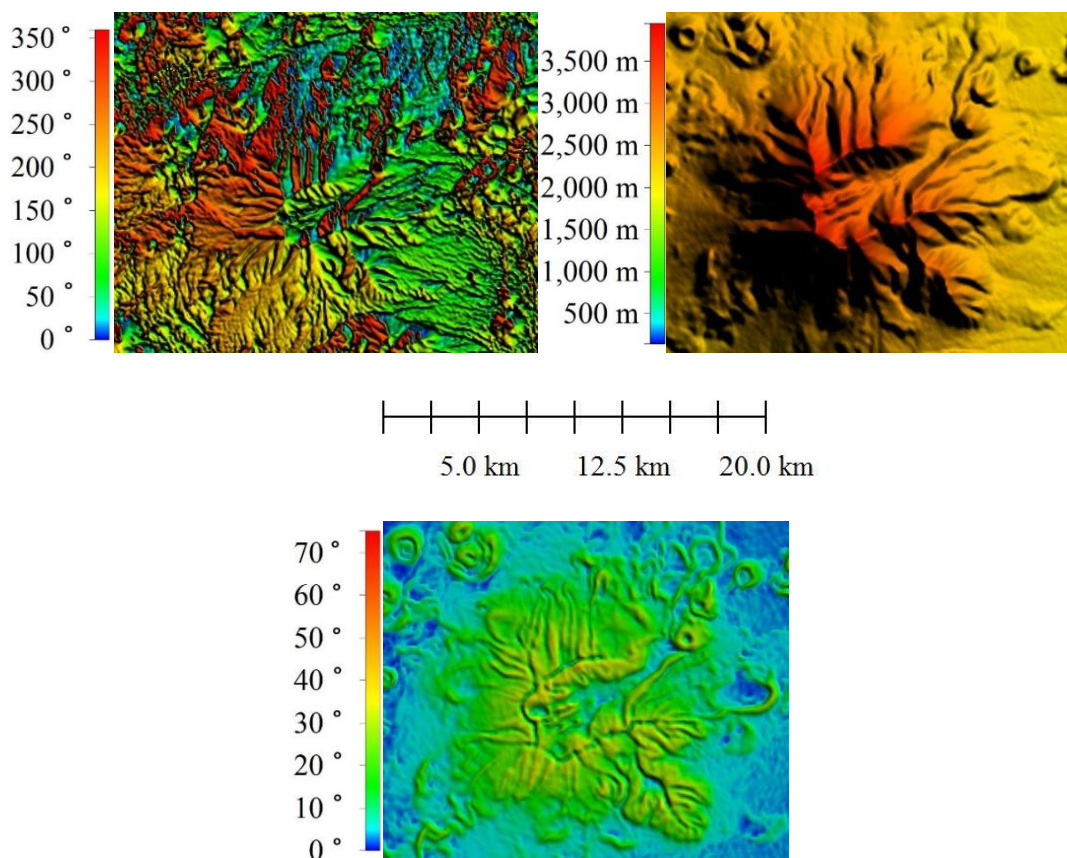
mérést végző űrrepülőgép 57°-os pályahajlása miatt az északi félgömb 60°, és a déli félgömb 57° szélessége közti terület digitális domborzati modelljének elkészítéséhez szükséges adatokat vette fel, melyből a feldolgozás során két felbontásban készült domborzati modell. A pontosabbak 1 szögmásodperc, azaz egyenlítői területeken kb. 30 m × 30 m, a kevésbé részletesek 3 szögmásodperc (egyenlítői területeken kb. 90 m × 90 m) felbontásúak. A részletesebb modell az Amerikai Egyesült Államok kontinentális területére vonatkozik, a világ többi részére pedig a 3 szögmásodperces verziót tették nyilvánossá. Az eredetileg (2003) használt formátum az adatokat foktrapézokra bontotta. Egy-egy állomány 1 fok × 1 fok kiterjedésű foktrapéz adatait tartalmazza, a széleken átfedéssel. Ezek az állományok a 3 szögmásodperces adatoknál foktrapézonként 1201 × 1201 pixelt tartalmaznak, míg az 1 szögmásodpercesek 3601 × 3601 képpontot. Ezek a pixelértékek a magassági adatokat kétbyte-os formátumban tartalmazzák. Ez még így is óriási előrehaladás volt, (FARR & KOBRICK 2000; RABUS *et al.* 2003) hisz a korábbi – legpontosabb – átfogó domborzatmodellnek, a GTOPO30-nak (GLOBE TASK TEAM *et al.* 1999) is – lineáris értelemben – tízszer rosszabb volt a felbontása (az Egyenlítő környékén). Az SRTM segítségével olyan területekről is hozzájuthatunk jó minőségű domborzatmodellekhez, amelyek azelőtt nem, vagy csak nagyon drágán voltak megkaphatók. SRTM alapú morfometriai számolásokat, modellezéseket már korábban is végeztek a terület salakkúpjaira (BATA 2007, BATA *et al.* 2008, KIRÁLY 2009, KIRÁLY *et al.* 2009, SZÉKELY *et al.* 2009), azok adatait veszem alapul a dolgozatomhoz.



11. ábra: A San Francisco Volcanic Field SRTM domborzatmodellje Global Mapperben megjelenítve

A dolgozatomhoz használt alapmodell a CGIAR Consortium for Spatial Information (2004) honlapjáról töltöttem le. (Ez az eredeti adatrendszer javított, kiegészített változata, verziószáma 4.1.) Az északi szélesség 35-40°, nyugati hosszúság 110-115° közti terület kiválasztása után le tudtam tölteni a geoTIFF formátumú `srtm_14_05` fájlt. (11. ábra). Azonban kutatásom során a magassági adatokon túl más, az SRTM-ből levezetett adatokkal (lejtőszög, kitettség) is foglalkozni kívántam. Ezek

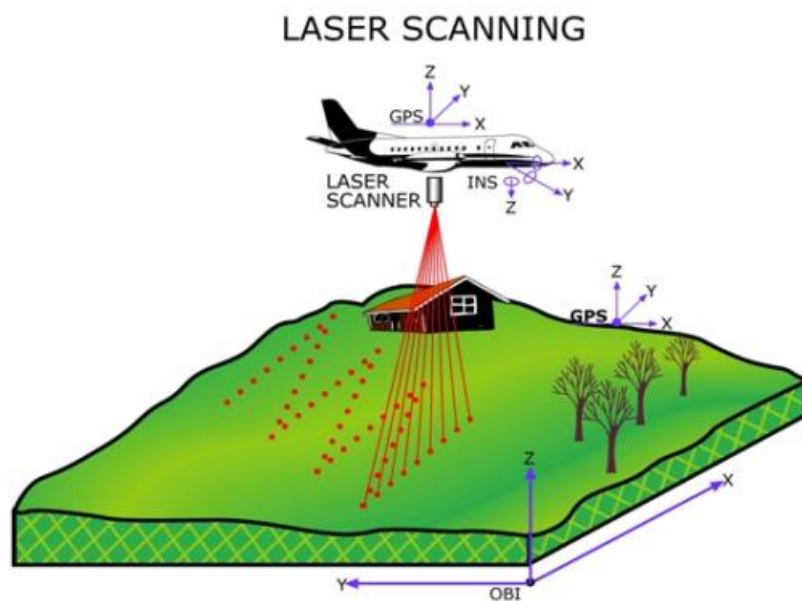
előállításához a Quantum Geographic Information System (QGIS) nevű programot használtam, amely egy ingyenes, platformfüggetlen, nyílt forráskódú földrajzi információs rendszer. QGIS-be beolvasva a TIFF képet, első feladatomban a megfelelő koordináta rendszerbe való áttérítésként volt. Az SRTM modellek WGS84 (EPSG: 4326) dátumú koordináta rendszerben vannak (szélesség – hosszúság fokokban), nekem a számításaimhoz viszont méter alapú koordinátarendszerre volt szükségem. Ennek érdekében átkonvertáltam 32612-es EPSG kódú, WGS84 alapfelületű, 12-es zónájú UTM vetületbe. QGIS-szel számoltattam ki a terület lejtőszög- és kitettség térképét is (12. ábra).



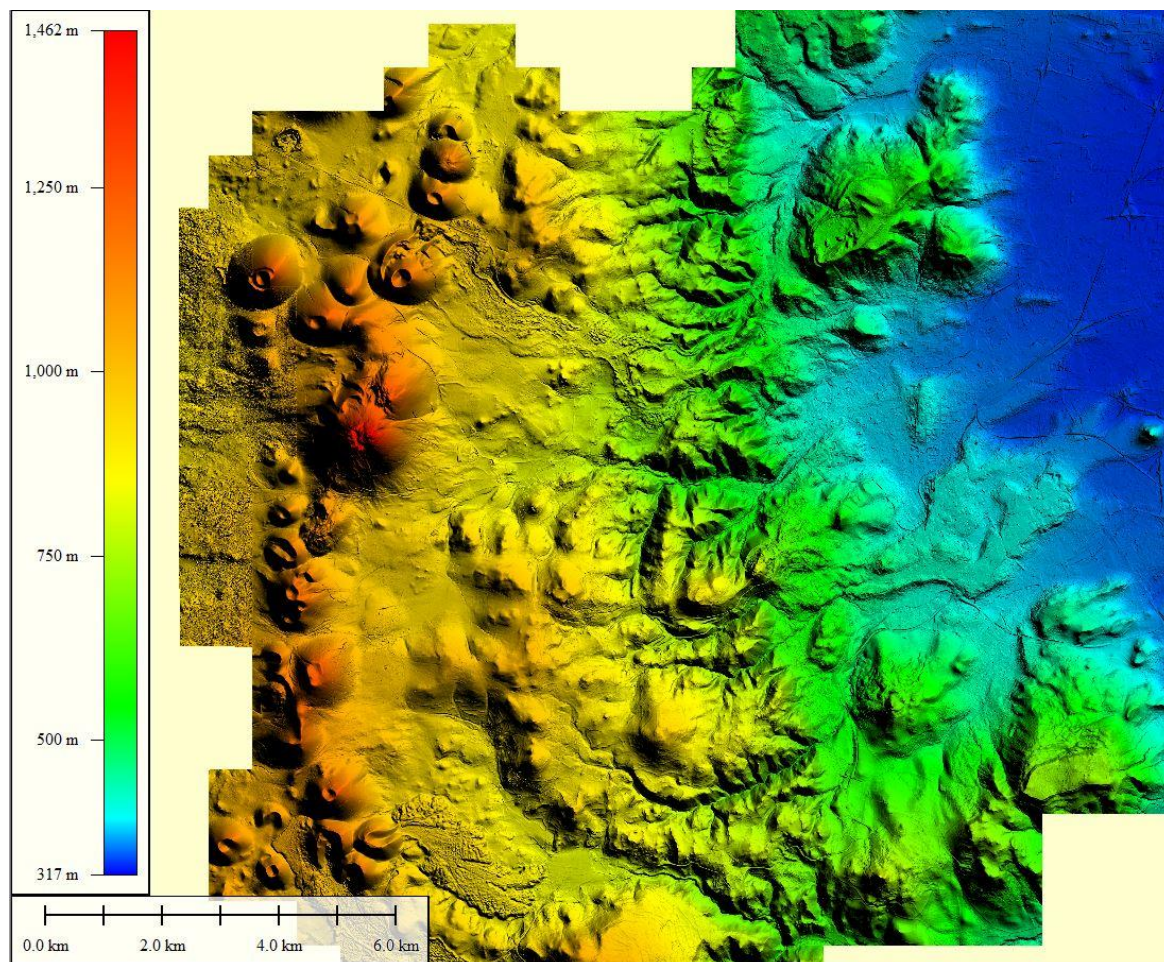
12. ábra: A San Francisco Mountain képe árnyékolt kitettség- (balra), magasság- (jobbra) és lejtőszög-térképen (középen)

4.2.2. A felhasznált LiDAR adatok

A felszíni térképezés, domborzatmodellezés egyik legpontosabb módszere a LiDAR-technológián (Light Detection and Ranging) alapuló lézerszkennelés, amely lézerfényt (UV, látható vagy közeli infravörös hullámhosszú) bocsájt ki, majd annak a visszaverődési idejéből határozza meg a műszer és a visszaverő felszín távolságát (13. ábra). A LiDAR a nagyon jó felbontását a fény radarhoz képesti rövid hullámhosszának köszönheti. Magassági adatokat (amelyek hozzávetőlegesen néhány centiméter pontosságúak) legkönnyebben egy repülőgépre telepített lézerszkennер segítségével állítanak elő. A repülőgépeken található GPS és IMU (Inertial Measurement Unit, azaz inerciális mérőegység) segítségével mérik a gép útvonalát, tér- és időkoordinátáit. Később ezek a mért adatok kerülnek bele egy valós koordinátarendszerbe. A sűrű leképezés miatt a lézer a talajszintre is vetülhet, nemcsak az alsóbb növényrétegre (ágak, levelek). Ezek alapján elmondható, hogy a növényzettel borított területeken a legelső visszaverődés a lombkorona tetőszintje, míg az utolsó (leggyakrabban) a szilárd felszín magassága lesz. Így beszélhetünk digitális felszínmodellről (DSM - Digital Surface Model) és digitális domborzatmodellről (DTM – Digital Terrain Model). Mindkét esetben nagy pontosságú, de nagyon sűrű adatról van szó, amelynek kezelése – ebből adódóan – nagyobb kihívást jelent, mint pl. az SRTM.

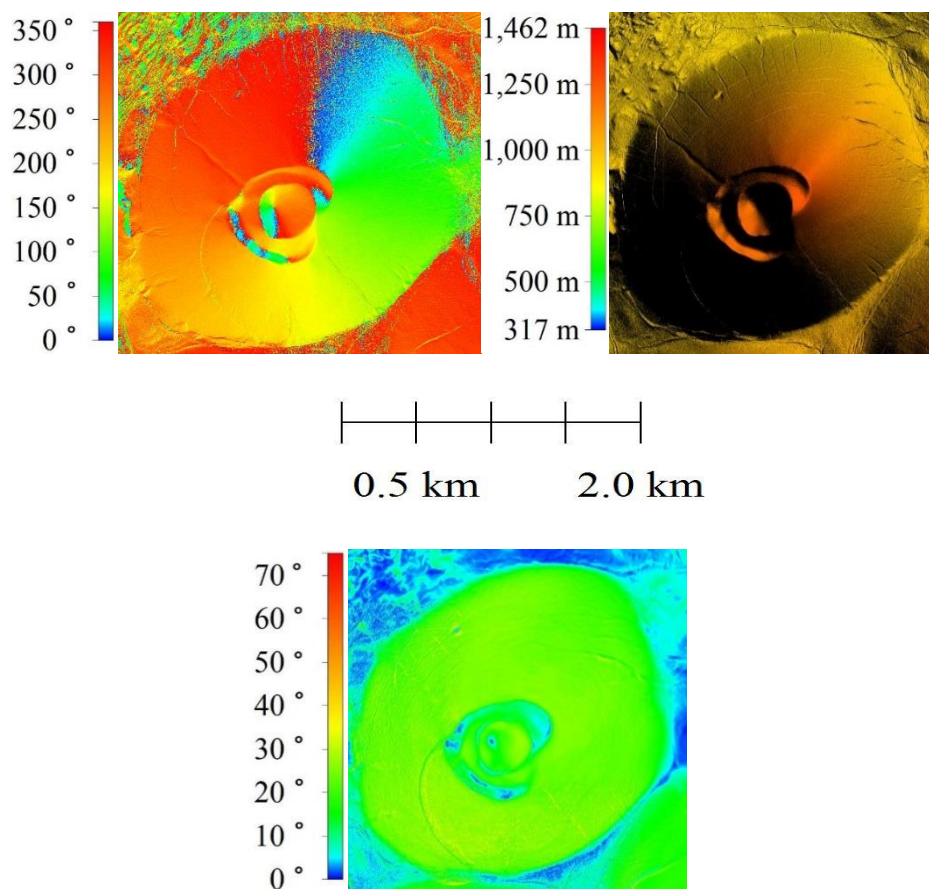


13. ábra: A LiDAR módszer (SCHUCKMAN & RENSLOW, 2014)



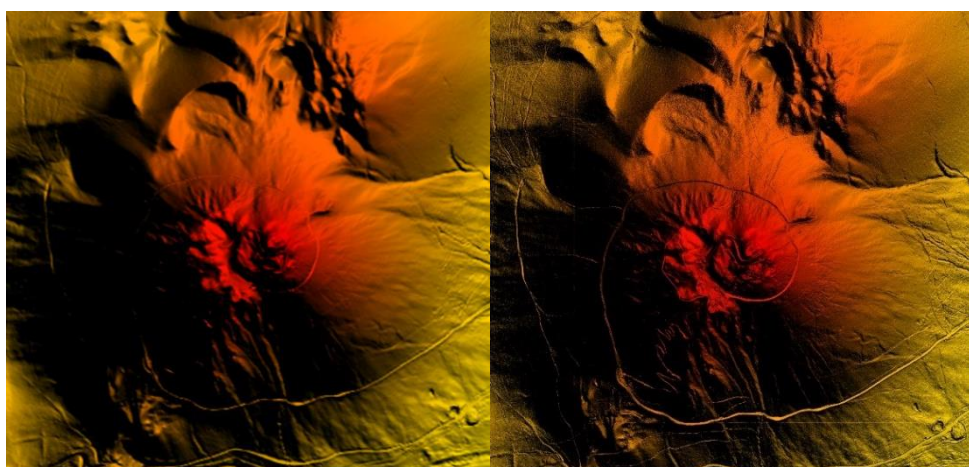
14. ábra: A Chaîne des Puys terület LiDAR domborzatmodellje Global Mapperben megjelenítve

A LiDAR-nál az adataim Lambert-93-ban (EPSG:2154) voltak. Ez után – az SRTM-hez hasonlóan – lejtőszöget és kitértséget számoltam (15. ábra).



15. ábra: A Puy de Côme képe kitettség- (balra), magasság- (jobbra) és lejtőszög-térképen (középen)

Kutatásom során kétféle felbontású adattal dolgoztam (16. ábra): a részletesebbek 0,5 m, a kevésbé részletesek 5 méter felbontásúak. Azért volt szükséges a két felbontás együttes használata, mert nem állt rendelkezésemre az egész területre fél méter felbontású felmérés, így az 5 méteres adatokat kiegészítésként kellett használnom.



16. ábra: A Puy de Dôme 5 méter (balra) és fél méter (jobbra) felbontású LiDAR-on. Érdekes megfigyelni, hogy a csúcsra vezető vasúti pálya csak a jobb felbontású képen vehető ki végig.

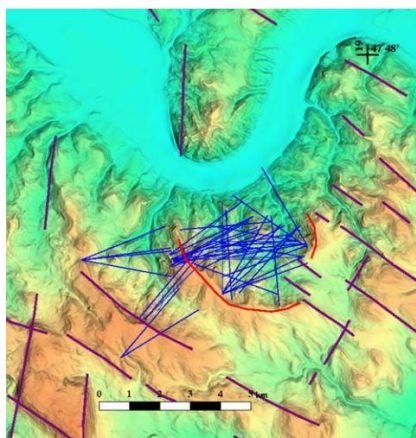
4.3. Salakkúpok körvonalának és középpontjának meghatározása

Ahhoz, hogy a számításaimat el tudjam végezni, meg kellett határoznom, hogy egy-egy salakkúp pontosan mekkora, meddig tart a vulkáni felépítmény és hol kezdődik az alapfelszín. Ehhez a lépéshez SZÉKELY & KARÁTON (2009) különféle adatokból számított valószínűségi sűrűség-függvény kiszámítását javasolja. Ez a módszer azonban igen számításigényes, jelenleg nagyszámú kúpra még nem alkalmazható. Az SFVF-nél segítségemre volt a BATA (2007) által létrehozott .shp fájl, amely tartalmazza a geometriai alakzatok (pont, vonal, sokszög) koordinátáit, az alakzatok attribútumait, az adatrekordok közti kapcsolatokat illetve egyéb, kiegészítő adatokat is.

