

VULCANOI KITÖRÉSEK BIZONYÍTÉKAI A CSOMÁD TŰZHÁNYÓN

LAJKÓ MIKLÓS

Földtudományi szak

FÖLDRAJZ-FÖLDTUDOMÁNYI INTÉZET

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM

TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

LEZÁRVA: BUDAPEST, 2012. JANUÁR 9.

TÉMAVEZETŐK:

**DR. HARANGI SZABOLCS TANSZÉKVEZETŐ EGYETEMI TANÁR (ELTE TTK, KÖZETTAN-
GEOKÉMIAI TANSZÉK)**

KISS BALÁZS (ELTE TTK, KÖZETTAN-GEOKÉMIAI TANSZÉK)

Tartalomjegyzék

1. Bevezető

2. Földtani háttér

3. Kutatás

3.1. Kutatási módszerek

3.2. Kutatási eredmények

3.2.1. Repedéshálózat vizsgálat

3.2.2. Kőzettani elemzés

3.2.2.1. Kézipéldány vizsgálatok

3.2.2.2. Mikroszkópiai vizsgálatok

4. Diskusszió

4.1. Vulcanoi kitörések jellemzői

4.2. Vulcanoi kitörések a Csomád tűzhányón

4.2.1. Repedésrendszerek

4.2.2. Szerkezeti bélyegek

4.3. Kitörés előtti kürtőállapot

4.4. Kitörési modell

5. Konklúzió

6. Köszönetnyilvánítás

7. Irodalomjegyzék

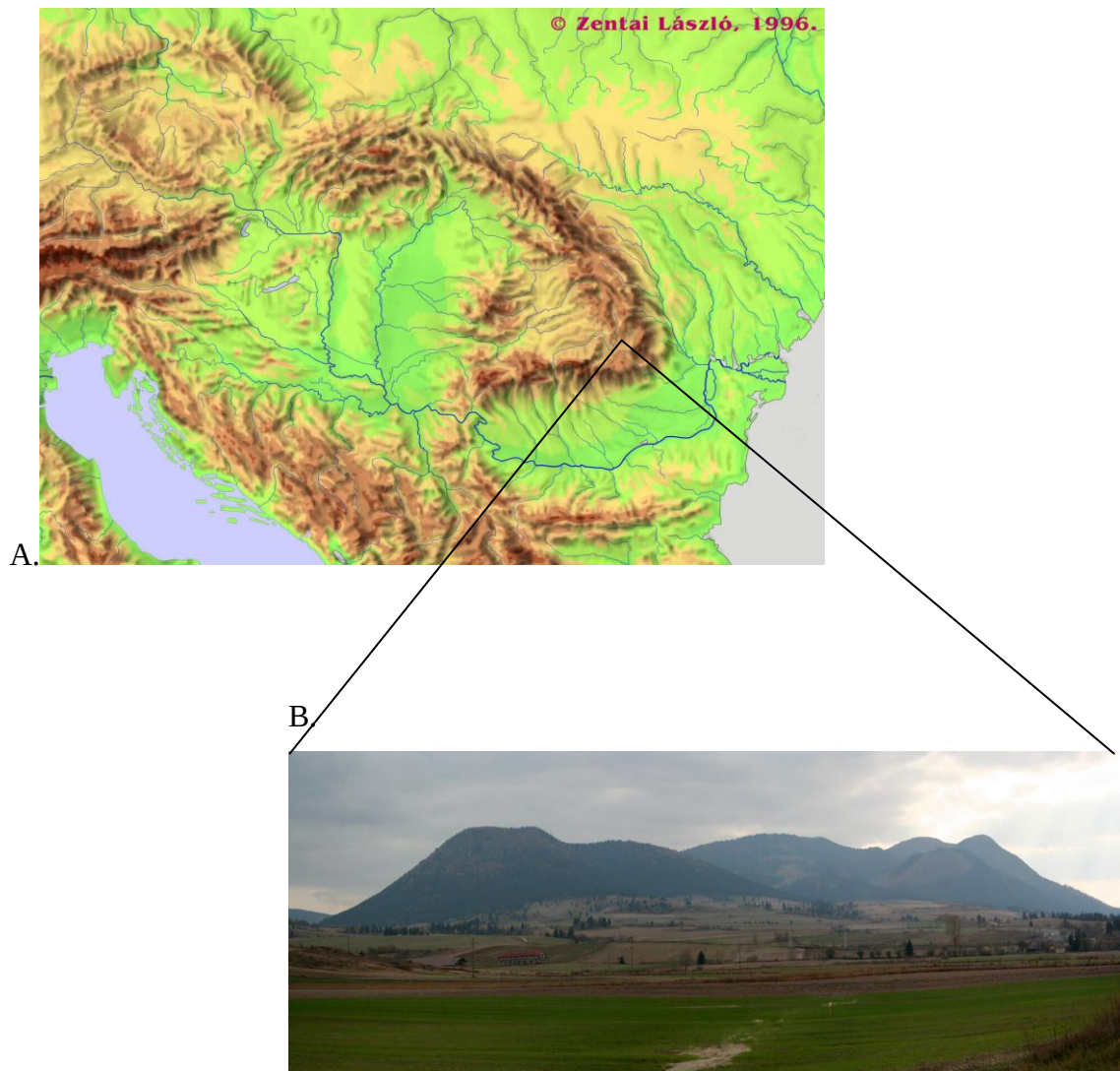
1. Bevezető

A Pannon-medence 30 ezer évvel ezelőtt működött tűzhányóját, a Csomádot, korábban már vizsgálták lemeztektonikai, közettani szempontból, amelyek alapján kitörési modell is készült. A tűzhányó környezetében fellelhető vulkáni produktumok közül a vulkáni bombák részletes vizsgálata nem történt meg e területen, mindössze terepi leírások, fényképek készültek, melyek során megemlítették az adott minták jelenlétét, de pontos laboratóriumi, petrográfiai vizsgálatok alá nem került a mintaanyag. A vulkáni bombákkal világviszonylatban is csak néhány tűzhányó esetében foglalkoztak közettani és geokémiai szempontból. A területről a kutatócsoport által begyűjtött kézิปéldányok szolgáltak a vizsgálat alapjául, elemzési kiindulási pontként a más tűzhányókon végzett, kenyérhéjbombákra irányuló, vagy azt tartalmazó kutatási anyag szolgált. A begyűjtött, vulkáni bombáknak vélt mintaanyagot laboratóriumi körülmények között, petrográfiailag részletesen megvizsgáltuk és dokumentáltuk. A minták ezt követően elvágásra kerültek, belőlük vékonycsiszolat készült, amelyeket pásztázó elektronmikroszkópos módszerekkel vizsgálat alá helyeztünk. A kapott mérési eredményeket, valamint a kézิปéldányokon és vékonycsiszolatokon megfigyelt következtetéseket egymással összhangban ábrázoltuk, dokumentáltuk és elemeztük, a különböző módszerrel készült eredményeket korreláltuk. A következtetéseket összevetettük a más tűzhányókon talált mintaanyaggal, valamint az adott tűzhányó esetében alkalmazott és használt kitörési modellekkel. A más tűzhányókon leírt kitörési mechanizmusokat összevetve a saját elképzelésünkkel, felállítottunk egy kitörési modellt a Csomádra tűzhányóra vonatkozóan, amely során leírtuk a minták kürtőben elfoglalt helyét a kitörést megelőzően. Ezt követően a saját elemzéseink, valamint a más tűzhányókon megfigyelt kitörési viselkedés alapján, a minták kitörés során időben elfoglalt helyét és szerepét is meghatároztuk. Az így előállt kürtőfelépítés és kitörési modell alapján igazolni tudtuk, hogy a Csomád vulkáni területen vulcanoi kitörések zajlottak, amelyek modellje korrelálható más, dácitos tűzhányókon megfigyelt, tapasztalt és vizsgált kitörési modellekkel és eseményekkel.

2. Földtani háttér

Geográfiai elhelyezkedés

A Csomád tűzhányó geográfiai szempontból a Keleti Kárpátok-ban, Románia területén, Csíkszeredától mintegy 60 km-re helyezkedik el (1.ábra). A Csomádon magát a vulkáni felépítményt értjük, egyéb hasonló nevű természeti, vagy társadalmi képződményhez nem kötődik. A vulkáni felépítményt két egymástól függetlenül elhelyezkedő krátert képezi. Az egyik krátert a Szent Anna tó tölti ki , a másik képződményben a Mohos lápot találjuk. A vulkáni felépítmény felszínét jelentős részben erdő borítja , amelyet patakok törnek meg.



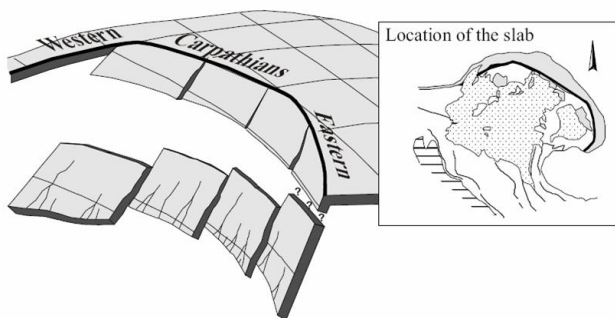
1.ábra A Csomád vulkáni komplexum elhelyezkedése a Kárpát medencében (A.) és a vulkáni felépítmény északi oldalának fényképe (B.).

Geodinamikai elhelyezkedés

A Kárpát-Pannon régió területén egy óceáni kőzetlemez alábukása történt az ALCAPA lemez alá, mely során képződött egy ív mögötti medence, a Pannon medence. A Kelemen-Görgény-Hargita vulkáni vonulat szubdukciós eredetét először Bleahu, Rădulescu és Săndulescu valamint Boccaletti fogalmazzák meg egymástól függetlenül, 1973-ban. A vulkáni vonulat geodinamikai elhelyezkedéseit és kapcsolatait illetően a szubdukciós elmélet ma általánosan elfogadott.

Az óceáni Európai lemez szubdukálódása a miocén elején indult meg, majd dél-keleti irányban, ívet követve haladt tovább (Szabó et al., 1992). A kontinentális lemezek kollíziójával, valamint lemezleszakadással ért véget, amely észak-dél irány mentén történt. Egyetlen kőzetlemez szubdukció zajlik jelenleg a területen, amely közepes és nagy mélységű földrengések kipattanásához vezet. Ezek a földrengések a Vrancea övezetben jelentkeznek (Rădulescu et al., 1972). A vulkanizmus a szubdukciós eseményeket némi időeltolódással kísérte (Rădulescu et al., 1972).

A kőzetlemez szubdukciójának folyamatos déli irányú vándorlása figyelhető meg, amelyet ferde lefutású szubdukcióval indokolnak (2. ábra). A lemez északi részének sebessége eltér a déli részétől: az északi rész 17,5 km/millió év, a déli rész pedig 7,8 km/millió év sebességgel halad.



2. ábra Wenzel et al. (2002) modellje a Keleti-Kárpátok-ban zajlott szubdukcióról.

