

dc_1993_22

Akadémiai Doktori Értekezés

Monogenetikus vulkanizmus
globális perspektívája, helye a
vulkán geológiában és annak
társadalmi hatása

Németh Károly

Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet

Sopron, Magyarország

2022

dc_1993_22

Köszönetnyilvánítás

Örök hálával tartozom Szüleimnek, Német Károlynak és Németh Károlynénak (Forró Erzsébet), akik lehetővé tették számomra, hogy tanulhassak, a tudomány közelébe kerülhessek, majd folyamatosan támogattak abban is, hogy elmélyedhessek a földtudományok világában. Soha nem felejttem el a hideg, jeges, téli estéket, amikor a biciklin ülve Apu derekát átölelve éreztem azt az erőt, amit egy Apa tud csak nyújtani, miközben a fizika szakkörre kellett visszamennem, mert az volt a legjobb alkalom arra, hogy a tiszta téli éjszakában házi készítésű távcsöveinket (ami Ákos öcsém régi szemüvegéből készült Kepler típusú távcső volt) kipróbáljuk.

Édesanyám kemény, határozott, de szerető gondoskodása soha nem volt megkérdőjelezhető, különösen abban az esetben, ha éppen egy új Búvár vagy Gondolat zsebkönyv jelent meg Matild néni lellei könyvesboltjában, amit azonnal meg kellett venni. Édesapám a nyári szünetekben mindig magával vitt oda, ahol éppen akkor dolgozott. Például Somogyvárra vagy Balatonföldvára, ahol a vonatok között teltek napjaim, ezáltal örök érdeklődést teremtve a vasút iránt.

Ekkor ismerkedtem meg a vadregényes somogyi erdőkkel, valamint a Balaton titkaival, amikor a földvári kikötőben a tavi szivacsok és a csodálatos naphalak világát tanulmányoztam. Jól emlékszem arra a történetre, hogy amikor a biológia szakkörre kézzel rajzolt, saját megfigyeléseimen alapuló papucsállatka képekre volt szükség, akkor otthon nem lehetett kérdéses a feladat megoldásához szükséges mikroszkóp beszerzése.

A természet szeretete szinte mindenhol adott volt a családban. Anyai nagymamám mediterrán kertjében órákat töltöttem a paradicsom erdő alatt vajaskenyérral a kezemben, miközben a kukacvirág szőnyegre érkező fecskefarkú lepkék sokaságát bámultam. Az apai nagyszüleimmel töltött nyári szünetek szinte minden esetben a teljes szabadság érzetét jelentették számomra, bejárva a Balatonkiliti mögötti tórendszert Bogár kutyaival, aki szinte mindig elkóborolt tőlünk, de mégis előttünk ért haza a közös kirándulásunk végén. No és azok a focimeccsek, amiket Papával együtt néztünk, mint például az 1978-es foci VB Argentína – Magyarország meccse, amelynek vereségét Papa nagyon nehezen viselte el, de aztán a hajnali házi paradicsomlé mindent megoldott nála. Ennek köszönhetően a kedvenc olvasmányaim közé tartoztak Gerald Durrell művei. Mindig arra gondoltam, hogy de jó is lenne látni a mediterrán világot, vagy a trópusi szigeteket! Kedves Ákos öcsémmel, bár gyerekkorunkban sokat „veszekedtünk”, mert nehezen tudtam elviselni, hogy Neki is szinte ugyanazok voltak megengedve, mint nekem, pedig 5 évvel fiatalabb volt nálam. Aztán amikor már Új-Zélandon éltem, minden egyes hazalátogatásom alkalmával felejthetetlenek voltak az egész éjszakát betöltő csatangolásaink Budapest minden zugában, ahol kitérgyaltuk a világ dolgait. Sokat segítettek ezek a „séták” nekem abban, hogy megértsem a helyem a világban.

Nagy szeretettel gondolok egykori általános iskolai földrajz tanáromra (Lellei Általános Iskola), Rádics Lászlónéra, aki meghatározó szerepet játszott abban, hogy a geológiát válasszam a természettudományok világából. Meg kell említenem az egykori iskolaigazgatómat, történelem tanáromat, Selmecsi Miklóst, aki nemcsak belém oltotta a világos történelmi szemléletet, de az általa rendszeresen megszervezett és vezetett „vándortáborokkal” megszerettette velem

Magyarország legszebb tájait, és ugyanakkor ráirányította érdeklődésemet a kőzetek világának csodálatára. Óriási lendületet adott a geológia iránti elkötelezettségemhez a Szabó József Geológiai Szakközépiskola, ahol a magasszintű alapképzés mellett, kitűnő osztályfőnökökkel (Gadányi Sarolta, Mezővári Tiborné), a rendszeres terepi munkák (Matyikó Imrével) és a geológiai nyári gyakorlatok kapcsán megértettem, hogy mit is jelent a földtudomány. A középiskolában szerzett ismeretek jelentősen hozzájárultak ahhoz, hogy az ELTE Geológiai Szakon, olyan alapokkal rendelkeztem már, amelyek lehetővé tették számomra, hogy sikerrel vegyem a tanulmányaimmal kapcsolatos akadályokat.

Egyetemi tanulmányaim során meg kell említenem Bilik István nagyszerű előadásait az első évben, melyek nagyban elősegítették, hogy a későbbiek során a földtani folyamatokat rendszerben láthattam.

Óriási köszönettel tartozom Szakmány Györgynek és Józsa Sándornak, akik hihetetlen szakmai tudásukat megosztva a hallgatókkal megmutatták, hogy mennyire fontos a terepi geológia és a valós, minta alapú közvetlen megfigyelések szerepe a földtudományban.

Köszönöm Harangi Szabolcsnak, hogy a szakdolgozati időszakban minden hagyományt áttörve, vulkanológiával foglalkozhattam mellette, és részese lehettem a hazai modern vulkanológia születésének. Életre szóló és meghatározó élmény volt számomra az 1992-es rendhagyó kőzettani terepgyakorlat Dél-Olaszország vulkánjaihoz, amikor először láthattam működő vulkánokat, és nem utolsósorban a karnyújtásnyira lévő zafferanai 'a'á lávafolyást. Szerencsés voltam az egyetemi évek alatt, mivel egy olyan kitűnő diákcsoport tagja lehettem (többek között Kovács Rita, Zöldföldi Judit, Bada Gábor és Kondorosi Gábor) akikkel a megújuló földtani képzés határait is feszegethettük. Erre az időre tehető Karátson Dáviddal kialakuló barátságom, amely a későbbiekben, akkor igen újszerű gondolattal fűszerezett szakmai kapcsolattá alakult.

A felejthetetlen előadások a lemeztektonikáról (Csontos László), vagy a geológiai térképek értelmezése (Fodor László) csak mindinkább igazolták számomra, hogy a geológia az a tudományág, ami az életem meghatározó részévé válik. Ebben az időszakban a geológia szinte minden területe fantasztikus volt számomra. Ez bizonyítja, hogy Haas János karbonátszedimentológiai és aktuálgeológiai kurzusai majdnem „eltérítettek” engem a mészkövek tanulmányozásának irányába.

Horváth Ferenc előadásai, a Pannon-medence fejlődésének izgalmas kérdéseiről, valamint a szerkezetföldtani modellezések gyakorlása előkészítették, hogy Bada Gáborral az első hosszabb idejű külföldi tanulmányutamon részt vehessek (Vrije Universiteit, Amszterdam). Ez az ösztöndíjam volt az igazi fordulópont, amikor a vulkanológia iránti elkötelezettségem egyértelművé vált. Ebben nagyban szerepet játszott az amszterdami egyetem könyvtárában eltöltött, sokszor egész éjszakákat átívelő „felfedező” útjaim, ahol először láthattam és olvashattam a *Bulletin of Volcanology* és a *Journal of Volcanology and Geothermal Research* lapok bármelyik számát, ami akkor Budapesten még elérhetetlen volt (1994).

Kim Ritának köszönhetően az egyetemi évek alatt kerültem kapcsolatba a Montessori pedagógiával. Olyannyira elmélyedtem ezen új pedagógiai módszerben, (különösen annak Kozmikus Nevelés gondolatában, amelynek a geológia az egyik alappillére) hogy megpályáztam majd elnyertem egy egyéves tanulmányutat San Franciscoba, ahol tanulhattam, és gyakorlatban

is elsajátíthattam e módszer részleteit. Az egyetem utáni években óriási köszönettel tartozom Csernyi Tibornak, aki maga mellé vett a Magyar Állami Földtani Intézet Limnogeológiai Osztályára, és ezáltal egy új tudományos világot nyitott meg előttem. Sikeres Peregrinatio II pályázatomban köszönhetően jutottam el Új-Zélandra 1996-ban. Itt találkoztam James DL White professzorral, aki felkarolt, és lehetőséget teremtett arra, hogy a PhD munkámat az Otago Egyetemen (Dunedin) elkezdhessem 1998-ban. A doktori éveim alatt találkoztam Ulrike Martinnal, akivel Otago monogenetikus vulkánjait kutattuk, és egymást segítve jutottunk el a PhD fokozat megszerzéséhez. Fontos és egyúttal felejthetetlen esemény volt számomra az 1998-ban Bécsben rendezett XVI. CBGA Kongresszus, ahol teljesen véletlenül találkoztam Pécskay Zoltánnal, akivel éjszakákba nyúló beszélgetések kapcsán, egy életre szóló igazi barátság született. Szinte leírhatatlan mindaz, ami azóta kialakult közöttünk, ami örök életűnek tekinthető. Hálásan köszönöm azt a sok segítséget, amit életem legnehezebb kihívásaiban és megpróbáltatásaiban, ideértve az MTA doktori küzdelmét is Tőled kaptam.

Külön köszönet Shane Croninnak, aki hozzásegített ahhoz, hogy a Massey Egyetemen állandó akadémiai állásba kerüljek, megismerjem a délnyugati Csendes-óceán szigetvilágát, és belevágjak olyan programokba, amelyek eljuttattak a Föld leghihetlenebb vulkánmezőire. Kutatásaim során számos nagyszerű emberrel találkoztam, akik mindannyian valamennyi formában elősegítették a szakmai fejlődésemet.

A német-magyar tudományos együttműködések keretében végzett munkámmal kapcsolatban Christopher Breitzkreuznek tartozom köszönettel, aki lehetővé tette számomra, hogy a Freibergi Bányászati Akadémián fontos kutató időket tölthessek el. Meg kell jegyeznem, hogy Christoph vezetett be az Andesi geológia csodálatos világába, ahol Hans Wilkevel fedezhettem fel Antofagasta titkait, és ugyanakkor megismerhettem Felipe Aguilerát 2002-ben, mint MSc diákot. Akkor még nem is sejtettük, hogy majd 20 évvel később, mint kollégák közösen kutathatjuk Chile Atacama vidékének vulkánjait. Felipén keresztül ismerhettem meg Gabriel Uretat, egy hihetetlen energiájú, nagyszerű embert, aki a geológiai munkássága mellett, mint FIFA játékvezető követte álmait. Rengeteget tanultam a barátságunkból! Nagy köszönettel tartozom német barátaimnak. Volker Lorenz nagy hatással volt rám túlmutatva a pusztán maar vulkánok „fanatikus” szeretetén, ráébresztve arra, hogy a geológia, úgy egészében valami rendkívül különleges tudomány. Soha nem felejttem el az éjszakákba nyúló beszélgetéseinket. Itt meg kell említenem további kollégáimat: Herbert Lutz, Kurt Goth, Peter Suhr, Ingomar Fritz és Bernd Zimanowski kollégákat, akik mindent megtettek azért, hogy a németekről alkotott sztereotípiákat elfeledjem. Igazi barátok!

2012-ben egy évet Szaúd-Arábiában tölthettem, ahol a geológián túlmenően beleláthattam egy teljesen új világba. Mohamed Rashad Moufti, a King Abdulaziz Egyetem geológia professzora barátságát nehéz szavakba önteni. Nagy köszönet Rashad, hogy elfogadtál, és megmutattad az Arab-félsziget rejtett vulkáni kincseit. Nem hagyhatom ki Jaroslav Lexa, Vlastimyl Konecny (aki sajnos már nem lehet közöttünk), Sanyi Szakács, Marinel Kovács, Sandra Fülöp, Nino Seghedi és Gméling Katalin barátságát sem, akikkel szinte minden hazatérésem alkalmával sikerült „nyaralásként” olyan terepgyakorlatokat átélni, amelyekből rengeteget tanultam. Mindenképpen meg kell említenem Csillag Gábor barátomat, akivel a MÁFI-s évektől kezdődően töretlen a kapcsolatunk. A Stefánia pizzázóban a gorgonzolás pizza mindig kihozta belőlünk a világ dolgainak megvitatását, melyhez Fodor László gyakran csatlakozott, éles szakmai

diszkurzusokat gerjesztve. Gábor, a barátságunk határtalan. Szakmai karrierem során kapcsolatba kerültem olyan kulcs emberekkel, mint Ray Cas (Monash University), akitől rengeteget tanultam, nem utolsósorban a „*hope so*” fordulatot, ami univerzálisan alkalmazható nagyon sok helyzetre. De nem felejtettem el James White „*rush, rush, rush ... wait, wait, wait*” fordulatát sem a modern repülő utak jellemzésére, amit a majd két napos vezetésünk alatt fejtett ki Andalúziától a Nógrád-Gömörig, ahol egy fantasztikus terepbejárásom vettünk részt. Ott annyit jegyzett meg, hogy eddig azt hitte, hogy csak Amerikában van végeláthatatlan erdő, nem gondolta volna, hogy Nógrádban is hasonlót láthat. Semmiképp sem feledkezhetem meg kitűnő PhD diákjaimról, mint Hugo Murcia, aki azóta a Caldas Egyetem oktatója lett. Hugo, megmutattad Kolumbia hihetetlen színességét, amiért nagyon hálás vagyok. De nem hagyhatom szó nélkül Maria Monsalve, vagy Jorge Gomez szerepét sem, akik a Kolumbiai Geológiai Szolgálaton keresztül segítettek építeni az én Andesi geológus titulussomat. És akkor nem hagyhatom ki Miguel Hallert, a magyar származású igazi argentin kollégát, akivel végig járhattam Patagónia legeldugottabb részeit is. Corina Risso, Francesco Nullo óriási köszönet a szereteteitekért, amivel megajándékoztatok, és megosztottátok velem azt a hihetetlen tudást, ami bennetek van az Argentín geológiáról. Mitöbb, mindezt hihetetlen könnyedséggel, hogy minden egyes terepi óra ajándék volt számomra. Kínai kollégáimnak is nagy köszönettel tartozom kiemelve Jiaqi Liu professzort, aki kinyitotta az ajtót, hogy a Greater Khingan hegylánc menti vulkánmezőket tanulmányozhassam olyan nagyszerű kollégákkal, mint Jing Wu vagy Chunqing Sun. De meg kell említenem a barátságomat Boxin Li-vel, aki felvállalta, hogy a geológia Jedije legyen. Nem feledkezhetem meg dél-koreai kollégáimról sem, különös tekintettel Young Kwan Sohn professzorról sem, aki megosztotta velem végtelen szedimentológiai tudását. Sőt, megmutatta, hogy a koreai konyha (és a soju) verhetetlen a világon! E kapcsolat azért is érdekes, mert a Peregrinatio II ösztöndíjamat először Koreába terveztem, éppen vele, egy későbbi PhD program ígéretével. Akkor nem voltam elég bátor, hogy belevágjak egy távol-keleti kalandba, nem utolsósorban azért, mert ezzel egyidőben jó barátom, Kondorosi Gábor, aki éppen a japán élményeivel „segített” a döntésem meghozatalában. Így esett aztán a választásom Új-Zélandra! Ki gondolta volna, hogy 15 év után, mint kollégák találkozhatunk Prof Sohnnal a Jeju-szigeten. Ugyanígy, ki gondolta volna, hogy Kondorosi Gábor végül is Japánban marad. De nem is reméltem volna, hogy a távol-keleti kapcsolataim olyannyira kiteljesednek, hogy hónapokat tölthetek el nagyszerű kutatóprogramokkal, olyan zseniális kutatókkal együtt, mint többek között Setsuya Nakada, Tetsuo Kobayashi, Nobuo Geshi, Takeshi Hasegawa, és Fukashi Maneo. Rengeteget tanultam ezekből a kutatómunkákból. Óriási köszönet Ilmars Gravis és Chris Twemlow a barátságokért, és a már-már „fanatikus” földtani örökségvédelem gondolataitokért. Meg kell köszönnöm PhD diákomnak Vlad Zakharovskynak azt a hihetetlen odafigyelést, ahogy végig küzdötte a témavezetői szerepem elvárásait, a fantasztikus terepeket a Coromandel-félszigeten, ahol esténként komoly filozófiai diszkurzusok tarkították a geodiverzitás-számítás módszereink kifejlesztését. Alapvetően minden egyes PhD diákomnak köszönettel tartozom. Kereszturi Gábor hihetetlen fókuszált világa, rámutatott arra, mennyire fontos, hogy pontos célokat mutassunk diákjainknak, amiért érdemes küzdeni. Kósik Szabolcs olyan partner volt, akivel hosszútávon látom a szakmai és baráti kapcsolat lehetőségét. Németh Boglárka olyat alkotott a földtani értékvédelem tématerületén, amit talán egy évtized múlva érthet meg majd a globális kutatói társadalom. Nyilván nem tudok mindenkit megemlíteni itt, de azt állíthatom, hogy minden egyes PhD, MSc, BSc diákomnak köszönettel tartozom, hogy együtt dolgozhattam velük, hiszen a közös munkákból nagyon sokat tanultam.

dc_1993_22

Szeretném megköszöni Wesztergom Viktornak az óriási segítséget, mellyel közelebb kerülhettem Sopronhoz. Ugyancsak nagyon hálás vagyok Kovács István barátom biztató szavaiért, és mindig pontos tanácsaiért, melyek az elmúlt évben nagyon kellettek.

És végül, de nem utolsósorban, nagy köszönet szamoai feleségemnek, Diana Némethnek, hogy felvállalta a családi életet velem. Több mint 17 év együttlét során volt bőven fent és lent, de mindig képesek voltunk venni az akadályokat. Az Akadémiai Nagydoktori megírásának több mint egy éves folyamata kétségkívül nagy teher volt a családomra nézve, így többszörös köszönet azért, hogy mindvégig mellettem voltak. Ez vonatkozik a fiamra, Karcsikára is, aki bár még csak 8 éves, de érezte, hogy Apu valami olyan munkán dolgozik, ami Tőle vesz el időt. Köszönöm Karcsika Neked is a türelmet!



Shannon, Új-Zéland, 2022. március 15.

dc_1993_22

Tartalom

Chapter 1 Előzmények és a kutatásaim célkitűzése	17
Chapter 2 Alkalmazott módszerek	19
Chapter 3 Monogenetikus vulkanizmus	21
3. 1 Monogenetikus vulkanizmus modellje.....	27
3. 2 Monogenetikus vulkanizmus és monogenetikus vulkánok	32
3. 3 Vulkánmezők	39
3. 4 Monogenetikus és poligenetikus vulkanizmus	52
3. 5 „Szárász” monogenetikus vulkanizmus	57
3. 6 „Nedves” monogenetikus vulkanizmus.....	62
3. 7 „Szárász” és „nedves” kitöréstípusok közötti átmenetek.....	66
3. 8 Monogenetikus vulkánok geomorfológiai változása	71
3. 9 Monogenetikus vulkanizmus a „magma forrástól a felszínig” modellje	76
3. 10 A monogenetikus vulkanizmus új modellje	80
Chapter 4 Új tudományos eredményeim a monogenetikus vulkanizmus kutatásában.....	85
4. 1 Freatomagmás vulkanizmus a Nyugat-Pannon-medencében	85
4. 2 A freatomagmatizmus szerepe a Zélandia mikrokontinensen	87
4. 3 Máfikus explozív vulkanizmus a délnyugat Csendes-óceán medencéjében	89
4. 4 Monogenetikus vulkanizmus intrakontinentális helyzetben.....	91
4. 4. 1 Északkelet-Kína, Belső-Mongólia.....	91
4. 4. 2 Patagónia	92
4. 4. 3 Szaúd-Arábia és a Vörös-tenger térsége.....	92
4. 4. 4 Líbia.....	93
4. 4. 5 Chatham-szigetek.....	94
4. 5 Monogenetikus vulkanizmus közeledő lemezszegélyeken	94
4. 5. 1 Kolumbia	94
4. 5. 2 Chile	95
4. 5. 3 Japán.....	96
4. 5. 4 Taupo Vulkáni Zóna, Új-Zéland	97
4. 6 Vulkán geológia és annak rétegtani vonatkozásai	97
4. 7 Vulkáni földtani örökség értékek	98
4. 8 Geodiverzitás kutatás és azok adaptációja vulkáni területekre	98
4. 9 Kutatásaim közvetlen társadalmi haszna	99
Chapter 5 Irodalomjegyzék.....	101

dc_1993_22

Ábrajegyzék

1. ábra – Reprezentatív fiatal (poszt-miocén) monogenetikus vulkánmezők Földön (Smith and Németh 2017). Sárga csillagok vulkánmezőket, míg a vörös csillagok olyan poligenetikus vulkánokat jelölnek, amik mellett monogenetikus vulkánok is találhatóak. Zöld csillagok széleskörben ismert monogenetikus vulkánokat jelölnek ki. A térkép nem teljes, csak reprezentatív képe a monogenetikus vulkánok sokaságának.....23
2. ábra – A monogenetikus vulkanizmus témában megjelent cikkek száma és az azokra kapott hivatkozások a Thomson Reuters Web of Science Teljes Adatbázisán, „monogenetic volcanism” keresésre. A keresés 2021 november 21-én történt.....24
3. ábra – Auckland vulkánmező képe a fő vulkáni képződményekkel (A). Auckland városa szinte teljesen lefedi az Auckland vulkánmezőt, és a városiasodás fokozatosan változtatja meg a vulkánmező képét. A körök azokat a helyeket jelölik, melyek fontos vulkáni földtani örökséget képeznek, de veszélyben vannak a város terjeszkedése miatt (Németh et al. 2021d). A fekete négyzet a Wiri vulkánt mutatja, ami ugyan az egyik legérdekesebb monogenetikus vulkán, szinte teljesen le lett fejtve.....25
4. ábra – Dél-Auckland vulkánmező sekély maar vulkánjait a mezőgazdasági területeken csak nehezen lehet megkülönböztetni a háttér dombos vidékétől (Németh et al. 2012a). A felső képen a Pukekohe East maar látképe látható kelet felől, míg az alsó kép a maar vulkánt mutatja GoogleEarth Pro úrfelvételen (fehér vonalak mutatják a nézőpontot).26
5. ábra – Salakkúpok, mint a földi vulkanizmus leggyakoribb formái. a) Porunita salakkúp Öllagüe mellett, észak Chilében egy fiatal (kvarter) salakkúp. a) A kúpot a nedves klimatikus időszakban ezózió érte, így számos bevágódás látszik az amúgy friss felszínformán. Ezek az eróziós csatornák a vulkán lábánál kis törmeléklegyezőket hoznak létre (nyíl), folyamatosan építve a vulkán lábánál egy üledékszoknyát. Fehér körökben geológusok adják a méretarányt, b) salakkúpok alapvetően Stromboli típusú robbanásos kitörések során növekednek, mint a La Poruna salakkúp, észak Chilében. A robbanások lapilli és bomba méretű piroklasztokat dobnak ki (nyíl), melyek a vulkán oldalán még tovább görgöngve magukba zárhatnak finomabb szemcsés lapilli és hamu anyagot, c) heves Stromboli típusú kitörések gyakran elérhetik a szub-Pliniuszi intenzitást is, akár több tíz km² területet is befedve lapillivel és hamuval, mint azt tapasztalhatjuk az Al Quidr kb. 1000 éves vulkán körül a szaudi-arábiai Harrat Khaybar vulkánmezőn, d) salakkúpok változatos lepusztulási folyamatokon mehetnek keresztül, melyben egyszerre töltődik fel a vulkán krátere (fehér nyíl) és/vagy ürülhet ki, ha az nyitott, illetve pusztulhat saját törmelék legyezőibe (fekete nyíl) mint ezen a salakkúpon a szaudi-arábiai Harrat Khaybar vulkánmezőn.....33
6. ábra – Salakkúpok sematikus ábrája (Németh and Kereszturi 2015).....33
7. ábra – Lávafröccs-kúpoka) nagyméretű lávafröccs-kúp az Al Madinah 1256-os hasadékkitörése mentén (Moufti et al. 2013d). Geológusok adják a méretarányt. A kép a 2.3 km hosszú hasadék déli végéről készült, b) hornító és a körülötte kialakult lávafröccs kupac az Al Madinah 1256-os kitörése során kialakult hasadék legdélebbi pontján, c) jellegzetes összesült lávafröccs rétegek a líbiai Al Haruj vulkán egyik átmeneti (salakkúp – lávafröccs-kúp) kráter peremi részén (Németh et al. 2002c), d) nagy intenzitású Hawaii-típusú lávaszökőkutak olyan sebességgel képesek a lávát kirepíteni, hogy az a földet érése után összeolvad, és klasztogenetikus láva lepleket hoz létre, mint a képen látható átmeneti vulkáni kúp a líbiai Al Haruj vulkánmezőről.34
8. ábra – Lávafröccs-kúpok geológiai sajátossága (Németh and Kereszturi 2015).....35
9. ábra - Maar vulkánok jellegzetességei a) Tongxin maar képe keletről tekintve. Tongxin a legnagyobb freatomagmás vulkán az északkelet kínai Arxan-Chaihe vulkánmezőn (Li et al. 2017) b) lepusztult tufagyűrű az argentin Llanquanello vulkánmezőről (Risso et al. 2008), c) mély maar a Mt Gambier (Ausztrália) maar csoport tagja (Blue Lake). Szaggatott vonal jelzi a szín-eruptív felszínt, amibe a maar kráter vág, d) tipikus dűne-rétegzett alapi torlóár üledék az Auckland vulkánmező Pupuke maarjának

kráter peremétől kb 300 méterre. Minden egyes képen kis GoogleEarth Pro úrfelvétel is mutatja a vulkáni forma térképi alakját.	36
10. ábra – Maar-diatréma (a) és tufagyűrű (b) vulkánok elvi szerkezete (Kereszturi and Németh 2012a; Németh and Kereszturi 2015).....	37
11. ábra - Tufakúpok jellegzetessége a Cerro Colorado tufakúp a Pinacate vulkánmezőről (Sonora, Mexikó) (Martin and Németh 2006), b) Ilchulbong tufakúp a Jeju-szigetről (Dél-Korea) (Sohn et al. 2011), c) párnaláva és hialoklasztit a Chatham-szigetekről (Németh and Stewart 2011), d) dájka járja át az egyik Surtsey-típusú tufakúp hialoklasztit kürtő közeli rétegeit (nyíl) (Németh et al. 2011b; Stewart and Németh 2012; Németh et al. 2013; Stewart et al. 2014).	38
12. ábra - Tufakúpok geológiai jellegzetessége elvi szelvényen (Németh and Kereszturi 2015).	38
13. ábra – A vulkánmezők változatos méretben és formában vannak jelen a Földön, a) véletlenszerűen csoportokba rendeződött vulkánok alkotják a Pinacate vulkánmezőt (Sonora, Mexikó), b) vulkán sor (nagy méretű salakkúpok) a Harrat Kishb Szaúd-Arábiai vulkánmezőről, c) vulkán lineamentumok a Pali Aike vulkánmezőről (Argentína) ahol a vulkánok freatomagmás eredetűek, maarok és tufagyűrűk többnyire.....	40
14. ábra – Freatomagmás monogenetikus vulkánok komplex piroklasztit üledéksora. a) a Harat Hutayma (Szaúd-Arábia) Jubb maarjának kráter falában feltároló komplex piroklasztit rétegsor dűne rétegzett alapi torlóár üledékekkel (nyíl) (Moufti et al. 2015), b) A Suwolbong tufagyűrű/maar (Jeju sziget, Dél-Korea) proximális piroklasztit rétegsora ballisztikus bombákkal (nyíl) (Sohn and Chough 1989; Jeon et al. 2016), c) az Auckland vulkánmező, Brown Island/Motukorea tufagyűrűjének disztális piroklasztit rétegsora (Agustin-Flores et al. 2015b)	42
15. ábra – Nagy térfogatú lávamezők monogenetikus vulkánmezőkön. a) vastag láva rétegek a Snake River vulkánmezőn Idahóban (Németh and White 2007), b) Kiterjedt hosszú lávafolyam a Harat Khaybar vulkánmezőn Szaúd-Arábiában (tumulit mutat a nyíl), c) Kiterjedt láva felszín a Newer vulkán provinciából, Victoria Államból, Ausztrália.	45
16. ábra - Effuzív monogenetikus vulkanizmus koncepcionális modellje az explózió vulkanizmus és a külső víz hatásának tükrében (Murcia and Németh 2021)	46
17. ábra – A Taupó Vulkan Zóna (TVZ) középső részének vulkáni kürtői (fekete háromszögek) és a terület kalderái (piros szaggatott vonallal jelölve [KP – Kapenga, OH – Ohakuri, OK – Okataina, RP – Reporoa, RO – Rotorua, TP – Taupo, WH – Whakamaru]. Sárga szaggatott vonalak a legfontosabb geotermális területeket jelölik. Azimut diagram a terület töréseinek irányeloszlását mutatja 20580 vonal szegmens alapján (Kósik et al. 2020).....	47
18. ábra – Bimodális tufagyűrű (Los Loros, Argentína) kis mérete ellenére (a,b) komplex fejlődéstörténetet mutat (Németh et al. 2009d; Németh et al. 2012b), hasonlóan a Gura trachitos tufagyűrűk Szaúd-Arábiából (d) (Moufti and Németh 2013). Google Earth Pro úrfelvétel mutatja a szaúdi vulkán geometriáját, sárga ponttal jelölve a fotó készítésének helyét.	48
19. ábra - Sinker Butte (nyugati Snake River vulkánmező, Idaho) kanyonfalban (a) feltárt freatomagmás piroklasztit sorozata (b) a vulkán proximális vulkáni fácieseit mutatja (b).	50
20. ábra – Monogenetikus vulkanizmus elvi modelljei a magma felszínre jutása és a geokémiai összefüggések alapján (Németh 2010a). (A) az Auckland vulkánmező, Crater Hill vulkánja alapján (Smith et al. 2008), (B) a Waipiata (Új-Zéland) miocén és a Nyugat-Pannon-medence pliocén-pleisztocén vulkanizmus alapján (Németh et al. 2003c), és (C) a mexikói Jorullo és Paricutin vulkánok alapján (Johnson et al. 2008).....	53
21. ábra – Megsült gránit xenolit a Tongxin maar freatomagmás piroklasztit sorozatából, az észak-kelet kínai Arxan-Chaihe vulkánmezőről. A bomba 15 cm átmérőjű.	55
22. ábra – Vékony freatomagmás alapi rétegsor a 640-es Al Madinah kitörés (Szaúd-Arábia) során keletkezett kisméretű salakkúpok rétegsorában (Murcia et al. 2015). A nyíl feltépett lítikus piroklasztit mutat (a). A Jubb maar a Szaúd-Arábiai Harrat Hutaymah vulkánmező egyik legnagyobb maar vulkánja (Moufti et al. 2015). Piroklasztit sorozata a gránit képződményekre települ, amit a maar kitörés átvágott	

(b). Az Al Madinah 1256-os kitörésének fő központja egy komplex salakkúp, amely többször összeomlott és újjáépült (Moufti et al. 2013c). A kiinduló láva különböző fázisokban felhalmozódott anyaga jól elkülöníthető.	58
23. ábra – a) látványos nagyméretű tumuli a líbiai Al Haruj vulkánmezőn, b) jól megmaradt tumuli Viktória Államban, Ausztráliában a Newer vulkáni provincia részeként, c) jól fejlett tumuli a Crater Basalt vulkánmezőről, Argentína (Pécskay et al. 2007), d) tumuli mező a kínai Arxhan-Chaihe vulkánmezőről (Nemeth et al. 2017).....	59
24. ábra – Összeomló salakkúpok. a) A Payunia vulkánmezőn (Argentína) található Los Morados salakkúp látványosan leszakadt salakkúpja. A sárga nyíl mutatja az összeomlott kúp oldalát elszállító láva mozgási irányát (Németh et al. 2011a), b) egy majdnem teljesen összeomlott/szétcsúszott (nyíl) salakkúp Szaúd-Arábiából, c) teljesen összesült, erózióknak ellenálló kráterperem (nyilak) egy salakkúpon a Harrat Rahat vulkánmezőről.	60
25. ábra – Hamu és lapilli mező (a) a Jebel Quidr (Szaúd-Arábia) vulkánról (b). A vulkán jelentős méretű kúp, amely úgy 1000 évvel ezelőtt születhetett (Camp et al. 1991), és valószínűleg hetekig, talán hónapokig működhetett jelentős szünet nélkül.	62
26. ábra - a) lapos, sekély maar kráter az argentin Pali Aike vulkánmezőn, sekély (<10 m) maar tóval (Ross et al. 2011), b) a mexikói Joya Honda maar mély, de száraz krátere (Aranda-Gomez and Luhr 1996), c) kipreparálódott diatréma Chubutból (Argentina). A körök geológusokat mutatnak méretarányban, a nyíl egy dájkra mutat, ami benyomult a diatrémát alkotó piroklasztit breccsába (Nemeth et al. 2007b), d) peperit a diatrémába benyomuló dájkok (nyíl) mentén. A kör egy kalapácsra mutat, mint méretarány.	65
27. ábra - a) Al Wahbah maar (Szaúd-Arábia) a déli peremről fotózva mutatja a 250 méter mély és 2.2 km széles krátert. Vörös vonal jelzi azt a geomorfológiai szintet, amelyre egy salakkúp épült, és nem sokkal később (néhány ezer tízezer éve múltán) egy maar kitörés vágta ketté a már jelentősen erodálódott maar salakkúpot (Grainger 1996; Moufti et al. 2013a; Wahab et al. 2014), b) az Al Wahba maar kráterfalában táruul fel az idősebb salakkúp kürtő szerkezete, részben egy dolerit láva dugóval kitöltve, c) a Hutaymah maar (Harrat Hutaymah vulkánmező – Szaúd-Arábia) ugyan kisebb (kb. 150 méter mély és 1.5 km széles), de hasonló szerkezetet mutat az Al Wahbah maarhoz. A kráterfalban táruul fel egy, a maar kitörés által kettévágott salakkúp (nyíl) és annak lávafolyásai. A képen egy négyzet jelzi a „d” ábra nézetét, illetve kör mutatja a terepjárókat méretarányként, d) a Hutaymah maar kráterfalának részlete jól mutatja a tufagyűrű, a távoli idősebb lávanyelvek (sárga nyíl) és a részben törmelékletével fedett idősebb kőzetrétegeket.	68
28. ábra - a) a Punatekahi salakkúp (Taupo Vulkanai Zóna – Új-Zéland) kibányászott kürtő közeli része (Ureta et al. 2018e). Fehér nyilak karfiolbomba rétegeket mutatnak, jelezvén, hogy a kúp növekedése során, rövid életű freatomagmás robbanásos kitörések történtek, b) nagyméretű karfiol bomba, c) kisebb karfiolbombák jellegzetes és változatos hólyagossággal és külső felszínnel. A méretarány centiméteres skálát mutat.	69
29. ábra - a) Ohakune salakkúp (Új-Zéland) komplexum átnézeti térképe az azonosított kürtőkkel (Kosik et al. 2016) b) Ohakune salakkúp komplexum geológiai fejlődéstörténete (Kosik et al. 2016).....	71
30. ábra – A Bakony-Balatonfelvidék vulkánmező alapján készített lepusztulás rekonstrukció. A baloldali térképen a számok a kitörési központokat azonosítják, míg a három keresztmetszvény nyomvonalát 1-1', 2-2' és 3-3' tört vonalak jelzik. Az ábra jobb oldalán láthatók a szerkesztett keresztmetszvények a lepusztulás modell alapján (Németh et al. 2003b)	72
31. ábra - a) Peperit egy freatomagmás piroklasztit rétegsorba benyomuló dájk mentén a 71 Gulch vulkánról (Idaho) (Nemeth and White 2009), b) peperit dájk, ami homok és iszap üledékbe nyomult, c) párnaláva rövid lávafolyás talpán, ami egy freatomagmás vulkán kráterébe folyt, d) a mexikói La Breña maar (Durango vulkánmező, Mexikó) komplex maar. A fő maar kráterben salakkúp komplexum nőt, ami részben összeomlott a kifolyó és a maar krátert szinte teljesen kitöltő láva hatására.	73

32. ábra - a) Tipikus áthalmazott salak legyező a Porunita salakkúp (Észak Chile, Ollagüe régió (Mattioli et al. 2006)) lejtőjén, b) a Porunita salakkúp oldalában vízmosások vájtak völgyeket, amelyben feltárul a salakkúpot felépítő fordítottan gradált salak, és tömör kőzetekből álló szerkezete, jelezvén, hogy a kúp, már épülése folyamán állandóan mozgásban lévő piroklasztok felhalmozódásával növekedett. 74
33. ábra - a) a Pula maar jelen domborzati képe és a geológiai adatok alapján szerkesztett szelvénye (Kovács et al. 2020) b) a pulai alginit bánya képe délről tekintve, bejelölve egy karakterisztikus vulkáni hamuban gazdag tavi üledéket (Németh et al. 2008b), c) a pulai kráter tavi üledékből előkerült víz kilépési formák a vulkáni hamuban gazdag rétegekből (Németh et al. 2008b) 75
34. ábra - a) tipikus piroklaszt breccsa üledék a Suwolbong tufagyűrű/maar kürtő közeli szelvényéből (Jeju-sziget, Dél-Korea), b) alapi torlóár üledék az Auckland vulkánmező Brown Island/Motukorea tufagyűrűjéből (Új-Zéland). A kör a méretarányt mutatja, amelyen centiméter beosztás látható. A nyíl az alapi torlóár mozgási irányát mutatja. A kör a 12 cm hosszú vésőt mutatja, mint méretarányt. 76
35. ábra – A Jeju-sziget (Dél-Korea) monogenetikus vulkánjainak elvi vulkáni kürtő szerkezetei a geokémiai és vulkanológiai vizsgálatok alapján (Brenna et al. 2011). A fekete magma vonalak alkáli magmára, míg a szürke zónák szubalkáli magmákra utalnak. A magma elnyírási zónákban gyűlik össze közvetlen a forrásuk felett, és ott fejlődik, mielőtt elindulna a felszín felé. Ezen elnyírási zónák megléte és komplexitása, valamint hogy a magma milyen „szabaddon” juthat a felszínre fogja meghatározni a felszínen észlelhető geokémiai változatosságát a vizsgált kis vulkánoknak (Brenna et al. 2011). 77
36. ábra - a) az Auckland vulkánmezőn (Új-Zéland) található Motukore/Brown Island vulkán rétegtana a Crater Bay szelvényéből (jobb felső légifelvétel) jól mutatja a vulkán komplex rétegtanát, a kezdeti freatomagmás robbanásos kitörések keltette alapi torlóár és freatomagmás hullott piroklaszt szelvényt, amely éles határral vált egy száraz bazalt salak fedőre (Agustin-Flores et al. 2015b), b) a részletes vulkanológiai szelvény felhasználásával rétegtanilag kontrollált geokémiai vizsgálatok készültek, ami alapján kimutatható volt, hogy legalább három olvadék forrással számolhatunk ennek a kis térfogatú vulkánnak a felépülésében (McGee et al. 2012a). 78
37. ábra - a) a Harrat Khaybar (Szaúd-Arábia) trachitos lávadómjai (Németh and Moufti 2017) alapvetően egyszerű kitörésekre utalnak, és monogenetikus jellegűnek tekinthetőek, még akkor is, ha a láva dómok mérete jelentős (2-300 m), b) a Matan lávadóm a Harrat Rahat vulkánmező (Moufti and Németh 2013) középső részén egy komplex és nagy méretű lávadóm, kezdeti robbanásos (egyszeri) kitörések által létrehozott sekély kráterekkel, és az azok között felhalmozódott tufagyűrűkkel. 79
38. ábra - a) Tongariro (Új-Zéland) összetett poligenetikus vulkán Google Earth Pro úrfelvételen. A vulkán több kisebb vulkán (sárga csillagok) összeolvadásából hoz létre egy tipikus vulkáni masszívumot. b) Tongariro látképe a Red Crater (a tó mögött) és a Ngauruhoe vulkánnal (a szabályos vörös-fekete kúp)..... 80
39. ábra – Vulkanári formák osztályozása a monogenetikus – poligenetikus koncepció nézőpontjából (Smith and Németh 2017). Balról jobbra egyre komplexebb magmatológiai, míg lentől felfelé egyre komplexebb vulkán szerkezeteket láthatunk. a – mély forrású, kis vulkánok „sensu tipico” monogenetikus vulkánok, b – mély forrású, kicsi, de csoportosuló vulkánok, c – mély forrású, kicsi, de lehetséges magmatározóra utaló geokémiai jelekkel rendelkező vulkánok, d – összekapcsolódó vulkán csoportok, mély magma forrással, e – több forrású, de nem egységes kürtőkkel rendelkező vulkán komplexumok (pl. Tongariro), f – központi vulkán, és attól független mély forrású kis vulkánok, g – poligenetikus rétegvulkán több kisebb lejtőn keletkezett kis szatellit vulkánokkal, h – i – j – poligenetikus vulkán rendszerek, savanyú, kéreg eredetű olvadékokkal, kaldera és láva dóm vulkánokkal. 81
40. ábra – A monogenetikus vulkanizmus a belső (magma fizikai és kémiai kondíciójából származó) és külső (külső környezet víz-telítettsége) erők nézőpontjából (Smith and Németh 2017). Jobbra a belső erők dominanciáját, míg felfelé a külső erők dominanciáját látjuk. A sematikus vulkán keresztmetszetek a lehetséges vulkán típusokat jelölik. M – magmás monogenetikus vulkánok, PH – freatomagmás monogenetikus vulkánok, MIX – kevert monogenetikus vulkánok, mf^{high} – magas magmáutánpótlási érték, mf_{low} – alacsony magma utánpótlási érték, 1 – növekvő méretű salak és lávafröccs-kúpok, 2 –

<i>salakkúpok freatomagmás eredetű bázisrétegekkel, 3 – freatomagmás vulkánok vékony magmás fedővel, 4 – jól kifejezett freatomagmás vulkánok magmás kráterkitöltéssel, 5 - jól kifejezett freatomagmás vulkánok túlságosan megnőtt magmás fedővel, 6 – jelentős méretű freatomagmás vulkán, vagy vulkán komplexum kráter kitöltő magmás vulkáni kúppal vagy kúppokkal, 7 – különböző méretű dominánsan freatomagmás vulkán formák.</i>	82
<i>41. ábra - Monogenetikus vulkanizmus elvi modellje. A) Vulkanai formák, amelyek alapvetően mélyből közvetlenül a felszínre kerülő magmákkal kapcsolatosak. A vulkán komplexitását a lehetséges feláramlási csatornák száma és a lehetséges magma felhalmozódási helyek mérete és helyzete adja. B) Kis térfogatú vulkánok kapcsolata egy központi vulkánnal. Szűkebb értelemben azokat a kis vulkánokat, amelyek magmatológiai és fizikai kapcsolatban vannak a központi kürtő rendszerrel, nem tekintjük monogenetikus vulkánoknak (Németh and Kereszturi 2015).</i>	83
<i>42. ábra – Peperit típusok és azok keletkezési körülményei a BBHVF freatomagmás vulkánjainak tanulmányozása alapján (Martin and Nemeth 2007).</i>	86
<i>43. ábra – Freatomagmás monogenetikus vulkánok a Zélandia mikrokontinensről, amelyeket munkám során részletesen tanulmányoztam (Németh and Kósik 2020b).</i>	88
<i>44. ábra - Az Ambrym (Vanuatu) vulkáni sziget rift menti zónájában 1913-ban született maar vulkán és annak komplex piroklasztit sorozata (A és B) arról tanúskodik, hogy a kitörés több központból működött, de alapvetően rövid ideig (napok) (Németh and Cronin 2011). A kitörés során a kürtő helyzete is változhatott létrehozva jellegzetes szögdiszkordancia elemeket a rétegsorban (C). A tufagyűrű rétegtanilag alsó és felső helyzetű freatomagmás sorozatát (PH1 és PH2) egyinkább magmás bazaltsalakban gazdag egység választja el, jelezvén, hogy a magma-víz aránya megváltozhatott a kitörés rövid története alatt (D).</i>	90
<i>45. ábra – A Harrat Al Madinah (a Harrat Rahat vulkánmező része) vulkanológia alapú földtani örökség modellje (Moufti and Németh 2013).</i>	93
<i>46. ábra – A Cerro Overo maar (észak Chile) maar vulkán kitöréstörténete (Ureta et al. 2021).</i>	96
<i>47. ábra – A vulkanizmus vulkán geológiai modellje, amely mind a monogenetikus, mind a poligenetikus vulkáni rendszerekre alkalmazható a földtani térképezésben (Németh and Palmer 2019).</i>	98

dc_1993_22

Chapter 1 Előzmények és a kutatásaim célkitűzése

Az alábbi dolgozatomban összefoglalom az 1995 óta végzett tudományos és egyetemi oktatói munkásságom legfontosabb eredményeit, amelyeket elsősorban vulkán geológiai témákban értem el. Ez a disszertáció nem születhetett volna meg a munkám során elnyert posztdoktori támogatások, a külföldi tudományos együttműködések és a sikeres nemzeti pályázatok érdemi segítségével nélkül.

A dolgozat első részében rövid módszertani leírást állítottam össze, amelynek részletes összefoglalása az általam írt könyvben (lásd **1. melléklet**, a cikk az alábbi oldalról letölthető: [<https://drive.google.com/file/d/1YR2BhAlI3yeuxa8d5rUVVvs4-d94Es6a/view?usp=sharing>]) található meg (Németh and Martin 2007). A dolgozatomban különös hangsúlyt kap a monogenetikus vulkanizmus globális tárgyalása, és az ebben a témakörben elért saját eredményeim ismertetése és azok értelmezése (Németh 2010a; Németh and Kereszturi 2015; Smith and Németh 2017).

Már a kutatói tevékenységem kezdetétől fogva kulcsszerepet játszott a magma és a víz kölcsönhatásának szisztematikus vizsgálata és a meghatározó szerepének felismerése a monogenetikus vulkáni folyamatokban (Németh and Kósik 2020a).

A dolgozat fő részét a saját eredményeim és publikációim alapján a monogenetikus vulkanizmusról alkotott nézeteimről összeállított fejezet képezi (Smith and Németh 2017) (lásd a dolgozat **2. mellékletét** – a cikk az alábbi oldalról letölthető: [https://drive.google.com/file/d/1Lw2hs1kRL1xSViPBOxJn5FnYqzG692_k/view?usp=sharing]).

A disszertáció harmadik részében szemelvényyszerűen áttekintést adok arról a széleskörű tudományos tevékenységemről, amely az elmúlt években a legfontosabb kutatási eredményeim elérését lehetővé tette. A terjedelmi megszorítások miatt ebben a fejezetben csak a legjelentősebb eredményekről számolok be, illetve az ezekkel legszorosabb kapcsolatban lévő publikációkat csatoltam be a dolgozat mellékletébe.

Tekintettel arra, hogy Nyugat-Magyarország pliocén-pleisztocén freatomagmás vulkanizmusának a megismerésében és a vulkánmezők részletes leírásában úttörő szerepet játszottam, ezért ebben a témakörben megírt könyvemet (Martin and Németh 2004a) szintén csatolom a dolgozatomhoz (lásd **3. melléklet**, a cikk letölthető az alábbi oldalról: [<https://drive.google.com/file/d/1K0FDvM3JH3zadbUrQyqDIFPM2URtabtU/view?usp=sharing>])).

A dolgozatom végén a monogenetikus vulkanizmus jelenségeit a földtani érték védelmének szemszögéből tárgyalom, számos általam alkalmazott módszer bemutatásával, illetve ismertetésével. Ezen belül rámutatok a monogenetikus vulkánok olyan előnyeire, amelyek a környezetünk védelmében és észszerű alakításában és jobb megismerésében (pl. geopark tervezés, geodiverzitás becslések stb.) fontos szerepet játszanak (Moufti et al. 2013b; Németh and Moufti 2013; Németh and Moufti 2017; Németh et al. 2017; Németh et al. 2021d).

A dolgozatomban figyelembe vett eredmények egyaránt nemzetközi folyóiratokban közölt – ebből is adódóan – igazoltan saját eredményeknek kell tekinteni. Itt kell megjegyezni, hogy sok esetben a közölt munkák társszerzős publikációkban foglaltak, de azok leggyakrabban az általam elnyert pályázatokban szereplő, vagy az általam témavezetett PhD diákokkal közösen elvégzett tudományos munkák termékei. Ugyanakkor lényeges azt is kiemelni, hogy a sikeres projekt eredeti tudományos ötlete és a pályázat összeállítása szinte kivétel nélkül az én szellemi termékemnek tekinthető.

Végül a dolgozat minél egyszerűbb kezelése érdekében – mivel ebben a dolgozatban több könyv és 132 Web of Science adatbázisban szereplő tudományos cikk szerzőjeként szerepelek – az ábraanyagok többségét a már megjelent publikációimból vettem át, azokra hivatkozva, megtartva azok angol nyelvezetét, amit ezek után a képaláírásokban „magyarosítottam”.

Chapter 2 Alkalmazott módszerek

A geológus diplomámból adódóan a kutató munkám idejének jelentős részét terepi munkával töltöttem. A földtani térképezéseim és a típus feltárások dokumentálása során, a geológia alaptörvényeit követve, a rétegtani módszereket használtam (Martí et al. 2018; Németh and Palmer 2019). A terepi megfigyeléseim során gyűjtött földtani adataim értelmezéséhez rendszeresen különböző kőzettani és geokémiai módszert is alkalmaztam, amely vizsgálatok leginkább a tanulmányozott vulkanizmus termékeinek horizontális és vertikális változékonyságának megállapítására irányultak (Brenna et al. 2010b; Kereszturi et al. 2010b; McGee et al. 2012b; Németh et al. 2012a; Németh et al. 2012d; Sohn et al. 2012; Brenna et al. 2015b; Tchamabe et al. 2015; Chako Tchamabé et al. 2020) Ezeknek a vizsgálatoknak minden esetben az volt a célja, hogy megértsem a vulkanizmust tápláló magmás tevékenység forrását és annak kéreg szintű változásait, és ezáltal felismervén egy vulkáni tevékenység "egyszerűségét", azt a monogenetikus vagy poligenetikus aspektusba tudjam elhelyezni (Smith and Németh 2017).

A kutatásaim során különböző szemcseméret tanulmányozásával (pl. hamu mérettartomány) próbáltam felismerni a vulkáni törmelékes kőzeteket létrehozó vulkáni folyamatokat. Ezeknek a vizsgálataimnak a mérési eredményeit összevettem a magma keletkezésének körülményeivel, annak kigázosodásának fragmentációjának, és a piroklaszt - szállítás, majd a felhalmozódás során keletkező szöveti és morfológiai elemek rétegtanilag korrelálható elemeivel. A vulkanológiai kutatások gyakorlati munkáinak lépéseiről először egy előadássorozat kiadványt készítettem, mely egy gyakorlati vulkanológiai kurzus alapjait teremtette meg (Németh and Martin 2001), majd ezt a munkát egy nyomtatott és elektronikus kötetben rögzítettem (Németh and Martin 2007), mely módszertani lépéseket a dolgozatomban folyamatosan követtem (**1. melléklet** – a cikk letölthető az alábbi oldalról: [<https://mro.massey.ac.nz/handle/10179/9827>]). A gyakorlati vulkanológia tanítását közvetlenül egyetemi előadássorozatokban, illetve nemzetközi rövidkurzusok formájában is bemutattam többek között, Argentínában, Chilében, Kolumbiában, Kínában, Japánban, Új-Zélandon és természetesen Magyarországon. A gyakorlati vulkanológia mint kurzustéma a módszereimet követve a megjelent kötet(ek) alapján széleskörben terjedt el és került egyetemi kurzusok anyagává többek között Indiában, Dél-Koreában, Chilében, Szaúdi-Arábiában, Egyiptomban.

Különösen a vulkán morfológiában (Németh et al. 2007c; Thouret and Németh 2011), a piroklaszt szemcse alakokban (Németh 2010b; Németh and Stewart 2010; Pardo et al. 2014), és a monogenetikus vulkanizmus geológiai értelmezésében (Kereszturi et al. 2013a) és annak vulkáni veszély térképezésében (Kereszturi et al. 2014b) valamint a geodiverzitás becslésében (Zakharovskyi and Németh 2021) alkalmaztam olyan új módszertani elemeket, amelyek azóta ezeknek a kutatási területeknek a fejlődését jelentős mértékben felgyorsította illetve meghatározta. Ezek a módszertani újításaim a doktorandusz diákjaim számára lehetővé tették, hogy az eredeti ötleteimet különböző vulkáni területeken személyesen kipróbálják, majd idővel tovább is fejlesszék azokat.

Kutatásaim legfontosabb módszertani eleme, hogy minden esetben alkalmaztam a geológia rétegtani módszereit, és azokat összekapcsoltam a vulkáni kőzetek szöveti vizsgálatával, megteremtve a vulkáni folyamatok időbeli és térbeli változásának követését. Ezt nemcsak terepi léptékben, hanem a terepi, feltárásszintű és mikroléptékű információk integrációjával a vizsgált vulkáni szerkezet egészére alkalmaztam. Elsők között folytattam olyan vulkanológiai kutatásokat, melyek figyelembe vették a lehetséges maximum kinyerhető információkat a mikro- és makró-szintű megfigyelésekből, elkülönítve a magma forrásáról, keletkezéséről annak felszínre vezető útjáról, kristályosodásáról, fragmentációjáról és annak kigázosodásáról kapható képeket, a piroklaszt szállítás, leülepedés, és a változatos áthalmozódási folyamatokra utaló információktól. Ez a módszer lett az alapja számos általam kezdeményezett, és vezetett monogenetikus vulkánok terepi vulkanológiai vizsgálatának. A fenti gondolatokat később összefoglaltam egy módszertani cikkben, mely az idős és fiatal vulkáni területeken történő geológiai térképezések különbözőségére mutat rá. A monogenetikus vulkánok szisztematikus vizsgálatával pedig kidolgoztam egy olyan geológiai alapokra helyezett földtani örökség érték becslési módszert, mely tökéletes összhangban van a monogenetikus vulkánokról felhalmozódott ismeretanyagainkkal.

Chapter 3 Monogenetikus vulkanizmus

Ebben a fejezetben összefoglalom a saját kutatásaim alapján felépített monogenetikus vulkán geológiai modelljét. Ez a fejezet alapvetően három nemzetközi rangos szaklapban megjelent írásra alapul (Németh 2010a; Németh and Kereszturi 2015; Smith and Németh 2017). A tézisemben egy általam készített kézikönyvben lefektetett terminológiát és fizikai vulkanológiai módszereket használtam (**1. melléklet**). A monogenetikus vulkanizmus modelljét a fent említett három publikációra alapoztam. Ezekből a cikkekből válogattam a legreprezentatívabb ábrákat, és azokat eredeti angol nyelven megtartva, magyar ábraalírásokkal egészítettem ki. A fejezetben említett példák mind olyanok, amelyekben aktívan dolgoztam. A későbbiekben azokról külön tudományos cikkek sorozata jelent meg. Az egyes területekről származó kutatásai eredményeimet e fejezet után adom önálló fejezetekre bontva, régiókként bontásban. A fejezet végén, a monogenetikus vulkanizmus új, általam kidolgozott modelljét, egy rangos szaklapban megjelent cikket csatoltan bocsájtok az olvasó rendelkezésére (**2. melléklet**).

Miért is fontos a monogenetikus vulkanizmus tanulmányozása? Ezáltal hogyan járulhatunk hozzá a vulkanizmus pontosabb megismeréséhez? Önmagában a monogenetikus vulkanizmus azonosítása nem egy terminológiai kérdés, hanem egy igen összetett geológiai probléma, melynek megoldása óriási segítséget adhat az egész vulkanizmus megértéséhez. Monogenetikus vulkánok igen kis térfogatú magmából táplálkoznak, ami önmagában is egy érdekes tudományos kérdést vet fel, mégpedig azt, hogy hogyan lehet mozgásban tartani ilyen kis mennyiségű olvadékot, hogy az sikerrel el is jusson a felszínre? Monogenetikus vulkánok időben gyorsan születnek, és kitörési formájuk ugyan lehet változatos, de azok alapvetően egyszerűek (Németh 2010a). Ez azt jelenti, hogy egy monogenetikus vulkán egésze használható összehasonlító tanulmányokban, ahol egy monogenetikus vulkán teljes története összemérhető egy poligenetikus vulkán kitörési epizódjaival. Leegyszerűsítve, egy monogenetikus vulkáni folyamat megértése komolyan segíthet egy komplex, poligenetikus vulkán fejlődésének megértésében is.

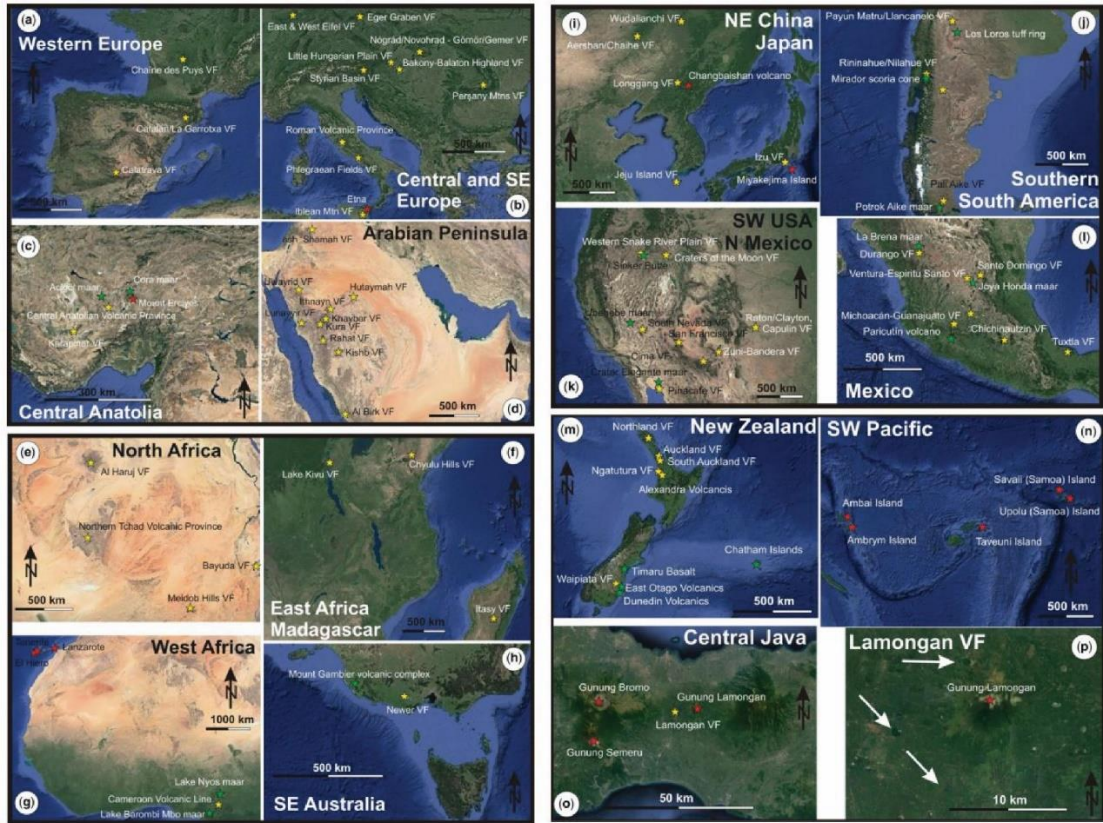
Monogenetikus vulkanizmus kutatásának ugyancsak fontos eleme, az őskörnyezet rekonstrukció, azaz annak vizsgálata, hogy milyen kitörési környezetek hathattak a vulkáni folyamatokra. Mivel kis térfogatú magma szerepéről van szó, elmondhatjuk, hogy a környezet hatása jelentős lehet a vulkán kitörési típusaira, azaz a monogenetikus vulkanizmus azonosítása a földtörténetben fontos őskörnyezeti információval segíthet a geológiai kutatásokban.