A LiDAR adatokon magam digitalizáltam a körvonalakat. Hiába a jobb felbontás, sok esetben nem volt egyértelmű, hogy mit látok a domborzatmodellen, ezekhez segítséget Prof. VAN WYK DE VRIESTől kaptam, akinek a terepi tapasztalatainak a segítségével határoztuk meg a salakkúpok alját jelző poligonokat.

A salakkúpok középpontjának kijelölését szintén manuálisan kellett elvégeznem. Az SFVF-nél ezt én magam tettem meg, míg a CdP-nél szintén Prof. Benjamin VAN WYK DE VRIES segített. Meg lehet határozni a relatív irányát a középpontnak automatikusan is (17. ábra) egy adott megfigyelés alapján, meghatározott szögpontosságon belül (KARÁTON *et al.* 2006), de a komolyabb számítások miatt a kutatás során inkább a manuális meghatározást választottam.

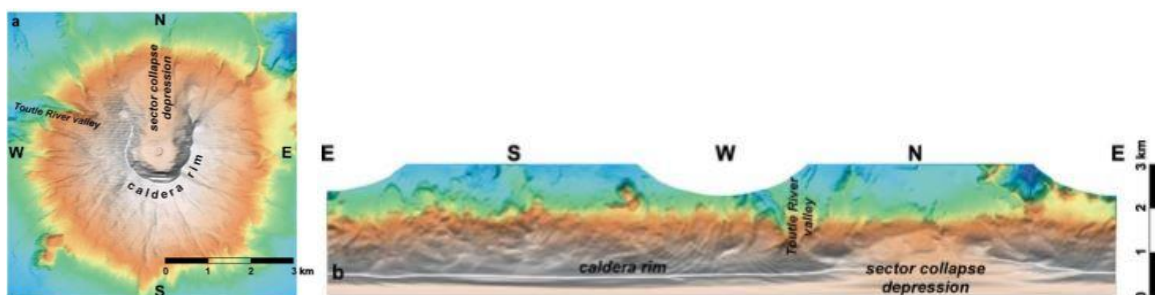
A középpontok fontosságára a 3/d, és 4/a pontokban fogok kitérni.



17. ábra: Középpont származtatás a Keserűs-hegy példáján (KARÁTON *et al.* 2006)

4.4. A PCT bemutatása

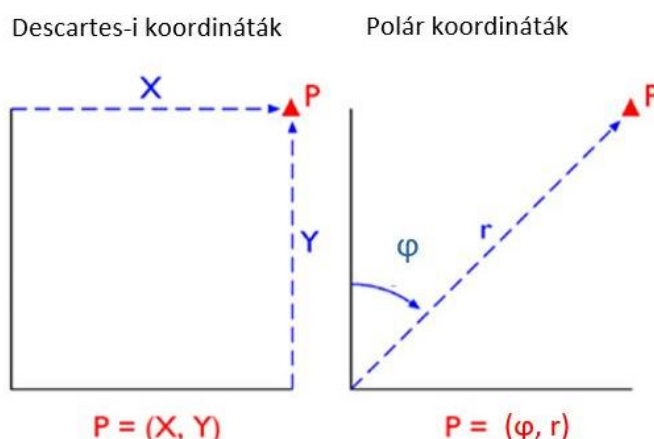
A polárkoordináta-rendszer transzformációt SZÉKELY & KARÁTON (2004) vezették be a vulkán-geomorfometriában (18. ábra). Később más vulkánokra is alkalmazták (SZÉKELY & HAMPTON 2007).



18. ábra: A Mt. St. Helens képe az 1980-as kitörés után, felülnézetben (balra) és PCT-ben (jobbra) (SZÉKELY & KARÁTSÓN, 2004)

A módszer lényege, hogy az eredetileg felülnézetből ábrázolt formákat (jelen esetben vulkánokat) „szétteríti”, mégpedig a következő módon:

Az eredeti adatsoron a formákat felülnézetből látjuk. Egy descartes-i rendszert kell elképzelnünk, ahol minden pont leírható két koordinátával (jelen esetben a koordináták – X,Y-méterben). Ezzel szemben a polárkoordináta-rendszerben ugyanezeket a pontokat egy adott középponttól vett távolsággal (r [méter]) és az azimutszöggel (a 0° -tól való horizontális szögeltéréssel, $\varphi[^\circ]$) lehet jellemezni. Emiatt fontos a salakkúpok középpontjának minél pontosabb meghatározása, mert a polárkoordináta-rendszernek is az lesz a középpontja.



19. ábra: Átváltás a descartes-i és a polárkoordináta-rendszer között

Egy egyszerű Python script segítségével számoltam ki az r és φ értékeket (20. ábra).

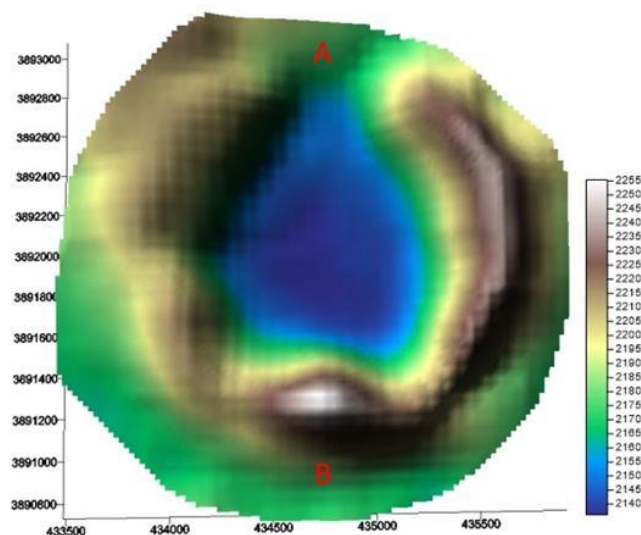
```

26 x0 = 434692.692
27 y0 = 3891959.460
28 x=file1[:,0]
29 y=file1[:,1]
30 r = (((x-x0)**2)+((y-y0)**2))**0.5
31 fi=np.arctan2((x-x0),(y-y0))
32 fideg=(180/m.pi*fi)
33 print (fideg)
34 print (r)

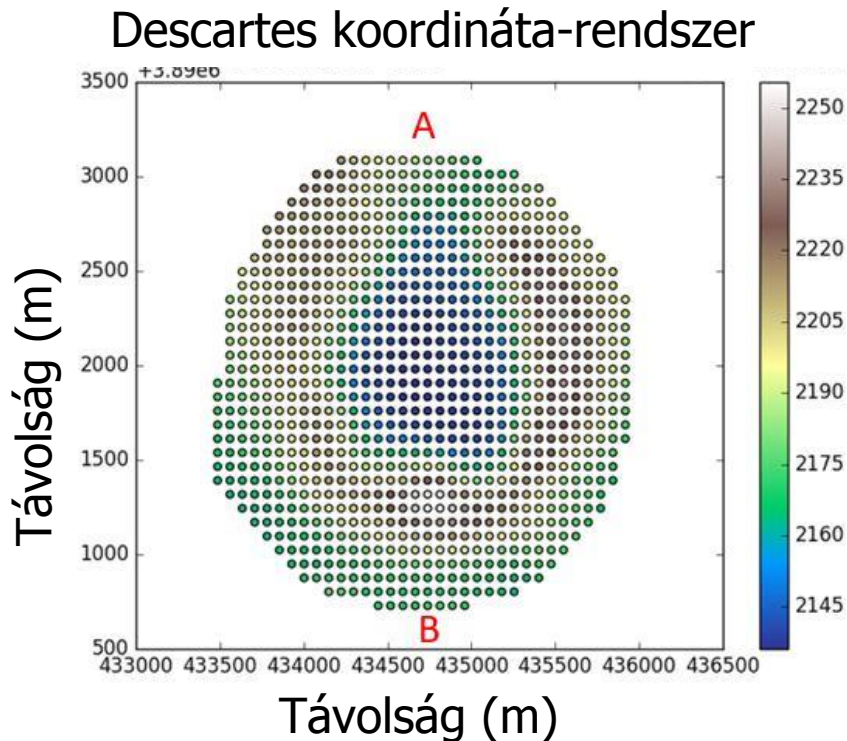
```

20. ábra: r és φ kiszámolása Pythonban
 x_0, y_0 a középpont koordinátái, x és y pedig a kúp többi pontjának (19. ábra P pontjának) koordinátáit jelöli

A 21. ábrán az SFVF egyik („BT090”) salakkúpja látható Golden Software’s Surferben megjelenítve, magasság szerint színezve az értékeket. Ugyanez a kúp látható a 22. ábrán, Pythonban (pontokkal) megjelenítve. A két ábra mutatja, hogy egy szimmetrikus, kör alaprajzú, kráterrel rendelkező kúpról van szó. Az északi irányban (A) a kráterperem hiányos, míg délen (B) a peremen van egy kisebb kiemelkedés.



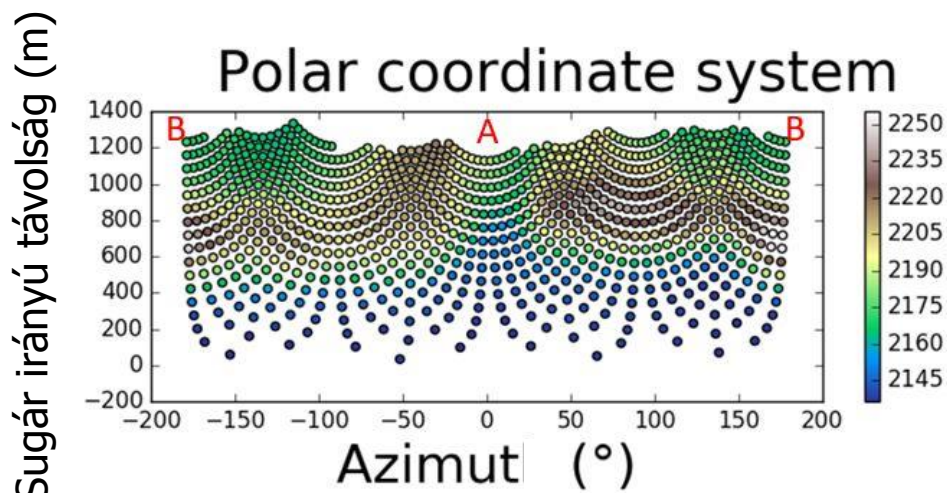
21. ábra: „BT090” salakkúp felülnézeti képe Golden Software’s Surferben megjelenítve



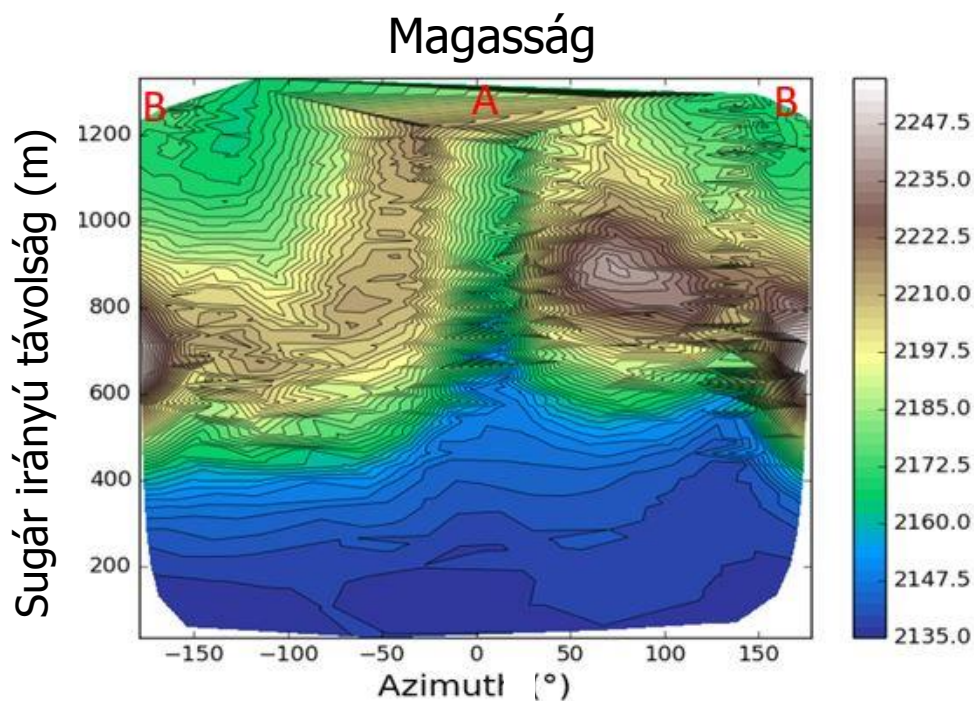
22. ábra: „BT090” salakkúp felülnézeti képe Pythonban megjelenítve

A 23. ábraán ugyan ez a kúp látható „kiterítve”, polárkoordináta-rendszerben ábrázolva. Látható, hogy jól lett kijelölve a salakkúp középpontja, hisz a legmagasabb (barnával jelölt) perem

párhuzamosan fut az X tengellyel. Látjuk a 0° környékén (A) található kinyílást (a perem barnája megszakad), és a $\pm 180^\circ$ -nál (B) található kiemelkedést (a perem barnája fehérbe megy át). Mind a 22. ábrán mind a 23. ábrán csak az SRTM-ből közvetlenül kinyerhető adatokat ábrázoltam. A szebb vizualizáció érdekében a konkrét értékkel rendelkező pontok között interpolálást végeztem (24. ábra).

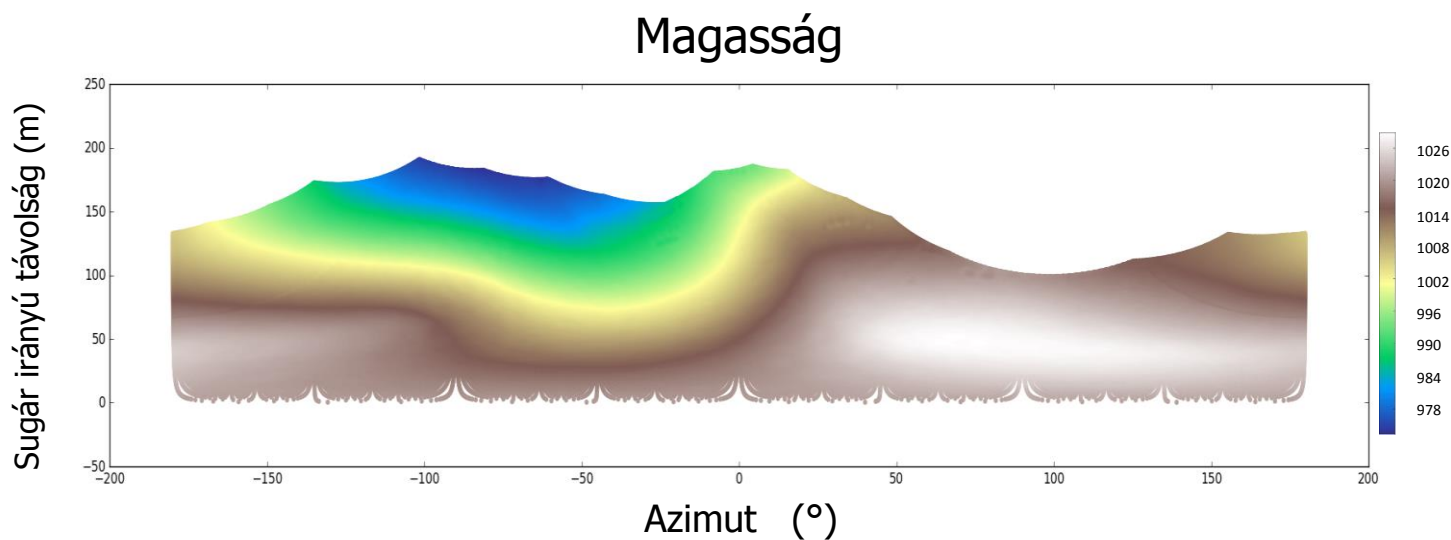


23. ábra: „BT090” salakkúp PCT-ben ábrázolva

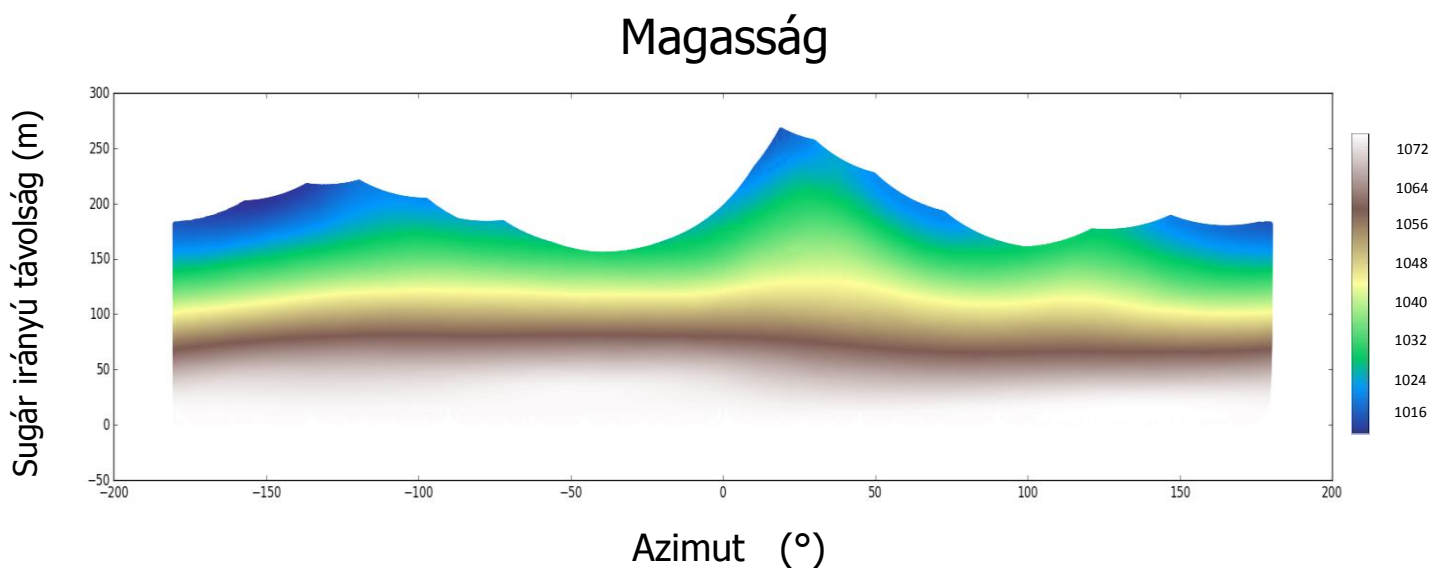


24. ábra: „BT090” salakkúp értékei interpolálva, PCT-ben ábrázolva

A Chaîne des Puys területére csak a rosszabb, 90 méter felbontású SRTM adatok érhetők el a hivatalos honlapról (ld. feljebb). Kisebb salakkúpok esetében (pl. le Petit Sault) ez a felbontás mindössze pár 10 darab konkrét értéket jelent, amelyek között – hiába az interpolálás – nem kapnánk a valósághoz közelítő értékeket. A LiDAR esetében viszont olyan sűrű adatmennyiségről beszélhetünk, hogy az interpolálást el is lehet hagyni a PCT ábra esetében (25. ábra és 26. ábra).