Geológiai elhelyezkedése

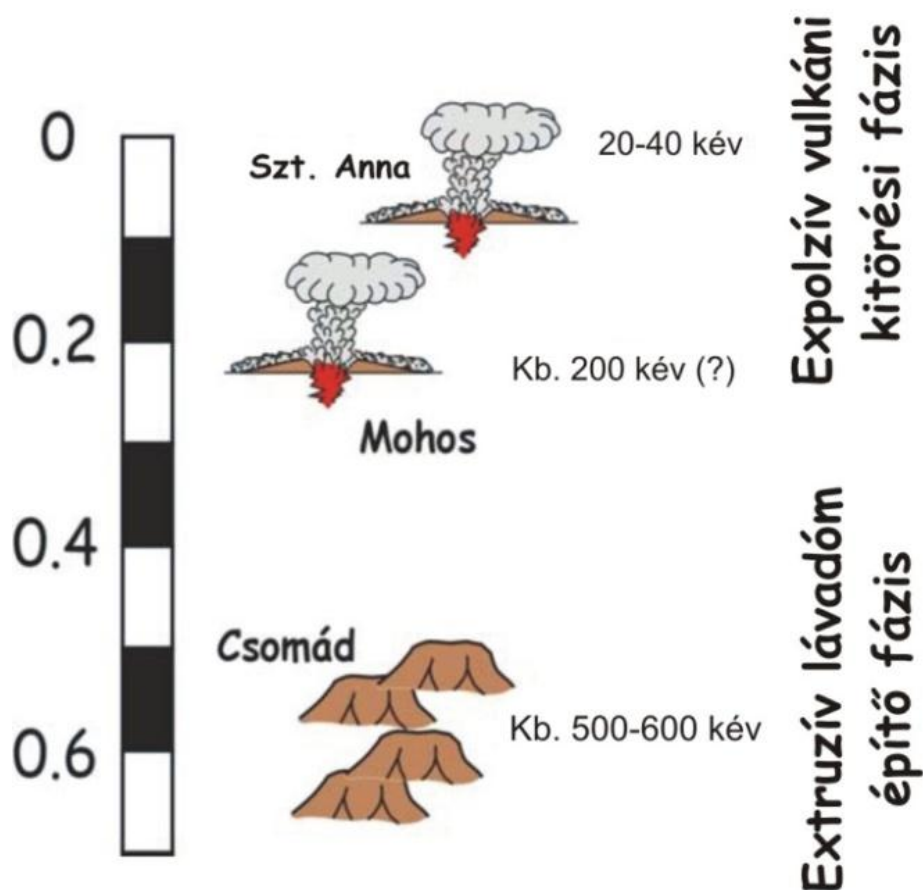
Geológiai szempontból a Kárpát-Pannon régió, Kelemen-Görgény-Hargita vulkáni ívének déli elvégződésében helyezkedik el. Vulkáni működése a Kárpát-Pannon régió neogén-kvarter vulkanizmusához köthető. A térségben a vulkanizmus folyamata délkeleti irányban egyre fiatalabbnak tekinthető, a legidősebb vulkanizmus a Kelemen-Görgény-Hargita térségben a kelemen havasokhoz kötődnek, amelynek vulkanizmusa 11,3 és 6,7 millió év közé tehető. A Görgényi havasokban 7,5 millió évvel ezelőtt kezdődtek meg és 5,3 millió évvel ezelőtt értek véget. Felbontva, az Észak-Hargita vulkáni működése 6,5-3,9 millió évvel ezelőtt, a Dél-Hargita vulkáni működése pedig 6-2,4 millió évvel ezelőtt zajlott (Seghedi et al., 2005). A vulkáni működés ezt követően fél millió évig szünetelt, majd a megújult vulkanizmus során megkezdődött a Csomád tűzhányó felépülése. A Csomád tűzhányó terepi leírása már a század elejéről származó munkákban is fellelhető. Pontosabb mérési munkák, valamint koradatok a kilencvenes évek elejéről származnak (Kiss Balázs, 2009). Az újabb kutatások a tűzhányó lávadómjaira irányultak, azok közül is kiemelkedően a fiatal képződményekre koncentráltak, amelyeknek részletes ásványtani elemzése is elkészült (Kiss Balázs, 2009). A terepi leírások részeként megemlíthetők, repedezett dácit blokkok terepi dokumentálása (Szakács et al., 1989) amely során fényképek készültek, valamint utalások találhatók bizonyos vizsgálatok elvégzésére, azonban nincsenek pontos dokumentációk a munkafolyamatokról. A kutatás során begyűjtött mintaanyagot nem volt lehetőségem megtekinteni, a mintákról készült fényképeket nem elemeztem, munkámban nem használtam fel. A minták közül megemlítenek néhány sötét kéreggel rendelkező darabot, amelyeket vulkáni bombáknak tekintettek. A kérges szerkezetet nélkülöző dácit blokkokat piroszklasztoknak tekintették. A Csomád tűzhányó esetében két külön kitörési fázist különítettek el (Vinkler Anna Paula, 2005). Az első nagyobb fázis során zömében lávadóm építés zajlott, még a második fázis során robbanásos kitörésekkel jellemezhető szakasz következett (3.ábra) (Seghedi et al., 2005). Az első fázis építő, vulkáni felépítmény képző tevékenységével szemben a második fázis során a kürtőkialakító tevékenység kerül előtérbe. (Seghedi et al., 2005) Egyetlen esetben sem említettek vulcanoi típusú kitöréseket a korábban vázolt fázisok egyikében sem. Ezáltal látható, hogy a Csomád működésének robbanásos kitörésekkel jelzett szakasza nem ismert, működésének tulajdonságai tisztázatlanok. A Csomád vulkáni felépítménye körül dokumentált dácit mintaanyag vizsgálata hiányosan készült el, vulkáni működésben való jelző vagy egyéb szerepe nincs tisztázva.

Az első szakaszban lávadóm komplexum felépülése zajlott, amely A vulkanológiai rekonstrukció alapján az első fázis tisztán effuzív volt.

- 1-0,75 millió évek között felépül a Bálványos és Kis-Haram dómja
- 100 ezer éves szünet
- 650-500 ezer évvel ezelőtt kialakult Csomád többi vulkáni dómja is , amelyek közül a Kis- Csomádot kell kiemelni

A második fázisban jóval hevesebb volt a vulkáni működés, ekkor freatomagmás, szubplinuszi kitörések zajlottak.

- A Mohos majd a Szent-Anna, kráterek kialakulás
- Az utolsó robbanásos kitörések 30-40 ezer évvel ezelőtt.



3.ábra A Csomád tűzhányó működése két nagy fázisra osztható. Az első (korábbi) fázisban zömében lávadóm építő , azaz vulkáni felépítmény kialakító működés zajlott, majd ezt követte egy robbanásos kitörésekkel jellemzett , kráterkialakító szakasz. Vulcano kiörésekre eddig nincs bizonyíték. (Ábra: Kiss Balázs,2009)

A minták származási helye

Mintáim a Csomád tűzhányó korábban említett vulkáni felépítményének oldalában haladó Disznyó-patak völgyéből származnak (4. ábra) . A felszíni repedésekkel rendelkező blokkok képezik a mintaanyag tárgyát. A patak hordalékában voltak fellelhetőek, egyéb minták mellett. Rosszul osztályozottak, más megjelenésű mintáktól nem szeparálódtak (5. ábra). Nincsenek üledékbe ágyazva, sem lefedve. A patak hordalékából kézi eljárással eltávolíthatók. Az említett patak vize nem átlátszó, ismeretlen eredetű sárga színű szennyezőanyagot hordoz. (6.ábra) A szennyezőanyag megtalálható bizonyos minták felületén , a további kutatásban nem tartom számon , dolgozatomban ezt követően nem említem. A minták felszíni repedéseiben található törmeléket szintén szennyezőanyagnak tekintettem, mosás útján eltávolítottam, elemzést a törmeléken nem végeztem. A patakban történő szállítás nyoma bizonyos minták felületi simaságával írható le. Pontos érték és kategóriába sorolás a felületi érdesség szempontjából nem volt lehetséges, így a patakban való szállítás ideje és hossza nem ismert. A minták eredeti származási helye nem ismert. A vulkáni felépítmény különböző oldalán megfigyelhetőek az általam begyűjtött mintákhoz hasonló megjelenésű blokkok. A minták adott területen lévő sűrűsége alapján választottam az adott helyet mintavételre, az általam begyűjtött mintaanyagot reprezentatívnak tekintem.



4.ábra A Disznó-patak geográfiai elhelyezkedése a Csomád vulkáni felépítményen belül.



5.ábra A Disznópatak hordalékában szeparálatlanul heverő kőzetblokk repedései alapján különíthető el a környező hordaléktagoktól.



6.ábra A disznópata szennyezett vize és rosszul osztályozott hordaléka

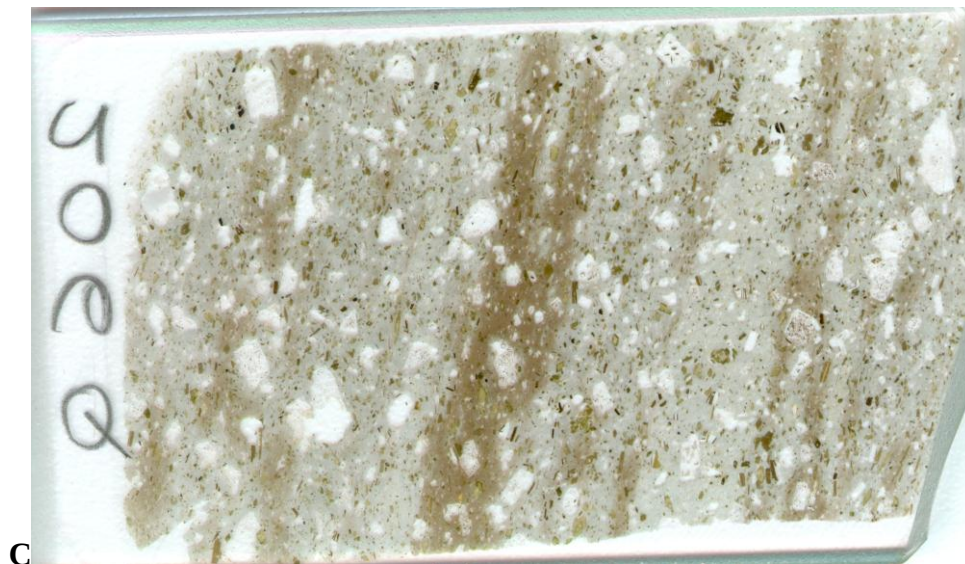
3. Kutatás

3.1. Kutatási módszerek

A kutatási területről begyűjtött mintaanyag , felületi tisztítást követően kézipéldány vizsgálaton esett át. A felületüket nyújtható átlátszó, szintelen csomagolófóliával fedtem be. A fólia felületére alkohol tartalmú toll segítségével felrajzoltam a felületi repedések vonalának lefutását. A fóliát kiterítve megkaptam a minták repedéshálózatainak síkba fejtett képét (8/A.ábra). Az így előállt vázlatot generalizálás nélkül , szkennelési eljárás során digitalizáltam. A repedések egymáshoz való elhelyezkedésén ívül egyéb mérésre nem kerülhetett sor, a fólia nyújthatóságából eredően hossz és szögtorzulás léphet fel. Ezt követően a minták elvágásra kerültek, belső szerkezeti vizsgálatok céljából (8/B ábra). A mintadarabokból közszeletek kerültek levágásra, amelyek egyes részeiből vékonycsiszolatok készültek. A csiszolatok polírozási és szenezési eljárást követően pásztázó elektronmikroszkópban lettek vizsgálva. Polarizációs mikroszkópia módszerrel nem vizsgáltam a csiszolatokat, a mikroszkópos munka során az alapanyagra koncentráltam, amelyet nem tudtam polarizációs mikroszkópban elemezni. A mikroszópikus vizsgálatok során fényképek készültek a jelentősebb szöveti bélyegekről, illetve markáns ásványokról. A

geokémiai környezetbe nem illő, illetve furcsa megjelenésű ásványi alkotókról spektrumok készültek.





C

8.ábra Kutatási módszerek produktumai A) Repedéshálózat a minta megfelelő oldalán (balra) és az adott oldal repedéshálózatának fóliára átrajzolt, síkba fejtett képe (jobbra) , B) Minta vágatlan állapotban (balra) és vágott állapotban (jobbra) , C)Vékonycsiszolat szkennelési eljárással digitalizált változata

3.2.Kutatási eredmények

3.2.1. Repedéshálózat vizsgálatok

A repedések szélessége nem egységes, még mintán belül sem. A széles repedések keresztmetszete jellemzően „V” alakot formál, a minta belseje fel keskenyebb, legszélesebb a felszínen. A „V” alakú repedések szélessége elérheti az 1 cm-es nagyságot. A keskeny repedések szélessége nem változik a repedés mélységével, szélességük nagysága max. 1 mm. A repedések mélysége szintén változó minták között, azonban mintán belül egységesnek tekinthető az azonos szélességű minták esetében. A repedések nem szükségszerűen fedik a minták teljes felületét. Egyes oldalakon is megjelenhetnek repedésmentes részek, illetve a minták bizonyos oldalairól teljesen hiányozhatnak. A repedéseket a minták környezetéből származó üledék és törmelék fedte több esetben. Az említett törmelékes részeket szennyeződésnek tekintettem, kézi mosás útján eltávolítottam őket. További vizsgálatukra nem került sor, későbbiekben nem említem őket. A fent említett repedések egymással kapcsolatban állnak, repedésrendszert alkotva, amelyekről síkban való ábrázolással vizsgálatot végeztem. A minták felszínét nyújtható csomagolófóliával vontam be, ezt követően a minták repedéseit alkoholos tollal átrajzoltam. Az így kapott ábrát, a fóliát kiterítve síkba tudtam fejteni. Az így kapott ábrázolást szkennelési eljárással digitalizáltam. Az így előállt repedési hálózati képen vizsgálhatóak a repedések által bezárt szöget, irányok, illetve az egységes kép. A repedések vastagsága és nyitottsága nem lett ábrázolva a módszerrel. A nyújthatóságból eredően, felszínmérésre alkalmatlan az említett módszer. A hálózati képeket megvizsgálva összefüggések és hasonlóságok fedezhetőek fel a különböző mintákon található rendszerek között. A hasonlóságok alapján csoportokba rendeztem a mintákat.

„Ágas” szerkezet- Ennél a repedésrendszer fajtánál a repedések egy pontból indulnak ki, különböző irányokba. Egymást nem keresztezik, önmagukat nem metszik el, kiindulási pontjukba nem térnek vissza. Ezáltal „faág”-hoz hasonló repedési rendszer írható le, amelynél néhány esetben fellelhetőek sokszöges alakzatok, de nem lesznek meghatározóak a rendszerben. (9.ábra)

Poligonális (sokszöges) szerkezet- A repedések nem köthetőek egy adott kiindulási ponthoz. Egymást keresztezik, önmagukat metszhetik és önmagukba visszatérnek. Ezáltal sokszögszerű alakzatokból álló hálózatot alkotnak. A sokszög formák mérete és alakja eltérhet minták között és mintán belül is. (10. ábra)



9.ábra Az Ágas repedésrendszert alkotó repedések egy pontból indulnak különböző irányokba, egymást nem metszik és önmagukba vissza nem térnek.



10.ábra A Poligonális repedésrendszer repedései nem köthetők egy kiindulási ponthoz, egymás irányait elmetszve sokszöges szerkezeteket hoznak létre.