Monogenetikus vulkanizmus azonosítása, vagy annak elkülönítése a poligenetikus vulkanizmustól fontos földtörténeti információval bír, mert egy egész terület geológiai értelmezésében segítséggel szolgálhat.

Munkásságom során, saját kutatásaimra alapozva fogalmaztam meg, hogy a monogenetikus vulkanizmus, mint geológiai koncepció egy igen praktikus geológiai fogalom (Smith and Németh 2017). Ezzel nyilván nem mindenki ért egyet. Vannak, akik kerülik e definíció használatát azzal érvelve, hogy bőven elegendő egy vulkánt csupán annak létrehozásában számottevő magma térfogata szerint „kicsinek” vagy „nagyoknak” nevezni. Sajnos a témáról gyakorlatilag nincs számottevő publikált anyag. Bár saját kutatásaimban is gyakran használtam a „kicsi” – „nagy”

vulkán elkülönítését, a munkám során szinte minden alkalommal arra a következtetésre jutottam, hogy a monogenetikus vulkán/vulkanizmus leírása egy konkrét definíció helyett egy egész geológiai modellt ad a felhasználó kezébe, ami inkább, mint geológiai koncepciót, mintsem konkrét axiomatikus definíciót jelent (Smith and Németh 2017). Két évtizedes kutatómunkám során világossá vált bennem, hogy a monogenetikus vulkanizmus olyan extra jelentéssel bír, ami túlmutat a puszta definíciónál, az egy használható geológiai képet ad a geológus kezébe.

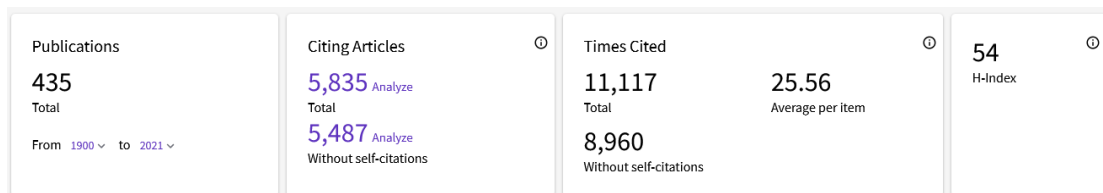
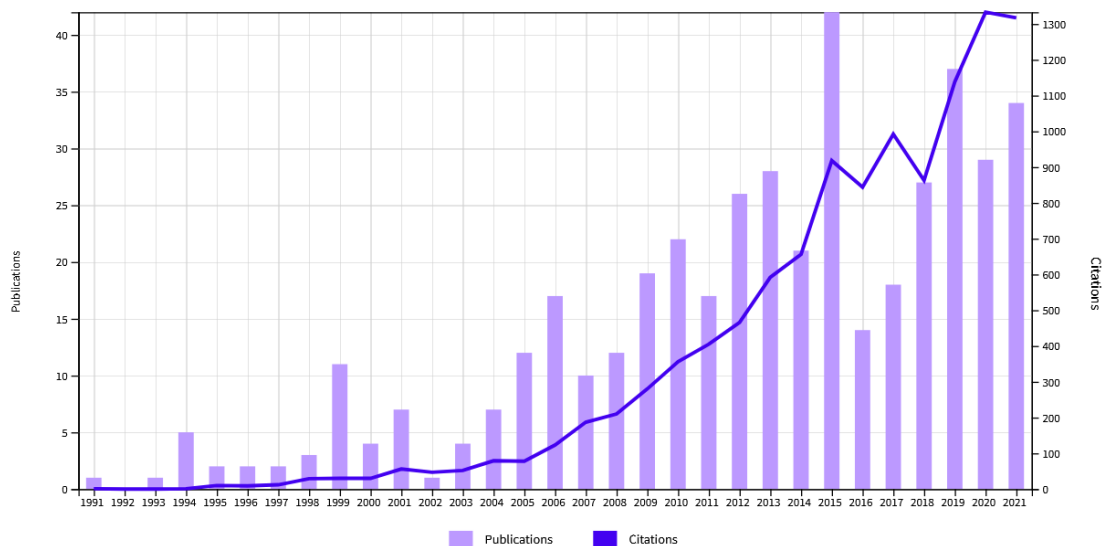
Monogenetikus vulkanizmus leggyakoribb formája, amikor kis térfogatú, és rövid életű, többnyire bazaltos magma által létrehozott vulkánok csoportja egy vulkánmezőt alkot (Németh 2010a; de Silva and Lindsay 2015; Valentine and Connor 2015). Míg egy vulkán aktív élete rövidnek tekinthető és azt a néhány órától akár néhány évig tartó vulkán aktivitás jellemzi, maga a vulkánmező legtöbb esetben évtizedekben, de akár évmilliókban is mérhető élettartammal bír (Valentine and Connor 2015). Ez a vulkánmezők életére jellemző tulajdonság nagyban hasonlít egy tipikus rétegvulkán életének eseményeivel és működésének időtartamával, azzal a különbséggel, hogy a vulkánmezők működése során nem jön létre tartósan stabil magma feláramlási zóna, ellentétben az évezredekig stabil kürtők jelenlétével rétegvulkánok esetében (Sigurdsson 2000). Ugyancsak érdekes összehasonlítás egy tipikus monogenetikus vulkánmező és egy poligenetikus vulkán (pl. rétegvulkán) teljes élete és annak során létrejött kitörési termékek térfogata közötti kapcsolat (Sigurdsson 2000). Míg egy tipikus monogenetikus vulkán teljes élete során jellemzően több nagyságrenddel kevesebb kitörési terméket produkál egy poligenetikus rétegvulkánnál, azért a vulkánmezők teljes magma produktivitása már összemérhető egy poligenetikus rétegvulkán produktumával (de Silva and Lindsay 2015). Mindez arra utalhat, hogy hasonló magma generáló folyamatokkal állhatunk szemben, de karakterisztikusan különböző felszínre vezető, a litoszféra fizikai állapotát tükröző állapotok lehetnek felelősek e két különböző vulkán fejlődési lehetőségen. Ilyen szempontból elmondható, hogy a monogenetikus vulkánok vizsgálata egyedi vulkán szinten fontos információt adhat ahhoz, hogy az elsődleges, mélyforrású magma hogyan indul útnak, arra milyen hatással van a litoszféra kémiai és fizikai állapota (Smith and Németh 2017). Mivel monogenetikus vulkánok nagy számban fordulnak elő szinte minden geotektonikai és öskörnyezeti helyzetben, azok vizsgálata nagyban segít a vulkanizmus egy globális alapvető folyamatának megértésében (1 ábra).



1. ábra – Reprezentatív fiatal (poszt-miocén) monogenetikus vulkánmezők Földön (Smith and Németh 2017). Sárga csillagok vulkánmezőket, míg a vörös csillagok olyan poligenetikus vulkánokat jelölnek, amik mellett monogenetikus vulkánok is találhatóak. Zöld csillagok széleskörben ismert monogenetikus vulkánokat jelölnek ki. A térkép nem teljes, csak reprezentatív képe a monogenetikus vulkánok sokaságának.

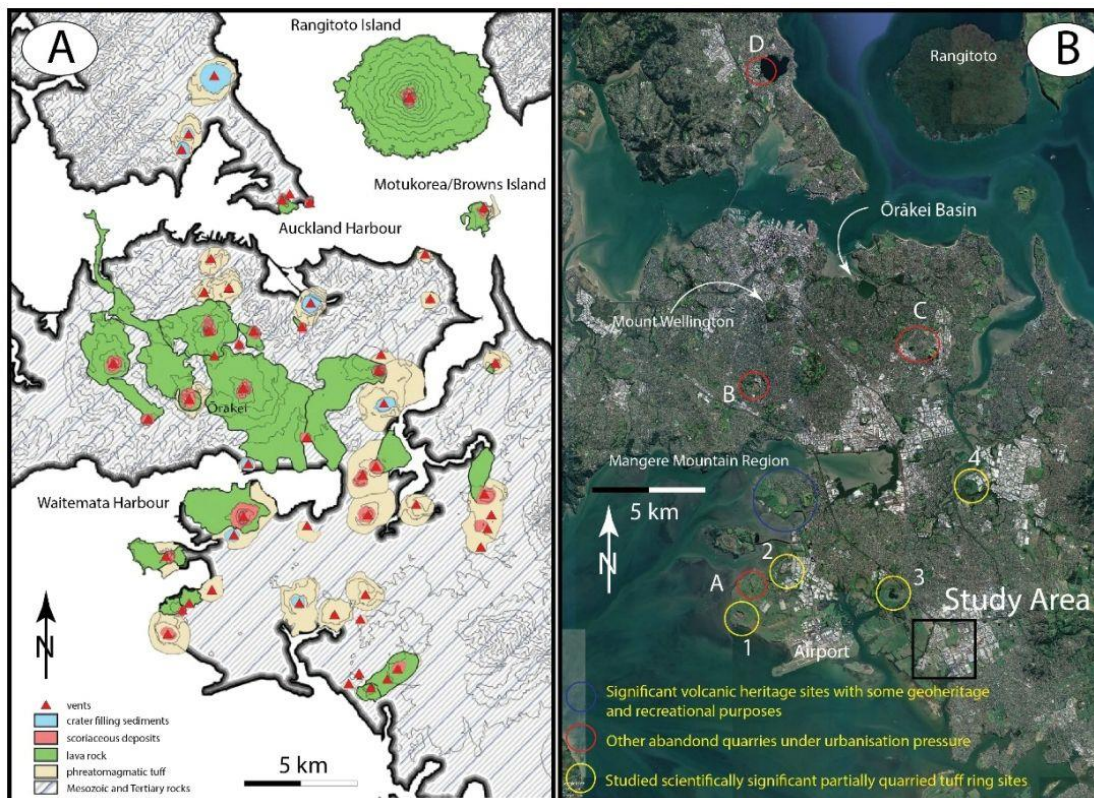
Ebben a fejezetben ezt a koncepcionális keretet mutatom be a saját eredményeim és vizsgálataim alapján, beillesztve mindezt abba az ismeretanyagba, ami az elmúlt évtizedekben felhalmozódott, és jobbra a saját kutatásaim eredményeként az elmúlt 20 évben hihetetlen fejlődésen ment át. Azt mondhatjuk, hogy a monogenetikus vulkanizmus a vulkán geológiai kutatások egyik húzó eleme lett, és ezen kutatásokon keresztül egy olyan vulkán modell született, mely segítségével a vulkáni veszélyeztettség vizsgálata is új szintre lépett (Molloy et al. 2009; Kereszturi et al. 2014a; Kereszturi et al. 2014b; Bartolini et al. 2015; Deligne et al. 2017; Kereszturi et al. 2017; Hayes et al. 2018; Nieto-Torres and Martin Del Pozzo 2019) (2. ábra).

dc_1993_22



2. ábra – A monogenetikus vulkanizmus témában megjelent cikkek száma és az azokra kapott hivatkozások a Thomson Reuters Web of Science Teljes Adatbázisán, „monogenetic volcanism” keresésre. A keresés 2021 november 21-én történt.

Mivel monogenetikus vulkánmezők gyakran olyan területek, ahol a civilizáció fejlődésével jelentős városiasodás indult meg (3. ábra), vagy éppen a vulkánmezőkhöz kapcsolódó kitűnő talajviszonyoknak köszönhetően mezőgazdasági területek alakultak ki (4. ábra), a vulkánkitörés előrejelzésében, és egy esemény alapú vulkáni veszélyeztettség térképezés megtervezésében a vulkanológia tudománya az elmúlt 20 év során soha nem látott fejlődésen ment keresztül (Belousov et al. 2010; Bebbington 2015; Runge et al. 2016; McDonald et al. 2017; Hayes et al. 2018; Nieto-Torres and Martin Del Pozzo 2019; Ang et al. 2020; Agustin-Flores et al. 2021; Hopkins et al. 2021). Saját munkásságom ehhez adott fontos vulkán geológiai adatokat, a jelen fejezetben kifejtett koncepcionális modell felépítése mellett.



3. ábra – Auckland vulkánmező képe a fő vulkáni képződményekkel (A). Auckland városa szinte teljesen lefedi az Auckland vulkánmezőt, és a városiasodás fokozatosan változtatja meg a vulkánmező képét. A körök azokat a helyeket jelölik, melyek fontos vulkáni földtani örökséget képeznek, de veszélyben vannak a város terjeszkedése miatt (Németh et al. 2021d). A fekete négyzet a Wiri vulkánt mutatja, ami ugyan az egyik legérdekesebb monogenetikus vulkán, szinte teljesen le lett fejtve.



4. ábra – Dél-Auckland vulkánmező sekély maar vulkánjait a mezőgazdasági területeken csak nehezen lehet megkülönböztetni a háttér dombos vidékétől (Németh et al. 2012a). A felső képen a Pukekohe East maar látképe látható kelet felől, míg az alsó kép a maar vulkánt mutatja GoogleEarth Pro űrfelvételen (fehér vonalak mutatják a nézőpontot).

A monogenetikus vulkanizmus kutatása ugyanakkor fontos építőkövet adott a vulkán geológiai alapokon álló üledékes medencék és azok fejlődésének vizsgálatában is (Németh and Palmer 2019). Ugyan a monogenetikus vulkánok méretüknél fogva nem játszhatnak fontos szerepet egy üledékes medence fejlődésében, viszont pontosan a kis méretük miatt azok jelentős környezetindikátorok lehetnek, hiszen a kitörésük során a kis térfogatú magmára az üledékes környezet és annak hidrogeológiája jelentős és pillanatszerű hatással lehetnek (White 1989; White 1990). Ennek a problémának a felvetése és első szisztematikus vizsgálatok elvégzése az én kutatómunkámnak volt köszönhető az elmúlt évtizedben. A vulkánmezők ezirányú szisztematikus vizsgálata különös tekintettel az olyan vulkánmezőkre, melyek az elmúlt 20 millió évben működtek a munkásságom alapján indult el, és folyamatosan robbanásszerű fejlődésen esett át. A vulkánmezők ezirányú vizsgálata fontos indirekt, de tény alapú adatokkal szolgált globális környezet és klíma változások felismerésében.

3.1 Monogenetikus vulkanizmus modellje

Vulkánmezők szinte minden geotektonikai és öskörnyezeti viszonyok között ismertek a földtörténet szinte bármely szakaszában. Ettől függetlenül, vulkánmezőket, így az azokat létrehozó kis térfogatú és rövidéletű vulkánokat leginkább kontinentális lemezen belüli, ún. intrakontinentális geotektonikai és teresztriális környezethez kötik a kutatók nagyrésze (Németh 2010a; de Silva and Lindsay 2015). Monogenetikus vulkanizmusról és annak pontos definíciójáról csak ritkán találunk említést a 90-es évek előtt (Walker 1993), majd azután is elsősorban a kontinentális bazaltvulkánmezőkkel kapcsolatban merül fel ez a név és definíció (Valentine and Gregg 2008b). Ennek oka elsősorban abban keresendő, hogy korábban ezen vulkánok tanulmányozása háttérbe szorult a jelentősebb vulkáni veszélyforrást jelentő poligenetikus, kompozit vagy rétegvulkánok mögött. A monogenetikus vulkánok tanulmányozásának reneszánszát a 70-es évekre tehetjük, amikor a NASA holdprogramjának keretében és annak melléktermékeként a kisméretű teresztriális kráterek vizsgálata a geológiai vizsgálatok egyik meghatározó eleme volt, bár azokat elsősorban morfológiai jellegük miatt vizsgálták (Wood 1977; Wood 1980a; Wood 1980b), így ritkán vagy egyáltalán nem a mai értelemben vett monogenetikus vulkán koncepció perspektívájából. Ebben az időszakban leginkább az ún. salakkúpok vizsgálata jelentette a vulkanológia egyik frontvonalát, azok kitörési mechanizmusának megismerése és a salakkúpok morfológiai elemeinek vizsgálatán keresztül (Wood 1980b; Hasenaka 1981; Hasenaka and Carmichael 1985; Hasenaka and Anonymous 1988; Inbar et al. 1994; Bemis et al. 1997). A Föld több pontján is, de különös tekintettel az Észak-Amerikai kontinens nyugati peremén létrejött több tucat miocén kor után keletkezett salakkúp mezők, illetve a Hawaii fiatal (pleisztocén – holocén) hasadékminti salakkúp vulkánjai adták a kutatások fő témáját (Wood 1980b). A vulkánmezők ilyenformán nyilvánvalóan olyan vulkánok halmaza, melyek nagyon rövid idő alatt születtek, és vulkáni szerkezetük egyszerű, "emberi méretű", kitűnő alapot adva arra, hogy azok szisztematikus tanulmányozásával mind a kitörési mechanizmus nagyfelbontású képét és azok lepusztulásának részleteit lehessen megadni. Monogenetikus vulkánmezők gyakran egyedi kis térfogatú vulkánok csoportja, ahol a vulkánok vagy kisebb, de jól elkülöníthető csoportokat alkotnak, vagy azok éppen jól lehatárolható vonalak mentén találhatóak (Connor et al. 1992; Condit and Connor 1996; Valentine et al. 1996; Conway et al. 1997; Conway et al. 1998; Connor et al. 2000; Valentine et al. 2005; Valentine and Perry 2006; Valentine et al. 2006). A legtöbb vulkánmezőn gyakran csak a legfiatalabb vulkánokról van közvetlen megfigyelés alapú ismeretünk, a vulkánok kitörési idejének meghatározása gyakran csak indirekt, üledékföldtani alapokon lehetséges, így jelentős bizonytalansági tényezőt alkotva azok kitörési mechanizmusának megértésében. A vulkán geológia alapú megközelítésben, geológiai térképezéseken át, majd a kitörési termékek – és azokon belül is az ún. juvenilis – piroklaszt és láva mennyiségi meghatározásával lehetséges megadni, hogy egy tipikus monogenetikus vulkán milyen mennyiségű kitörési terméket produkált. Az ún. tömör kőzet ekvivalens (DRE) meghatározásával azt láthatjuk, hogy egy tipikus monogenetikus vulkán valóban kis mennyiségű magma felszínre jutásával született, és annak teljes magmamennyisége a $0.001 - 0.1 \text{ km}^3$ mennyiségben fejezhető ki, és csak igen ritkán találkozhatunk ennél nagyobb értékekkel (Németh 2010a). Több szerző is egyetért abban, hogy az 1 km^3 -nél nagyobb magma jelenlétére utaló vulkánkitörések már hosszabb ideig kellett, hogy tartsanak, és azokat egy átlagos kőzettelér geometriájával számolva, több magma csomag

felszínre jutása hozhatta létre (Smith and Németh 2017). Ezekkel a tapasztalati adatokkal számolva világos, hogy egy ilyen típusú kitörés és az általa létrehozott vulkáni felépítmény nagyságrendekkel kisebb, mint egy tipikus rétegvulkán, mely évezredekig működhetett, több és változatos kitörés típusokat produkált, felépítve az aktív kürtő körül/felett egy komplex vulkáni szerkezetet, mely elkerülhetetlenül poligenetikus kell, hogy legyen. Azonban nem ritka az olyan vulkánmező sem, ahol a vulkanizmus során leginkább lávaöntő kitörések voltak jellemzőek (Cas 1989; Boyce 2013), gyakran nagyszámú vulkánból kiindulva hosszú idő alatt már egy tipikus poligenetikus vulkán produktivitásával megegyező kitörési terméket találhatunk.

A monogenetikus vulkánok kutatásában ugyancsak a 70-es évek elején élénk vita alakult ki a kontinentális területeken található mély kráterek keletkezéséről, és először merült fel, hogy azok a magmás gázok helyett inkább a magma és a víz robbanásos kölcsönhatásának eredményeként, ún. freatomagmás robbanások során, az azokat követő kirobbantott anyaghiány miatt kialakuló beszakadásokra vezethetők vissza (Lorenz et al. 1970). Ez a modell számos kritika ellenére mind a mai napig az egyik legmeghatározóbb modell ezen kráterek keletkezésére (Lorenz 1973, 1985, 1986), amit mind kontrollált analóg kísérletekkel, numerikus számításokkal és közvetlen megfigyelések alapján, de számos közvetett adat (későbbi fejezetekben lesz erről szó) alapján is bizonyítottak (Zimanowski et al. 1986; Lorenz 1987; Zimanowski et al. 1991; Zimanowski et al. 1997; Kurszlaukis et al. 1998; Buettner et al. 2002; Valentine et al. 2014; Sonder et al. 2015; Graettinger and Valentine 2017). A vulkánmezők vizsgálata során egyszerre lett fontos felismerni, és elkülöníteni az ún. magmás gázok és a freatomagmatizmus során keletkezett kitörési formákat, azok felszíni és felszín alatti termékeit. Az idősebb vulkánmezők, melyek jelentős lepusztuláson estek át kitűnő tanulótérpepei lettek kis térfogatú, monogenetikus vulkanizmus létrehozó kitörési mechanizmus mind pontosabb leírásában. Az arizonai Hopi Buttes e kutatások egyik meghatározó területe lett (White 1989, 1991b), noha Európában, így a Kárpát-medence jelentős területein az ez irányú kutatások a 20. század elején már meghatározó geológiai kutatások voltak, legalábbis azok leíró jellegében. A saját munkásságom mutatta be a freatomagmatizmus szerepét a Nyugat-Pannon-medence miocén utáni monogenetikus vulkanizmusában, és tette e terület vulkánmezőit a globális vulkanológia látóterébe (Martin and Nemeth 2004).

A monogenetikus vulkánformák (gyakran felszínformáknak nevezve, bár ez nem a legszerecsesebb kifejezés, mert különösen az elmúlt évtizedben számos tenger alatti vulkánmező is felfedezésre került, így azok nem nevezhetők szűkebb értelemben felszínformáknak) változatos megjelenése ilyformán a "száraz" és "nedves" kitörési környezetre utalva alapvetően két típusba sorolhatók a salakkúpoktól a tufagyűrűkön és maarokon át a tufakúpokig, mind saját, viszonylag egyszerű rétegtanával. A "nedves" folyamatok (pl. freatomagmatizmus) által létrehozott vulkánformák látványosan különböznek a "száraz" folyamatok során született vulkánformákhoz, azok rétegtanától. Megfigyelhető egy alapvetően ballisztikusan kirobbantott piroklaszt szállító és lerakó folyamatoktól a finomszemcsés hullott piroklaszt keletkezésén át egy alapvetően a felszínnel párhuzamosan mozgó piroklaszt torlóár üledékekkel jellemezhető vulkánforma (Vespermann and Schmincke 2000; White and Houghton 2000). A freatomagmatizmus szerepének felismerése különösen fontos, hiszen az közvetlenül kapcsolatba hozható egy vulkánmező fejlődése során bekövetkezett környezeti változásokkal. E témában saját kutatásaim során sok időt töltöttem a Föld különböző vulkán mezőjén, felismerve ennek jelentőségét a legkülönbözőbb geotektonikai környezetekben

(Németh and Kósik 2020a, b). A freatomagmatizmus szerepét számos helyen kiemelték, ahol olyan környezeti változások történtek a vulkánmező élete során, amik a vulkánmező hidrológiáját és/vagy annak hidrogeológiáját változtatta meg hosszú távon (Aranda-Gomez and Luhr 1996; Németh et al. 1999; Nemeth et al. 2001; Siebe et al. 2005; Kereszturi and Nemeth 2011; Kereszturi et al. 2011b; Kereszturi et al. 2014b). Több tanulmányomban is felhívtam a figyelmet a freatomagmatizmus szerepére, és az általa létrehozott vulkánformák változékonyságára, azok vulkáni szerkezetében tapasztalható hatalmas variabilitásra (Németh and Kósik 2020b). Hasonló konklúziókat vonhatunk le különösen az idősebb, lepusztult, az egykori vulkánok belső szerkezetét feltáró területeken is (White 1991b) természetesen jelezve, hogy ugyan egyszerű, rövid életű és kis térfogatú vulkánok, amiket monogenetikus vulkánok közé sorolhatunk, de azok változatossága lényegesen nagyobb annál, mint azt akár két évtizede is gondolt a vulkanológus társadalom (Lefebvre et al. 2012; Lefebvre et al. 2016; Muirhead et al. 2016; Re et al. 2016; Latutrie and Ross 2019; Latutrie and Ross 2020, 2021). Saját kutatásaim során fokozatosan jutottam mind mélyebbre ezen komplexitás megértésében, lehetőséget látva arra, hogy egy tény alapú koncepciók modellt hozzak létre. A hidrológia mellett a vulkánmezők hidrogeológiája, név szerint a vulkánmező alatt található geológiai szerkezetek, azok permeabilitása, víztároló képessége és kőzettípusa ideértve a kitörési környezet felszíni és felszín alatti fizikai és kémiai jellegeit, mind egy fontos paraméterré vált a kialakuló vulkánformák szempontjából (Lorenz 1986). Ugyan e kutatások is első körben általánosságokba foglalták a megfigyeléseket, kissé olyan érzést keltve a kutatókban, hogy egyszerű, és egyértelmű, akár matematikai módszerekkel is kifejezhető összefüggés rajzolható a vulkán forma, annak vulkáni szerkezete, kitörés típusa(i) és a külső tényezők között. Ezen kutatásokba a munkásságom a világon egyedülálló, és egy teljesen új megközelítési módot adott a monogenetikus vulkánok változatosságának megértéséhez (Smith and Németh 2017).

A legtöbb monogenetikus vulkán tanulmány alapvetően fiatal vulkánokra koncentrált, alapvetően azért, mert azok gyakran olyan területekre estek, ahol városok, vagy más emberi tevékenység történik, így a lehetséges vulkánkitörések előrejelzése mintegy kulcskérdés (Pardo et al. 2008; Pardo et al. 2009; Schmincke et al. 2010; Agustin-Flores et al. 2011b; Alberico et al. 2011; Hopkins et al. 2021). Ezen kutatások, különösen a megfigyelt és leírt aktív kitörések a piroklaszt szállítás és felhalmozódás nézőpontjából vizsgálta a monogenetikus vulkánokat, abból leszűrve a vulkanizmussal egyidős és a közvetlenül azután, vagy sokkal később történt üledékföldtani jelenségeket. Sok esetben, még egy megfigyelt vulkánkitörés esetében is kulcsproblémák merültek fel amikor a megfigyelési adatokat próbálták összefüggésbe hozni a térképezett és leírt kitörési termékek térbeli elhelyezkedésével. Mi több, gyakran még a legfiatalabb és jól megfigyelt vulkanizmus során is olyan ismerethiányokat sikerült felismerni, ami alapvető problémaként jelenik meg, amikor a vulkánkitörések folyamatosságát, azok során történt kisebb nagyobb megszakításokat, és azok a földtani szelvényekben való megrögződésének, és azok felismerési lehetőségét nézzük. Ez a probléma a saját munkásságom során több, később ismertett tanulmányból világosan kiderül, hogy sokkal bonyolultabb és óriási figyelmet érdemlő téma. Ugyancsak fontos problémaként merült fel a fiatal monogenetikus vulkánokon megfigyelt vulkán geológiai jellegek kapcsolatba hozatala a vulkáni kürtőben és kráterben zajló folyamatokkal. Mivel idős és lepusztult területeken éppen a kráter és kürtőkitöltő vulkáni kitörési termékek és azok áthalmozott változatait láthatjuk, azokat az esetek többségében csak igen nagy bizonytalansággal lehet a kitörési központtól távolabbi

vulkáni termékkel korrelálni. Ezzel a problémával számos munkámban szembesültem és saját eredményeim alapján elmondhatom, hogy bár a monogenetikus vulkánok kicsik és látszólag egyszerűek, pontos 3D rekonstrukció igényes geológiai térképezést és analitikai munkát kíván (Németh and Palmer 2019). Saját munkásságom alapján elmondhatom, hogy e probléma részletes vizsgálata során fény derült arra, hogy a monogenetikus vulkanizmussal kapcsolatos vulkáni szerkezetek is drámai változatosságról tesznek tanúbizonyságot, azok semmi esetre sem tekinthetők geológiai értelemben véve egyszerűnek. Mivel a munkásságomat megelőzően a 70-es, 80-as éveket követően viszonylag kevés olyan munkával találkozhatunk, melyek a monogenetikus vulkanizmus a saját szűk megközelítéséből kiemelve a felismert geológiai folyamatokat és azok termékeit rendszerbe helyezett módon követte volna. Pedig éppen az idősebb lepusztult vulkánmezők adhatnak fontos információt többek között a tágabb kitörési környezet felszínfejlődésére is. Az időben gyakran évmilliók időskálát átélő vulkánmező egyedi vulkánjai sajátos lepusztulási történeten mennek át, melyben az elsődleges kitöréstípusok által meghatározott kitörési termékek és vulkáni formák mellett a vulkánmezőre ható lepusztulási és üledékképződési folyamatai együttesen hoznának létre egy komplex lepusztulási felszínt (White 1990; Konecny et al. 1995; Németh and White 2003; Lorenz and Haneke 2004; Lexa et al. 2010). A hosszú lepusztulás történet során, minden egyes vulkáni forma a maga szerkezetéből adódó lepusztulási folyamaton esik át, tipikus lepusztult vulkáni felszínformákat létrehozva. Ha a lepusztulási folyamat markáns, és az hosszú időn át hatott, akkor, ha megfelelő mennyiségű vulkán van jelen, a vulkánmező egészének lepusztulás története is megadható (Németh and Martin 1999b). Saját munkásságom jelentős része közvetlen kutatásokban vett részt ezen a témán, és minden egyes munkámban ez a megközelítés egy fontos eleme volt a földtani térképezési munkáimnak (Németh and Martin 1999b, a). Elsőként foglaltam össze a Bakony-Balatonfelvidék vulkanológiai alapú felszínfejlődését, olyan pontokra felhívva a figyelmet, mint a maar vulkánok szerepe, a maar kitöltő üledékek és láva folyások értelmezése a geomorfológiai nézőpontból (Németh and Csillag 1999; Németh and Martin 1999b; Németh et al. 2001; Martin and Németh 2002; Németh et al. 2002a; Németh et al. 2003b; Fodor et al. 2005; Németh et al. 2007a; Kereszturi et al. 2010a; Németh et al. 2010a; Hencz et al. 2017a). Munkásságom ezt a témát több területen is követte, amit a későbbi fejezetekben szemelvényyszerűen fejtek ki adott kulcsterületekre vonatkoztatva. Ugyancsak sikerült az eredményeimmel több terület geomorfológiai fejlődéstörténetének gyakran paradox elemeit értelmezni.

Munkáim során felismertem, hogy nélkülözhetetlen egy vulkánmező holisztikus tanulmányozása, ahol a vulkanizmus okozta üledékképződés és vulkán növekedés mellett elengedhetetlen, hogy megvizsgáljuk a vulkanizmus tágabb földtani környezetét üledékképződési folyamatok vagy éppen a hidrogeológiai és hidrológiai folyamatok szempontjából. E megközelítés az egyedüli, mely alapján teljes képet nyerhetünk egy vulkánmező fejlődésére. Míg a munkásságom előtt a kutatások jelentős része a kis vulkánokat elsősorban mint geokémiai, kőzettani jelrendszert alkalmazták, alapvetően magma forrás és mozgás megértése céljából, vagy mint morfológiai problémát használták viszonylagos kormeghatározásra. Munkásságom előtt csak nagyon ritkán találkozunk olyan munkákkal, melyek e kis vulkánokat vagy azok specifikus tulajdonságait rendszerszinten, vagy komplex módon, az azokat létrehozó mély vagy felszíni folyamatokkal vagy a legújabb megközelítem szerint az azokra ható külső és belső "erők" nézőpontjából vizsgálta volna. Minden szempontból, e fejezet alapjául szolgáló három tudományos publikációm meghatározó eleme

lett a 21. század vulkanológiai kutatásainak, és a monogenetikus vulkanizmus globális szempontú megközelítésének.

Az egyszerű monogenetikus vulkán definíciót megadva, először sikerült egy olyan modellt felépíteni, amely geológiai szempontból vizsgálja e vulkanizmust. A monogenetikus vulkanizmus születéséhez szükséges szerkezeti elemeket, a vulkánmező térbeli helyzetét, a vulkánok tér és időbeli eloszlását, a vulkanizmus felújulásának vulkán és vulkánmező szintű elemzését, valamint a vulkáni felépítmény és annak vulkáni kitörési termékeit a vulkán lepusztulási folyamataival és annak a háttér üledékképző medence folyamataival együttesen vizsgálja. A felépített modellben kiemelt helyet foglalnak el a vulkanizmust hajtó magmás folyamatok, és azok tér és időbeli eloszlása, megjelenési formája és szerepe a magma felszínre kerülésében, fragmentációjában és végső soron a vulkáni kitöréstípus megjelenésében.

A fenti gondolat, melyet először 2010-ben publikáltam (Németh 2010a) további két (Németh and Kereszturi 2015; Smith and Németh 2017), majd több tucat önálló kutatási témára alapozott finomítás követett. Nyilvánvalóan az elmúlt több mint 10 év hihetetlen robbanást hozott a monogenetikus vulkanizmus kutatásában, de összességében elmondható, hogy a felépített modell koherens, és megválaszol számos olyan geológiai kérdést, mint például a magmatizmus belső és külső mozgatórugóinak elemeit. A következőkben összefoglalom azokat a tapasztalataimat, amit a tudományos munkásságom során összegyűjtöttem, és bizonyítom, hogy a monogenetikus vulkanizmus egy vitális alapja a földi vulkanizmusnak. Valószínűleg az itt bemutatott koncepcionális megközelítés hasznos eleme lehet a Naprendszeren belüli vulkanizmus értelmezésének is.

A téziseimben a globális vulkanológia által használt terminológiát használom, melynek részleteit egy 2007-ben megjelent kézikönyvemben foglaltam össze, ami azóta több ország alapvető vulkanológia tankönyve lett (**1. melléklet**). Itt csak azokat az elemeket emelem ki, melyek fontosok a tézis pontos értelmezéséhez. A monogenetikus vulkanizmus során a magma illótartalma, hőmérséklete, kémiai összetétele, a magmára ható nyomásviszonyok, a litoszféra szerkezete, melyet a magma áttör mind azon erők között számontartott paraméterek, melyeket a magma belső, önmagából származó tulajdonságokhoz köthetünk. Mivel a monogenetikus vulkanizmus során kis térfogatú magmával számolhatunk a kitörések során, ezek a belső paraméterek időben, a vulkánkitörés teljes időtartamában nézve is rövid életű események. A fent felsorolt paraméterek alapvetően a magma felszínközeli kristályosodására és fragmentációjára lesznek hatással, melyek együtt a vulkáni felépítményben és az azt övező síkságon felhalmozódó piroklaszt üledékek (és lávafolyások) kőzeteinek szöveti képében fog tükröződni. Ezek a kőzetszvöeti információk, mint a mikrolit tartalom, kristályosodási fok, kristályméret eloszlás, hólyag alak, hólyag geometria és eloszlás meghatározó információ annak kiderítésére, hogy milyen típusú vulkánkitörések történtek. Amennyiben lehetőség van rá, ezek rétegtanilag korrelált módon követve a vulkánkitörés rövid időléptékű lefolyására is kulcs információval szolgálnak. Ezen típusú vulkánkitöréseket általában, mint száraz kitöréseket jelölik, arra utalva, hogy a kitörés során forró, elsődleges folyamatok voltak döntőek (Valentine and Gregg 2008b). Az ilyen száraz kitörések leggyakoribb vulkáni formája a salakkúp, mely egyben a Föld és a Naprendszer leggyakoribb vulkáni formája is egyben. A száraz kitörések ellentéte azon kitörések, ahol a külső környezet víztartalma – legyen az bármilyen eredetű víz – meghatározó a vulkán kitörések típusának alakulásában. Mivel a monogenetikus vulkanizmussal

kapcsolatban igen kis mennyiségű magma jelenlétével számolhatunk, a külső környezeti hatások jelentős tényezőként tekinthetők. Az eredmény „nedves” vulkanizmus kialakulása utalva arra, hogy a vulkáni működés folyamatát a külső környezet és annak víztartalma alapvetően határozza meg (pl. hidrovulkanizmus, freatomagmatizmus). Fontos megjegyezni, hogy a „nedves” vulkanizmus ilyen értelemben igen kis mennyiségű magma kölcsönhatás esetén is képes olyan pusztító erővel és környezetformáló hatással lenni, hogy azzal vulkáni veszély számításokban mindenképp számolni kell, és a hatás egy nem lineáris komponens. Saját munkásságom során többek között elsőként vetettem fel azt, hogy a monogenetikus vulkánok között az igen kis magma térfogattal működő vulkánok vulkáni veszélyértéke, azaz az ún. vulkáni veszély lábnyomuk sokkal jelentősebb lehet, mint a több magma utánpótlással bíró „száraz” monogenetikus vulkanizmusé (Németh et al. 2012d). Ugyancsak elsőként mutattam be geológiai megfigyelések és analitikai munkák alapján azt, hogy egy jelentős méretű nedves vulkán, megfelelő környezeti tényezők mellett igen kis mennyiségű magma jelenlétével is képes számottevő vulkáni katasztrófa forrás lenni (Németh et al. 2012d). A későbbiekben konkrét esettanulmányokon keresztül mutatom be e problémát, és az abból kifejlesztett vulkáni veszélyeztettség vizsgálatok módszertanát.

3. 2 Monogenetikus vulkanizmus és monogenetikus vulkánok

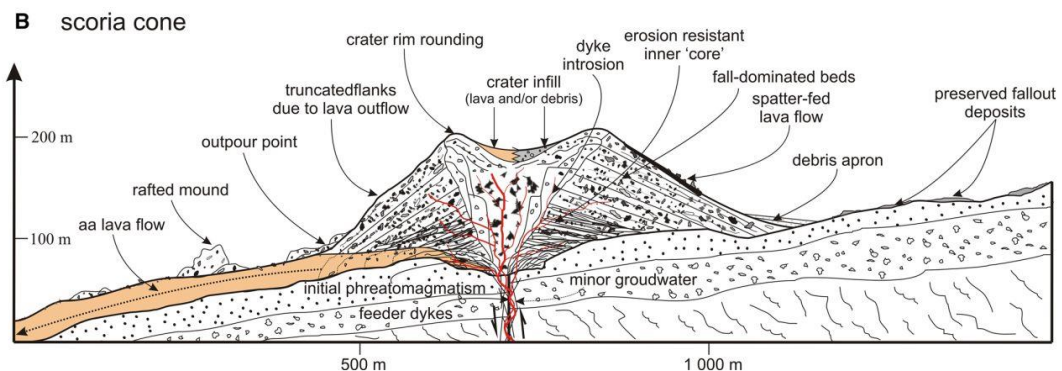
A monogenetikus vulkánok típusait négy alap geológiai formában foglalhatjuk össze. Ezek definícióját a korábbi ismeretekkel kiegészítve adtam meg, majd azokat címszavakban is definiáltam.

A legfontosabb monogenetikus geológiai forma a salakkúp (5a. ábra). Salakkúp alapvetően arra utal, hogy a vulkáni felépítmény ún. vulkáni salakból áll, melynek átlagos szemcsemérete a lapilli tartományba esik (Fodor and Brož 2015). Ez természetesen csak általánosságban igaz, mert a legtöbb salakkúp a finom hamutól a vulkáni bombáig terjedő szemcseméretben tartalmaz piroklasztitot, melyek a vulkánkitörés során általában ballisztikus röppályán jutottak a felhalmozódásuk helyére (5b. ábra). A salakkúpok leírása a 70-es 80-as években több kutatási terület fő témája volt (Wood 1980a; Wood 1980b). Ezek a tanulmányok a salakkúpokat elsősorban azok morfológiai megközelítéséből vizsgálta, olyan helyekről, mint például az Etna vagy Hawaii. Mai szemmel nézve ezek a geológiai formák csak morfológiai képükkel tekinthetők monogenetikus vulkánoknak, mert legtöbbjük egy nagyobb poligenetikus vulkáni rendszer részét képezik. Ettől függetlenül azok szerkezete és piroklasztit rétegtana tökéletesen kifejezi azok egyszerűségét, és a vulkánkitörés alapvetően kis intenzitású, magmás gázok által vezérelt működési formáját. A salakkúpok dominánsan a magma feláramlása során elkülönülő és a kürtő felső részén felhalmozódó gázbuborékok szétrobbanásával kirepített piroklasztit anyagból növekednek. Ezt a folyamatot alapvetően a gázbuborékokban felhalmozódó gáznomás feszítőereje vezérli. Amennyiben a gázszegregáció intenzív a kitörések hevesekké válhatnak, és a kirepített piroklasztit hamu mérettartományától függően a kürtőtől akár több tíz kilométerre is elszállítható, látványos hamu sivataggal körülvéve a vulkáni felépítményt (5c. ábra). A kitörések során azok ritmikusságát követve a salakkúpok növekedése során a kirepített durvaszemcsés salak szinte folyamatosan mozgásban van, és a kitöréssel egyidőben komoly

anyag átrendeződés történhet, mely során a salakkúp palástján egy vastag áthalmozott piroklaszt takaró alakulhat ki (5d. ábra). A salakkúpok, mint száraz robbanásos kitörések eredménye a Föld és a Naprendszer leggyakoribb vulkáni formája, azok komplexitását egy tematikus ábrán foglaltam össze (6. ábra).

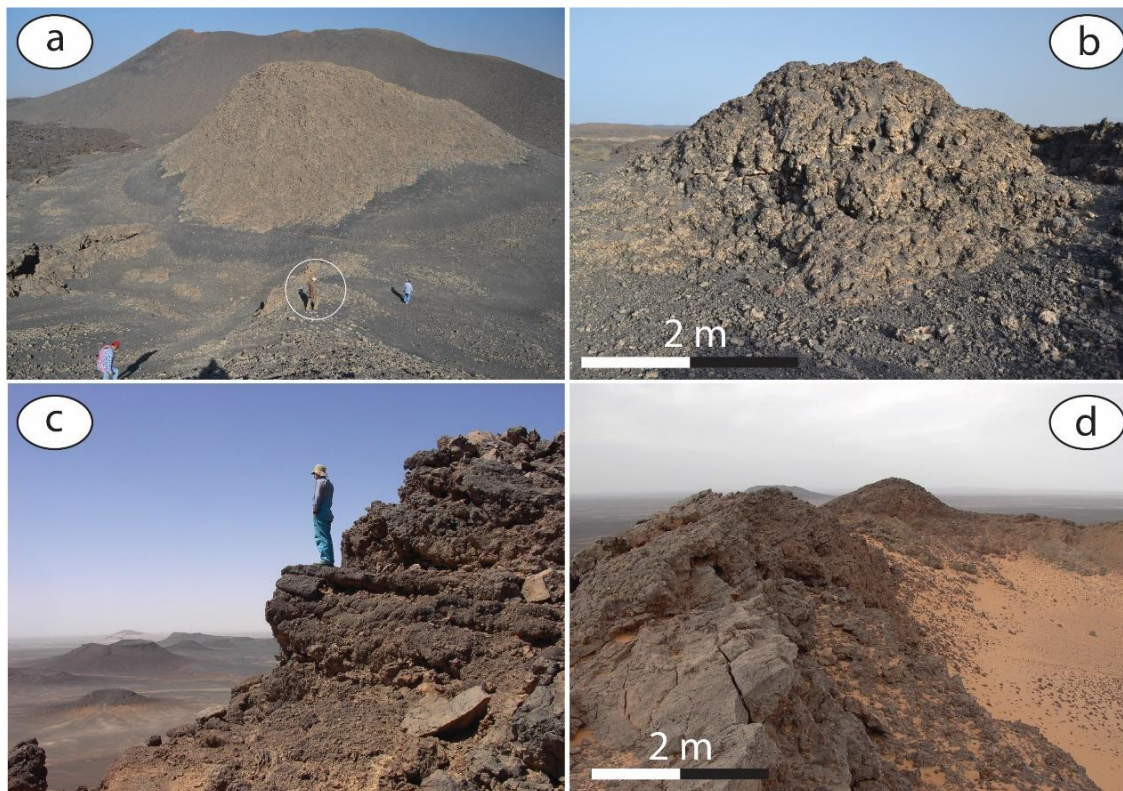


5. ábra – Salakkúpok, mint a földi vulkanizmus leggyakoribb formái. a) Porunita salakkúp Öllagüe mellett, észak Chilében egy fiatal (kvarter) salakkúp. a) A kúpot a nedves klimatikus időszakban ezózió érte, így számos bevágódás látszik az amúgy friss felszínformán. Ezek az eróziós csatornák a vulkán lábánál kis törmeléklegyezőket hoznak létre (nyíl), folyamatosan építve a vulkán lábánál egy üledékszoknyát. Fehér körökben geológusok adják a méretarányt, b) salakkúpok alapvetően Stromboli típusú robbanásos kitörések során növekednek, mint a La Poruna salakkúp, észak Chilében. A robbanások lapilli és bomba méretű piroklasztokat dobnak ki (nyíl), melyek a vulkán oldalán még tovább görögve magukba zárhatnak finomabb szemcsés lapilli és hamu anyagot, c) heves Stromboli típusú kitörések gyakran elérhetik a szub-Pliniuszi intenzitást is, akár több tíz km² területet is befedve lapillival és hamuval, mint azt tapasztalhatjuk az Al Quidr kb. 1000 éves vulkán körül a szaudi-arábiai Harrat Khaybar vulkánmezőn, d) salakkúpok változatos lepusztulási folyamatokon mehetnek keresztül, melyben egyszerre töltődik fel a vulkán krátere (fehér nyíl) és/vagy ürülhet ki, ha az nyitott, illetve pusztulhat saját törmelék legyezőibe (fekete nyíl) mint ezen a salakkúpon a szaudi-arábiai Harrat Khaybar vulkánmezőn.



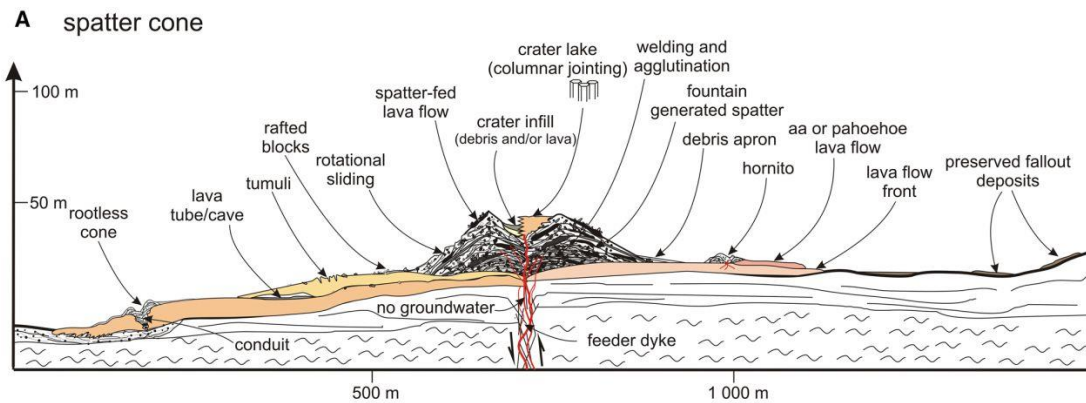
6. ábra – Salakkúpok tematikus ábrája (Németh and Kereszturi 2015).

A salakkúpokkal sok közös vonást mutató, ugyancsak száraz, enyhe robbanásos vulkáni működés eredményei a lávafröccs-kúpok (Fodor and Németh 2015). Ezek a kúpok ún. Hawaii-típusú robbanásos kitörések során születnek, ahol a magma olyan gyorsan jut a felszínre, hogy annak gáztartalma nem tud elválni a magma anyagától, és annak felhajtó ereje, mintegy „kispricceli” az olvadékot (7a. ábra). Ebben a folyamatban lávaszökőkutak működnek, hasonlóan a Geldingadalir (Izland) 2021-es kitörése során született számos salakkúphoz. Általában, amikor a láva feláramlás nagy sebességgel történik, a kürtő még nem igazán kifejlett, a vulkanizmus kezdeti stádiumában lávaszökőkutak sora működhet egy kinyíló hasadékméntén, kisebb vulkán sorokat létrehozva. Ilyen lávafröccs-kúpok sora gyakori a monogenetikus vulkánmezőkön, mint amilyen a Arxan-Chaihe vulkánmező, északkelet Kínában (Li et al. 2021) vagy az Al Madinah 1256-os kitörésén született 2.3 km hosszú hasadék mentén (7b. ábra). A lávafröccskúpok sajátossága a durvaszemcsés piroklaszt üledékek dominanciája, azok kis területi elterjedése, és a gyakori összehegedési, olvadási jelenségek (7c. ábra), sőt akár klasztogenetikus lávafolyások születése is (7d. ábra).



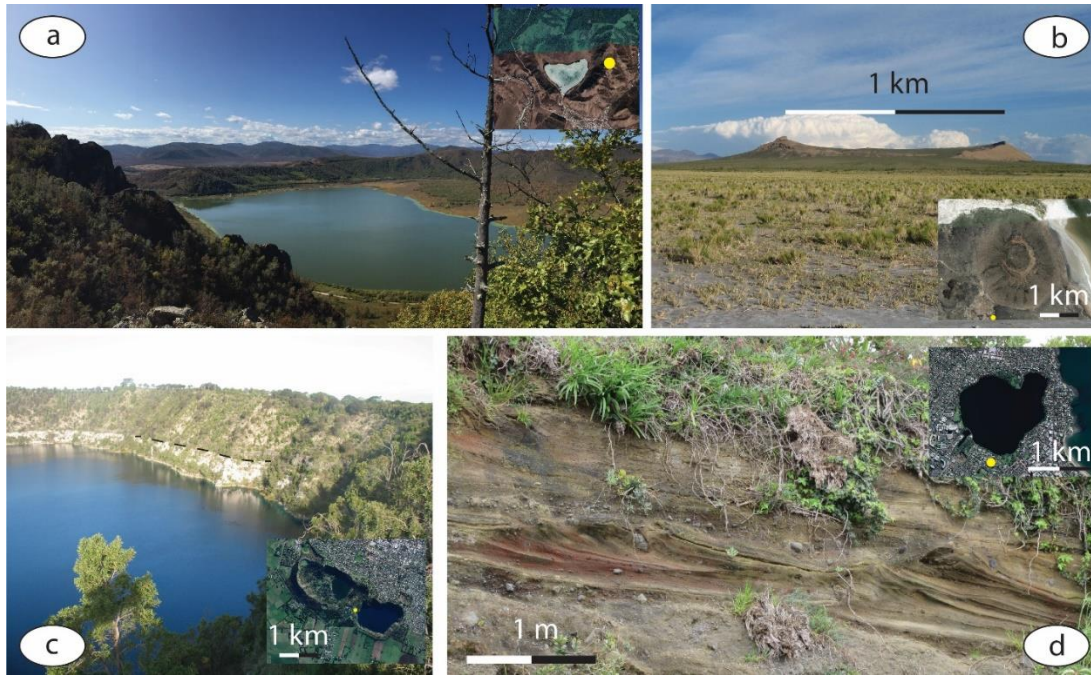
7. ábra – Lávafröccs-kúpoka) nagyméterű lávafröccs-kúp az Al Madinah 1256-os hasadékkitörése mentén (Moufti et al. 2013d). Geológusok adják a méretarányt. A kép a 2.3 km hosszú hasadék déli végéről készült, b) hornító és a körülötte kialakult lávafröccs kupac az Al Madinah 1256-os kitörése során kialakult hasadék legdélebbi pontján, c) jellegzetes összesült lávafröccs rétegek a líbiai Al Haruj vulkán egyik átmeneti (salakkúp – lávafröccs-kúp) kráter peremi részén (Németh et al. 2002c), d) nagy intenzitású Hawaii-típusú lávaszökőkutak olyan sebességgel képesek a lavát kirepíteni, hogy az a földet érése után összeolvad, és klasztogenetikus láva lepleket hoz létre, mint a képen látható átmeneti vulkáni kúp a líbiai Al Haruj vulkánmezőről.

A lávafröccs-kúpokjellegzetességeit a 8. ábra foglalja össze, ahol a geológiai folyamatok mellett a legfontosabb morfológiai elemek is láthatóak.

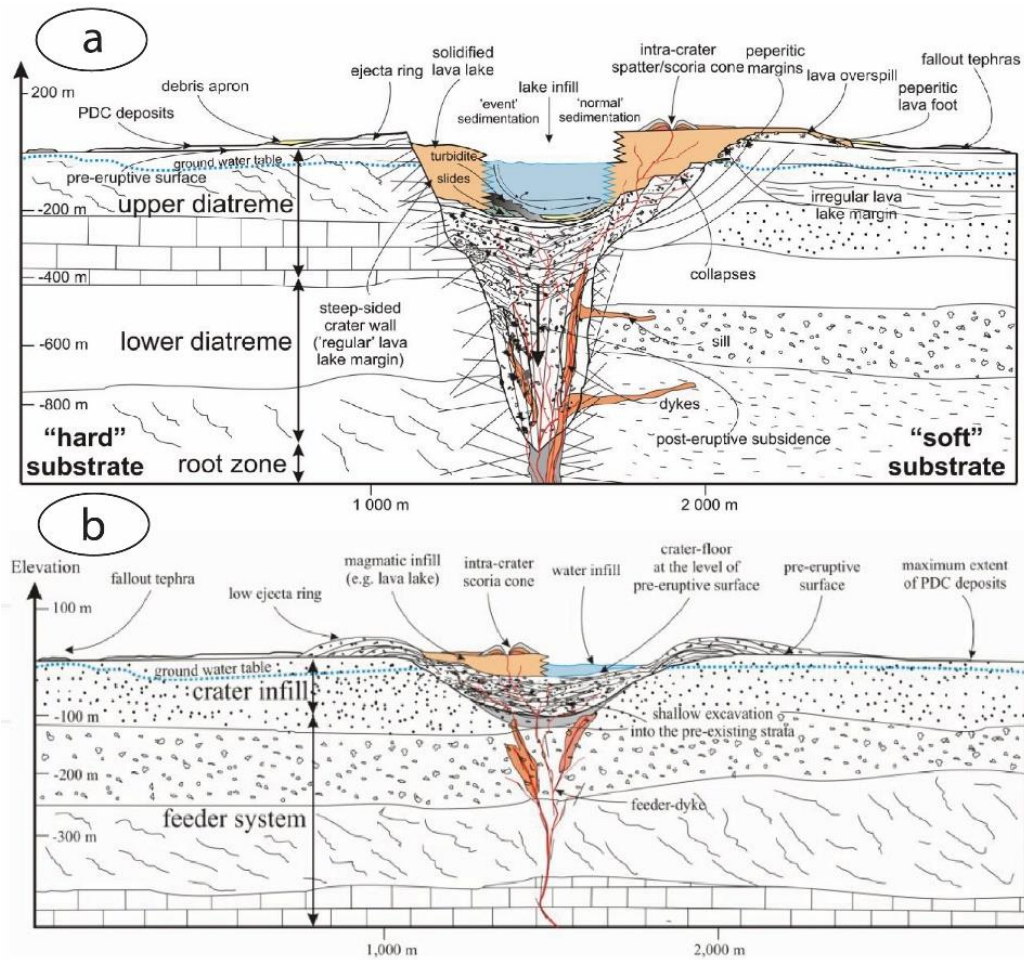


8. ábra – Lávafröccs-kúpok geológiai sajátossága (Németh and Kereszturi 2015).

A magma és víz kölcsönhatása következtében ún. freatomagmás robbanásos kitörések során kis térfogatú, de nagyon változatos, és vulkáni veszélyeztetettség szempontjából fontos vulkántípusok jöhetnek létre (Németh and Kósik 2020a). Amennyiben a magma felszín alatti vízzel vagy nedves üledékkal találkozik, akkor a robbanások hevessége, a kölcsönhatás jellege, és a magma és a víz aránya szerint maar vulkánok (9a. ábra) vagy tufagyűrűk (9b. ábra) születhetnek. A maar vulkánok alapvetően egy optimális magma és víz kölcsönhatási rátánál jöhetnek létre, ahol a robbanás mélysége meghatározza a létrejövő maar vulkán geometriai paraméterét (9c. ábra), a maar kráter alakviszonyait, és a kirobbantott piroklasztit szöveti szerkezetét (9d. ábra). A legújabb kutatások és analóg robbantási kísérletek során fény derült arra, hogy a maar vulkánokat körülvevő piroklaszt üledékek tulajdonsága erősen függ attól, hogy a freatomagmás robbanások milyen mélyben születtek, hogyan viszonyulnak az adott mennyiségű olvadék hőenergiájából elméletileg felszabadítható energiához viszonyítva; azaz, a robbanások egy optimális mélység alatt, abban vagy a felett történtek. A maar vulkánok kutatása egy új reneszánszt él át, különösen azért, mert a maar vulkanizmus a kráter keletkezési folyamatok egyik olyan bemutatóhelye, ahol ezen tanulmányok során megérthetjük a kráter keletkezések elvi problémáit. A maar vulkánok elvi szerkezetét és azok viszonyát a tufagyűrűkhöz, valamint a Surtsey-típusú tufakúpokhoz a 10. ábra foglalja össze.



9. ábra - Maar vulkánok jellegzetességei a) Tongxin maar képe keletről tekintve. Tongxin a legnagyobb freatomagmás vulkán az északkelet kínai Arxan-Chaihe vulkánmezőn (Li et al. 2017) b) lepusztult tufagyűrű az argentin Llanquihue vulkánmezőről (Risso et al. 2008), c) mély maar a Mt Gambier (Ausztrália) maar csoport tagja (Blue Lake). Szaggatott vonal jelzi a szin-eruptív felszint, amibe a maar kráter vág, d) tipikus dűne-rétegzett alapi torlóár üledék az Auckland vulkánmező Pupuke maarjának kráter peremétől kb 300 méterre. Minden egyes képen kis GoogleEarth Pro űrfelvétel is mutatja a vulkáni forma térképi alakját.



10. ábra – Maar-diatréma (a) és tufagyűrű (b) vulkánok elvi szerkezete (Kereszturi and Németh 2012a; Németh and Kereszturi 2015)

A monogenetikus vulkánok „nedves” változatainak példája a tufakúpok (11a. ábra). A tufakúpok gyakran csak a vulkánok felszín fölé emelkedő kúpjára vonatkozik, sokszor megfeledkezve arról, hogy ezek a vulkánok ún. Surtsey-típusú, vagy „kiemelkedő” vulkanizmus részei. A vulkánkitörések általában sekély víz alatti környezetben kezdődnek, ahol fontos tényező, hogy a kitörések áttörik-e a vízfelszínt, vagy teljesen víz alatt történnek (White and Houghton 2000). Természetesen mindez víz mélység és a magma gáztartalmának, és a magma és víz kölcsönhatásának együttes terméke. A tufakúpok víz alatti felépítménye gyakran egy lencseszerű szerkezet a víz alatt (White 1996; White 2001; Sohn et al. 2011), ahol az üledékek alapvetően lapos szögben települnek és gazdagok a víz mozgató hatására kialakuló rétegformákban (11b. ábra). Amennyiben láva ömlik a vízfénkre, akkor hialoklasztit kupacok is születnek, melyeket a kiömlő víz alatti láva „feltúrhat” igen változatos hialoklasztit breccsa, párnaláva (11c. ábra) vagy éppen peperit (magma és üledék robbanásmentes keveredése során keletkező üledék/kőzet) jön létre.

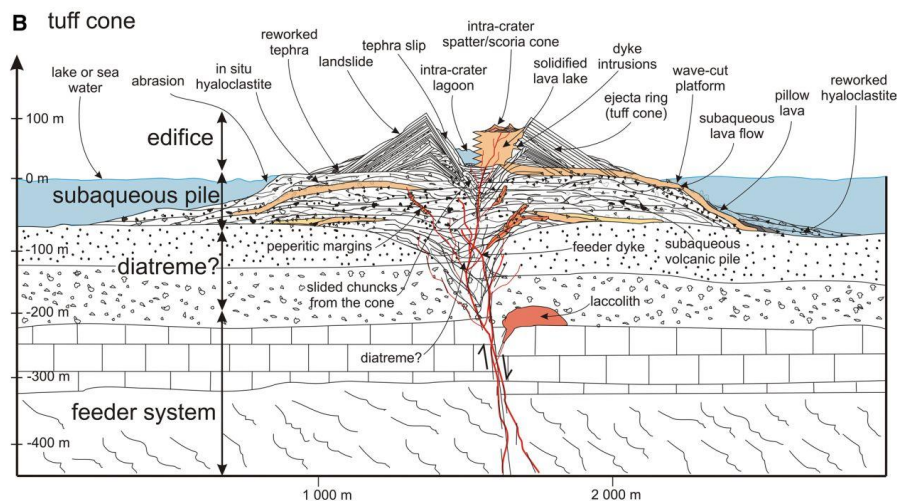
A tufakúpok felszín fölé emelkedő része alapvetően meredek, és folyamatosan szétcsúszó nedves üledékből álló kúp lesz. Ezen kúpok kráterében a kitörések végső stádiumában az eredeti nedves robbanásos kitörés típusok, átalakulnak Stromboli típusú robbanásos kitörésekké, vagy lávaöntő kitörésekké, egy erózióknak ellenálló „sapkát” adva a keletkezett vulkánnak (11d. ábra).