25. ábra: A le Petit Sault kúp értékei PCT-ben ábrázolva



26. ábra: A le Grand Sault kúp értékei PCT-ben ábrázolva

5. A salakkúpok vizsgálata

5.1. PCT felhasználása

Miután elkészítettem a PCT képeket, a vizuális ellenőrzés után kétféle számolást végeztem: először minden egyes salakkúp magasságadatainak és az ebből származtatott adatoknak (kitettség, lejtőszög) kiszámoltam az azimutális (azonos centrális távolsághoz tartozó) átlagát, másodszor pedig ábrázoltam az átlagos értékeket, és a hozzájuk tartozó szórásokat a középponttól (amelynek környékén azonban túlmintavételezés történik, így azon értékek nem mérvadók) való távolság függvényében.

5.2. Magassági adatok

5.2.1. Abszolút, relatív magasság

Számításaimat a két vulkáni mezőn található salakkúpok magasságával kezdtem. Itt el kellett különítenem a salakkúpok abszolút, és relatív magasságát. Abszolút magasságon a kúpok tengerszint feletti magasságát értem, míg relatív magasságon azt, hogy milyen magas a kúp az aljától a tetejéig, azaz a salakkúp reliefjét.

A tengerszint feletti magasság volt az egyszerűbb, hisz azt a DTM-ekből közvetlenül megkaptam, egy egyszerű átlagszámítást kellett csak Pythonban végezni. A „z” mindig az adott DTM-beli magasságot vagy a levezetett értéket mint független változót jelenti, míg a „nan” kezdetű függvények azért kellenek (NaN=Not a Number), hogy azokon a részeken, ahol nincs adat, az algoritmus ne álljon meg, hanem számoljon tovább (ezek a függvények kezelik az adathiányt).

```
atlag=np.nanmean(z)
```

A relatív magassághoz meg kellett adnom a kúp legmagasabb (max) és legalacsonyabb (min) pontját, majd a kettő különbségét vettem.

```
maximum=np.max(z)
```

```
minimum=np.min(z)
```

```
abszolot1=np.subtract(maximum, minimum)
```

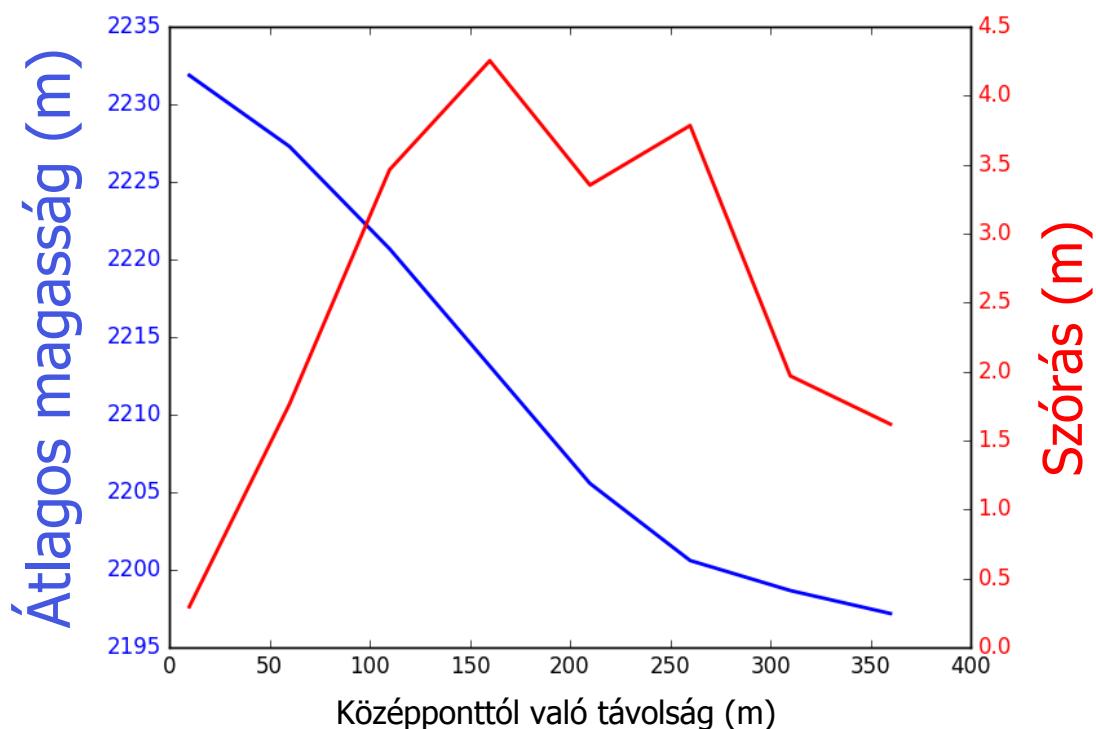
```
abszolot = np.absolute(abszolot1)
```


5.2.2. Átlag, szórás

Következő lépésben a PCT-t használtam fel. A célom az volt, hogy egy ábrán lássam a salakkúpok magasságát és szórását a középponttól távolodva, ez által láthatóvá tegyem a kúp esetleges aszimmetriáit. Az átlagot a fent ismertetett képlettel számoltam ki, míg a szórás a

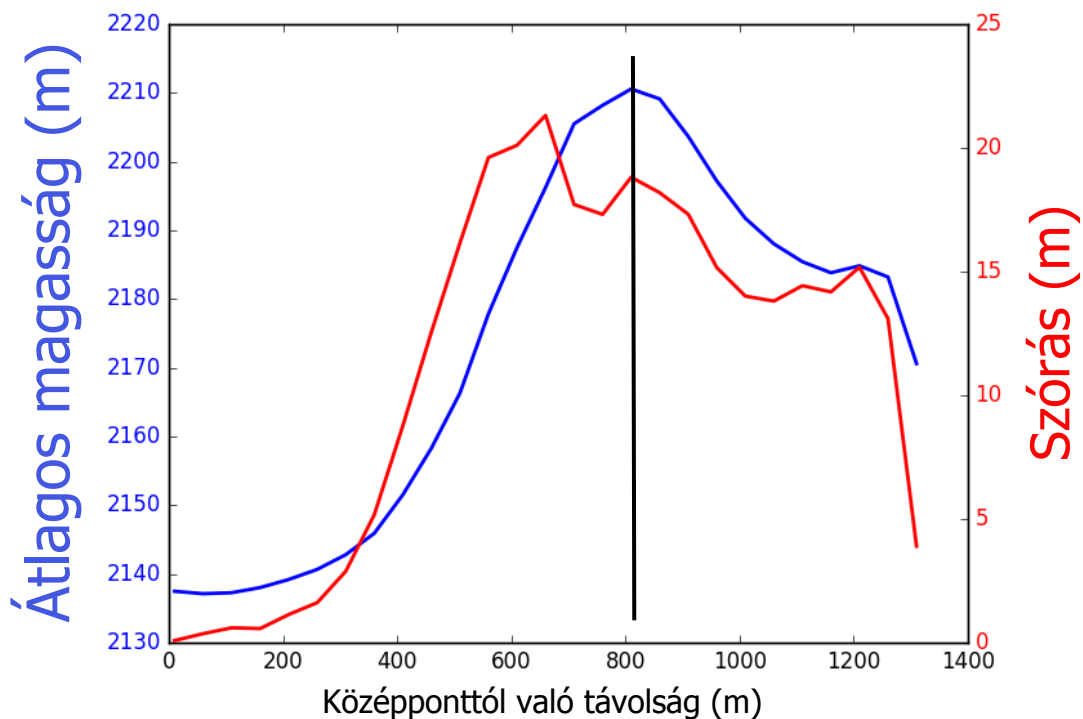
$$\text{szoras}=\text{np.nanstd}(z)$$

képlettel. A BT011-es kúpra vonatkozó eredmények a 27. ábrán láthatók.



27. ábra: A „BT011”-es kúp átlagos magassága és hozzá tartozó szórása a centrumtól való távolság függvényében ábrázolva

A 27. ábrán az egyik legszabályosabb kúp eredménye látható a SFVF-ről. Ha a kékkel ábrázolt, átlagos magasságot jelző vonalat (average elevation) az Y tengely mentén megforgatnánk, egy majdnem tökéletesen szabályos kúpformát kapnánk. Ugyanakkor már ebből az ábrából szépen látszik, hogy ez az alakzat is kissé polikonikus, tehát a több kúppal való leírás pontosabb illeszkedést adna. Más szavakkal: a kúp alkotóját le lehet írni két (esetleg több), az átlagos magasság vonalára illesztett egyenessel. Fontos megjegyezni, hogy a szabályos, csaknem körszimmetrikus alakot a pirossal ábrázolt szórás is alátámasztja, hisz a maximális értéke is 4,5 méter alatt marad, sőt a kúp területének érdemi részén még 3 méternél is kisebb.



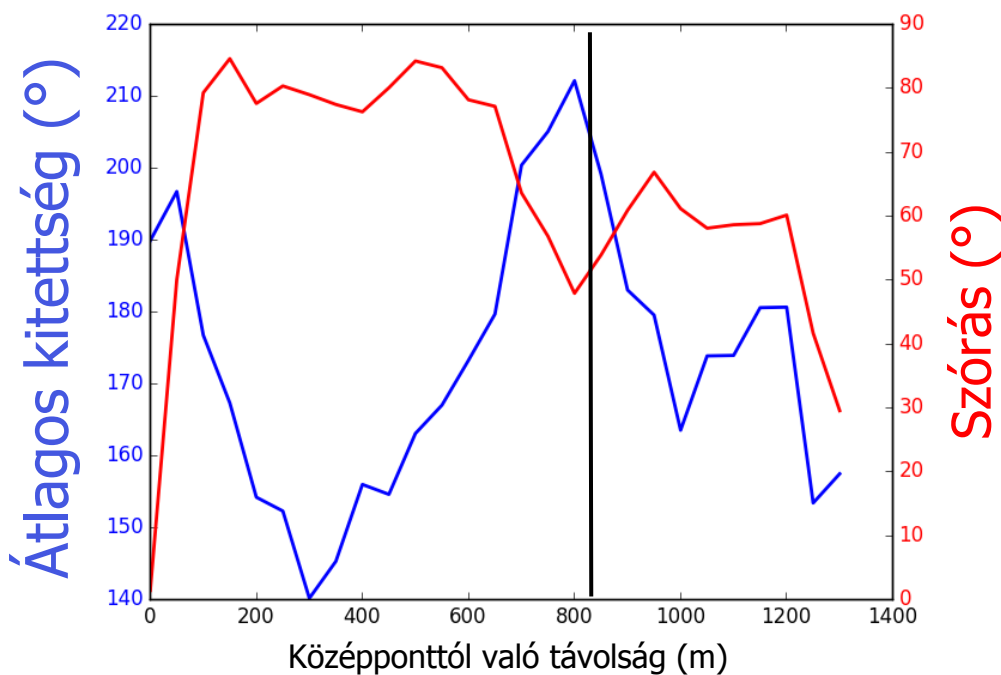
28. ábra: A „BT090”-es kúp átlagos magassága és hozzá tartozó szórása a centrumtól való távolság függvényében ábrázolva

A 28. ábrán a már korábban bemutatott „BT090”-es kúpra vonatkozó eredményeket láthatjuk. A kúp középpontja a kráterben helyezkedik el, attól távolodva ~ 800 méterig nő a magasság, majd 850-900 méterre a középponttól található a kráterperem (fekete vonallal jelölve), ahol a magasságadatok szórásának két maximuma is található: az egyiket az északi irányú beszakadás, leomlás, a másikat a déli irányú kiemelkedés eloszlásmódosító hatása okozza.

5.3. Kitettségi adatok

5.3.1. Átlag, szórás

Következő lépésben a QGIS-ben már korábban kiszámolt kitettséget vizsgáltam – amely a lejtők földrajzi irány szerinti elhelyezkedése -, ugyan ezekkel a módszerekkel, hiszen ebben az esetben a „z” nem a magassági, hanem a kitettségi érték.



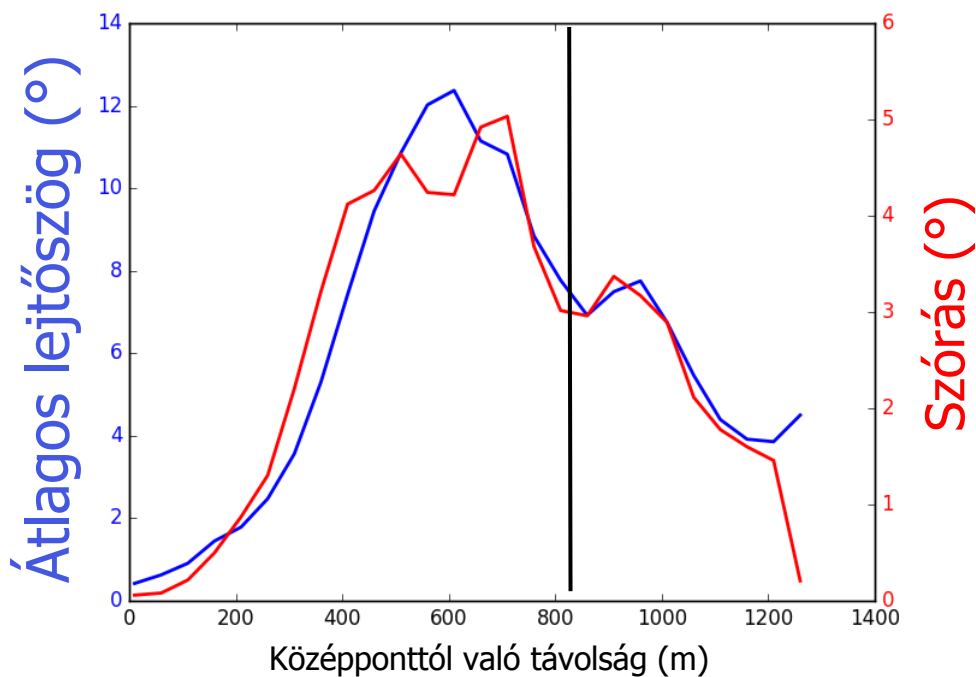
29. ábra: A „BT090”-es kúp átlagos kitettsége és hozzá tartozó szórása a centrumtól való távolság függvényében ábrázolva

Egy teljesen szabályos kúp esetében a kitettség átlagának 180° -nak kellene lennie. Az ettől való eltérés mutatja a kúp aszimmetrikusságát. A 29. ábrát összehasonlítva a 28. ábrával, látható az összefüggés: mindkét ábrán 800 méternél van egy maximum, amely a kráterperemet jelzi (fekete vonallal jelölve). Azelőtt növekvő értékeket találunk, utána pedig csökkenőt egészen 1200 méterig, ahol van még egy maximum. Fontos megjegyezni, hogy a centrum közelében numerikus okok (a lejtőszög numerikus származtatása és túlmintavételezés) miatt az értékeknek nem tulajdoníthatunk szakmai jelentőséget.

5.4. Lejtőszög-adatok

5.4.1. Átlag, szórás

Végül a lejtőszög értékeket vizsgáltam meg ugyanezzel a módszerrel.



30. ábra: A „BT090”-es kúp átlagos lejtőszöge és hozzá tartozó szórása a centrumtól való távolság függvényében ábrázolva

Az átlagos lejtőszög-diagram nagyon látványos, szépen mutatja a kúpalak különböző eltéréseit. A 30. ábrán az értékek itt is növekvő tendenciájúak 600 méterig, ahol is van egy rövid stagnáló szakasz, majd ~ 900 méterig csökkennek az értékek. Ez a 600-900 m közti csökkenés jelzi a kráterperemet, és az itt megugró szórásérték pedig a perem leomlását.

6. Eredmények

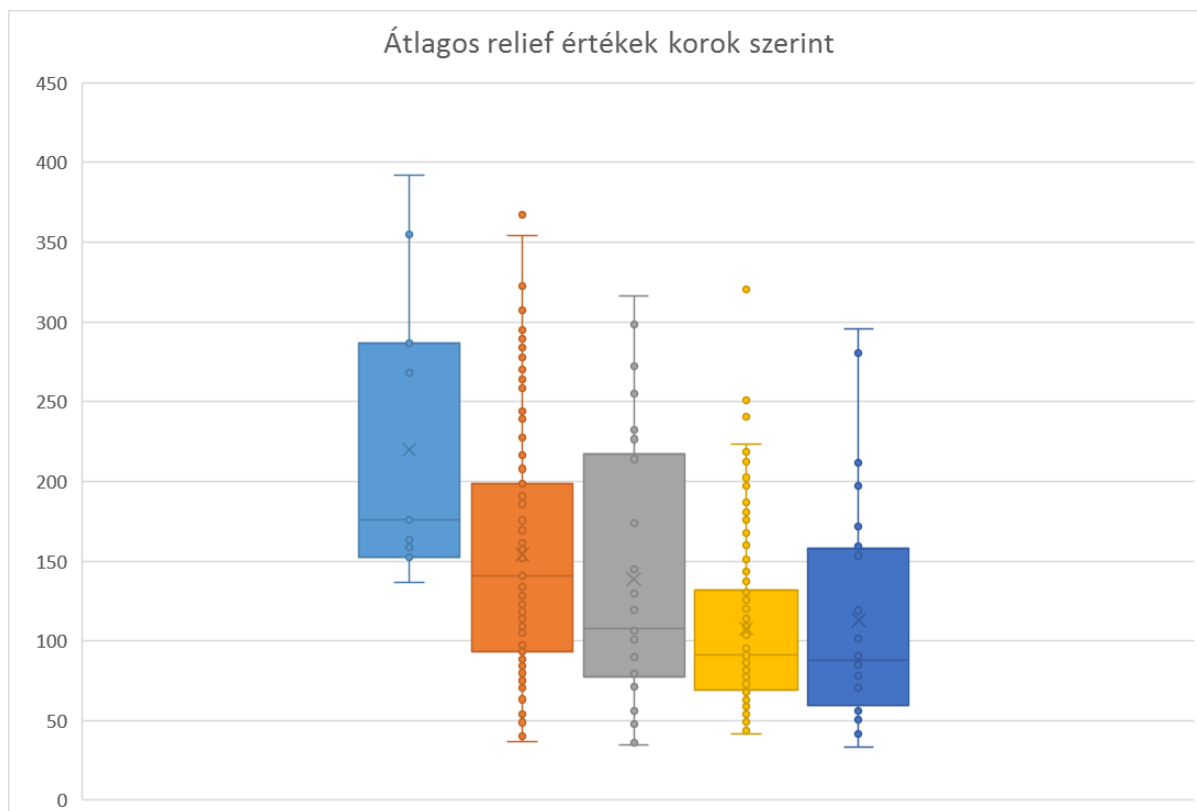
6.1. Magassági értékek térbeli eloszlása, és a korok összefüggései

Miután az egy adott kúpon belüli értékkülönbségeket és eloszlásokat megvizsgáltam, következő lépésben globálisan tettem ugyanezt. Ebben az esetben egy-egy kúpnak az átlagos magasságát, kitettségét és lejtőszögét vettem alapul.