3.2.2.Kőzettani elemzés

3.2.2.1.Kézipéldány vizsgálatok

Három alkotót tudtam elkülöníteni a minták kézipéldány vizsgálata során. A minták alapvetően fenokristályokból, alapanyagból és buboréküregekből állnak. A minták jelentős részénél megtalálhatóak fenokristályok az alapanyagban. Néhány mintánál megfigyelhetők törött fenokristály példányok is. A minták színét alapvetően az alapanyag határozza meg, így az alapanyag ismertetésénél alapvetően színbeli tulajdonságról beszélünk a kézipéldány vizsgálatain belül. A minták színrendszerébe a világos sárgás-szürke megjelenéstől, a szürke szín különböző árnyalatú változatain át, a feketéig sorolhatjuk bele a látottakat. Egy mintán belül több szín és több árnyalat is előfordulhat, egy adott árnyalat több mintán is megjelenhet. A minta színrendszerébe nem illő, szennyeződésből származó színváltozások előfordultak, sárga sávok és foltok formájában. Ezeket a szennyeződések nem helyeztem vizsgálat alá, a továbbiakban nem említem őket. A buborékosságot a kézipéldányokon a teljesség igénye nélkül tudtam vizsgálni. Bizonyos minták egyes részein megfigyelhetők felhabzott, illetve kevésbé felhabzott részek. Némely mintában szabad szemmel is látható buboréküregek fedezhetően fel, amelyek az őket körülvevő alapanyagtól és kristályoktól élesen elkülönülnek. A külső és belső megfigyelések után a látottakat összegezve, a mintákat csoportokra osztottam. A csoportok kialakításának alapvető irányelve a mintákon megfigyelhető szerkezeti bélyegek egymáshoz való viszonya, mérete, elhelyezkedése, esetleges jellegzetes szerkezeti bélyegei. A továbbiakban az egyes csoportokat részletesen ismertetem.(5.ábra)

a) Mag-perem szerkezetek

A minták felszínhez közeli részét, jól elkülöníthető módon a minta belső részétől, egy koncentrikusan megjelenő sáv alkotja. A külső sáv színe a sötét szürkétől a feketéig terjedhet, és mindenképpen sötétebb a belső résznél. A minta belső része nem sávos felépítésű, egységes képet mutat, mint szín, mint buborékosság tekintetében. (11.ábra) A külső sötét sávot ezt követően „peremnek”, a belső, egységes tömbként kezelt részt „magnak” nevezem. A továbbiakban, a mag-perem szerkezetű blokkokra a „kenyérháj dácit” elnevezést alkalmazom. Ezek a minták tipikus kenyérháj blokkok. A kenyérháj dácitok mérete változó, pár cm-es hosszútól és szélességtől, a 30-40 cm-es hosszú és 20 cm-es szélességig terjednek. A mag vastagsága jelentős eltérést mutathat minták között, azonban mintán belül pár mm-es eltéréseket leszámítva egységes. A vastagsága 2 cm-től a 4, 5 cm-ig terjed. Színe egységes az adott mintán belül. Megjelenését tekintve nem minden minta esetében mutat egységes képet.

A minta egyes részeinél halványabb megjelenést mutathat, esetleg nehezen kivehető, ritkán eltűnhet. A peremen belül bizonyos mintáknál buborékok fedezhetőek fel, ebben az esetben a minta teljes peremén megtalálhatóak. A peremen belül is fellelhetőek fenokristályok. A korábban említett repedések áthatolhatnak a peremen és elérhetik a magot. A mag, általában felhabzott jelleget mutat és világos szürke színű. Átmérője változó, a minta méretétől függ. Bizonyos mintákat nem sikerült hiánytalanul begyűjteni, csak töredékeket találtam, így ebben az esetben nem lehet pontosan meghatározni a minta méreteit. A magról méretbeli adatok nem készültek. A magon belül is találhatóak fenokristályok.

b) Sávok blokkok

Az adott csoportba sorolt mintákon a színek megjelenése a mintán sávok formában történik. A sávok elhelyezkedése egymáshoz képest lineáris jelleget mutat, ami csalóka, mert természetesen térbeli megjelenésről és nem sík vagy vonalbeli elrendeződésről beszélhetünk (12.ábra). A sávok által kijelölt „vonalak” nem szükségesen párhuzamosak egymással. (12.ábra) A sávok megjelenése mintánként eltérő lehet, mint elhelyezkedés, mint szín szempontjából. Bizonyos mintákon a sötét, közel fekete színű sávok dominálnak, őket néhány világosabb sáv töri meg. Más mintákon a helyzet fordított, a világos sávok dominanciája figyelhető meg. Néhány esetben néhány sáv a minta belseje felé haladva megváltoztatja irányát. A sávok vastagsága nem egységes mintán belül és minták között is éles eltéréseket mutat. Szélességük a pár mm-től a pár cm-ig terjed. A sávok leggyakrabban végighaladnak a minta teljes térfogatán, síkszerű felépítést létrehozva. Bizonyos minták esetében azonban a sávok a minta belsejében elvégeződnek. A sávok egy mintán belül eltérő buborékossággal rendelkezhetnek, bizonyos esetekben a buboréküregek szabad szemmel is nagyon jól láthatóak. A Sávok blokkok felületén minden esetben megtalálhatóak a korábban említett repedések. A repedések iránya és elrendezése egyetlen esetben függ a sávosság megjelenésétől. Azoknál a mintáknál, ahol a sávok egy része elvégeződik, a repedések a sávok felszíni folytatásaként jelennek meg. A sávok megjelenésén kívül sem feltétlenül egységes a minták színrendszere. Egyes esetekben a minták belső szerkezetében megjelenik egy bizonyos mértékben magként elkülöníthető, a minta többi részénél világosabb színben megjelenő rész. Az említett rész minden ilyen esetben a minta belső részén helyezkedik el. A sávok minták közé való sorolásuk oka, hogy a sávok a teljes mintán áthaladnak így, nem lenne elkülöníthető egy a kenyérhéj dácitoknál elkülönített peremi rész.

c) Foltos blokkok

A minták fő tömegét alkotó szürke színű alapanyagba nem lineáris megjelenést mutató , világos szürke réz található (13.ábra) . A két rész között átmenet nincs, a határ élesnek tekinthető. A minták felületén található szintén fellelhető a korábban leírt repedésrendszerek valamely fajtája.

d) Világos sávos blokkok

A minták megjelenése a korábban vázolt sávos szerkezethez nagyon hasonló, fő különbség a sávos szerkezetekkel , a sötét rész teljes hiánya. A minták teljes tömegét világosszürke sávok váltakozó megjelenése alkotja, amelyet sárgásszürke sávok törhetnek meg (14.ábra). Különbséggént megemlítendő még a mintacsoport kiugróan alacsony tömege, a minták térfogatához képest.

e) Egységes, sötét alapanyagú minták

Az adott csoportba tartozó mintáknál az alapanyag színe fekete. Mintán belül egységes képet mutat az alapanyagot nem lehet színek szerint egységekre osztani (15.ábra). Minták között eltérések lehetnek, mind az alapanyag színárnyalata, mint a buborékosság jelenlétét illetően. A minták minden esetben tartalmaznak fenokristályokat, amelyek megjelenése azonban minták között nem egységes. Néhány mintán szabad szemmel is látható irányított kristályelrendezés figyelhető meg, míg másokon a kristályok irányítottság nélkül helyezkednek el. A minták külső felületén nem minden esetben találhatóak meg, a korábban említett repedések, egyesek repedésmentesek (16 ábra) . A felszínen kagylós törési nyomok láthatóak. A továbbiakban a kagylós törés és repedésrendszer esetleges hiánya miatt , ezeket a mintákat a továbbiakban „ Sűrű blokkoknak” nevezem.



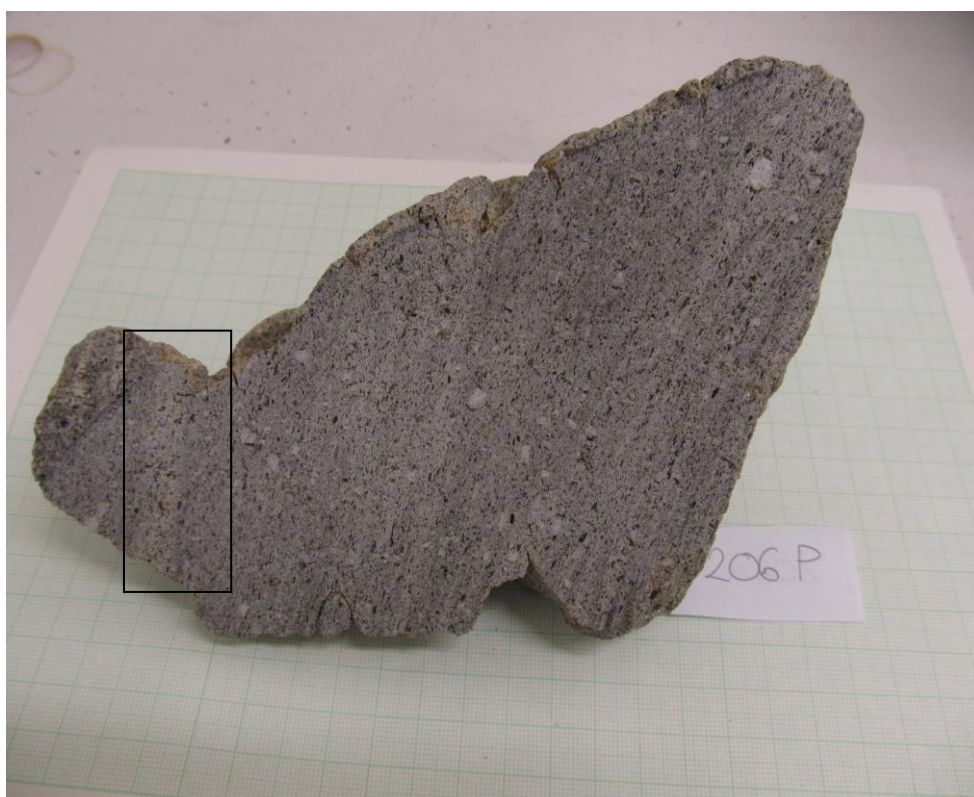
11.ábra A mag perem szerkezet felépítésében egy belső világos rész és egy koncentrikusan elhelyezkedő sötétebb alkotórészből áll.



12.ábra Sötétebb és világosabb részek váltakoznak egymással síkbeli , nem szükségesen párhuzamos elrendeződésben.



13.ábra A minta alapanyagában nem lineáris megjelenésű világosabb rész található (négyzettel jelzett terület)



14.ábra Feketementes sávos minták anyagát szürke sávok építik fel, amelyek közé sárgás sávok ékelődhetnek be. (négyzettel jelzett terület)



15.ábra A sűrű blokkok szövete egységesnek tekinthető , nem osztható fel különálló részekre és minden esetben sötét megjelenést mutat.



16.ábra A sűrű blokkok között előfordul felszíni repedésrendszerrel nem rendelkező minta is.

3.2.2.2. Mikroszkópiai vizsgálatok

A minták reprezentatívnak vélt alkotórészeiből vékonycsiszolatokat készítettem. A vékonycsiszolatokat szkennelési eljárással 1200 dpi-ben digitalizáltam. A korábban említett bombafajták mindegyikéből készültek vékonycsiszolatok. A csiszolatok polírozást és szénkezelést követően pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálat alá helyeztem. A vizsgálatok során digitalizált csiszolatok alapján képzeletbeli szelvények mentén haladtam. A csiszolatokról az elektronmikroszkópos vizsgálatok során több méretarányban is készültek fényképek. A fényképezés során a kisebb nagyítású vizsgálatok során megfigyeltem a mintákon belül fellelhető heterogenitásokat az alapanyagban. A buborékosság és mikrolit tartalom vizsgálatra a polarizációs fénymikroszkóp nem alkalmas, így a vékonycsiszolatokat kizárólag elektronmikroszkópban vizsgáltam. Nagy nagyítás során az alapanyagot felépítő közetüveg, buborékosság és mikrolitok arányát vizsgáltam, amely eltérő lehet nemcsak minták között hanem mintán belül is. A mikrolitok pontos mérési vizsgálatai folyamatban vannak, idő hiányában a dolgozatban nem tudom megjeleníteni őket. A különleges megjelenésű ásványszemcsékről az adott csiszolat leírásánál részletesen is beszámolok. Alábbiakban részletesen bemutatom a fent említett bombafajták mintapéldányaiból elkészített vékonycsiszolatok mikroszkópiai vizsgálatának megfigyeléseit. A fenokristályok az őket körülvevő alapanyagtól jól láthatóan elkülönülnek. A fenokristályok inekvigranuláris megjelenésűek, jellemzően idiomorf és hipidiomorf szemcséket, esetenként szemcsehalmozokat alkotnak. Xenomorf megjelenés is észlelhető néhány minta esetében, róluk az adott csiszolat leírásánál külön szót ejtek. A kristályokon gyakori a zonáció, előfordul szemcsén belüli zárványosság is. A minták jellemző ásványtársasága a dácit geokémiájának megfelelő főbb ásványokat tartalmazza. Fontosabb akcesszóriaként az apatit különíthető el, amely önálló idiomorf szemcséként és zárványalkotóként is megjelenik. Az említett ásványtársaságba nem illő ásványmegjelenésről az egyes minták esetében külön beszámolok. A kristályok közötti alapanyag nem tekinthető egységesnek, lokális és szövethatározó heterogenitások lépnek fel, néhány mikronos térbeli eltérések esetén. A különálló alapanyagilag megjelenések egymástól elkülöníthetőek. Alapanyagon belüli alkotók elkülönítése polarizációs eljárással nem valósítható meg. Az alapanyag közetüveg tartalmának pontos értékbeli ismertetése a kutatás további fázisának részét képezi. Ennek alapján az alapanyag porfírosnak tekinthető, lokális anomáliákkal és eltérésekkel, amely eltérések az egyes szöveti részeket a pilotaxitos, másokat a hialopilités megjelenéssel azonosítanak. A

minták tehát porfiros , heterogén megjelenésű alapanyagba ágyazott , inekvigranuláris , főként idiomorf és lipidiomorf fenokristályszemcsékből állnak.