Az Ambae (Vanuatu) 2005-ös kitörésén nyomon követhetem e folyamatot a kitörés kezdeti stádiumától annak végezetéig (Nemeth et al. 2006).



11. ábra - Tufakúpok jellegzetessége a) Cerro Colorado tufakúp a Pinacate vulkánmezőről (Sonora, Mexikó) (Martin and Németh 2006), b) Ilchulbong tufakúp a Jeju-szigetről (Dél-Korea) (Sohn et al. 2011), c) párraláva és hialoklasztit a Chatham-szigetektől (Németh and Stewart 2011), d) dájék járja át az egyik Surtsey-típusú tufakúp hialoklasztit kürtő közeli rétegeit (nyíl) (Németh et al. 2011b; Stewart and Németh 2012; Németh et al. 2013; Stewart et al. 2014).

A tufakúpok geológiai jellegzetességeit a 12. ábra foglalja össze.

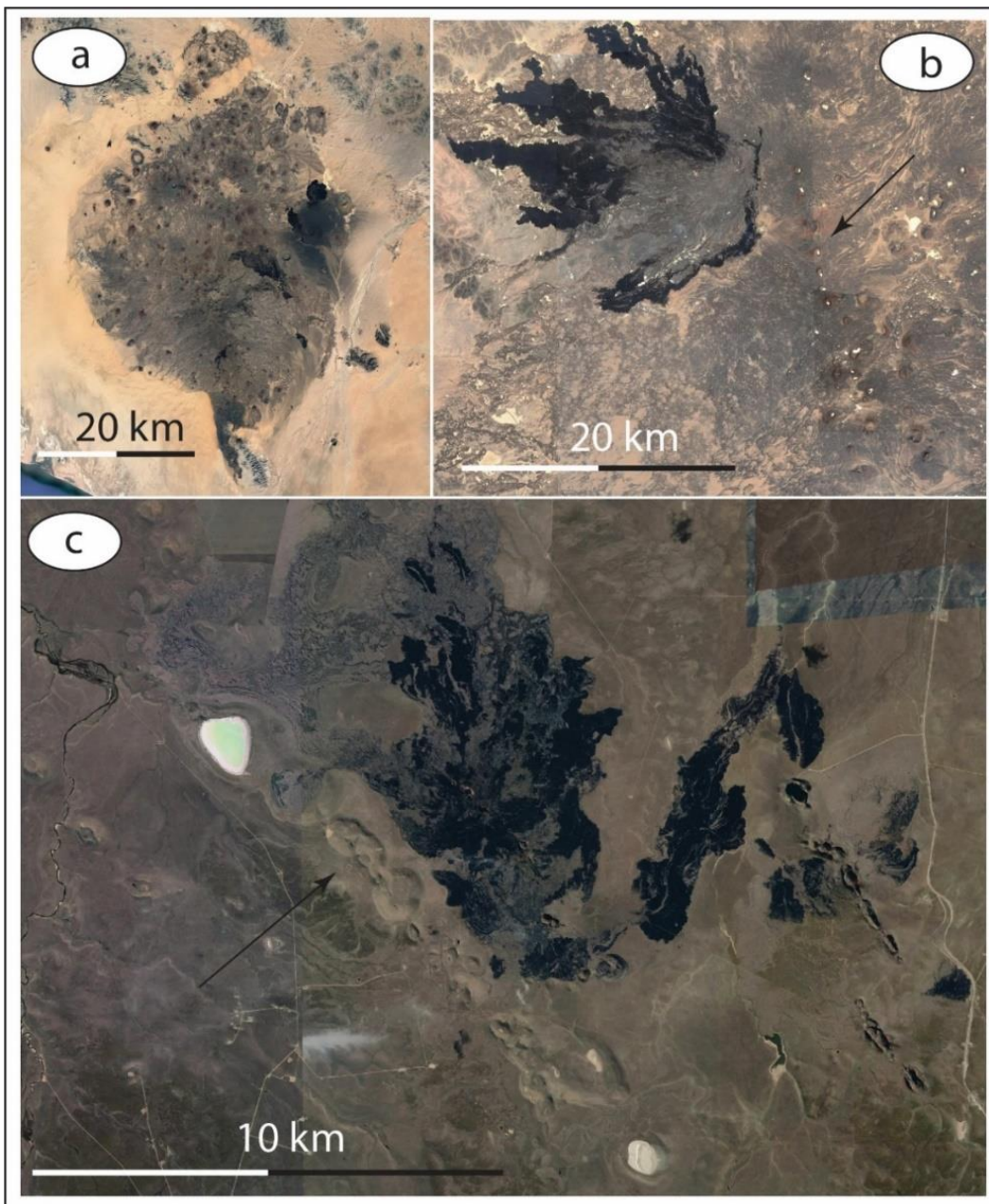


12. ábra - Tufakúpok geológiai jellegzetessége elvi szelvényen (Németh and Kereszturi 2015).

3.3 Vulkánmezők

A vulkánmezők alapvető jellegzetességei között tartjuk számon jelen ismereteink szerint a vulkánok eloszlásának milyenségét különös tekintettel az egyszerű és komplex vulkánok eloszlásának fényében (Connor 1987); (2) az egyes vulkánok működésének időbeliségét, és azok esetleges felújuló kitöréseinek lehetőségét különös tekintettel a vulkanizmus térben és időben való eloszlásának vizsgálata szempontjából (Tanaka et al. 1986; Connor et al. 1992; Condit and Connor 1996; Connor et al. 2000); az egyes vulkánokat létrehozott kitöréstípusok milyenségének és azok egymásutániségének vizsgálatát, majd azok vulkánmező szintű összehasonlító elemzését (Connor 1990; Siebe et al. 2005; Valentine and Perry 2006; Valentine et al. 2006); valamint (4) az egyes vulkánok, és azok típusainak viszonyát a terület szerkezeti és üledékképző környezetei szempontjából (Connor et al. 1992).

Vulkánmezők gyakran alkotnak kisebb csoportokba tömörülő egyedi vulkánokat (13a. ábra), vagy szerkezeti szempontból kontrollált vulkán sorokat (13b. ábra), mint amilyen a lepusztult Hopi Butte diatréma mezője Arizónából (White 1990), de gyakori megjelenési formája a vulkánmezőknek, amikor egy központi vulkán körül alakul ki egy jól lehatárolható vulkánmező, mint például az indonéz Lamongan vulkán környezetében (Carn 2000). Kontinentális lemezen belüli vulkánmezők egyik jellegzetes paramétere a viszonylag alacsony magma utánpótlási ráta a vulkánmező teljes élettartamára nézve, különös tekintettel a hosszú élettartamú vulkánmezőkre (Takada 1994). Vannak olyan vulkánmezők, ahol szinte alig lehet geostatistikai módszerekkel kimutatni a vulkáni kúrtők eloszlásában bárminemű szabályosságot, azok teljesen véletlenszerű eloszlást mutatva viszonylag egyenletesen fedik le a vulkánmező területét, mint amilyen a nyugati USA Springerville vulkánmezője (Connor et al. 1992; Condit and Connor 1996). Ennek ellenpéldájaként gyakran találkozhatunk olyan vulkánmezővel, ahol a vulkánok igen keskeny vonalak mentén sorakoznak, mint például a nevadai Yucca Mountains (Connor et al. 2000; Valentine and Perry 2006), vagy azokat a vulkáni területeket is említve, ahol a saját kutatásaimat is végeztem, mint az Arxan-Chaihe vulkánmező észak-kelet Kínában (Li et al. 2021) (13c. ábra), vagy a Kishb vulkánmező Szaúdi Arábiában (Camp et al. 1992). Kúrtő csoportosulások és kisebb vulkáni kúrtősorok kialakulásainak talán a leggyakoribb formája a vulkánmezők megjelenésének, melyekre kitűnő példákat láthatunk a németországi Eifel vulkánmezőn is (Buechel 1993), de ez a kúrtő eloszlás látszik általánosnak több olyan vulkánmező esetében is, ahol több saját kutatást is végeztem mint például a Pannon-medence nyugati térségének pliocén – pleisztocén bazalt vulkánjai (Martin and Nemeth 2004), vagy az új-zélandi Auckland vulkánmező (Cassidy and Locke 2004; von Veh and Nemeth 2009; Bebbington and Cronin 2011; Lindsay et al. 2011).

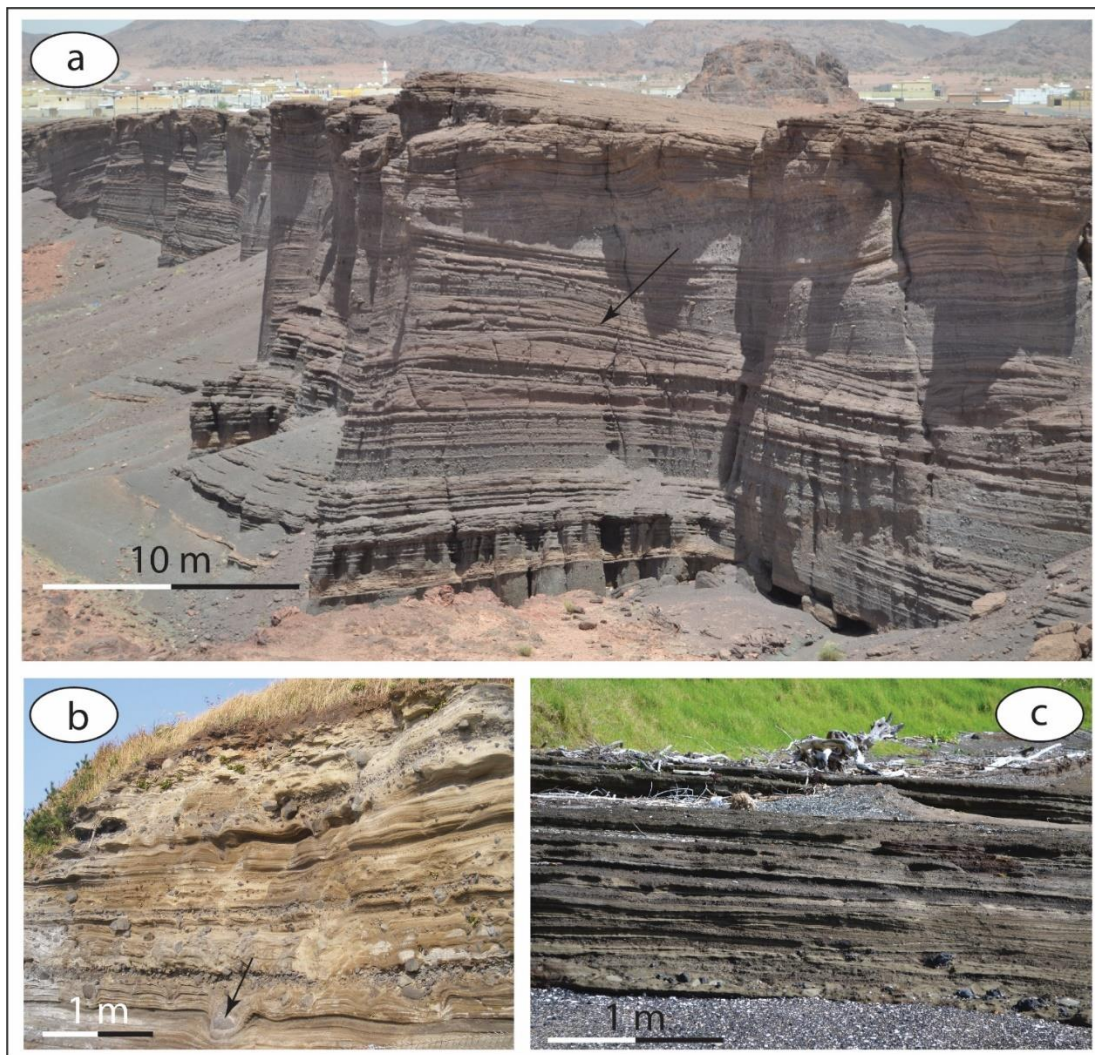


13. ábra – A vulkánmezők változatos méretben és formában vannak jelen a Földön, a) véletlenszerűen csoportokba rendeződött vulkánok alkotják a Pinacate vulkánmezőt (Sonora, Mexikó), b) vulkán sor (nagy méretű salakkúpok) a Harrat Kishb Szaúd-Arábiai vulkánmezőről, c) vulkán lineamentumok a Pali Aike vulkánmezőről (Argentína) ahol a vulkánok freatomagmás eredetűek, maarok és tufagyűrűk többnyire.

Vulkánmezőkön gyakori jelenség, hogy egyes vulkánok, jól térképezhető hasadékokhoz köthetők, és akár több tucat vulkánból álló vulkán sorokat hoznak létre. Ennek okát gyakran a hasadék mentén feltörő magmában kialakuló áramlási cellákra vezetik vissza (Witt et al. 2018a; Ruz et al. 2020; Dietterich et al. 2021). A vulkánkitörés előrehaladtával mind jobban stabilizálódik a magmafeláramlás térbeli helye, kialakítva így egy-egy stabil kürtőt (Wylie et al. 1999; Jones and Llewellyn 2021). A folyamat során a kitörés a hasadék mentén több vulkáni felépítményt is létrehozhat, melyek egymásba épülhetnek, komplex vulkáni felépítményt alkotva, annak ellenére, hogy a kitörések teljes időszaka, napokban esetleg hónapokban

mérhető. Ritka, de ismert esetekben, mint amilyen a mexikói Paricutin vulkánkitörése, ez a folyamat akár évekig is eltarthat, kialakítva egy komplex vulkáni felépítményt, mely szerkezetében a teljes kitöréstípusváltást is megőrizheti a láva szökőkutakat produkáló Hawaii-típusú kitöréseken át a tipikus Stromboli típusú, vagy az ún., katasztrofális Stromboli típusú kitörések, melyek gyakran megközelítik a Pliniuszi típusú kitörések intenzitását (Luhr and Simkin 1993; Pioli et al. 2008). Az ilyen hosszantartó, de összességében még mindig kicsiny térfogatú magma által okozott vulkánkitöréseknek fontos szerepe van a monogenetikus vulkanizmus definiálásában és értelmezésében, hiszen ezek mintegy átmenetet képeznek a poligenetikus vulkanizmus felé, illetve arra is rámutatnak, hogy a vulkáni felépítmény szerkezetében megfigyelhető bonyolultság még önmagában nem ad okot arra, hogy ezeket a vulkánokat a poligenetikus vulkánok közé soroljuk. Vulkanmezők vulkáneloszlásának vizsgálata fontos információt adhat arra vonatkozóan is, hogy a magma litoszférán történő útja a felszínfelé milyen körülmények között zajlott (De la Cruz-Reyna and Yokoyama 2011; Marti et al. 2016). Egy vulkánmező kürtőeloszlását gyakran az olvadékforrás adott mélységben lévő geometriájához kötik. Míg a jelentősebb vulkán csoportok és azok térbeli eloszlása alapvetően a mélybeli magmaforrás geometriájának tükörképe, addig a vulkánok finomeloszlása alapvetően a litoszféra felső régióinak szerkezeti állapotára utalhat (Valentine and Perry 2006). Az erősen lineamentumokba csoportosuló vulkáneloszlások pedig jelentős, a litoszférát átszelő szerkezetek meglétéhez köthetők (Connor 1987).

Egy vulkánmező kistérfogatú monogenetikus vulkánjainak részletes vizsgálata során, azok vulkáni felépítményében látható vulkáni kőzetek alapján világossá vált, hogy a vulkán növekedése során, annak ellenére, hogy az rövid időt is vett igénybe (napok, hetek) a kitörési típusok jelentős változásokon mehetnek át (14a. ábra). Ez a folyamat egyrészt a magma belső fizikai-kémiai tulajdonságainak megváltozásával, vagy a magma utánpótlás mennyiségi változásaival hozhatók kapcsolatba. Ezek a folyamatok pedig komolyan befolyásolhatók a környezet változásaival, melyek között nemcsak a környezet víztartalmának változásai, de akár a kitörés során bekövetkező kürtő és kráter geometria megváltozása is fontos szerepet játszhat (pl. kürtő beszakadás, eltömítés vagy vulkán összeomlás).



14. ábra – Freatomagmás monogenetikus vulkánok komplex piroklasztit üledéksora. a) a Harat Hutayma (Szaúd-Arábia) Jubba maarjának kráter falában feltároló komplex piroklaszt rétegsor dűne rétegzett alapi torlóár üledékekkel (nyíl) (Moufti et al. 2015), b) A Suwolbong tufagyűrű/maar (Jeju sziget, Dél-Korea) proximális piroklaszt rétegsora ballisztikus bombákkal (nyíl) (Sohn and Chough 1989; Jeon et al. 2016), c) az Auckland vulkánmező, Brown Island/Motukorea tufagyűrűjének disztális piroklaszt rétegsora (Agustin-Flores et al. 2015b) .

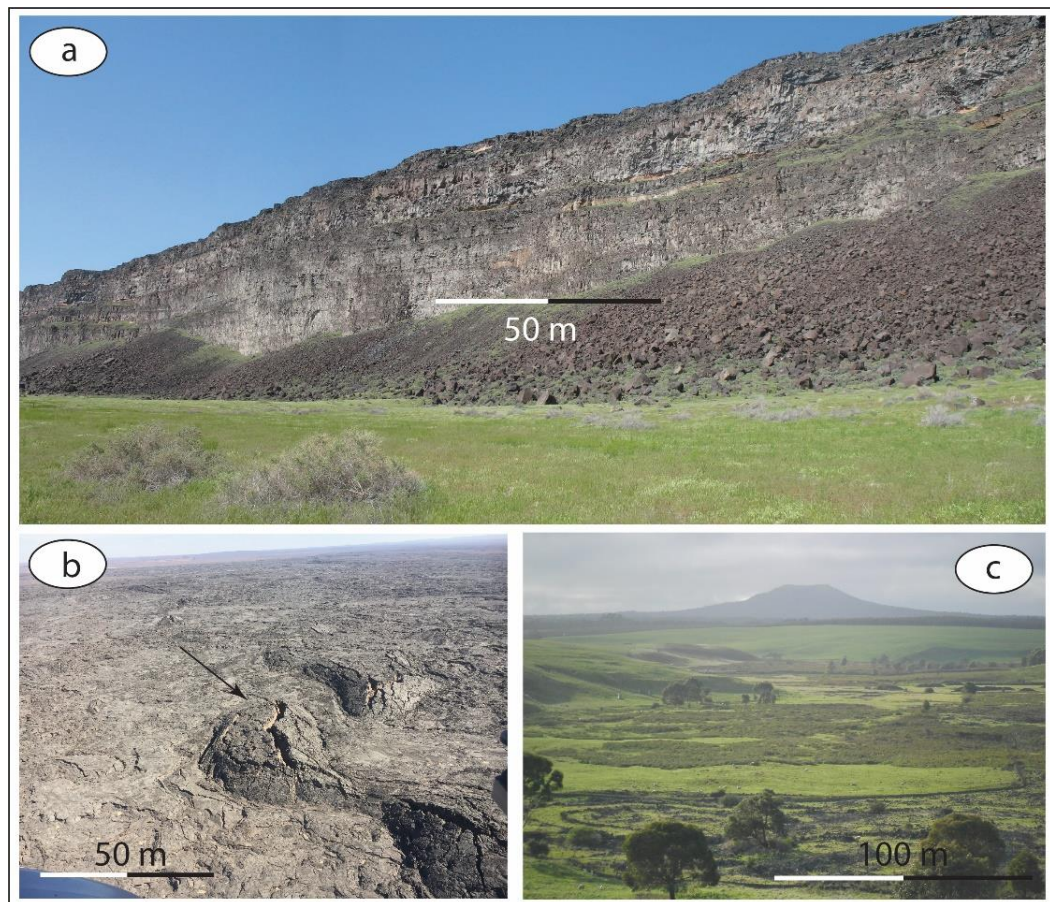
A magma utánpótlás és a magma fizikai-kémiai tulajdonságainak megváltozásával például látványos változás állhat be a magma és annak kigázosodása, és a gázbuborékok feláramlási sebességében. Ennek következtében szinte folyamatosan változtathat a gázbuborékok és magának a magmának a kürtőt elhagyó sebessége és jellege. Ez a folyamat a felszínen megfigyelve a vulkánkitörés folyamatos változását vetíti előre, melyben általában egy a Hawaii-típusú lávaszökőkút kitöréstől haladhatunk egy tipikusan Stromboli típusú gázbuborék szétrobbanásokkal kontrolált kitörés típus felé. Kaliforniai Crater Flat pliocén vulkánjainál kitűnően feltárt kőzetsorozatok (Valentine and Perry 2006) tanúskodnak erről a folyamatról, míg a jelenleg is zajló Geldingadalir (Izland) kitörése során ezt meg is figyelhettük, csak úgy, mint a La Palma már több mint két hónapja tartó kitörése során. Mindez azt is jelenti, hogy egy kistérfogató, azaz monogenetikus vulkán esetében is hihetetlen változatosságot láthatunk a vulkánok rétegsorában mind azok kürtőközei (14b ábra), mind attól távolabbi (14c ábra) geológiai szelvényeiben (Németh and Palmer 2019). A változatosság tehát önmagában még

nem jelenti azt, hogy olyan vulkanizmusról van szó, amely hosszú időt vett igénybe vagy éppen újra és újra felújuló, de különböző magmacsomagok által, poligenetikus vulkanizmus során születtek. A nyugat magyarországi pliocén – pleisztocén vulkanizmus vizsgálata során számtalan példát láthatunk erre a problémára vonatkozóan, melyeket a későbbi fejezetekben fogok részletesen kifejteni (Martin and Nemeth 2004; Wijbrans et al. 2007). Itt gyakori, mi több, szinte általános érvényű elv, hogy a kezdeti freatomagmás robbanásos kitöréseket későbbi lávafröccskúpokat, salakkúpokat építő kitörések építettek fel komplex szerkezetű, de valójában rövid életű vulkánokat (White 1991a). Ugyancsak általános érvényű érvként ismert, hogy a vulkanizmus befejező stádiumában, amikor a magma feláramlási sebessége drasztikusan csökken, a kitörés típusok megváltozhatnak, és azok jól megfigyelhetők a kialakuló rétegsorokban (Lorenz 1987; White 1991a).

Fontos paramétereket lehet rögzíteni a vulkánmező viselkedésére vonatkozóan, amennyiben megfelelő mennyiségű megbízható koradat áll rendelkezésünkre a vulkánok korának meghatározására, illetve meg tudjuk határozni a kitörési termékek teljes térfogatát azok ún., tömör kőzetre számított értékével (Kereszturi et al. 2011a; Kereszturi et al. 2013a; Kereszturi et al. 2013b; Kereszturi et al. 2014b; Blaikie et al. 2015; de Silva and Lindsay 2015; Ko and Yun 2016; Kereszturi et al. 2017). Így egy időátlagos vulkáni kitörési termék térfogat vizsgálata az adott terület szerkezeti viszonyait tükrözheti (Valentine and Perry 2006; Valentine and Connor 2015). Az egyes vulkánok születésének időrendje, és az egyes vulkáni események között eltelt idő vizsgálata során megállapítható egy olyan időtartomány, mely az adott vulkánmezőn belül bekövetkező vulkáni események térfogat változékonyságát mutatja az idő függvényében (Kereszturi et al. 2013a). Elmondható, hogy egy vulkánmezőn belül az egyes új vulkánok születése az ezer vagy akár tízezer éves időskálára tehető. Gyakori azonban, hogy ezen időszakokon belül egyidejűleg akár több vulkán is létrejön (Hopkins et al. 2021).

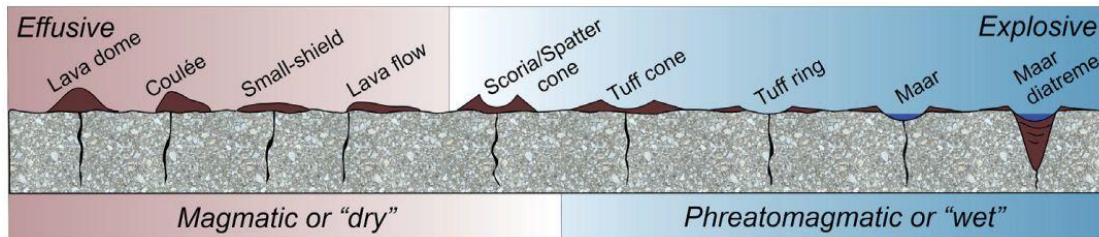
Kontinentális lemezen belüli vulkánmezőket azok magma produktivitása alapján is lehet kategorizálni, mégpedig alacsony vagy magas produktivitású vulkánmezőkre. Az egyik legjobban tanulmányozott alacsony magma produktivitású vulkánmező az Auckland vulkánmező (Magill and Blong 2005; Magill et al. 2005; Hopkins et al. 2021). Hasonló alacsony magma utánpótlással bíró vulkánmező a már említett délnyugat Nevada vulkánmező is (Valentine and Perry 2006). Ezen vulkánmezők ellenpontjai a magas magma produktivitással rendelkező területek: mint például az idahói Kelet-Snake River vulkánmező (15a. ábra) (Greeley and King 1977; Kuntz et al. 1992; Hughes et al. 1999; Graham et al. 2009), vagy az Arab-félsziget vulkánmezejének (15b. ábra) legtöbbször (Camp et al. 1987; Camp and Roobol 1989; Camp et al. 1991; Camp and Roobol 1992; Camp et al. 1992; Moufti and Nemeth 2016) (15a és b ábrák). Ezek a vulkánmezők a teljes magma utánpótlásuk tekintetében sok esetben megközelítik az ún. nagy magmás provinciák magma produktumát. Hasonló jelentős magmás provincia található Kelet-Ausztráliában (Cas 1989; Peregi 2003; Lesti et al. 2008; Boyce 2013; Boyce et al. 2014; Cas et al. 2017; van den Hove et al. 2017), de sok szempontból ide sorolhatók az észak-afrikai (Ade-Hall et al. 1974; Busrewil and Suwesi 1993; Cvetkovic et al. 2010; Bardintzeff et al. 2012; Elshaafi and Gudmundsson 2016) vagy az északkelet kínai kontinentális lemezen belüli vulkánmezők is (Zhao et al. 2014; Fu et al. 2016; Meng et al. 2018; Zhang et al. 2018), ahol én saját kutatásokat is végeztem (Németh et al. 2002c; Nemeth 2004; Martin and Nemeth 2006; Li et al. 2019b; Li et al. 2021), amelynek eredményeiről szemelvényeszerűen a téziseim második felében számolok be. A jelentős magma utánpótlás azt is jelenti, hogy különösen az idősebb, ilyen típusú

vulkánmezőkön, ha a lepusztulás lehetővé teszi, akkor éppen a sekély felszín alatti régiókban felhalmozódott megszilárdult magma, mint telep-telérek vagy kőzet-telérek tárulhatnak fel előttünk, mutatva a magma felszínre kerülésének útját (Lorenz and Haneke 2004). Ezeket a nagy magma produktivitású területeket gyakran, mint „kis magmás provinciáknak” is nevezhetjük, jelezvén, hogy egy folyamatos átmenet lehetséges a tipikus monogenetikus vulkánmezők és a valódi nagy magmás provinciák között (Sheth 2007; Sheth 2018a, b, c). Érdekes felvetés jelent meg ebben a kérdésben arról, hogy amennyiben a nagy magmás provinciák történetét is viszonylag rövid időre tesszük (erről árulkodnak a kormeghatározások, mely szerint jelentős platólávát produkáló magmás rendszerek is alig több mint egy millió éven át működtek), és a kitörési termékek forrását (pl. kürtő) alapvetően hasonló nagyságrendű kürtőszámba vesszük, mint egy tipikus monogenetikus vulkánmező esetében ismert számot, akkor nevezhetjük e ezen platólávákat produkáló vulkanizmust monogenetikusként (Sheth 2007; Sheth and Canon-Tapia 2015). A kérdés felvetése jogos, mert az egyedüli különbség az ilyen magmás provinciák és a tipikus vulkánmezők között csupán a magma produktivitás és a magma feláramlásának sebessége (Sheth and Canon-Tapia 2015). Magmás-vulkáni esemény szempontjából, a legtöbb nagy magmás provincia olyan kitörések sorából állt, melyek rövid idő alatt, de akár nagyságrendekkel több magmát juttattak a felszínre (Sheth and Canon-Tapia 2015), mint például egy tipikus monogenetikus vulkánmező, mint az Auckland vulkánmező (Hopkins et al. 2021). Azonban nagyon szépen látszik egy folyamatos trend, mert az ausztrál Viktória és Dél-Ausztráliai államok területén található Newer Volcanics (Cas et al. 2017), már teljes (láva) térfogatát tekintve is összehasonlítható méretet képvisel egy kisebb nagy magmás provincia láva folyás térfogataival (15c. ábrák). Hasonló kapcsolatot láthatunk az Arab-félsziget, de Észak-Afrika több vulkánmezeje és egy tipikus nagy magmás provincia térfogat arányait vizsgálva is.



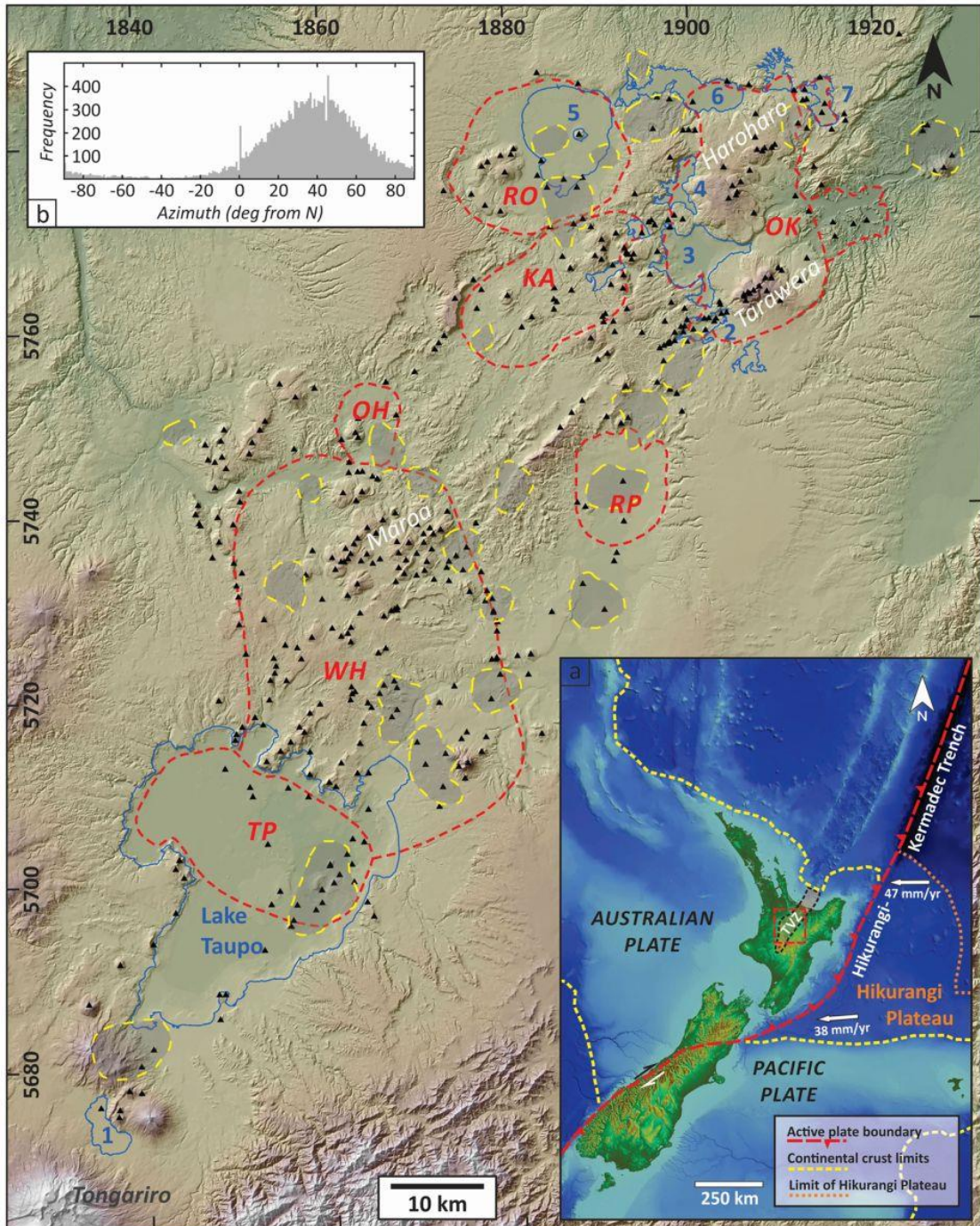
15. ábra – Nagy térfogatú lávamezők monogenetikus vulkánmezőkön. a) vastag láva rétegek a Snake River vulkánmezőn Idahoban (Németh and White 2007), b) Kiterjedt hosszú lávafolyam a Harat Khaybar vulkánmezőn Szaúd-Arábiában (tumulit mutat a nyíl), c) Kiterjedt láva felszín a Newer vulkán provinciából, Victoria Államból, Ausztrália.

A munkásságom során a kolumbiai Nevado del Ruiz vulkán lába előtt elterülő, a rétegvulkán felépülésének kezdetét kissé megelőző időkből született lavadóm mező vizsgálata során merült fel, hogy a több mint 50 lavadóm mindegyike olyan vulkanológiai jegyekkel bír, melyek azt jelzik, hogy azok ugyan kéreg eredetű magmautánpótlással, de rövid idő alatt születtek (Osorio et al. 2018; Salazar-Muñoz et al. 2021). Ez a felismerés arra a gondolatra is vezetett, hogy kollégámmal áttekintettük azokat az eseteket, ahol rövid életű vulkánkitörések, viszonylag gyorsan (órák, napok) kis térfogatú láva dómok és/vagy lávafolyamokat hoznak létre, így minden tekintetben a monogenetikus kategóriába esnek (Murcia et al. 2019). A kolumbiai vulkáni területeken számtalan ilyen esetet dokumentáltunk, és a Föld számos pontján felismerhető egy ilyen, robbanásos kitörésektől „mentes” formája is a monogenetikus vulkanizmusnak, aminek tanulmányozása további munkát érdemel. Hasonlóan az ilyen effuzív monogenetikus vulkanizmushoz (16. ábra), a felszín közeli megrekedt vulkanizmus, pld kőzettelér rajok keletkezése is egyfajta monogenetikus vulkanizmusnak tekinthető, hisz egy-egy dákj önmagában egy igen kistérfogatú magmacsomag megszilárdult anyaga, ami soha nem tudott a felszínre jutni (Murcia and Németh 2021). Ha eljutott volna, valószínűleg ugyanazon geológiai folyamatok hatottak volna rá, mint amelyek meghatározták a vulkáni kitörési típusokat, azok időtartamát, és a lehetséges kitörési termék térfogatokat, amelyekről már pontos ismereteim vannak a monogenetikus vulkánmezők köréből (Murcia and Németh 2021).

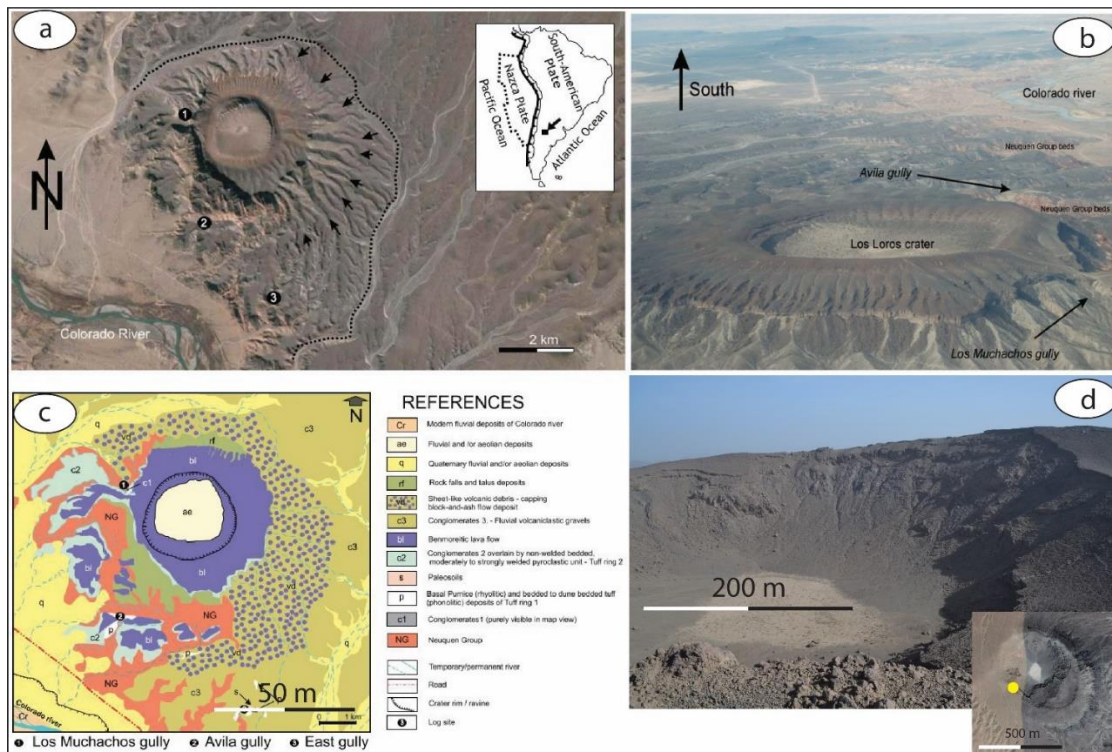


16. ábra - Effuzív monogenetikus vulkanizmus koncepcionális modellje az explózív vulkanizmus és a külső víz hatásának tükrében (Murcia and Németh 2021)

A fenti gondolatmenetet követve szinte azonnal felvetődik az a kérdés, hogy a rövid életű, egyszeri esemény hatására keletkező kalderák születését ebben az esetben hová kellene a koncepcionális rendszerünkben elhelyezni. Az új-zélandi Taupo Vulkáni Zónában végzett kutatásaim (Kósik et al. 2020), és az általam témavezetett doktori kutatások alapján ez a kérdés még akkor is, ha – meglepőnek tűnik - jogos. A legnagyobb szupervulkánok keletkezésének kezdeti stádiuma is nagyon hasonló bármely más vulkán kitörési kezdetéhez (Barker et al. 2021). Felvetődik az a kérdés, hogy ezek szerint a szupervulkanizmus is egy olyan egyedi vulkáni esemény, mely egy esetleges fizikai-kémiai környezetben adott lehetőség következtében, egy amúgy szokványos kitörést juttatott egy egészen más „dimenzióba”. A TVZ kutatása során kiderült, hogy az elmúlt 350 ezer évben született vulkánokat és vulkanizmus jelentős részét – a vulkánkitörések becsült időtartalmát és azok összterfogatát figyelembe véve – egy átlagos monogenetikus vulkáni rendszerhez lehet hasonlítani (17. ábra). Erre a „háttér” zajra ül a szupervulkánok sora (legalább 7 esemény) szinte mindig más (új) helyen nyitva utat új kalderák születésére (Wilson et al. 1995a; Barker et al. 2021). Hasonló logikával, a Föld több pontján is találkozhatunk olyan kalderavulkánokkal, melyek egy jól lehatárolható egyedi vulkáni esemény hatására születtek. Patagóniában végzett kutatásaimban számos trachitos magmatizmus által létrehozott kis- és közepes méretű fiatal vulkán keletkezési körülményeit vizsgáltam (18a, b, c. ábrák). Hasonló eredményekre jutottam az Arab-félszigeten (18d. ábra), ahol bizonyítható volt, hogy a tanulmányozott vulkánt és annak teljes rétegsorát mindösszesen 2, esetleg 3 kitörési fázis hozta létre (Moufti and Németh 2016; Németh and Moufti 2017) (18d. ábra). A monogenetikus vulkáni folyamatok határvidékére terelő kutatásom, a patagóniai Los Loros vulkán (18a, b, c. ábrák) tanulmányozása során arra utaltak, hogy igen kis magma térfogatokkal is számolhatunk az átlagosnál is kisebb térfogatú vulkánok létrejöttében, melyek akár igen széles kemizmusú magmatizmussal kapcsolatosak, jelezvén, hogy ugyan rövid idő alatt, de karakterisztikusan különböző eredetű olvadékok szinte együttes felszínre törése során komplex, de rövid életű, azaz „átmeneti jellegű” vulkanizmust hoznak létre (Németh et al. 2012b).



17. ábra – A Taupó Vulkanai Zóna (TVZ) középső részének vulkáni kúrtői (fekete háromszögek) és a terület kalderái (piros szaggatott vonallal jelölve [KP – Kapenga, OH – Ohakuri, OK – Okataina, RP – Reporoa, RO – Rotorua, TP – Taupo, WH – Whakamaru]. Sárga szaggatott vonalak a legfontosabb geotermális területeket jelölik. Azimut diagram a terület töréseinek irányeloszlását mutatja 20580 vonal szegmens alapján (Kósik et al. 2020).



18. ábra – Bimodális tufagyűrű (Los Loros, Argentína) kis mérete ellenére (a,b) komplex fejlődéstörténetet mutat (Németh et al. 2009d; Németh et al. 2012b), hasonlóan a Gura trachitos tufagyűrűk Szaúd-Arábiából (d) (Moufti and Németh 2013). Google Earth Pro úrfelvétel mutatja a szaúdi vulkán geometriáját, sárga ponttal jelölve a fotó készítésének helyét.

A fentiekben felsorolt példák alapvetően azt támasztják alá, hogy a monogenetikus vulkanizmusban, és a vulkánmezők fejlődésében alapvető térfogat és idő összefüggések lehetnek. A vulkánkitörések között eltelt idő (nyugalmi időszak) és a vulkán kitörések intenzitása (a keletkező vulkanitok összterfogata) között összefüggés van. Ebből az következik, hogy a vulkánmező kitöréseinek pontos kormeghatározásával, és az egyes kitörések teljes termékeinek térfogatából megbecsülhető egy jövőbeli kitörés intenzitása, térfogata és lehetséges ideje is (Valentine and Perry 2007). Ugyan statisztikai szempontból ez a térfogat – kitörés intenzitás közötti összefüggés kedvező lehet, a valóság azonban ennél sokkal komplikáltabb, mivel egy kis térfogatú magmacsomag felszínre jutásának valószínűsége egy vulkánkitörésben számos paramétertől függ. Kutatásaimban felismertem azt a tényt, hogy különösen ezek a kis magmacsomagok nagyon érzékenyen hatnak a lehetséges változásokra. Rájöttem, hogy éppen a felszínközeli kőzet oszlop szerkezete, az abban lévő kőzetek fizikai és kémiai tulajdonságai, illetve a környezet víztartalma meghatározó lehet a kitörések kimeneteleire. Az Auckland vulkánmezőt kutatva sikerült bemutatni, majd egy teljesen új vulkáni veszélyeztettség filozófiát a gyakorlatban érvényesíteni, mely a vulkánkitörések kezdeti stádiumát különválasztja a vulkán kitörések ún. stabilizálódott fázisának folyamataitól, annak köszönhetően, hogy ez a két szint a vulkáni veszélyeztetettség tekintetében nagymértékben eltér egymástól (Németh et al. 2012d; Hayes et al. 2018).

Úgy tűnik, vannak olyan vulkánmezők, melyek igen kis magma produktivitással működtek. Valószínű, hogy a nyugat-magyarországi pliocén – pleisztocén vulkánmezők is ilyenek lehettek

(Martin and Nemeth 2004). A Bakony-Balatonfelvidék vulkánmező magma produktivitása is kb. egy nagytípusúval kisebb, mint az amúgy is kis magma produktívus Auckland vulkánmező (Németh et al. 2010a). Leegyszerűsítve Auckland tízszer olyan gyorsan produkálta ugyanazt a térfogatot, mint a Bakony-Balatonfelvidék. Ez azért különösen érdekes, mert mindkét terület az igen alacsony magmaproduktívus területek közé tartozik, lényegesen elmaradva jól ismert monogenetikus vulkánmezők magmaproduktívusától, mint amelyeket Mexikóban vagy akár közép Franciaországban találhatunk. Logikus következtetés, hogy ilyen kis magma produktívussal rendelkező vulkánmezők kitörési folyamatait érzékenyen befolyásolhatja a legkisebb tektonikai feszültségtér változás, vagy akár egy távoli lemeztektonikai helyzet, mint például a távoli konvergens lemezszegély menti szubdukciós folyamatokban beálló változások (Hopkins et al. 2021). Ilyen eseményeket sikerült kimutatni Auckland vulkánmező kitöréstörténetében is (Brenna et al. 2015a; Smith et al. 2021; Smith and Cronin 2021), és valószínűsíthetően hasonló kapcsolatok feltárására lehet esély a nyugat-magyarországi monogenetikus vulkáni területek esetében is.

Fontos megjegyezni, hogy a magma felszínre jutását nagyban befolyásolja a litoszféra felső szerkezete, ahol gyorsan változó kőzetűrség viszonyok uralkodhatnak, ún., sűrűségcsapdákat alkotva, melyek határán a magma feláramlása lelassulhat, vagy akár meg is állhat rövid időre, lehetőséget adva a magma frakcionációjára, így sikeres magma kitörések során változatos kemizmusú vulkanitokat produkálva annak ellenére, hogy továbbra is alapvetően kis térfogatú magma által vezérelt vulkanizmusról beszélhetünk, ami időben is rövid lefolyású, és a magmája akár eredendően mélyből származó (Connor et al. 1992; Takada 1994; Valentine and Connor 2015). Ilyen értelemben a kémiai változékonyságot alapvetően a magma felszín felé vezető útjának komplikációja okozza, nem pedig egy stabilizálódó magmatározó. Természetesen ebben az esetben is egy teljesen folyamatos kapcsolatrendszer feltételezhetünk, azaz lehetnek átmeneti szerkezetek, melyek sok szempontból közös jellegzetességeket mutathatnak egy tipikus poligenetikus, stabil magmafeláramlási zónával, és magmatározóval rendelkező magmatikus – vulkanikus rendszerrel (Cashman and Sparks 2013; Johnson and Cashman 2020).

A monogenetikus vulkanizmus felismerésének talán a legkritikusabb pontja a vulkáni tevékenység időtartamának objektív meghatározása. Nyilván közvetlen megfigyelések alkalmával ez nem jelent problémát. Az elmúlt évszázadban viszont volt néhány olyan vulkánkitörés, ami tipikusan monogenetikus vulkanizmusnak tekinthető. Másrészt voltak olyan vulkánkitörések – pl. salakkúpok kialakulása – amelyek tipikus monogenetikus vulkáni szerkezeti formát hoztak létre (Müller and Veyl 1956; Kienle et al. 1980; Moreno R 1980; Self et al. 1980; Aramaki et al. 1986; Luhr and Simkin 1993). Ettől függetlenül, még egy jól megfigyelt vulkánkitörés esetén is igen részletes üledékföldtani vizsgálatok azok, melyekkel kalibrálni lehet a látottakat a geológiai rétegekben megőrződött vulkáni rétegekkel (Büchel and Lorenz 1993; Ort et al. 2000). Ez különösen azért nehéz feladat, mert néhány év alatt is jelentős morfológiai változáson eshet át egy monogenetikus vulkán, elmosva ezáltal a vulkáni rétegsorban azon részleteket, melyek a közvetlen megfigyelésekhez köthetők (Pirrung et al. 2005; Pirrung et al. 2008).

Gyakori tévhit a monogenetikus vulkanizmus értelmezésében, és egyben jó támadási felület azok számára, akik nem látják szükségesnek a monogenetikus vulkanizmus kategorizálását arra való tekintettel, hogy számos vulkáni szerkezet igen komplex lehet, még akkor is, ha alapvetően

kis mennyiségű kitörési termékről beszélünk. (Erre a kérdésre a későbbiekben még visszatérek.) Ezt legtöbbször a legerősebb ellenérvnek tekintik a monogenetikus vulkán koncepciójával szemben rámutatva arra, hogy ezek a vulkánok is olyan komplexek, mint bármelyik más tipikus poligenetikus vulkán (például rétegvulkánok). A különbség azonban szembeötlő, és vulkán geológiai módszerekkel az esetek többségében tisztázható. Különösen a földtani szelvényekben, üledékföldtani módszerekkel, a vulkán geológia fő alapelveit követve pedig kitűnően elkülöníthetőek ezek a vulkántípusok (Németh and Palmer 2019). Gyakran a monogenetikus vulkánokhoz köthető kitörési termék variabilitás igazából annak a látványos és karakterisztikus hatásnak köszönhető, melyet a kitöréstípusok változása ad, akár órák alatt is. Az Eifel-hegységben a Rothenberg salakkúpon leírt komplex vulkáni szerkezet egyszerűen „csak” a Hawaii és Stromboli típusú magmás robbanásos (Németh and Martin 2007) kitöréstípusok adta változékonyságnak az eredménye (Houghton and Schmincke 1989). Ez pedig alapvetően a magma feláramlás sebességében, a magma utánpótlás térfogatában, a magma hőmérsékletében és kristályossági fokában érezhető változások eredménye. Tehát nem egy sokkal hosszabb idő és térbeli léptéken működő folyamat eredménye, ami a poligenetikus vulkáni viselkedés sajátossága. Bár a Rothenberg salakkúp valóban egy kicsi vulkán, becsült kitörési termékeinek teljes térfogata is lényegesen alacsonyabb egy átlagos monogenetikus salakkúp térfogatánál. Nagyobb térfogatú, de továbbra is monogenetikus vulkánnak tekintett kis térfogatú vulkánok jelentős vulkáni kitöréstermék vastagságot alkothatnak, nem beszélve azok igen komplex szerkezetéről, mint például az idahoi Snake River menti vulkánok, mint a Sinker Butte (Brand and White 2007). A Sinker Butte a Western Snake River vulkánmező része (Brand and White 2007). A Snake River mentén a vulkánok kitűnően fel vannak tárva, hisz a folyó mélyen belevágott a síkságba, de ettől a kanyontól távolodva, csak lankás dombokat és igen kevés feltárást találunk, megnehezítve a terület vulkanológiai értelmezését (Németh and White 2007). A Snake River kanyonjában viszont feltárul az a komplexitás, mely egy alapvetően nagy magmautánpótlással működő vulkánmező esetében nyilvánvaló (Németh and White 2007) (19. ábra).



19. ábra - Sinker Butte (nyugati Snake River vulkánmező, Idaho) kanyonfalban (a) feltárt freatomagmás piroklaszt sorozata (b) a vulkán proximális vulkáni fácieseit mutatja (b).

A vulkánmező jelentős mennyiségű lávát is produkált, mely nagyrésze tipikus pajzsvulkánokat hozott létre, gyakran nehezen azonosítható kráterrel vagy kitörési központtal (Greeley 1982). Ezek a pajzsvulkánok úgy tűnik, hogy viszonylag gyorsan növekedtek, mert azokon a helyeken, ahol a feltártság ezt lehetővé teszi, nem találunk üledékföldtani bizonyítékokat arra, hogy

jelentős idő telhetett el egy-egy lávamező kialakulása között. Ezek a pajzsvulkánok nagyban hasonlítanak azokhoz a pajzsvulkánokhoz, melyek az észak-afrikai vulkánmezők jelentős részét alkotják, (pl. az Al Haruj vulkánmezeje Líbiában, ahol kutatásokat is végeztem ebben a témában) (Nemeth 2004). Az effuzív komponense a vulkánmezők és a monogenetikus vulkáni területek kialakulásában már ezzel kapcsolatban is felvetődött, de nem alakult ki egy gyakorlatban is használható modell egy vulkáni terület értelmezéséhez (Greeley 1982).

Amíg a korábbiakban említett kis térfogatú és alacsony intenzitású vulkánmezők kitörési jellegzetességeit lényegében az egymást követő kitörések produkálta kitörési termék térfogata határozza meg, azon területeken ahol alapvetően jelentős magma utánpótlást tapasztalhatunk és a teljes magma produktivitás is nagy, a vulkánmező fejlődéstörténetét döntően a magma utánpótlás intenzitása fogja meghatározni, azaz a vulkánmező alapvetően magma-kontrolált (Valentine and Perry 2007). Leegyszerűsítve azt mondhatjuk, hogy az ilyen nagy magma produktivitású területeken a vulkánmező fejlődésében elsősorban a magma forrás, a köpeny geotermális szerkezete lesz a meghatározó, a tektonikai elemek pedig alárendelt szerepet fognak játszani a vulkánmező fejlődéstörténetére vonatkozóan (Murcia and Németh 2021).

A monogenetikus vulkánok legegyszerűbb formájukban csak nagyon kis mennyiségű ($<<0.01\text{km}^3$) és közvetlenül mélyből (köpeny) származó magmából táplálkoznak. Ilyen kisméretű magmacsomagok keskeny (dm-tartomány) dájkot formálva jutnak a felszínre. Ilyen kis térfogatú olvadékoszlop, mely több kilométer hosszú diapírszerű formát alkot, viszonylag gyorsan lehűlhet, megszilárdulhat (napok, hetek alatt), így a vulkáni működésnek nem is lehet hosszú élete, hiszen a rendszer viszonylag gyorsan „befagy”. A fenti gondolatmenetből következik, hogy egy ilyen vulkán esetében a kitörési termékek kemizmusa, azok szerkezete egyszerű kell, hogy legyen. A valóságban azonban mást látunk, és kutatásaim során több ilyen esetet sikerült felfedeznem (Németh et al. 2003c; Nemeth 2010; Brenna et al. 2011; Németh et al. 2012c; Jankovics et al. 2015; Brenna et al. 2017; Jankovics et al. 2019). Még egy viszonylag kistérfogatú salakkúp esetében is ismert, hogy a lehetséges, és talán várt kristály-frakcionáció mellett olyan kémiai jeleket lehet tapasztalni, melyek arra utalnak, hogy a vulkán felépítésében akár több magmacsomag együttesen is részt vett. Ezek a magmacsomagok a már felmelegített kitörési csatornákon jutottak a felszínre, akár utol is érve egymást. Ezen jelenségek felismerésében mindenképp részletes kémiai rétegtan elvégzése szükséges. Azonban vannak olyan salakkúpok is, melyek már csak a méretüknél fogva is, abba a tartományba tartoznak, ahol szinte szükséges is több magmacsomag együttes felszínre jutása ahhoz, hogy az adott vulkáni formát létrehozassuk. Minél jobban eltávolodunk a kis magma térfogatoktól egyre inkább eljutunk abba a tartományba, ahol igazából nagyon nehéz az adott vulkánt monogenetikus viselkedésűnek tekinteni. Ezek a vulkánok hosszú életűek, és gyakran elérik az 1 km^3 kitörési termék térfogatot, vagy az 1 km^3 tömör kőzet térfogatot. A nicaraguai Cerro Negro vulkán esetében a kérdést meg is fogalmazták, hisz az egy majd 900 éve aktív vulkán, mely teljes térfogatával is már túllépi az 1 km^3 értéket (McKnight and Williams 1997). Saját kutatásaim során több ilyen jelentős méretű, általában az egyszerűség kedvéért csak óriási salakkúpnek nevezett vulkánon dolgoztam Szaúd-Arábiában (Németh and Moufti 2017).

Összességében a monogenetikus vulkánmezőket két kategóriába lehet foglalni, 1) azok magma térfogata alapján kontroláltak, vagy 2) a nagy magmaproduktivitás által kontroláltak (Valentine and Perry 2007). Amíg az első esetben a felnyomuló magma könnyen csapdázódhat a felső

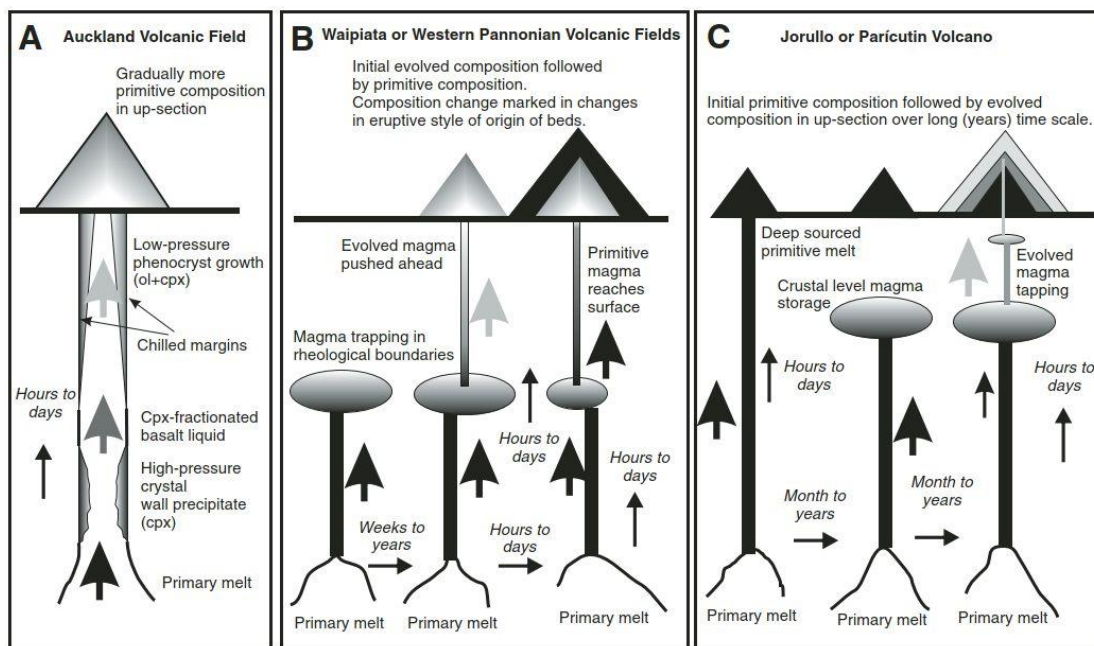
kéreg töréses szerkezeteibe, amelynek következtében a felszínen lineamentumokba rendeződött vulkánokat találhatunk, addig a magma-kontrolált vulkánmezőknél a feltörő magma mennyisége olyan jelentős, hogy az képes levezetni a kéreg feszültségeit annak töréses deformációja nélkül, ezért a vulkánmezőn nem látunk vulkán lineamentumokat, bár vulkánok így is csoportokba rendeződhetnek, jelezvén a helybeli termális anomáliák felszíni vetületét (Parsons et al. 1992; Parsons et al. 1996; Valentine and Krogh 2006). Helyi lineamentumok, mindkét alapvető vulkánmező típus esetében gyakran a magma tápcsatornáinak felszínközeli szerkezetét jelzik (általában a felszínre jutás ideje alatt néhány száz méteren uralkodó szerkezeti viszonyokat). Ilyen látványos hasadékminti vulkán sorokat sikerült leírni az Arxan-Chaihe vulkánmezőről, Északkelet-Kínából, ahol rendkívül gyakori jelenség a pár száz méter hosszú vulkán sorok jelenléte, és a vulkáni kráterek elnyújtott megjelenése (Németh et al. 2020; Li et al. 2021).