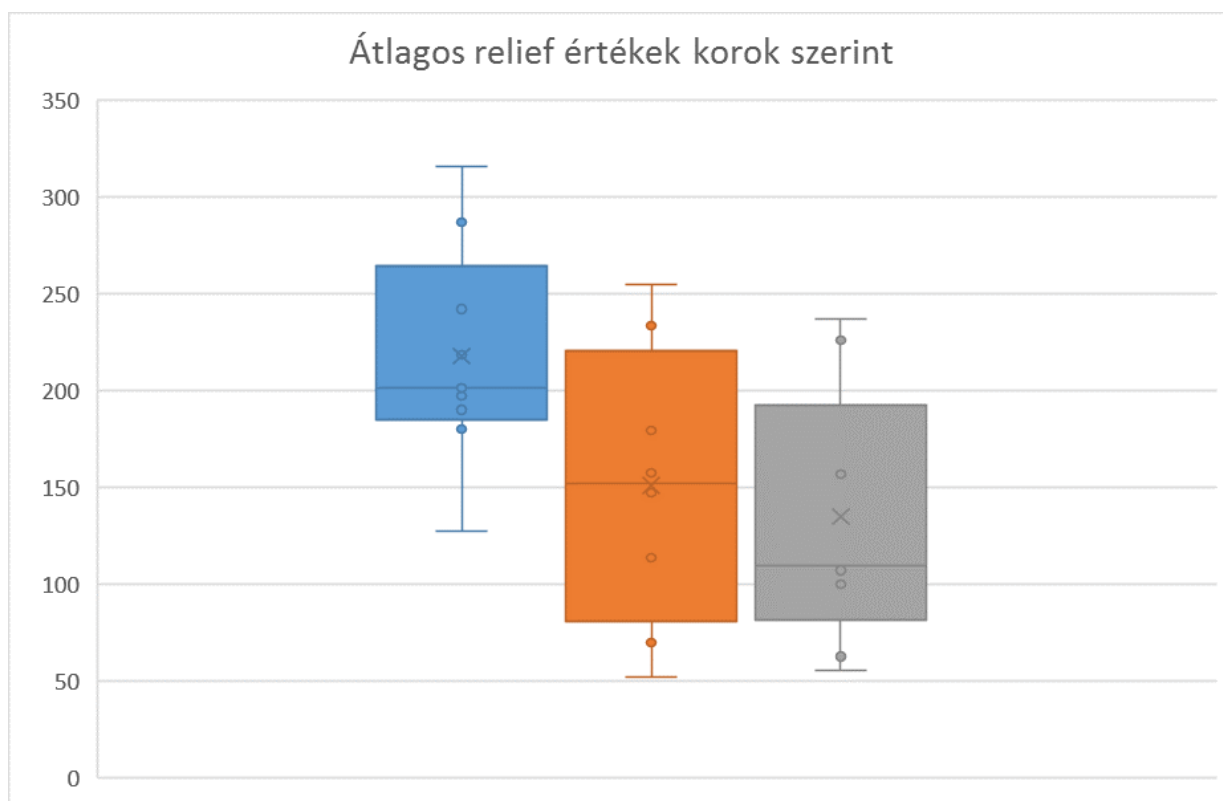
Így a SFVF-en 308, míg a CdP-n 26 salakkúpot/dómot vizsgáltam meg a fent leírt módszerekkel, és vizsgáltam a hozzájuk tartozó korokat. A SFVF-en megvizsgált 308 salakkúpból az első korcsoportba 11, a másodikba 131, a harmadikba 26, a negyedikbe 113, míg az ötökbe 24 salakkúp tartozik. A CdP salakkúpjait 8,45-19 ka, 20-40 ka és 43-63,7 ka intervallumokra bontottam, ezek alapján 9, 8 és 9 kúp került az egyes csoportokba.

Mivel a tengerszint feletti magasság nem ad konkrét képet a salakkúpok tényleges magasságáról, ezért első lépésben a kiszámolt reliefértékek átlagát ábrázoltam boxplot diagramon, korok szerinti csoportosításban, a két terület salakkúpjait külön kezelve.

Mind a 31. ábra-es, mind a 32. ábrán látható egy csökkenő trend a korok előrehaladtával, amely alátámasztja WOOD (1980a,b) és HOOPER & SHERIDAN (1998) állítását, amely szerint minél idősebb egy salakkúp, tendenciájában annál lepusztultabb, annál kisebb a relatív magassága.



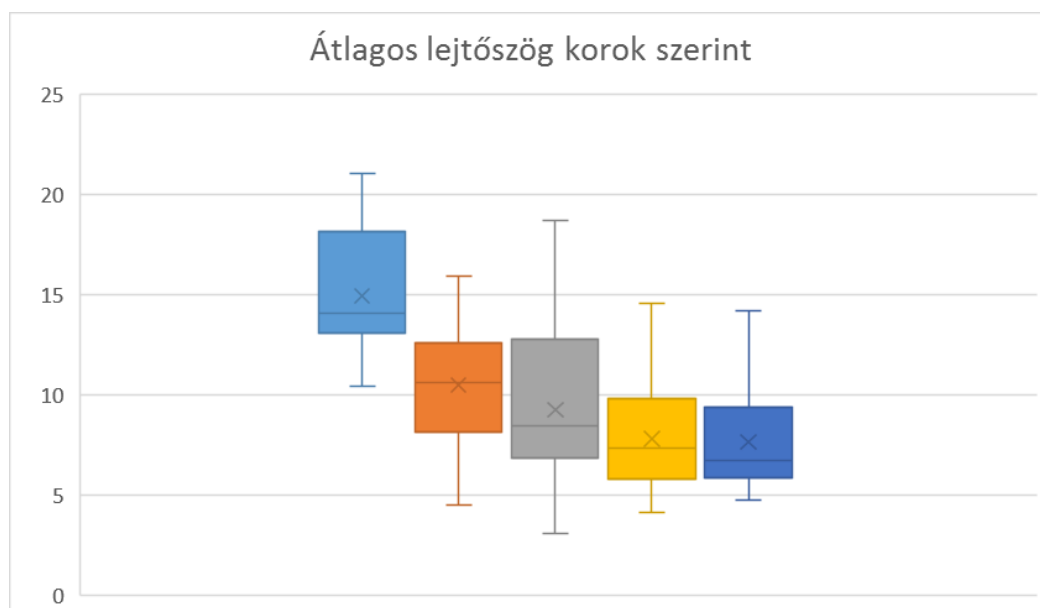
31. ábra: A SFVF salakkúpjainak magassága (m) korcsoportok szerint ábrázolva, világoskékkel a legfiatalabb (1), míg sötétkékkel a legidősebb (5) korcsoport



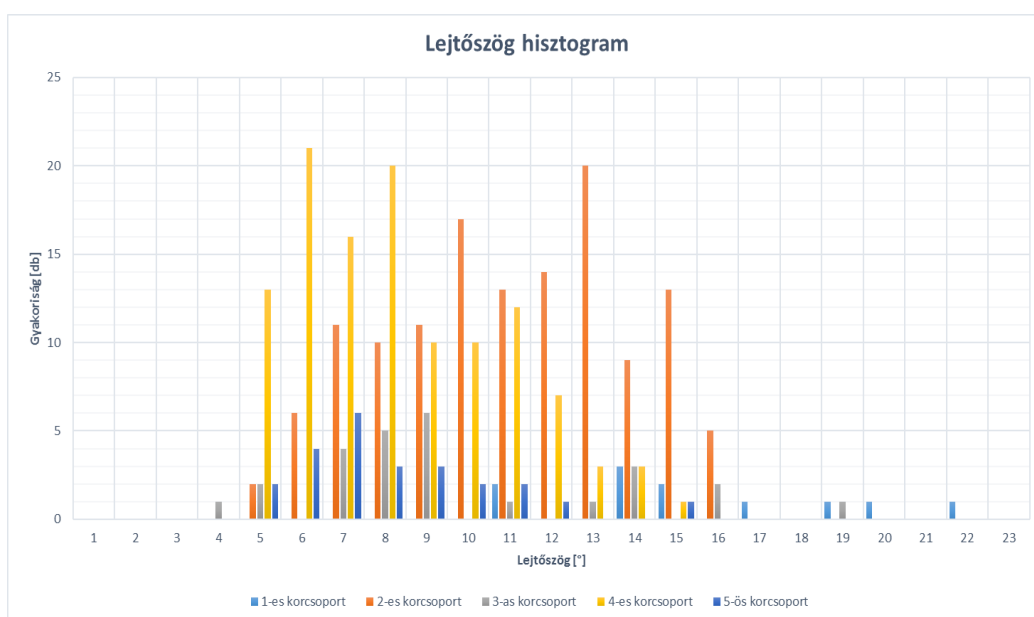
32. ábra: A CdP salakkúpjainak magassága (m) korcsoportok szerint ábrázolva, világoskékkel a legfiatalabb (8,45-19 ezer éves), szürkével a legidősebb (43-63,7 ezer éves) korcsoport

6.2. Lejtőszög-értékek térbeli eloszlása és a korok összefüggései

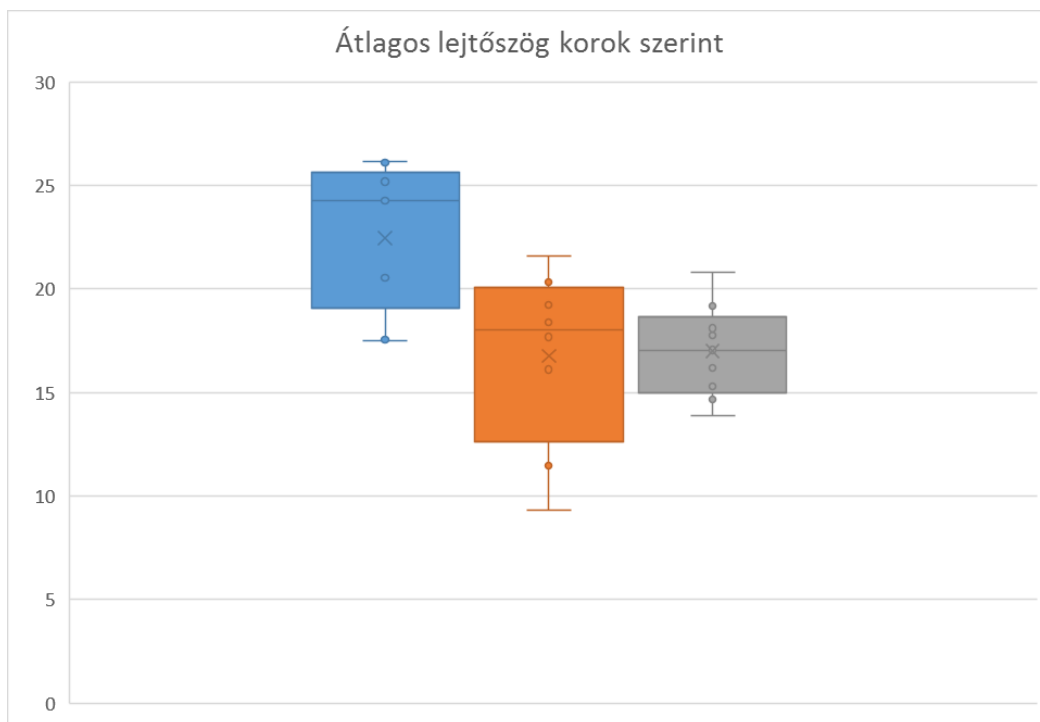
Egy salakkúp lepusztultságát a korának függvényében a magasságán és kitettségén túl még inkább a lejtőszögével lehet leírni (HOOPER & SHERIDAN 1998).



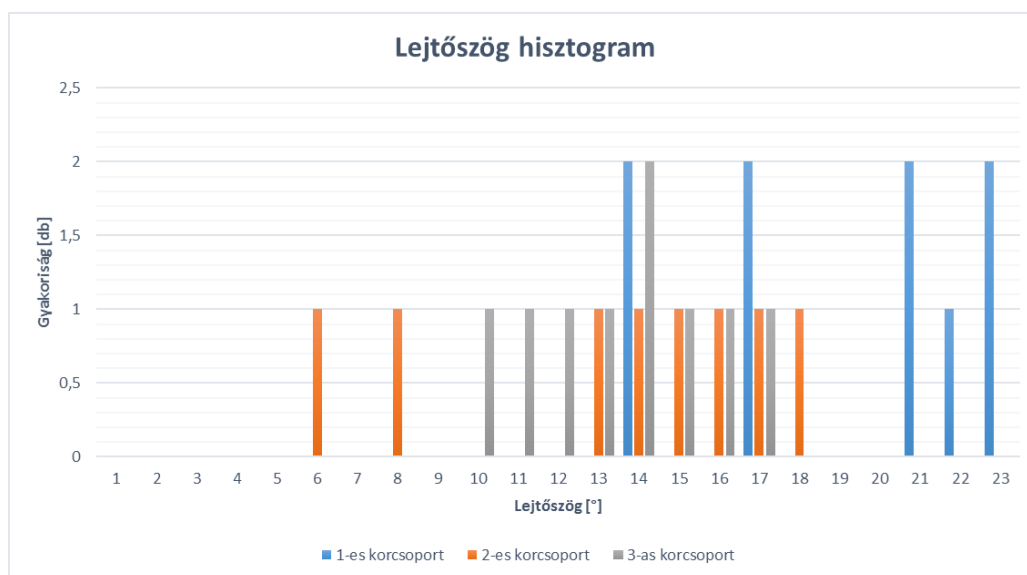
33. ábra: A SFVF salakkúpjainak átlagos lejtőszöge (°) korcsoportok szerint ábrázolva, világoskékkel a legfiatalabb (1), míg sötétkékkel a legidősebb (5) korcsoport



34. ábra: A SFVF salakkúpjainak átlagos lejtőszöghisztogramja



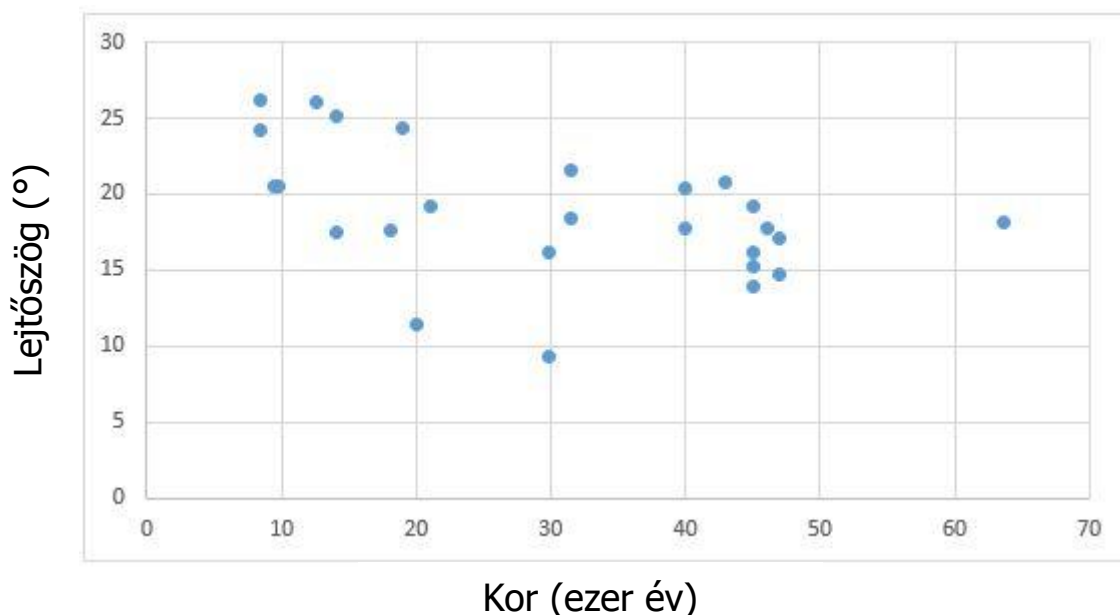
35. ábra: A CdP salakkúpjainak átlagos lejtőszöge (°) korcsoportok szerint ábrázolva, világoskékkel a legfiatalabb (8,45-19 ezer éves), szürkével a legidősebb (43-63,7 ezer éves) korcsoport



36. ábra: A Chaîne des Puys salakkúpjainak átlagos lejtőszöghisztogramja

A 33. és 35. ábrán ugyanazt a csökkenő trendet láthatjuk, mint a magassági értékeknél. Kijelenthetjük, hogy általában minél idősebb egy salakkúp, az átlagos lejtőszöge annál kisebb lesz. Ugyanakkor látszik az is, hogy számos kúpra ez a megfigyelés nem pontosan igaz. A 37. ábrán a CdP vizsgált salakkúpjainak lejtőszöge látható korok szerint ábrázolva. Leolvasható, hogy a 15 ezer évnél fiatalabb kúpok átlagos lejtőszöge meghaladja a 20°-ot, míg a 40-45 ezer évnél idősebb kúpok lejtőszöge pedig a 20° alatt marad. Érdeemes megfigyelni, hogy az idősebb korú kúpok (40-50 ezer év) szóródása sokkal kisebb, mint a fiatalabbaké, jobban koncentrálnak. Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy ez a

csökkenés csak egy trend, nem egy szabály, hisz azonos korú kúpok között is láthatunk nagyobb szóródást (20 ezres, vagy 30 ezres kúpok).



37. ábra: A CdP salakkúpjainak átlagos lejtőszöge (fok) a korok függvényében (ezer év)

6.3. Összefüggések bizonyítása Mann–Whitney-próbával

Ezt a látható trendet egy statisztikai próbának vettem alá, hogy konkrét számértékekkel is tudjam bizonyítani, a különböző korú salakkúpok egyértelműen elkülöníthetők egymástól.

A legáltalánosabb statisztikai próba a t-próba, amely csak normáloszlású adathalmazra alkalmazható. Jelen esetben viszont a legtöbb adatsorom nem normáloszlású, emiatt a kétmintás t-próba nem parametrikus megfelelőjét – amelyet nem normáloszlás, valamint ordinális (sorrendbe rakott) változók esetén használunk – választottam. A Mann–Whitney-próbát kifejezetten kis elemszámú csoportok összehasonlítására használják. A próba megadja, hogy két adathalmaz különböző eloszlású populációból származik-e. A szignifikanciaszintet általában 0,05-ben határozzák meg, én is ezt követtem számításaim során.

Mivel a SFVF-en 5 korcsoportot vettem, ezért 10 különböző összehasonlító számítást végeztem, az [1]-[2], [1]-[3], [1]-[4], [1]-[5], [2]-[3], [2]-[4], [2]-[5], [3]-[4], [3]-[5] és [4]-[5]-ös korcsoportok között (2. táblázat).

kor- csoportok	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
[1]	-	0,0002	0,0005	<0,0001	<0,0001
[2]	0,0002	-	0,0434	<0,0001	<0,0001
[3]	0,0005	0,0434	-	0,0629	0,0819
[4]	<0,0001	<0,0001	0,0629	-	0,8026
[5]	<0,0001	<0,0001	0,0819	0,8026	-

2. táblázat: A SFVF korcsoportjainak egymáshoz való viszonya és p értéke, a szignifikáns különbségek félkövérrel jelölve ($p < 0,05$)

A 2. táblázatban láthatjuk a 33. ábrán ábrázolt lejtőszögek korcsoportonkénti p értékét. A 10 csoportpárból háromnál ([3]-[4], [3]-[5] és [4]-[5]) kaptam 0,05 feletti értéket (vagyis csak ezen csoportok közötti különbség nem szignifikáns, a többi igen). Érdekes, hogy ugyanakkor a [4]-[5] párnál kapott 0,8026 szerint az a két csoport ebből a szempontból majdnem teljesen megegyezik.