1) Mag-perem szerkezetek

Ezen dácit blokkok esetében a csiszolatról készült fényképen éles határvonal látható a perem és a mag között. Mikroszkópos elemzésnél azonban az említett határ diffúzhatnak. A mag felhabzott szövettel rendelkezik, a peremben viszont nem tudtak kialakulni a buborékok. A mikrolitok mennyiségét tekintve a mag és perem alapanyaga között nem látható szembetűnő különbség (18.ábra/ A és B) . Mindkét mintarész esetében az alapanyag rendkívül mikrolitgazdag. A mikrolitok ekvigranuláris megjelenésűek. Jellemzően földpát mikrolitokról beszélhetünk, spektrális elemképek alapján. Az elemi összetétel esetében több változat is elkülöníthető Na és Ca tartalom alapján. A mikrolitok nem mutatnak irányított elrendeződést egyik mintarész esetében sem. Buborékosság esetében jelentős változás tapasztalható. A mag alapanyagának buborékai markánsan különállóan kifejlődtek , az alapanyagtól külön értelmezve is biztonsággal vizsgálhatóak (17.ábra/A). A perem buborék magjai nem tudtak kifejlődni, apró megjelenésűek, csak mint alapanyagilag alkotórész különíthetők el (17.ábra/B). A mag különálló buborékai nem kerek körvonalat mutatnak, leginkább szögletes határvonalúak. A körszerű határvonallal rendelkező , külön értelmezhető buborékok , mint kristályzárványok jelentkeznek . A fenokristályok peremi részénél lokális, buborékosság figyelhető meg, a szemcse körül minden irányban.. A vékonycsiszolatban kimutathatóvá vált egy kb 4 μm átmérő kalkopirit szemcse, amely más általam készített és vizsgált vékonycsiszolatban nem különíthető el.

2) Sávós blokkok

A sötét és világos sávok alapanyagának területei között, élesen meghúzható határvonal helyezkedik el, alapanyagbeli különbségek jól láthatóak (17.ábra/C) . A világos sávokban a buborékosság szembetűnő. A buborékok nem minden esetben egyensúlyi megjelenésűek, gyakran szögletes jelleget mutatnak. Méretüket tekintve heterogének , a pár μm -tól a fél mm-es nagyságrendig folyamatos átmenet figyelhető meg. A különböző méretű buborékok egy sávon belül nem szeparálódnak . A sötét sávokban buborék magokat, mint alapanyagilag alkotót különíthettem el. A mikrolitok mennyiségét tekintve látható különbségek figyelhetőek meg a két féle sáv alapanyagában. (18.ábra/ C és D). A világosabb sávok kevésbé mikrolit gazdagok , mint a sötétebb sávok. A mikrolitok méretbeli megjelenése heterogenitást mutat. A mikrolitok és kisebb ásványszemcsék irányított elrendeződést mutatnak a világos sávokon

belül, főtengelyeik a sáv legnagyobb kiterjedésével egyazon irányban állnak. A mikrolitok szinte kizárólag földpátok, néhol fellelhető amfibol mikrolitokkal tarkítva. jellemző rájuk a „fecskefarok” megjelenés, amely a földpát mikrolitok kristálycsúcsain észlelt szétálló megjelenéssel írható le. A világos sávokban az említett megjelenés nagyon gyakori, a négyzetes, merőleges kristályátmetszet nagyon ritka.

3) Foltos blokkok

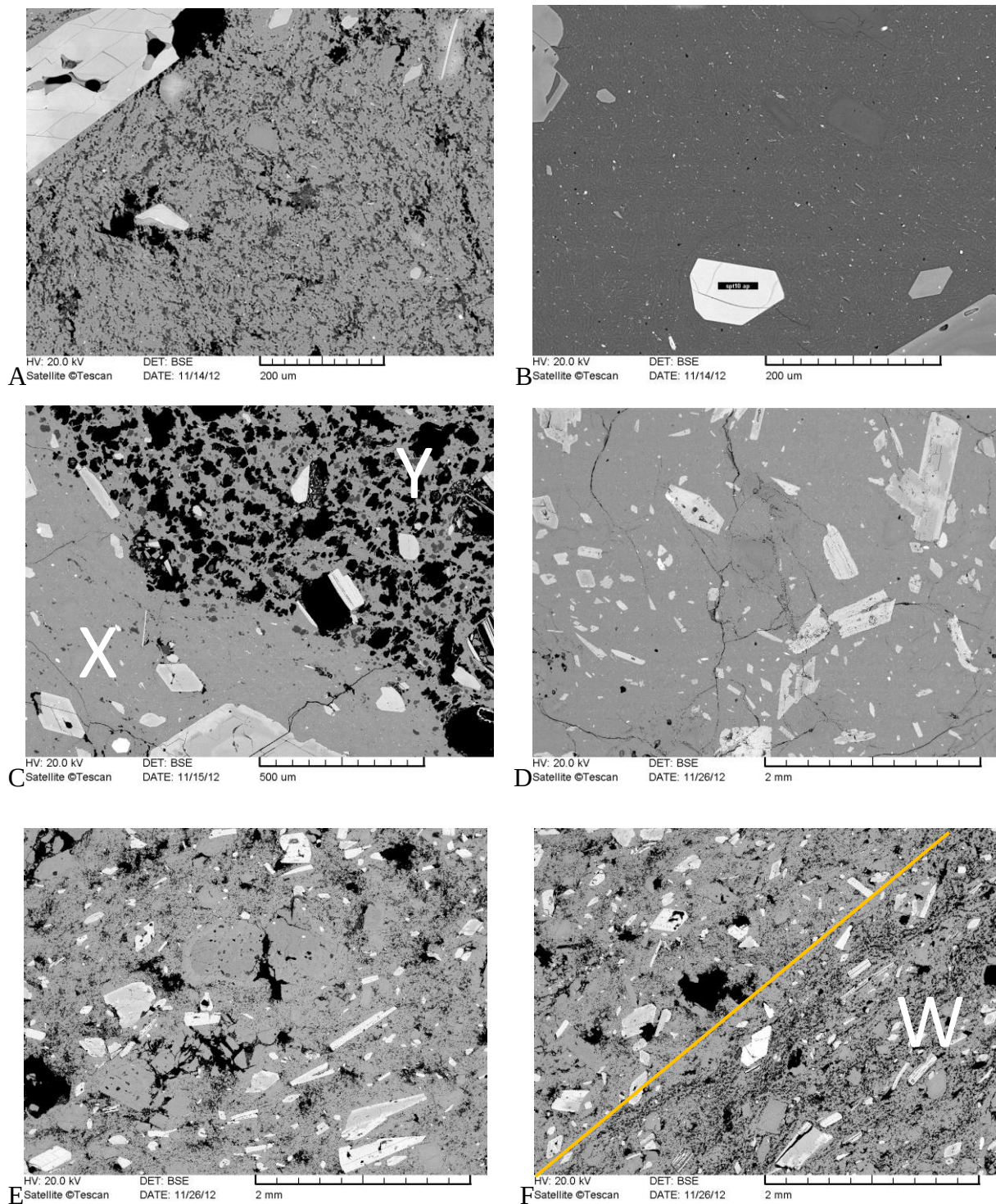
A folttal jellemzett terület szövete eltér a mellette található sötétebb sávok szövetétől. A csiszolati képen belül a foltok lokális színbeli heterogenizmussal jellemezhetőek. A világoszöld, sötét zöld és világos sárga színek keverednek egymással szabálytalanul. Alapanyag szerint a sávok bombákhoz hasonlóan itt is elkülönül egymástól a világos és sötét sáv, a világos sávban önálló buborékok képződtek (17.ábra/F)., míg a sötét szürke, fő tömeget alkotó részben magokat fedezhetünk fel (17.ábra/E,F). Mindkét sáv mikrolitjai heterogenitást mutatnak. A világos sávok mikrolitjai a sávok mintákhoz hasonlóan irányított elrendeződésűek. A világos sávok által meghatározott perem mentén, a sötét sávok kristályai törési mechanizmusok jelét hordozzák. Törött szerkezetek figyelhetőek meg bizonyos kristályokon, illetve görbült alakok is megjelennek.

4) Világos sávok blokkok

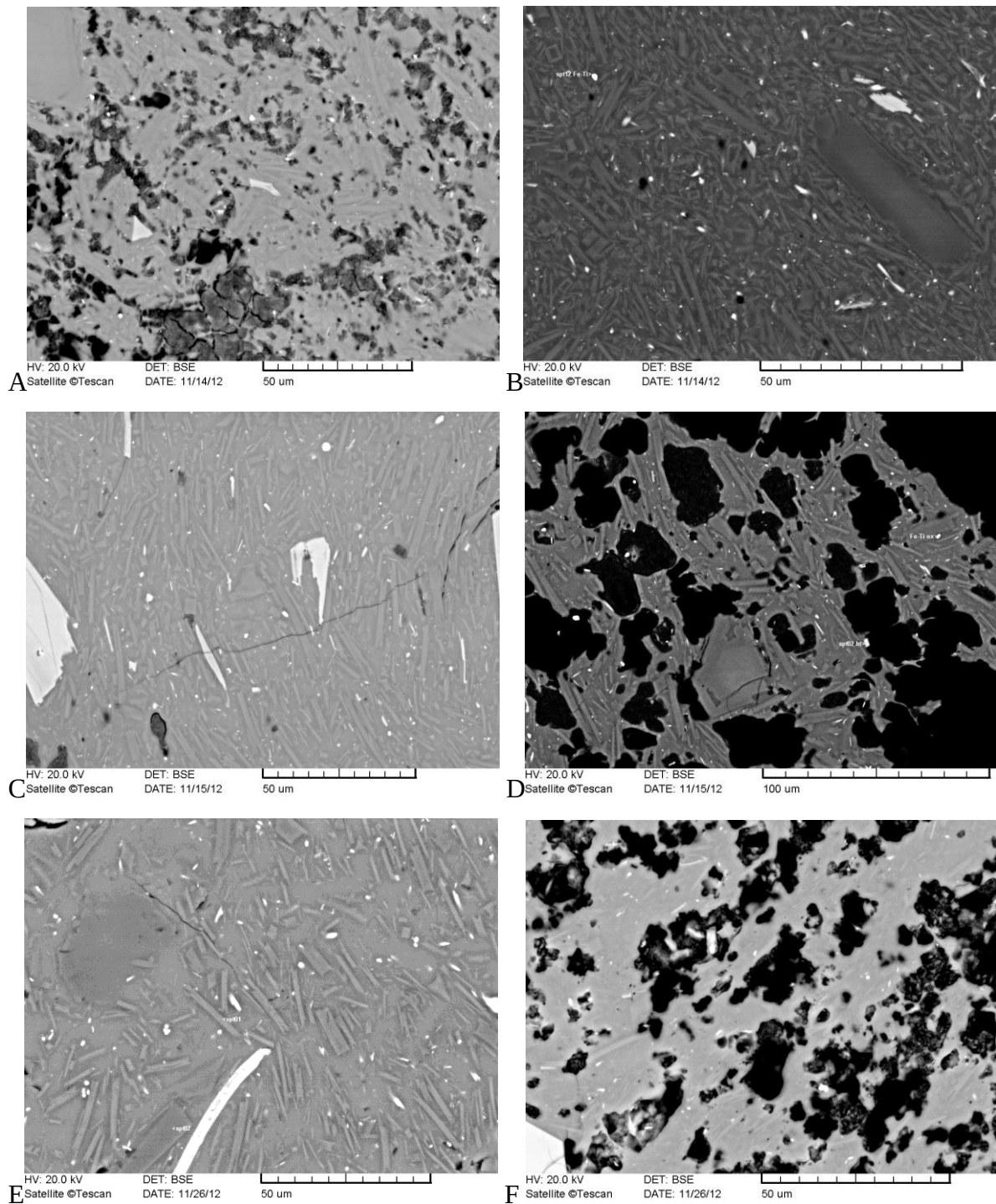
A világos és sötét sávok szövetében egyaránt megtaláljuk a kialakult, leginkább szabálytalan alakú megjelenésűt mutató buborékokat (20.ábra), nem húzható határvonal a makroszkóposan elkülönülő alkotórészek alapanyagai között, ahogyan a sávok, illetve foltos minták esetében. Mikrolitok tekintetében az alapanyagra jellemző a méretbeli heterogenitás, de formabeli homogenitás valamint a mikrolit szemcsék irányított megjelenést mutatnak (21.ábra).