3. 4 Monogenetikus és poligenetikus vulkanizmus

A vulkanizmus megismerése, különös tekintettel annak monogenetikus, illetve poligenetikus képbe helyezése az elmúlt évtizedekben látványos fejlődésen ment keresztül. A regionális tektonika szempontjából a vulkánokat különböző természetes csoportokba sorolták, azok geotektonikai helyzetétől függően, elkülönítve a (1) hasadékvölgyekhez köthető vulkánokat (rift-vulkanizmus) (Walker 1993, 1999); (2) a konvergens lemezszegély szubdukcióval kapcsolatos vulkanizmust, ideértve a különböző vulkáni íveket; (3) a magmás feláramlásokhoz köthető ún. forró foltok vulkanizmusát (Jellinek and Manga 2004); és (4) a lemezen belüli vulkanizmust, amit gyakran kontinentális lemezen belüli vulkanizmusnak kell tekinteni (Johnson 1989). Ez a felosztás a következő: a magma forrása (mély – sekély), annak útja a felszín felé (egyedi vagy több stádiumú), és a magma utánpótlás intenzitása (kicsi vagy óriási, lassú vagy gyors). A monogenetikus vulkánok alapvetően a lemezen belüli vulkanizmushoz köthetők, hiszen abban az esetben leginkább mély eredetű, egyszerűen a felszínre jutó magma táplálta vulkánokról beszélhetünk, melyek felszínre jutása egy hideg, sűrű és töredezett kontinentális litoszférán jut a felszínre (Valentine and Connor 2015). Azt mondhatjuk, hogy minél inkább eltávolodunk ettől a geotektonikai helyzettől, a magma felszínre jutása, annak petrogenetikai története mind komplexebbé válik, utat engedve olyan magma feláramlási zónák kialakulásának, amelyek akár több százezer éven keresztül stabilak maradhatnak, térben szűk területre korlátozódva felépítve egy poligenetikus vulkáni rendszert rétegvulkánokkal, összetett vulkánokkal és kaldera vulkánokkal (de Silva and Lindsay 2015). Következésképpen ilyen esetben a monogenetikus vulkanizmus, mint a vulkanizmus egyik záró tagjának tekintendő. Megjegyzendő, hogy a monogenetikus vulkanizmus és monogenetikus vulkán mellett, a vulkán monogenetikus viselkedése is hasznos leíró kifejezés lehet, hiszen ezzel kifejezhető az adott vulkán „monogenetikusságának” mértéke.

A monogenetikus és poligenetikus vulkanizmus elkülönítésére számos vulkanológiai és tektonikai magyarázat született (Kugaenko and Volynets 2019; Garcia-Abdeslem 2020; Yokoyama 2020). A magyarázatok többségében a magma földkérgén történő átjutásának fizikai problematikáját vizsgálják, nevezetesen azt, hogy hogyan viselkedik egy fluidummal kitöltött

(magma) repedés egy adott litosferikus feszültségtérben (Takada 1994; Marti et al. 2016; Yokoyama 2020). A közvetlen megfigyelések és az azokkal egyidejűleg történő mintavételezésekkel és térképezésekkel megállapítható, hogy a monogenetikus vulkánok élettartama ritkán haladja meg az egy évtizedet, miközben a felépülő vulkán és annak teljes kitörési terméke nem éri el az 1 km³ értéket. Ez egyben azt is jelenti, hogy ilyen körülmények között a felszínen található kőzetekben nem várható jelentős különbség ezeknek a kőzeteknek a geokémiájában. Ebben a témakörben végzett kutatásaim alapján a világon első vulkanológusként írtam le részletesen azt a jelenséget, amelyben egy kistérfogatú és minden vonatkozásában monogenetikusnak tekintett vulkán életében a vulkanizmust tápláló magma a felszíni kőzetekben jól vizsgálható kémiai változáson ment keresztül (Németh et al. 2003c). Ez a változékonyság elsőként a magma útján történő kristály-frakcionációval volt magyarázva, annak több módzatában. Az általam felvetett kémiai rétegtan alkalmazása a kis térfogatú vulkanizmusban drámai áttörést hozott az ilyen kis térfogatú monogenetikus vulkánok működésének megértésében (Bardintzeff et al. 2012; Smith and Németh 2017). Az első kutatásaim és eredményeim közlését követően számos geokémiai munkában vettem részt, majd a kutató diákok munkáját segítve egyre mélyebben megértettem a monogenetikus vulkánok működését.



20. ábra – Monogenetikus vulkanizmus elvi modelljei a magma felszínre jutása és a geokémiai összefüggések alapján (Németh 2010a). (A) az Auckland vulkánmező, Crater Hill vulkánja alapján (Smith et al. 2008), (B) a Waipiata (Új-Zéland) miocén és a Nyugat-Pannon-medence pliocén-pleisztocén vulkanizmusá alapján (Németh et al. 2003c), és (C) a mexikói Jorullo és Parícutin vulkánok alapján (Johnson et al. 2008).

Az Auckland vulkánmező esetében bizonyosodott be, hogy a kis térfogatú vulkánok működésében a magma és a feláramlási csatorna fala közötti termális hatásra kristályosodás indulhat meg, így viszonylag rövid idő alatt (órák, napok) is magma evolúció következik be. Ezért a felszíni kőzetekben a részletesen dokumentált rétegtanilag kontrolált mintavételezésekkel megállapítható, hogy milyen és mekkora magmacsomag esik át ezen a folyamaton, sőt az is megadható, hogy akár extrém kicsi magma térfogatokkal számolva is láthatóvá válják ez a

folyamat (Smith et al. 2008). Ezt igen kicsi magma térfogatokra nézve is azonosíthatjuk. E folyamat ellenpontjaként az olyan esetekben, ahol jelentősebb magmacsomagokkal kell számolnunk komplexebb magma kémiai folyamatokkal állhatunk szemben, melyben akár kisebb magmatározók kialakulása (akár mélyben akár felszín közelben is jól elkülöníthető kemizmusú magmákat azonosíthatunk (lásd a Jorullo vagy a Paricutin vulkánok (Mexikó) esetében is) (Johnson et al. 2008). A Jorullo esetében az olvadékszárnyok és a teljes kőzet kemizmusa közötti különbséget kétfázisú kristályosodásra vezették vissza. Jelezvén azt, hogy a magma még egy ilyen alapvetően kicsi magmautánpótlás esetén is átesett rövidebb megálláson a felszín felé vezető útja során (Johnson et al. 2008). Ezzel a szerzők tulajdonképpen arra utaltak, hogy a magma egy ilyen kis magmautánpótlás esetén is a felszín felé vezető útja során rövidebb megállásra kényszerült. Ugyanakkor meg kell azt is jegyezni, hogy a fentiekben leírt eseményt akár elhúzódó folyamatként rekonstruálták, ahol a frakcionált kristályosodás mellett a bezáró kőzetek asszimilációja is fontos szerepet játszhatott, ami vastag kontinentális litoszféra esetében logikus hipotézisnek tekinthető (20. ábra). Johnson és társai a Jorullo esetében a magma felszínre jutása előtt egy 1300 napos periódust határoztak meg (Johnson et al. 2008). Ezek ugyan indirekt, és modellszámítások eredményei, de éppen a saját kutatásaim mutattak rá elsőként a világon arra a tényre, hogy ilyen geológiai környezetek lehetségesek (Németh et al. 2003c; Nemeth and Martin 2007). A lepusztult monogenetikus vulkánmezőkön, mint a Bakony-Balatonfelvidék vulkánmező, a lepusztulás feltárhatja a monogenetikus vulkánok alatt pár száz méterre lévő zónákat is, melyekben gyakran kisebb dájkok, telep telérek vagy csak egyszerűen több tíz méterre kivastagodott magma góccok voltak azonosíthatóak, jelezvén, hogy a magma útja a felszínre nem egy egyszerű folyamat, sőt azt mind a forrás-közeli fizikai és kémiai környezet, mind a sűrűséghatárok akadályrendszere, és végül a felszín közeli szerkezeti elemek jelentősen megnehezíthetik (Németh and Martin 2007; Németh et al. 2021d). A Balatonfelvidéki példákön kitűnően látható, hogy mindaz, amit a geokémiai adatok mutatnak, tökéletes összhangban állnak azzal a geológiai képpel, ahogy a magma táprendszerek táplálhatják ezeket a kis vulkánokat.

A Jorullo vulkán közel 15 éves működése alapján ismertté vált, hogy a kitörési termékek kemizmusa a primitív bazaltos összetételtől kezdődően folyamatosan, egy jobban kifejlődött bazaltos andezit vulkanizmussá változik (Luhr and Carmichael 1985). A korai Jorullo kitörések mély magma forrásból táplálóztak, amelyek körülbelül 16 kilométer mélységű komplex dáj és teleptelér rendszeren át jutottak a felszínre, ami idővel egyre komplexebbé vált (Johnson et al. 2008). A későbbi kitörések viszont egy olyan forrásból származhattak, ahol az olivin kristályosodása mellett plagioklász és klinopiroxén kristályosodás volt megfigyelhető, mely valószínűleg néhány száz méterrel a felszín alatt történhetett (feltételezhetően egy olyan rendszerben, ami feltárulva kalapálható több Balaton-felvidéki pliocén bazalt vulkán esetében is) (Johnson et al. 2008).

Ha a monogenetikus vulkánokat így a magma produktivitás (és a teljes kitörési termék térfogata) szempontjából nézzük, akkor szembeötlő az, hogy több kistérfogatú vulkánmező esetében a kitörések kezdetén a dáj csúcsán kialakult sokkal differenciáltabb olvadék jön fel először, majd idővel a dáj alsó részeinek forróbb, és sokkal primitívebb része éri el a felszínt. Ezt a geokémiai rétegződést meg lehetett figyelni több területen ahol dolgoztam, mint például az új-zélandi Waipiata vulkánmezőn, a Bakony-Balaton vulkánmezőn, és az Auckland vulkánmezőn is (Németh et al. 2003c). Érdekes módon, ez a trend a vulkán rétegtanilag alsóbb helyzetű

kitörési termékeire nézve azt jelenti, hogy azok gyakran kölcsönhatásba lépnek a környezet víztartalmával, robbanásos freatomagmás kitöréseknek helyet adva. Az északkelet-kínai kutatásaim során sikerült azt is dokumentálni, hogy vastag kontinentális kéreg esetén és granitoid bezáró kőzetekkel számolva a kis időre megrekedt feláramló olvadék tetején még beolvasztásra is sor kerülhet, ezzel is növelve a dák csúcsában lévő olvadék robbanékonyságát (21. ábra).



21. ábra – Megsült gránit xenolit a Tongxin maar freatomagmás piroklasztit sorozatából, az északkelet kínai Arxan-Chaihe vulkánmezőről. A bomba 15 cm átmérőjű.

A kínai területeken, a kezdeti kitörési termékek legtöbbször freatomagmás kitörés eredményének tekinthető, melyben mint a pattogatott kukorica, termálisan metamorfizált granitoid zárványok sokaságát lehetett látni (Li et al. 2020). Az első megfigyeléseket követően napjainkra a kutatások egy egész arzenálja jelent meg, mind inkább részletezve a magma útját a felszín felé, és annak robbanásos kitörésekben való részvételét rétegtanilag kontrolált eseményszintű leírását. Az is kiderült, hogy a magma forrása sem homogén, hasonlóan a forrás kémiai összetételéhez, de a forrás geometria helyzete is változatos lehet (Brenna et al. 2011; Sohn et al. 2011; McGee et al. 2012a; McGee et al. 2013; Jankovics et al. 2015; McGee et al. 2015; Handley et al. 2017; Jankovics et al. 2019). Azt is sikerült modellezni, hogy a magma az útja során a jelentős fázis és sűrűség határok mentén általában lelassul, ami egyrészt segítheti a következő magma csomagokkal való keveredést, valamint a fentebb leírt kémiai változásokat.

A monogenetikus vulkáni folyamatok tanulmányozása jelentősen hozzájárult a vulkanizmus megértéséhez is, hiszen amit egy kis térfogatú vulkanizmussal, annak legegyszerűbb formájában láthatunk, kiterjeszhető bármely típusú vulkanizmusra, annak részleteinek megértésére. Ez a gondolat vezetett oda, hogy néhány a vulkanizmus egészét egységes modellben ábrázoló koncepcionális modell is megszülethetett (Canon-Tapia and Walker 2004; Canon-Tapia 2014,

2016). Ezekben az általános érvényű modellekben egyszerre szerepel a vulkanizmus fizikai és kémiai folyamatainak bemutatása, azok geotektonikai perspektívájából megfogalmazva. Ebben a modellben a vulkanizmus, és a magma mozgása leegyszerűsítve úgy jelenik meg, mint a magma, mint fluidum mozgása egy változó fizikai környezetben. A probléma tehát azzal a kérdéssel kapcsolatos, hogy mennyi idő, energia és más, a felszínközeli kéregszerkezeti körülmények szükségesek ahhoz, hogy a magma a forrástól a felszínig jusson. Ebben a modellben a magma és a magmatizmus/vulkanizmus, mint összekapcsolt ásványi szinten működő rendszer szerepel, amely mentén az olvadék mozog. Ebből következik, hogy milyen típusú vulkanizmus jön létre, az lényegében annak a függvénye, hogy ez az ásványszintű csatornarendszer milyen geometriával bír, és abban a magma hogyan mozog (Canon-Tapia and Walker 2004). Cañon-Tapia and Walker (2004) modelljében három alapesetet különítenek el.

Az első alapeset az, amikor a magmaforrás olyan nyomás alatt áll, hogy a magma azt elhagyva fenn tudja tartani a folyamatos magma utánpótlást. Továbbá, ha a minimum tektonikai feszültség komponense horizontális, akkor az olvadék képes a felszínig gyorsan eljutni. A magmutánpótlás addig tartható fenn, amíg a magma nyomása elegendő, hogy az olvadékot mozgásba tartsa. A magma forrásrégiójának geometriája szerint minden egyes ciklusban az új magmacsomag kicsit más helyen vág utat magának, így hozva létre a felszínen egy vulkánmezőt, azaz monogenetikus vulkanizmust. Amennyiben a magma dájkokon keresztül gyorsan képes újra tölteni, akkor a következő magma csomag a még mindig „meleg” kitörési csatornát követve jut a felszínre, idővel egy egymásra épülő vulkáni rendszert hozva létre, azaz nagyobb térfogatú, de alapvetően egyszerű szerkezetű vulkánok jöhetnek létre, átmeneti formát képezve a monogenetikus és poligenetikus vulkántípusok között.

A második magma mozgási modellben, ha kellően nagy területről képes magma belépni a hasadékhálózatba, a magma felszínre vezető útja során egy egyre erősebben vertikális helyzetű minimum tektonikai feszültségtér alakul ki, megakadályozva, hogy a magma a felszínre jusson, azaz dájkokból és telep telérekből álló rendszer jön létre. Amennyiben a stressz mező rövid idő alatt változik, nemcsak a felszínre jutó magma kilépési pontja változik, de akár vulkánmezők születése és aktív intruzív periódusok váltakozhatnak időben. Ez a modell azt is előrevetíti, hogy gyorsan változó geotektonikai rendszerekben a felszíni monogenetikus vulkánmezők alatt valószínűleg egy egész intruzív magmás rendszer lehetséges, amit egy cikkünkben, mint szubvulkáni monogenetikus vulkanizmus nevesítettünk (Murcia and Németh 2021).

A harmadik alapesetben, amikor a magma forrása területén az olvadékhálózat nem megfelelő méretű (például túl kicsi térfogatú), akkor az nem képes fenntartani azt a nyomásviszonyt, ami az olvadékot mozgásban tarthatná és a felszínhez közeli régiókba pumpálná. Ilyen esetben a folyamatosan szegregálódó olvadék a forrás és a felszín között magma tározókban rekedve képes geokémiai értelemben fejlődni. Ennek a magmatározónak a fizikai és kémiai viszonyai hatással lesznek arra, hogy későbbi olvadékcsoomagok induljanak a felszín felé és ezekkel a felszínközeli magma tározókkal kapcsolatba lépjenek, majd kritikus értékeket átlépve a felszínre törjenek, mint fejlett (pld. savanyú) magmák. E modell szerint ilyen esetben tipikus poligenetikus vulkánok szülehetnek.

Valóban ez a modell és az ezekhez hasonló koncepcionális modellek magyarázatot adnak a különböző típusú vulkanizmus létrejöttére. Ez a modell abból a hipotézisből indul ki, hogy az

olvadékgeneráció, viszonylag állandó és alacsony érték a Föld bármely területén. Ennek igazolása egyelőre nem egyértelmű. Ugyancsak nem túl reális megközelítés, hogy a magma forrása, a köpeny, nem homogén közeg, valamint az olvadék keletkezési pontjainak kémiai és fizikai változékonysága valószínűleg nagymértékben befolyásolhatja ezt a fizikai modellre épülő hipotézist.

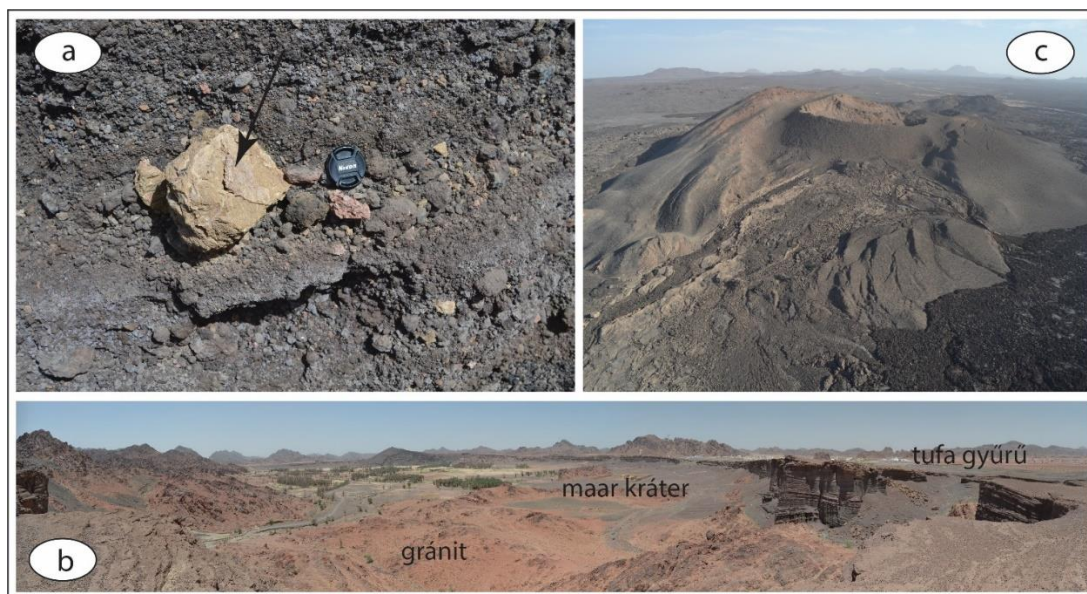
Ennek megfelelően a magma forrás heterogenitása önmagában magyarázatot adhat a felszínen tapasztalható vulkanizmus változatosságára (Anderson 2006). Problematikusabb kérdés az olvadék keletkezés rátája, ami több kutató szerint nem egy állandó érték. Ez viszont pont a monogenetikus – poligenetikus vulkanizmus kérdése szempontjából fontos, hiszen kellően nagy magma keletkezési ráták mellett óriási variabilitás lehetséges arra nézve, hogy milyen típusú vulkanizmus jön létre a felszínen. Több tanulmány is bemutatta, hogy a magma keletkezés rátája nagyon különböző lehet más és más geotektonikai környezetben, és az összefüggésbe hozható a terület regionális tektonikai jellemzőivel (Thordarson and Larsen 2007; Brenna et al. 2012; May et al. 2018; Seton et al. 2019). Végsősoron pedig a magmakeletkezés sebessége, milyensége és folyamatossága a hőáramoktól, más fluidumok rendelkezésre állásától, magma konvekciós rendszereitől, és a köpeny fertilitásától erősen függő paraméter (Ballmer et al. 2007a; Ballmer et al. 2007b; Bianco et al. 2011; Sakamaki et al. 2013; Ballmer et al. 2015; Motoki and Ballmer 2015). Kétségtelen, hogy a monogenetikus vulkanizmus tanulmányozása a magma forrástól a felszínig, egy új és hasznos tudományterület, mely alapján pontosíthatjuk a vulkanizmus megjelenési formáit.

3.5 „Szárász” monogenetikus vulkanizmus

„Szárász” vulkáni folyamatok alatt azon robbanásos és lávaöntő kitöréseket értjük, ahol a vulkáni folyamatokat alapvetően a magma kémiai és fizikai paraméterei (viszkozitás, hőmérséklet, magma feláramlás sebessége, a magma kémiai összetétele) határozzák meg. A magma fragmentációjában a magmás gázok játszik a főszerepet. Az ilyen kitörésekre így a külső környezet, és annak víz tartalma nem hat számottevően. Az elmúlt két évtizedben azonban számos kutatás rámutatott arra, hogy tisztán szárász vulkáni kitörések a kis térfogatú, monogenetikus vulkanizmuson belül igen ritka (Bolos et al. 2012; Murcia et al. 2015). Még olyan esetben is, amikor a felépülő vulkáni felépítmény szinte teljes egészében egy salakkúphoz hasonló szerkezet. Gyakori, hogy a maga jellegzetes salak lapilli és hamu rétegsorával a kezdeti rétegsor olyan szöveti elemeket mutat, ami rövid magma és víz kölcsönhatásra utal (Agustin-Flores et al. 2021) (22a. ábra). Ilyen vulkáni jelenségeket dokumentáltam olyan helyről is, ahol a holocén klíma alapvetően sivatagi, és külső víz jelenléte minimális (Moufti et al. 2015) (22b. ábra). Ilyen freatomagmás eseményre nyilván annál nagyobb az esély minél kisebb térfogatú magma felszínre jutásáról van szó, vagyis a külső környezet befolyása felülírja a magmás folyamatok hatását (Smith and Németh 2017).

Szárász vulkáni folyamatok során gyakran lávamezők, vagy akár több tíz kilométer hosszú lávafolyások születnek, követve a kitörés idejének morfológiai elemeit (Kilburn 2000; Valentine and Connor 2015). Patagóniából, vagy éppen Kelet-Ausztráliából nagyon hosszú lávafolyások is

ismertek, ahol egyedi lávafolyások akár a 100 km hosszúságot is elérték (Stephenson et al. 1998; Sutherland 1998). Nyilván ilyen különleges lávafolyások esetén mindig felmerül a kérdés: mennyire tekinthető egy ilyen lávafolyam egyszeri eseménynek, azaz a vulkán működése monogenetikus jellegűnek? Történelmi adatokból ismert, hogy számos ilyen egyedi lávafolyás, kontinentális lemezen belüli vulkánmezőkön, akár hónapok alatt jöhetett létre, ami valószínűleg hosszabb idő annál, minthogy egy magmacsomag kiürülésének lennének csak hírvivői. Az 1256-os Al Madinah (Szaúd-Arábia) kitörés során a korabeli dokumentumok szerint legalább 52 napig tartott a vulkáni tevékenység (Camp et al. 1987). A térképezések során kiderült, hogy a láva mező komplex szerkezetű, és időnként friss magma kiömlésével volt képes mozgásban tartani az amúgy több mint tíz kilométer hosszú lávafolyást (Kereszturi et al. 2016) (22c. ábra).



22. ábra – Vékony freatomagmás alapi rétegsor a 640-es Al Madinah kitörés (Szaúd-Arábia) során keletkezett kisméretű salakkúpok rétegsorában (Murcia et al. 2015). A nyíl feltépett lítikus piroklaszttra mutat (a). A Jubb maar a Szaúd-Arábiai Harrat Hutaymah vulkánmező egyik legnagyobb maar vulkánja (Moufti et al. 2015). Piroklasztit sorozata a gránit képződményekre települ, amit a maar kitörés átvágott (b). Az Al Madinah 1256-os kitörésének fő központja egy komplex salakkúp, amely többször összeomlott és újjáépült (Moufti et al. 2013c). A kiinduló láva különböző fázisokban felhalmozódott anyaga jól elkülöníthető.

A már korábban említett Western és Eastern Snake River Plains (Idaho) vulkánmezeje – azonban már térfogatánál fogva is – közelít az akár év tízezrektől akár évmillióig történő szinte folyamatos kitöréssel jellemezhető nagy magmás provinciák felé (Greeley 1982; Hughes et al. 1999). Ezen nagy láva folyásoknak is gyakran Stromboli típusú salakkúpok, Hawaii-típusú lávafröccskúpok lehetnek a forrásai. A lávafolyamok forrásának meghatározása gyakran komoly probléma, mert a növekvő lávamező könnyen befedheti az amúgy is alacsony vulkáni kúpokat. Különösen a bazaltos láva mezők felszínformái látványosak. A pāhoehoe és ‘a’ā-típusú felszínformák mellett gyakoriak a tumuli képződmények (Diniega and Németh 2015) (23a. ábra), amelyek gyakran jelentős méretűek lehetnek, és nehezen elkülöníthetőek a valódi kitörési központoktól (23b. ábra) (Ollier 1964). A tumuli és valódi lávafröccs-kúpok elkülönítése rendkívül fontos, mert a vulkánmező statisztikai vizsgálata során téves kitörési központtal számolhatunk, téves vulkánmező fejlődési modellt alkotva. Változatos tumuli szerkezetek ismertek szinte minden nagyobb lávamezőn, amelyek leginkább a kis viszkozitású bazaltos

lávamezőkön dokumentáltak mint Deccan, India (Duraiswami et al. 2001), Hawaii, USA (Walker, 1991), Etna, Olaszország (Duncan et al. 2004), vagy Izland (Glaze et al. 2005; Mattsson and Hoskuldsson 2005). Fontos azt is figyelembe venni, hogy a tumuli eloszlása, és azok geometriája függ a kitörési központhoz viszonyított helyzetétől. Továbbá jól térképezhető típusokat találhatunk minden egyes lávamezőn (Németh et al. 2008c) (23c, d. ábrák). A tumuli szerkezetét az azt tápláló lávacsatornában uralkodó hőmérsékleti és nyomás viszonyok erősen befolyásolják (Rossi and Gudmundsson 1996; Mattsson and Hoskuldsson 2005).



23. ábra – a) látványos nagyméretű tumuli a líbiai Al Haruj vulkánmezőn, b) jól megmaradt tumuli Viktória Államban, Ausztráliában a Newer vulkáni provincia részeként, c) jól fejlett tumuli a Crater Basalt vulkánmezőről, Argentína (Pécskay et al. 2007), d) tumuli mező a kínai Arxhan-Chaihe vulkánmezőről (Németh et al. 2017)

Egy vulkánmezőt tápláló hasadék mentén a lávaöntés kezdetén a magma mindenhol utat próbál törni magának. Idővel azonban a magma tápcsatornában az olvadék mozgása egyre inkább felveszi a szűk hasadék fala által kialakított és lehűtött peremek között működő konvekciós cellák áramlását (Gaffney and Damjanac 2006; Parcheta et al. 2012; Sanchez et al. 2014; Gambino et al. 2016; Jones et al. 2017; Witt and Walter 2017; Witt et al. 2018b). Ez idővel azt eredményezi, hogy a láva már nem, mint lávafüggöny fog a felszínre jutni, hanem jól meghatározott pontszerű lóvakilépési zónák mentén. Idővel így kialakul néhány lóvaszökőkút és azok körül pedig lóvafröccs-kúpok épülhetnek fel (Wylie et al. 1999). Lóvafröccs-kúp túlmagasodó pereme időnként visszaomolhat a kürtőbe, és a hideg, már kigázosodott félig olvadt anyagot adva a friss feltörő magmához. Ennek a folyamatnak a következtében idővel egy egyre bonyolultabb szerkezetű vulkáni forma jöhet létre, amely akár több, mint száz méter magasra is nőhet (Moufti et al. 2013d). Hasonló vulkánösszeomlást dokumentáltam Argentína egyik látványos monogenetikus vulkánmezejéről, ahol a Los Morados salakkúp egyik oldala omlott össze (24a. ábra) az egyre intenzívebb lóvakilépés miatt, majd a kúp egész ház méretű darabjait szállította távolra a még mozgó lóva folyó (Németh et al. 2011a). Az ilyen kis

térfogatú monogenetikus vulkánok összeomlása azért fontos, mert akár több tíz kilométeres távolságra is eljuthatnak jelentős méretű „darabok” az eredeti vulkántól. De az is lehetséges, hogy magának a lávamezőnek a szerkezete fog látványosan megváltozni, szinte teljes egészében olyan képet ad, mintha az azonosított geológiai formáció klasztikus folyamat eredménye lenne (Sumner 1998; Riggs and Duffield 2008; Valentine and Gregg 2008a; Presta and Caffè 2014; Younger et al. 2019) (24b. ábra). Meg kell jegyezni, hogy mindkét esetben az ilyen tévedés óriási hibaforrás lehet egy terület fejlődéstörténetének rekonstrukciójában. Ezeknek a folyamatoknak az azonosítása a vulkáni veszélyeztettség szempontjából is nélkülözhetetlen.

Salakkúpok felépülése során jellegzetes fáciesek alakulhatnak ki a salakkúp belsejében (Vespermann and Schmincke 2000). A kúp központi része jelentős összesülésen mehet át, egy erózióknak ellenálló belső rész kialakulását eredményezve. Hasonló sülési folyamatok eredményeképpen a kráter perem - különösen annak belső része – egy gallérszerű zónát hoz létre (24c. ábra), amely jelentősen lelassíthatja, és megváltoztathatja a kúp lepusztulási folyamatait. Ennek a geológiai folyamatnak a jelentőségét több salakkúpon sikerült bemutatnom (Kereszturi and Németh 2012c), fontos problémaként kiemelve az olyan eróziós modellek használatában, ahol a kúpot, mint granuláris rendszert kezelve adtak különböző diszkriminációs diagramokat a kúpok relatív kormeghatározására vonatkozóan (Hooper and Sheridan 1998; Bolos et al. 2012; Fornaciai et al. 2012). A munkám eredményeként manapság a szín-vulkáni folyamatok vizsgálatát több eróziós modell figyelembe veszi, mielőtt relatív kormeghatározást végeznének.



24. ábra – Összeomló salakkúpok. a) A Payunia vulkánmezőn (Argentína) található Los Morados salakkúp látványosan leszakadt salakkúpja. A sárga nyíl mutatja az összeomlott kúp oldalát elszállító láva mozgási irányát (Németh et al. 2011a), b) egy majdnem teljesen összeomlott/szétcsúszott (nyíl) salakkúp Szaúd-Arábiából, c) teljesen összesült, erózióknak ellenálló kráterperem (nyilak) egy salakkúpon a Harrat Rahat vulkánmezőről.

Salakkúpok működése során igen változatos közetszövetekkel találkozhatunk, amelyekben a magas hőmérsékletre utaló jellegek felismerése fontos annak eldöntésére, hogy a piroklaszt milyen utat tett meg a felhalmozódása előtt, ezzel is segítve annak eldöntését, hogy alapvetően egy salakkúppal, vagy lávafröccs-kúppal állunk e szemben. Ezek a fizikai vulkanológiai adatok alapvetően a magma fragmentációjára, annak kigázosodási folyamataira és a kitörés intenzitásának meghatározásában játszanak kiemelt szerepet (Vergnolle 1996; Vergnolle and Brandeis 1996; Vergnolle et al. 1996; Sumner 1998; Vergnolle and Manga 2000; Bouche et al. 2010). Amennyiben a felhalmozódó piroklaszt jelentős szöveti orientációt mutat, annak hólyagossága szabálytalan alakú elnyúlt hólyagokat tartalmaz, és a vöröses szín mellett a már sülési jellegre utaló jeleket látunk. A kitörés alapvetően Hawaii-típusú lehetett, és láva szökőkutakat kell feltételeznünk azok kialakításában (Sumner 1998; Wolff and Sumner 2000). Szinte minden egyes „száraz” monogenetikus vulkáni folyamat során egyedi vulkáni felépítmények szülehetnek, és csak nagy általánosságban beszélhetünk hasonló vulkáni formákról. Ennek a koncepciónak a figyelembevétele azért fontos, mert főleg idős vulkáni szelvényekben, ahol csupán a megmaradt kőzetekre, és azok rétegtani helyzetére és jellegeire hagyatkozhatunk, változatos „száraz” vulkanizmusra utaló szelvények is lehetnek változatosak, azt a benyomást keltve, hogy a feltáruuló szelvény egy komplex vulkán része. Különösen fontos annak figyelembe vétele is, hogy „száraz” vulkáni folyamatok során is lehet olyan fázisa a kitörésnek, amikor a magma feláramlás csökkenésével a kürtő falra nehezedő magmás nyomás csökkenésével lehetőség támadhat a felszín alatti vizek betörésére, és közbenső freatomagmás robbanásokat okozni, amelynek termékei gazdagok lehetnek feltépett kőzetzárványokban és/vagy tipikus gyorsan hűlt, üveges piroklasztitokban (Houghton and Hackett 1984; Houghton and Schmincke 1986; Doubik and Hill 1999). Ez azért fontos, mert megint csak a vulkáni működéshez egy egyre komplexebb rétegsor tartozik, azt az érzetet keltve, hogy összetett vulkáni folyamatokkal állunk szembe, amelyek csakis hosszú idő alatt történhettek. Ez a jelenség rávilágít annak fontosságára, hogy a korrekt rekonstrukcióhoz szükségszerű annak időbeliségét is pontosan rekonstruálni.

A fenti geológiai probléma felismerésére éppen az új-zélandi Auckland vulkánmezőn található Crater Hill (Houghton et al. 1984) és a Ruapehu vulkán melletti Ohakune salakkúp komplexum (Houghton and Hackett 1984) tanulmányozása közben készültek az első részletes tanulmányok, amelyek a magma feláramlási sebességével, annak kigázosodási állapotával, felszínközeli kristályosodási folyamatainak pontos követésével, és a „száraz” és „nedves” robbanásos folyamatok azonosításával sikerült az első komplex és geológiai értelemben elfogadott valós modellt megalkotni. Saját kutatásaim során ezeket a munkákat követve a fent említett kulcshelyeken is végeztem kutatómunkát közösen az általam témavezetett PhD diákokkal, tovább finomítva e fontos probléma megoldását a monogenetikus vulkáni rendszerekben. Összességében a kis térfogatú magma által vezérelt vulkanizmus milyenségének, annak kitörés típus változásainak nyomon követése egy új kutatási irányzattá vált (Houghton et al. 1999). Ezek a munkák előrevetítették azt a gondolatot, hogy lényeges, meghatározó szerepe van annak egy ilyen kis térfogatú vulkáni rendszer működésében, hogy pontosan milyen fizikai kondíciók uralkodnak a felszín közeli sekély (<100 m) zónában. Ezek a munkák azt eredményezték, hogy az ilyen kis vulkánok részletes tanulmányozása elengedhetlenné vált a robbanásos vulkánkitörések megértésében. A sokszor megfigyelt kezdeti Hawaii-típusú kitörések gyakran folyamatos átmenetet képeznek a Stromboli típusú kitörések dominanciája felé, amit többen

arra vezetnek vissza, hogy ezt a folyamatot a magmának a megváltozott viszkozitása és a feláramlási sebessége idézheti elő (Parfitt and Wilson 1995; Parfitt et al. 1995; Wilson et al. 1995b). Végül soron ez a változás azt eredményezi, hogy a kigázósodott magma, mint láva ömlik ki a kürtőből. Ugyancsak fontos paraméterként kezelhetjük a magma feláramlási sebességének csökkenését, amely lehetőséget ad arra, hogy a gázbuborékok a kürtő felső részében utolérjék egymást, majd kritikus nyomás elérése után szétrobbanjanak Stromboli típusú kitöréseket eredményezve (Parfitt and Wilson 1995).



25. ábra – Hamu és lapilli mező (a) a Jebel Quidr (Szaúd-Arábia) vulkánról (b). A vulkán jelentős méretű kúp, amely úgy 1000 évvel ezelőtt születhetett (Camp et al. 1991), és valószínűleg hetekig, talán hónapokig működhetett jelentős szünet nélkül.

A salakkúpok vizsgálata során, különösen a jelentős méretű, és gyakran hosszú életű kúpok esetében több helyen is olyan üledékeket azonosítottak, amelyek területi eloszlását tekintve az ún. szub-Pliniuszi tartományba eshetnek (Németh and Martin 2007). Kitörési termékük jellegzetesen más szöveti jellegekkel rendelkezik, mint egy tipikus salakkúphoz kapcsolható piroklasztit rétegsor, amit gyakran, mint katasztrófális Stromboli típusú kitörést írnak le (Lorenzo-Merino et al. 2018; Zawacki et al. 2019; Di Roberto et al. 2020; Sieron et al. 2021). A mexikói Volcán Parícutin 1943 és 1953 között többször is ilyen kitörést produkált, jelentős hamuleplet felépítve a vulkántól 10 kilométerre is követhetően (Pioli et al. 2008). Saját kutatásaim során Szaúdi Arábiában találtam hasonló heves robbanásos kitörést produkáló vulkánokat a Harrat Khaybar vulkánmezőn (25a. ábra), ahol a legfiatalabb kitörés úgy ezer éve egy jelentős méretű vulkánt (25b. ábra) hozott létre, ami a terület egyik legnagyobb lávamezejét és hamu sivatagot hozta létre (Németh and Moufti 2017). A geológiai kutatásaimban nem sikerült olyan üledékföldtani jelenségeket azonosítanom, ami azt bizonyítaná, hogy ez a vulkán hosszú életű lett volna. Ezért a monogenetikus vulkánok egy komplexebb és nagyobb térfogatú elemének tekinthető. Az elmúlt évtizedben a katasztrófális Stromboli-típusú kitörések vizsgálata a monogenetikus vulkánmezőkön kiemelt kutatási területté vált, főleg azok vulkáni veszélyeztetettségi hatása miatt.

3. 6 „Nedves” monogenetikus vulkanizmus

A magma és víz kölcsönhatása a vulkáni tevékenységek egyik leglényegesebb folyamata, amely a 70-es évek monogenetikus vulkánjainak vizsgálatával kezdett jelentősen fejlődni (Lorenz et al.

1970; Lorenz 1986). A németországi Eifel-hegység maar vulkánjainak a vizsgálata alapján először született egy olyan modell, amely ezen kis vulkánok születésében a magma és a víz robbanásos kölcsönhatását tekintette a vulkán működésének fő folyamatának (Lorenz 1973). Azóta a magma és víz robbanásos kölcsönhatásának a vizsgálata a vulkanológia egyik kiemelt kutatási területe lett, ahol analóg kísérleteken át terepi geológiai módszerekkel kiegészítve sikerült egyre pontosabb leírást adni arról, hogy pontosan mi történik egy ilyen robbanásos kitörés alkalmával ennek következtében milyen kitörési termékeket várhatunk. Saját munkáim alapján összefoglaltam a freatomagmatizmus legfontosabb problematikáját, és annak előfordulásait mind Magyarországon, mind Új-Zélandon (Németh and Kósik 2020a) (Martin and Nemeth 2004). A nyugat-magyarországi freatomagmatizmus összefoglalását a **3. számú mellékletként** benyújtott könyvemben közlöm. Kutatásaim jelentős része erre a problémakörre fókuszált és ezért a munkám második felében szemelvényyszerűen tárgyalom.

A maar vulkánok - azok szerkezetét korábban ismertettem - talán a Föld második leggyakoribb vulkántípusa és a salakkúpokhoz hasonlóan minden geotektonikai helyzetben megtalálhatóak (Lorenz 1986, 2007). Leegyszerűsítve a maar vulkánok meghatározását, azokat lényegében olyan mély krátereknek tekinthetjük, amelyeknek a talpa mélyebben van, mint a vulkánkitöréssel egyidős felszín, aminek következtében a kráterfalban feltáruhatnak a felszín alatti kőzetrétegek (Lorenz 1986). Jelen ismereteink szerint a maar vulkánok a magma és a felszín alatti víz robbanásos kölcsönhatásának az eredménye, ahol a robbanás fellazítja a robbanás központja körüli régiót, onnan törmeléket szakít ki, amely végül a maar kráter beszakadásához vezet (Lorenz 1986). A robbanás általában óriási mennyiségű felszín alatti kőzetet tép fel, amely anyag a kráter körül halmozódik fel (De Hon 2015). A maar kráterek vizsgálatának napjainkig a legelfogadottabb modelljét már a hetvenes években bemutatták (Lorenz 1973), amely szerint a robbanások központja a kitörés előrehaladtával folyamatosan egyre mélyebbre süllyed, követve a rendelkezésre álló víz folyamatos elfogyását (Lorenz 1986). A több száz vagy ezer egyedi robbanás során a kürtő folyamatosan széttöredezik, abban összekeveredik a visszahulló és éppen kifelé tartó vulkáni és nem-vulkáni törmelék, amit folyamatosan átjár a még felfelé törekvő magma, kialakítva egy jellegzetes vulkáni breccsát, amit diatrémának nevezünk (Lorenz 2000a, b; Lorenz and Kurszlaukis 2007). A diatrémák szerves részei egy maar vulkánnak, amit fiatal vulkánok esetében csak geofizikai módszerekkel azonosíthatunk. Idősebb területeken a diatrémák feltáruhatnak, és a vulkáni breccsák és más kevert kőzetek tanulmányozásával rekonstruálhatjuk a maar vulkán fejlődését, vagy indirekt módon adhatunk egy őskörnyezeti rekonstrukciót az adott területre vonatkozóan, jelezvén a lepusztulás mértékét és a freatomagmatizmus lehetőségét, amely általában aktív hidrológiai zónák jelenlétére utal (Lorenz and Kurszlaukis 2007). A Lorenzi modellben, ha megfelelő és tartós magma utánpótlás van, és a víz mennyisége limitált, a kitörések előrehaladtával egy egyre szárazabb vulkáni rendszer születik, azaz a maar kráter későbbi salakkúpokkal, vagy lávafolyásokkal tölthető fel (Lorenz 1986).

A legújabb kráterképződési analóg kísérletekben más maar kráter folyamatokat is vizsgáltak, bár alapvetően a Lorenzi modell továbbra is érvényben maradt. A legfontosabb felismerés az, hogy amíg Lorenz modelljében a maar kráter körül kialakuló rétegsorban egyre mélyebbről származó feltépett kőzetdarabok megjelenését jelezték előre, azt terepi vizsgálatok csak részben igazolták (Valentine et al. 2014; Sonder et al. 2015; Graettinger and Valentine 2017). Saját kutatásaimban Tihanynál (Nemeth et al. 2001) felismerhető egy ehhez hasonló trend, de

nem olyan „kristálytisztán”, mint az a Lorenzi modell alapján várható lenne. Ennek megoldására javasolták, hogy a diatréma önmagában egy folyamatosan változó kaotikus zóna, amelyben a feltörekvő magma változatos úton juthat a felszínre, áttörve a diatrémát, amelynek víztartalma és a benne található kőzetek eredete heterogén (Valentine et al. 2014; Graettinger et al. 2016). A robbanások bekövetkezésének feltétele, hogy legyen ideális mennyiségű víz a hőenergia kinetikus energiává történő átalakulásához. Ennek az a feltétele, hogy a robbanás olyan mélységben következzen be, hogy a robbanás ott meglévő energiája sikeresen tudja felszakítani az ott található szilárd kőzeteket, azaz a bezáró kőzetoszlop nyomása ne legyen nagyobb, mint a várható felszabaduló energia (Valentine et al. 2014). A kutatások során fény derült arra, hogy egy adott összetételű, mennyiségű és hőmérsékletű magma adott vízzel találkozva milyen mélyről tudja a legnagyobb (legmélyebb) krátert létrehozni, azaz mi lehet az ideális elvi robbanási fészkmélység, ahonnan a legoptimálisabb krátert várhatjuk (Graettinger and Valentine 2017). Nyilván, amennyiben ezen elméleti mélység alatt történik a freatomagmás robbanás, annak energiája erősen le lesz tompítva, és még akár az is előfordulhat, hogy a felszínen nem alakul ki jól definiálható kráter. Azonban, ha ezen elvi mélység fölött történik a robbanás, akkor az nagy valószínűséggel szétveti a felszínt (Graettinger et al. 2014; Graettinger et al. 2015a; Graettinger et al. 2015b). Ennek a modellnek az alapján feltételezhető, hogy egy maar-diatréma vulkán fejlődése során a robbanások fokozatosan egyre feljebb nyomják a különböző mélységből származó kőzet töredékeket. Amint azok megjelennek a tufagyűrű rétegsorában (a Lorenzi modellel ellentétben) azok nem feltétlenül jelentik a robbanás valódi mélységét. Ez csupán arra utal, hogy a robbanásos esemény - amely az adott réteget létrehozta - egy többszörösen feljebb nyomott kőzettöredéket volt képes kirepíteni a kráterből (Graettinger et al. 2016).

Ugyancsak logikus modellként jelent meg az a feltevés, hogy a kitörési környezet, amelyen keresztül a magma áthalad mielőtt a robbanásos kitörés bekövetkezne, fontos hatással lehet a kialakuló maar vulkán méretére, és a kráter alakjára (Graettinger 2018). Leegyszerűsítve azt mondhatjuk, hogy amennyiben a kitörés egy laza, törmelékes kőzeteken keresztül történik, akkor egy sekély és lapos krátermorfológiát várhatunk, ha viszont kemény, törésekkel átjárt kőzetekben történik, úgy meredek falú, mély maar kráterekre számíthatunk (Nemeth et al. 2007a). Ezt a modellt alátámasztani látszik néhány kutatási eredményem a patagóniai Pali Aike vulkánmezőn (Ross et al. 2011) (26a ábra), összehasonlítva számos mexikói, mészköveken áttörő maar vulkán, mint például a Joya Honda maar (26b ábra) esetében. Ennek a modellnek az alapköveit raktam le két publikált kutatásomban is a nyugat-magyarországi Tihany és Fekete-hegy vulkánok alapján (Németh et al. 2000; Auer et al. 2007). A maar vulkánok fejlődését az esetek nagy többségében (bár részletes és statisztikailag igazolható terepi vizsgálatok nélkül) a víz felhasználásával, azok későbbi fázisában „száraz” robbanásos, és/vagy effúzív kitörések zárhatják (amint azt igazoltam az argentin kvarter Llancanelo vulkánmező esetében is) (Risso et al. 2008).

Amint a korábbiakban már említettem, a diatréma a maar vulkán szerves része, annak felszín alatti kaotikus szerkezete. A diatréma mezők azonosítása különösen fontos az idősebb, lepusztult területeken, ahol a diatrémák felismerése lényeges öskörnyezeti indikátor. Saját kutatásaimban azonosítottam egy komplex diatréma mezőt az argentin Chubut tartományban (26c és d ábra), ami szerkezetében, megjelenésében és geológiai komplexitásában a híres arizonai Hoppi Butte diatrémáival vetekszik (Haller et al. 2005a; Martin et al. 2005b; Nemeth et

al. 2007b; Haller and Németh 2012). Ezek a kipreparálódott kürtőroncsok lényeges információt adnak egy terület geológiai és hidrológiai viszonyainak megértésében, valamint egy egész terület lepusztulás történetében. Saját kutatásaim alapján számos ilyen kürtőroncsot azonosítottam a Balatonfelvidéken. Ennek a munkának az alapján egy jelenleg is érvényes posztpliocén lepusztulási modellt fogalmaztam meg az adott területre vonatkozóan (Németh et al. 2001). A diatrémák ugyancsak fontos információkat adnak a freatomagmás robbanások jobb megértéséhez, hiszen a diatrémában az utolsó dájka benyomulása „befagyott” képét láthatjuk, gyakran fantasztikus magma és üledék keveredési kőzetekkel, peperittekkel (Hooten and Ort 2002; Lorenz and Kurszlaukis 2007; Kwon and Sohn 2008; Calvari and Tanner 2011; Re et al. 2016). Kutatásaim során számos helyen sikerült felismerni ilyen peperit szerkezeteket, lehetőséget teremtve azok szerepének kiemelésére a freatomagmatizmus működésének megértésében. Magyarországon is sikerült először azonosítani monogenetikus vulkánokhoz és azok kipreparálódott diatrémáikhoz köthető peperiteket a nyugat-magyarországi pliocén-pleisztocén bazaltvulkáni területen (Martin and Németh 2004b, 2007).



26. ábra - a) lapos, sekély maar kráter az argentin Pali Aike vulkánmezőn, sekély (<10 m) maar tóval (Ross et al. 2011), b) a mexikói Joya Honda maar mély, de száraz krátere (Aranda-Gomez and Luhr 1996), c) kipreparálódott diatréma Chubutból (Argentina). A körök geológusokat mutatnak méretaránynak, a nyíl egy dájkra mutat, ami benyomult a diatrémát alkotó piroklasztit breccsába (Németh et al. 2007b), d) peperit a diatrémába benyomuló dájkok (nyíl) mentén. A kör egy kalapácsra mutat, mint méretarány.

Nyugat- Eifel vulkánmező vizsgálata során először dokumentálták azt, hogy a maar vulkánok a völgyeket, vagy mélyedéseket követik, és azokba vágnak maar krátereket azok diatrémáival (Lorenz 1973). Ezt az alapfelvetést követve még pontosabb lepusztulási történetet volt lehetőségem adni a balatonfelvidéki diatréma maradványok alapján, meghatározva egy néhányszor tíz méter évmilliónkénti lepusztulást, és egy olyan őskörnyezetet, amelyben hosszanti lapos völgyek, azokat kitöltő tavacsok, mocsarak és kisebb folyók foglalhattak helyet, a mai Somogyi-dombsághoz hasonló megjelenésben (Németh and Martin 1999b; Németh et al. 2003b). Ezen őskörnyezeti kép megalkotásában segített a változatos peperitek azonosítása.

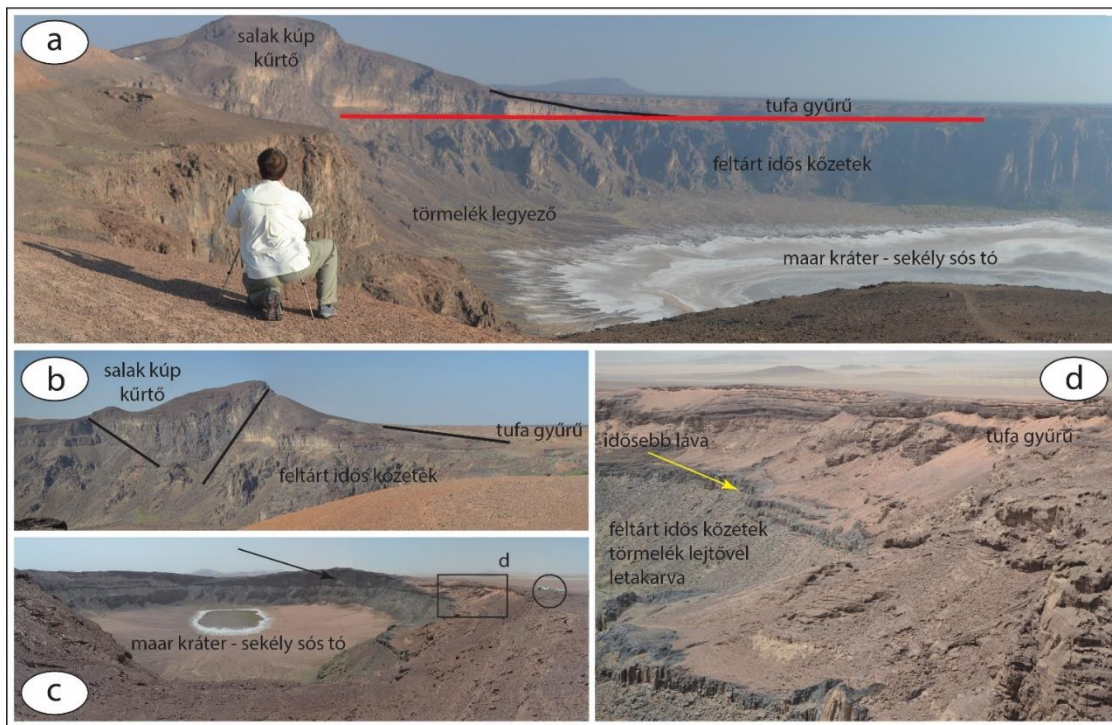
3.7 „Szárász” és „nedves” kitöréstípusok közötti átmenetek

Korábban említettem, hogy a „szárász” vulkánkitörés-típusokon belül is különböző típusok váltakozhatnak a magma utánpótlás, és a magma fizikai és kémiai viszonyainak függvényében. Ugyancsak az előbbi fejezetben hivatkoztam arra, hogy a vízutánpótlás fokozatos megszűnésekor egy tipikus freatomagmás vulkán és annak rétegsora, a kitörések előrehaladtával, egyre inkább „szárász” kitörés jellegeket fog mutatni. Jelentős magmutánpótlás esetén a „szárász” kitörések, kitörés vége felé egyre erősödő dominanciája akár odáig vezethet, hogy a kezdeti freatomagmás vulkánt teljesen elfedi a szárász kitörés során keletkező magmás piroklasztit vagy éppen a láva. Kutatásaimban a balatonfelvidéki bazalt vulkánroncsok vizsgálatai alapján arra a következtetésre jutottam, hogy jelentős meza-szerű láva kőzetek is születtek (ilyen egykori maar kráterben felhalmozódott lávatavak), amelyek az erózió során kipreparálódtak, jelezvén az eredeti térszint magasságát (Martin and Nemeth 2004). A nyugat-magyarországi pliocén vulkanizmus esetében megállapítottam, hogy ezeknek a vulkánoknak a többsége átesett egy kezdeti freatomagmás kitörési fázison, ami később, annak függvényében, hogy mekkora volt a magma utánpótlás, teljesen magmás fedővel fedte be a kezdeti tufagyűrűk és maar kráterek formáit. Ez a gondolat lett később az alapja az új-zélandi Auckland vulkánmező vizsgálata során az ún. determinisztikus vulkáni veszélytérképezésnek (Hayes et al. 2018). Ilyen szempontból az Auckland vulkánmező a nyugat magyarországi monogenetikus vulkanizmus kitűnő modern analógiájának tekinthető (Németh et al. 2010a).

Habár igen kedvezőnek tűnik a fent leírt modell a „szárász” és „nedves” vulkán típus változás időbeli alakulására, azért ezt a gondolatot kritikusan kell kezelni. A mexikói Sonora vulkánmező több monogenetikus vulkánján a kitűnő rétegsorok alapján azt találták, hogy a fent leírt kitörés típusok időrendisége annak éppen fordítottja is lehet, azaz a kezdeti magmás robbanásos kitöréseket is követhetik freatomagmás robbanásos kitörések (Gutmann 1976, 2002). Ezt úgy lehet magyarázni, hogy a kitörés kezdetén olyan intenzitású lehetett a magma feláramlás, hogy a kevés rendelkezésre álló külső víz hatását a kitörés egyszerűen kioltotta, és amikor a magma utánpótlás intenzitása csökkent a rétegvíz a hasadékokon keresztül, a lecsökkent kürtő nyomás hatására a tovább repedezett kürtő falon keresztül képes volt a magmát elérni, és freatomagmás robbanásokat előidézni. Kutatómunkámban is sikerült ezt a jelenséget dokumentálni, a már említett mexikói területen (Martin and Németh 2006). Ezt mutattam be több szaúd-arábiai területen is, ahol például a Harrat Kishb vulkánmező, Al Wahba nevű „óriási” (2.2 km átmérőjű maar kráter, több mint 200 méter mély kráter) maar vulkánjának (27a. ábra) értelmezésében adott volt ez a lehetőség (Moufti et al. 2013a), mivel a vulkán kráterfalában feltáruló rétegsorokból egy ilyen változás sorozat volt tanulmányozható (27b. ábra). Azonban alaposabban kitérkezve a különböző vulkáni kőzet fácieseket arra jöttem rá, hogy azok között kisebb időszünet lehetett. Ezért nem feltétlenül egy folyamatos kitörési fázis nyomait láthatjuk, hanem két jól elkülöníthető kitörés sorozatot, amelyek között lényegesen több idő telhetett el, mint ami ahhoz szükséges, hogy a kezdeti dák rendszer már megszilárduljon, és így a későbbi sorozatokat gyakorlatilag egy új forrású, új kürtőből származó sorozatnak tekintsük. Tekintettel arra, hogy az Al Wahba maar esetében ez igen nehezen igazolható egyértelműen, ezért más területeket is megvizsgáltam. Így jutottam el a Harrat Hutaymah vulkánmezőre, ahol a legtöbb

maar vulkán belevág egy jól elkülöníthető magmás robbanásos kitörési sorozatot megőrző vulkányszerkezetbe, azaz „maarok salakkúpok felett” szituáció látható (Németh et al. 2014c; Moufti et al. 2015) (27c ábra). Ebben a munkában sikerült felvetni azt a geológiai lehetőséget, amennyiben viszonylag stabil magma feláramlási zónák alakulnak ki egy vulkánmezőn, a szerkezeti elemeket követve, akkor igen nagy az esélye annak, hogy későbbi kitörések is ugyanazon zónákban történjenek. Amennyiben hosszútávú klíma változás és az azzal járó környezeti változás történt az adott területen, akkor minden bizonnyal a későbbi vulkanizmus az egész vulkánmezőre nézve „elmozdul” a sokkal inkább freatomagmás karakter felé (27d. ábra). Ez azt jelenti, hogy ilyen esetben hosszabbtávú környezeti változásokat és nem az egyedi vulkánkitörések során bekövetkezett hidrogeológiai viszonyok megváltozását láthatjuk. Az ilyen geológiai léptékkal mérve is hosszú periódusú környezeti változások jelenségeit a balatonfelvidéki vulkánmezőkön is sikerült kimutatni (Kereszturi et al. 2011b), bár nyilván a jelenség azonosításának felbontóképessége inkább csak a trendeket, mint konkrét eseményeket képes rögzíteni, hiszen a kormeghatározási bizonytalanság és a lepusztulási folyamatok okozta fácies elkülönítés csak nagy hibával lehetséges.

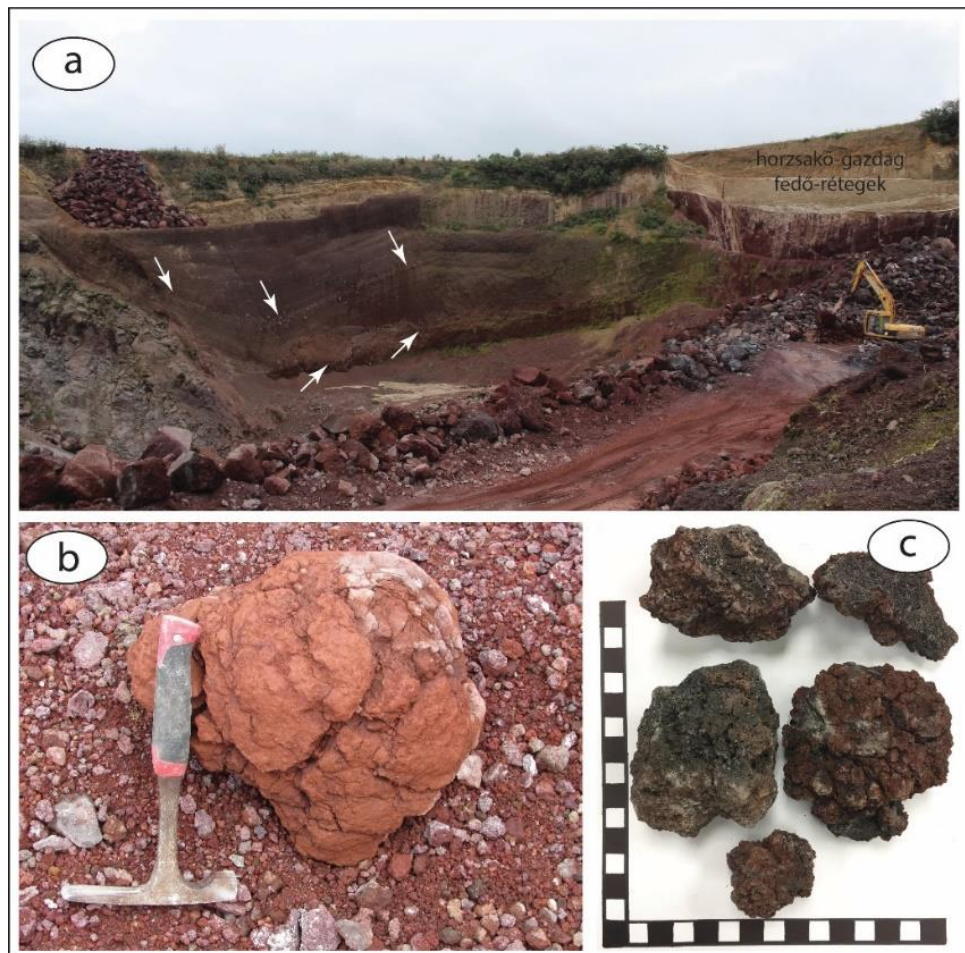
Az ilyen kitörés szintű változásra a legjobb területek azok, ahol megmaradt a vulkánok rétegsora, és azt viszonylag teljességében lehet tanulmányozni. Azon rétegsorok azonban amelyek a proximális területekről származnak, sokkal érzékenyebben mutatják azokat a változásokat, amelyek éppen a kráter és a kürtő felső részének dinamizmusára utalnak. Ezért azokat részletesen lehet tanulmányozni, és olyan komplexitás leírását adhatjuk meg, amely nem a vulkán egészének, hanem inkább annak csak egyes részleteinek működésére utal. Ideális esetben olyan rétegsorokon érdemes ilyen tanulmányokat végezni, amelyek kellő távolságban vannak a kráter/kürtő hatásától, és így reprezentánsan mutatják a vulkán fejlődését. Nyilván erősen lepusztult területeken - mint a legtöbb hazai pliocén vulkánmező - nehéz ilyen területet találni. Ezért gyakran csak a diatréma szerkezetét tudjuk nyomon követni. Ha jók a feltártsági viszonyok (mint például az arizonai Hoppi Butte területén), akkor a diatréma részletes (méter-szintű) térképezésével a magma és víz kölcsönhatásának finom változásait tudjuk dokumentálni, amelyek végső soron a vulkán „motorjának” határfokát, működési módozatait, és annak időrendiségét képes rögzíteni. Ettől függetlenül az utóbbi években biztató eredmények születtek a diatréma térképezésben is, amelyek alapján sokkal világosabb képet kapunk arról, hogy mi történik abban a régióban, ahol a freatomagmás robbanások lejátszódnak.