A CdP 3 korcsoportján 3 összehasonlítást végeztem (3. táblázat).

kor-csoportok	[1]	[2]	[3]
[1]	-	0,0238	0,008
[2]	0,0238	-	0,7339
[3]	0,008	0,7339	-

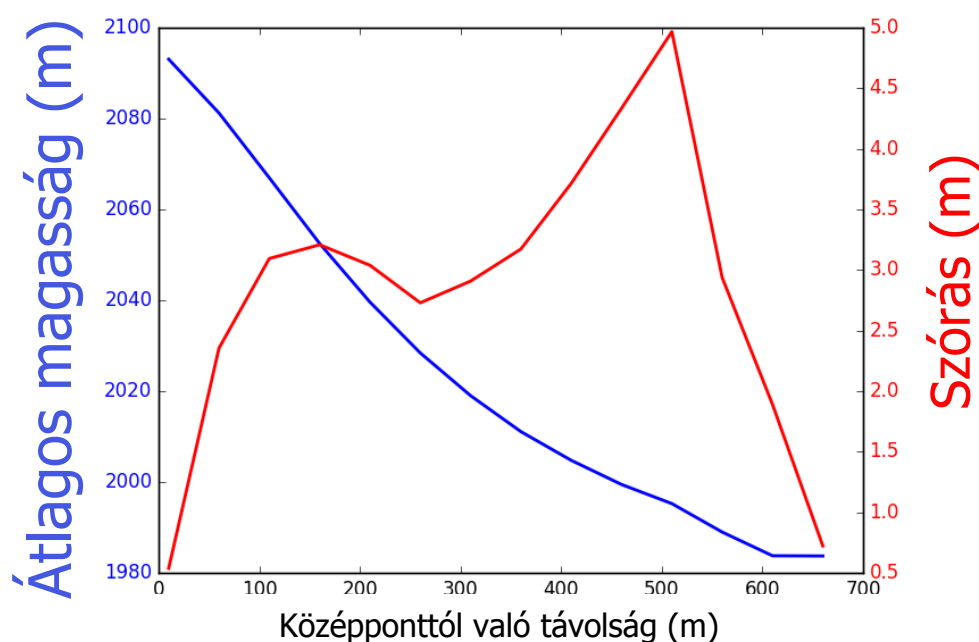
3. táblázat: A CdP korcsoportjainak egymáshoz egymáshoz való viszonya és p értéke, a szignifikáns különbségek félkövérrel jelölve ($p < 0,05$)

A 3. táblázat is alátámasztja a 35. ábrát: az [1] korcsoport szignifikánsan eltér mind a [2], mind a [3]-as csoporttól, míg a [2]-es és [3]-as csoport itt is eléggé hasonló egymáshoz ebből a szempontból.

7. Diszkusszió

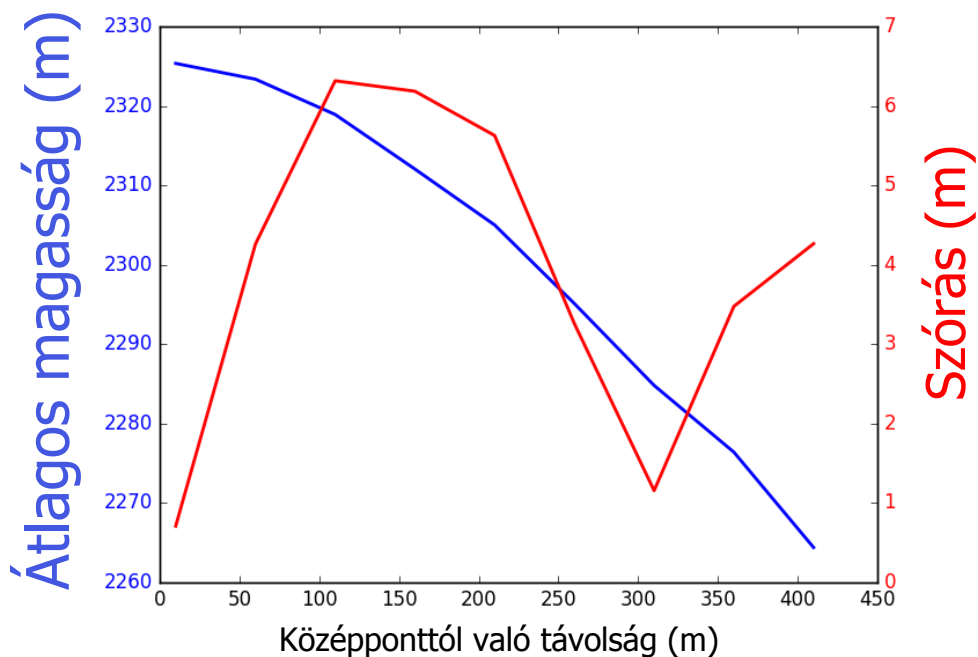
A 3/c és a 4/a pontokban bemutatott módszerek alkalmazásával létrehoztam a SFVF-i salakkúpok PCT és átlag–szórás diagramjait. Az A függelék első két ábráján az első 144 kúp diagramja látható. Minden egyes ábra egyedi, és az adott kúp jellemzői olvashatók le róla. Az összes állítás, amit a kúpok alakjáról a későbbiekben teszek, a DTM-mel való összehasonlítás után történt. Ezek a 3D-s ábrák a B függelék ábráin tekinthetők meg.

A következő oldalakon néhány kiválasztott kúpot fogok bemutatni és elemezni. (Az ábrák készítési módját ld. 4. fejezetben.) Mivel több mint 300 ábrám van minden megjelenítési módból, igyekeztem tipikus, illetve érdekes példákat válogatni. Ezt két szempont szerint tettem meg: a választott kúpok mindegyike egyedi, jellemző tulajdonsággal rendelkezik (akár alakot, akár szórást tekintve), és ezáltal könnyen értelmezhető és magyarázható az értékeiket megjelenítő ábra. Ezen túl az ábrákkal bemutatom a felhasznált számítások és megjelenítési módok előnyeit és hátrányait. Vannak kúpok, amelyek valódi alakját egyértelműen le lehet olvasni az ábrákból (38. ábra), de vannak, ahol szükség van a DTM-ekre (42. ábra és B5. ábra) kiegészítésképpen. Utóbbi esetek miatt érdemes lehet finomítani a PCT módszeren, hogy ezekre a kérdéses területekre is kapjunk választ.



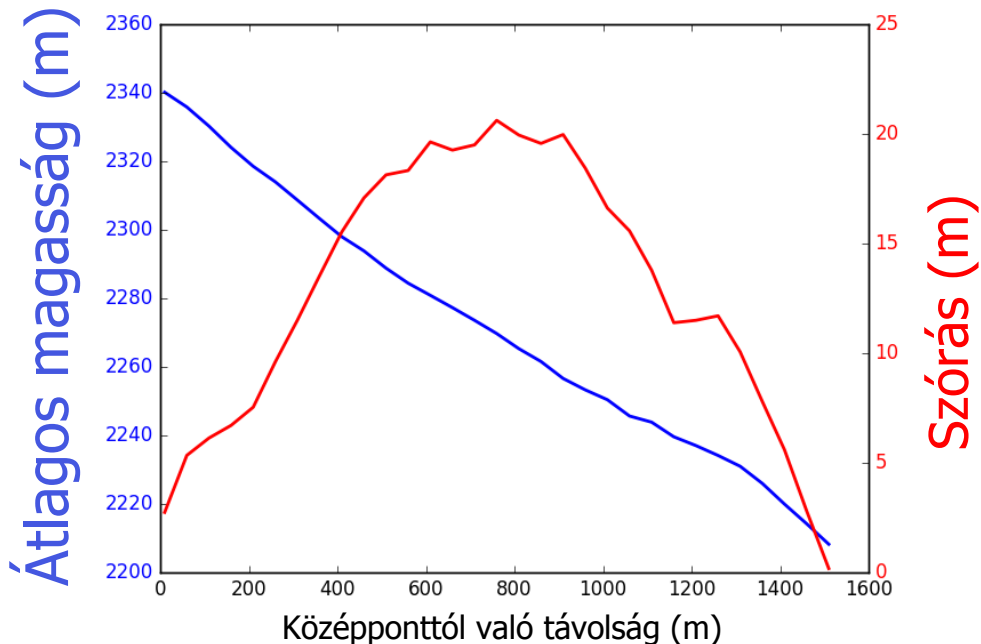
38. ábra: A „BT217”-es kúp átlagos magassága és hozzá tartozó szórása a centrumtól való távolság függvényében ábrázolva

A „BT217”-es salakkúp a SFVF egyik legszebb szabályos kúpja. Ezt alátámasztja a maximum 5 méteres szórás a magasságértékekben, illetve a salakkúpokra jellemző polikonikus forma.



39. ábra: A „BT088”-as kúp átlagos magassága és hozzá tartozó szórása a centrumtól való távolság függvényében ábrázolva

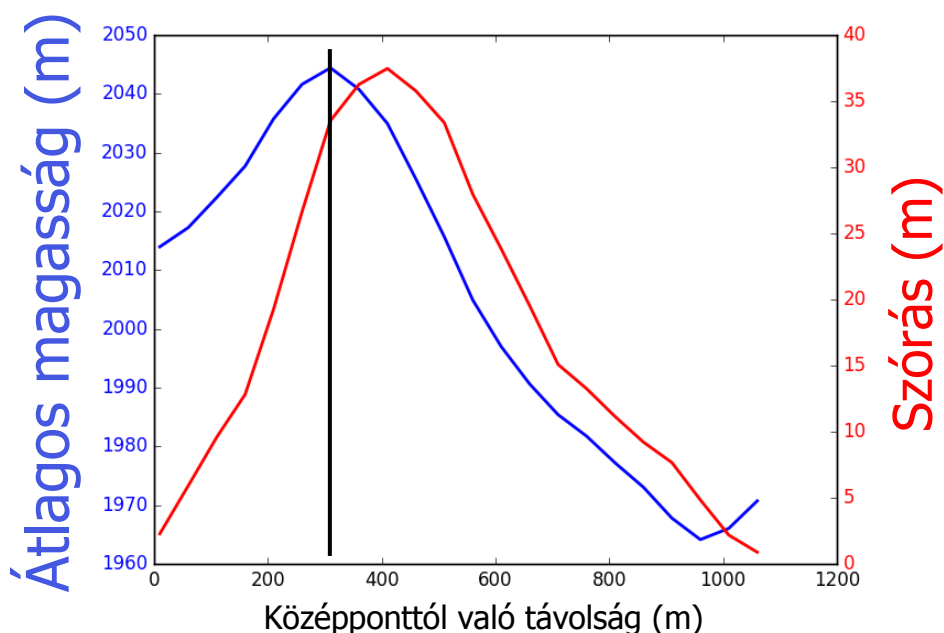
A 38-as ábrával ellentétben a „BT088”-as kúp lejtőjének az alakja homorú. A 70 méteres magasságához egy kismértékű szórás tartozik. A 6,5 méteres szórás a kúp középpontjától 130 méterre mutatja, hogy egy kissé nyúlt, ellipszis alapú kúpról van szó.



40. ábra: A „BT086”-os kúp átlagos magassága és hozzá tartozó szórása a centrumtól való távolság függvényében ábrázolva

A 38. ábrán egy homorú, a 39. ábrán egy domború, míg a 40-esen egy egyenes lejtőjű kúpot látunk. A „BT086”-os egy nagyterjedésű salakkúp a maga 140 méteres magasságával és 1500 méteres sugarával. Az átlagos magasság görbét elnézve egy szabályos kúpot képzelnénk el, ám a szórás

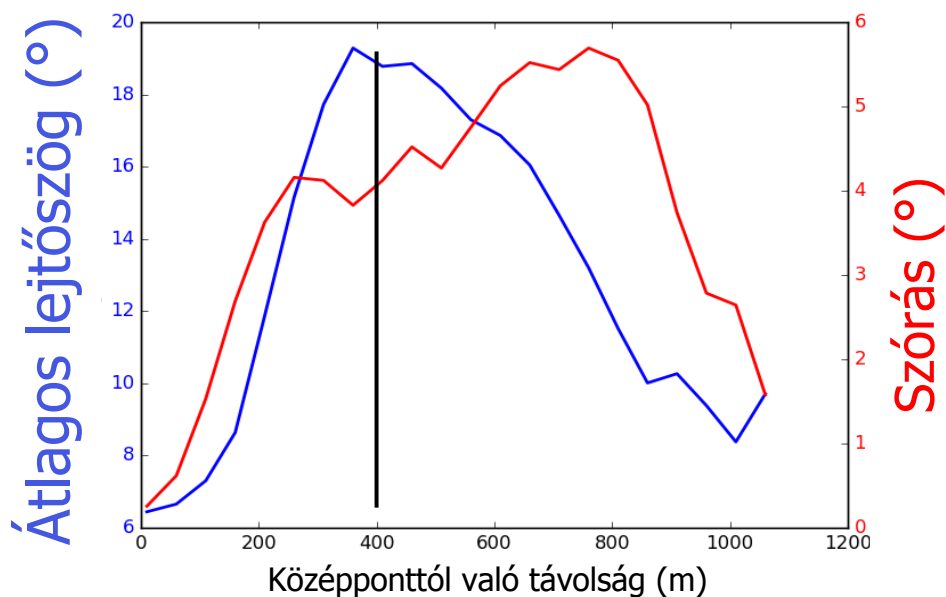
nagysága miatt feltételezhetjük, hogy a valóságban nem erről van szó. Miután összehasonlítottam a 40. ábrát a DTM-mel (B3. ábra) bebizonyosodott, hogy egy elnyúlt, más salakkúpra ráépülő kúpról van szó.



41. ábra: A „BT178”-as kúp átlagos magassága és hozzá tartozó szórása a centrumtól való távolság függvényében ábrázolva

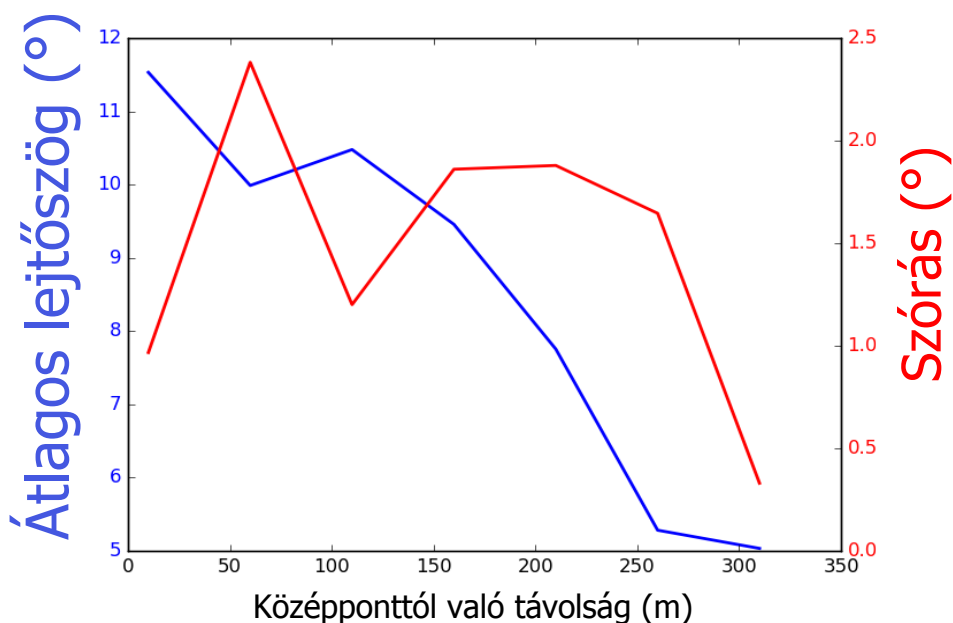
A „BT178”-as kúpnál szépen kiemelkedik a kráterperem (fekete vonallal jelölve) a többi érték közül, 360 méternél maximalizálódnak az értékek, majd onnan két (egyszer 380-600 m-ig egy meredekebb, majd 600-980 m-ig lankásabb) lépésben csökkennek a magassági értékek. Láthatjuk, hogy a kráter belseje a perem felé egyre szabálytalanabb, egyre magasabb a szórás, a perem környékén tetőzik, onnan pedig a kúp alakját követve csökken. A peremnél lévő kiugró érték mutatja meg, hogy ebben az esetben nem beszélhetünk ép, teljes kráterperemről.

Eddig a magassági értékek görbéit vizsgáltam, a következő ábrákon már a lejtőszögek sugárirányú alakulását elemeztem.



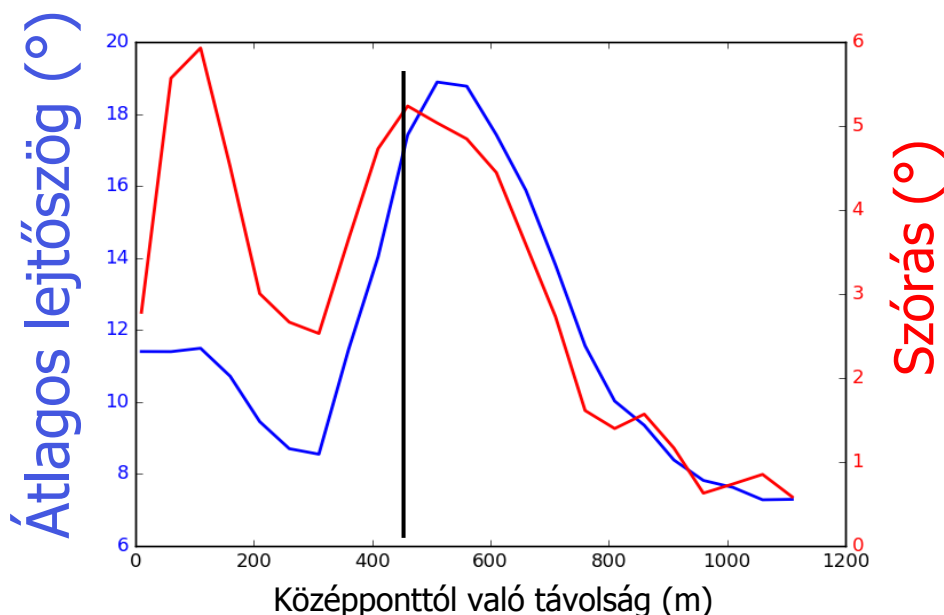
42. ábra: A „BT001”-es kúp átlagos lejtőszöge és hozzá tartozó szórása a centrumtól való távolság függvényében ábrázolva

A 42. ábrán nagyszerű példáját láthatjuk a kráterrel rendelkező kúpoknak. A középponttól elindulva 180 méterig egy lankásabb (6-7°), majd attól 400 méterig egy hirtelen egyre meredekebbé váló terület található. A kráterperemet elérve (fekete vonallal jelölve), majd átlépve azt viszonylag egyenletesen csökken a lejtőszög. A hozzátartozó szórást megnézve láthatjuk, hogy a kráter belsejében nem egyenletes, a peremnél megáll, majd picit csökken, 800 méternél pedig eléri a maximumot az érték. Ez a maximum a salakkúpon kialakult völgy, illetve völgyfő miatt van, amelyet Golden Software's Surferben (B5. ábra) megjelenítve is láthatunk.