5) A Sűrű blokkok

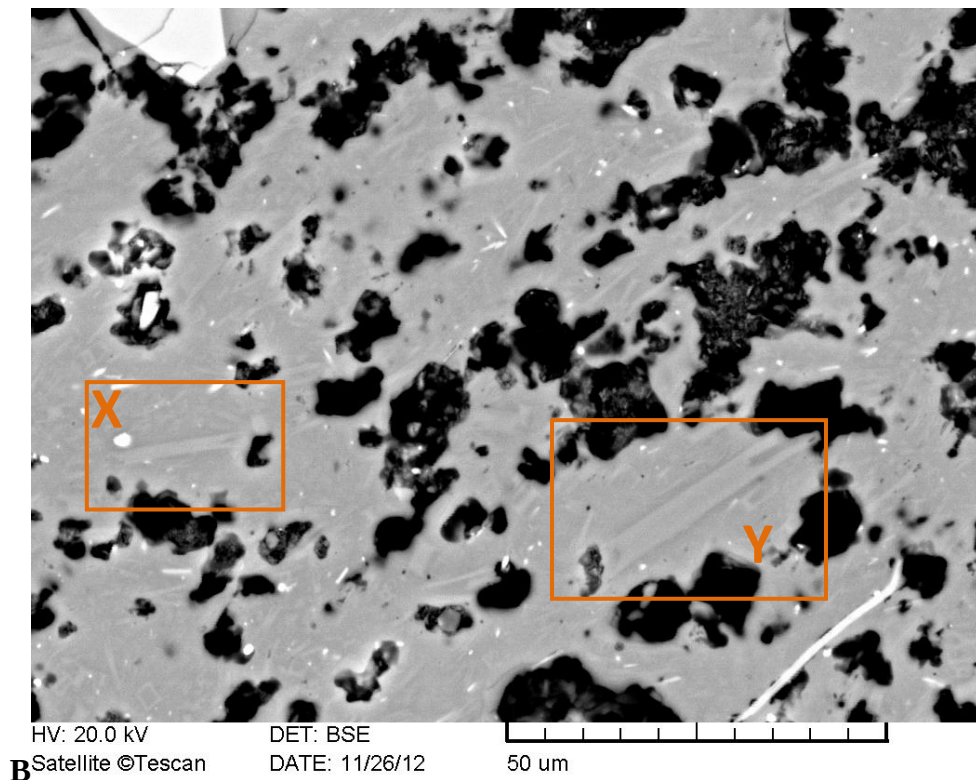
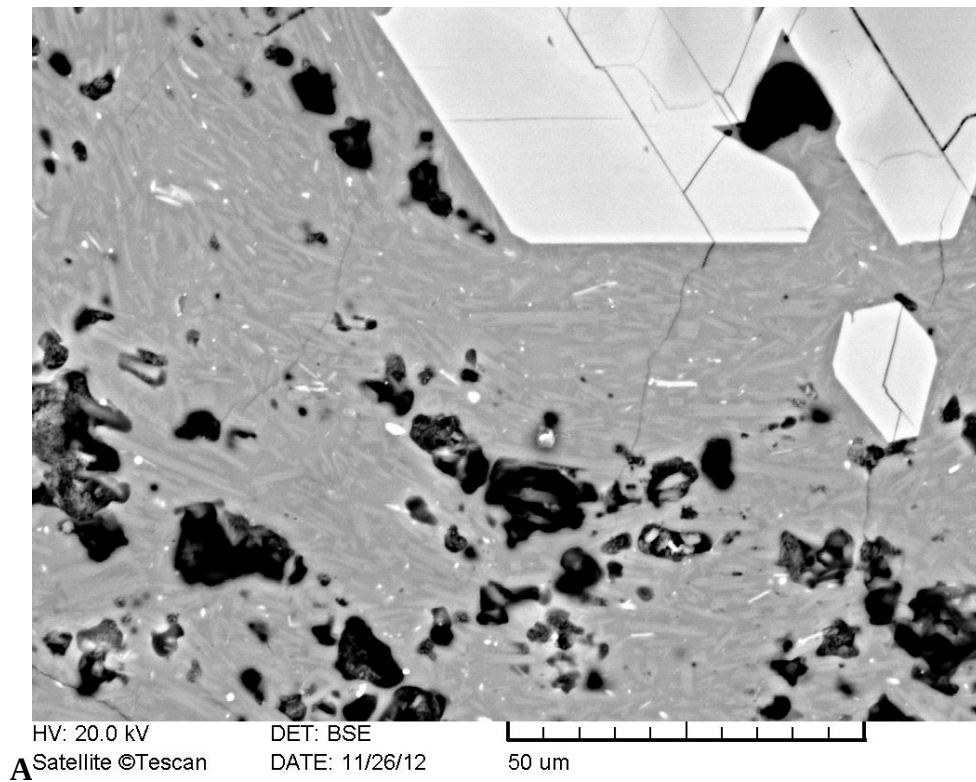
Az alapanyag egységesnek tekinthető. Az alapanyagban nem találhatóak buborékmagok, sem kialakult buborékosság. Mikrolitok tekintetében nagy mikrolit sűrűség tapasztalható, amelyen belül jellemző a heterogenitás a mikrolitok formáját és méretét tekintve. Mikrolitok alapján vizsgálható irányított szöveti bélyeg nem látható. Nincsenek határvonalak, sem alapanyagon belüli lokális heterogenitások, illetve kiugró megjelenések. Az egyedüli buborékosság kristályon belüli, egyensúlyi megjelenésű buborékszárványok formájában jelentkeznek.



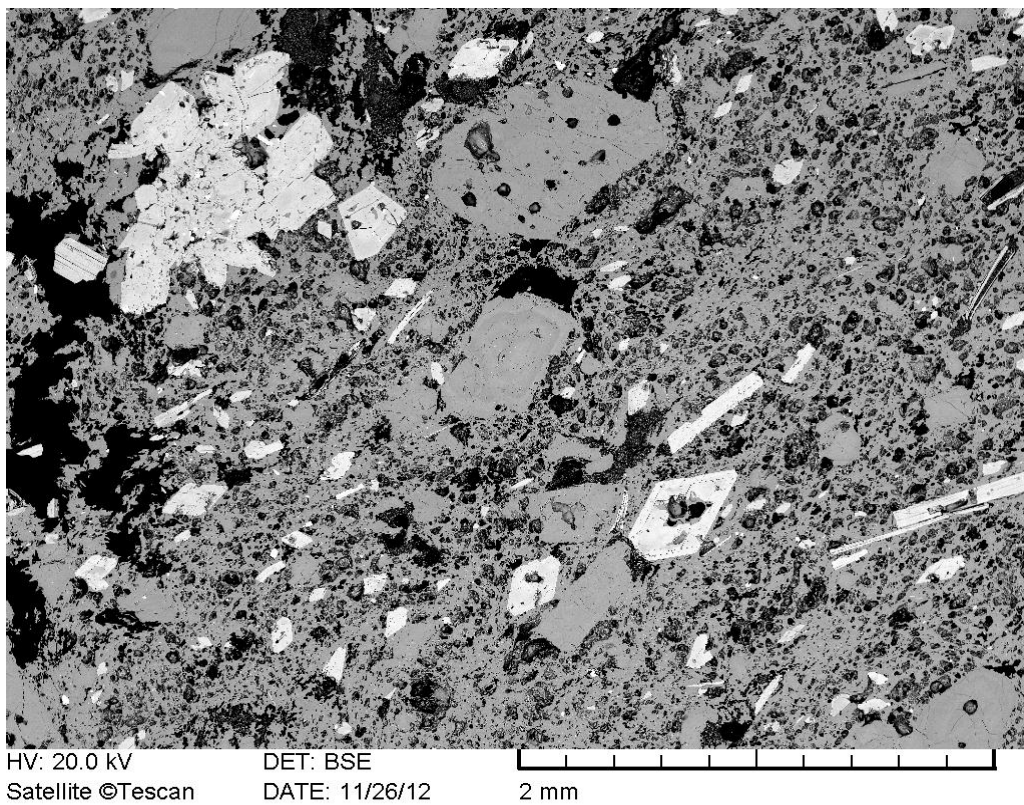
17.ábra A minták egymástól elkülönülő megjelenésű szövetei mikroszkóposan : A) Mag perem szerkezet világos magjának szövete, B) Mag perem szerkezet sötét peremének szövete C) Sávós blokk sötét (X) és világos sávjának szövete (Y) , D) Sűrű blokk egységes szövete, E) Foltos blokk fő tömegét alkotó sötét szürke rész szövete , F) Foltos blokk alapanyagába ékelődő világos rész (folt) szövete (W)



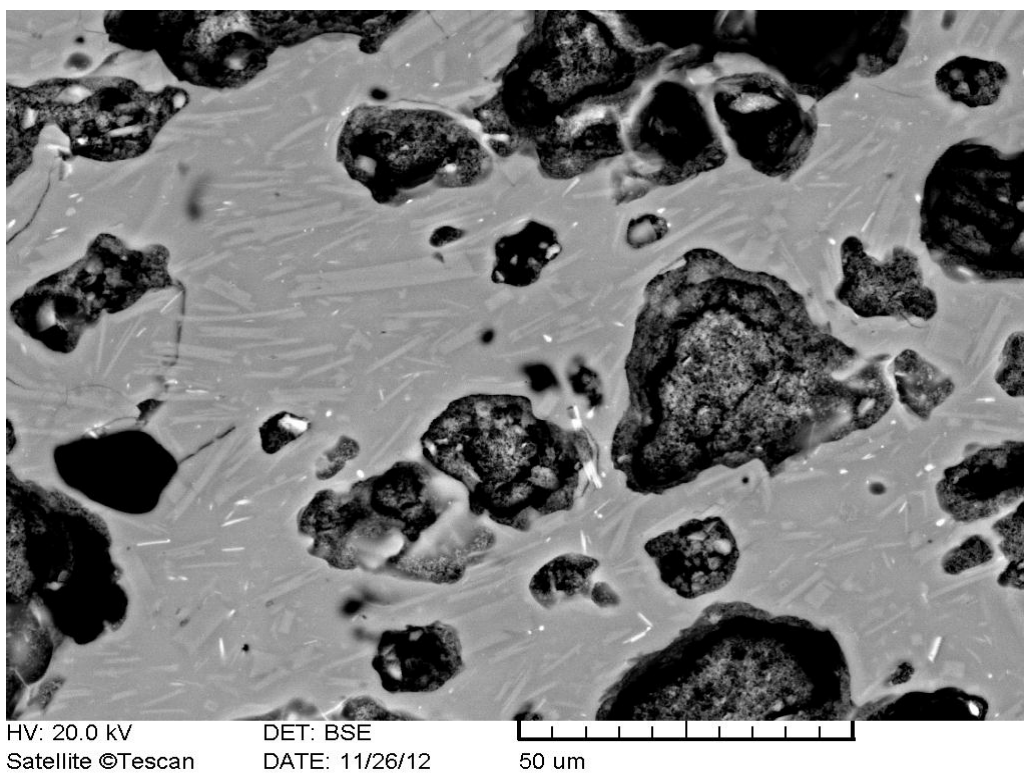
18.ábra A minták eltérő megjelenésű alapanyagainak mikroszkópos megjelenése A) Mag-perem szerkezet belső világos szövetének alapanyaga B) Mag-perem szerkezet peremi részének alapanyaga C) Sávós blokk sötét sávjának alapanyaga D) Sávós blokk világos sávjának alapanyaga E) Sűrű blokk egységes alapanyaga F) Foltos blokk világos szürke részének (folt) alapanyaga



19.ábra Foltos blokk alapanyagának mikroszkópos megjelenése A) A fő tömeget alkotó sötétebb szürke rész alapanyaga B) Világos rész alapanyaga (folt) pár mikron hosszúságú (X) és pár tíz mikron hosszúságú (Y) kettős fecskefarkú mikrolit szemcse.



20. ábra Buborékosság alapján egységesnek tekinthető világos sávós blokk szövete



21. ábra Heterogén mikrolit szemcsék által kijelölt szöveten belüli irányítottság világos sávós blokk

4. Diszkusszió

4.1. Vulcanoi kitörések jellemzői

A vulcanoi kitöréstípus a robbanásos kitörések egy fajtáját képviseli. A vulkáni kürtőt ismeretlen eredetű és anyagú közetdugó zárja el, amely megakadályozza, mind a magma kiáramlást és a magmából kivált gázok eltávozását. A magmában a kigázosodás permeabilis csatornákon keresztül történik. (Eichelberger et. al. 1986, Klug and Cashman 1996) . A magma oszlop különböző részein tehát különböző mértékben kigázosodott magmákat találhatunk (Hoblitt et al. 1996, Hammer et. al. 1999) . A magma felfelé haladva elér egy azonban egy mélységi küszöbértéket , amely felett a gázok már önálló fázis képeznek a magmában. Ez az érték 300 és 600 m-es mélységek között mozog (Hammer et al. 1999) . A gázok megrekednek a záró kőzet alatt , így a nyomás a kürtő tetején egyre nő. A magmában lévő könnyenilló feláramlás azonban még gázdús magmák esetében sem tartalmaz elég könnyenillót a kürtő záró kőzetének eltávolításához. A Rendszer külső környezetből nagyobb mennyiségű fluidumot kapva a kürtő tetején a nyomást eléggé megnöveli ahhoz, hogy szétrobbantsa a felül lévő záró kőzetet. A külső környezetből érkező fluidum származását és rendszerbe érkezését nem vizsgáljuk, nem kutatjuk , csak megtörténtnek fogadjuk el, mint katalizátorát a kitörésnek. A fedő szétrobbanásával gázok eltávozhatnak, és velük együtt magma kerül a felszínre. A kigázosodás azonban folyamatos, a levegővel való érintkezésből eredő kőzetüveg dermedés miatt , így újabb robbanásokra kerül sor. Két robbanás között mindenképpen eltelik bizonyos idő, amely során, a szüneti szakaszban a kigázosodás folyamatosan zajlik. A kürtő záró kőzetének eltávolításakor, valamint a későbbi robbanások során , a kürtő szilárd anyagának és a magmának egy része ballisztikus úton hagyja el a kürtőt (22.ábra) és bizonyos út megtétele után földet érve mechanikai hatásoknak van kitéve (23.ábra). A kürtőt ballisztikus úton elhagyó kőzetdarabok, kezdeti állapotuktól , méretüktől és összetételüktől függetlenül vulkáni bombáknak tekintendők. . A vulkáni bombák egyértelműen vulkánói típusú kitöréseket jeleznek, hiszen ennél a típusú kitörésnél gyülemlik fel elég energia a két robbanás közötti szakaszban ahhoz, hogy a robbanások során olvadt és dermedt kőzettömböket a kürtőn kívülre repítsen. Minden tűzhányó képes vulkánói típusú kitöréseket produkálni , ha a kürtő elzárása és a külső környezetből való fluidumbeáramlás létrejön.