27. ábra - a) Al Wahbah maar (Szaúd-Arábia) a déli peremről fotózva mutatja a 250 méter mély és 2.2 km széles krátert. Vörös vonal jelzi azt a geomorfológiai szintet, amelyre egy salakkúp épült, és nem sokkal később (néhány száz ezer éve múltán) egy maar kitörés vágta ketté a már jelentősen erodálódott maar salakkúpot (Grainger 1996; Moufti et al. 2013a; Wahab et al. 2014), b) az Al Wahbah maar kráterfalában tárol fel az idősebb salakkúp kúrtó szerkezete, részben egy dolerit láva dugóval kitöltve, c) a Hutaymah maar (Harrat Hutaymah vulkánmező – Szaúd-Arábia) ugyan kisebb (kb. 150 méter mély és 1.5 km széles), de hasonló szerkezetet mutat az Al Wahbah maarhoz. A kráterfalban tárol fel egy, a maar kitörés által kettévágott salakkúp (nyíl) és annak lávafolyásai. A képen egy négyzet jelzi a „d” ábra nézetét, illetve kör mutatja a terepjárókat méretarányként, d) a Hutaymah maar kráterfalának részlete jól mutatja a tufagyűrűt, a távoli idősebb lávanyelvek (sárga nyíl) és a részben törmelékletével fedett idősebb kőzetrétegeket.

A fent vázolt két alapvető kitörés típus változási trend alapján (freatomagmás – magmás versus magmás – freatomagmás), szinte magától adódik a feltételezés, hogy a kitörés típusok akár periodikusan vagy éppen teljesen véletlenszerűen is változhatnak. Az a lehetőség is felmerült, hogy egy „száraz” rétegsorban találkozhatunk olyan „nedves” rétegsorral, ami egyértelműen a kitörés során, szünet nélkül fejlődhetett a domináns kitörési típusból, majd ugyanilyen hirtelenséggel váltott a kitörés vissza a domináns kitöréstípusba. Saját kutatásaim során kitűnő példákat dokumentáltam a Taupo Vulkanikus Zóna monogenetikus bazaltos vulkánjaiból (Ureta et al. 2018e), ahol a bányászat során félbevágott salakkúp kellős közepén találhattunk vékony, freatomagmás robbanásra utaló, egyedi rétegeket (28a. ábra), jellegzetes karfiol alakú bombákkal, amelyek belsejében gyakoriak a kigázosodott tömör láva kőzetek (28b, c. ábrák). Ugyancsak gyakori jelenség, hogy egy alapvetően „száraz” magmás robbanásos kitörésekkel dominált rétegsorban szinte mindenütt találunk olyan piroklaszt szöveti elemeket, amelyek azt mutatják, hogy a kitörés során a víz, ugyan kis mennyiségben, de befolyásolhatta a kitörések menetét. A kamcsatkai (Oroszország) Tobachik vulkán 1975-ös kitörése során keletkezett salakkúpok többségében is a vártnál lényegesen több bélelt lapilli és bomba került elő, jelezve, hogy a kis viszkozitású magma a kúrtó falából szinte folyamatosan kisebb töredékeket tépett le (Doubik and Hill 1999). Ezt a folyamatot legegyszerűbben freatomagmás robbanásokkal

képzeltük el, amelyek elfojtva, a felszín alatt történhettek, egy száraz robbanásos kitörésekkel jellemezhető folyamat részeként. Mivel a nedves kitörési típusokkal jellemezhető vulkánmezők olyan, vízzel átjárt területeken alakulhatnak ki, ahol völgyek, folyók, mocsarak vagy tavak lehettek, nyilvánvaló, hogy a felszíni és a felszín alatti vizek hatása a vulkán kitörés típusaira hatással lesznek. A felszíni vízhálózat egyegy kitörés után a kitörési termékek hatására megváltozhat, már önmagában a kis vulkán felépülése közben, kialakítva egy egyedi környezetet, amelyben a kitörés még hátralévő része lejátszódik (Weinstein 2007). Különösen nagyobb térfogatú magmautánpótlás esetén, és olyan hidrogeológiai viszonyok között, ahol a víz szakaszos utánpótlására is lehetőség van, hogy a monogenetikus vulkán által létrehozott rétegsorban több átmeneti kitörés típusra utaló szakaszt ismerjünk fel. Ilyen „tranzien” szelvények arra utalnak, hogy részletes vulkanológiai ismeretek szükségesek ahhoz, hogy a tanulmányozott kőzetszelvények alapján eldönthessük azt, hogy a szelvény komplexitása a magma és a környezet kölcsönhatásának rövid idejű változékonyságára, vagy egy sokkal hosszabb időléptékű folyamatra vezethető vissza.

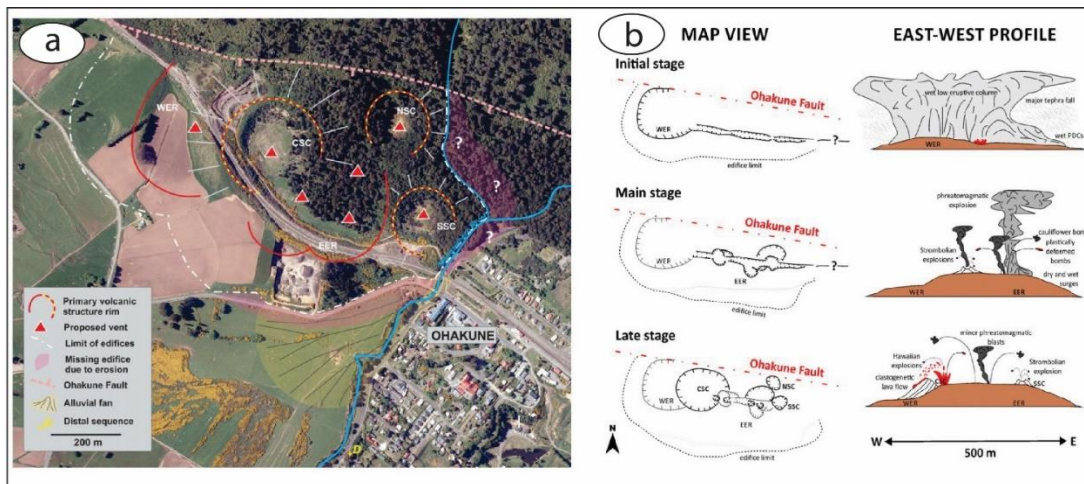


28. ábra - a) a Punatekahi salakkúp (Taupo Vulkanai Zóna – Új-Zéland) kibányászott kürtő közeli része (Ureta et al. 2018e). Fehér nyilak karfiolbomba rétegeket mutatnak, jelezvén, hogy a kúp növekedése során, rövid életű freatomagmás robbanásos kitörések történtek, b) nagyméretű karfiol bomba, c) kisebb karfiolbombák jellegzetes és változatos hólyagossággal és külső felszínnel. A méretarány centiméteres skálát mutat.

Egy ugyancsak fontos paramétert is figyelembe kell venni, amikor – különösen idősebb – feltételezett monogenetikus vulkanizmushoz köthető rétegsorokat vizsgálunk, mégpedig azt a

tényt, hogy a vulkánokat dájkok táplálják, és a dájkok, amennyiben szerkezeti elemeket követnek, gyakran több száz méter hosszan metszik a felszínre, és tipikus hasadékminti kitöréssel jönnek a felszínre. Ez különösen abban az esetben kritikus, amikor a dájka a nyílt hasadékokon keresztül szinte azonos időben jut a felszínre, egyazon vulkáni tápcsatornából működtetve, de térben jól elkülöníthető kitörési pontokon keresztül. Ez akkor különösen fontos tényező, amikor azt látjuk, hogy a dájkban az olvadék egyfajta magma migrációt mutat, általában az alacsonyabb területek felé, ahol gyakran nagyobb az esély víztárolók kialakulásának, akár a felszínen akár a sekély felszín alatti régiókban. A japán Miyakejima vulkán Suoana kráter tanulmányozása esetében tudtam kitérkezni a hasadék mentén felhalmozódott különböző típusú piroklasztit üledékeket, amelyek nemcsak különböző kürtőkből származtak, de azt is mutatták hogyan hat egymásra a kürtőben uralkodó magmás nyomás, és a magma lejtőt követő mozgása (Geshi et al. 2019). Amint a dájka eléri ezeket a területeket, amelyek vízgazdagok (akár felszíni akár felszínalatti vizekben) és/vagy a kürtőben a magmás nyomás lecsökken annyira, hogy abba betörhet a víz (például hirtelen csökken a magmautánpótlás), akkor freatomagmás robbanásos kitörés következhet be azokon a területeken. Saját kutatásaim során kitűnő példákat láttam erre a folyamatra többek között az északkelet kínai Arxan-Chaihe vulkánmezőn (28c. ábra), ahol a hasadékminti vulkanizmus térképi nézetben elnyúlt kis vulkáni felépítményeket hozott létre, amelyek alacsonyabb végén egyedi (nagyon rövid idejű) freatomagmás robbanásos kitörés kis maar vulkánt (Dichi Lake) hozott létre (Li et al. 2021) (28d. ábra). Az ilyen hosszanti hasadékminti kitörések esetében a kitörési termékek is elnyúlt eloszlást fognak mutatni, sok szögdiszkordanciával egymásra települő piroklasztit rétegsorokkal. Ezt a helyzetet komplikálhatja, amikor egy freatomagmás robbanásos sorozat egy egészen más karakterű piroklasztit rétegsorral fedheti be, az egyébként „száraz”, gyakran lávafröccs-kúpokra jellemző rétegsorokat. Idővel, amennyiben a kitörési központ lokalizációja előrehaladott, a vulkán működése eljuthat egy olyan fázisba, ahol az – amennyiben van megfelelő magmautánpótlás – állandó kitörés típusal jellemző sorozattal mindent befed, a vulkán eredeti elnyúlt alakját is megváltoztatva.

Mivel egy-egy vulkáni kürtő a kitörések kezdetén nem egy pontszerű magma kilépési pont, megállapíthatjuk, hogy amennyiben a kezdeti freatomagmás kitörések „fellazítják” a kürtőzónát, akkor a kitörés egy olyan sajátos környezetet hoz létre, amelynek víz telítettségi foka nagymértékben változhat kis távolságokon belül is. Az Ukinrek maar (Alaszka) 1977-es kitörése során jól megfigyelhető volt, hogy az alig 200 méter hosszan kissé elnyúlt területen, ahol a magma a felszínre jutott, teljesen egyidőben magmás és freatomagmás robbanások történhettek (Kienle et al. 1980). Ennek következtében azok kitörési termékei egymásba fogazódva halmozódhattak fel. Hasonló jelenséget rögzítettek az új-zélandi Auckland vulkánmezőn található Crater Hill (Houghton et al. 1999) és a Ruapehu vulkántól délre található Ohakune kráterek (Houghton and Hackett 1984) esetében is (29a. ábra). Egyidőben működő, alapjaiban különböző jellegű kitöréstípusok azonosítása rétegsorokban több vulkánmezőn is megtörtént. Többek között a maar vulkanizmus klasszikus helyszínének számító Eifel vulkáni területén (Németország) is (Houghton and Schmincke 1986). Az Ohakune kráteren végzett saját kutatásaimban tovább analizáltam ezt a lehetőséget, pontosítva a lehetséges kürtőszámok meghatározását, és még inkább a kráterben felhalmozódó vizes zagy és a nem túl stabil kürtőpontok együttes hatásának szerepét a vulkán kitörés típusainak kialakulásában (Kosik et al. 2016) (29b. ábra).



29. ábra - a) Ohakune salakkúp (Új-Zéland) komplexum átnézeti térképe az azonosított kúrtökekkel (Kosik et al. 2016) b) Ohakune salakkúp komplexum geológiai fejlődéstörténete (Kosik et al. 2016)

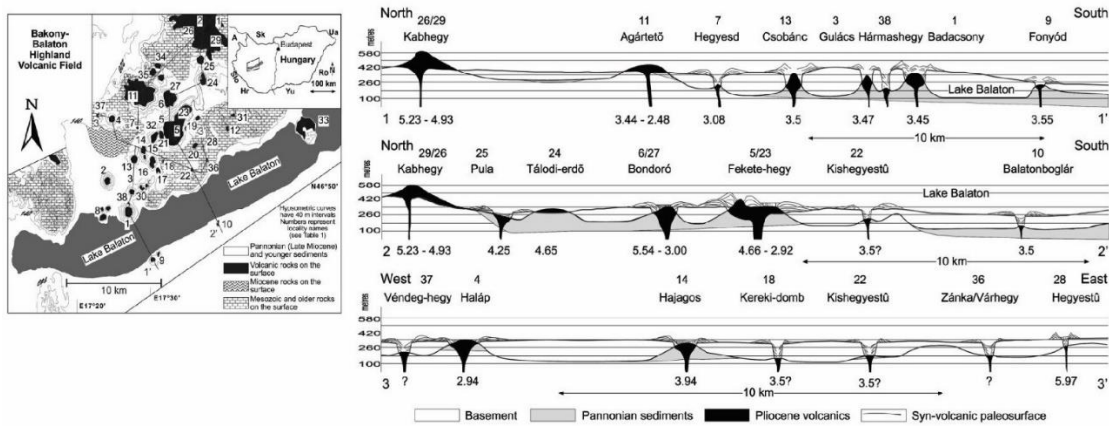
Összességében megállapíthatjuk, hogy a monogenetikus vulkanizmus azonosításában a kis térfogatok és a mély magmáforrás felismerése mellett kulcs fontosságú szerepet játszik az, hogy megfigyeléseink alapján igazolni tudjuk a vulkáni tevékenység rövid időtartamát. A fent említett példák azt mutatják, hogy egy monogenetikus vulkán felépítmények szerkezete, a benne foglalt piroklaszt és koherens vulkanitok kapcsolata rendkívül bonyolult lehet, de azok nem feltétlenül azok bizonyítékai, hogy kialakulásukhoz sok időre lenne szükség.

3. 8 Monogenetikus vulkánok geomorfológiai változása

A monogenetikus vulkanizmus igazolása kitűnő segítséget adhat a vizsgált terület egészének és annak morfológiai fejlődéstörténetének a megismeréséhez is. Ez alapvetően annak a koncepciónak a következménye, hogy az ilyen kis térfogatú magma által működtetett vulkanizmus, és annak térben széthúzott felszíni megjelenése alapadatokat szolgálhat egy egész terület öskörnyezeti rekonstruálásához. A freatomagmatizmus megjelenése tulajdonképpen azt jelzi, hogy a vizsgált terület olyan hidrogeológiai állapotban lehetett, hogy valószínűleg felszíni és/vagy felszín alatti vizek voltak a területen, ami többnyire alacsony, tengerszinthez közeli környezeteket, nedves klimatikus hatásokat, vagy éppen elzárt medence területeket feltételezhet. Ehhez kapcsolódóan ezeknek a vulkánoknak a dominanciája a vizsgált terület geomorfológiájára is utalnak.

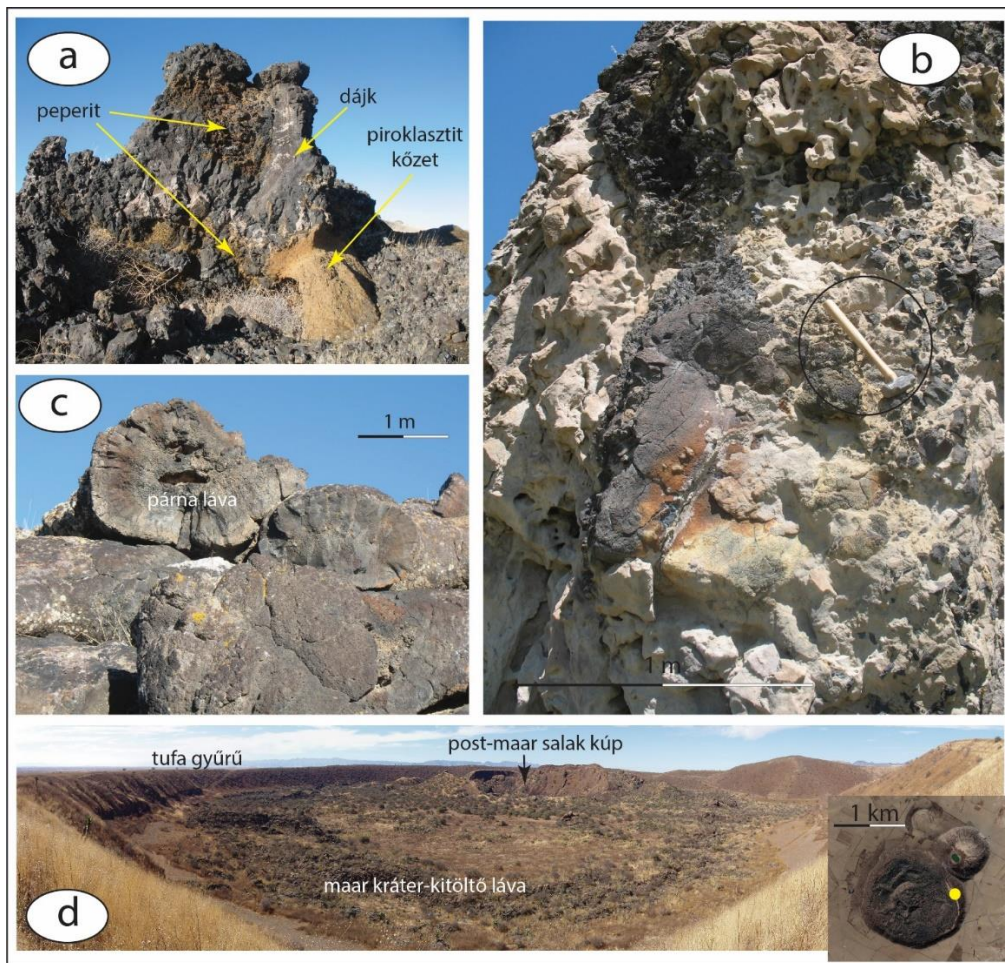
A vulkánok lepusztulása során felszínre kerülő, egyre mélyebb kráter és kúrtökitöltő vulkáni fáciesek megjelenése annak mértékét adhatják meg, hogy az adott mintaponton mekkora erózióval számolhatunk. Ebben a témakörben először sikerült geológiai adatokra alapozva igazolnom azt, hogy a Nyugat-magyarországi pliocén monogenetikus vulkanizmus egy jó vízellátottságú dombvidéken történhetett, ahol megfelelő mennyiségű felszíni vizek álltak rendelkezésre, és a felszín alatti néhány száz méteres régióban a különböző víztároló rendszerek (pórus vagy hasadékitöltő) együttes hatásaként egyes vulkánokra vonatkozóan rövid idő alatt a legváltozatosabb freatomagmás vulkántípusok jöhettek létre (Németh and Martin 1999b;

Németh et al. 2001). Tekintettel arra, hogy a vulkanizmus körülbelül 3 millió év alatt zajlott le (Wijbrans et al. 2007), ennek következtében a környezeti változások a vulkán formák jellegében is kimutathatók. A szárazabb környezeti hatások alatt inkább „száraz, míg nedvesebb klimatikus időszak alatt inkább „nedves” vulkán formákkal találkozhatunk. Ezek a vulkánformák pedig sajátos lepusztulási lépéseken mentek át az elmúlt 8 millió évben, egy jól meghatározott trendet követve (Németh and Martin 1999b) (30. ábra).



30. ábra – A Bakony-Balatonfelvidék vulkánmező alapján készített lepusztulás rekonstrukció. A baloldali térképen a számok a kitörési központokat azonosítják, míg a három keresztmetszvény nyomvonalát 1-1', 2-2' és 3-3' tört vonalak jelzik. Az ábra jobb oldalán láthatók a szerkesztett keresztmetszvények a lepusztulás modell alapján (Németh et al. 2003b).

Hasonló lepusztulási modellekkel sikerült pontos őskörnyezeti lepusztulás történetet adni más általam tanulmányozott vulkánmezők esetében is (például Új-Zélandon) (Németh 2001, 2003). Nevezetesen a fenti vulkán geológiai alapú megközelítése a monogenetikus vulkánmezők fejlődéstörténetében azt is elősegítette, hogy a sekély víz alatti folyamatoktól, a szárazföldi vulkántípusokon át, egy egységes képbe helyezzük ezt a vulkanizmust, és azok környezetének lepusztulási folyamatait (White 1991a). A kitörés típus változások alapján, a leggyakoribb trendet követve, a freatomagmás folyamatoktól a magmás folyamatokig terjedő, de gyorsan zajló folyamatok gyakran olyan erózióknak ellenálló fedőrétegeket alkottak, amelyek az úgynevezett tanú hegyek kialakulását segítették elő. Tanulmányaimban több helyen is bemutattam azt a felismerésemet, hogy ezeknek a tanú hegyeknek a részletes vizsgálatával megadható az eredeti térszín relatív magassága, és annak őskörnyezeti képe. Hasonlóképpen a Snake River vulkánmezőn (Idaho), ahol a tanú hegyek feltárt belső részeiben bemutattam azt a lehetőséget, hogy rekonstruálni tudjuk a vulkáni folyamatot és annak morfológiai kapcsolatait (Németh and White 2009). A vulkánmorfológiai értelmezésben különösen fontosnak találtam, hogy bármilyen lepusztulás történet kidolgozásában elhanyagolhatatlan az, hogy minél pontosabb képet alkossunk egy vulkán kitörés történetére, hiszen az meghatározza azt a kiinduló vulkánmorfológiát, amelyen az erózió a későbbiekben lejátszódik. Ebből a szempontból meghatározónak találtam a feltárt vulkáni szelvények megértését, azok helyzetét a kürtőhöz viszonyítva, és annak tudomásul vételével, hogy különösen nagyméretű freatomagmás vulkánok gyakran saját maguk alakítják a kitörési környezetüket, amelyek azonban sok esetben nem feltétlenül tükrözik a vulkán tágabb értelemben vett környezeti tulajdonságait. Erre találtam kitűnő példákat többek között Idahóban (31a, b. ábrák) vagy Patagóniában. Számos jól ismert mexikói példa, mint például a La Brenna maar a Durango vulkánmezőn (Aranda-Gomez et al. 1990; Aranda Gomez et al. 1992) azt mutatja, hogy egy nagyméretű maar kráter kitűnő megjelenési formája lehet egy késői magmás kitörési („száraz”) folyamatsornak. Ennek következtében egy olyan geológiai környezet alakul ki, ahol az erózió ellenálló kráterkitöltő vulkanitjainak nagy vastagsága és az egész vulkáni komplexum alacsony térszintű helyzete miatt nem tudja lepusztítani a vulkáni összletet (31c, d. ábrák).



31. ábra - a) Peperit egy freatomagmás piroklasztit rétegsorba benyomuló dájk mentén a 71 Gulch vulkánról (Idaho) (Nemeth and White 2009), b) peperit dájk, ami homok és iszap üledékbe nyomult, c) párnaláva rövid lávafolyás talpán, ami egy freatomagmás vulkán kráterébe folyt, d) a mexikói La Breña maar (Durango vulkánmező, Mexikó) komplex maar. A fő maar kráterben salakkúp komplexum nőtt, ami részben összeomlott a kifolyó és a maar krátert szinte teljesen kitöltő láva hatására.

A fenti gondolatokat figyelembevételre sikerült a nyugat-magyarországi pliocén bazaltvulkanizmusából egy jól megalapozott lepusztulási modellt megfogalmazni, amelyben évmilliókra számolva az elvégzett számítások alapján néhányszor tíz méteres lepusztulási ráták adódtak évmilliókra számolva (Németh and Martin 1999b).

A monogenetikus vulkánformák leggyakoribb formái a salakkúpok, amelyek sajátos, elméleti lepusztulási folyamatai még pontosabb relatív lepusztulási modellekhez vezettek. Bár a salakkúpok lepusztulási folyamatainak könyvtárnyi irodalma van az elmúlt 50 év kutatástörténetéből, az alapművek döntően olyan salakkúpokról származnak, amelyek működésük során granuláris piroklasztokból felépülő kúppal számították a kúp lepusztulási folyamatait (Hooper and Sheridan 1998; Fornaciai et al. 2012). A megjelent cikkeimben többször kiemelttem, hogy ez a megközelítés csak nagyvonalakban érvényes, mert a salakkúpok is mérhetetlen változatosságot mutathatnak a felépítményük szerkezetében. Továbbá azok lepusztulásában meghatározó a kúpot létrehozó vulkáni folyamatok, és azok kitörési termékeinek erózióval szembeni fizikai tulajdonságainak ismerete (Martin and Nemeth 2006).

A publikációimban többször rámutattam arra, hogy a salakkúpok növekedése során - de még azok működése közben is - jelentős mennyiségű anyagmozgással kell számolnunk, amelyek időnként akár katasztrófális összeomláshoz is vezethetnek, ahol a salakkúp egész oldala omlhat le, és a kiömlő láva hátán kerülhet szokatlan geológiai környezetbe (Németh et al. 2011a). A salakkúpok folyamatos piroklaszt áthalmazása során a kúpok körül jelentős méretű anyaglepel, áthalmazott üledéklepedő alakulhat ki (32a. ábra), a kúpok felépítésében pedig jellegzetes szemcsefolyásokra jellemző üledékek dominálhatnak (32b. ábra). Ezeknek a vulkáni fácieseknek a felismerése azért fontos, mert azok információt adnak arra nézve, hogy a salakkúp már az épülése során jelentős morfometriai változáson esett át. Ennek a megfigyelésével kapcsolatos kutatásokban is részt vettem, ahol nyomon lehetett követni, hogy a kúp felszínén milyen anyagmozgások történnek és azok milyen hatással lehetnek a kúpok lepusztulásának hosszútávú folyamataiban (Kereszturi and Németh 2016a).



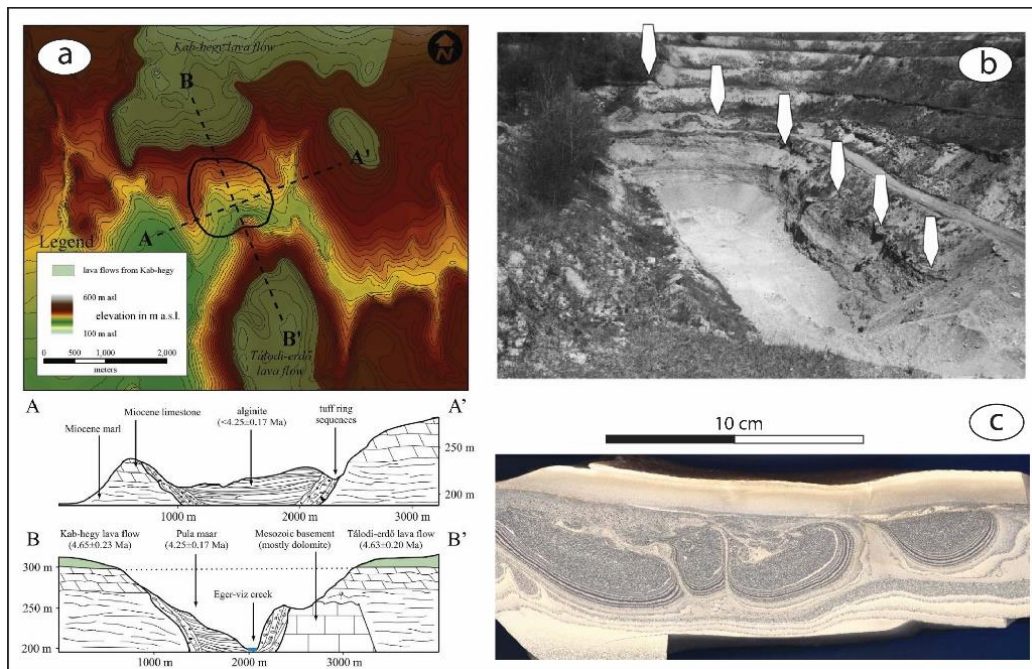
32. ábra - a) Tipikus áthalmazott salak legyező a Porunita salakkúp (Észak Chile, Ollagüe régió (Mattioli et al. 2006)) lejtőjén, b) a Porunita salakkúp oldalában vízmosások vájtak völgyeket, amelyben feltárul a salakkúpot felépítő fordítottan gradált salak, és tömör kőzetekből álló szerkezete, jelezvén, hogy a kúp, már épülése folyamán állandóan mozgásban lévő piroklasztok felhalmozódásával növekedett.

A monogenetikus vulkánmezők üledékföldtani vizsgálata csak néhány esetben történt meg (Kereszturi and Németh 2016b), valójában azért, mert azok kis mennyiséggel járulnak hozzá a bezáró üledékes medence fejlődéstörténetéhez. Ez természetesen nem feltétlenül van így, hiszen egy olyan területen, ahol jelentős számú monogenetikus vulkán született geológiai időskálán, a lepusztuló üledék fontos komponense lehet az áthalmazott üledékeknek. Ezért annak tanulmányozásából indirekt módon lehet következtetni egy terület vulkáni fejlődéstörténetére (Sohn and Sohn 2019).

A monogenetikus vulkánok közül a maar vulkánok viszont kiemelt figyelmet kaptak, hiszen azok szárazföldi területeken jelentenek egy mély és zárt üledékképződési környezetet, megőrizve a terület tágabb értelemben vett ősföldrajzi helyzetét, beleértve annak biológiai aktivitását (Negendank et al. 1985; Pirrung et al. 2003; Christenson et al. 2015; Fox et al. 2015; Rouwet et al. 2021). A maar üledékek vizsgálatában a hazai maar vulkánok közül a pulai maar kráterrel foglalkoztam részletesen, ahol sikerült egy komplex üledékföldtani modellt megalkotni a vulkán és környezete fejlődéstörténetéről (Németh et al. 2008b; Kovács et al. 2020) (33a. ábra). A maar kráterek abból a szempontból is fontosak, hogy azok belsejében a vulkánmező más helyeiről származó vulkáni hamu is felhalmozódhat, ezáltal egy „naptári” rendszerben válhat láthatóvá a terület vulkáni fejlődéstörténete. Ilyen tanulmányok sora tárta fel azt, hogy az Auckland

vulkánmező milyen relatív kitöréstörténettel jellemezhető (Peti et al. 2021), illetve azt, hogy milyen távoli forrásból származó vulkáni hamu szórás érhet el a területet. Ennek köszönhetően a maar vulkánok ilyen szempontú vizsgálata kiemelt fontossággal bír egy nagyobb terület vulkanológiai veszély térképezésében. Az nyilvánvaló, hogy ilyen módszerek működnek fiatal vulkáni területeken, de arról nagyon kevés munka számolt be, hogy hasonló módszerekkel akár idősebb, pld pliocén vulkánmezők kitörés története is felvázolható, amint azt bemutattam a pulai maar vulkán esetében (Kovács et al. 2020) (33b, c. ábra).

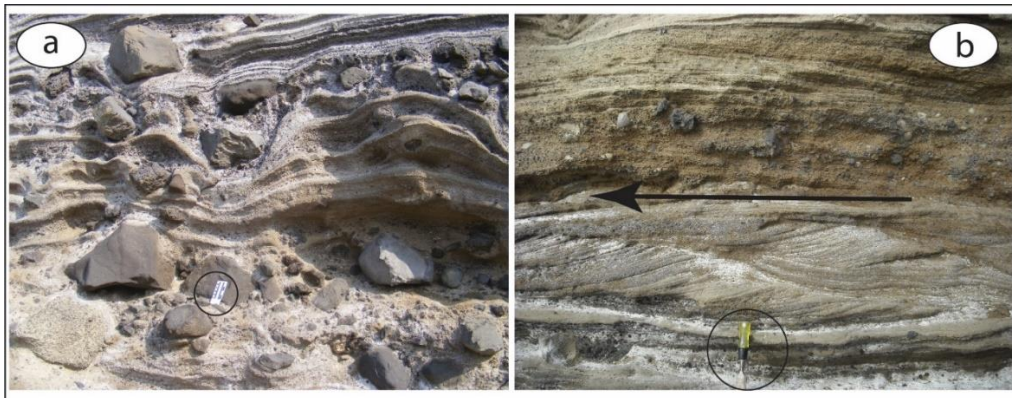
Sok esetben elmondható, hogy minél mélyebbre tekintünk a geológiai múltban annál kisebb az esély arra, hogy a monogenetikus vulkánmezők üledékföldtani nyomot hagyjanak a területen (Ufnar et al. 1995). Ezért egyre fontosabbá válnak az indirekt módszerek, ideértve a maar tavakban felhalmozódó vulkáni hamu vizsgálatát. Szerencsére olyan kutatásokban is részt vettem, amikor vulkáni hamuk azonosítása révén sikerült fiatal vulkanizmus nyomaira bukanni olyan területeken, ahol a monogenetikus vulkánok kitörési termékeinek megmaradási potenciálja kicsi (Sun et al. 2017b).



33. ábra - a) a Pula maar jelen domborzati képe és a geológiai adatok alapján szerkesztett szelvénye (Kovács et al. 2020) b) a pulai alginit bányá képe délről tekintve, bejelölve egy karakterisztikus vulkáni hamuban gazdag tavi üledéket (Németh et al. 2008b), c) a pulai kráter tavi üledékből előkerült víz kilépcsési formák a vulkáni hamuban gazdag rétegekből (Németh et al. 2008b)

A freatomagmás vulkánmezők esetében, ahol a kitörési központok döntő többségében freatomagmás robbanásos kitörések okozták a vulkanizmust, a vulkánok körül döntő többségben freatomagmás, feltéptett kőzetdarabokban gazdag piroklastit breccsák és lapilli tufák a dominánsak. A piroklastit breccsák többsége függőnyszerűen, egyszerre kidobott piroklastit esőből rakódhatott le a kürtő körül (Graettinger et al. 2015a) (34a. ábra). Azonban ezek az üledékek a kürtő közelében, viszonylag kis területen halmozódnak fel, ezért azok szerepe a teljes háttér üledékképződési környezethez képest kicsiny. A freatomagmás kitörési központok körül a leggyakoribb üledékek a horizontálisan mozgó piroklastit sűrűségárok (pld alapi torlóár) (Valentine and Fisher 2000) által szállított piroklastitok (34b. ábra), amelyek

jellegzetes finomszemcsés tufa és lapilli tufa anyagokkal, dűne rétegzettségükkel és számos nedves kitörési környezetre utaló szöveti elemeikkel (akkréciós lapilli, befedett lapilli, üveges piroklasztok stb.) viszonylag könnyen felismerhetők (Németh and Martin 2007). Ezek a tipikus freatomagmás robbanásos kitörésekből származó piroklasztit üledékek - a durvaszemcsés piroklaszt breccsákat leszámítva, amelyek amúgy is kürtőközeli helyzetben halmozódnak fel – legtöbbször közel horizontális településű finomszemcsés piroklasztit rétegeket alkotnak, amelyek a háttér kontinentális üledékekkel fogazódnak össze, azokkal együtt fejlődve, és/vagy lepusztulva hozhatnak létre térképezhető vulkáni kőzet fácieseket. Ezek szerepe a terület lepusztulás történetében minimális, de ugyanakkor fontos környezet indikátorok (Vazquez and Ort 2006). Fontos megjegyezni, hogy ezek a piroklaszt sűrűségár üledékek jellegzetes laterális fácies kapcsolatokat mutatnak, amelyek felismerésével a piroklaszt sűrűségárak mozgási irányára, közvetve a kitörési központ helyzetére, és a környezet mikrómorfológiai elemeire lehet következtetni (Sohn and Chough 1989; Chough and Sohn 1990; Lajoie et al. 1992; Lajoie and Stix 1992; Sohn 1996; Sohn and Park 2005). Több ilyen fácies elemzést is végeztem, amelyeket a későbbiekben a freatomagmás monogenetikus vulkán rekonstrukcióim alapjául használtam.



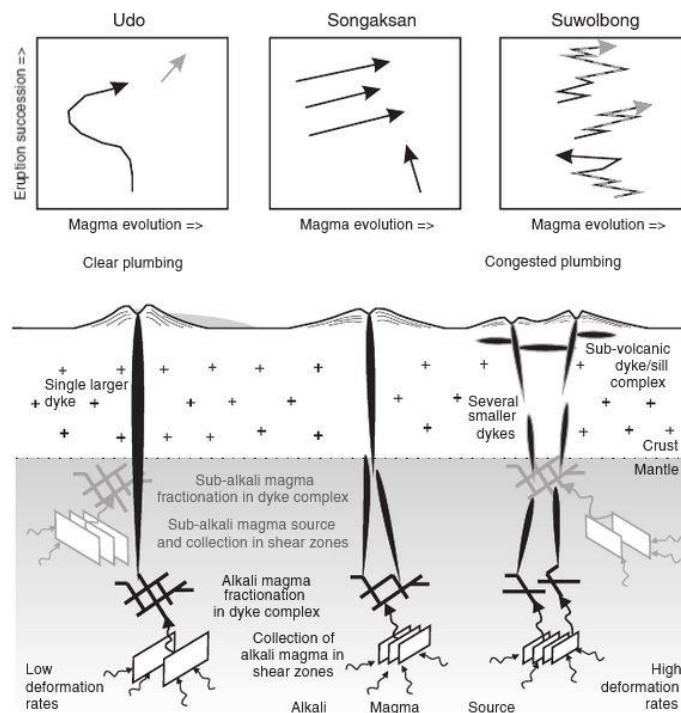
34. ábra - a) tipikus piroklaszt breccsa üledék a Suwolbong tufagyűrű/maar kürtő közeli szelvényéből (Jeju-sziget, Dél-Korea), b) alapi torlóár üledék az Auckland vulkánmező Brown Island/Motukorea tufagyűrűjéből (Új-Zéland). A kör a méretarányt mutatja, amelyen centiméter beosztás látható. A nyíl az alapi torlóár mozgási irányát mutatja. A kör a 12 cm hosszú vésőt mutatja, mint méretarányt.

3.9 Monogenetikus vulkanizmus a „magma forrástól a felszínig” modellje

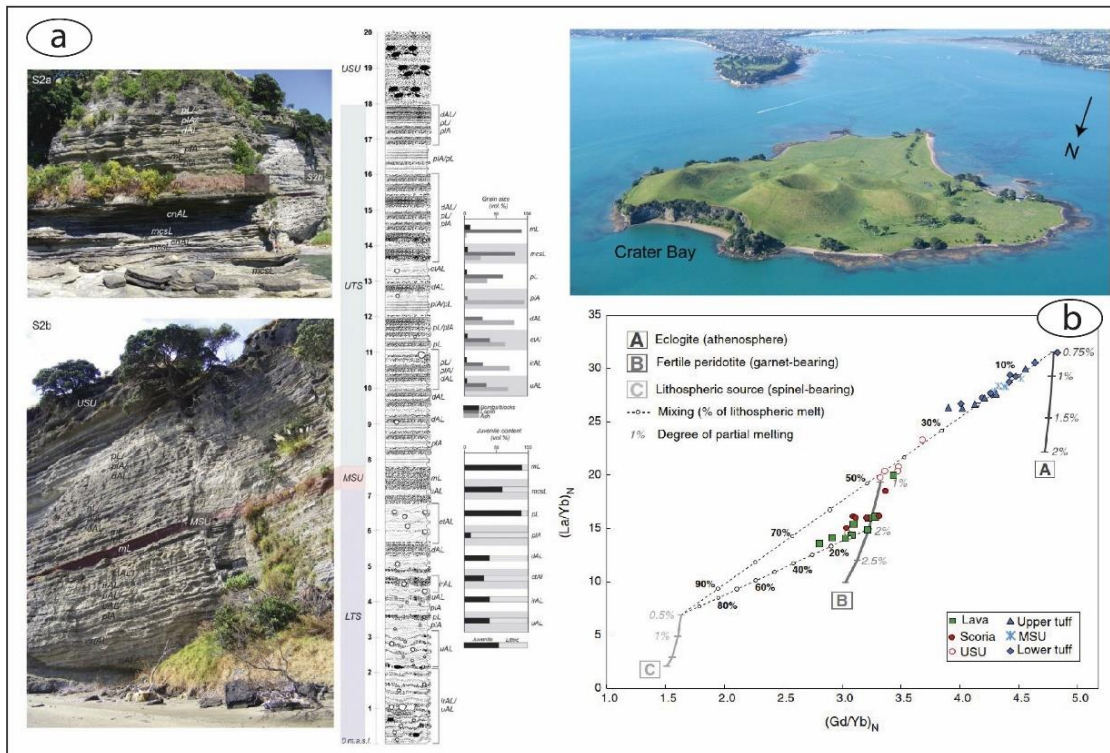
A kutatómunkámban meggyőződtem arról, hogy a monogenetikus vulkanizmus a Föld és a Naprendszer egyik legalapvetőbb vulkáni megjelenése. A vizsgálataimban az is tisztázódott, hogy egy monogenetikus vulkán megértése lényegesen több annál, mint annak térfogati és a vulkáni aktivitásának időbeli leírása. A monogenetikus vulkanizmus tágabb értelemben a vulkanizmus azon formája, amelyben kis mennyiségű magma, viszonylag gyorsan hoz létre alapvetően kicsi és egyszerű vulkáni szerkezeteket. Kutatásaim homlokterében a vulkanizmus fizikai vulkanológiai leírása volt. Azonban gyorsan bebizonyosodott, ahhoz, hogy egy gyakorlatban is jól használható koncepcionális vulkán modellt adjunk a monogenetikus vulkanizmusra, arra van szükség, hogy megértsük annak magma keletkezési, feláramlási és

kristályosodási folyamatait is. Számos olyan kutatási témát vezettem, amelyekben a magma keletkezése, kémiai fejlődése és annak felszínre kerülése előtti pillanatoknak a gyors fiziko-kémiai folyamatait tanulmányoztam. Ezeknek a munkáknak az eredményei alapján jelentősnek tekinthető a monogenetikus vulkanizmus úgynevezett „forrástól a felszínig” koncepció elfogadtatása.

Terepi megfigyeléseim és méréseim során több területen sikerült felismernem a feltárt vulkáni szelvényekben azt, hogy időben változó összetételű magma játszott szerepet azok létrehozásában, attól függetlenül, hogy a fizikai vulkanológiai adatok és térképezések alapján a vulkán működésében csak kis térfogatú magma játszott szerepet, geológiai értelemben véve, nagyon rövid időn belül. A Jeju-sziget (Dél-Korea) monogenetikus vulkánjaira (35. ábra) sikerült elkülöníteni egy sajátos kémiai rétegtant, megadva a lehetséges magma források variabilitását, a magma feltörés tér és időbeli lefolyását, és ezen kitörési termékek vulkáni felépítményekben megőrzött termékeinek szerkezetét (Brenna et al. 2010a; Németh et al. 2010a; Brenna et al. 2011; Sohn et al. 2011; Németh et al. 2012c). Ennek a munkának a következményeként logikus kutatási irány volt annak kiderítése, hogy a Jeju-szigeten felismert összefüggések mennyire általánosíthatók. Ebből a célból az Auckland vulkánmező számos hasonló petrogenetikai munkáiban is dolgoztam, ezáltal megértve azt a mérhetetlen diverzitást, amit még egy ilyen kis térfogatú vulkánmező is adhat (McGee et al. 2012a; Hopkins et al. 2021) (36. ábra).



35. ábra – A Jeju-sziget (Dél-Korea) monogenetikus vulkánjainak elvi vulkáni kürtőszervezetei a geokémiai és vulkanológiai vizsgálatok alapján (Brenna et al. 2011). A fekete magma vonalak alkáli magmára, míg a szürke zónák szubalkáli magmákra utalnak. A magma elnyírási zónákban gyűlik össze közvetlen a források felett, és ott fejlődik, mielőtt elindulna a felszín felé. Ezen elnyírási zónák megléte és komplexitása, valamint hogy a magma milyen „szabadon” juthat a felszínre fogja meghatározni a felszínen észlelhető geokémiai változatosságát a vizsgált kis vulkánoknak (Brenna et al. 2011).



36. ábra - a) az Auckland vulkánmezőn (Új-Zéland) található Motukore/Brown Island vulkán rétegtana a Crater Bay szelvényéből (jobb felső légifelvétel) jól mutatja a vulkán komplex rétegtanát, a kezdeti freatomagmás robbanásos kitörések keltette alapi torlóár és freatomagmás hullott piroklaszt szelvényt, amely éles határral vált egy száraz bazalt salak fedőre (Agustin-Flores et al. 2015b), b) a részletes vulkanológiai szelvény felhasználásával rétegtanilag kontrolált geokémiai vizsgálatok készültek, ami alapján kimutatható volt, hogy legalább három olvadék forrással számolhatunk ennek a kis térfogatú vulkánnak a felépülésében (McGee et al. 2012a).

Az elmúlt tíz évben a fent említett rétegtanilag kontrolált geokémiai módszerekkel sikerült betekintést kapnom a balatonfelvidéki bazaltvulkanizmus monogenetikus vulkánkitörés szintű változékonyságaiba is (Jankovics et al. 2015; Jankovics et al. 2019). Összességében megállapítottam, hogy ezek a kis magmával működtetett vulkáni folyamatok is lehetnek nemcsak fizikai vulkanológiai, és rétegtani szempontból bonyolultak, de azok magmatológiai jellegzetességei is változatosak (Smith and Németh 2017). Ezek a változatosságok azonban ismét nem azt jelentik, hogy ezek a jellegzetességek ellentmondanak a monogenetikus vulkanizmus általános koncepcionális definíciójának. Hiszen ezek a folyamatok mégiscsak nagyon rövid idő alatt zajlottak le, ellentétben egy poligenetikus vulkán évtízezrekben mérhető, több száz kitörési folyamata által keletkezett nagy térfogatú kitörési termékéhez viszonyítva. Ez a munkásság vezetett oda, hogy a monogenetikus vulkanizmus egy olyan modellben nyert értelmet, amelyben a magma fizikai-kémiai folyamatait, azok térben és időben változó eseményeit, valamint a vulkán fejlődésének lépéseit egyszerre tárgyaljuk.

Ebben a képben a vulkánmezők több dimenziós vizsgálata kulcsfontosságú, hisz csakis azok alapján láthatjuk a vulkanizmus tér és időbeli változását, amely sokszor a vulkanizmus környezeti változásainak tükörképe (Németh and Kósik 2020a). Amint korábban említettem, a kürtő csoportosulás, lineamentum keletkezés, vagy azok teljesen véletlenszerű eloszlása, mind fontos információ a magma feláramlás módjára, sebességére és felszíni folyamatokkal való kapcsolatára. Fontos megjegyezni, hogy már ezen megközelítés szinte elkerülhetetlenné teszi a

kérdés feltevését, amely szerint mikor és hogyan alakulhat ki egy központi vulkáni rendszer egy alapvetően monogenetikus vulkánmező kellős közepén? Amint az több vulkánmezőn is látható, a monogenetikus vulkánmezőkön gyakoriak a jelentősebb magma produktivitást mutató pajzsvulkánok, de akár valódi rétegvulkánok születése is. A kérdés természetesen felvetődik, hogy lehetséges-e az, hogy a monogenetikus vulkánmezőkön, amelyek kis térfogatú és egyszerű vulkánokból állnak, mikor jöhet el az a pillanat, amikor az olvadékfeláramlás kicsit fókuszáltabb módon egy-egy jól lehatárolható területre koncentrálódjon, és megkezdődjön egy poligenetikus vulkán felépülése? Úgy tűnik, hogy az olyan vulkánmezőkön, ahol a geotektonikai viszony hosszú időben stabil hőforrást biztosítva folyamatos magmautánpótlást biztosítottak a vulkánmező működésére, idővel megjelennek azon vulkánok, amelyek akár sekély mélységből táplálkozva, több fázisú és időben is elhúzódó aktivitást mutatnak. Munkásságom során számos ilyen úgynevezett „érett” vulkánmezőn is kutattam, ideértve az Arab-félsziget számos bimodális vulkánmezőjét, amelyekben már találkozhatunk olyan fejlett magmából táplálkozó vulkánokkal, amelyek működése hosszabb időt vehetett igénybe, mint egy tipikus bazalt salakkúpé (37a, b. ábra).

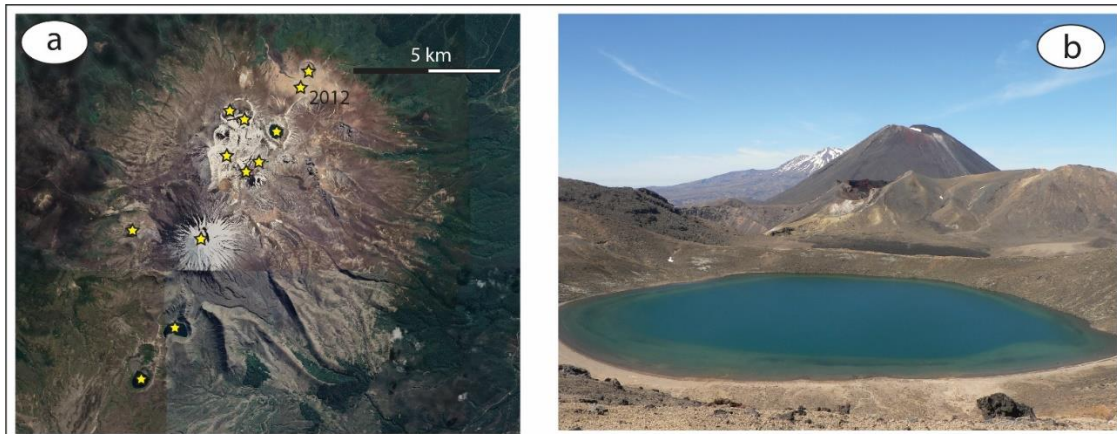


37. ábra - a) a Harrat Khaybar (Szaúd-Arábia) trachitos lávadómjai (Németh and Moufti 2017) alapvetően egyszerű kitérőkre utalnak, és monogenetikus jellegűnek tekinthetők, még akkor is, ha a láva dómok mérete jelentős (2-300 m), b) a Matan lávadóm a Harrat Rahat vulkánmező (Moufti and Németh 2013) középső részén egy komplex és nagy méretű lávadóm, kezdeti robbanásos (egyszeri) kitérősek által létrehozott sekély kráterekkel, és az azok között felhalmozódott tufagyűrűkkel.

Más megközelítésben több olyan összetett, poligenetikus vulkán is ismert, amely szinte minden bizonnyal egy korábbi, monogenetikus vulkánmezőre települt, az egykori vulkánmezőt szinte teljesen elfedve. Gyakran az ilyen összetett poligenetikus vulkánok karácsonyfa-szerűen nem laterálisan, hanem inkább vertikálisan növekedtek, miközben több aktív kürtőből törtek ki, akár egyidőben is. Ilyen vulkán az új-zélandi Tongariro vulkán is, amely egy vulkáni masszívumot alkot, számos ismert kitérési központtal (Leonard et al. 2021) (38a, b. ábra), és feltételezett elfedett kürtőkkel is. Hasonló vulkánmező a mexikói Chichinautzin vidéke, ahol egész poligenetikus vulkánok nőttek ki a monogenetikus vulkánmezőből, jelezvén annak érett fejlődési stádiumát (Perez-Lopez et al. 2011; Jaimes-Viera et al. 2018; Lorenzo-Merino et al. 2018; Nieto-Torres and Martin Del Pozzo 2019; Zarazua-Carbajal and De la Cruz-Reyna 2020).

A fent leírt összefüggéseket ilyen értelemben csakis egy holisztikus vulkán geológiai képéből lehet szemlélni, amelyben a monogenetikus vulkanizmus a vulkáni folyamatok legegyszerűbb, legkisebb térfogatú és leggyorsabban zajló eseménye. Ebből a koncepcionális megközelítésből egyenesen következik, hogy a monogenetikus vulkanizmus és a poligenetikus vulkanizmus

közötti határ nem lehet éles, folyamatos átmenet valószínűsíthető. Ez a gondolat volt a motorja a munkám összefoglalásaként közölt könyvfejezetnek, ami 2017-ben jelent meg (Smith and Németh 2017), és a dolgozatom **2. számú mellékleteként** lett csatolva. Ebben az írásban a monogenetikus vulkanizmus új modelljét közöltem.



38. ábra - a) Tongariro (Új-Zéland) összetett poligenetikus vulkán Google Earth Pro úrfelvételen. A vulkán több kisebb vulkán (sárga csillagok) összeolvadásából hoz létre egy tipikus vulkáni masszívumot. b) Tongariro látképe a Red Crater (a tó mögött) és a Ngauruhoe vulkánnal (a szabályos vörös fekete kúp)

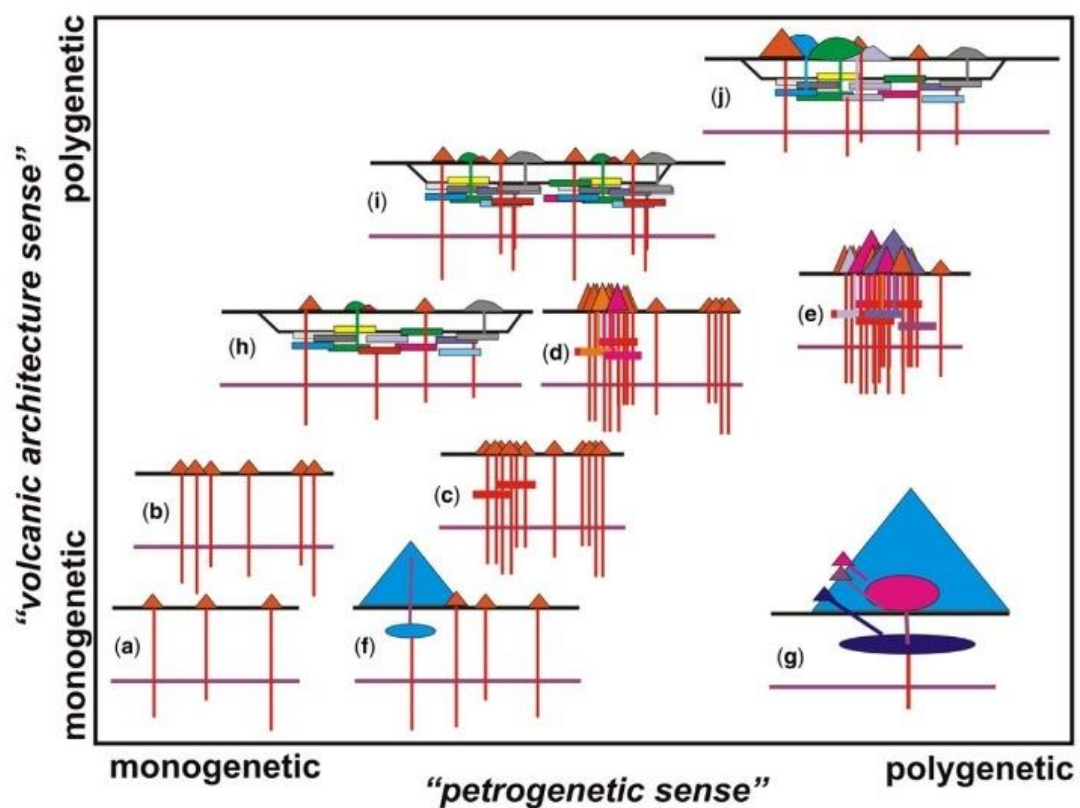
3. 10 A monogenetikus vulkanizmus új modellje

Tudományos munkásságom egyik legfontosabb következtetése, hogy a monogenetikus vulkanizmust csakis a magma forrása, felszín felé vezető útja, annak kristályosodása és fragmentációja, és a kitörési termékek szállítása és leüleptése, valamint áthalmozása komplex megközelítéséből lehet megérteni. Ez a gondolatfűzér a vulkán geológia alapja, és lényegében minden egyes vulkáni területre alkalmazható. A különbség a monogenetikus és poligenetikus vulkanizmus között ilyen értelemben csak a lehetséges magma térfogatban van, amely meghatározza a lehetséges vulkán kitörés típusokat, a vulkanizmus tér és időbeli lefolyását. Ezt a képet pedig szükséges a vulkanizmus környezete szempontjából vizsgálni, mert a kis magma térfogattal számoló monogenetikus vulkánok különösen érzékenyek lehetnek a kitörési környezet apró változásaira is.

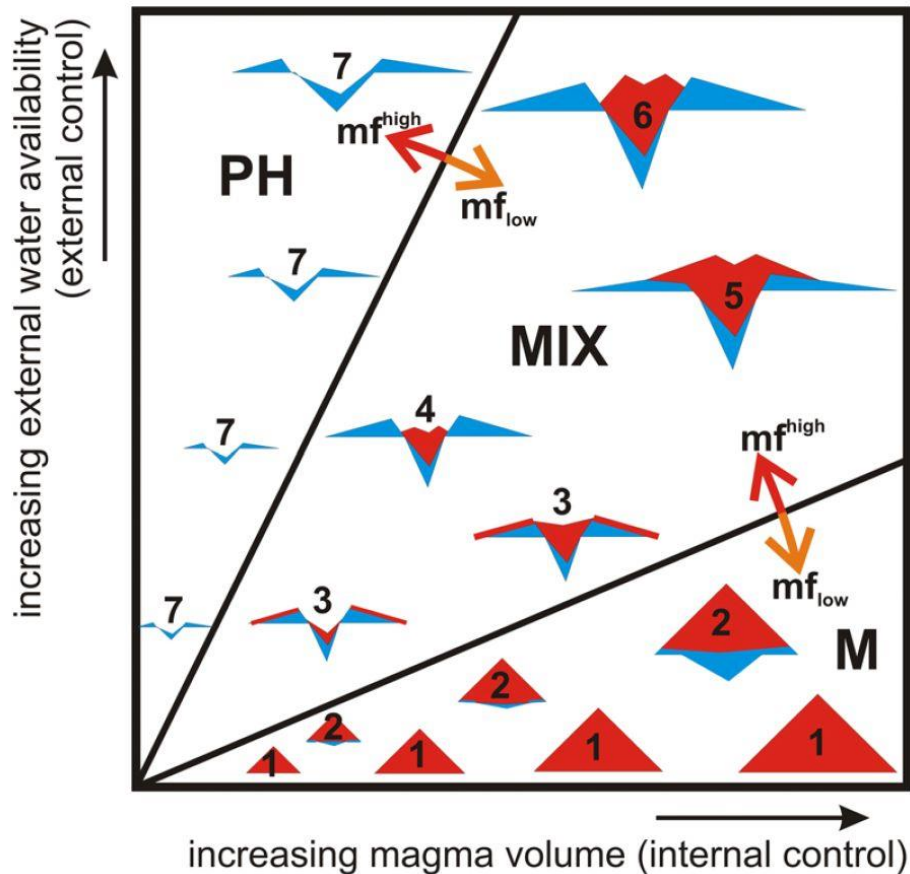
A monogenetikus vulkanizmus a magma forrása, az olvadás kémiai folyamatai, és a magma felszínre jutása során fellépő ásványszintű eseményekkel is összefüggésbe kell hozni, mert csakis ezen folyamatok megértése adhat támpontot arra, hogy a vulkanizmus monogenetikus vagy poligenetikus jelleggel rendelkezik-e.