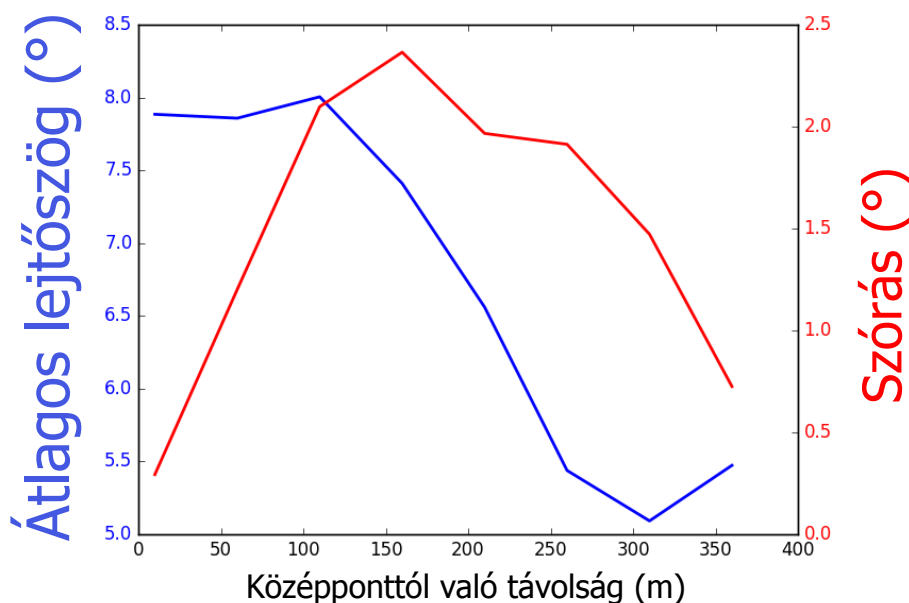
43. ábra: A „BT008”-as kúp átlagos lejtőszöge és hozzá tartozó szórása a centrumtól való távolság függvényében ábrázolva

A „BT008”-as salakkúp relatíve kicsinek mondható (sugárirányban 300 méter, míg a magassága 40 m). Mivel a középpont környékén kevés adat található, ezért kb. 30 méterig az értékek elhanyagolhatók, mivel azok sokszor kevésbé valós mennyiségeket mutatnak. Jelen esetben is ez történt, a 0-50 méterig lévő 3°-os különbség nem ilyen markáns a valóságban. 50 métertől egy nagyobb lejtőszögű szakasz jön, majd onnan kezdve újra csökkennek az értékek, mégpedig egyenletes mértékben. 200 méternél, ahol az átlagos lejtőszög 8°, található a második kiemelkedés a szórásban. Ez a 2°-os szórás mutatja a kúp elliptikus alapját.



44. ábra: A „BT017”-es kúp átlagos lejtőszöge és hozzá tartozó szórása a centrumtól való távolság függvényében ábrázolva

A „BT017”-es salakkúp szép példája a nem teljesen vízszintes felszínre települő kúpoknak. Ezt onnan lehet látni, hogy a középponttól 300 méterig egy erőteljes csökkenést tapasztalunk, amely azt jelenti, hogy a középpont nem a kráter legalacsonyabb pontja. Ezen kívül a szórás bimodális alakja is ezt bizonyítja: az első kiemelkedés mutatja, hogy a középpont környéki értékek bizony nem egyenletesek, hanem akár 12°-kal is eltérnek egymástól. A nagyobb szórásértékek a másik kúp (amelyikre települt) irányában, míg a kisebb értékek az ellentétes oldalra jellemzők. A második kiemelkedés pedig a kráterperemnél van, tehát az nem teljes, hanem valahol lepusztulás található.



45. ábra: A „BT043”-as kúp átlagos lejtőszöge és hozzá tartozó szórása a centrumtól való távolság függvényében ábrázolva

A 45. ábrán látható kúp egy szabályos kúp. A középponttól az első 120 méterig egy minden irányban egyenletesen 8°-os lejtő található, majd a többi kétszáz méteren egy egyre kisebb lejtőszögű terület következik. A szabályosságát még a maximum 2,5°-os szórás is mutatja.

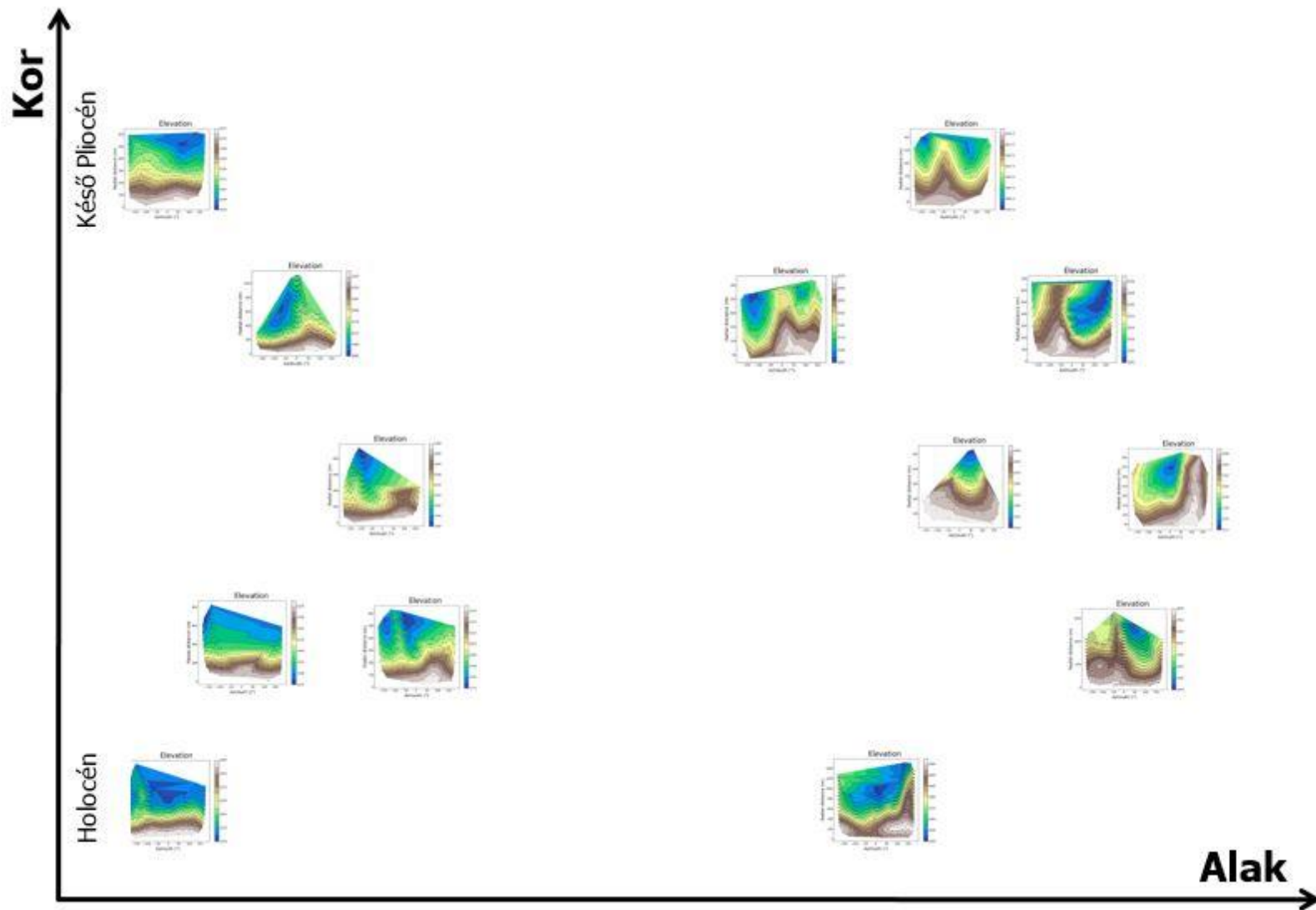
Mint láthatjuk, az, hogy a középponttól kifelé azonos távolságként milyen paraméterértékek találhatók nagyban mutatják a kúpok valódi alakját. Bár pl. a SFVF-en több mint 300 salakkúpot vizsgáltam, valamiféle hasonlóság, trend észrevehető mind a PCT, mind az átlagérték–szórás ábrán az alakot tekintve. Ezeket az ábrákat kihasználva hoztam létre olyan diagramokat, amelyeken a kúpokat a hasonlóságot mutató ábrák alakjának és korának függvényében ábrázoltam.

A 46. ábrán a teljesség igénye nélkül ábrázoltam néhány PCT képet. Az y tengelyen az 5 korcsoport található idősebb trenddel. Az x tengelyen a kúpok szabályossága, illetve jobbra haladva az egyre fokozódó szabálytalansága alapján találhatók a képek. (Itt fontos megjegyezni, hogy az, hogy melyik azimutnál mutatkozik a szabálytalanság, ebből a szempontból nem lényeges.) Ez alapján elmondható, hogy vannak olyan idősebb kúpok, amelyek ugyanolyan, vagy akár szabályosabb alakkal rendelkeznek, mint fiatalabb társaik. Ezt a későbbiekben több paraméter (pl. közetminőség) bevonásával lehetne megmagyarázni.

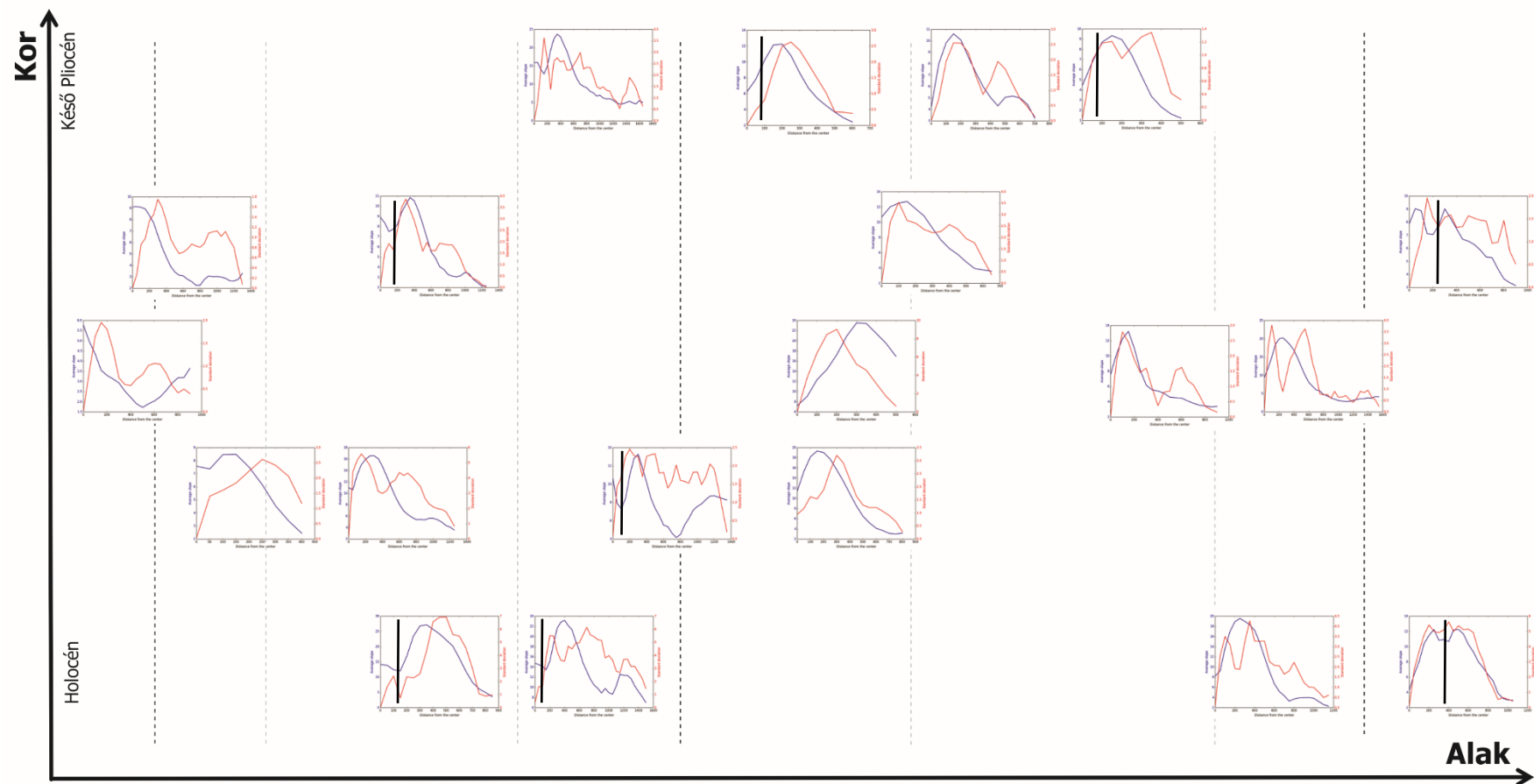
A klasszikus kutatások részletesen körbejárják és kielemezik a magassághoz köthető paramétereket, és azoknak a horizontális kiterjedéshez viszonyított arányait, hiszen mind a vulkanogén, mind a posztvulkáni lepusztulási folyamatok ezeket a lejtőket érték: kialakították, majd pusztították őket. Emiatt a legnagyobb hangsúlyt a lejtőszög-adatokra kell helyezni, és a magassági adatokat csak főleg illusztrációnak, kiegészítésnek, pontosításnak használni.

A 47. ábra hasonló elven alapul, mint a 46. ábra. A tengelyeken ugyanazok a csoportosítások vannak, de itt a sugárirányban átlagolt görbéket helyeztem el alakjuk szerint. A képen látható fekete szaggatott vonalak az általam kiválasztott nagyobb csoportokat jelölik, míg a szürkék az azokon belül található kisebbeket. Az első fekete vonalakkal határolt részbe azok a kúpok kerültek, amelyek átlagos lejtőszög görbéje a maximumról indul, és onnan folyamatosan csökken. A második részben a görbék először csökkennek, majd értékük megnő, és megint csökken. Az ezeken belül található szürke vonalak a szórásokkal vannak kapcsolatban: először egy, majd kettő maximuma van, az utolsó kisebb csoportban pedig a szórásértékeknek nincs leírható trendjük - hol csökkennek, hol nőnek. A harmadik nagyobb részben a lejtőszög-értékek rögtön a kúp középpontjától kezdve elkezdenek nőni, majd elérve a maximumot folyamatosan csökkenni. A kisebb kategóriák itt is a szórástól függnak: első részben egy, a másodikban két maximális érték található, míg a harmadikba szintén a folyamatosan változó szórásértékű kúpok kerültek. Az utolsó nagy csoportba azok a kúpok tartoznak, melyek lejtőszög-értékének nem egy, hanem több maximuma van. Ezek általában az olyan kráterrel rendelkező kúpokhoz tartoznak, amelyeknél a perem valamilyen okból nem ép.

Minél több paraméter adatait számoljuk ki a középponttól koncentrikusan, és ábrázoljuk azokat különböző módszerekkel, annál komplexebb, annál több dimenziójú táblázatot, paraméteregyüttest hozhatunk létre a jövőben. Ebben a táblázatban minden egyes kúp sok paraméterrel írható majd le, ezáltal egyértelműen elemezhetők a hozzá tartozó korértékkel együtt.



46. ábra: A salakkúpok magasság szerinti PCT ábrái koruk és alakjuk függvényében csoportosítva, tovább fejlesztve Vörös et al. (2016) ábrájából



47. ábra: A salakkúpok lejtőszög szerinti sugárirányú ábrái koruk és alakjuk függvényében csoportosítva (kék görbék: átlagos lejtőszög, piros görbék: a lejtőszög szórása, fekete vonal: kráterperem)

8. Konklúzió

Az adatok feldolgozása, ábrázolása, illetve az eredményeknek a korábbi kutatásokkal való összehasonlítása után az alábbi következtetéseket tudom levonni:

A bemenő adatrendszerek tekintetében: Bár a felhasznált domborzatmodellek közül (ahogy azt a jellemzésükben is írtam) az SRTM ingyenes, és a földfelszín 80%-ára elérhető, mégis – amennyiben megoldható – megéri a LiDAR-alapú adatokkal számolni, hiszen sokkal pontosabb képet kaphatunk általuk, és pontosabb eredményeket is. Egyetlen hátránya a felbontásából adódó nagy adatmennyiség, amelynek kezeléséhez és ábrázolásához változtatnom kellett a scriptjeimen, hogy azok működjenek.

A két terület összevetésének eredménye: Nemcsak a LiDAR pontossága miatt kaptam valósabb értékeket a CdP-nél: szakember segítségével (prof. Benjamin VAN WYK DE VRIES) sokkal pontosabban adhatók meg mind a középpontok, mind a poligonok, amelyek a kúpok körvonalát jelölik - ezáltal nem kerültek bele felesleges, nem a kúphoz tartozó, torzító hatású adatok az adatbázisokba.

A felhasznált módszertan szempontjából: A Pythonban történt automatizálás segítségével a PCT eljárás jól használható, ábrázolása kifejező, és tudomásom szerint ekkora darabszámú vulkáni kúpra vonatkozóan nincs publikált eredmény. A kiértékelésnél a választott középpont környéki területre vonatkozóan – ahol a túlmintavételezés miatt az értékek többszöröződnek – nem szabad ugyanakkora jelentőséget tulajdonítani, mint a többi, középponttól távolabbi területeken, vagy kimaszkolást lehetne alkalmazni.

A salakkúpok csoportosítása szempontjából: Számításaim során a két salakkúpterületet külön kezeltem, hisz más korú, darabszámú és közetminőségű kúpok találhatók rajta, illetve az eltérő klíma miatt az erózió jellege is eltér. Ennek ellenére – összehasonlítva a különböző ábrákat (pl. boxplotokat) – láthatjuk, hogy az ábrák hasonló trendeket jelenítenek meg. Mindkét területen a legfiatalabb vulkánok a legmagasabbak, még az értékek is hasonlóak (átlag 200 m, max. 350 m körül). Lejtőszögértékeknél is csökkenő trendet tapasztalhatunk, a két területen egymáshoz hasonló, noha az egyiknél a korszála 100 000 évig, míg a másiknál 5 millió évig terjed.

A felhasznált statisztikai próba bizonyítja a diagramokon ábrázolt értékeket matematikailag is: Mind a SFVF, mind a CdP korcsoportjai az utolsó kettő-három kivétellel szignifikánsan eltérnek egymástól (ha $p < 0,05$).

Ha a SFVF korcsoportjait megnézzük, egy csoporton belül is nagy a változatosság a korokat tekintve. Ezek a különbségek viszont nem látszódnak a sugárirányú átlag–szórás ábrákon. Megvizsgálva a görbéket, csoportosítani lehet azokat alakjuk szerint, majd a hasonló görbéken belül a koruk szerint. Fontos figyelni a szórásértékeket is, de nem önmagukban, hanem az átlagos értékekkel arányosan. Nem mindegy, hogy egy 5°-os szóráshoz 10°-os, vagy 20°-os átlag lejtőszög tartozik.

A létrehozott ábrák értelmezési korlátai: Az ábrák értelmezése során kiderült, vannak olyan kúpok, ahol a valós alakra nem lehet egyértelműen következtetni. Ezekben az esetekben szükséges a DTM-mel való összehasonlítás. Legtöbbször a nagyobb szórás (hacsak nem a kráterperemnél található) az elnyúlt alak, a rosszul megválasztott középpont, vagy egy másik salakkúpra való település miatt van.

9. Összefoglalás

A kúpok kvantitatív elemzésének céljára végeredményben mindkét terület nagyszámú salakkúpjára létrehoztam a(z interpolált) polárkoordináta-transzformációs ábrákat, a sugár mentén vett átlagos magasság, lejtőszög, és a hozzájuk tartozó szórás ábráit, illetve ezen adatok korcsoportonkénti boxplot diagramját. Az összes paraméter számításánál külön kezelttem a SFVF és a CdP kúpjait, külön is ábrázoltam azokat.