22.ábra A Stromboli kitörése során a kürtőből távozó anyagok egy része ballisztikus úton halad, amely során egy bizonyos időt a levegőben tölt. fotó: J. Alean · R. Carniel · M. Fulle



23.ábra A bombák a földet éréskor fellépő mechanikai hatások során megrepedhetnek, eltörhetnek, deformálódhatnak. fotó: Eric Reiter , La Fossa kráter, Vulcano sziget, 2005

A vulkáni bombák , mint kitörési produktumok különálló, részletes elemzése néhány tűzhányó esetében valósult meg. A 2007-es Guagua Pichinca tűzhányó kitörését követően terepen fellelhető vulkáni bombákat a terepen dokumentálták (20 .ábra), majd ezt követően laboratóriumi körülmények között vizsgálták. A részletes vizsgálatok tárgyát képezték a teljesség igénye nélkül: felszíni repedéshálózati rendszerek ábrázolása grafikus módszerrel , elvágást követő belső szerkezet elemzés, sűrűségmérés. Megkülönböztettek mag-perem szerkezetű, sávos felépítésű, sűrű bombafajtákat. A kigázosodás mértékének jelzői a bombák szerkezeti elemei, valamint a sűrűség, így a vulkáni bombák a korábban említett különböző mértékben kigázosodott kürtőbeli magma oszlop (Hoblitt et al. 1996, Hammer et. al. 1999) különböző részeiből származnak. Ezt követően a mintákat csoportokba sorolták, az egyes csoportok képviselőit pedig megpróbálták elhelyezni a kitörés előtt álló kürtőben. Ezáltal a mintákat indikáló szereppel ruházták fel a kitörést megelőző kürtőállapotról való vonatkozóan. (Heather M. N. Wright et. al. 2007). A Soufrière Hills tűzhányó esetében szintén készültek vulkáni bombákra vonatkozó leírások és pontos vizsgálatok. Guatemala területén lévő tűzhányó esetében megfigyeltek egy korábban le nem írt bombatípust, amelynél fényképes dokumentáció nem készült, keletkezését a vulkáni felépítményen való guruló mozgáshoz köthették (Francis, 1973). A korábban , a Guagua Pichinca tűzhányó esetében leírt módszerektől azonban eltérő metódus alapján dolgoztak. A minták illótartalmára helyezték a hangsúlyt a petrográfiai és szerkezeti bélyegek helyett. Ezáltal minták illótartalmát szintén indikátornak tekintették, amely összefüggést ad a mintáknál mért értékek és a kitörés előtt elfoglalt mélységbeli pozíciójuk között. Ezáltal a kitörés előtti kürtőt , mint egységekre bontható , különböző illótartalommal rendelkező rendszert tekintették. (Alain Burgisser , et. al. 2011, Clarke et. al. 2007). Más tűzhányók esetében készült részletes vulkáni bombákra vonatkozó vizsgálatokról a cikk elkészüléséig nem szereztem tudomást. Az említett mintaanyag elemzésének folyamatára tehát nincs kialakult, illetve hivatalosan elfogadott módszer, sem az vulkáni bombák indikáló szerepe nem tisztázott vulkanológiai kutatási terület.

4.2. Vulkáni bombák és bélyegeik

4.2.1. Repedésrendszerek

Az ágas repedésrendszer (9.ábra) elsődleges felszíni megjelenés, amely mechanikai hatás során jön létre, azaz a földetérés következtében. Erre bizonyítékul szolgálnak az adott repedésrendszerrel rendelkező minták repedéseiben fellelhető szétrepedt fenokristályok (24.ábra) . A mechanikus hatásnak nem kellene feltétlenül ballisztikus úton való kürtő elhagyástól származnia. Ha a teljes kihűlést követően tört volna el az adott piroklaszt, úgy a a minta teljes tömegében eltört volna, azonban ilyen megjelenést kizárólag egy esetben a sűrű blokkoknál ismerünk. (25.ábra) . A sűrű blokkok tehát már teljes tömegükben dermedtek voltak a mechanikai hatás bekövetkezésekor. Más esetekben a repedések a mintáknak kizárólag bizonyos tartományait érintik, így a minták nem lehettek egységesen dermedtek a mechanikai hatás pillanatában. Vagyis nem nagyon röviddel a kitörést követően kellett a mechanikai hatásnak bekövetkeznie, amelynek egyetlen lehetséges lefolyása a kirepülés. Mivel minden darab ballisztikus úton hagyta el a kürtőt , így minden bombatípus felületén számolni lehet ágas repedésrendszerrel, ezért korlátozódott a repedezett kőzetblokkokra a terepi mintaválasztás (5.ábra) . A Poligonális repedésrendszert ezzel ellentétben hűlési mechanizmushoz kell kapcsolni. A még fluidális állapotban lévő kőzetanyag a kürtőből való kirepülés során a levegővel érintkezésbe lépve hirtelen lehül, amely felszínének dermedéséhez vezet (Wright et. al. 2007). A bomba hülése folytatódik, így térfogatcsökkenés, zsugorodás lép fel. A felszíne azonban a zsugorodásra már nem képlékeny, hanem merev anyagként reagál, így egy bizonyos mértékű térfogatcsökkenést követően a dermedt felszínen húzási hasadékok, azaz repedések jelennek meg. Mivel nem volt minden bombafajta kezdeti állapota fluidális , így a kirepülés során kialakult perem megjelenéséhez kell kapcsolni a poligonális rendszer kialakulását. Tehát a poligonális rendszer kialakulás kizárólag a korábban vázolt mag-perem szerkezetű bombák esetében lehetséges (11.ábra) . Mindkét eddig vázolt repedésrendszer elsődleges megjelenésű. Meg kell említeni azonban a mintán belüli utólagos, földet érés után megtörtént részleges felhabzásának szerepét is. Amennyiben a bomba ütközés , illetőleg zsugorodás útján a felszínen megreped, úgy a repedésen keresztül gázeltávozás játszódhat le, amely során a repedés kitágul . Ebben az esetben a repedés belsejével kapcsolatban álló mintarész a repedés vonalában világos megjelenést mutat. (26.ábra). A felhabzás során felülírt elsődleges repedésrendszer nem képez különálló egységet, a repedések irányán és egymással bezárt szögén , valamint a korábban leírt tulajdonságaikon nem változtat.

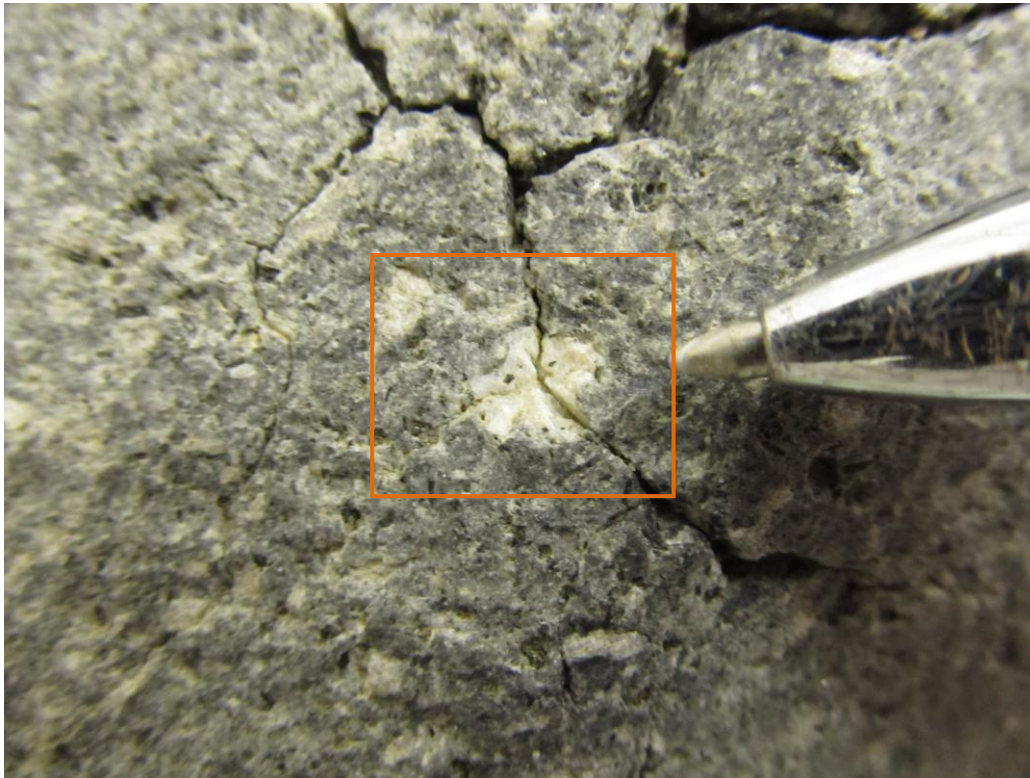
4.2.2. Szerkezeti bélyegek

A minták szerkezeti felépítését illetően a korábban figyelembe vett és mikroszkópban megvizsgált három fő alkotóelem között kell letéréseket keresni: közetüveg, mikrolit tartalom, buborékosság. Pontos illótartalom mérés nélkül, mikroszkópiai megfigyelések segítségével is különbséget lehet tenni a makroszkóposan különböző színnel megjelenő lokális bombarészek között (16.ábra). Ebben az esetben azt tapasztaljuk, hogy a bombáknál megjelenő színkülönbségek kizárólag a felhabzás mértékétől függnek és teljes mértékben függetlenek a mikrolit és közetüveg tartalomtól az adott alapanyagbeli tartományon belül. Az illótartalom, felhabzás és kigázosodás azonban három különálló folyamat. (Hammer et. al. 1999) . A színben eltérő alapanyag tartományok illótartalma megegyezik. A felhabzás a kürtőben megtörténik, miután a magma elhagyja a gázoldhatósági küszöbértéket (Hammer et. al. 1999). Amennyiben a felhabzás nem történhet meg még a felszínre kerüléssel sem, ebben az esetben a felhabzás teljes hiányát a hirtelen megdermedéssel magyarázhatjuk. Ezek a bombarészek a fekete színnel jellemezhető mag-perem szerkezetben leírt peremi részek alapanyaga (16/B ábra) , a sávós bombák sötét sávjának alapanyaga (16/C ábra) és a sűrű blokk egységes alapanyaga (16/E ábra) . A felhabzott részek világosszürke, esetenként sárgásszürke megjelenéssel rendelkeznek. Ide sorolhatóak a mag-perem szerkezetek belső világos magjainak alapanyaga (16/A ábra) valamint a sávós bombák világos sávjainak alapanyaga (16/D ábra) . A felhabzott részek esetében számolni kell valamekkora gáztávozás lehetőségével is, tehát az illótartalom vizsgálatok esetében a világos részek nem adnak valós eredményt a magma eredeti illótartalmáról. A sötét felhabzás mentes részek azonban az eredeti illótartalmat reprezentálják. (Wright et. al. 2007) Az eredeti illótartalom mennyisége indikátorként használható a kürtőbeli mélység megállapításánál (Burgiss et. al. 2010). A bombák szerkezeti megjelenése így a kürtőben elfoglalt mélységre enged következtetni (Wright et. al. 2007) . A sűrűség tekintetében létezik összefüggés a bombákon bellüli sötét, tehát fel nem habzott részek arányát tekintve a teljes bombatérfogathoz (Wright et. al. 2007).A bombák mélységben elfoglalt helye alapján magát a kürtőbeni magmaoszlopot is részekre lehet osztani, amely felosztás készülhet a bombaszerkezet alapján (Wright et. al. 2007) valamint az eredeti illótartalom alapján (Giacchetti et. al. 2011, Burgiss et al 2010). A mag-perem , a sávós és a sűrű bombák esetében tehát tisztán alkalmazható a szerkezeti bélyegek felhabzástól való származása.

A foltos bombák esetében azonban más a helyzet. Ezeknél a mintáknál nincs fekete alkotórész sem koncentrikus, sem sávós megjelenésben. Az adott felépítésű bombafajtát először én írtam le és különítettem a többi jól elválasztható csoporttól, tehát nincsenek erre vonatkozó megelőző mérések illetve megfigyelések. Az alapanyag vizsgálatok esetében azt tapasztaltam, hogy a korábban észlelt felhabzásbeli különbségek mellett, éles, pontos mérések nélkül is jól látható különbségek észlelhetők mikrolit tartalom területén (19.ábra). Ebből kifolyólag a foltos bombák esetében nem alkalmazható a korábban leírt rendszer, amely makroszkóposan színváltozást eredményez. Mikrolit keletkezés módja, sebessége a kürtő magma oszlopában mélységfüggő. (Hammer and Rutherford 2002) A mikrolitok mennyisége mellett, azok formája, megjelenése és mérete is, hőmérséklet és nyomásjelző bélyeg. Eszerint a különböző mikrolit szemcsék alapján meghatározható a keletkezési környezet (Hammer and Rutherford 2002). Eszerint a kétoldali fecskefarokkal rendelkező, néhány mikron hosszúsággal rendelkező mikrolit szemcsék (19.ábra/X) hozzávetőlegesen fele akkora nyomást képviselnek, mint a szintén kétoldali fecskefarokkal rendelkező, de pár tíz mikron hosszúságú mikrolit szemcsék (19.ábra/Y) (Hammer and Rutherford 2002). A pár tíz mikronnál nagyobb mérettartományba eső mikrolit szemcsék jóval mélyebben keletkeztek a kürtőfalban, mint a kisebb méretű, velük azonos megjelenésűek. A mikrolitok keletkezése szempontjából azonban jelentéktelen a kürtőben való feláramlásakor létrejött hűlési mechanizmus (Hammer et. al. 1999). Így tehát a feláramlás során nem keletkezhetett, az adott mikrolit szemcse tartomány. Egymás mellett azonban szintén nem jöhettek létre, hiszen egy mintán belül maximálisan néhány mm-es távolságban található egymástól a két mikrolit megjelenési típus. Így tehát egy erős magma feláramlást kell feltételezni, amely a kürtőben zajlott le. Az adott magma keveredés óriási kürtőbeli nyomást hozott létre a magma oszlop alján. Erre egyértelmű bizonyítékként szolgál a bombákban található törött és deformálódott fenokristályok megjelenése (24.ábra). A magma oszlop alján gerjesztett nyomás, amely a kristályokat eltörte a környezeti ellenállás miatt tudott nagy nyíróerőt kifejteni. A magma oszlop alján lévő feszültség önmagában is elegendőnek vehető a további magma tömegek érkezését figyelembe véve, hogy a kürtőt lezáró közetdugót kirobbantsa.