A monogenetikus vulkanizmus általam kidolgozott új elméletében fontos elem, hogy nem merev határok közé szorított valóságtól elkülönült kategóriákba próbáljuk a vulkánokat sorolni, hanem egy koncepcionális modellt alkotunk, amelyben kulcsszerepet játszanak azok az átmeneti formáknak, és folyamatok, amelyek ezeket a vulkáni formákat létrehozzák. Ennek a gondolatnak az alapján készült az a két diagram (39. és 40. ábrák), amelyet a konkrét

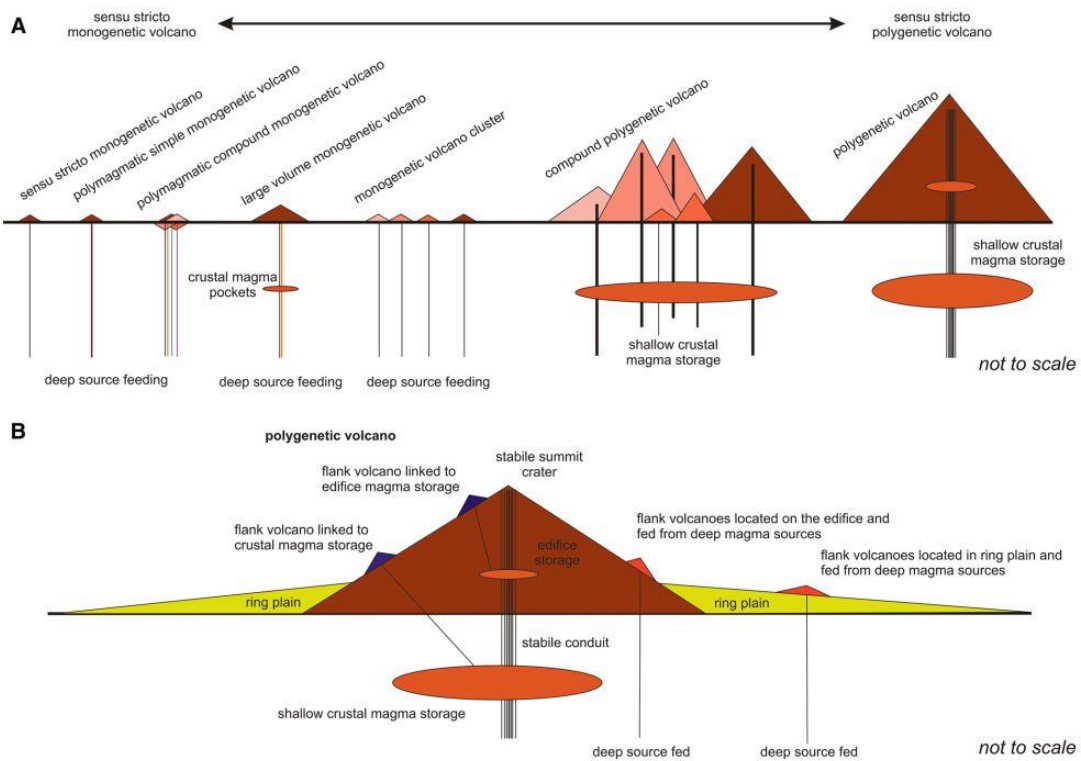
természetbeni megfigyeléseimre alapoztam. Az első diagramon (39. ábra) a vulkáni formák petrogenetikai és vulkáni formáinak összefüggését vizsgáltam, amelyben a monogenetikus vulkánok a legegyszerűbb petrogenetikai és vulkáni felépítmény rendszerrel rendelkeznek. Minél inkább távolodunk ettől az alapesettől, annál komplexebb vulkán típusokat találunk, amelyek már a poligenetikus vulkán tartományba tartoznak. A második kulcsdiagramban azt ábrázoltam (40. ábra), hogy a növekvő magma (belső kontrol) és a fokozódó víz hatása (külső kontrol) milyen vulkán típusokat képes létrehozni, és azok mérete és szerkezetének bonyolultsága hogyan hozható kapcsolatba a monogenetikus vulkanizmus koncepciójával. A monogenetikus vulkanizmus koncepcionális modelljét a 41. ábrán mutatom be, amely a vulkánok eloszlását és azok geológiai környezetét is figyelembe veszi.



39. ábra – Vulkáni formák osztályozása a monogenetikus – poligenetikus koncepció nézőpontjából (Smith and Németh 2017). Balról jobbra egyre komplexebb magmatológiai, míg lentől felfelé egyre komplexebb vulkán szerkezeteket láthatunk. a – mély forrású, kis vulkánok „sensu tipico” monogenetikus vulkánok, b – mély forrású, kicsi, de csoportosuló vulkánok, c – mély forrású, kicsi, de lehetséges magmatározóra utaló geokémiai jelekkel rendelkező vulkánok, d – összekapcsolódó vulkán csoportok, mély magma forrással, e – több forrású, de nem egységes kürtőkkel rendelkező vulkán komplexumok (pl. Tongariro), f – központi vulkán, és attól független mély forrású kis vulkánok, g – poligenetikus rétegvulkán több kisebb lejtőn keletkezett kis szatellit vulkánokkal, h – i – j – poligenetikus vulkán rendszerek, savanyú, kéreg eredetű olvadékokkal, kaldera és láva dóm vulkánokkal.



40. ábra – A monogenetikus vulkanizmus a belső (magma fizikai és kémiai kondíciójából származó) és külső (külső környezet víz-telítettsége) erők nézőpontjából (Smith and Németh 2017). Jobbra a belső erők dominanciáját, míg felfelé a külső erők dominanciáját látjuk. A sematikus vulkánkeresztmetszetek a lehetséges vulkán típusokat jelölik. M – magmás monogenetikus vulkánok, PH – freatomagmás monogenetikus vulkánok, MIX – kevert monogenetikus vulkánok, mf^{high} – magas magmautánpótlási érték, mf^{low} – alacsony magma utánpótlási érték, 1 – növekvő méretű salak és lávafröccs-kúpok, 2 – salakkúpok freatomagmás eredetű bázisrétegekkel, 3 – freatomagmás vulkánok vékony magmás fedővel, 4 – jól kifejtett freatomagmás vulkánok magmás kráterkitöltéssel, 5 – jól kifejtett freatomagmás vulkánok túlságosan megnőtt magmás fedővel, 6 – jelentős méretű freatomagmás vulkán, vagy vulkán komplexum kráter kitöltő magmás vulkáni kúppal vagy kúpokkal, 7 – különböző méretű dominánsan freatomagmás vulkán formák.



41. ábra - Monogenetikus vulkanizmus elvi modellje. A) Vulkáni formák, amelyek alapvetően mélyből közvetlenül a felszínre kerülő magmákkal kapcsolatosak. A vulkán komplexitását a lehetséges feláramlási csatornák száma és a lehetséges magma felhalmozódási helyek mérete és helyzete adja. B) Kis térfogatú vulkánok kapcsolata egy központi vulkánnal. Szűkebb értelemben azokat a kis vulkánokat, amelyek magmatológiai és fizikai kapcsolatban vannak a központi kúrtó rendszerrel, nem tekintjük monogenetikus vulkánoknak (Németh and Kereszturi 2015).

A monogenetikus vulkanizmus új általam felvezetett koncepcióját a **2. számú mellékletként** benyújtott cikkben mutatom be, amely az alábbi általam szerkesztett kötetben jelent meg.

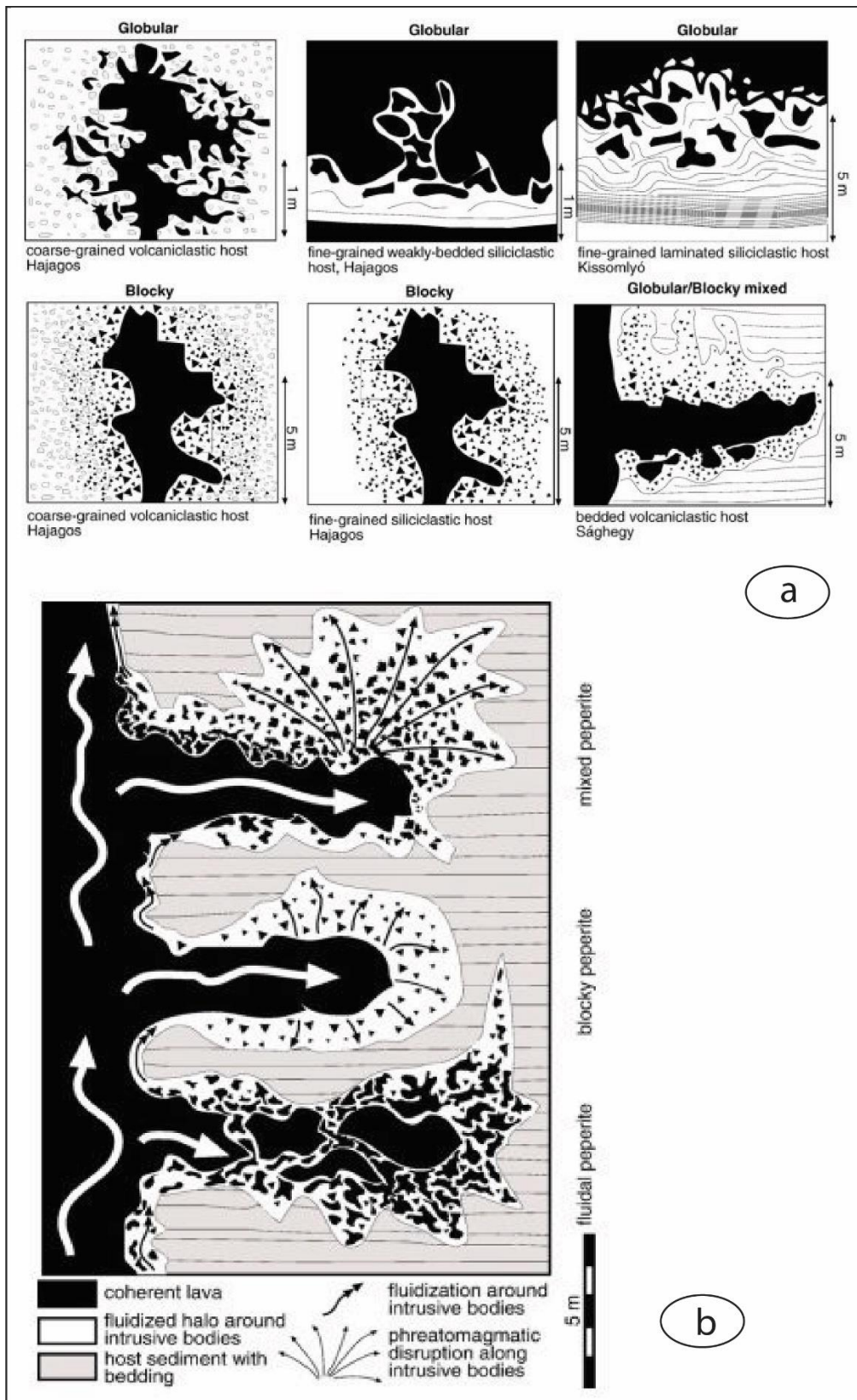
Németh, K., Carrasco-Núñez, G., Aranda-Gómez, J. J. & Smith, I. E. M. (eds) 2017. Monogenetic Volcanism. Geological Society, London, Special Publications, 446, <https://doi.org/10.1144/SP446.14>

dc_1993_22

Chapter 4 Új tudományos eredményeim a monogenetikus vulkanizmus kutatásában

4. 1 Freatomagmás vulkanizmus a Nyugat-Pannon-medencében

- a) A tudományos karrierem első harmadában a kutatásaim a Nyugat-Pannon-medence miocén-pleisztocén intrakontinentális vulkanizmus megismerésére koncentráltak. Ebben a folyamatban elsőként adtam egy olyan vulkanológiai modellt e területre, amely a magma és a víz kölcsönhatására (robbanásos és nem robbanásos), mint a vulkanizmus stílusát és azok termékeit leginkább befolyásoló folyamatra hívta fel a figyelmet. Ezt a munkát egy a Magyar Állami Földtani Intézet által kiadott szakkönyvben írtam le még 2004-ben (Martin and Németh 2004a). Ez a kötet PDF formátumban, mint a dolgozat **3. melléklete** szerepel (Martin and Németh 2004a). Ez a könyv egyben a Second IAVCEI-IAS International Maar Conference 2004-ben Magyarországon megrendezett konferenciájára jelent meg (Kázmér 2004; Németh 2004a), annak egyik terepgyakorlati vezetőjeként került a konferencia résztvevők kezébe először. A konferenciának én voltam a tudományos elnöke, illetve az azt követő konferenciák mindegyikének tudományos tanácsadója. Ez a kötet jól hivatkozott alaplóművé vált azóta, és egy egész generáció azóta is használja, mint vulkanológiai alaplóművet. A dolgozatomban ebből a kötetből mutatok be számos problémakört és a legfontosabb gondolatokat, amelyek előre mutatnak a további vizsgálatokhoz. Ebben a témában más jelentős munkában is dolgoztam, amelyek magyarul is, és nyílt elérhetőségű médiában is megjelentek (Németh and Csillag 1999; Martin et al. 2003; Németh 2008a; Németh 2012).
- b) A magma és nedves üledék kölcsönhatása és változatos peperit képződmények felismerése a Bakony-Balatonfelvidék, és a Kisalföld vulkánmezőkön (Martin and Németh 2000; Martin and Németh 2002; Martin and Németh 2004b, 2005; Martin and Németh 2007). Ezek a publikációk tekinthetők Magyarországon az első olyan munkáknak, amelyek ezeknek a képződményeknek a használatát emelték ki az öskörnyezeti rekonstrukciókban (42. ábra). Továbbá, ezek a munkák számos új kutatási programot indítottak el más bazaltvulkánmezőkön is (Németh et al. 2003a; Haller et al. 2005a; Martin et al. 2005a; Németh and White 2006; Németh et al. 2007b; Németh and White 2007; Németh and White 2009; Ureta et al. 2018c). Sőt ezek a közlemények jelentős nemzetközi impakttal rendelkező művekké váltak, amit jól mutat, hogy a „Martin U, Németh K (2007) Blocky versus fluidal peperite textures developed in volcanic conduits, vents and crater lakes of phreatomagmatic volcanoes in Mio-Pliocene volcanic fields of western Hungary. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 159(1-3):164-178” cikk 65 Web of Science hivatkozást kapott ez idáig. Ezt a cikket, mint a dolgozat **4. mellékletét** csatoltam PDF formátumban (Martin and Németh 2007).

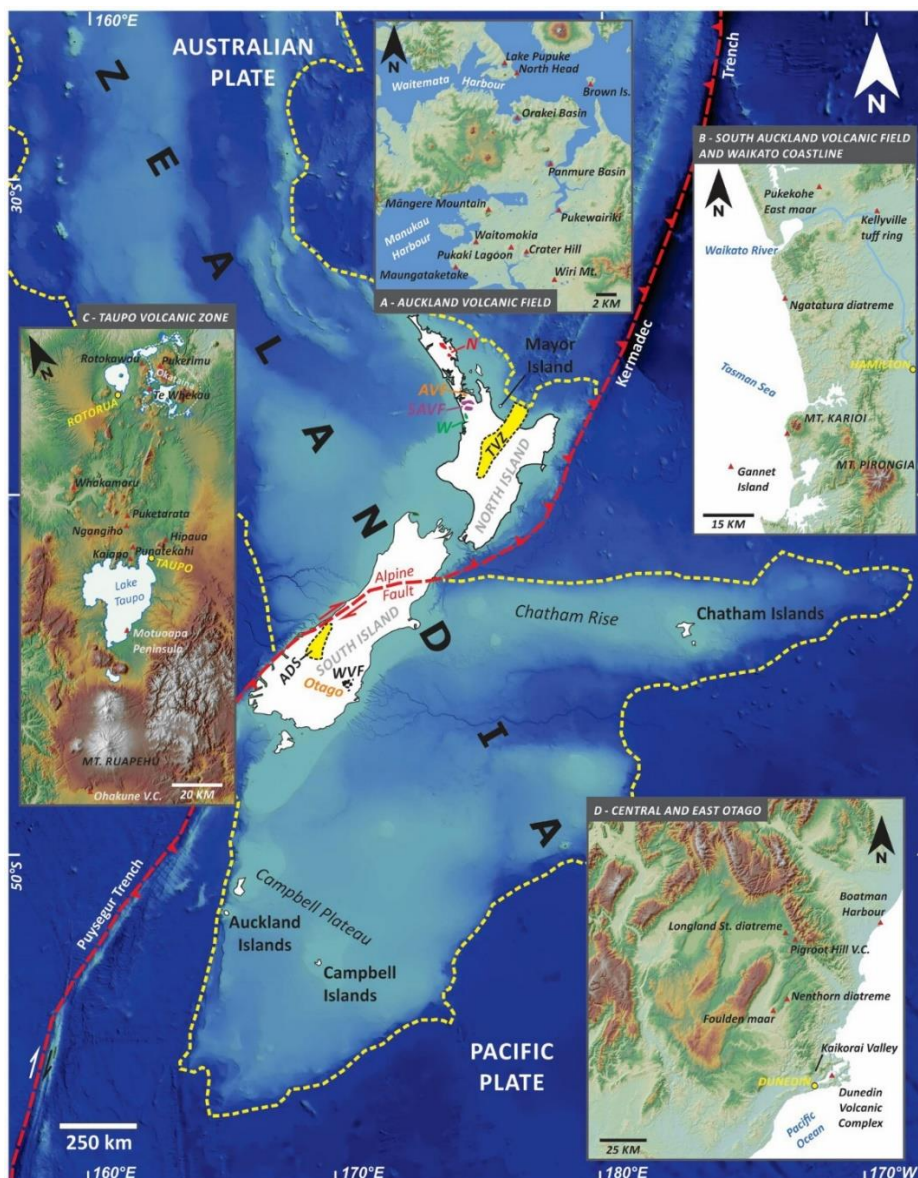


42. ábra – Peperit típusok és azok keletkezési körülményei a BBHVF freatomagmás vulkánjainak tanulmányozása alapján (Martin and Nemeth 2007).

- c) A fenti ponttal egyidőben sikerült egy olyan őskörnyezeti képet adni a Nyugat-Pannon-medence plio-pleisztocén fejlődéstörténetére, amely magyarázatot adott különösen a Keszthelyi-hegységtől északra elterülő bazalt területek rétegtani helyzetére, és ennek eredményeként ezt a területet egy jól leírt vulkán geológiai képbe helyezte (Németh and Martin 2007). Ez a munka később fontos alapgondolattá vált, és az ezek alapján megjelent publikációk nemzetközi referenciákká váltak, amit jól mutat az eddigi 53 Web of Science hivatkozás.
- d) A freatomagmatizmus és különösen a maar vulkanizmus, mint vulkán geológiai keret először adott egy olyan képet a Nyugat-Pannon-medence fiatal bazaltjainak őskörnyezeti képéhez, ami a terület felszínfejlődését is meg tudta magyarázni, különösen a vulkanizmus idején rekonstruált geomorfológiai és üledékföldtani helyzethez viszonyítva (Németh and Martin 1999b). A fenti munkákból először sikerült egy szemi-kvantitatív modellt alkotni arra vonatkozóan, hogy milyen lehetett az a felszín, amelyen a vulkanizmus lejátszódott (Németh et al. 2002b). Ez a munka több mint 20 évvel a megjelenése után is, új tudományos kutatások gondolatébresztő eleme, amely munkákat új geológus generációval együttműködve is segíték folytatni (Kereszturi and Németh 2012c; Hencz et al. 2017b). E munkásságomat összehasonlító képben más hasonló vulkáni területeken felismerhető vulkáni folyamatokkal kapcsolatban is, több tudományos népszerűsítő cikkeimben is közzétettem (Németh 1995, 1996, 1997, 2004a; Németh 2004b; Németh 2008c, b, 2011a, 2014).
- e) A fenti módszer később egy olyan alapművé vált, ami számos más területen is alkalmazható volt a hosszútávú felszín-lepusztulás modellezésében (Kereszturi et al. 2011b; Kereszturi and Németh 2012b).
- f) A Balatonfelvidék bazaltvulkánjainak és azoknak freatomagmatizmussal összekapcsolható geológiai elemei elsőként vetették fel a lehetséges kapcsolatot a hosszútávú klímaváltozások, és a vulkán típusok közötti korrelációra. Továbbá arra is, hogy vulkanológiai módszerekkel, ha kellően nagyszámú vulkán, alapos geológiai ismeret és megfelelő koradatok állnak rendelkezésre, akkor egy terület geológiai múltjában, akár évmilliók klíma (és hidrogeológiai) változásait is nyomon követhetjük (Kereszturi et al. 2011b). Ezt a módszert több nemzetközi együttműködésben is használtam, ezzel az „ötlettel”, amely eredendően Magyarországon született elősegítve más kutatócsoportok munkásságát (Kshirsagar et al. 2015; Kshirsagar et al. 2016).
- g) A fentiekben leírt lehetséges mechanizmust a tihanyi vizsgálataimra alapozva, mint elvi modellt fogalmaztam meg, ahol először említettem azt a lehetőséget, hogy nagy mértékben eltérő hidrogeológiájú területeken, akár évszagos szinten is megváltozhatnak a terület víztároló és vízleadó tulajdonságai, aminek következtében látványosan különböző típusú robbanásos vulkánkitörések jöhetnek létre (Németh et al. 2001). Az elmúlt két évtizedben ez a koncepció számos vulkáni területen teljesen más megvilágításba helyezte a kis térfogatú, monogenetikus vulkanizmusról alkotott képünket. Valamint a gyakorlatban is további modellek születését eredményezte, amelyek a vulkáni katasztrófakezelés alapjává váltak (Kereszturi et al. 2014b; Geshi et al. 2019).

4. 2 A freatomagmatizmus szerepe a Zélandia mikrokontinensen

- a) Az elmúlt 16 évben sikerült szinte minden egyes monogenetikus vulkánmezőn dolgoznom a Zélandia mikrokontinens (Mortimer et al. 2017) területén. Megemlítem, hogy a Zélandia mikrokontinens geotektonikai helyzetéről magyar nyelvű tudományos népszerűsítő közleményben számoltam be (Németh 2017a, b). Ezek a vulkánmezők tipikus intrakontinentális bazaltvulkánmezők, azok tipikus vulkáni formáival és jelenségeivel, változatos lepusztulási helyzetben feltárva (Bischoff et al. 2020; Scott et al. 2020; Smith and Cronin 2021). Ezekben a munkáimban összefoglaltam ezeknek a vulkáni tevékenységeknek a legfontosabb jellemzőit, hangsúlyozva a magma és a víz robbanásos kölcsönhatásának gyakoriságát, illetve annak jelentőségét (43. ábra) különösképpen a kezdeti vulkáni folyamatoknak az esetében, jelezvén a terület jellemzően jó vízellátottságát (Németh and Kósik 2020c). Ezt a cikket, mint a dolgozat **5. mellékletét** mellékeltem.

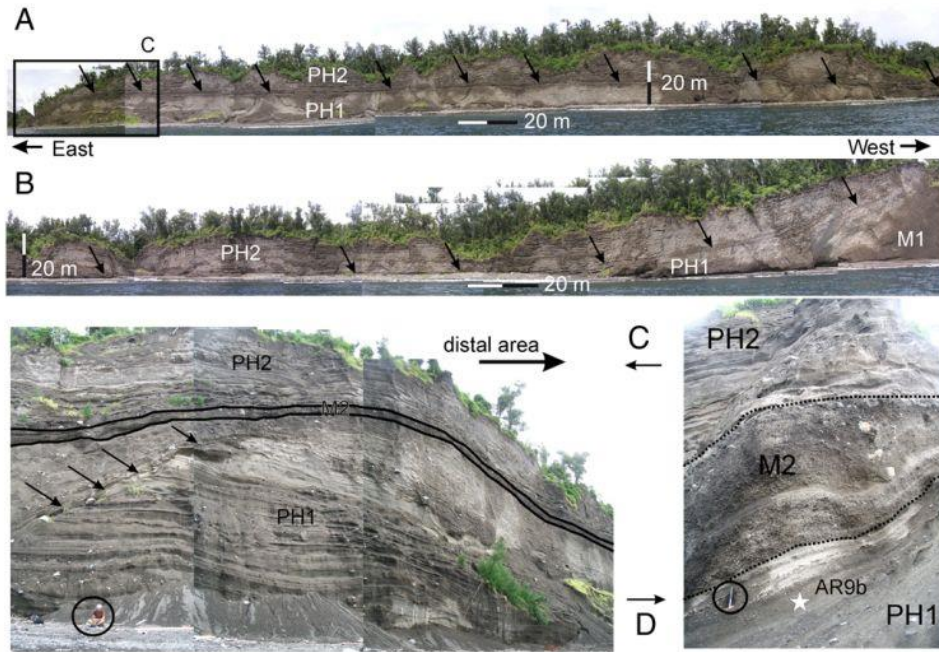


43. ábra – Freatomagmás monogenetikus vulkánok a Zélandia mikrokontinensről, amelyeket munkám során részletesen tanulmányoztam (Németh and Kósik 2020b).

- b) Négy általam témavezetett doktori program keretében sikerült felismerni, hogy az Auckland vulkánmező (Új-Zéland) vulkanizmusának a freatomagmatizmus meghatározó eleme volt (Németh et al. 2008a; Németh et al. 2009a; Németh and Cronin 2009a; Németh and McGee 2010; Németh et al. 2010b; Agustin-Flores et al. 2011a; Agustin-Flores et al. 2014; Kereszturi et al. 2014b; Agustin-Flores et al. 2015b, a; Foote et al. 2018; Kereszturi and Németh 2018). A szisztematikus kutatásaim eredményei igazolták, hogy ez a terület kiváló alap modellje lehet a tengerszinthez közeli, úgynevezett parti síkságok bazaltvulkanizmusának bemutatására (Németh et al. 2010; Hopkins et al. 2021). A fenti koncepció jelenleg is a kutatás tárgyát képezi az Aucklandtól délre elterülő Dél-Aucklandi vulkánmezőn (Ilanko et al. 2009; Gibson et al. 2010; Németh et al. 2012b; Pittari et al. 2012). A dolgozatomhoz mellékeltem (**6. melléklet**) az Auckland vulkánmezőn végzett kutatásaimból összeállított cikkemet, amely először közölte azt a tényt, hogy a freatomagmatizmus és a „száraz” robbanásos folyamatok keltette vulkáni veszélyeztetettség külön kezelendő egy aktív monogenetikus vulkánmező földtani veszélyforrások térképezésében.

4.3 Máfikus explozív vulkanizmus a délnyugat Csendes-óceán medencéjében

- a) Különösen a 2005 és 2008 közötti időszakban, amikor elsősorban Vanuatun dolgoztam (Németh 2006; Németh 2007), számos kutatást végeztem a robbanásos máfikus vulkanizmus területén. Ezek a munkák szinte minden esetben a vulkáni katasztrófa elhárítás, és térképezés területével is kapcsolatban voltak, továbbá a Vanuatu szigetvilág aktív, és Holocén vulkanizmusának szisztematikus tanulmányozása volt a fő feladatomban. Ekkor először ismertem fel az Ambrym vulkán bazalt kalderájának eredetét. Ellentétben a korábban általánosan elfogadott katasztrófális robbanásos elmélettel (Robin et al. 1993) egy fokozatos, a rift zóna mentén zajló magma kibocsátás által generált folyamatos beszakadás folyamatával magyaráztam ennek a vulkáni szerkezetnek a létrejöttét. Ezen túlmenően rámutattam, hogy a rift tengerszinthez közeli területein a freatomagmatizmus esélye óriási, amit éppen egy 1913-ban történt kitörés kitűnően demonstrált (Cronin and Németh 2005; Németh and Cronin 2005a, 2006b, 2007a; Németh and Cronin 2008; Németh and Cronin 2009c, b, 2011). Ezekből a munkákból az Ambrym 1913-as kitörését (44. ábra) bemutató munkámat, mint a dolgozat **7. mellékletét** csatoltam (Németh and Cronin 2007c).



44. ábra - Az Ambrym (Vanuatu) vulkáni sziget rift menti zónájában 1913-ban született maar vulkán és annak komplex piroklasztit sorozata (A és B) arról tanúskodik, hogy a kitörés több központból működött, de alapvetően rövid ideig (napok) (Németh and Cronin 2011). A kitörés során a kürtő helyzete is változhatott létrehozva jellegzetes szögdiszkordancia elemeket a rétegsorban (C). A tufagyűrű rétegtanilag alsó és felső helyzetű freatomagmás sorozatát (PH1 és PH2) egyinkább magmás bazaltsalakban gazdag egység választja el, jelezvén, hogy a magma-víz aránya megváltozhatott a kitörés rövid története alatt (D).

- b) A fenti munka során nemcsak az Ambrym-szigetén, de a közeli Ambae szigetén (Németh and Cronin 2009d) is hasonló vulkán geológiai képet sikerült megrajzolnom, és azt egy fácies modellben ábrázolnom (Németh and Cronin 2006a; Németh et al. 2009b)..
- c) A rift-végi freatomagmatikus vulkánkitörések által létrehozott vulkánformák kitűnő magaspartti feltárások mentén lehetőséget adott számomra, hogy dokumentáljam részleteiben egy fiatal maar vulkán szerkezetét, és annak lepusztulását (Németh and Cronin 2007c; Németh and Cronin 2007b, 2009d).
- d) A munkám során sikerült részletesen leírnom egy Surtsey-típusú vulkánkitörést 2005-ben, amikor az Ambae-vulkán kalderájában található tóban egy tufakúp született (Németh 2006; Németh et al. 2006a; Cronin et al. 2007a; Cronin et al. 2007b). Ez a munka (Németh et al. 2006a) a maga 44 Web of Science hivatkozásával, meghatározó munka lett a későbbi Surtsey-típusú vulkanizmus (Németh 2011b), és vulkáni katasztrófa modellekhez, mint például laharok születésének lehetősége (Bani et al. 2009) és az Ambae 2017-18-as legújabb kitörésének tanulmányozásához, ami igen hasonló pályát futott be, mint a 2005-ös esemény (Moussallam et al. 2019; Firth et al. 2021; Park et al. 2021).
- e) A Vanuaton eltöltött években sikerült fényt derítenem egy globális vulkanológiai problémára (Németh and Cronin 2005b; Németh et al. 2006b; Németh et al. 2007a; Németh 2008d; Németh et al. 2011a), amely a Kuwae kitörést, mint a Holocén egyik legnagyobb klímát megváltoztató kitörését mutatták be (Hoffman ; Monzier et al. 1994; Robin et al. 1994; Gao et al. 2006; Hoffmann 2006). Ez a munkám nagy hatással volt a további vizsgálatokra (Witter and Self 2007; Hartman et al. 2019), bár a kérdés

eldöntése továbbra sem oldódott meg. Jelenleg is dolgozom azokon a vulkán geológiai kérdéseken, amelyek alapját képezhetik bármilyen konklúzió meghozatalának. A tudományos eredményeimről tudományos népszerűsítő munkában is beszámoltam magyar nyelven (Németh 2008d). A Kuwai eseménnyel kapcsolatban a kaldera kitörést megelőző időszak monogenetikus vulkánmezőjét is tanulmányoztam keresve azt a kiváltó tényezőt, ami egy vulkánmezőt egy katasztrófális kaldera kitörésbe sodort.

- f) A Dél-Nyugat Csendes-óceáni vulkáni szigetek közül Szamoán töltöttem hosszabb időt, ahol a Holocén pajzs-vulkáni fázist követő fiatal bazaltvulkáni felújulással foglalkoztam, és sikerült egy mind a mai napig használható vulkán geológiai modellt készítenem (Cronin et al. 2006; Németh et al. 2007b; Németh and Cronin 2009e).

4. 4 Monogenetikus vulkanizmus intrakontinentális helyzetben

A kis térfogatú, rövid életű és általában mély forrású, úgynevezett monogenetikus vulkanizmus (Németh and Kereszturi 2015; Smith and Németh 2017) leggyakrabban lemezen belüli, és azon belül is kontinentális lemezt áttörő (pl. intrakontinentális) geotektonikai helyzetekben a leggyakoribb. Az alábbi pontokban gyűjtöttem össze azokat a munkáimat és tudományos eredményeimet, amelyeket ebben a témakörben szorosan a kutatásaimhoz köthetőnek tekintek.

4. 4. 1 Északkelet-Kína, Belső-Mongólia

A Kínai Tudományos Akadémiával meglévő tudományos együttműködésem keretében végzett kutatásaim eredményeként lehetőségem volt arra, hogy elmélyedjek Belső-Mongólia monogenetikus vulkanizmusának tanulmányozásában. Ebben a munkában sikeresen vezettem egy MSc kutatást, amiből a témavezetésemmel a későbbiekben PhD kutatómunka született. Ennek keretében kitérkepeztük és rámutattunk arra, hogy a robbanásos freatomagmatizmus szerepe különösen a vulkáni katasztrófa lehetőségének kezelésében fontos szerepet játszik (Li and Németh 2018; Li et al. 2019a; Li et al. 2019c). Ebben a munkában sikerült felismerni egy jelentős robbanásos kitörést a Tongxin vulkán esetében, amely a kitörés katasztrófális voltára is rávilágított, illetve kiemelte egy ilyen kitörés és a gyorsan változó környezet egymásra hatását (Li et al. 2017; Sun et al. 2017c; Li et al. 2020). A kínai együttműködésnek köszönhetően számos olyan területen is dolgoztam, amely a globális vulkanizmus tanulmányozásának kulcsterülete, mint például a Changbaishan vulkán a kínai-észak-koreai határon (Sun et al. 2017a), vagy a Wudalianchi Vulkanmező Belső-Mongóliában (Sun et al. 2019). Habár ezek a munkák mindegyike kitűnő csapatmunka eredménye, a megjelent cikkekből egyértelműen kiderül a vulkanológiai probléma megoldásában játszott szerepem. Ezekről a munkáimról is készítettem tudományos ismeretterjesztő közleményeket is (Németh 2016b, a).

4. 4. 2 Patagónia

Dél-amerikai geológiai expedícióim során a magyar-argentín bilaterális együttműködés keretében sikerült kutatómunkát végezni Patagonia (Argentína) több területén, amely munkákból több Web of Science publikációban számoltam be. Ezek közül kiemelném a Los Morados salakkúp tanulmányozását (Nemeth et al. 2011b), amely munka a salakkúp összeomlás modelljének egyik kiemelkedő eredményévé vált. (Jelenleg 46 Web of Science hivatkozással rendelkezik). Térképezési munkáim során új maar vulkánt sikerült felfedezni a patagoniai Pali Aike vulkánmezőn (Haller et al. 2005b; Haller and Németh 2006). Munkásságom során olyan új típusú monogenetikus vulkánt is felfedeztem, amely nem bazaltos, hanem bimodális működést mutatott (Németh et al. 2009d; Nemeth et al. 2012b). Az idősebb kainozoikum vulkánok lepusztult formáiból elsőként sikerült az arizonai ikonikus Hopi Butte diatréma mezőjéhez (White 1991b) hasonló vulkáni formákat dokumentálni Argentínában (Nemeth et al. 2007b). Munkásságom során több kiterjedt térképezés eredményeként sikerült felismerni a freatomagmatizmus szerepét egy alapvetően magas, és száraz környezetben (Risso et al. 2008), illetve rávilágítani arra, hogy a maar vulkanizmusban a magma által áttört szubsztrátum jellege meghatározó a monogenetikus vulkanizmus kimenetelére (Ross et al. 2011). Munkásságom során sikerült bekapcsolódnom számos geológiai kutatásba a patagoniai intrakontinentális vulkanizmus megismerésére (Németh et al. 2008c; Németh et al. 2009c; Risso et al. 2010; Haller and Németh 2012; Risso et al. 2015), amely munkákból számos figyelemreméltó publikáció született, ideértve számos nemzetközi konferencia terepgyakorlat vezetőjének elkészítését (Risso and Németh 2009; Risso et al. 2009; Combina et al. 2010).

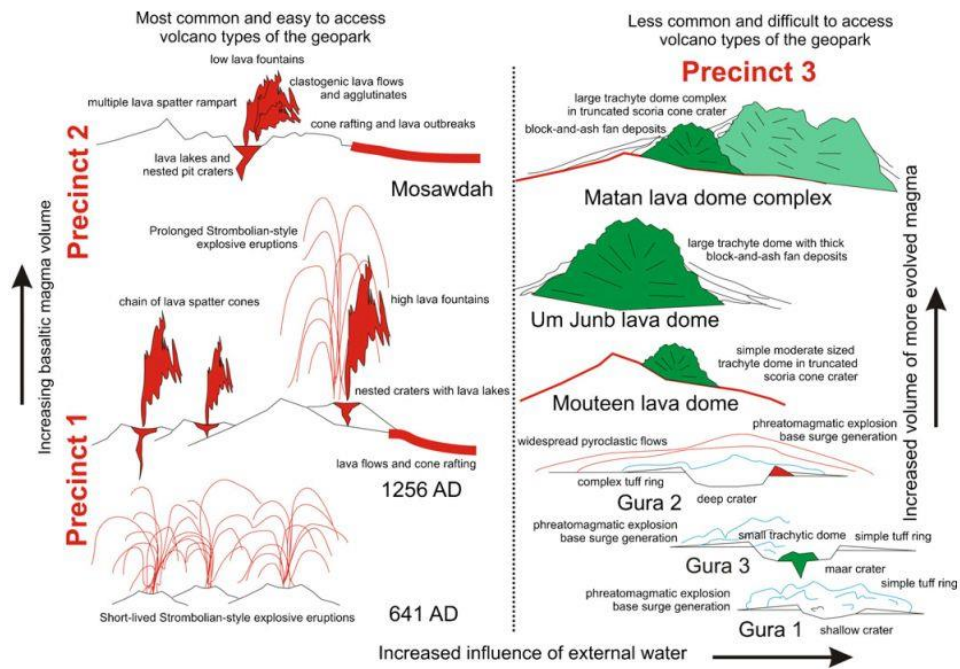
4. 4. 3 Szaúd-Arábia és a Vörös-tenger térsége

2012. szeptembere és 2013. szeptembere között a szaúd-arábiai King Abdulaziz Egyetemen töltöttem kutatói szabadságomat. Ez idő alatt intenzív kutatásokat végeztem az Arab-félsziget nyugati peremén található fiatal (Pliocén – Holocén) intrakontinentális bazalt vulkánmezőkön. A munka során egy PhD diák témavezetője is voltam. A kutatómunkából számos cikk és könyv született. A legfontosabb eredményeimet e kutatási munkákból a következők szerint foglalhatom össze.

- a) Felismertem az Al Madinah 1256-os vulkánkitörés alapvető jellegzetességeit, a hasadékminti kitörés és annak kitörési termékeit és a kitörés során született lávamezők geológiai tulajdonságait. E lávamező tanulmányozása során összehasonlítottam a legfiatalabb lávamezők tulajdonságait a további fiatal lávamezők tulajdonságaival és egy általános modellt alkottam a terület lávafolyásainak viselkedésére, egy jövőbeli hasonló esemény hatásainak szempontjából (Murcia et al. 2014).
- b) Elsőként mutattam rá arra, hogy freatomagmatizmus egy valós vulkáni katasztrófa lehetőség a területen még akkor is, hogy az egy sivatagi környezet manapság. Ez különösen annak fényében fontos eredmény, hogy az azonosított freatomagmás robbanásos kitörések éppen a mai Medina városának területére esnek (Murcia et al. 2015). Maga Medina városának fejlődését az tette lehetővé, hogy az egy

artézi medence vidékén jött létre, így nem véletlen, hogy viszonylag kis térfogatú bazalt magma benyomulás esetén, a kitörések kezdeti stádiumában veszélyes robbanásos kitörések történhettek, és várhatóak a jövőben is, ha a magma éppen a mai város területe alatt tör utat magának.

- c) A Harrat Rahat vulkánmező vizsgálata során sikerült a terület vulkanológiai modelljét megalkotni, és azt a modellt egy földtani örökség rendszerbe helyezni (Moufti and Németh 2013). A terület egy olyan monogenetikus vulkáni rendszer, ahol mind bazaltos, mind trachitos magmatizmus szerepet játszott, alapvetően rövid életű és kis térfogatú vulkánok létrehozásában az elmúlt kevesebb mint egy millió évben (45. ábra). Ezt a munkát a dolgozathoz, mint annak **8. melléklete** csatoltam.



45. ábra – A Harrat Al Madinah (a Harrat Rahat vulkánmező része) vulkanológia alapú földtani örökség modellje (Moufti and Németh 2013).

- d) A Harrat al Birk vulkánmezőn is sikerült felismerni a freatomagmatizmus szerepét, és igazolni egy komplex maar vulkán és Surtsey típusú vulkanizmus létét (Németh et al. 2014a, b, 2015).
- e) A Harrat Hutayma vulkánmező vizsgálata során sikerült megállapítani, hogy a mai Vörös-tengertől több mint ezer kilométerre, az Arab-félsziget belső területein a pleisztocénben olyan környezeti állapotok uralkodtak, amelyek lehetővé tették freatomagmás vulkánok működését (Moufti et al. 2015).
- f) A Harat Khisb vulkánmezőn sikerült leírni a Föld egyik legnagyobb maar vulkánjának rétegtanát, és igazolni, hogy az egy egyedülálló hely, kiemelkedő földtani örökséget képviselve (Moufti et al. 2013a).

4. 4. 4 Líbia

Líbia belső területén a Szahara-sivatag középső részén 2002-ben a Magyar Állami Földtani Intézet vezette 1:200,000 léptékű földtani térképezésében tevékenykedve, a Al Haruj al Abyad vulkánmező térképezése során felállítottam egy vulkán modellt, amely a térképezés során annak fontos részét alkotva segített a tipikus „száraz” monogenetikus vulkanizmus felszínformáinak azonosításában (Németh 2004). A munka során elsőként írtam le maár vulkánokat egy olyan területen, ahol a korábbi földtani vizsgálatok alapján nem feltételezték az ilyen típusú vulkáni formák előfordulását. Ebből adódóan ez a munkám a későbbi geológiai kutatások alapjául is szolgált.

4. 4. 5 Chatham-szigetek

A Chatham-szigetek Zélandia mikrokontinensének legkeletibb részén fekszenek. Az idős pala aljzatra települő Eocén víz alatti, és kiemelkedő (Surtseyan, Surtla-típusú) és a pliocén-pleisztocén sekély tengeri vulkanizmus nyomait kutatva, sikerült a terület vulkanizmusát a PhD munkám során kutatott Waipiata vulkánmezővel kapcsolatba hozni. A Chatham-szigetek és a Waipiata vulkánmező a Zélandia mikrokontinens keleti, kontinentális lemezenbelüli vulkanizmusának hírmondója. A Chatham-szigeteken sikerült egy komplex fácies modellt alkotni, Surtsey és Surtla-típusú vulkánok megrajzolásával és kitérképezésével (Németh and Stewart 2011; Stewart and Németh 2012; Németh et al. 2013; Stewart et al. 2014). A munkák publikációja jelenleg is folyamatban van.

4. 5 Monogenetikus vulkanizmus közeledő lemezszegélyeken

A monogenetikus vulkanizmus kutatásában a közeledő lemezszegélyek vulkanizmusának vizsgálatában a munkásságomat megelőzően, ezen kis vulkánok minimális figyelmet kaptak. Ennek az volt az oka, hogy az ilyen kis vulkánok nemcsak méretüknél fogva, de azok vulkáni veszélyt okozó szerepét is figyelembe véve, az ezeken a területeken található rétegvulkánjainak „árnyékában” maradtak. Az elmúlt tíz évben több nemzetközi projektnek aktív résztvevőjeként egy globális folyamat elindításával sikerült ezt a vulkanológiai problémát részben megoldani.

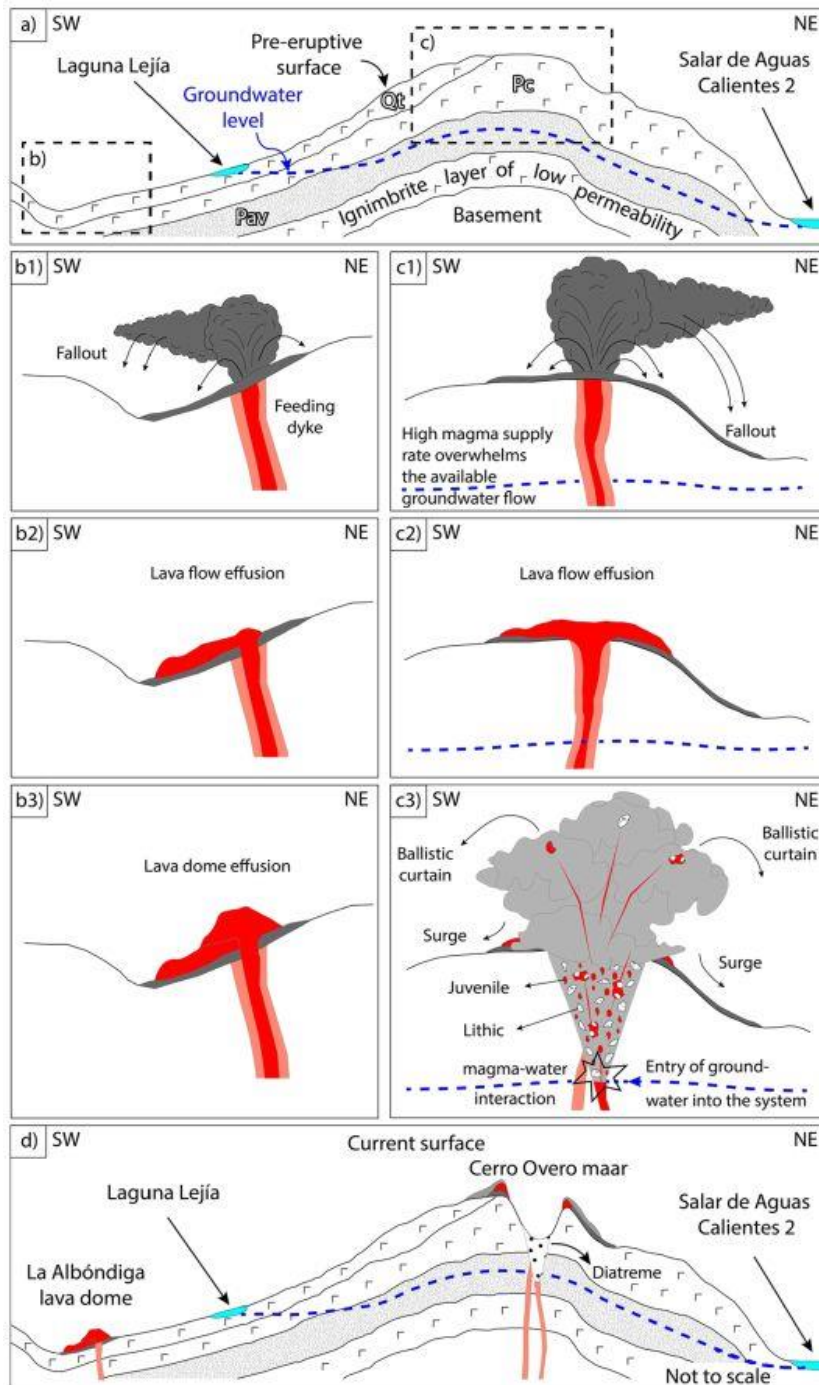
4. 5. 1 Kolumbia

Két egyidejű együttműködés keretében a Kolumbiai Geológiai Szolgálat és a Caldas Egyetem (Manizales) munkatársaival középső Kolumbia vulkanizmusának tanulmányozása során dolgoztam terepi geológiai vizsgálatokon. Ezekben a kutatásokban alapvető felismeréseket tettem, amely során MSc kutatóprogramokban témavezetője voltam fiatal kutatóknak. Ezekben az együttműködésekben a vizsgálataim alapján beigazolódott, hogy Kolumbia nagyszámú monogenetikus vulkánmezővel rendelkezik (Murcia et al. 2019). Ennek köszönhetően tudtam azonosítani olyan monogenetikus vulkánokat, amelyek egyértelműen mély köpenyeredetű

magmából táplálkozva hoztak létre igen kis térfogatú vulkánokat. Ezen túlmenően több új vulkán felfedezésének is aktív résztvevője voltam. Fontos felismerést tettem az effúzív monogenetikus vulkanizmus szerepének kiemelésében olyan klasszikus vulkáni területeken, mint például a Nevado del Ruiz nyugati lejtőjén létrejött, andezit vulkánmező, ahol a lávadóm, vagy lávadóm couleé jellegű vulkánok alkotnak több mint 50 vulkánból álló vulkánmezőt. A munkám jelentősen hozzájárult, valamint elősegítette a most befejeződött Geology of Colombia több kötetes földtani alapmű elkészülését. A munkám ezeken a területeken jelenleg is aktív.

4. 5. 2 Chile

A Chilei Tudományos Kutatási Alap (CONICIT) együttműködési projektjének keretében 2017 és 2019 között többször is hosszabb időt töltöttem Észak-Chilében. A kutatási program részeként témavezetője voltam egy PhD hallgatónak, amely mellett 4 további MSc projektet is témavezettem. Ezen munkákból számos kitűnő nemzetközi publikáció született, amelyek együttesen nagy hatással voltak a chilei vulkanológia fejlődésére, különösképpen annak bemutatására, hogy a fiatal andezit vulkanizmus területén csak Észak-Chilében közel 500 monogenetikus vulkán azonosítható (Ureta et al. 2020c). Ezen vulkánok között a vártnál lényegesen nagyobb arányban sikerült freatomagmás vulkánokat azonosítani, jelezvén azt, hogy a terület a pleisztocénben valószínűleg többször is áteshetett olyan klimatikus időszakokon, amikor a felszín alatti és felszíni vizek jelenléte lehetővé tette a freatomagmatikus robbanásos kitöréseket, látványos maar vulkánokat létrehozva (mint például a több mint 4000 méter magasan, napjainkban hiperarid környezetben található Cerro Overo vulkán) (46. ábra) (Ureta et al. 2021). A tudományos együttműködés eredményességét igazolja a PhD tézisek sikeres megvédése 2020-ban, valamint az ebben a témakörben megjelent nemzetközi publikációk (Németh et al. 2018; Ureta et al. 2018a; Ureta et al. 2018b; Ureta et al. 2018c; Ureta et al. 2018d; Németh et al. 2019; Ureta et al. 2019; Escudero et al. 2020; Esquivel et al. 2020; Torres et al. 2020; Ureta et al. 2020a; Ureta et al. 2020b; Vilches et al. 2020a; Vilches et al. 2020b; Torres et al. 2021).



46. ábra – A Cerro Overo maar (észak Chile) maar vulkán kitöréstörténete (Ureta et al. 2021).

4. 5. 3 Japán

A Japán Geológiai Szolgálat munkatársaival együttműködve a japán JSPS kutatóösztöndíjasaként több terepi szezonot töltöttem Miyakedzsima szigetén és Kyushun. E munkák során japán kutatótársaimmal egy új modellt dolgoztunk ki arra vonatkozóan, hogy egy vulkáni szigeten egy hasadékmenti vulkanizmust hogyan befolyásolhatja a sziget

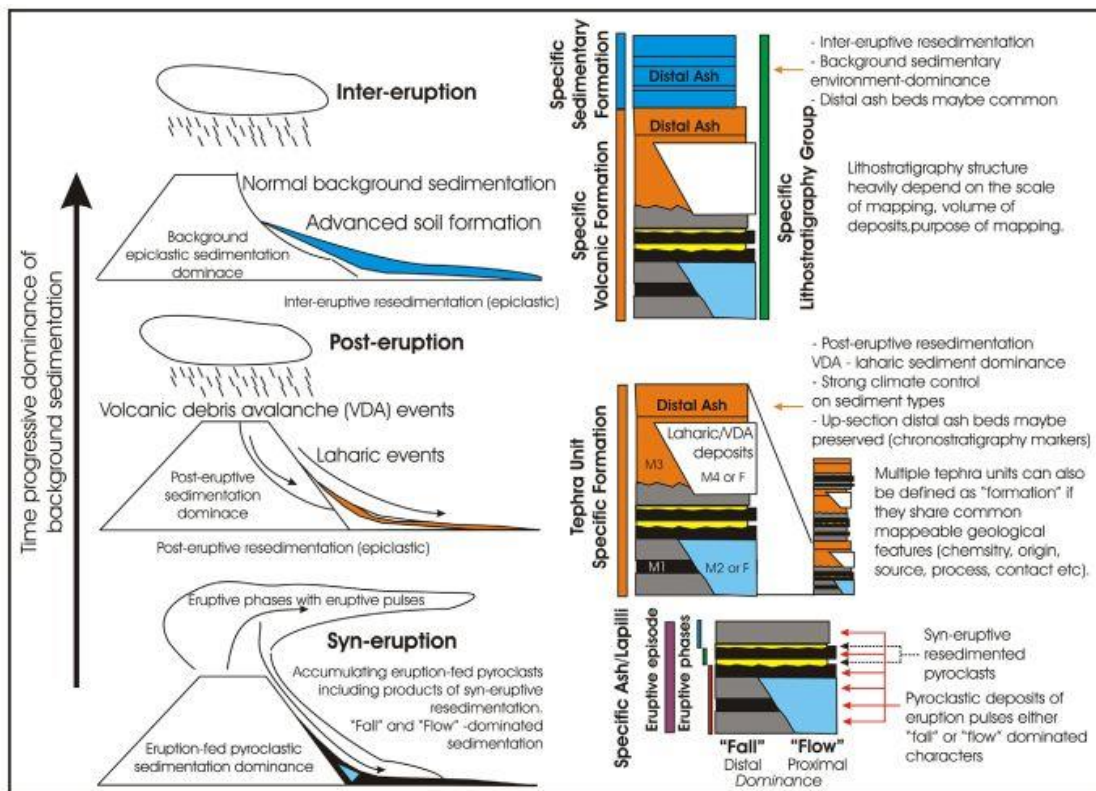
hidrogeológiája (Geshi et al. 2011; Geshi et al. 2019). A közös munkákból nagy érdeklődéssel kísért nemzetközi publikációk születtek, amelynek alapötlete tőlem származik. Az Ibaraki Egyetemmel együttműködve a PhD hallgatóm sikeres védeése után közös publikációmban részletes leírását adtuk a Kyushu-szigetén felépült monogenetikus vulkánmezőnek, amely fontos eleme lehet több jelentős méretű összetett rétegvulkán kialakulásának megértésében is (Nche et al. 2021).

4. 5. 4 Taupo Vulkaní Zóna, Új-Zéland

Az új-zélandi Taupo Vulkaní Zóna, és a tágabb értelemben vett Északi-Sziget poszt-miocén vulkanizmusa több olyan vulkánmező kialakulásához is vezetett, amelyek közvetlenül nem kapcsolódnak a szubdukciós folyamatokhoz. Azok független mélyből származó magmák által tápláltak, vagy olyan területekhez köthetők, ahol kis magmacsomagokban viszonylag sekély mélységből táplálkozó savanyú magmák hoztak létre rövid életű, kis térfogatú vulkánokat (Kosik et al. 2019; Kósik et al. 2021). Ebben a munkában egy PhD kutatási projektnek a témavezetője voltam, amelyben figyelemreméltó tudományos eredmények születtek. E munka egyik legjelentősebb, és legfontosabb felismerése az, hogy ugyan teljes térfogatát számítva ezen vulkánok a Taupo Vulkaní Zóna magmaproduktivitásának alig 5 %-kát teszik ki, a létrejött vulkánok száma néhány százezer év alatt több százat tesz ki (Kósik et al. 2020). Ez azt jelenti, hogy ezen vulkanizmussal számolni kell, vulkáni veszélyeztettség vizsgálatokban.

4. 6 Vulkan geológia és annak rétegtani vonatkozásai

Kutatásaim során szinte minden alkalommal a vulkáni geológiai megközelítést követtem. Tapasztalataimat, különösen annak új-zélandi vonatkozásait összefoglaltam. Ezeknek a munkáknak a legfontosabb eredménye az, hogy a vulkáni fácies elemzésekben, és azok litosztratigráfiai leírásában kiemelt szerepet játszik annak felismerésében, hogy az adott kőzetsorozat a vulkanizmussal egyidőben vagy az aktív periódusok közötti szünetekben – amikor a háttér üledékképző folyamatai dominálnak – történtek (47. ábra). Ezen munkáim az elmúlt két évtizedben jelentősen hozzájárultak a vulkanológia tudományának a fejlődéséhez, ugyanakkor elmondható, hogy több generációknak adott új, gyakorlatias megközelítési módszert a vulkán rekonstrukciókhoz (Manville et al. 2009; Németh and Palmer 2019). Ezt a munkámat, mint a dolgozat **9. melléklete** csatoltam.



47. ábra – A vulkanizmus vulkán geológiai modellje, amely mind a monogenetikus, mind a poligenetikus vulkáni rendszerekre alkalmazható a földtani térképezésben (Németh and Palmer 2019).

4.7 Vulkáni földtani örökség értékek

Az elmúlt évtizedben - különösen a Szaúd-Arábiai kutatói szabadságom óta - jelentős munkásságot tudhatok magaménak a földtani örökségvédelem területén. A Szaúd-arábiai kutatások eredményeiből egy könyvet írtam (Moufti and Nemeth 2016), és több Arab-félszigeten található vulkánmező földtani örökségét publikáltam ki tudományos cikkekben (Moufti and Németh 2013; Moufti et al. 2013a; Moufti et al. 2013c; Moufti et al. 2013d; Németh and Moufti 2013; Moufti et al. 2015; Németh and Moufti 2017). Ezek a munkák oda vezettek, hogy a Nemzetközi Vulkanológiai Társaság Vulkáni Földtani Örökségvédelmi Munkacsoportját megalapíthattam, és részese voltam egy UNESCO IGCP Project életre hívásában. Ebben a témakörben végzett munkásságom legjelentősebb eredménye az, hogy kidolgoztam egy vulkán geológiai alapokra helyezett vulkáni földtani örökség koncepciót, amely napjainkra meghatározó alap gondolattá vált.

4.8 Geodiverzitás kutatás és azok adaptációja vulkáni területekre

A földtani örökség kutatás témában az egyik legfontosabb eredményem az, hogy egy földtani alapú geodiverzitás modellt dolgoztam ki az általam témavezetett PhD kutató diákokkal,

amelyben GIS alapú módszereket ötvöztem alap geológiai térképezési megközelítéssel. Ezáltal reális képet adtam arról, hogy mit jelent a geodiverzitás, és az hogyan adaptálható a vulkáni területekre vonatkozóan (Németh et al. 2021a; Németh et al. 2021b; Németh et al. 2021c; Németh et al. 2021d; Zakharovskyi and Nemeth 2021).