Elsőként a relief értékeket számoltam ki, majd ábrázoltam. Mindkét esetben (SFVF, CdP) azt láthatjuk (31. ábra és 32. ábra), hogy a salakkúpok magassága 300 méter alatt van az esetek túlnyomó többségében, és csak néhány kiugró értéket találhatunk 350-400 méteren. A legfiatalabb korcsoportok rendelkeznek a legnagyobb átlagos relief értékkel (200-250 méter), míg a legidősebbek a legkisebbekkel (100-150 m). A csoportok közti értékek egy láthatóan csökkenő trendet mutatnak, amely jelzi, hogy minél idősebb egy salakkúp, annál kisebb a magassága. Ez természetesen lehet attól, hogy eleve a kitörés során egy kis kúp jött létre, de legtöbbször a csökkenést, a lepusztulást az erózió okozza.

Az előző eredményekhez hasonlóan a lejtőszög értékeknél is hasonló értékeket vártam és kaptam. A SFVF fiatal kúpjainak átlagos lejtőszöge 11-15° között mozog, a legidősebb korúak pedig 6-8°-osak. A CdP legmeredekebb és legfiatalabb kúpjai 22-25°, az idősebbek 16-17°-osak (33. ábra, 35. ábra).

A korábbi kutatásokhoz képest újdonság, hogy statisztikai próbával bizonyítottam az egyes korcsoportok szignifikáns különbségét. Az SFVF 5 korcsoportjának összehasonlításával megkapott p értékeket vizsgálva elmondható, hogy a 10 csoportpárból 7 pár p értéke a 0,05-ös szignifikanciaszint alá esik. Ez azt jelenti, hogy ennek a 7 párnak a tagjai egymástól jelentősen elkülönülnek (2. táblázat). Ugyanígy számolva a CdP 3 korcsoportjával, a 3 párból kettő a p értékek szerint szignifikánsan eltér.

A kapott ábrákat paramétereik szerint koordináta-rendszerekben ábrázoltam a korok és az ábrán látható görbék alakja alapján. Bár a dolgozatban mindössze két paramétert mutatok be, a távlati célom egy minél többdimenziójú rendszer felállítása, amelyben egy-egy kúp kora hozzávetőlegesen meghatározható a lepusztulása alapján.

10. Kitekintés

További terveim közt szerepel a kúpok középpontjának és a poligonértékek exportálásának automatizálása, hiszen a munkafolyamat nagy része abból állt, hogy ezeket a lépéseket kézzel kellett megcsináljam. Ez azért szükséges, hogy – amennyiben megfelelő minőségű DTM áll rendelkezésemre – a későbbiekben szinte bármely terület salakkúpjait fel tudjam dolgozni.

A kúpok körvonalainak meghatározása minden bizonnyal javítható. A CdP esetében szakértői segítség bevonásával sokkal jobb eredmény volt elérhető, ezért a földtani megfigyelések, megfelelően részletes földtani térképek felhasználása sokat javíthat a jellemzők kisebb hibával történő meghatározásán.

Mivel a célom egy komplex, lehetőség szerint általánosított modell felállítása, azért az eddig vizsgált paramétereket ki fogom egészíteni: szeretnék kúptérfogatot számolni, a kráter paramétereit összevetni, és nemcsak kor, de lehetőleg közetminőség szempontjából is. A középpont környékén lévő túlmintavételezés miatt érdemes lenne nemcsak az egyes kúpok különböző értékeinek átlagát számolni, hanem az átlagos értékek területtel súlyozott átlagait is.

Jelenleg – éppen az automatizálhatóság érdekében – az ábrák tengelyeinek skálázását maguk az adatok határozzák meg. A jobb érthetőség és olvashatóság kedvéért szeretném ezeken a tengelyeken lévő értékeket fixálni, így az eredmények sokkal jobban összehasonlíthatók lesznek akár egy-egy vulkáni területen belül, vagy más salakkúp területek kúpjaival.

11. Köszönetnyilvánítás

Dolgozatom nem jöhetett volna létre témavezetőm, SZÉKELY Balázs türelme és áldozatos munkája nélkül. Köszönöm a segítséget KOMA Zsófia doktorandusznak, aki bevezetett a programozás rejtelseibe, KARÁTSZON Dávidnak, hogy szakmai támogatásával segítette a kijutásomat Franciaországba.

Kiemelt köszönet illeti Benjamin VAN WYK DE VRIES-t, aki rendelkezésemre bocsátotta a Chaîne des Puys LiDAR adatait, illetve a területről írt irodalmakat. Családjával együtt szállást nyújtott franciaországi tartózkodásom idején, és megosztotta velem terepi tapasztalatait.

12. Irodalomjegyzék

- Bata, T.: Morfometriai paraméterek meghatározása vulkáni kúpokon a San Francisco vulkáni terület (USA, Arizona) példáján. Szakdolgozat, Természetföldrajzi Tanszék, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, pp 89 (2007)
- Bata T., Székely B., Karátson D.: Determination of morphometric parameters of scoria cones in San Francisco Volcanic Field, Geophysical Research Abstracts 10: Paper 05631. (2008)
- Boivin, P., Besson, J. C., Briot, D., Camus, G., de Goër de Herve, A., Gougaud, A., ... & Miallier, D.: Volcanologie de la Chaîne des Puys, 5e édition bilingue. Editions du Parc Régional des Volcans d'Auvergne, Aydat, 179. (2009)
- The CGIAR Consortium for Spatial Information, SRTM Data Search. [online] srtm.csi.cgiar.org. Available at: <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp> [Hozzáfértem 2016. november 19-én]. (2004)
- Colton, H.S.: The basaltic cinder cones and lava flows of the San Francisco Mountain volcanic field: Museum of Northern Arizona Bulletin 10, p. 58. (1967)
- Farr, T. G., Kobrick, M.: Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. Eos, Trans. American Geophys. Union 81: p.583–585. (2000)
- Favalli, M., Karátson, D., Mazzarini, F., Pareschi, M.T., Boschi, E.: 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. (2009)
- Fornaciai, A., Favalli, M., Karátson, D., Tarquini, S., & Boschi, E.: Morphometry of scoria cones, and their relation to geodynamic setting: A DEM-based analysis. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 217-218, 56–72. (2012)
- GLOBE Task Team et al.: The Global Land One-kilometer Base Elevation model. 30 szögmásodperc felbontású digitális domborzati modell. (1999)
- Hooper, D.M., Sheridan M.F.: Computer-simulation models of scoria cone degradation. Journal of Volcanology and Geothermal Research 83: p. 241 -267. (1998)
- Karátson, D., Németh, K., Székely, B., Ruszkiczay-Rüdiger, Z. and Pécskay, Z.: Incision of a river curvature due to exhumed Miocene volcanic landforms: Danube Bend, Hungary. International Journal of Earth Sciences, 95(5), pp. 929-944 (2006)
- Karátson D., Yepes J., Favalli M., Rodríguez-Peces M.J., Fornaciai A.: Reconstructing eroded paleovolcanoes on Gran Canaria, Canary Islands, using advanced geomorphometry, Geomorphology 253: pp. 123-134. (2016)

Király, E.: A San Francisco Volcanic Field egyes vulkáni kúpjainak morfometriai paraméterbecslése. Szakdolgozat, Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, pp 66 (2009)

Király, E., Székely, B., Bata, T., Lócsi, L., Karátson, D.: 3-dimensional geometric modeling and parameter estimation of scoria cones of the San Francisco Volcanic Field, Arizona, USA Geophysical Research Abstracts 11: Paper 12086. (2009)

Miallier, D., Boivin, P., Deniel, C., Gourgaud, A., Lanos, P., Sforza, M. & Pilleyre, T.: The ultimate eruption of Puy de Dôme volcano (Chaîne des Puys, French Massif Central), about 10,700 yr ago. Comptes Rendus Géoscience, 342 (11): p. 847-854 (2010)

Miallier, D., Pilleyre, T., SANZELLE, S., Boivin, P., Lanos, P.: revised chronology of the youngest volcanoes of the Chaîne des Puys (French Massif Central). Quaternaire, 23, (4): p. 283-290 (2012)

Moore, R.B., Wolfe, E.W.: Geologic map of the eastern San Francisco Volcanic Field, Arizona: USGS Miscellaneous Investigations Series Map I -953, scale 1:50,000. (1976)

Porter, S.C.: Distribution, morphology, and size-frequency of cinder cones on Mauna Kea volcano, Hawaii. Geological Society of America Bulletin 83, p. 3607-3612. (1972)

Priest, S.S., Duffield, W.A., Malis-Clark, K., Hendley, J. and Stauffer, P.: The San Francisco Volcanic Field, Arizona, USGS Fact Sheet 01701, Flagstaff, Arizona, p. 1-2. (2001)

Rabus, B., Eineder, M., Roth, A., Bamler, R.: The shuttle radar topography mission - a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. Photogrammetric Remote Sensing 57, p. 241-262. (2003)

Schuckman, K., Renslow, M.: Introduction to Lasers and Lidar | GEOG 481: LIDAR Technology and Applications. [online] E-education.psu.edu. Available at: https://www.e-education.psu.edu/geog481/l1_p3.html [Hozzáfértem 2016. november 19-én]. (2014)

Settle, M.: The structure and emplacement of cinder cone fields. American Journal of Science, 279 (10), 1089-1107. (1979)

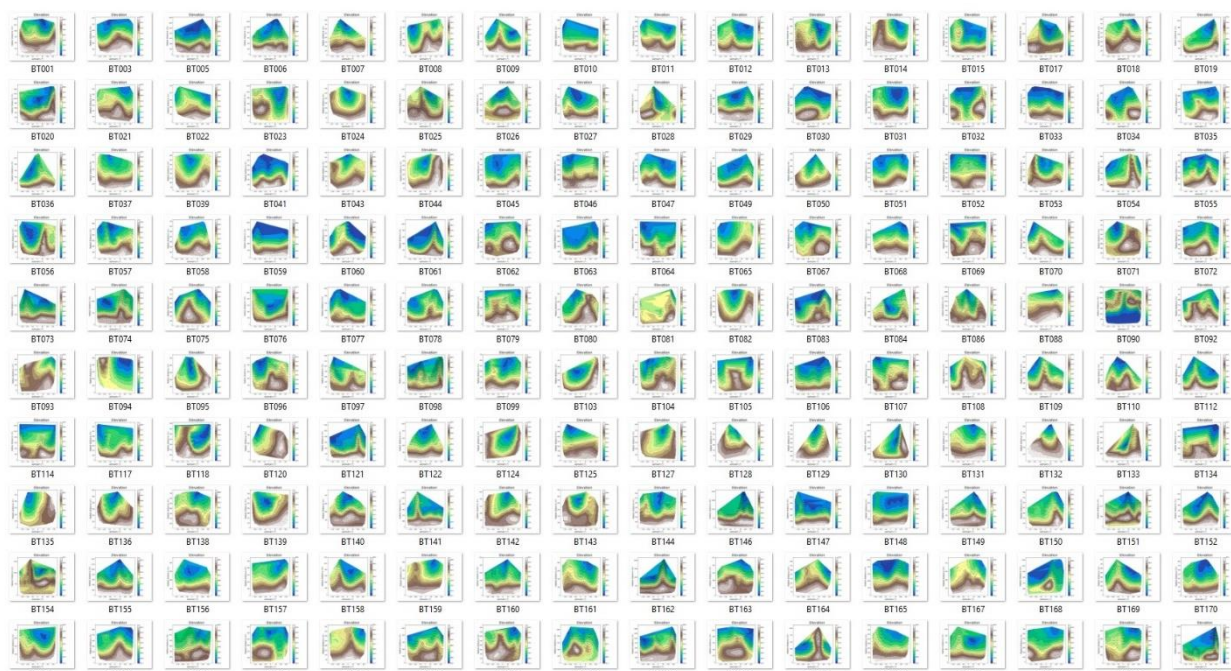
Székely, B., Hampton S. J.: DEM-aided volcanic reconstruction and collapse recognition of degraded Miocene volcanic edifices: a case history of Lyttelton Volcano, New Zealand Geophysical Research Abstracts 9: Paper 10295. (2007)

Székely, B., Karátson, D.: A probabilistic approach to determine volcanic eruption centres of degraded volcanic edifices, Geophysical Research Abstracts 11: Paper EGU2009-11808. (2009)

Székely, B., Karátson, D.: DEM-based morphometry as a tool for reconstructing primary volcanic landforms: examples from the Börzsöny Mountains, Hungary, Geomorphology 63, 25-37, 2004

- Székely, B., Király, E., Karátson, D., Bata, T.: A parameterisation attempt of scoria cones of the San Francisco Volcanic Field (Arizona, USA) by conical fitting, In: Purves, Ross, Gruber, Stephan, Hengl, Tomislav, Straumann, Ralph (szerk.) *Proceedings of Geomorphometry 2009*, Zürich, pp. 178-182. (2009)
- Tanaka, K.L., Shoemaker, E.M., Ulrich, G.E. and Wolfe, E.W.: Migration of volcanism in the San Francisco volcanic field, Arizona. In: *Geological Society of America Bulletin*, v.97, p. 129-141. (1986)
- Telbisz, T., Karátson, D., Székely, B.: Morphometric reconstruction of the San Francisco Mountain, Arizona by high-resolution Digital Elevation Model, *Geophysical Research Abstracts* 9: Paper 10313. (2007)
- van Wyk de Vries, B., Marques, A., Herrera, R., Granjas, J.L., Llanes, P. Delcamp, A.: Craters of Elevation Revisited : Forced Folds, Bulges and Uplift of Volcanoes (2014) *Bulletin of Volcanology* (2014)
- Vörös, F., Koma, Zs., Karátson, D., Székely, B.: Geomorphometric analysis of the scoria cones of the San Francisco Volcanic Field using polar coordinate transformation. *Geophys Res Abstr* 18 : EGU2016-1045 (2016)
- Wolfe, E.W., Ulrich, G.E., Holm, R.F., Moore, R.B. and Newhall, C.G.: Geologic map of the central part of the San Francisco Volcanic Field, North Central Arizona. USGS Misc. Field Studies Map, MF-1959, scale 1:50,000. (1987)
- Wood, C.A., Morphometric evolution of cinder cones. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 7, p. 387-413. (1980a)
- Wood, C.A., Morphometric analysis of cinder cone degradation. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 8, p. 137-160. (1980b)
- Wood, C.A., Baldrige, S. Volcano tectonics of the Western United States. In: *Volcanoes of North America* (ed: Wood, C.A., Kienle, J.) Cambridge University Press, p. 147-154. (1990)

Függelék (A)

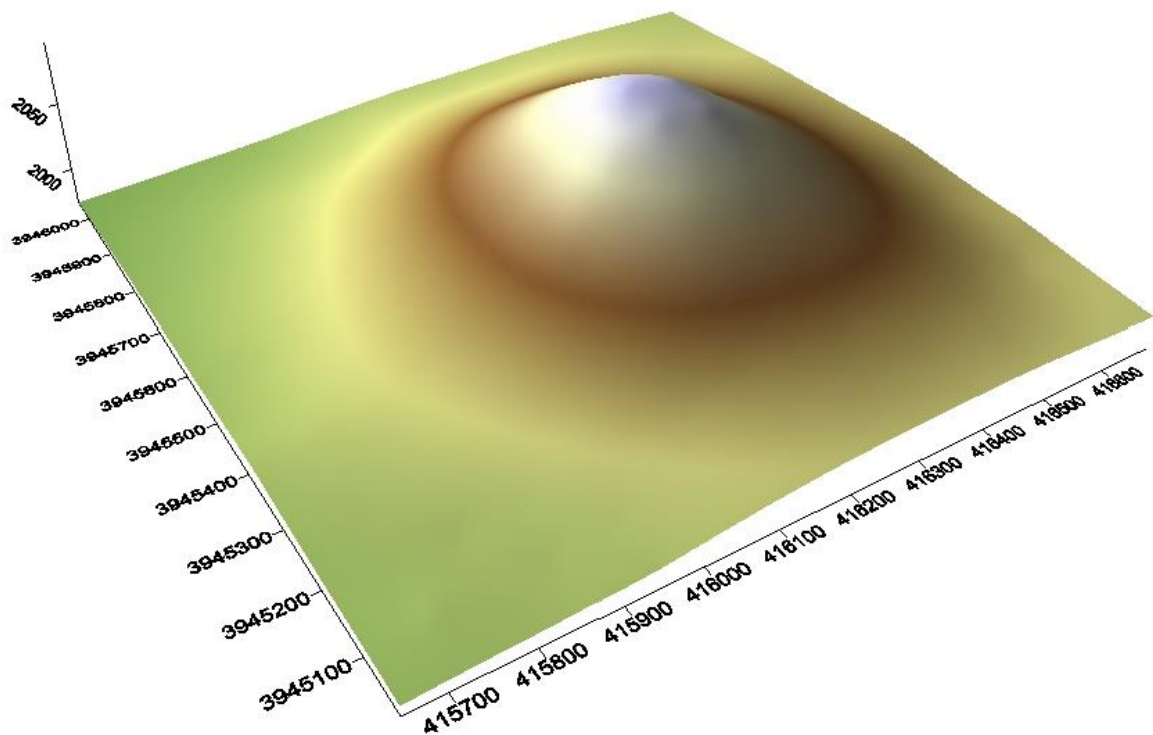


A1. ábra: Áttekintő a SFVF első 144 salakcupjának magassági értékeiről, PCT-ben ábrázolva