A világos sávós bombák is teljesen egyedi megjelenést mutatnak, nem illeszthetők be a korábban említett kizárólag felhabzás függő színmegjelenés módszerébe. A világos sávós minták szintén nem tartalmaznak sötét-szürke, illetőleg fekete részeket, a foltos bombákhoz hasonlóan. Azonban a foltos bombák mikroszkópos alapanyag megjelenése teljesen más. A foltos bombák esetében színváltozás történik, de nem csak felhabzásban észlelhető különbség hanem mikrolit tartalomban is. A világos sávós bombák esetében pedig szintén színkülönbségek vannak, azonban itt nincs éles különbség sem a felhabzás sem a mikrolit tartalom tekintetében. A bombák alapanyagában sávoktól független a mikrolit megjelenés, a mikrolitok méretét tekintve azonban heterogenitás tapasztalható (20. ábra). Azonos mélységben nem keletkezhetnek, azonos méretű és megjelenésű mikrolit szemcsék (Hammer et. al. 2002). A töredezett apró mikrolit szemcsék, magas hőmérsékletre de kis nyomásra utalnak (Hammer et al. 2002). Ezáltal megállapítható, hogy a világos sávós bombák a kürtő alsó tartományában helyezkedtek el, azonban nem voltak nyomás alatt. Tehát a korábban említett magma keveredési zóna alatt, az újonnan érkező magma tömegeken belül helyezkedett el az őket felépítő alapanyag. Az alacsony nyomás oka a kürtőben lévő felfelé ható nyomás, amely a kitörést elindította, azonban az új magma nyomását csökkentette.

Megállapítható tehát, hogy az újonnan érkező magma tömegek által létrehozott magma keveredési zónában találhatóak a foltos bombák (30. ábra), valamint az ezt követő újabb magma benyomulás során érkező magma tömegekben kaptak helyet a világos sávós bombák (30. ábra). Ezáltal a két általam leírt bombatípus nem illeszthető bele a korábban vázolt eseménysorba.



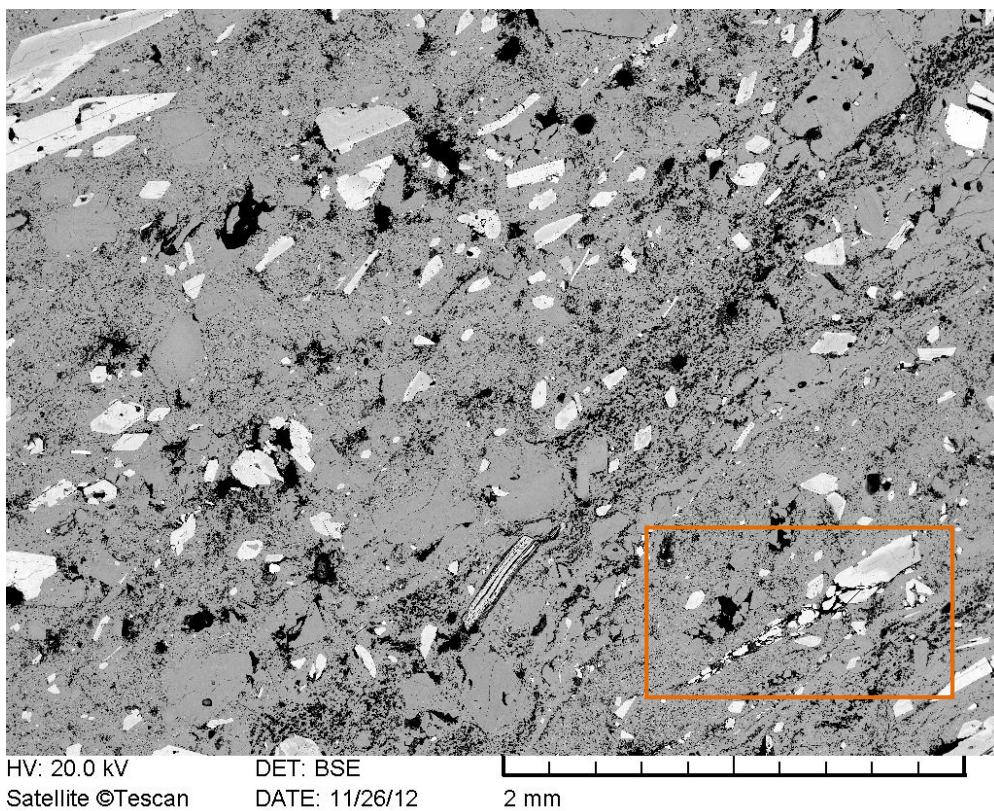
24.ábra Ágas repedésrendszerben lévő repedés által eltört fenokristály



25.ábra A sűrű bombák esetében a mechanikus ütközés a teljes közettömeget elrepesztette, tehát a bomba egységesen dermedt volt az ütközés pillanatában.



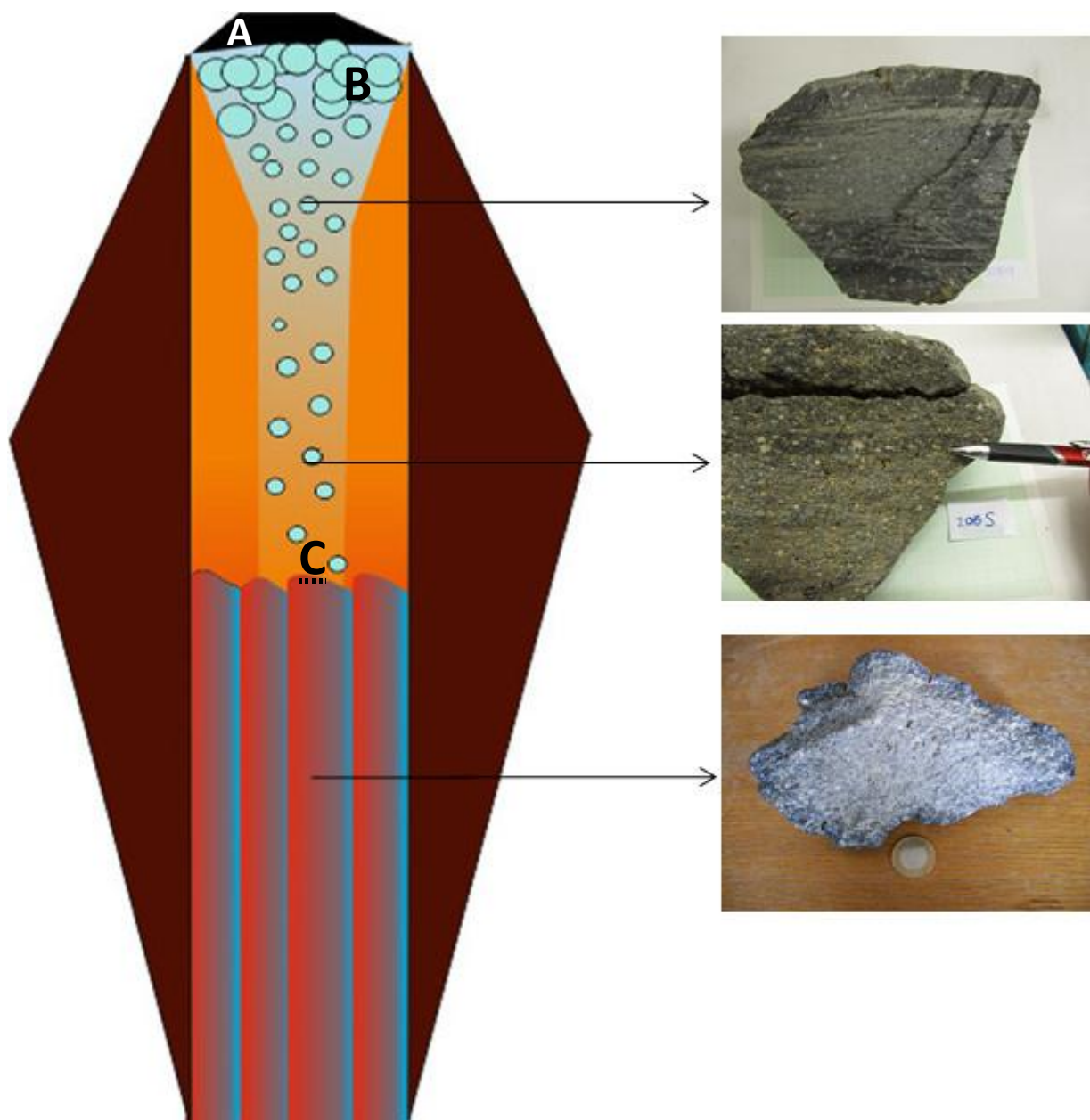
26.ábra A lokális felhabzás a bomba belsejében a repedési kitágulással párhuzamosan világos megjelenést eredményez.



27.ábra Törött fenokristályok a foltos szerkezet szövetében (négyszöggel jelölve)

4.3. Kitörés előtti kürtőállapot

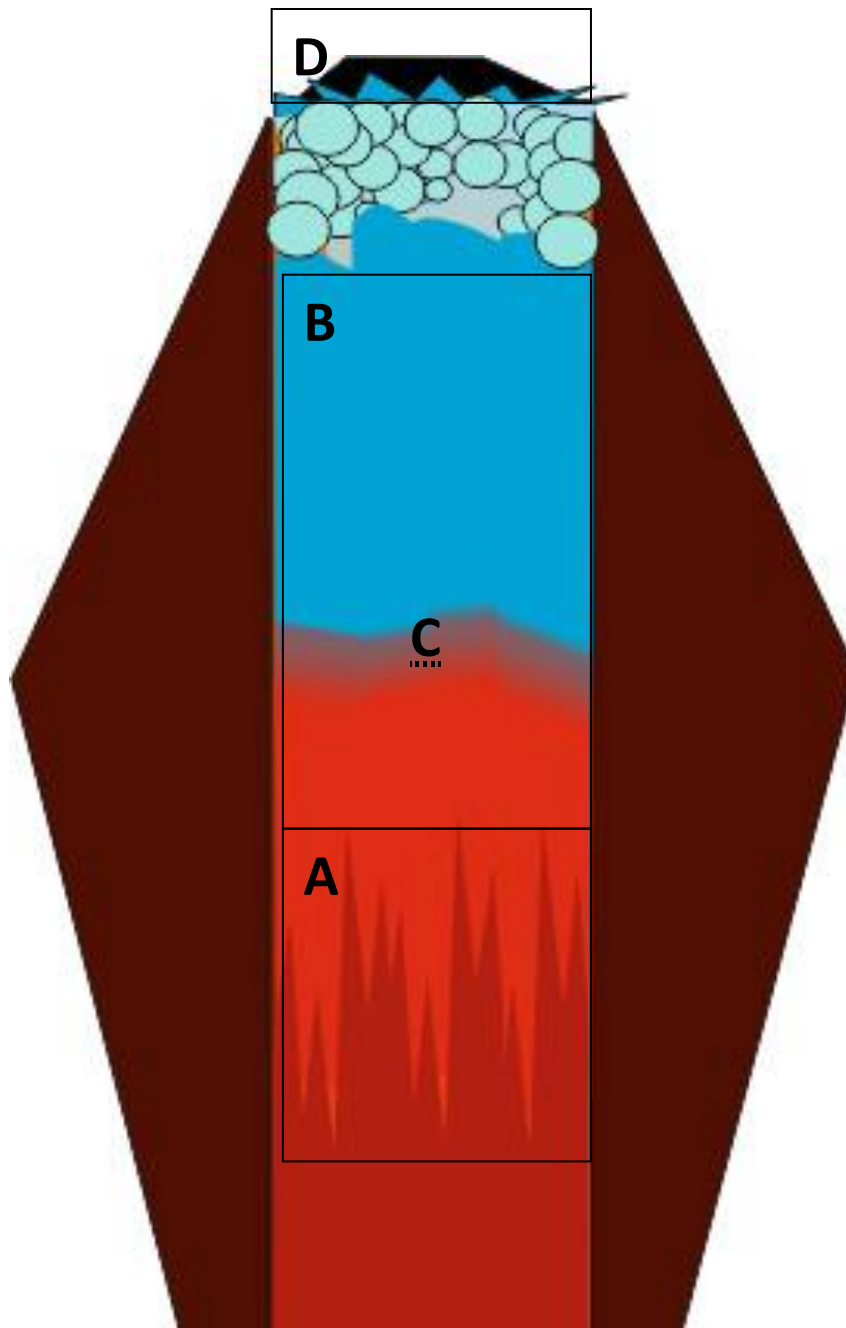
A kürtőben a lávadugóként szolgáló kőzetblokkot a sűrű bombák alapanyaga szolgáltatja, alacsony gáztartalom mellett felhabzás nem lehetséges (Wright et. al. 2007) , az alapanyag makroszkóposan egységes fekete színű (25.ábra) . A kőzetdugó alatt a közvetlenül a külön fázisként megjelenő megrekedt gázokat találjuk (Sigurdson et. al. 1999.) , majd ezt követően a jelentős mértékben felhabzott, jobbra sötét alapanyaggal rendelkező sávós szerkezetek következnek (25.ábra) . Ahogyan haladunk ezt követően a kürtő mélyebb tartományai felé, a 300-600 m-es felhabzási mélységig (Hammer et. al. 1999) , a magma oszlopot a későbbi sávós bombák felhabzott és nem felhabzott részei képezik, minél mélyebb tartományban találhatóak, annál nagyobb a világos részek aránya. Ennek oka az, hogy bár a felhabzás megtörténik a kritikus mélység feletti tartományban, a gázeltávozás még nem valósul meg (Hemmer et. al. 1999) , csak a kisebb mélységű tartományokban, tehát a magma a kritikus mélységben felhabzott, de gázdús (Giachetti et.al. 2010), a kőzetdugóhoz közeledve pedig fokozatosan elveszti gáztartalmát. A sávós bombák tehát a felhabzási mélység felett találhatóak, mindegyiküknek van azonban fel nem habzott, sötét alkotórésze. A felhabzási mélység alatt a mag-perem szerkezetek anyaga helyezkedik el, amely még felhabzatlan állapotban található (25.ábra) . A magma benyomulás megkezdődése előtt a korábban említett foltos és feketementes sávós szerkezetek alapanyagi megjelenése értelmezhetetlen, a nyugalmi állapotban lévő magma oszlopon belül uralkodó viszonyok mellett.