4.9 Kutatásaim közvetlen társadalmi haszna

- a) Az aktív vulkáni területeken végzett munkáim szinte mindegyike kapcsolatba hozható a vulkáni katasztrófa védelem tudományterületeivel. Alapműnek tartom azt a munkát, ahol az Auckland vulkánimezőn található Orakei maar felépítésének és kitörési mechanizmusának tanulmányozása során megállapítottam, hogy jelentős hatáskülönbséggel kell számolni egy freatomagmás robbanásos kitörés esetén, egy átlagos Stromboli típusú kitörésekkel táplált salakkúpformáló vulkanizmus ellenében (Németh et al. 2012d). Ez a munkám az alapja lett az elmúlt évtizedek vulkáni veszélyforrás térképezés területén végzett munkák javarészáé, különös tekintettel, ahol az úgynevezett vulkánkitörés típusok azonosítása és az azokhoz történő veszély számítások álltak a vizsgálatok középpontjában.
- b) A munkásságom földtani örökség kutatásokra eső területeiből sikerült bemutatnom, hogy a monogenetikus vulkánmezők kitűnő területek, ahol a földtani ismeretterjesztés, földtani értékvédelem és a földtani turizmus komoly társadalomra ható erővel szolgál, azok nagyszerűen hozzájárulhatnak többek között a geoparkok fejlesztéséhez (Németh and Moufti 2017).

dc_1993_22

Chapter 5 Irodalomjegyzék

- Ade-Hall FM, Reynolds PH, Dagley P, Musset AG, Hubbard TB, Klitsch E (1974) Geophysical studies of North African Cenozoic volcanic areas 1 - Haruj Assuad, Libya. *Canadian Journal of Earth Sciences* 11:998-1006
- Agustin-Flores J, Nemeth K, Cronin SJ, Lindsay JM, Kereszturi G (2015a) Construction of the North Head (Maungauika) tuff cone: a product of Surtseyan volcanism, rare in the Auckland Volcanic Field, New Zealand. *Bulletin of Volcanology* 77(2)
- Agustin-Flores J, Nemeth K, Cronin SJ, Lindsay JM, Kereszturi G (2015b) Shallow-seated explosions in the construction of the Motukorea tuff ring (Auckland, New Zealand): Evidence from lithic and sedimentary characteristics. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 304:272-286
- Agustin-Flores J, Németh K, Cronin SJ, Lindsay JM, Kereszturi G, Brand B (2011a) Style of magma-water interaction during the eruption of the Maungataketake Volcano, Auckland volcanic field, New Zealand; insights from grain component characterisation. *Geoscience Society of New Zealand Miscellaneous Publication* 130A:2-3
- Agustin-Flores J, Németh K, Cronin SJ, Lindsay JM, Kereszturi G, Brand BD, Smith IEM (2014) Phreatomagmatic eruptions through unconsolidated coastal plain sequences, Maungataketake, Auckland Volcanic Field (New Zealand). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 276:46-63
- Agustin-Flores J, Siebe C, Ferres D, Sieron K, Gonzalez-Zuccolotto K (2021) Monogenetic volcanoes with initial phreatomagmatic phases in the Ceboruco graben, western Mexico: The cases of Potrerillo I, Potrerillo II, and San Juanito. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 412
- Agustin-Flores J, Siebe C, Guilbaud MN (2011b) Geology and geochemistry of Pelagatos, Cerro del Agua, and Dos Cerros monogenetic volcanoes in the Sierra Chichinautzin Volcanic Field, south of Mexico City. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 201(1-4):143-162
- Alberico I, Petrosino P, Lirer L (2011) Volcanic hazard and risk assessment in a multi-source volcanic area: the example of Napoli city (Southern Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences* 11(4):1057-1070
- Anderson DL (2006) Speculations on the nature and cause of mantle heterogeneity. *Tectonophysics* 416(1-4):7-22
- Ang PS, Bebbington MS, Lindsay JM, Jenkins SF (2020) From eruption scenarios to probabilistic volcanic hazard analysis: An example of the Auckland Volcanic Field, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 397
- Aramaki S, Hayakawa Y, Fujii T, Nakamura K, Fukuoka T (1986) The October 1983 eruption of Miyakejima Volcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 29(1-4):203-229
- Aranda-Gomez JJ, Luhr JF (1996) Origin of the Joya Honda maar, San Luis Potosi, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 74(1-2):1-18
- Aranda-Gomez JJ, Luhr JF, Pier JG (1990) A new type of maar volcano from the State of Durango; the El Jagueey-La Brena Complex reinterpreted; a discussion. *Revista - Instituto de Geologia* 9(2):204-210
- Aranda Gomez JJ, Luhr JF, Pier JG (1992) The La Brena - El Jaguee Maar Complex, Durango, Mexico; 1, Geological evolution. *Bulletin of Volcanology* 54(5):393-404
- Auer A, Martin U, Nemeth K (2007) The Fekete-hegy (Balaton Highland Hungary) "soft-substrate" and "hard-substrate" maar volcanoes in an aligned volcanic complex -

- Implications for vent geometry, subsurface stratigraphy and the palaeoenvironmental setting. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 159(1-3):225-245
- Ballmer MD, Conrad CP, Smith EI, Johnsen R (2015) Intraplate volcanism at the edges of the Colorado Plateau sustained by a combination of triggered edge-driven convection and shear-driven upwelling. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 16(2):366-379
- Ballmer MD, van Hunen J, Ito G, Tackley PJ, Bianco TA (2007a) Non-hotspot volcano chains originating from small-scale sublithospheric convection. *Geophysical Research Letters* 34(23)
- Ballmer MD, van Hunen J, Tackley PJ (2007b) Intraplate volcanism due to small-scale convection - A 3D-numerical study. *Geochimica Et Cosmochimica Acta* 71(15):A57-A57
- Bani P, Join JL, Cronin SJ, Lardy M, Rouet I, Garaebiti E (2009) Characteristics of the summit lakes of Ambae volcano and their potential for generating lahars. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 9(4):1471-1478
- Bardintzeff JM, Deniel C, Guillou H, Platevoet B, Telouk P, Oun KM (2012) Miocene to recent alkaline volcanism between Al Haruj and Waw an Namous (southern Libya). *International Journal of Earth Sciences* 101(4):1047-1063
- Barker SJ, Wilson CJN, Illsley-Kemp F, Leonard GS, Mestel ERH, Mauriohooho K, Charlier BLA (2021) Taupo: an overview of New Zealand's youngest supervolcano. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 64(2-3):320-346
- Bartolini S, Bolos X, Marti J, Riera Pedra E, Planaguma L (2015) Hazard assessment at the Quaternary La Garrotxa Volcanic Field (NE Iberia). *Natural Hazards* 78(2):1349-1367
- Bebbington M, Cronin S (2011) Spatio-temporal hazard estimation in the Auckland Volcanic Field, New Zealand, with a new event-order model. *Bull Volcanol* 73
- Bebbington MS (2015) Spatio-volumetric hazard estimation in the Auckland volcanic field. *Bulletin of Volcanology* 77(5)
- Belousov A, Belousova M, Chen CH, Zellmer GF (2010) Deposits, character and timing of recent eruptions and gravitational collapses in Tatun Volcanic Group, Northern Taiwan: Hazard-related issues. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 191(3-4):205-221
- Bemis KG, Bonar DE, Anonymous (1997) Models of cinder cone growth; the effects of ballistic drag and grain flow. *Abstracts with Programs - Geological Society of America* 29(6):419-419
- Bianco TA, Ito G, van Hunen J, Ballmer MD, Mahoney JJ (2011) Geochemical variations at intraplate hot spots caused by variable melting of a veined mantle plume. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 12
- Bischoff A, Barrier A, Beggs M, Nicol A, Cole J, Sahoo T (2020) Volcanoes buried in Te Riu-a-Maui/Zealandia sedimentary basins. *NEW ZEALAND JOURNAL OF GEOLOGY AND GEOPHYSICS*
- Blaikie TN, van Otterloo J, Ailleres L, Betts PG, Cas RAF (2015) The erupted volumes of tephra from maar volcanoes and estimates of their VEI magnitude: Examples from the late Cenozoic Newer Volcanics Province, south-eastern Australia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 301:81-89
- Bolos X, Barde-Cabusson S, Pedrazzi D, Marti J, Casas A, Himi M, Lovera R (2012) Investigation of the inner structure of La Crosa de Sant Dalmai maar (Catalan Volcanic Zone, Spain). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 247:37-48
- Bouche E, Vergnolle S, Staudacher T, Nercessian A, Delmont JC, Frogneux M, Cartault F, Le Pichon A (2010) The role of large bubbles detected from acoustic measurements on the dynamics of Erta 'Ale lava lake (Ethiopia). *Earth and Planetary Science Letters* 295(1-2):37-48

- Boyce J (2013) The Newer Volcanics Province of southeastern Australia: a new classification scheme and distribution map for eruption centres. *Australian Journal of Earth Sciences* 60(4):449-462
- Boyce JA, Keays RR, Nicholls IA, Hayman P (2014) Eruption centres of the Hamilton area of the Newer Volcanics Province, Victoria, Australia: pinpointing volcanoes from a multifaceted approach to landform mapping. *Australian Journal of Earth Sciences* 61(5):735-754
- Brand BD, White CM (2007) Origin and stratigraphy of phreatomagmatic deposits at the Pleistocene Sinker Butte Volcano, Western Snake River Plain, Idaho. *Journal of Volcanology And Geothermal Research* 160(3-4):319-339
- Brenna M, Cronin SJ, Kereszturi G, Sohn YK, Smith IEM, Wijbrans J (2015a) Intraplate volcanism influenced by distal subduction tectonics at Jeju Island, Republic of Korea. *Bulletin of Volcanology* 77(1)
- Brenna M, Cronin SJ, Németh K, Smith IEM, Sohn YK (2011) The influence of magma plumbing complexity on monogenetic eruptions, Jeju Island, Korea. *Terra Nova* 23(2):70-75
- Brenna M, Cronin SJ, Smith IE, Kwaon Sohn Y, Németh K (2010a) Mechanisms driving polymagmatic activity at a monogenetic volcano, Udo, Jeju Island, South Korea. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 160:931-935
- Brenna M, Cronin SJ, Smith IEM, Németh K, White JDL, Baxter RJM, Rowe M, Rowland JV, Augustinus PC, Brook Martin S, Tunnicliffe J, Eccles J, Campbell K, Baker J (2017) Three Kings or a whole dynasty? A complex volcano in the heart of Auckland. *Geoscience Society of New Zealand Miscellaneous Publication* 147A:12
- Brenna M, Cronin SJ, Smith IEM, Sohn YK, Maas R (2012) Spatio-temporal evolution of a dispersed magmatic system and its implications for volcano growth, Jeju Island Volcanic Field, Korea. *Lithos* 148:337-352
- Brenna M, Cronin SJ, Smith IEM, Sohn YK, Németh K (2010b) Mechanisms driving polymagmatic activity at a monogenetic volcano, Udo, Jeju Island, South Korea. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 160(6):931-950
- Brenna M, Németh K, Cronin SJ, Sohn YK, Smith IEM, Wijbrans J (2015b) Co-located monogenetic eruptions ~200 kyr apart driven by tapping vertically separated mantle source regions, Chagwido, Jeju Island, Republic of Korea. *Bulletin of Volcanology* 77(5)
- Büchel G, Lorenz V (1993) Syn-and post-eruptive mechanism of the Alaskan Ukinrek maars in 1977. In: Negendank JFW, Zolitschka, B. (ed) *Paleolimnology of European Maar Lakes*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 49, pp 15-60
- Buechel G (1993) Maars of the Westeifel, Germany. *Lecture Notes in Earth Sciences* 49:1-13
- Buettner R, Dellino P, La Volpe L, Lorenz V, Zimanowski B (2002) Thermohydraulic explosions in phreatomagmatic eruptions as evidenced by the comparison between pyroclasts and products from Molten Fuel Coolant Interaction experiments. *Journal of Geophysical Research* 107(B11):14-14
- Busrewil MT, Suwesi KS (1993) Explanatory booklet for the Geological Map of Libya (1 : 250 000). Sheet: Al Haruj al Aswad NG (33-4). Industrial Research Centre, Tripoli
- Calvari S, Tanner LH (2011) The Miocene Costa Giardini diatreme, Iblean Mountains, southern Italy: model for maar-diatreme formation on a submerged carbonate platform. *Bulletin Of Volcanology* 73(5):557-576
- Camp VE, Hooper PR, Roobol MJ, White DL (1987) The Madinah eruption, Saudi Arabia: Magma mixing and simultaneous extrusion of three basaltic chemical types. *Bulletin of Volcanology* 49(2):489-508
- Camp VE, Roobol MJ (1989) The Arabian Continental Alkali Basalt Province .1. Evolution Of Harrat-Rahat, Rahat, Kingdom-Of-Saudi-Arabia. *Geological Society of America Bulletin* 101(1):71-95

- Camp VE, Roobol MJ (1992) Upwelling asthenosphere beneath Western Arabia and its regional implications. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth* 97(B11):15255-15271
- Camp VE, Roobol MJ, Hooper PR (1991) The Arabian Continental Alkali Basalt Province .2. Evolution of Harrats Khaybar, Ithnayn, and Kura, Kingdom of Saudi-Arabia. *Geological Society of America Bulletin* 103(3):363-391
- Camp VE, Roobol MJ, Hooper PR (1992) The Arabian Continental Alkali Basalt Province .3. Evolution of Harrat Kishb, Kingdom of Saudi-Arabia. *Geological Society of America Bulletin* 104(4):379-396
- Canon-Tapia E (2014) Insights into the dynamics of planetary interiors obtained through the study of global distribution of volcanoes II: Tectonic implications from Venus. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 281:70-84
- Canon-Tapia E (2016) Reappraisal of the significance of volcanic fields. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 310:26-38
- Canon-Tapia E, Walker GPL (2004) Global aspects of volcanism: the perspectives of "plate tectonics" and "volcanic systems". *Earth-Science Reviews* 66(1-2):163-182
- Carn SA (2000) The Lamongan volcanic field, East Java, Indonesia: physical volcanology, historic activity and hazards. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 95:81-108
- Cas R, van Otterloo JB, T., van den Hove J (2017) The dynamics of a very large intra-plate continental basaltic volcanic province, the Newer Volcanics Province, South-eastern Australia, and implications for other provinces. In: Németh K, Carrasco-Nuñez G, Aranda-Gomez JJ, Smith IEM (eds) *Monogenetic Volcanism*. The Geological Society Publishing House, Bath, UK, 446,
- Cas RAF (1989) *Intraplate volcanism in eastern Australia and New Zealand*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, Cambridge, United Kingdom (GBR)
- Cashman KV, Sparks RSJ (2013) How volcanoes work: A 25 year perspective. *Geological Society of America Bulletin* 125(5-6):664-690
- Cassidy J, Locke CA (2004) Temporally linked volcanic centres in the Auckland Volcanic Field. *New Zealand Journal Of Geology And Geophysics* 47(2):287-290
- Chako Tchamabé B, Carrasco-Núñez G, Miggins DP, Németh K (2020) Late Pleistocene to Holocene activity of Alchichica maar volcano, eastern Trans-Mexican Volcanic Belt. *Journal of South American Earth Sciences* 97:102404
- Chough SK, Sohn YK (1990) Depositional mechanics and sequences of base surges, Songaksan tuff ring, Cheju Island, Korea. *Sedimentology* 37(6):1115-1135
- Christenson B, Németh K, Rouwet D, Tassi F, Vandemeulebrouck J, Varekamp JC (2015) Volcanic lakes. In: Rouwet D, Christenson B, Tassi F, Vandemeulebrouck J (eds) *Volcanic Lakes*. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg, pp 1-20
- Combina AM, Nullo F, Risso C, Németh K (2010) Late Cenozoic volcanoclastic and pyroclastic sequences in the Andes foothill, Southern Mendoza province. In: del Papa C, Astini R (eds) *18th International Sedimentological Congress "Sedimentology at the Foot of the Andes"*. 18th International Sedimentological Congress, Mendoza, Argentina, pp 1-70
- Condit CD, Connor CB (1996) Recurrence rates of volcanism in basaltic volcanic fields: An example from the Springerville volcanic field, Arizona. *Geological Society of America Bulletin* 108(10):1225-1241
- Connor C, Condit C, Crumpler L, Aubele J (1992) Evidence of regional structural controls on vent distribution: Springerville volcanic field, Arizona. *J Geophys Res Solid Earth (1978–2012)* 97
- Connor CB (1987) Structure of the Michoacan-Guanajuato Volcanic Field, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 33(1-3):191-200
- Connor CB (1990) Cinder-cone clustering in the Transmexican Volcanic Belt - Implications for structural and petrologic models. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth And Planets* 95(B12):19395-19405

- Connor CB, Stamatakos JA, Ferrill DA, Hill BE, Ofoegbu GI, Conway FM, Sagar B, Trapp J (2000) Geologic factors controlling patterns of small-volume basaltic volcanism: Application to a volcanic hazards assessment at Yucca Mountain, Nevada. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth* 105(B1):417-432
- Conway FM, Connor CB, Hill BE, Condit CD, Mullaney K, Hall CM (1998) Recurrence rates of basaltic volcanism in SP Cluster, San Francisco volcanic field, Arizona. *Geology* 26:655-658
- Conway FM, Ferrill DA, Hall CM, Morris AP, Stamatakos JA, Connor CB, Halliday AN, Condit C (1997) Timing of basaltic volcanism along the Mesa Butte Fault in the San Francisco Volcanic Field, Arizona, from Ar-40/Ar-39 dates: Implications for longevity of cinder cone alignments. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth* 102(B1):815-824
- Cronin SJ, Bonte-Graptin M, Németh K (2006) Samoa technical report - Review of volcanic hazard maps for Savai'i and Upolu. EU-SOPAC Project Report 59:1-27
- Cronin SJ, Németh K (2005) Where are the giant tuff cone and ignimbrites of Ambrym?: a more conventional story of mafic volcanism at Ambrym volcano, Vanuatu. In: *Geological Society of New Zealand: 50th annual conference*. Geological Society of New Zealand, Wellington, NZ, pp 21-22
- Cronin SJ, Németh K, Charley D, Thulstrup H (2007a) The day Mount Manaro stirred. *A World of Science* 5(4):16-20
- Cronin SJ, Németh K, Procter JN, Charley D, Harrison M, Garaebiti E, Scott B, Sherburn S, Bani P, Lardy M (2007b) Community emergency management during the 2005 Ambae eruption, Vanuatu, SW Pacific. In: *Cities on Volcanoes 5*, Shimabara, Japan, pp 118-119
- Cvetkovic V, Toljic M, Ammar NA, Rundic L, Trish KB (2010) Petrogenesis of the eastern part of the Al Haruj basalts (Libya). *Journal Of African Earth Sciences* 58(1):37-50
- De Hon R (2015) Maar. In: Hargitai H, Kereszturi Á (eds) *Encyclopedia of Planetary Landforms*. Springer New York, New York, NY, pp 1295-1299
- De la Cruz-Reyna S, Yokoyama I (2011) A geophysical characterization of monogenetic volcanism. *Geofisica Internacional* 50(4):465-484
- de Silva S, Lindsay JM (2015) Chapter 15 - Primary volcanic landforms. In: Sigurdsson H (ed) *The Encyclopedia of Volcanoes (Second Edition)*. Academic Press, Amsterdam, pp 273-297
- Deligne NI, Fitzgerald RH, Blake DM, Davies AJ, Hayes JL, Stewart C, Wilson G, Wilson TM, Castelino R, Kennedy BM, Muspratt S, Woods R (2017) Investigating the consequences of urban volcanism using a scenario approach I: Development and application of a hypothetical eruption in the Auckland Volcanic Field, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 336:192-208
- Di Roberto A, Risica G, Del Carlo P, Pompilio M, Speranza F, Meletlidis S (2020) The forgotten eruption: The basaltic scoria cone of Montana Grande, Tenerife. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 401
- Dietterich HR, Diefenbach AK, Soule SA, Zoeller MH, Patrick MP, Major JJ, Lundgren PR (2021) Lava effusion rate evolution and erupted volume during the 2018 Kilauea lower East Rift Zone eruption. *Bulletin of Volcanology* 83(4)
- Diniega S, Németh K (2015) Tumulus. In: Hargitai H, Kereszturi Á (eds) *Encyclopedia of Planetary Landforms*. Springer New York, New York, NY, pp 2210-2214
- Doubik P, Hill BE (1999) Magmatic and hydromagmatic conduit development during the 1975 Tolbachik Eruption, Kamchatka, with implications for hazards assessment at Yucca Mountain, NV. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 91(1):43-64
- Duncan AM, Guest JE, Stofan ER, Anderson SW, Pinkerton H, Calvari S (2004) Development of tumuli in the medial portion of the 1983 flow-field, Mount Etna, Sicily. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 132(2-3):173-187

- Duraiswami RA, Bondre NR, Dole G, Phadnis VM, Kale VS (2001) Tumuli and associated features from the western Deccan Volcanic Province, India. *Bulletin of Volcanology* 63(7):435-442
- Elshaafi A, Gudmundsson A (2016) Volcano-tectonics of the Al Haruj Volcanic Province, Central Libya. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 325:189-202
- Escudero G, Németh K, Torres I, Ureta G, Jozsa S, Sagi T (2020) Morfometría y petrología del domo de lava El Ingenio, Antofagasta, Chile. In: 1st ALVO Congress. Antofagasta, Chile
- Esquivel MF, Ureta G, Németh K (2020) Identificación, caracterización y valoración del patrimonio geológico en torno a la comuna de Ollagüe, norte de Chile. In: 1st ALVO Congress. Antofagasta, Chile
- Firth CW, Turner SP, Handley HK, Turner MB, Cronin SJ, Girard G, Smith IEM (2021) Rapid magmatic processes drive persistently active volcanism. *Lithos* 380
- Fodor E, Brož P (2015) Cinder Cone. In: Hargitai H, Kereszturi Á (eds) *Encyclopedia of Planetary Landforms*. Springer New York, New York, NY, pp 290-295
- Fodor E, Németh K (2015) Spatter Cone. In: Hargitai H, Kereszturi Á (eds) *Encyclopedia of Planetary Landforms*. Springer New York, New York, NY, pp 2028-2034
- Fodor L, Csillag G, Németh K, Budai T, Cserny T, Martin U, Brezsnyszky K, Dewey J (2005) Tectonic development, morphotectonics and volcanism of the Transdanubian Range : A field guide. In: Geological Institute of Hungary, Budapest, Hungary, pp 59-86
- Foote A, Németh K, Handley H, Lindsay J (2018) Magma ascent dynamics and eruptive mechanisms at monogenetic volcanoes: Wiri Mountain, Auckland Volcanic Field, New Zealand. In: IAVCEI-IAS 7th International Maar Conference. Olot, Catalunya, Spain, pp 80-81
- Fornaciai A, Favalli M, Karátson 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* 217-218:56-72
- Fox BRS, Wartho J, Wilson GS, Lee DE, Nelson FE, Kaulfuss U (2015) Long-term evolution of an Oligocene/Miocene maar lake from Otago, New Zealand. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 16(1):59-76
- Fu YV, Gao Y, Li A, Li L, Shi Y, Zhang Y (2016) Origin of intraplate volcanism in northeast China from Love wave constraints. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth* 121(11):8099-8112
- Gaffney ES, Damjanac B (2006) Localization of volcanic activity: Topographic effects on dike propagation, eruption and conduit formation. *Geophysical Research Letters* 33(14)
- Gambino S, Cannata A, Cannavo F, La Spina A, Palano M, Sciotto M, Spampinato L, Barberi G (2016) The unusual 28 December 2014 dike-fed paroxysm at Mount Etna: Timing and mechanism from a multidisciplinary perspective. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth* 121(3):2037-2053
- Gao CC, Robock A, Self S, Witter JB, Steffenson JP, Clausen HB, Siggaard-Andersen ML, Johnsen S, Mayewski PA, Ammann C (2006) The 1452 or 1453 AD Kuwae eruption signal derived from multiple ice core records: Greatest volcanic sulfate event of the past 700 years. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 111(D12)
- García-Abdeslem J (2020) On the relationship between volcanic pointlike features and the crust-mantle boundary at the Pinacate Volcanic Field, Sonora, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences* 104
- Geshi N, Németh K, Noguchi R, Oikawa T (2019) Shift from magmatic to phreatomagmatic explosions controlled by the lateral evolution of a feeder dike in the Suoana-Kazahaya eruption, Miyakejima Volcano, Japan. *Earth and Planetary Science Letters* 511:177-189
- Geshi N, Németh K, Oikawa T (2011) Growth of phreatomagmatic explosion craters: A model inferred from Suoana crater in Miyakejima Volcano, Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 201(1-4):30-38

- Gibson A, Briggs RM, Pittari A, Németh K (2010) Eruption processes of the Kellyville volcanic complex. *Geoscience Society of New Zealand Miscellaneous Publication 129A*:105-105
- Glaze LS, Anderson SW, Stofan ER, Baloga S, Smrekar SE (2005) Statistical distribution of tumuli on pāhoehoe flow surfaces: Analysis of examples in Hawaii and Iceland and potential applications to lava flows on Mars. *Journal Of Geophysical Research-Solid Earth* 110(B8)
- Graettinger AH (2018) Trends in maar crater size and shape using the global Maar Volcano Location and Shape (MaarVLS) database. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 357:1-13
- Graettinger AH, Valentine GA (2017) Evidence for the relative depths and energies of phreatomagmatic explosions recorded in tephra rings. *Bulletin of Volcanology* 79(12)
- Graettinger AH, Valentine GA, Sonder I (2015a) Circum-crater variability of deposits from discrete, laterally and vertically migrating volcanic explosions: Experimental evidence and field implications. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 308:61-69
- Graettinger AH, Valentine GA, Sonder I (2016) Recycling in debris-filled volcanic vents. *Geology* 44(10):811-814
- Graettinger AH, Valentine GA, Sonder I, Ross PS, White JDL (2015b) Facies distribution of ejecta in analog tephra rings from experiments with single and multiple subsurface explosions. *Bulletin of Volcanology* 77(8)
- Graettinger AH, Valentine GA, Sonder I, Ross PS, White JDL, Taddeucci J (2014) Maar-diatreme geometry and deposits: Subsurface blast experiments with variable explosion depth. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 15(3):740-764
- Graham DW, Reid MR, Jordan BT, Grunder AL, Leeman WP, Lupton JE (2009) Mantle source provinces beneath the Northwestern USA delimited by helium isotopes in young basalts. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 188(1-3):128-140
- Grainger DJ (1996) Al Wahbah volcanic explosion crater, Saudi Arabia. *Geology Today* January-February:27-30
- Greeley R (1982) The Snake River Plain, Idaho: Representative of a new category of volcanism. *Journal of Geophysical Research* 87(B4):2705-2712
- Greeley R, King JS (1977) *Volcanism of the Eastern Snake River Plain, Idaho: A comparative planetary geology-guidebook*. National Aeronautics and Space Administration; 1st Edition (January 1, 1977) [ASIN : B000L7Z6NS],
- Gutmann JT (1976) *Geology of Crater Elegante, Sonora, Mexico*. Geological Society of America Bulletin 87:1718-1729
- Gutmann JT (2002) Strombolian and effusive activity as precursors to phreatomagmatism: eruptive sequence at maars of the Pinacate volcanic field, Sonora, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 113(1-2):345-356
- Haller MJ, Alric VI, Martin U, Németh K, Meister CM (2005a) Diatremas con peperita en la Patagonia septentrional. *Actas del Congreso Geológico Argentino 16, VOL. 1*:723-726
- Haller MJ, Németh K (2006) Architecture and pyroclastic succession of a small Quaternary (?) maar in the Pali Aike Volcanic Field, Santa Cruz, Argentina. *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft* 157(3):467-476
- Haller MJ, Németh K (2012) Cenozoic diatremes in Chubut, Northern Patagonia, Argentina. In: *Hopi Buttes volcanic field workshop, 21-27 October 2012*. Winslow, Arizona, pp 59-59
- Haller MJ, Németh K, Meister CM (2005b) Un maar en las cercanías de Rio Gallegos, Santa Cruz. *Actas del Congreso Geológico Argentino 16, VOL. 1*:835-842
- Handley H, Griffis R, McGee L, Didonna R, Németh K, Turner M, Rowe M, Rowland JV, Augustinus PC, Brook Martin S, Tunnicliffe J, Eccles J, Campbell K, Baker J (2017) Multiple vent eruptions at monogenetic volcanoes; Waitomokia Volcano, Auckland volcanic field, New Zealand. *Geoscience Society of New Zealand Miscellaneous Publication 147A*:44
- Hartman LH, Kurbatov AV, Winski DA, Cruz-Uribe AM, Davies SM, Dunbar NW, Iverson NA, Aydin M, Fegyveresi JM, Ferris DG, Fudge TJ, Osterberg EC, Hargreaves GM, Yates MG (2019)

- Volcanic glass properties from 1459 CE volcanic event in South Pole ice core dismiss Kuwae caldera as a potential source. *Scientific Reports* 9
- Hasenaka T (1981) Preliminary report on the cinder cone field in Michoacan and Guanajuato, SW Mexico. *Abstracts with Programs - Geological Society of America* 13(7):469-469
- Hasenaka T, Anonymous (1988) Geomorphology and age of scoria cones. *Kasan = Bulletin of the Volcanological Society of Japan* 33(3):260-260
- Hasenaka T, Carmichael ISE (1985) A compilation of location, size, and geomorphological parameters of volcanoes of the Michoacan-Guanajuato volcanic field, central Mexico. *Geofisica Internacional* 24(4):577-608
- Hayes JL, Tsang SW, Fitzgerald RH, Blake DM, Deligne NI, Doherty A, Hopkins JL, Hurst AW, Le Corvec N, Leonard GS, Lindsay JM, Miller CA, Németh K, Smid E, White JDL, Wilson TM (2018) The DEVORA scenarios; multi-hazard eruption scenarios for the Auckland volcanic field. *GNS Science Report*:138
- Hencz M, Karátson D, Németh K, Biró T (2017a) A Badacsony phreatomagmatics pyroclastic sequence: következtetések a monogenetikus bazaltvulkáni működés folyamataira és formáira = The phreatomagmatic pyroclastic sequence of the Badacsony Hill: implications for the processes and landforms of monogenetic basaltic volcanism. *Földtani közlöny* 147(3):297-310
- Hencz M, Karátson D, Németh K, Biró T (2017b) The phreatomagmatic pyroclastic sequence of the Badacsony Hill: Implications for the processes and landforms of monogenetic basaltic volcanism. *Földtani Kozlony* 147(3):297-310
- Hoffman A Looking to Epi: Further consequences of the Kuwae eruption, Central Vanuatu, AD 1452. *Indo-Pacific Prehistory Association Bulletin* 26:62-71
- Hoffmann A (2006) Looking to EPI: Further consequences of the Kuwae eruption, Central Vanuatu, AD 1452. In: Bellwood P, Marwick B, Pearson R (eds) *Bulletin of the Indo-Pacific Prehistory Association, Vol 26*. 26, pp 62-71
- Hooper DM, Sheridan MF (1998) Computer-simulation models of scoria cone degradation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 83:241-267
- Hooten JA, Ort MH (2002) Peperite as a record of early-stage phreatomagmatic fragmentation processes: an example from the Hopi Buttes volcanic field, Navajo Nation, Arizona, USA. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 114(1-2):95-106
- Hopkins JL, Smid ER, Eccles JD, Hayes JL, Hayward BW, McGee LE, van Wijk K, Wilson TM, Cronin SJ, Leonard GS, Lindsay JM, Németh K, Smith IEM (2021) Auckland Volcanic Field magmatism, volcanism, and hazard: a review. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 64(2-3):213-234
- Houghton BF, Hackett WR (1984) Strombolian and phreatomagmatic deposits of Ohakune Craters, Ruapehu, New Zealand; a complex interaction between external water and rising basaltic magma. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 21(3-4):207-231
- Houghton BF, Schmincke HU (1986) Mixed deposits of simultaneous Strombolian and phreatomagmatic volcanism - Rothenberg Volcano, East Eifel Volcanic Field. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 30(1-2):117-130
- Houghton BF, Schmincke HU (1989) Rothenberg Scoria Cone, East Eifel - A Complex Strombolian And Phreatomagmatic Volcano. *Bulletin Of Volcanology* 52(1):28-48
- Houghton BF, Wilson CJN, Smith IEM (1999) Shallow-seated controls on styles of explosive basaltic volcanism: a case study from New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 91(1):97-120
- Houghton BF, Wilson CJN, Smith IEM, Parker RJ (1984) A mixed deposit of simultaneously erupting fissure vents : Crater Hill, Auckland, New Zealand. In: *Research notes 1990*. New Zealand Geological Survey, Lower Hutt, New Zealand, 43, pp 45-50

- Hughes SS, Smith RP, Hackett WR, Anderson SR (1999) Mafic volcanism and environmental geology of the eastern Snake River Plain, Idaho. Guidebook to the geology of eastern Idaho: Idaho Museum of Natural History:143-168
- Ilanko T, Pittari A, Briggs RM, Németh K (2009) Pyroclastic successions of a tuff ring in a monogenetic field; Barriball Road tuff ring, south Auckland. Geological Society of New Zealand Miscellaneous Publication 128A:93-93
- Inbar M, Hubp JL, Ruiz LV (1994) The geomorphological evolution of the Paricutin cone and lava flows, Mexico, 1943-1990. *Geomorphology* 9:57-76
- Jaimes-Viera MC, Martin Del Pozzo AL, Layer PW, Benowitz JA, Nieto-Torres A (2018) Timing the evolution of a monogenetic volcanic field: Sierra Chichinautzin, Central Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 356:225-242
- Jankovics MÉ, Harangi S, Németh K, Kiss B, Ntaflos T (2015) A complex magmatic system beneath the Kissomlyó monogenetic volcano (western Pannonian Basin): Evidence from mineral textures, zoning and chemistry. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 301:38-55
- Jankovics MÉ, Sági T, Astbury RL, Petrelli M, Kiss B, Ubide T, Németh K, Ntaflos T, Harangi S (2019) Olivine major and trace element compositions coupled with spinel chemistry to unravel the magmatic systems feeding monogenetic basaltic volcanoes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 369:203-223
- Jellinek AM, Manga M (2004) Links between long-lived hot spots, mantle plumes, D", and plate tectonics. *Reviews of Geophysics* 42(3)
- Jeon Y, Koh J-G, Ki J-S, Lee S (2016) A case study on the geotrail revitalization in the Jeju Island Geopark. *Journal of the Geological Society of Korea* 52(5):527-538
- Johnson E, Wallace P, Chashman K, Granados HD, Kent A (2008) Magmatic volatile contents and degassing-induced crystallization at Volcán Jorullo, Mexico: Implications for melt evolution and the plumbing systems of monogenetic volcanoes. *Earth and Planetary Science Letters* 269:478-487
- Johnson ER, Cashman KV (2020) Understanding the storage conditions and fluctuating eruption style of a young monogenetic volcano: Blue Lake crater (< 3 ka), High Cascades, Oregon. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 408
- Johnson RW (1989) Intraplate volcanism in Eastern Australia and New Zealand. Cambridge University Press, Cambridge, p 408
- Jones TJ, Llewellyn EW (2021) Convective tipping point initiates localization of basaltic fissure eruptions. *Earth and Planetary Science Letters* 553
- Jones TJ, Llewellyn EW, Houghton BF, Brown RJ, Vye-Brown C (2017) Proximal lava drainage controls on basaltic fissure eruption dynamics. *Bulletin of Volcanology* 79(11)
- Kázmér M (2004) Rendezvények [Második Nemzetközi Maar Konferencia - Németország-Szlovákia-Magyarország 2004. szeptember 14-29 Report by Gábor Csillag]. *Földtani Közlöny* 134(4):605-609
- Kereszturi G, Bebbington M, Németh K (2017) Forecasting transitions in monogenetic eruptions using the geologic record. *Geology* 45(3):283-286
- Kereszturi G, Cappello A, Ganci G, Procter J, Németh K, Del Negro C, Cronin SJ (2014a) Numerical simulation of basaltic lava flows in the Auckland Volcanic Field, New Zealand-implication for volcanic hazard assessment. *Bulletin of Volcanology* 76(11)
- Kereszturi G, Csillag G, Nemeth K, Sebe K, Balogh K, Jager V (2010a) Volcanic architecture, eruption mechanism and landform evolution of a Plio/Pleistocene intracontinental basaltic polycyclic monogenetic volcano from the Bakony-Balaton Highland Volcanic Field, Hungary. *Central European Journal of Geosciences* 2(3):362-384
- Kereszturi G, Csillag G, Németh K, Sebe K, Balogh K, Jager V (2010b) Volcanic architecture, eruption mechanism and landform evolution of a Plio/Pleistocene intracontinental

- basaltic polycyclic monogenetic volcano from the Bakony-Balaton Highland Volcanic Field, Hungary. *Central European Journal of Geosciences* 2(3):362-384
- Kereszturi G, Németh K (2011) Shallow-seated controls on the evolution of the Upper Pliocene Kopasz-hegy nested monogenetic volcanic chain in the Western Pannonian Basin (Hungary). *Geologica Carpathica* 62(6):535-546
- Kereszturi G, Németh K (2012a) Monogenetic basaltic volcanoes: genetic classification, growth, geomorphology and degradation. In: Németh K (ed) *Updates in Volcanology - New Advances in Understanding Volcanic Systems*. inTech Open, Rijeka, Croatia, pp 3-88 [<http://dx.doi.org/10.5772/51387>]
- Kereszturi G, Németh K (2012b) Structural and morphometric irregularities of eroded Pliocene scoria cones at the Bakony-Balaton Highland Volcanic Field, Hungary. *Geomorphology* 136(1):45-58
- Kereszturi G, Németh K (2012c) Structural and morphometric irregularities of eroded Pliocene scoria cones at the Bakony–Balaton Highland Volcanic Field, Hungary. *Geomorphology* 136(1):45-58
- Kereszturi G, Németh K (2016a) Post-eruptive sediment transport and surface processes on unvegetated volcanic hillslopes - A case study of Black Tank scoria cone, Cima Volcanic Field, California. *Geomorphology* 267:59-75
- Kereszturi G, Németh K (2016b) Sedimentology, eruptive mechanism and facies architecture of basaltic scoria cones from the Auckland Volcanic Field (New Zealand). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 324:41-56
- Kereszturi G, Németh K (2018) The role of phreatomagmatism on scoria cone forming eruptions in the Quaternary Auckland Volcanic Field (New Zealand). In: *IAVCEI-IAS 7th International Maar Conference*. Olot, Catalunya, Spain, pp 76-77
- Kereszturi G, Németh K, Cronin SJ, Agustin-Flores J, Smith IEM, Lindsay J (2013a) A model for calculating eruptive volumes for monogenetic volcanoes - Implication for the Quaternary Auckland Volcanic Field, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 266:16-33
- Kereszturi G, Németh K, Cronin SJ, Lindsay JM, Bebbington M, Procter JN, Agustin-Flores J (2011a) Time-volume eruptive behaviour of the Auckland volcanic field, New Zealand. *Geoscience Society of New Zealand Miscellaneous Publication* 130A:60
- Kereszturi G, Németh K, Cronin SJ, Procter J, Agustin-Flores J (2014b) Influences on the variability of eruption sequences and style transitions in the Auckland Volcanic Field, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 286:101-115
- Kereszturi G, Németh K, Csillag G, Balogh K, Kovacs J (2011b) The role of external environmental factors in changing eruption styles of monogenetic volcanoes in a Mio/Pleistocene continental volcanic field in western Hungary. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 201(1-4):227-240
- Kereszturi G, Németh K, Lexa J, Konecny V, Pécskay Z (2013b) Eruptive volume estimate of the Nógrád-Gömör/Novohrad-Gemer Volcanic Field (Slovakia-Hungary). In: *Basalt 2013 - Cenozoic Magmatism in Central Europe*. Czech Geological Survey Prague & Senckenberg Museum of Natural History Görlitz, Goerlitz, Germany, pp 168-169
- Kereszturi G, Németh K, Moufti MR, Cappello A, Murcia H, Ganci G, Del Negro C, Procter J, Zahran HMA (2016) Emplacement conditions of the 1256 AD Al-Madinah lava flow field in Harrat Rahat, Kingdom of Saudi Arabia - Insights from surface morphology and lava flow simulations. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 309:14-30
- Kienle J, Kyle PR, Self S, Motyka RJ, Lorenz V (1980) Ukinrek Maars, Alaska .1. April 1977 Eruption Sequence, Petrology And Tectonic Setting. *Journal Of Volcanology And Geothermal Research* 7(1-2):11-37
- Kilburn CRJ (2000) Lava flows and flow fields. In: Sigurdsson H, Houghton BF, McNutt SR, Rymer H, Stix J (eds) *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego, pp 291-306

- Ko B, Yun S-H (2016) A preliminary study on calculating eruptive volumes of monogenetic volcanoes and volcanic hazard evaluation in Jeju Island. *The Journal of The Petrological Society of Korea* 25(2):143-149
- Konecny V, Lexa J, Balogh K, Konecny P (1995) Alkali basalt volcanism in southern Slovakia; volcanic forms and time evolution. *Acta Vulcanologica* 7(2):167-171
- Kósik S, Bebbington M, Németh K (2020) Spatio-temporal hazard estimation in the central silicic part of Taupo Volcanic Zone, New Zealand, based on small to medium volume eruptions. *Bulletin of Volcanology* 82(6):50
- Kósik S, Németh K, Danisik M, Procter JN, Schmitt AK, Friedrichs B, Stewart RB (2021) Shallow subaqueous to emergent intra-caldera silicic volcanism of the Motuoapa Peninsula, Taupo Volcanic Zone, New Zealand-New constraints from geologic mapping, sedimentology and zircon geochronology. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 411
- Kosik S, Nemeth K, Kereszturi G, Procter JN, Zellmer GF, Geshi N (2016) Phreatomagmatic and water-influenced Strombolian eruptions of a small-volume parasitic cone complex on the southern ringplain of Mt. Ruapehu, New Zealand: Facies architecture and eruption mechanisms of the Ohakune Volcanic Complex controlled by an unstable fissure eruption. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 327:99-115
- Kosik S, Nemeth K, Lexa J, Procter JN (2019) Understanding the evolution of a small-volume silicic fissure eruption: Puketerata Volcanic Complex, Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 383:28-46
- Kovács J, Németh K, Szabó P, Kocsis L, Kereszturi G, Újvári G, Vennemann T (2020) Volcanism and paleoenvironment of the Pula maar complex: A pliocene terrestrial fossil site in Central Europe (Hungary). *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 537:15
- Kshirsagar P, Siebe C, Noelle Guilbaud M, Salinas S (2016) Geological and environmental controls on the change of eruptive style (phreatomagmatic to Strombolian-effusive) of Late Pleistocene El Caracol tuff cone and its comparison with adjacent volcanoes around the Zacapu basin (Michoacan, Mexico). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 318:114-133
- Kshirsagar P, Siebe C, Noelle Guilbaud M, Salinas S, Layer PW (2015) Late Pleistocene Alberca de Guadalupe maar volcano (Zacapu basin, Michoacan): Stratigraphy, tectonic setting, and paleo-hydrogeological environment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 304:214-236
- Kugaenko Y, Volynets AO (2019) Magmatic plumbing systems of the monogenetic volcanic fields: A case study of Tolbachinsky Dol, Kamchatka. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 383:63-76
- Kuntz MA, Covington HR, Schorr LJ (1992) An overview of basaltic volcanism of the eastern Snake River Plain, Idaho. *Regional Geology of Eastern Idaho and Western Wyoming: Geological Society of America Memoir* 179:227-267
- Kurszlaukis S, Buttner R, Zimanowski B, Lorenz V (1998) On the first experimental phreatomagmatic explosion of a kimberlite melt. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 80(3-4):323-326
- Kwon CW, Sohn YK (2008) Tephra-filled volcanic neck (diatreme) of a mafic tuff ring at Maegok, Miocene Eoil Basin, SE Korea. *Geosciences Journal* 12(4):317-329
- Lajoie J, Lanzafame G, Rossi PL, Tranne CA (1992) Lateral facies variations in hydromagmatic pyroclastic deposits at Linosa, Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 54:135-143
- Lajoie J, Stix J (1992) Volcaniclastic rocks. In: Walker RG, James NP (eds) *Facies Models*. Geological Association of Canada, pp 101-118

- Latutrie B, Ross P-S (2019) Transition zone between the upper diatreme and lower diatreme: origin and significance at Round Butte, Hopi Buttes volcanic field, Navajo Nation, Arizona. *Bulletin of Volcanology* 81(4)
- Latutrie B, Ross PS (2020) Phreatomagmatic vs magmatic eruptive styles in maar-diatremes: a case study at Twin Peaks, Hopi Buttes volcanic field, Navajo Nation, Arizona. *Bulletin of Volcanology* 82(3)
- Latutrie B, Ross PS (2021) What lithic clasts and lithic-rich facies can tell us about diatreme processes: An example at Round Butte, Hopi Buttes volcanic field, Navajo Nation, Arizona. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 411
- Lefebvre NS, White JDL, Kjarsgaard BA (2012) Spatter-dike reveals subterranean magma diversions: Consequences for small multivalent basaltic eruptions. *Geology* 40(5):423-426
- Lefebvre NS, White JDL, Kjarsgaard BA (2016) Arrested diatreme development: Standing Rocks East, Hopi Buttes, Navajo Nation, USA. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 310:186-208
- Leonard GS, Cole RP, Christenson BW, Conway CE, Cronin SJ, Gamble JA, Hurst T, Kennedy BM, Miller CA, Procter JN, Pure LR, Townsend DB, White JDL, Wilson CJN (2021) Ruapehu and Tongariro stratovolcanoes: a review of current understanding. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 64(2-3):389-420
- Lesti C, Giordano G, Salvini F, Cas R (2008) Volcano tectonic setting of the intraplate, pliocene-holocene, newer volcanic province (southeast australia): Role of crustal fracture zones. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth* 113(B7)
- Lexa J, Seghedi I, Németh K, Szakács A, Konecny V, Pécskay Z, Fülöp A, Kovács M (2010) Neogene-Quaternary volcanic forms in the Carpathian-Pannonian Region: a review. *Central European Journal of Geosciences* 2(3):207-U275
- Li B, Németh K (2018) Maars of the Arxan-Chaihe Volcanic Field, Inner Mongolia, China. In: IAVCEI - IAS 7th International Maar Conference. Olot, Catalunya, Spain, pp 82-83
- Li B, Németh K, Palmer A, Palmer J, Procter J, Sun C (2019a) The most violent phreatomagmatic explosive eruption of the Arxan-Chaihe Volcanic Field (ACVF) in NE China, could also be one of the youngest? In: *Geosciences 2019*. Geoscience Society of New Zealand, Hamilton, New Zealand, pp 117-117
- Li B, Németh K, Palmer J, Palmer A, Procter J (2019b) A violent phreatomagmatic volcano in Arxan-Chaihe Volcanic Field, NE China. In: *IAVCEI Fifth International Volcano Geology Workshop*. Geoscience Society of New Zealand, Palmerston North, pp 49-50
- Li B, Németh K, Palmer J, Palmer A, Procter J, Wu J (2020) Tongxin Volcano, from the onset of lava fountaining to phreatomagmatic directed blasts along a propagating fissure in an intramountain basin in Arxan-Chaihe Volcanic Field (ACVF), NE China. In: *8th International Maar Conference*. IVS FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, pp 30-30
- Li B, Németh K, Palmer J, Palmer A, Wu J, Procter J, Liu J (2021) Basic Volcanic Elements of the Arxan-Chaihe Volcanic Field, Inner Mongolia, NE China. In: Németh K (ed) *Updates in Volcanology - Transdisciplinary Nature of Volcano Science*. IntechOpen, Rijeka, Croatia, London, UK, <https://www.intechopen.com/chapters/73823>, DOI: 10.5772/intechopen.94134,
- Li B, Németh K, Palmer J, Palmer AS, Procter JN (2019c) A violent phreatomagmatic volcano in Arxan-Chaihe Volcanic Field, NE China. In: Németh K, Kosik S (eds) *IAVCEI Fifth International Volcano Geology Workshop*. Geoscience Society of New Zealand, Palmerston North, New Zealand, pp 49-50
- Li B, Németh K, Rowe M, Rowland JV, Augustinus PC, Brook Martin S, Tunnicliffe J, Eccles J, Campbell K, Baker J (2017) A violent phreatomagmatic eruption that formed a maar in an intramountain basin at Arxan-Chaihe volcanic field, Inner Mongolia, China. *Geoscience Society of New Zealand Miscellaneous Publication* 147A:10-11

- Lindsay JM, Leonard GS, Smid ER, Hayward BW (2011) Age of the Auckland volcanic field: A review of existing data. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 54(4):379-401
- Lorenz V (1973) On the formation of Maars. *Bulletin of Volcanology* 37(2):183-204
- Lorenz V (1985) Maars and diatremes of phreatomagmatic origin: a review. *Transactions of the Geological Society of South Africa* 88:459-470
- Lorenz V (1986) On the growth of maars and diatremes and its relevance to the formation of tuff rings. *Bulletin of Volcanology* 48:265-274
- Lorenz V (1987) Phreatomagmatism and its relevance. *Chemical Geology* 62(1-2):149-156
- Lorenz V (2000a) Formation of maar-diatreme volcanoes. *Terra Nostra* 2000/6:284-291
- Lorenz V (2000b) Formation of the root zones of maar-diatreme volcanoes. *Terra Nostra* 2000/6:279-284
- Lorenz V (2007) Syn- and posteruptive hazards of maar-diatreme volcanoes. *Journal Of Volcanology And Geothermal Research* 159(1-3):285-312
- Lorenz V, Haneke J (2004) Relationship between diatremes, dykes, sills, laccoliths, intrusive-extrusive domes, lava flows, and tephra deposits with unconsolidated water-saturated sediments in the late Variscan intermontane Saar-Nahe Basin, SW Germany. In: Breitkreuz C, Petford N (eds) *Physical Geology of Subvolcanic Systems - Laccoliths, Sills, and Dykes*. Blackwell Sciences, Oxford, Special Publications of the Geological Society of London, 234, pp 75-124
- Lorenz V, Kurszlauskis S (2007) Root zone processes in the phreatomagmatic pipe emplacement model and consequences for the evolution of maar-diatreme volcanoes. *Journal Of Volcanology And Geothermal Research* 159(1-3):4-32
- Lorenz V, McBirney AR, Williams H (1970) An investigation of volcanic depressions. Part III. Maars, tuff-rings, tuff-cones and diatremes. *Clearinghouse for Federal Scientific and Technical Information, Springfield, Va., Houston, Texas*, p 196
- Lorenzo-Merino A, Guilbaud MN, Roberge J (2018) The violent Strombolian eruption of 10 ka Pelado shield volcano, Sierra Chichinautzin, Central Mexico. *Bulletin of Volcanology* 80(3)
- Luhr JF, Carmichael ISE (1985) Jorullo volcano, Michoacan, Mexico (1759-1774): the earlier stages of fractionation in calc-alkaline magmas. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 90:142-161
- Luhr JF, Simkin T (1993) Paricutin. The volcano born in a Mexican cornfield. *Geosciences Press, Phoenix*, p 427
- Magill C, Blong R (2005) Volcanic risk ranking for Auckland, New Zealand. I: Methodology and hazard investigation. *Bulletin Of Volcanology* 67(4):331-339
- Magill CR, McAneney KJ, Smith IEM (2005) Probabilistic assessment of vent locations for the next Auckland volcanic field event. *Mathematical Geology* 37(3):227-242
- Manville V, Németh K, Kano K (2009) Source to sink: a review of three decades of progress in the understanding of volcanoclastic processes, deposits, and hazards. *Sedimentary Geology* 220:136-161
- Martí J, Gropelli G, Brum da Silveira A (2018) Volcanic stratigraphy: A review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 357:68-91
- Marti J, Lopez C, Bartolini S, Becerril L, Geyer A (2016) Stress Controls of Monogenetic Volcanism: A Review. *Frontiers in Earth Science* 4
- Martin U, Auer A, Németh K, Breitkreuz C (2003) Mio/Pliocene phreatomagmatic volcanism in a fluvio-lacustrine basin in western Hungary. *Geolines - Journal of the Geological Institute of AS Czech Republic* 15:75-81
- Martin U, Nemeth K (2002) Peperitic lava lake-fed sills at Sag-hegy, western Hungary: A complex interaction of a wet tephra ring and lava. In: *International Workshop on the Physical Geology of Subvolcanic Systems*. TU Bergakad Freiberg, Freiberg, GERMANY, pp 33-50

- Martin U, Nemeth K (2004) Mio/Pliocene phreatomagmatic volcanism in the Western Pannonian Basin. Geological Institute of Hungary, Budapest, Hungary, pp 1-191
- Martin U, Nemeth K (2006) How Strombolian is a "Strombolian" scoria cone? Some irregularities in scoria cone architecture from the Transmexican Volcanic Belt, near Volcan Ceboruco, (Mexico) and Al Haruj (Libya). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 155(1-2):104-118
- Martin U, Nemeth K (2007) Blocky versus fluidal peperite textures developed in volcanic conduits, vents and crater lakes of phreatomagmatic volcanoes in Mio-Pliocene volcanic fields of western Hungary. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 159(1-3):164-178
- Martin U, Németh K (2000) Peperite structures from the Bakony- Balaton Highland Volcanic Field (Pannonian Basin, Hungary): Examples from the Hajagos-hegy. *Terra Nostra* 6:318-329
- Martin U, Németh K (2002) Interaction between lava lakes and pyroclastic sequences in phreatomagmatic volcanoes: Haláp and Badacsony, western Hungary. *Geologica Carpathica* 53(CD-version [ISSN 1335-0552])
- Martin U, Németh K (2004a) Mio/Pliocene phreatomagmatic volcanism in the western Pannonian Basin. *Geologica Hungarica, Serie Geologica* 26:192-192
- Martin U, Németh K (2004b) Peperitic lava lake-fed sills at Sag-hegy, western Hungary: A complex interaction of a wet tephra ring and lava. In: Breikreuz C, Petford N (eds) *Physical Geology of High-Level Magmatic Systems*. 234, pp 33-50
- Martin U, Németh K (2005) Eruptive and depositional history of a Pliocene tuff ring that developed in a fluvio-lacustrine basin: Kissomlyó volcano (western Hungary). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 147(3-4):342-356
- Martin U, Németh K (2006) Eruptive mechanism of phreatomagmatic volcanoes from the Pinacate Volcanic Field: comparison between Crater Elegante and Cerro Colorado, Mexico. *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften (ZDGG)* 157(3):451-466
- Martin U, Németh K (2007) Blocky versus fluidal peperite textures developed in volcanic conduits, vents and crater lakes of phreatomagmatic volcanoes in Mio/Pliocene volcanic fields of Western Hungary. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 159(1-3):164-178
- Martin U, Németh K, Haller MJ, Alric VI (2005a) Subterranean peperite in Oligocene lower diatremes of Chubut, Argentina. *Terra Nostra* 2005/1
- Martin U, Németh K, Haller MJ, Alric VI, Anonymous (2005b) Subterranean peperite in Oligocene lower diatremes of Chubut, Argentina. *Terra Nostra (Bonn)* 2005-1:78-79
- Mattioli M, Renzulli A, Menna M, Holm PM (2006) Rapid ascent and contamination of magmas through the thick crust of the CVZ (Andes, Ollague region): Evidence from a nearly aphyric high-K andesite with skeletal olivines. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 158(1-2):87-105
- Mattsson HB, Hoskuldsson A (2005) Eruption reconstruction, formation of flow-lobe tumuli and eruption duration in the 5900 BP Helgafell lava field (Heimaey), south Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 147(1-2):157-172
- May VR, Chivas AR, Dosseto A, Honda M, Matchan EL, Phillips D, Price DM (2018) Quaternary volcanic evolution in the continental back-arc of southern Mendoza, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 84:88-103
- McDonald GW, Smith NJ, Kim J-h, Cronin SJ, Proctor JN (2017) The spatial and temporal 'cost' of volcanic eruptions: assessing economic impact, business inoperability, and spatial distribution of risk in the Auckland region, New Zealand. *Bulletin of Volcanology* 79(7)
- McGee LE, Millet M-A, Beier C, Smith IEM, Lindsay JM (2015) Mantle heterogeneity controls on small-volume basaltic volcanism. *Geology* 43(6):551-554

- McGee LE, Millet M-A, Smith IEM, Nemeth K, Lindsay JM (2012a) The inception and progression of melting in a monogenetic eruption: Motukorea Volcano, the Auckland Volcanic Field, New Zealand. *Lithos* 155:360-374
- McGee LE, Millet M-A, Smith IEM, Németh K, Lindsay JM (2012b) The inception and progression of melting in a monogenetic eruption: Motukorea Volcano, the Auckland Volcanic Field, New Zealand. *Lithos* 155:360-374
- McGee LE, Smith IEM, Millet M-A, Handley HK, Lindsay AM (2013) Asthenospheric Control of Melting Processes in a Monogenetic Basaltic System: a Case Study of the Auckland Volcanic Field, New Zealand. *Journal of Petrology* 54(10):2125-2153
- McKnight SB, Williams SN (1997) Old cinder cone or young composite volcano?: The nature of Cerro Negro, Nicaragua. *Geology* 25(4):339-342
- Meng F-c, Safonova I, Chen S-s, Rioual P (2018) Late Cenozoic intra-plate basalts of the Greater Khingan Range in NE China and Khangai Province in Central Mongolia. *Gondwana Research* 63:65-84
- Molloy C, Shane P, Augustinus P (2009) Eruption recurrence rates in a basaltic volcanic field based on tephra layers in maar sediments: Implications for hazards in the Auckland volcanic field. *Geological Society of America Bulletin* 121(11/12):1666-1677
- Monzier M, Robin C, Eissen JP (1994) Kuwae (Approximate-to-1425 AD) - The forgotten caldera. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 59(3):207-218
- Moreno R H (1980) La erupcion del volcan Mirador en abril-mayo de 1979, Lago Ranco-Rininahue, Andes del Sur. *Comunicacion - Departamento de Geologia. Facultad de Ciencias Fisicas y Matematicas. Universidad de Chile* (28):1-23
- Mortimer N, Campbell HJ, Stagpoole M, Wood RA, Rattenbury MS, Sutherland R, Seton M (2017) Zealandia: Earth's hidden continent. *GSA Today* 27(3):27-35
- Motoki MH, Ballmer MD (2015) Intraplate volcanism due to convective instability of stagnant slabs in the mantle transition zone. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 16(2):538-551
- Moufti MR, Nemeth K (2016) *Geoheritage of Volcanic Harrats in Saudi Arabia*. Springer, Heidelberg, pp 1-194
- Moufti MR, Németh K (2013) The intra-continental Harrat Al Madinah Volcanic Field, Western Saudi Arabia: a proposal to establish Harrat Al Madinah as the first volcanic geopark in the Kingdom of Saudi Arabia. *Geoheritage* 5(3):185-206
- Moufti MR, Nemeth K, El-Masry N, Qaddah A (2013a) Geoheritage values of one of the largest maar craters in the Arabian Peninsula: the Al Wahbah Crater and other volcanoes (Harrat Kishb, Saudi Arabia). *Central European Journal of Geosciences* 5(2):254-271
- Moufti MR, Nemeth K, El-Masry N, Qaddah A (2015) Volcanic Geotopes and Their Geosites Preserved in an Arid Climate Related to Landscape and Climate Changes Since the Neogene in Northern Saudi Arabia: Harrat Hutaymah (Hai'il Region). *Geoheritage* 7(2):103-118
- Moufti MR, Németh K, El-Masry N, Qaddah A (2013b) Geoheritage values of one of the largest maar craters in the Arabian Peninsula: the Al Wahbah Crater and other volcanoes (Harrat Kishb, Saudi Arabia). *Central European Journal of Geosciences* 5(2):254-271
- Moufti MR, Németh K, Murcia H, Lindsay JM (2013c) The 1256 AD Al Madinah historic eruption geosite as the youngest volcanic chain in the Kingdom of Saudi Arabia. *International Journal of Earth Sciences* 102(4):1069-1070
- Moufti MR, Németh K, Murcia H, Lindsay JM, El-Masry N (2013d) Geosite of a steep lava spatter cone of the 1256 AD, Al Madinah eruption, Kingdom of Saudi Arabia. *Central European Journal of Geosciences* 5(2):189-195
- Moussallam Y, Rose-Koga EF, Koga KT, Medard E, Bani P, Devidal J-L, Tari D (2019) Fast ascent rate during the 2017-2018 Plinian eruption of Ambae (Aoba) volcano: a petrological investigation. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 174(11)