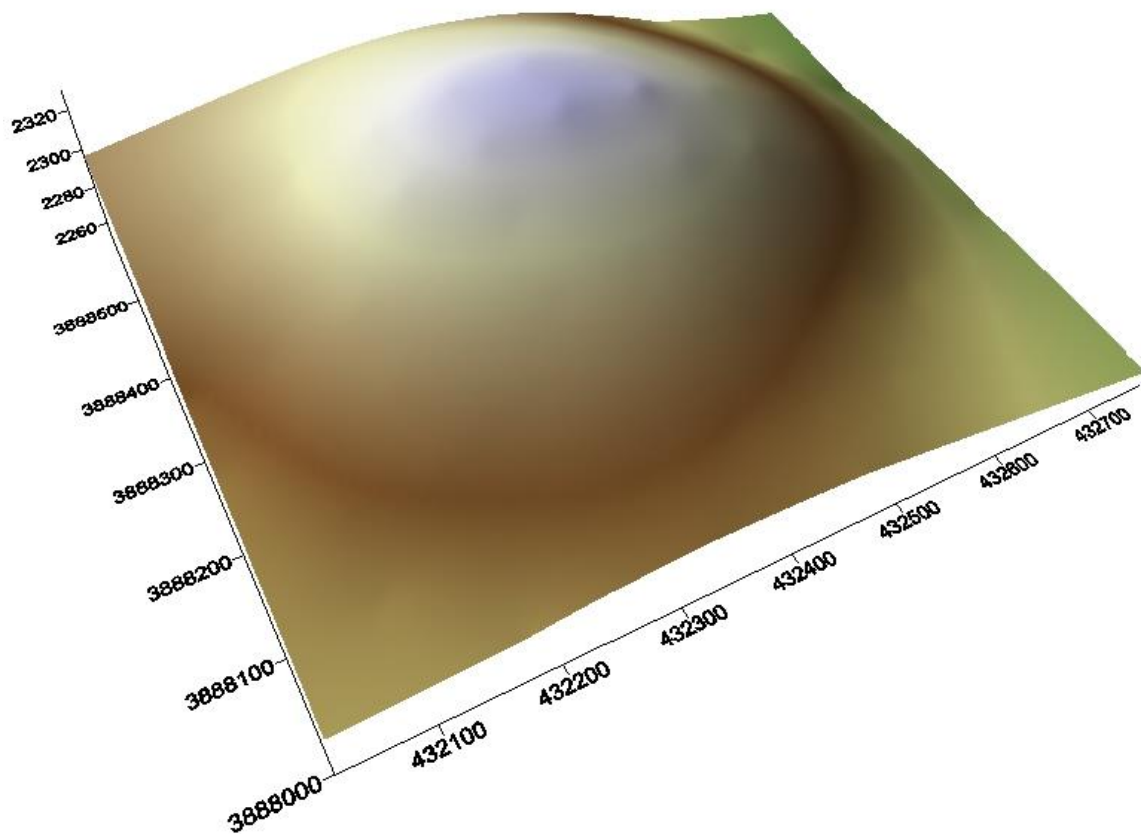


A2. ábra: Áttekintő a SFVF első 144 salakcupjának lejtőszög- és szórásértékeiről

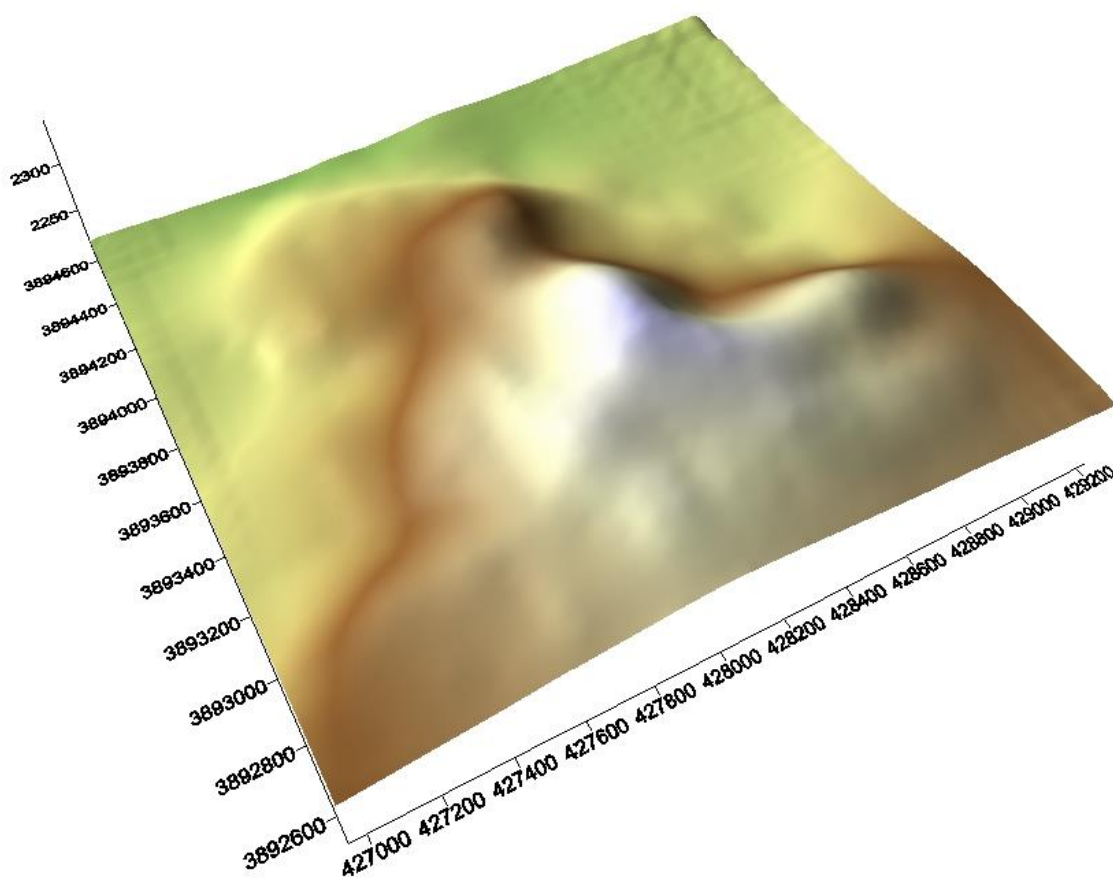
Függelék (B)



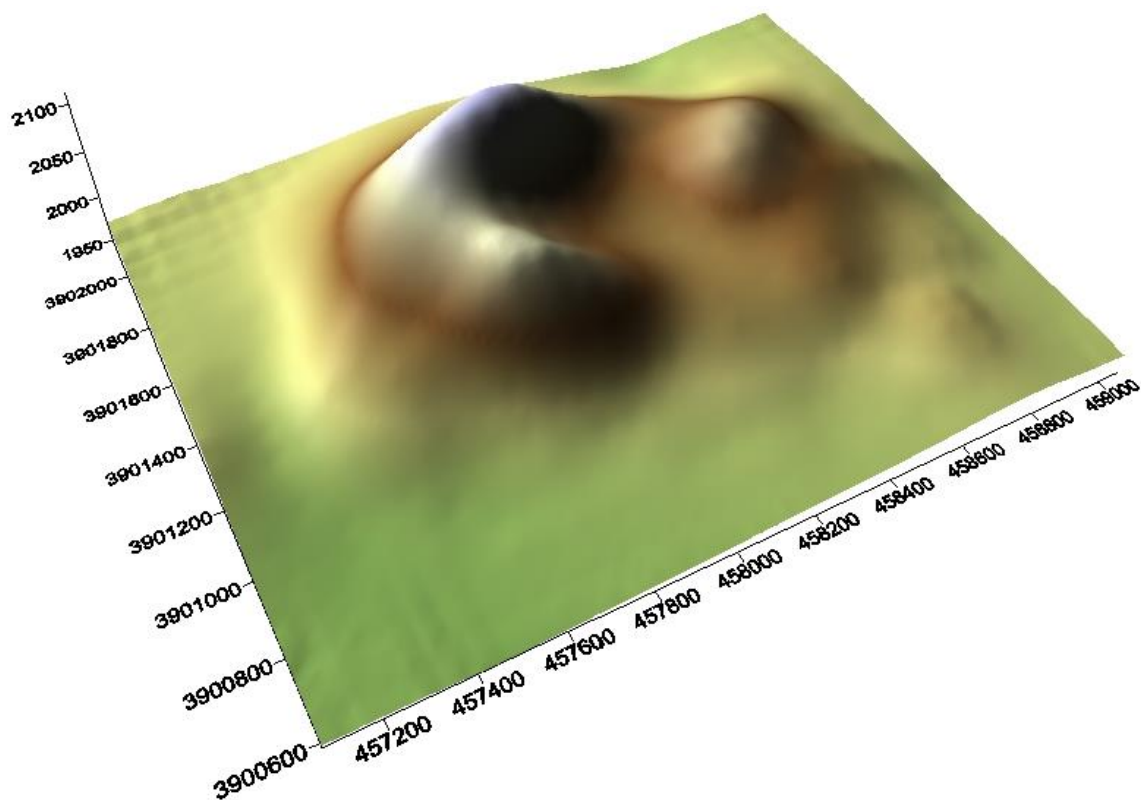
B1. ábra: „BT217”-es kúp Golden Software’s Surferben megjelenítve



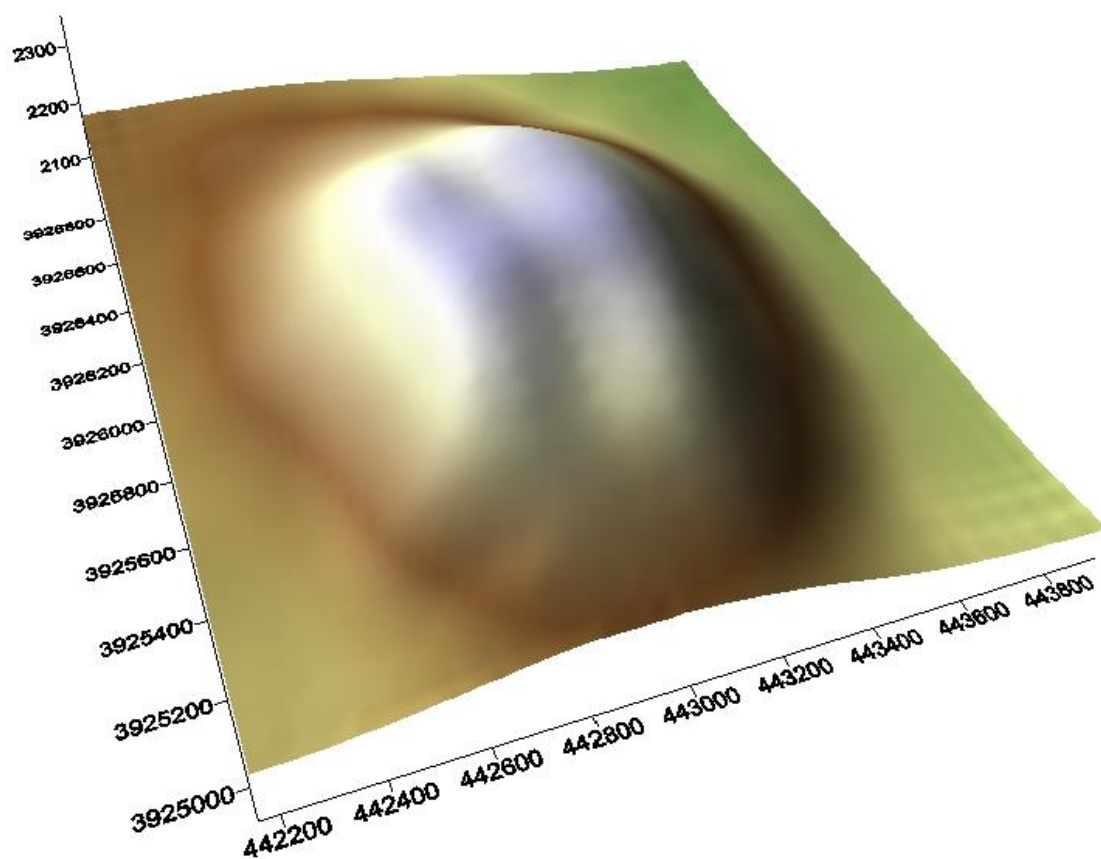
B2. ábra: „BT088”-as kúp Golden Software’s Surferben megjelenítve



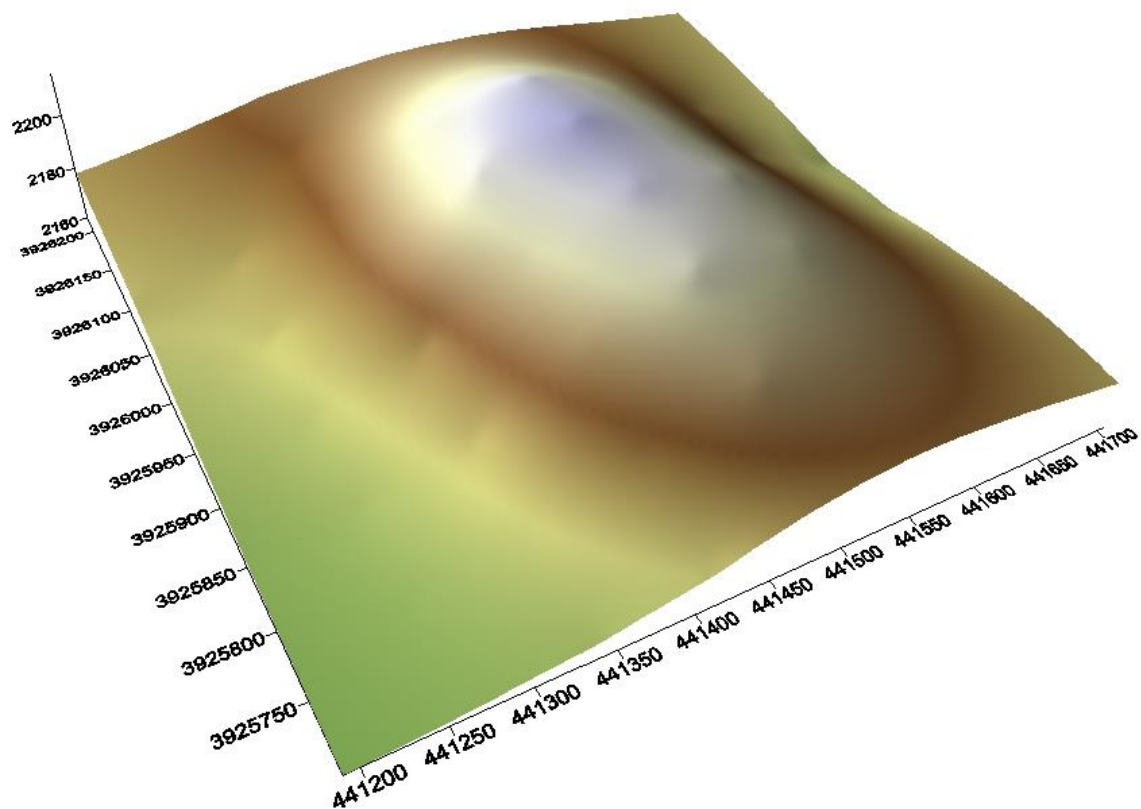
B3. ábra: „BT086”-os kúp Golden Software’s Surferben megjelenítve



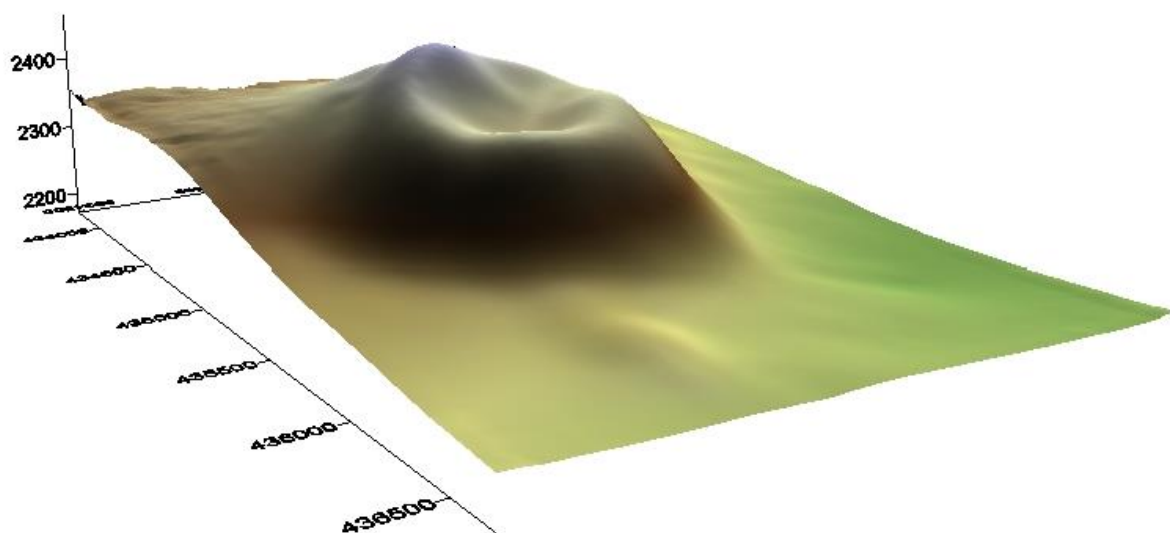
B4. ábra: „BT178”-as kúp Golden Software’s Surferben megjelenítve



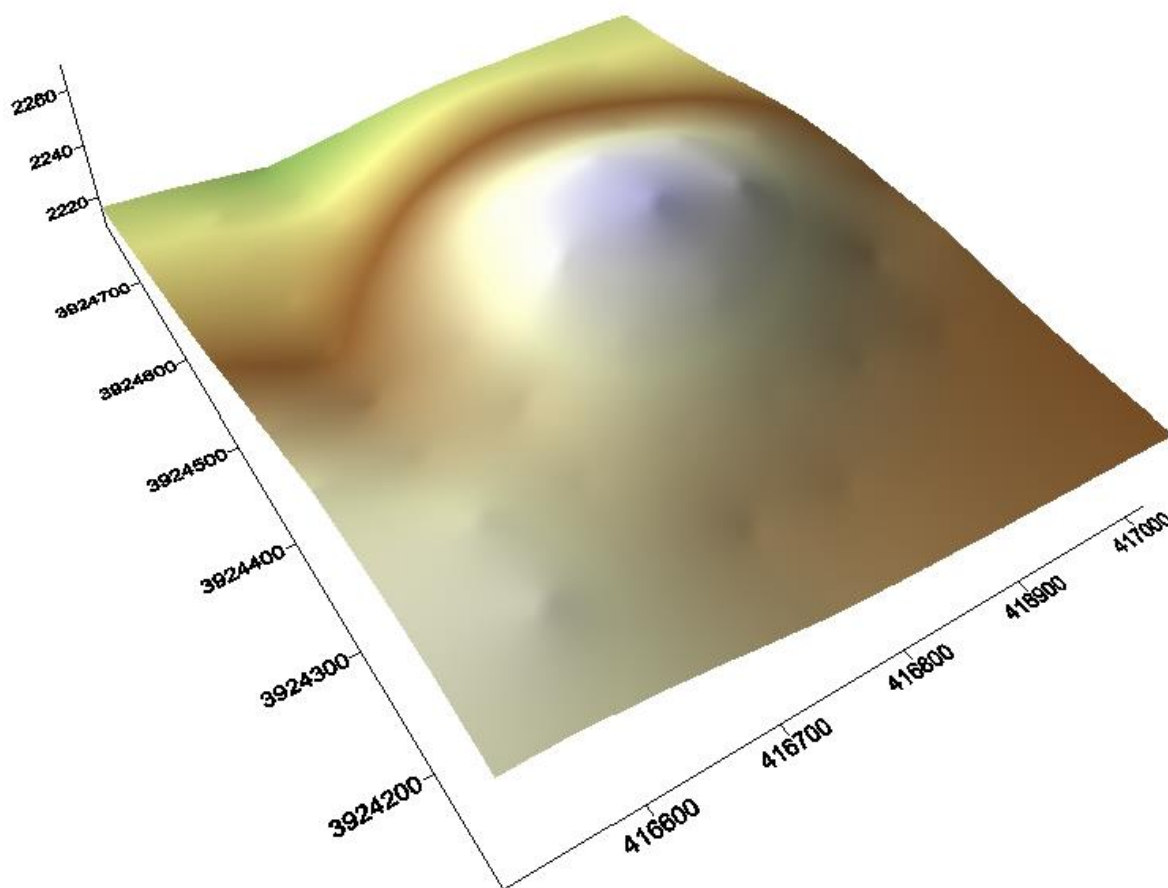
B5. ábra: „BT001”-es kúp Golden Software’s Surferben megjelenítve



B6. ábra: „BT008”-as kúp Golden Software’s Surferben megjelenítve



B7. ábra: „BT017”-es kúp Golden Software’s Surferben megjelenítve



B8. ábra: „BT043”-as kúp Golden Software’s Surferben megjelenítve

Nyilatkozat

Alulírott, Vörös Fanni nyilatkozom, hogy jelen szakdolgozatom teljes egészében saját, önálló szellemi termékem. A szakdolgozatot sem részben, sem egészében semmilyen más felsőfokú oktatási vagy egyéb intézménybe nem nyújtottam be. A szakdolgozatomban felhasznált, szerzői joggal védett anyagokra vonatkozó engedély a mellékletben megtalálható.

A témavezető által benyújtásra elfogadott szakdolgozat PDF formátumban való elektronikus publikálásához a tanszéki honlapon

HOZZÁJÁRULOK

NEM JÁRULOK HOZZÁ

Budapest, 2017. május 15.

.....
a hallgató aláírása