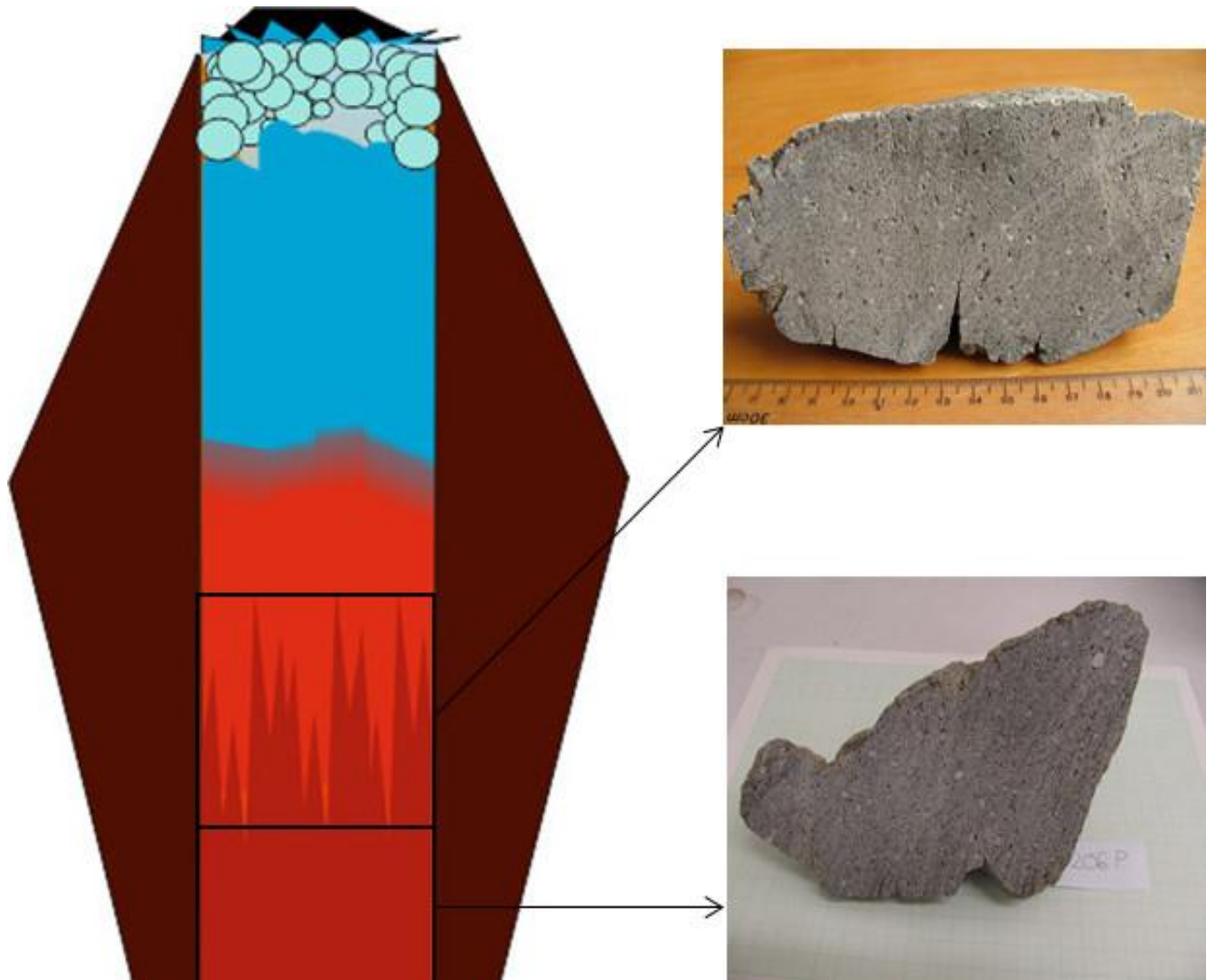
28.ábra A kitörést megelőző állapotban , a magma benyomulás megkezdődése előtt a kúrtőben elhelyezkedő magma oszlopon belül stabil viszonyok uralkodnak . A kúrtődugó(A) alatt a magmából eltávozott és megrekedt gáz található (B), majd lefelé haladva a sávós szerkezetek következnek, először a dominánsan sötét (felső fénykép) , majd egyre világosabb dominanciájú sávós megjelenés következik (középső kép) , majd a gáz szaturációs szint (C) alatt, a még fel nem habzott, későbbi mag-perem szerkezetek anyaga található (alsó kép) .

4.4. Kitörési modell

A kürtő magma oszlopának alsó tartományába érkező friss magma hatására felborul a korábban vázolt egyensúly. Az érkező magma ellenállásba ütközik a kürtőn belül, amely által létrejön egy lokális nyomási zóna, amely kettős eseménysorral jár (26.ábra) . A már kürtőben lévő magma tömegben nyíró feszültségek ébrednek a magma keveredés hatására, amelyek eltörlik a fenokristályok egy részét (24.ábra) . Miután az érkező magma egy része által kialakított magmakeveredés lejátszódik az újonnan érkező magma tömeg nem képes már a kürtőbeli keveredésre, így megindul a magma oszlop felemelkedése. Ezáltal a magma tömegek egyre feljebb haladnak a kürtőben amely ahhoz vezet, hogy a korábban vázolt egyensúlyi állapotban a gáz szaturációs szint alatt lévő magma tömegek (Hammer et. al.) is felhabzanak, ezáltal a gázok már önálló fázisként áramlanak tovább a kürtő felső tartományai felé. A kürtőt lezáró közetdugó alatt így megnő gáztartalom, valamint a gázok egyre nagyobb nyomás alatt állnak, a felemelkedő magma tömegek miatt. A gázok által okozott túlnyomás elrepeszti a záró közetet (Harangi 2011) , majd amikor már a záró közet repedésein keresztül nem képes elég gáz eltávozni, létrejön a robbanásos kitörés. A kürtődugó szétrobbanásával létrejönnek a sűrű bombák (15.ábra) , majd az alatta lévő gázok és különböző mértékben kigázosodott magma oszlop tartományból származó magma tömegek (Hammer et. al. 1999) is felszínre kerülhetnek , ekkor hagyják el a kürtőt a sávós szerkezetek . A kigázosodás ezután már folyamatosan zajlik, egészen addig, amíg a felszínnel érintkező magma meg nem dermed és ezáltal újabb ideiglenes gátat szab a kigázosodásnak (Sigurdson et. al. 1999.). Az újabb gát alatt felgyülemelő nyomás hatására újabb robbanások zajlanak, amely a korábban mélyebb kürtőtartományokban lévő magma darabokat is eltávolítja a kürtőből. Így jönnek létre a magperem szerkezetű bombák , a későbbi robbanások során pedig a foltos és világos sávós szerkezetek. A kürtőben való felfelé mozgás a magma oszlopban nem történik változás a mikrolit tartalmat tekintve, mert a felemelkedés sebessége túl gyors a hőmérséklet csökkenés pedig túl kis mértékű a feláramlás közbeni mikrolit képződéshez (Sigurdson et. al. 1999.).



29.ábra A frissen érkező magma tömegek a kürtő magma oszlopában ellenállásba ütközik, magma keveredés játszódik le, amely nagy nyomást fejt ki a már kürtőben lévő magma tömegen belül (A) . Az új magma már képtelen keveredésre , így nyomást gyakorol a felsőbb kürtőrészben elhelyezkedő magma tömegekre , így azok feljebb kerülnek (B), eléri a felhabzási mélységet. (C) Az így megnövekedett gáztartalom nagy nyomást fejt ki a kürtő felső tartományában , amely egy bizonyos érték felett elrepeszti a záró kőzetet (D) , majd szétrobbantja a kőzetdugót és így megindul a több különálló robbanásos eseményből álló kitörés.



30.ábra A foltos bombák (felső fénykép) az új magma tömegek benyomulásával létrejött magma keveredési zónában találhatóak, a világos sávos bombák pedig (alsó fénykép) a magmakeveredést követő újabb magma tömegekben kapnak helyet.

5. Konklúzió

A repedezett felszínű dácit blokkok, amelyek a Csomád tűzhányó oldalából a kutatás mintaanyagául szolgáltak, egytől egyig vulkáni bombák. A Csomád erdélyi tűzhányón mindenképpen lezajlott legalább egy vulcanoi-típusú kitörés, amelynek produktumai az általam vizsgált bombák is. A Csomád tűzhányó vulcanoi kitörésének több mintája korrelálható más, dácitos tűzhányók mintaanyagával. Azonban megtalálható két mintacsoport, amelyet sehol, egyetlen tűzhányó esetében sem dokumentáltak korábban. A két mintacsoport óriási jelentőségű lehet, a dácitos tűzhányók kitörési mechanizmusának modelljei esetében. Az említett mintacsoportok kürtőbeli elhelyezkedése és kitörésbe játszott szerepe azért fontos, mert a vulcanoi típusú kitörésekre alkalmazott kitörési modelleknek ellentmondó megjelenéssel rendelkeznek. **A korábban említett nagyobb mennyiségű, külső környezetből érkező fluidum helyett így a kürtő magma oszlopába érkező, magma keveredést, magma feláramlást, túlzott kigázosodást eredményező magma tömegek felelős a kitörést produkáló túlnyomásért.**

6. Köszönetnyilvánítás

Először is szeretnék köszönetet mondani Dr. Harangi Szabolcs professzornak, a kutatási témáért, rendszeres konzultációkért és minden egyéb hasznos segítségért. Köszönöm Kiss Baláznak a mérhetetlenül sok segítséget, amit napi rendszerességgel kaptam tőle, mind elméleti, mind gyakorlati szempontból. Köszönöm Sági Tamásnak minden segítségét, amelyek gyakorlati szempontból nagyon fontosak voltak számomra a munkám során. Köszönöm Dr. Józsa Sándor tanár úrnak és Vigh Csabának, hogy megismertették velem a munkámhoz szükséges laboratóriumi eljárásokat és módszereket. Köszönöm Családomnak , hogy amiben csak kellett , otthonról támogattak. KÖSZÖNÖM

7. Felhasznált irodalom

Alain Burgisser , Laurent Arbaret , Timothy H. Druitt , Thomas Giachetti, 2011: Pre-explosive conduit conditions of the 1997 Vulcanian explosions at Soufrière Hills

Volcano, Montserrat: II. Overpressure and depth distributions, Journal of Volcanology and Geothermal Research 199 (2011) 193–205

A.B. Clarke et. al. 2007: Petrologic constraints on the decompression history of magma prior to Vulcanian explosions at the Soufrière Hills volcano, Montserrat, Journal of Volcanology and Geothermal Research 161 (2007) 261–274

Francis, 1973: Cannonball bombs, A New Kind Of Volcanic Bomb from the Pacaya VUlcano, Guatemala, Geological Society of America Bulletin, 1973

Giachetti et. al.2010 : Bubble nucleation, growth and coalescence during the 1997 Vulcanian explosions of Soufrière Hills Volcano, Montserrat , Journal of Volcanology and Geothermal Research 193 (2010) 215–231

Giachetti et. al.2011: Quantitative textural analysis of Vulcanian pyroclasts (Montserrat) using multi-scale X-ray computed microtomography: comparison with results from 2D image analysis, Bull Volcanol (2011) 73:1295–1309

Harangi Szabolcs, 2011: Vulkánok - A Kárpát-Pannon térség tűzhányói, Geolitera

J.E.Hammer, K.V.Cashman, R.P.Hoblitt, S. Newman, 1999: Degassing and microlite crystallization during pre-climactic events of the 1991 eruption of Mt. Pinatubo, Philippines, Bull Volcanol (1999) 60 :355–380

Julia E. Hammer and Malcolm J. Rutherford, 2002: An experimental study of the kinetics of decompression-induced crystallization in silicic melt, *Journal Of Geophysical Research*, vol 107

Kiss Balázs 2009: Magmakamra-folyamatok és magmaféláramlási sebesség becslése a Kis-Csomád lávadóm alatt , Diplomamunka Eötvös Lóránd Tudományegyetem

Rădulescu, D., Patrascu, S. & Bellon, H., 1972: Pliocene geomagnetic epochs: New evidence of reversed polarity around the age of 7 m.y. – *Earth and Planetary Science Letters* 14, 114-128

Szabó, Cs., Harangi, Sz. & Csontos, L., 1992: Review of Neogene and Quaternary volcanism of the Carpathian-Pannonian region. - *Tectonophysics* 208, 243-256

Szakacs et.al, 1989: Volcanic bombs and blocks in the Harghita mountains, *D.S.Inst.Geofiz.vol 74/1* , 181-189

Seghedi, I., Downes, H., Harangi, Sz., Mason, P.R.D., Pécskay, Z., 2005: Geochemical response of magmas to Neogene–Quaternary continental collision in the Carpathian-Pannonian region: A review. - *Tectonophysics* 410, 485–499

Haraldur Sigurdsson, Bruce Houghton, Stephen McNutt, Hazel Rymer, John Stix 1999 : *Encyclopedia of Volcanoes Academic Press (First Edition 1999)*

Vinkler Anna Paula, 2005: A Csomád vulkáni komplexum piroklasztit egységeinek jellemzése vulkanológiai, petrográfiai és geokémiai adatok alapján, TDK Eötvös Lóránd Tudományegyetem

Heather M. N. Wright . Katharine V. Cashman , Mauro Rosi . Raffaello Cioni, 2007: Breadcrust bombs as indicators of Vulcanian eruption dynamics at Guagua Pichincha volcano, Ecuador, *Bull Volcanol* (2007) 69: 281–300