- Muirhead JD, Van Eaton AR, Re G, White JDL, Ort MH (2016) Monogenetic volcanoes fed by interconnected dikes and sills in the Hopi Buttes volcanic field, Navajo Nation, USA. *Bulletin of Volcanology* 78(2):11-11
- Müller G, Veyl G (1956) The birth of Nilahue, a new maar type volcano at Rininahue, Chile. *Congreso Geologico Internacional Seccio I - Vulcanologia del Cenozoico*:375-396
- Murcia H, Borrero C, Nemeth K (2019) Overview and plumbing system implications of monogenetic volcanism in the northernmost Andes' volcanic province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 383:77-87
- Murcia H, Németh K (2021) Effusive Monogenetic Volcanism. In: Németh K (ed) *Updates in Volcanology - Transdisciplinary Nature of Volcano Science*. inTech Open, Rijeka, Croatia, London, UK, DOI: 10.5772/intechopen.94387. Available from: <https://www.intechopen.com/chapters/73962>, pp 133-147
- Murcia H, Nemeth K, El-Masry NN, Lindsay JM, Moufti MRH, Wameyo P, Cronin SJ, Smith IEM, Kereszturi G (2015) The Al-Du'aythah volcanic cones, Al-Madinah City; implications for volcanic hazards in northern Harrat Rahat, Kingdom of Saudi Arabia. *Bulletin of Volcanology* 77(6):19
- Murcia H, Németh K, Moufti MR, Lindsay J, El-Masry N, Cronin S (2014) Late Holocene lava flow morphotypes of northern Harrat Rahat, Kingdom of Saudi Arabia: Implications for the description of continental lava fields. *J Asian Earth Sci* 84
- Nche LA, Hasegawa T, Aka FT, Kobayashi T, Németh K, Asaah ANE, Kaneda Y, Nishihara A, Bate-Tibang EE, Lebga AK, Tiabou AF, Ngwa CN, Suh CE (2021) Lithostratigraphy and geochemistry of Aojiki volcano and Sumiyoshiike and Yonemaru maars, Kamo Volcanic Field (Southern Kyushu), Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 412
- Negendank JFW, Buechel G, Hansen RB, Hofmann W, Irion G, Haverkamp B, Lorenz V, Scharf B, Sonne V, Usinger H, Weiler H (1985) The Meerfelder Maar lake deposits. *Zeitschrift fuer Gletscherkunde und Glazialgeologie* 21(1-2):67-70
- Németh B, Németh K, Procter JN (2021a) Informed Geoheritage Conservation: Determinant Analysis Based on Bibliometric and Sustainability Indicators Using Ordination Techniques. *Land* 10(5)
- Németh B, Németh K, Procter JN (2021b) Visitation Rate Analysis of Geoheritage Features from Earth Science Education Perspective Using Automated Landform Classification and Crowdsourcing: A Geoeducation Capacity Map of the Auckland Volcanic Field, New Zealand. *Geosciences* 11(11):480
- Németh B, Németh K, Procter JN, Farrelly T (2021c) Geoheritage Conservation: Systematic Mapping Study for Conceptual Synthesis. *Geoheritage* 13(2):45
- Nemeth K (2004) The morphology and origin of wide craters at Al Haruj al Abyad, Libya: maars and phreatomagmatism in a large intracontinental flood lava field? *Zeitschrift Fur Geomorphologie* 48(4):417-439
- Nemeth K (2010) Volcanic glass textures, shape characteristics and compositions of phreatomagmatic rock units from the Western Hungarian monogenetic volcanic fields and their implications for magma fragmentation. *Central European Journal of Geosciences* 2(3):399-419
- Németh K (1995) A Tihany-vulkán - Balatoni pokoljárás. *Élet és tudomány* 50(24):755-757
- Németh K (1996) A Tihanyi-félsziget vulkanológiai története. *Természet világa* : természettudományi közlöny 127(1):18-21
- Németh K (1997) Monogenetikus bazaltvulkáni jelenségek. *Természet világa* : természettudományi közlöny 128(5):217-220
- Németh K (2001) Long-term erosion-rate calculation from the Waipiata Volcanic Field (New Zealand) based on erosion remnants of scoria cones, tuff rings and maars. *Géomorphologie: relief, processus, environnement* 2001/2:137-152

- Németh K (2003) Calculation of long-term erosion in Central Otago, New Zealand, based on erosional remnants of maar/tuff rings. *Zeitschrift für Geomorphologie* 47(1):29-49
- Németh K (2004a) Maarvulkánosság : Konferencia Magyarországon. *Természet világa : természettudományi közlöny* 135(9):403-405
- Németh K (2004b) Vulkánok és lávamezők a Szaharában: Líbia. *Természet Világa, Budapest, (Természettudományi Közlöny)* 135(1):24-27
- Németh K (2006) Vulkánkitörés Ambae szigetén, Vanuatun. *Természet Világa, Budapest, (Természettudományi Közlöny)* 137(3):130-131
- Németh K (2007) A kávakultúra - A csendes-óceáni szigetvilág vére. *Élet és tudomány* 62(51-52):1638-1640
- Németh K (2008a) In: Csanad N (ed) *My Fullbright Experience. Hungarian - American Commission for Educational Exchange, Budapest, pp 122-143*
- Németh K (2008b) Dunántúli párhuzamok a Távól-Kelettel - Csonkig kopott bazaltvulkánjaink. *Élet és tudomány* 63(9):272-275
- Németh K (2008c) Dunántúli párhuzamok a Távól-Kelettel - Vulkánmező a Sárga-tengeren. *Élet és tudomány* 63(8):240-243
- Németh K (2008d) Kuwae - egy szupervulkán nyomában. *Természet világa : természettudományi közlöny* 139(8):345-348
- Németh K (2010a) Monogenetic volcanic fields: Origin, sedimentary record, and relationship with polygenetic volcanism. In: Canon-Tapia E, Szakacs A (eds) *What Is a Volcano? Geological Society of America, Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper, 470, pp 43-66*
- Németh K (2010b) Volcanic glass textures, shape characteristics and compositions of phreatomagmatic rock units from the Western Hungarian monogenetic volcanic fields and their implications for magma fragmentation. *Central European Journal of Geosciences* 2(3):399-419
- Németh K (2011a) Délkelet-Ausztrália aktív vulkanizmusa. *Természet világa : természettudományi közlöny* 142(12):558-562
- Németh K (2011b) The rise and falls of a Surtseyan volcano: 2005 AD eruption of Ambae (Vanuatu, SW-Pacific). In: *AGU Fall Meeting 5 - 9 Dec 2011. American Geophysical Union, San Francisco*
- Németh K (2012) An overview of the monogenetic volcanic fields of the Western Pannonian Basin: Their field characteristics and outlook for future research from a global perspective In: Stoppa F (ed) "Updates in Volcanology - A Comprehensive Approach to Volcanological Problems". InTech, Rijeka, Croatia, pp 27-52
- Németh K (2014) Szaúd-Arábia a vulkánparadicsom? *Természet világa : természettudományi közlöny* 145(9):391-395
- Németh K (2016a) Az ismeretlen Belső-Mongólia. Rejtőzködő vulkánmezők. *Élet és tudomány* 71(8):240-242
- Németh K (2016b) A Wudalianchi-vulkánmező Kína határvidékén. A tűzhányók a semmi közepén. *Élet és tudomány* 71(23):710-712
- Németh K (2017a) A 8. földrész. Zélandia - a megkerült kontinens ? *Élet és tudomány* 72(14):430-433
- Németh K (2017b) A 8. földrész. Zélandia - az elsüllyedt kontinens ? *Élet és tudomány* 72(13):390-393
- Németh K, Aguilera F, Ureta G, Flores R (2019) An exceptional volcanic geodiversity in the Andean Central Volcanic Zone in Chile: the proposed Ollagüe Volcanic Geopark. In: *EGU General Assembly 2019. EGU, Vienna, pp EGU2019-11171-11174, 12019-EGU12019-11171-11174, 12019*
- Németh K, Agustin-Flores J, Briggs R, Cronin SJ, Kereszturi G, Lindsay JM, Pittari A, Smith IE (2012a) *Field guide: Monogenetic volcanism of the south Auckland and Auckland*

- volcanic fields. In: 4th International Maar Conference. Geoscience Society of New Zealand, Auckland, New Zealand, pp 1-57
- Németh K, Agustin-Flores J, Briggs R, Cronin SJ, Kereszturi G, Lindsay JM, Pittari A, Smith IEM (2012b) Field guide: Monogenetic volcanism of the South Auckland and Auckland Volcanic Fields. 4IMC Auckland, New Zealand 20-24 February 2012. Geoscience Society of New Zealand Miscellaneous Publication 131B. [ISBN 978-1-877480-16-4; ISSN Online 2230-4495; ISSN Print 2230-4487], pp. 1-72.
- Németh K, Breitzkreuz C, Wilke H (2003a) Volcano-sedimentary succession within an intra-arc related Jurassic large igneous province (LIP); La Negra Formation, northern Chile (a preliminary scientific report on the Br 997/22-1 DFG pilot project). Magyar Allami Földtani Intezet Evi Jelentese = Annual Report of the Hungarian Geological Institute 2002:233-256
- Németh K, Brenna M, Cronin SJ, Sohn YK, Smith IEM (2012a) A nested polymagmatic and polycyclic tuff ring and scoria cone complex at Chaguido (Jeju Island), South Korea. In: Fourth International Maar Conference: A Multidisciplinary Congress on Monogenetic Volcanism. Auckland, New Zealand, p 68
- Németh K, Brenna M, Cronin SJ, Sohn YK, Smith IEM (2012c) A nested polymagmatic and polycyclic tuff ring and scoria cone complex at Chaguido (Jeju Island), South Korea. In: 4th International Maar Conference. Geoscience Society of New Zealand, Auckland, New Zealand, pp 68-70
- Németh K, Cronin S, Smith I, Stewart R (2009a) Mechanisms of a maar-forming eruption through soft fine-grained sedimentary substrate: Orakei Basin, Auckland, New Zealand. In Haller MJ and Massaferrro GI (Eds) Abstract Volume of the IAVCEI-IAS 3rd International Maar Conference (Malargue, Argentina):83-84
- Németh K, Cronin SJ (2005a) The 1913 phreatomagmatic mafic explosive volcanism in western Ambrym, Vanuatu and its implications for volcanic hazard. In: SOPAC Technical Secretariat, Suva, Fiji, pp 49-50
- Németh K, Cronin SJ (2005b) Was the AD1435 Kuwae event (Vanuatu) really the largest explosive eruption in the SW Pacific in the last 1000 years?: Implications for regional hazard and global climate. In: Geological Society of New Zealand: 50th annual conference. Geological Society of New Zealand, Wellington, NZ, pp 58-59
- Németh K, Cronin SJ (2006a) Intra- and extra-caldera volcanoclastic facies architecture of a frequently active mafic island-arc volcano, Ambrym Island, Vanuatu. In: 17th International Sedimentological Congress. Fukuoka, Japan
- Németh K, Cronin SJ (2006b) Lava lakes and shallow magmatic feeding systems of mafic volcanoes of an ocean island Ambrym, Vanuatu (New Hebrides), South Pacific. In: Springer, Portree, Isle of Skye, Scotland, pp 76-78
- Németh K, Cronin SJ (2007a) The enigmatic giant tuff cone and ignimbrites of Ambrym, Vanuatu: A more conventional story of mafic caldera formation. In: International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) XXIV General Assembly. Perugia, Italy
- Németh K, Cronin SJ (2007b) Phreatomagmatic volcanoes at the rift edge of Ambae Island (Vanuatu, New Hebrides) and their potential role for volcanic hazard on ocean islands. In: International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) XXIV General Assembly. Perugia, Italy
- Németh K, Cronin SJ (2007c) Syn- and post-eruptive erosion, gully formation, and morphological evolution of a tephra ring in tropical climate erupted in 1913 in West Ambrym, Vanuatu. *Geomorphology* 86:115-130
- Németh K, Cronin SJ (2008) Volcanic craters, pit craters and high-level magma-feeding systems of a mafic island-arc volcano; Ambrym, Vanuatu, South Pacific. *Geological Society Special Publications* 302:87-102

- Németh K, Cronin SJ (2009a) Influences of soft substrate on the maar/tuff rings of the Auckland volcanic field, New Zealand. In: 7th International Conference on Geomorphology. Melbourne, VIC
- Németh K, Cronin SJ (2009b) Morphological characteristics of glassy pyroclasts from the AD 1913 rift-edge phreatomagmatic eruption on Ambrym, Vanuatu. In: 2009 American Geophysical Union Fall Meeting. San Francisco, CA
- Németh K, Cronin SJ (2009c) Phreatomagmatic eruption in ad 1913 in West Ambrym (Vanuatu, SW Pacific) and its implications for rift-edge phreatomagmatism in volcanic. In: Third International Maar Conference, Malargue, Argentina, pp 81-82
- Németh K, Cronin SJ (2009d) Phreatomagmatic volcanic hazards where rift-systems meet the sea, a study from Ambae Island, Vanuatu. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 180(2-4):246-258
- Németh K, Cronin SJ (2009e) Volcanic structures and oral traditions of volcanism of Western Samoa (SW Pacific) and their implications for hazard education. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 186(3):223-237
- Németh K, Cronin SJ (2011) Drivers of explosivity and elevated hazard in basaltic fissure eruptions: The 1913 eruption of Ambrym Volcano, Vanuatu (SW-Pacific). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 201(1-4):194-209
- Németh K, Cronin SJ, Charley D (2007a) Pitfalls of interpretation of volcanic eruptions on the basis of oral traditions: The AD 1452-53 "great Kuwae event" (Vanuatu). In: Cities on Volcanoes 5 Conference. Shimabara, Japan
- Nemeth K, Cronin SJ, Charley D, Harrison M, Garae E (2006) Exploding lakes in Vanuatu: "Surtseyan-style" eruptions witnessed on Ambae Island. *Episodes* 29(2):87-92
- Németh K, Cronin SJ, Charley D, Harrison M, Garae E (2006a) Exploding lakes in Vanuatu - "Surtseyan-style" eruptions witnessed on Ambae Island. *Episodes* 29(2):87-92
- Nemeth K, Cronin SJ, Haller MJ, Brenna M, Csillag G (2010) Modern analogues for Miocene to Pleistocene alkali basaltic phreatomagmatic fields in the Pannonian Basin: "soft-substrate" to "combined" aquifer controlled phreatomagmatism in intraplate volcanic fields. *Central European Journal of Geosciences* 2(3):339-361
- Németh K, Cronin SJ, Haller MJ, Brenna M, Csillag G (2010a) Modern analogues for Miocene to Pleistocene alkali basaltic phreatomagmatic fields in the Pannonian Basin: "soft-substrate" to "combined" aquifer controlled phreatomagmatism in intraplate volcanic fields. *Central European Journal of Geosciences* 2(3):339-361
- Németh K, Cronin SJ, Lolo F, Leavasa M, Solomona DS, Nelson F (2007b) Volcanic evolution, oral traditions of volcanism of Western Samoa (SW Pacific) and their volcanic hazard implications. In: Geological Society of New Zealand Miscellaneous Publication 123A, Tauranga, NZ, p 113
- Nemeth K, Cronin SJ, Smith IEM (2011a) Did the AD 1452 Kuwae eruption have global climatic impact? In: Goldschmidt Conference. Geochemical Society and the European Association of Geochemistry, Prague, Czech Republic, pp 1531-1531
- Németh K, Cronin SJ, Smith IEM, Flores JA (2012d) Amplified hazard of small-volume monogenetic eruptions due to environmental controls, Orakei Basin, Auckland Volcanic Field, New Zealand. *Bulletin of Volcanology* 74(9):2121-2137
- Németh K, Cronin SJ, Stewart RB, Charley D (2009b) Intra- and extra-caldera volcanoclastic facies and geomorphic characteristics of a frequently active mafic island-arc volcano, Ambrym Island, Vanuatu. *Sedimentary Geology* 220(3-4):256-270
- Németh K, Cronin SJ, Stewart RB, Smith IEM, Wysoczanski R (2008a) Eruptive mechanisms of "soft substrate" maar/tuff ring volcanoes from the Auckland volcanic field (AVF); the Orakei maar/tuff ring. Geological Society of New Zealand Miscellaneous Publication 125A:157-157

- Németh K, Cronin SJ, White JDL (2006b) Kuwae caldera (Vanuatu) and climate confusion. *Eos Trans. AGU, Fall Meet. Suppl.*, vol87(52):Abstract V33C-0672
- Németh K, Csillag G (1999) Tapolcai Bazalt Formáció [Tapolca Basalt Formation]. In: Budai T, Csillag G (eds) *A Balaton-felvidék földtana [Geology of the Balaton Highland]*. Geological Institute of Hungary, Budapest, Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary, 197, pp 114-122
- Németh K, Csillag G, Martin U (2001) Lepusztult freatomagmás vulkáni kráter és kürtőkitörés-roncsok (diatrémák) a Bakony-Balaton-felvidék vulkáni területen. *A Magyar Állami Földtani Intézet évi jelentése (2001):83-99*
- Németh K, Csillag G, Martin U (2002a) Reconstruction of Mio/Pliocene landscape evolution in the western Pannonian Basin based on erosion remnants of monogenetic volcanic fields. In: Fodor L (ed) *Workshop on Neotectonics and Landscape Evolution of the Pannonian Basin, 27-31 August 2002*. Geological Institute of Hungary, Budapest
- Németh K, El-Masry N, Moufti MR (2014a) Are the Pleistocene Jabal Akwa monogenetic volcanoes in the Jizan region (SW Saudi Arabia) partially buried maar-scoria cone complexes? *Geoscience Society of New Zealand Miscellaneous Publication 139A:77-78*
- Németh K, El-Masry N, Moufti MR (2014b) First evidence of phreatomagmatic volcanism in Harrat Al Birk along the Tihamat Asir in SW Saudi Arabia. In: *5th International Maar Conference*. Universidad Nacional Autónoma de México, Queretaro, México, pp 39-40
- Németh K, El-Masry N, Moufti MR (2015) Role and Volcanic Hazard Implications of newly identified Evidences of Phreatomagmatic Volcanism in Harrat Al Birk (Tihamat Asir) in SW Saudi Arabia. In: *KAUST workshop on Imaging and Active Tectonics of the Red Sea Region*. King Abdullah University of Science and Technology (KAUST), Saudi Arabia
- Németh K, Goth K, Martin U, Csillag G, Suhr P (2008b) Reconstructing paleoenvironment, eruption mechanism and paleomorphology of the Pliocene Pula maar, (Hungary). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 177(2):441-456
- Németh K, Gravis I, Németh B (2021d) Dilemma of Geoconservation of Monogenetic Volcanic Sites under Fast Urbanization and Infrastructure Developments with Special Relevance to the Auckland Volcanic Field, New Zealand. *Sustainability* 13(12)
- Németh K, Haller MJ, Martin U, Risso C, Massaferró G (2008c) Morphology of lava tumuli from Mendoza (Argentina), Patagonia (Argentina), and Al-Haruj (Libya). *Zeitschrift Fur Geomorphologie* 52(2):181-194
- Németh K, Kereszturi G (2015) Monogenetic volcanism: personal views and discussion. *International Journal of Earth Sciences* 104(8):2131-2146
- Németh K, Kósik S (2020a) Review of Explosive Hydrovolcanism. *Geosciences* 10(2):44
- Németh K, Kósik S (2020b) The role of hydrovolcanism in the formation of the Cenozoic monogenetic volcanic fields of Zealandia. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*:1-26
- Németh K, Kósik S (2020c) The role of hydrovolcanism in the formation of the Cenozoic monogenetic volcanic fields of Zealandia. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 63(4):402-427
- Németh K, Li B, Palmer J, Palmer A, Procter J, Wu J (2020) The youngest multiple long-lived volcanic systems and the role of fissure eruptions in Arxan-Chaihe, NE China. In: *8th International Maar Conference*. IVS FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, pp 46-46
- Németh K, Martin U (2007) Shallow sill and dyke complex in western Hungary as a possible feeding system of phreatomagmatic volcanoes in "soft-rock" environment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 159(1-3):138-152
- Németh K, Martin U (1999a) Large hydrovolcanic field in the Pannonian Basin: general characteristics of the Bakony- Balaton Highland Volcanic Field, Hungary. *Acta Vulcanologica* 11(2):271-282

- Németh K, Martin U (1999b) Late Miocene paleo-geomorphology of the Bakony-Balaton Highland Volcanic Field (Hungary) using physical volcanology data. *Zeitschrift für Geomorphologie* 43(4):417-438
- Németh K, Martin U (2001) *Gyakorlati vulkanológia [Practical volcanology]*. Geological Institute of Hungary, Budapest, p 134
- Németh K, Martin U (2007) Practical volcanology; lecture notes for understanding volcanic rocks from field based studies. *Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary* 207:221-221
- Németh K, Martin U, Csillag G (2007a) Pitfalls in erosion level calculation based on remnants of maar and diatreme volcanoes. *Geomorphologie: Relief, Processus, Environnement* 2007(3):225-236
- Németh K, Martin U, Csillag G (2003b) Calculation of erosion rates based on remnants of monogenetic alkaline basaltic volcanoes in the Bakony-Balaton highland volcanic field (Western Hungary) of mio/pliocene age. *Geolines* 15:102-106
- Németh K, Martin U, Csillag G (2007c) Pitfalls in erosion level calculation based on remnants of maar and diatreme volcanoes. *Geomorphologie-Relief Processus Environnement* 2007(3):225-235
- Németh K, Martin U, Csillag G, Anonymous (2002b) Calculation of erosion rates based on remnants of mono-genetic alkaline basaltic volcanoes in the Bakony-Balaton Highland volcanic field (western Hungary) of Mio/Pliocene age. *Geolines (Prague)* 15:102-106
- Németh K, Martin U, Haller MJ, Alric VL (2007b) Cenozoic diatreme field in Chubut (Argentina) as evidence of phreatomagmatic volcanism accompanied with extensive Patagonian plateau basalt volcanism? *Episodes* 30(3):217-223
- Németh K, Martin U, Harangi S (2001) Miocene phreatomagmatic volcanism at Tihany (Pannonian Basin, Hungary). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 111(1-4):111-135
- Németh K, Martin U, Harangi S (1999) Miocene maar/diatreme volcanism at the Tihany Peninsula (Pannonian Basin): The Tihany Volcano. *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae, Budapest* 42(4):349-377
- Németh K, Martin U, Harangi S (2000) On the calculation of the geometry of the diatreme pipe from a deposits of an "accidental lithic clast rich" maar, Tihany East Maar, (Hungary). *Terra Nostra* 6:383-391
- Németh K, McGee L (2010) Styles of phreatomagmatism recorded in the pyroclastic successions of Auckland's maars and tuff rings: Field guide. In: *GeoNZ 2010*. University of Auckland, New Zealand, pp 1-47
- Németh K, McGee L, Smith IEM, Cronin SJ, Lindsay JM (2010b) Gradual eruption style changes reflecting the governing role of external water at Motokorea Island, Auckland volcanic field (AVF). *Geoscience Society of New Zealand Miscellaneous Publication* 129A:200
- Németh K, Moufti MR (2017) Geoheritage Values of a Mature Monogenetic Volcanic Field in Intra-continental Settings: Harrat Khaybar, Kingdom of Saudi Arabia. *Geoheritage* 9(3):311-328
- Németh K, Moufti MR, El-Masry N, Qaddah A, Pécskay Z (2014c) Maars over cones: Repeated volcanism in the same location along fissures in western Saudi Arabian volcanic fields. In: *5th International Maar Conference*. Queretaro, México, pp 2-3
- Németh K, Moufti R (2013) Monogenetic volcanic fields and their geoheritage values of western Saudi Arabia and their implication to holistic geoeducation projects locally and globally (Invited). In: *American Geophysical Union, Fall Meeting 2013*, abstract id. ED13F-0813, pp ED13F-0813
- Németh K, Palmer J (2019) Geological mapping of volcanic terrains: Discussion on concepts, facies models, scales, and resolutions from New Zealand perspective. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 385:27-45

- Németh K, Risso C, Maeno F, Anonymous (2009c) Different eruption mechanisms forming similar landforms; large maars and small calderas from Argentina and Japan. Programme with Abstracts - International Geomorphology Conference 7:Abstract no. 50
- Nemeth K, Risso C, Nullo F, Kereszturi G (2011b) The role of collapsing and cone rafting on eruption style changes and final cone morphology: Los Morados scoria cone, Mendoza, Argentina. *Central European Journal of Geosciences* 3(2):102-118
- Németh K, Risso C, Nullo F, Kereszturi G (2011a) The role of collapsing and cone rafting on eruption style changes and final cone morphology: Los Morados scoria cone, Mendoza, Argentina. *Central European Journal of Geosciences* 3(2):102-118
- Németh K, Risso C, Nullo F, Smith I (2009d) Silicic pumiceous tuff ring of los loros in Mendoza (Argentina). In: *Asociacion Geologica Argentina, Malague, Argentina*, pp 85-86
- Nemeth K, Risso C, Nullo F, Smith IEM, Pecsckay Z (2012b) Facies architecture of an isolated long-lived, nested polygenetic silicic tuff ring erupted in a braided river system: The Los Loros volcano, Mendoza, Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 239:33-48
- Németh K, Stewart R (2010) Volcanic glass textures from pyroclasts of the AD 1913 rift-edge phreatomagmatic eruption, Ambrym Island, Vanuatu. In: *Department of Mineralogy, Geochemistry and Petrology, University of Szeged, Budapest, Hungary*, pp 41-41
- Németh K, Stewart RB (2011) Miocene - Pliocene effusive and explosive shallow subaqueous volcanism in the northern Chatham Island, SW-Pacific: evidence for the dominantly submerged nature of Zealandia microcontinent. In: *Submarine and emergent volcanic arcs and associated volcano-sedimentary basins: Facies models, petrology and volcano-tectonics. Cabo de Gata, Almeria, SE Spain*, pp 79-79
- Németh K, Stewart RB, Pécsckay Z (2011b) Miocene-Pliocene effusive and explosive shallow subaqueous volcanism in the northern Chatham Island, SW Pacific; evidence for the dominantly submerged nature of the Zealandia Microcontinent. *Geoscience Society of New Zealand Miscellaneous Publication 130A:79*
- Németh K, Stewart RB, Pécsckay Z (2013) Episodically rejuvenating Cenozoic subaqueous mafic monogenetic volcanism in the Chatham Island (SW-Pacific). In: *Basalt 2013 Conference on Cenozoic Magmatism in Central Europe. Czech Geological Survey Prague & Senckenberg Museum of Natural History Görlitz, Prague/Goerlitz*, pp 170-171
- Németh K, Suwesi SK, Peregi Z, Gulacsi Z, Ujszaszi J, Anonymous (2002c) Plio/Pleistocene flood basalt related scoria and spatter cones, rootless lava flows, and pit craters, Al Haruj al Abyad, Libya. *Geolines (Prague)* 15:107-112
- Németh K, Ureta G, Aguilera F (2018) Volcanic geoheritage as a tool for promoting community-based geoheritage projects: Ollague Geopark. In: *XV Congreso Geologico Chileno. Concepcion*
- Németh K, White C (2006) Intravent peperites in an eroded phreatomagmatic volcano of the Western Snake River Plain Volcanic Field Idaho (USA) and their implication for field-wide eruptive environment reconstruction. *Geological Society of New Zealand Miscellaneous Publications 122A:58*
- Németh K, White C (2007) Viz alatti volt-e a mio-pliocen vulkanosság a Snake-síksági vulkanvideken (Idaho, USA)? Terepi megfigyelesek, mint az oszkornyezeti rekonstrukcio eszközei. *Magyar Allami Foldtani Intezet Evi Jelentese = Annual Report of the Hungarian Geological Institute* 2005:77-94
- Nemeth K, White CM (2009) Intra-vent peperites related to the phreatomagmatic 71 Gulch Volcano, western Snake River Plain volcanic field, Idaho (USA). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 183(1-2):30-41

- Németh K, White CM (2009) Intra-vent peperites related to the phreatomagmatic 71 Gulch Volcano, western Snake River Plain volcanic field, Idaho (USA). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 183(1-2):30-41
- Nemeth K, White JDL (2003) Reconstructing eruption processes of a Miocene monogenetic volcanic field from vent remnants: Waipiata Volcanic Field, South Island, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 124(1-2):1-21
- Németh K, White JDL, Reay A, Martin U (2003c) Compositional variation during monogenetic volcano growth and its implications for magma supply to continental volcanic fields. *Journal of the Geological Society of London* 160(4):523-530
- Nemeth K, Wu J, Sun C, Liu J (2017) Update on the Volcanic Geoheritage Values of the Pliocene to Quaternary Arxan-Chaihe Volcanic Field, Inner Mongolia, China. *Geoheritage* 9(3):279-297
- Németh K, Wu J, Sun C, Liu J (2017) Update on the volcanic geoheritage values of the Pliocene to Quaternary Arxan-Chaihe Volcanic Field, Inner Mongolia, China. *Geoheritage* 9(3):279-297
- Nieto-Torres A, Martin Del Pozzo AL (2019) Spatio-temporal hazard assessment of a monogenetic volcanic field, near Mexico City. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 371:46-58
- Ollier CD (1964) Tumuli and lava blisters of Victoria, Australia. *Nature* 202(493):1284-1285
- Ort MH, Wohletz K, Hooten JA, Neal CA, McConnel VS (2000) The Ukinrek maars eruption, Alaska, 1977: a natural laboratory for the study of phreatomagmatic processes at maars. *Terra Nostra* 2000/6:396-400
- Osorio P, Botero-Gómez LA, Murcia H, Borrero C, Grajales JA (2018) Campo volcánico monogenético Villamaría-Termale, Cordillera Central, Andes colombianos (Parte II): Características composicionales. *Boletín de Geología* 40(3):103-123
- Parcheta C, Fagents S, Swanson DA, Houghton BF, Ericksen T (2012) Hawaiian Fissure Fountains: Quantifying Vent and Shallow Conduit Geometry, Episode 1 of the 1969-1974 Mauna Ulu Eruption. In: *American Geophysical Union Chapman Conference on Hawaiian Volcanoes - From Source to Surface*. Hi, pp 369-391
- Pardo N, Avellan DR, Macias JL, Scolamacchia T, Rodriguez D (2008) The approximately 1245 yr BP Asososca Maar; new advances on recent volcanic stratigraphy of Managua (Nicaragua) and hazard implications. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 176(4):493-512
- Pardo N, Cronin SJ, Németh K, Brenna M, Schipper CI, Breard E, White JDL, Procter J, Stewart B, Agustin-Flores J, Moebis A, Zernack A, Kereszturi G, Lube G, Auer A, Neall V, Wallace C (2014) Perils in distinguishing phreatic from phreatomagmatic ash; insights into the eruption mechanisms of the 6 August 2012 Mt. Tongariro eruption, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 286:397-414
- Pardo N, Macias JL, Giordano G, Cianfarra P, Avellan DR, Bellatreccia F (2009) The similar to 1245 yr BP Asososca maar eruption: The youngest event along the Nejapa-Miraflores volcanic fault, Western Managua, Nicaragua. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 184(3-4):292-312
- Parfitt EA, Wilson L (1995) Explosive volcanic-eruptions .9. The transition between Hawaiian-style lava fountaining and Strombolian explosive activity. *Geophysical Journal International* 121(1):226-232
- Parfitt EA, Wilson L, Neal CA (1995) Factors influencing the height of Hawaiian lava fountains: Implications for the use of fountain height as an indicator of magma gas content. *Bulletin of Volcanology* 57(6):440-450
- Park I, Jolly A, Matoza RS, Kennedy B, Kilgour G, Johnson R, Garaebiti E, Cevuard S (2021) Seismo-acoustic characterisation of the 2018 Ambae (Manaro Voui) eruption, Vanuatu. *Bulletin of Volcanology* 83(9)

- Parsons T, Howie JM, Thompson GA (1992) Seismic constraints on the nature of lower crustal reflectors beneath the extending Southern Transition Zone of the Colorado Plateau, Arizona. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth* 97(B9):12391-12407
- Parsons T, McCarthy J, Kohler WM, Ammon CJ, Benz HM, Hole JA, Criley EE (1996) Crustal structure of the Colorado Plateau, Arizona: Application of new long-offset seismic data analysis techniques. *Journal Of Geophysical Research-Solid Earth* 101(B5):11173-11194
- Pécskay Z, Haller MJ, Németh K (2007) Preliminary K/Ar geochronology of the Crater Basalt Volcanic Field (CBVF), Northern Patagonia, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 62(1):25-29
- Peregi Z (2003) Geological map of Libya 1: 250,000, Sheet: Al Haruj al Abyad NG 33-8; Explanatory Booklet. Geological Institute of Hungary and Industrial Research Centre, Budapest - Tripoli, p 240
- Perez-Lopez R, Legrand D, Garduno-Monroy VH, Rodriguez-Pascua MA, Giner-Robles JL (2011) Scaling laws of the size-distribution of monogenetic volcanoes within the Michoacan-Guanajuato Volcanic Field (Mexico). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 201(1-4):65-72
- Peti L, Hopkins JL, Augustinus PC (2021) Revised tephrochronology for key tephras in the 130-ka Orakei Basin maar core, Auckland Volcanic Field, New Zealand: implications for the timing of climatic changes. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 64(2-3):235-249
- Pioli L, Erlund E, Johnson E, Cashman K, Wallace R, Rosi M, Granados HD (2008) Explosive dynamics of violent Strombolian eruptions: The eruption of Paricutin Volcano 1943-1952 (Mexico). *Earth And Planetary Science Letters* 271(1-4):359-368
- Pirrung M, Büchel G, Lorenz V, Treutler H-C (2008) Post-eruptive development of the Ukinrek East Maar since its eruption in 1977 A.D. (Southwest Alaska). *Sedimentology* 55(2):305-334
- Pirrung M, Buechel G, Lorenz V (2005) Post-eruptive Entwicklung des 1977 eruptierten Ukinrek Ostmaares (SW-Alaska). *Terra Nostra (Bonn)* 2005-3:125-126
- Pirrung M, Fischer C, Buchel G, Gaupp R, Lutz H, Neuffer FO (2003) Lithofacies succession of maar crater deposits in the Eifel area (Germany). *Terra Nova* 15(2):125-132
- Pittari A, Briggs R, Ilanko T, Gibson A, Rosenberg M, Nemeth K (2012) Variation in deposit characteristics and eruption processes across the lifetime of a monogenetic field, the South Auckland volcanic field. In: 4th International Maar Conference. Geoscience Society of New Zealand, Auckland, New Zealand
- Auckland, pp 70-71
- Presta JF, Caffè PJ (2014) Eruptive history of monogenetic volcanoes from El Toro (23 degrees 05 ' S-66 degrees 42 ' W), northern Puna, Argentina. *Andean Geology* 41(1):142-173
- Re G, White JDL, Muirhead JD, Ort MH (2016) Subterranean fragmentation of magma during conduit initiation and evolution in the shallow plumbing system of the small-volume Jagged Rocks volcanoes (Hopi Buttes Volcanic Field, Arizona, USA). *Bulletin of Volcanology* 78(8)
- Riggs NR, Duffield WA (2008) Record of complex scoria cone eruptive activity at Red Mountain, Arizona, USA, and implications for monogenetic mafic volcanoes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 178(4):763-776
- Risso C, Németh K (2009) Field guide to phreatomagmatic volcanism in association with a high density scoria cone field: Malacara Tuff Cone and Carapacho Tuff Ring in the Llancanelo volcanic field near Malargue City, Mendoza Province, Argentina. In: 3rd International Maar Conference, Malargue, Argentina, p unpagged
- Risso C, Nemeth K, Combina AM, Nullo F, Drosina M (2008) The role of phreatomagmatism in a Plio-Pleistocene high-density scoria cone field: Llancanelo Volcanic Field (Mendoza), Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 169(1-2):61-86

- Risso C, Németh K, Nullo F (2009) Field guide to Payun Matru and Llanquanelo volcanic fields, Malargue-Mendoza. In: 3IMC International Maar Conference, Malargue, Argentina, p unpagued
- Risso C, Németh K, Nullo F, Inbar M (2010) "Circular features" on old solidified lava flow fields associated with some young scoria cones from Llanquanelo and Payun Matru volcanic fields; Mendoza Province, Argentina. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* 51, Supplement:83-85
- Risso C, Prezzi C, Julia Orgeira M, Nullo F, Margonari L, Nemeth K (2015) Inverse step toes in Las Bombas volcano, as an evidence of explosive volcanism in a solidified lava flow field. Southern Mendoza-Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 63:360-374
- Robin C, Eissen J-P, Monzier M (1993) Giant tuff cone and 12-km-wide associated caldera at Ambrym Volcano (Vanuatu, New Hebrides Arc). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 55(3-4):225-238
- Robin C, Monzier M, Eissen JP (1994) Formation of the mid-15th century Kuwae caldera (Vanuatu) by an initial hydroclastic and subsequent ignimbritic eruption. *Bulletin of Volcanology* 56(3):170-183
- Ross PS, Delpit S, Haller MJ, Németh K, Corbella H (2011) Influence of the substrate on maar-diatreme volcanoes - An example of a mixed setting from the Pali Aike volcanic field, Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 201(1-4):253-271
- Rossi MJ, Gudmundsson A (1996) The morphology and formation of flow-lobe tumuli on Icelandic shield volcanoes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 72(3-4):291-308
- Rouwet D, Nemeth K, Tamburello G, Calabrese S, Issa (2021) Volcanic Lakes in Africa: The VOLADA_Africa 2.0 Database, and Implications for Volcanic Hazard. *Frontiers in Earth Science* 9
- Runge MG, Bebbington MS, Cronin SJ, Lindsay JM, Moufti MR (2016) Integrating geological and geophysical data to improve probabilistic hazard forecasting of Arabian Shield volcanism. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 311:41-59
- Ruz J, Browning J, Cembrano J, Iturrieta P, Gerbault M, Sielfeld G (2020) Field observations and numerical models of a Pleistocene-Holocene feeder dyke swarm associated with a fissure complex to the east of the Tatara-San Pedro-Pellado complex, Southern Volcanic Zone, Chile. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 404
- Sakamaki T, Suzuki A, Ohtani E, Terasaki H, Urakawa S, Katayama Y, Funakoshi K, Wang YB, Hernlund JW, Ballmer MD (2013) Ponded melt at the boundary between the lithosphere and asthenosphere. *Nature Geoscience* 6(12):1041-1044
- Salazar-Muñoz N, Ríos de la Ossa CA, Murcia H, Schonwalder-Ángel D, Botero-Gómez LA, Hincapié G, da Silva JC, Sánchez-Torres L (2021) Andesitic (SiO₂: ~60 wt%) monogenetic volcanism in the northern Colombian Andes: Crystallisation history of three Quaternary volcanoes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 412:107194
- Sanchez MC, Sarrionandia F, Ibarguchi JIG (2014) Post-depositional intrusion and extrusion through a scoria and spatter cone of fountain-fed nephelinite lavas (Las Herreras volcano, Calatrava, Spain). *Bulletin of Volcanology* 76(9)
- Schmincke H-U, Rausch J, Kutterolf S, Freundt A (2010) Walking through volcanic mud: the 2,100 year-old Acahualinca footprints (Nicaragua) II: the Acahualinca people, environmental conditions and motivation. *International Journal of Earth Sciences* 99:S279-S292
- Scott JM, Pontesilli A, Brenna M, White JDL, Giacalone E, Palin JM, le Roux PJ (2020) The Dunedin Volcanic Group and a revised model for Zealandia's alkaline intraplate volcanism. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*:1-20
- Self S, Kienle J, Huot JP (1980) Ukinrek Maars, Alaska 2. Deposits and formation of the 1977 craters. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 7(1-2):39-65

- Seton M, Williams S, Mortimer N, Meffre S, Micklethwaite S, Zahirovic S (2019) Magma production along the Lord Howe Seamount Chain, northern Zealandia. *Geological Magazine* 156(9):1605-1617
- Sheth H (2018a) Flood Basalt Landscapes. In: *A Photographic Atlas of Flood Basalt Volcanism*. Springer, pp 7-31
- Sheth H (2018b) Igneous Processes and Magmatic Diversity in Flood Basalt Provinces. In: *A Photographic Atlas of Flood Basalt Volcanism*. Springer, pp 237-273
- Sheth H (2018c) Morphology and Architecture of Flood Basalt Lava Flows and Sequences. In: *A Photographic Atlas of Flood Basalt Volcanism*. Springer, pp 33-79
- Sheth HC (2007) 'Large Igneous Provinces (LIPs)': Definition, recommended terminology, and a hierarchical classification. *Earth-Science Reviews* 85(3-4):117-124
- Sheth HC, Canon-Tapia E (2015) Are flood basalt eruptions monogenetic or polygenetic? *International Journal of Earth Sciences* 104(8):2147-2162
- Siebe C, Arana-Salinas L, Abrams M (2005) Geology and radiocarbon ages of Tlaloc, Tlacotenco, Cuauhtzin, Hijo del Cuauhtzin, Teuhtli, and Ocusacayo monogenetic volcanoes in the central part of the Sierra Chichinautzin, Mexico. *Journal Of Volcanology And Geothermal Research* 141(3-4):225-243
- Sieron K, Cerrillo SFJ, Gonzalez-Zuccolotto K, Cordoba-Montiel F, Connor CB, Connor L, Tapia-McClung H (2021) Morphology and distribution of monogenetic volcanoes in Los Tuxtlas Volcanic Field, Veracruz, Mexico: implications for hazard assessment. *Bulletin of Volcanology* 83(7)
- Sigurdsson H (2000) Volcanic episodes and rates of volcanism. In: Sigurdsson H, Houghton BF, McNutt SR, Rymer H, Stix J (eds) *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego, pp 271-279
- Smith IEM, Blake S, Wilson CJN, Houghton BF (2008) Deep-seated fractionation during the rise of a small-volume basalt magma batch: Crater Hill, Auckland, New Zealand. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 155 (4):511-527 [DOI 510.1007/s00410-00007-00255-z]
- Smith IEM, Brenna M, Cronin SJ (2021) The magma source of small-scale intraplate monogenetic volcanic systems in northern New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 418
- Smith IEM, Cronin SJ (2021) Geochemical patterns of late Cenozoic intraplate basaltic volcanism in northern New Zealand and their relationship to the behaviour of the mantle. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 64(2-3):201-212
- Smith IEM, Németh K (2017) Source to surface model of monogenetic volcanism: a critical review In: Németh K, Carrasco-Nuñez G, Aranda-Gomez JJ, Smith IEM (eds) *Monogenetic Volcanism*. The Geological Society Publishing House, Bath, UK, Geological Society of London, Special Publications, 446, pp 1-28
- Sohn C, Sohn YK (2019) Distinguishing between primary and secondary volcanoclastic deposits. *SCIENTIFIC REPORTS* 9
- Sohn YK (1996) Hydrovolcanic processes forming basaltic tuff rings and cones on Cheju Island, Korea. *Geological Society of America Bulletin* 108(10):1199-1211
- Sohn YK, Chough SK (1989) Depositional processes of the Suwolbong Tuff Ring, Cheju Island (Korea). *Sedimentology* 36(5):837-855
- Sohn YK, Cronin SJ, Brenna M, Smith IEM, Nemeth K, White JDL, Murtagh RM, Jeon YM, Kwon CW (2012) Ilchulbong tuff cone, Jeju Island, Korea, revisited: A compound monogenetic volcano involving multiple magma pulses, shifting vents, and discrete eruptive phases. *Geological Society of America Bulletin* 124(3-4):259-274
- Sohn YK, Cronin SJ, Brenna M, Smith IEM, Németh K, White JDL, Murtagh RM, Jeon YM, Kwon CW (2011) Ilchulbong tuff cone, Jeju Island, Korea, revisited; a compound monogenetic

- volcano involving multiple magma pulses, shifting vents, and discrete eruptive phases. *Geological Society of America Bulletin* 124(3-4):259-274
- Sohn YK, Park KH (2005) Composite tuff ring/cone complexes in Jeju Island, Korea: possible consequences of substrate collapse and vent migration. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 141(1-2):157-175
- Sonder I, Graettinger AH, Valentine GA (2015) Scaling multiblast craters: General approach and application to volcanic craters. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth* 120(9):6141-6158
- Stephenson PJ, Burch-Johnston AT, Stanton D, Whitehead PW (1998) Three long lava flows in north Queensland. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth* 103(B11):27359-27370
- Stewart RB, Németh K (2012) Evidence for sporadic Eocene to Pliocene effusive and explosive subaqueous volcanism in northern Chatham Island, SW-Pacific. In: 4th International Maar Conference. Geoscience Society of New Zealand, Auckland, New Zealand, pp 84-85
- Stewart RB, Németh K, Pécskay Z (2014) Construction of surtseyan volcanoes at Cape Young and Maunganui Bluff, northern Chatham Island. *Geoscience Society of New Zealand Miscellaneous Publication* 139A:100-101
- Sumner JM (1998) Formation of clastogenic lava flows during fissure eruption and scoria cone collapse: the 1986 eruption of Izu-Oshima Volcano, eastern Japan. *Bulletin of Volcanology* 60(3):195-212
- Sun C, Liu J, You H, Németh K (2017a) Tephrostratigraphy of Changbaishan volcano, northeast China, since the mid-Holocene. *Quaternary Science Reviews* 177:104-119
- Sun C, Liu Q, Wu J, Németh K, Wang L, Zhao Y, Chu G, Liu J (2017b) The first tephra evidence for a Late Glacial explosive volcanic eruption in the Arxan-Chaihe volcanic field (ACVF), northeast China. *Quaternary Geochronology* 40:109-119
- Sun C, Liu Q, Wu J, Németh K, Wang L, Zhao Y, Chu G, Liu J (2017c) The first tephra evidence for a Late Glacial explosive volcanic eruption in the Arxan-Chaihe volcanic field (ACVF), northeast China. *Quaternary Geochronology* 40:109-119
- Sun C, Németh K, Zhan T, You H, Chu G, Liu J (2019) Tephra evidence for the most recent eruption of Laoheishan volcano, Wudalianchi volcanic field, northeast China. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 383:103-111
- Sutherland FL (1998) Origin of north Queensland Cenozoic volcanism: Relationships to long lava flow basaltic fields, Australia. *Journal Of Geophysical Research-Solid Earth* 103(B11):27347-27358
- Takada A (1994) The influence of regional stress and magmatic input on styles of monogenetic and polygenetic volcanism. *Journal of Geophysical Research* 99(B7):13,563-513,573
- Tanaka KL, Shoemaker EM, Ulrich GE, Wolfe EW (1986) Migration of volcanism in the San Francisco volcanic field, Arizona. *Geological Society of America Bulletin* 97:129-141
- Tchamabe BC, Ohba T, Kereszturi G, Németh K, Aka FT, Youmen D, Issa, Miyabuchi Y, Ooki S, Tanyileke G, Hell JV (2015) Towards the reconstruction of the shallow plumbing system of the Barombi Mbo Maar (Cameroon) Implications for diatreme growth processes of a polygenetic maar volcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 301:293-313
- Thordarson T, Larsen G (2007) Volcanism in Iceland in historical time: Volcano types, eruption styles and eruptive history. *Journal of Geodynamics* 43(1):118-152
- Thouret JC, Németh K (2011) Special issue on volcano geomorphology 'Landforms, processes and hazards': Introduction. *Geomorphology* 136(1):1-5
- Torres I, Németh K, Ureta G (2020) Origen, evolución y caracterización del enigmático campo de flujo de lava El País, Norte de Chile. In: 1st ALVO Congress. Antofagasta, Chile

- Torres I, Németh K, Ureta G, Aguilera F (2021) Characterization, origin, and evolution of one of the most eroded mafic monogenetic fields within the central Andes: The case of El Pais lava flow field, northern Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 105
- Ufnar DF, Smith DP, White JDL (1995) Preservation potential of ultrabasic volcanic sand in an arid intracontinental setting - Will the Hopi Buttes maar-diatreme field be preserved in the rock record. *Journal of Sedimentary Research Section A - Sedimentary Petrology and Processes* 65(1):99-104
- Ureta G, Aguilera F, Németh K, Inostroza M, Gonzalez C, Zimmer M, Menzies A (2020a) Transition from small-volume ephemeral lava emission to explosive hydrovolcanism: The case of Cerro Tujle maar, northern Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 104
- Ureta G, Aguilera F, Németh K, Menzies A (2018a) Cerro Tujle maar, southeast of the Salar de Atacama Basin, Chile: Morphological, petrographic and geochemical analysis. Abstract Volume of IAVCEI – 7th International Maar Conference Olot, Spain (May 21 to 25, 2018 [ISBN 978-84-09-01627-3]):130-131
- Ureta G, Kósik S, del Rio I, Aguilera F, Németh K, Gonzales C, Jaldin D, Inostroza M, Layana S, Esquivel A (2018b) Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry application to morphometric analysis on monogenetic volcanoes a tool for generating low-cost high-resolution DEM in northern Chile. In: XV Congreso Geológico Chileno. Concepcion, pp 987-987
- Ureta G, Németh K, Aguilera F (2020b) Emplacement model of maar volcanoes in Altiplano-Puna (Northern, Chile). In: 8th International Maar Conference. IVS FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, pp 34-34
- Ureta G, Németh K, Aguilera F, Gonzales C, Scheinost A, Osses G (2018c) Peperite formation during a phreatomagmatic eruption at Cerro Tujle volcano, northern Chile. In: XV Congreso Geológico Chileno. Concepcion, pp 989-989
- Ureta G, Németh K, Aguilera F, Gonzalez R (2020c) Features That Favor the Prediction of the Emplacement Location of Maar Volcanoes: A Case Study in the Central Andes, Northern Chile. *Geosciences* 10(12)
- Ureta G, Németh K, Aguilera F, Kósik S (2019) Scoria cones of the Quaternary Ollagüe Volcanic Field, Central Andean Volcanic Zone, northern Chile. In: Németh K, Kosik S (eds) IAVCEI Fifth International Volcano Geology Workshop. Geoscience Society of New Zealand, Palmerston North, New Zealand, pp 93-94
- Ureta G, Németh K, Aguilera F, Zimmer M, Menzies A (2021) A window on mantle-derived magmas within the Central Andes: eruption style transitions at Cerro Overo maar and La Albondiga lava dome, northern Chile. *Bulletin of Volcanology* 83(4)
- Ureta G, Németh K, Scheinost A, ., Osses G, González C, Menzies A (2018d) Toloncha volcano, Central Volcanic Zone, northern Chile: Morphological, petrographic and geochemical analysis Abstract Volume XV Congreso Geológico Chileno, Concepcion 19-25 November, 2018
- Ureta G, Velandia J, Németh K, Kósik S, Todde A, Aguilera F (2018e) Evidences of water influenced Strombolian style explosive eruptions forming scoria cones at Punatekahi, Taupo Volcanic Zone, New Zealand. In: XV Congreso Geológico Chileno. Concepcion, pp 1033-1033
- Valentine GA, Connor CB (2015) Chapter 23 - Basaltic Volcanic Fields. In: Sigurdsson H (ed) *The Encyclopedia of Volcanoes (Second Edition)*. Academic Press, Amsterdam, pp 423-439
- Valentine GA, Fisher RV (2000) Pyroclastic surges and blasts. In: Sigurdsson H, Houghton BF, McNutt SR, Rymer H, Stix J (eds) *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego, pp 571-580
- Valentine GA, Graettinger AH, Sonder I (2014) Explosion depths for phreatomagmatic eruptions. *Geophysical Research Letters* 41(9):3045-3051

- Valentine GA, Gregg TKP (2008a) Continental basaltic volcanoes - Processes and problems. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 177(4):857-873
- Valentine GA, Gregg TKP (2008b) Continental basaltic volcanoes; processes and problems. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 177(4):857-873
- Valentine GA, Krier D, Perry FV, Heiken G (2005) Scoria cone construction mechanisms, Lathrop Wells volcano, southern Nevada, USA. *Geology* 33(8):629-632
- Valentine GA, Krogh KEC (2006) Emplacement of shallow dikes and sills beneath a small basaltic volcanic center - The role of pre-existing structure (Paiute Ridge, southern Nevada, USA). *Earth and Planetary Science Letters* 246(3-4):217-230
- Valentine GA, Perry FV (2006) Decreasing magmatic footprints of individual volcanoes in a waning basaltic field. *Geophysical Research Letters* 33(14):SI:000239577800008
- Valentine GA, Perry FV (2007) Tectonically controlled, time-predictable basaltic volcanism from a lithospheric mantle source (central Basin and Range Province, USA). *Earth and Planetary Science Letters* 261:201-216
- Valentine GA, Perry FV, Krier D, Keating GN, Kelley RE, Cogbill AH (1996) Small-volume basaltic volcanoes: Eruptive products and processes, and post-eruptive geomorphic evolution in Crater Flat (Pleistocene), southern Nevada. *GSA Bulletin* 118 (11/12):1313-1330
- Valentine GA, Perry FV, Krier D, Keating GN, Kelley RE, Coghill AH (2006) Small-volume basaltic volcanoes: Eruptive products and processes, and post-eruptive geomorphic evolution in Crater Flat (Pleistocene), southern Nevada. *Geological Society of America Bulletin* 118(11-12):1313-1330
- van den Hove J, Grose L, Betts PG, Ailleres L, Van Otterloo J, Cas RAF (2017) Spatial analysis of an intra-plate basaltic volcanic field in a compressional tectonic setting: South-eastern Australia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 335:35-53
- Vazquez JA, Ort MH (2006) Facies variation of eruption units produced by the passage of single pyroclastic surge currents, Hopi Buttes volcanic field, USA. *Journal Of Volcanology And Geothermal Research* 154(3-4):222-236
- Vergnolle S (1996) Bubble size distribution in magma chambers and dynamics of basaltic eruptions. *Earth and Planetary Science Letters* 140(1-4):269-279
- Vergnolle S, Brandeis G (1996) Strombolian explosions .1. A large bubble breaking at the surface of a lava column as a source of sound. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth* 101(B9):20433-20447
- Vergnolle S, Brandeis G, Mareschal JC (1996) Strombolian explosions .2. Eruption dynamics determined from acoustic measurements. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth* 101(B9):20449-20466
- Vergnolle S, Manga M (2000) Hawaiian and strombolian eruptions. In: Sigurdsson H, Houghton BF, McNutt SR, Rymer H, Stix J (eds) *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego, pp 447-461
- Vespermann D, Schmincke H-U (2000) Scoria cones and tuff rings. In: Sigurdsson H, Houghton BF, McNutt SR, Rymer H, Stix J (eds) *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego, pp 683-694
- Vilches M, Ureta G, Németh K (2020a) Dinámica de flujos de lava al sur del Salar de Atacama: volcanes de Tilocálar y el campo monogenético Negros de Aras. In: 1st ALVO Congress. Antofagasta, Chile
- Vilches M, Ureta G, Németh K, Aguilera F, Aguilera M (2020b) Lava flow dynamics for volcanic risk assessment in the Negros de Aras monogenetic volcanic field (northern Chile). In: 8th International Maar Conference. IVS FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, pp 72-72
- von Veh MW, Nemeth K (2009) An assessment of the alignments of vents on geostatistical analysis in the Auckland Volcanic Field, New Zealand. *Geomorphologie-Relief Processus Environnement* (3):175-186

- Wahab AA, Maaty MAA, Stuart FM, Awad H, Kafafy A (2014) The geology and geochronology of Al Wahbah maar crater, Harrat Kishb, Saudi Arabia. *Quaternary Geochronology* 21:70-76
- Walker GPL (1993) Basaltic-volcano systems. In: Prichard HM, Alabaster, T., Harris, N.B.W. & Nearly, C.R. (ed) *Magmatic Processes and Plate Tectonics*. Geological Society, London, Special Publications, 76, pp 3-38
- Walker GPL (1999) Volcanic rift zones and their intrusion swarms. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 94:21-34
- Weinstein Y (2007) A transition from strombolian to phreatomagmatic activity induced by a lava flow damming water in a valley. *Journal Of Volcanology And Geothermal Research* 159(1-3):267-284
- White JDL (1989) Basic elements of maar-crater deposits in the Hopi Buttes volcanic field, Northeastern Arizona, USA. *Journal of Geology* 97:117-125
- White JDL (1990) Depositional architecture of a maar-pitted playa; sedimentation in the Hopi Buttes volcanic field, northeastern Arizona, U.S.A. *Sedimentary Geology* 67(1-2):55-84
- White JDL (1991a) The depositional record of small, monogenetic volcanoes within terrestrial basins. *Special Publication - Society of Economic Paleontologists and Mineralogists* 45:155-171
- White JDL (1991b) Maar-diatreme phreatomagmatism at Hopi Buttes, Navajo Nation (Arizona), USA. *Bulletin of Volcanology* 53:239-258
- White JDL (1996) Pre-emergent construction of a lacustrine basaltic volcano, Pahvant Butte, Utah (USA). *Bulletin of Volcanology* 58:249-262
- White JDL (2001) Eruption and reshaping of Pahvant Butte volcano in Pleistocene Lake Bonneville. In: White JDL, Riggs NR (eds) *Volcaniclastic sedimentation in lacustrine settings*. Blackwell Sciences, Oxford, UK, Special Publication of the International Association of Sedimentologists, 30, pp 61-80
- White JDL, Houghton BF (2000) Surtseyan and related eruptions. In: Sigurdsson H, Houghton B, McNutt S, Rymer H, Stix J (eds) *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, New York, pp 495-512
- Wijbrans J, Németh K, Martin U, Balogh K (2007) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of Neogene phreatomagmatic volcanism in the western Pannonian Basin, Hungary. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 164(4):193-204
- Wilson CJN, Houghton BF, McWilliams MO, Lanphere MA, Weaver SD, Briggs RM (1995a) Volcanic and structural evolution of Taupo Volcanic Zone, New-Zealand - A review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 68(1-3):1-28
- Wilson L, Parfitt EA, Head JW (1995b) Explosive Volcanic-Eruptions .8. The Role of Magma Recycling in Controlling the Behavior of Hawaiian-Style Lava Fountains. *Geophysical Journal International* 121(1):215-225
- Witt T, Walter TR (2017) Video monitoring reveals pulsating vents and propagation path of fissure eruption during the March 2011 Pu'u 'O'o eruption, Kilauea volcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 330:43-55
- Witt T, Walter TR, Muller D, Gudmundsson MT, Schoepa A (2018a) The Relationship Between Lava Fountaining and Vent Morphology for the 2014-2015 Holuhraun Eruption, Iceland, Analyzed by Video Monitoring and Topographic Mapping. *Frontiers in Earth Science* 6
- Witt T, Walter TR, Muller D, Gudmundsson MT, Schopa A (2018b) The Relationship Between Lava Fountaining and Vent Morphology for the 2014-2015 Holuhraun Eruption, Iceland, Analyzed by Video Monitoring and Topographic Mapping. *Frontiers in Earth Science* 6
- Witter JB, Self S (2007) The Kuwae (Vanuatu) eruption of AD 1452: potential magnitude and volatile release. *Bulletin of Volcanology* 69(3):301-318

- Wolff JA, Sumner JM (2000) Lava fountains and their products. In: Sigurdsson H, Houghton BF, McNutt SR, Rymer H, Stix J (eds) *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego, pp 321-329
- Wood C (1980a) Morphometric analysis of cinder cone degradation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 8:137-160
- Wood CA (1977) Cinder cones on Earth, Moon, and Mars. *Transactions-American Geophysical Union* 58(6):425-425
- Wood CA (1980b) Morphometric evolution of cinder cones. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 7:387-413
- Wylie JJ, Helfrich KR, Dade B, Lister JR, Salzig JF (1999) Flow localization in fissure eruptions. *Bulletin of Volcanology* 60(6):432-440
- Yokoyama I (2020) Clusters of small monogenetic cones: a particular type of confined volcanism. 2020 62(6)
- Younger ZP, Valentine GA, Gregg TKP (2019) 'A'a lava emplacement and the significance of rafted pyroclastic material: Marcath volcano (Nevada, USA). *Bulletin of Volcanology* 81(9)
- Zakharovskiy V, Nemeth K (2021) Quantitative-Qualitative Method for Quick Assessment of Geodiversity. *Land* 10(9)
- Zakharovskiy V, Németh K (2021) Quantitative-qualitative method for quick assessment of geodiversity. *Land* 10(9)
- Zarazua-Carbajal MC, De la Cruz-Reyna S (2020) Morpho-chronology of monogenetic scoria cones from their level contour curves. Applications to the Chichinautzin monogenetic field, Central Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 407
- Zawacki EE, Clarke AB, Arrowsmith JR, Bonadonna C, Lynch DJ (2019) Tecolote volcano, Pinacate volcanic field (Sonora, Mexico): A case of highly explosive basaltic volcanism and shifting eruptive styles. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 379:23-44
- Zhang M, Guo Z, Liu J, Liu G, Zhang L, Lei M, Zhao W, Ma L, Sepe V, Ventura G (2018) The intraplate Changbaishan volcanic field (China/North Korea): A review on eruptive history, magma genesis, geodynamic significance, recent dynamics and potential hazards. *Earth-Science Reviews* 187:19-52
- Zhao YW, Fan QC, Zou HB, Li N (2014) Geochemistry of Quaternary basaltic lavas from the Nuomin volcanic field, Inner Mongolia: Implications for the origin of potassic volcanic rocks in Northeastern China. *Lithos* 196:169-180
- Zimanowski B, Buttner R, Lorenz V, Hafele HG (1997) Fragmentation of basaltic melt in the course of explosive volcanism. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth* 102(B1):803-814
- Zimanowski B, Frohlich G, Lorenz V (1991) Quantitative Experiments on Phreatomagmatic Explosions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 48(3-4):341-358
- Zimanowski B, Lorenz V, Frohlich G (1986) Experiments on phreatomagmatic explosions with silicate and carbonatitic melts. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 30:149-153