



# **Riolittufa őrlemények hatása a talajvíz megtartására**

TDK dolgozat

**Szeleccki Balázs**

**G27UDU**

ME-MFK, KÖRNYEZETMÉRNÖKI ALAPSZAK

III. ÉVFOLYAM

TÉMAVEZETŐK:

Dr. Kristály Ferenc

Tompa Richárd

ME-MFK, ÁSVÁNY- ÉS KÖZETTANI INTÉZETI TANSZÉK

BÁNYÁSZATI ÉS GEOTECHNIKAI INTÉZET

MISKOLC, 2022. NOVEMBER 2.

### **Eredetiségi nyilatkozat**

*„Alulírott Szeleczi Balázs, a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának hallgatója büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és aláírással igazolom, hogy ezt a dolgozatot saját magam készítettem, a benne leírt vizsgálatokat – ha ezt külön nem jelzem – magam végeztem el, és az ismertetett eredményeket magam értem el. Adatokat, információkat csak az irodalomjegyzékben felsorolt forrásokból használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.”*

Miskolc, 2022. november 2.

.....  
hallgató aláírása

### **Konzulensi nyilatkozat**

*Alulírott Dr. Kristály Ferenc, a Miskolci Egyetem Ásvány- és Kőzettani Intézetének tudományos főmunkatársa a TDK dolgozatot beadásra alkalmasnak ítélem.*

*Alulírott Tompa Richárd, a Miskolci Egyetem Bányászati és Geotechnikai Intézetének tanársegédje a TDK dolgozatot beadásra alkalmasnak ítélem.*

Egyéb megjegyzések, ajánlás:

Miskolc, 2022. november 2.

.....  
a konzulens aláírása

.....  
a konzulens aláírása

# TARTALOMJEGYZÉK

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. BEVEZETÉS .....                                                         | 1  |
| 2. SZAKIRODALMI ÖSSZEFOGLALÓ.....                                          | 2  |
| 2.1. Talajok vízgazdálkodása .....                                         | 2  |
| 2.2. Vulkáni tufák .....                                                   | 3  |
| 2.3. Riolittufa .....                                                      | 5  |
| 2.4. Dácittufa .....                                                       | 6  |
| 2.5. Andezittufa .....                                                     | 6  |
| 2.6. Bazalttufa.....                                                       | 7  |
| 2.7. Riolittufa kialakulása tulajdonságai, előfordulása és bányászata..... | 7  |
| 2.8. Tektoszilikátok .....                                                 | 8  |
| 2.9. Riolittufa felhasználási területei alkalmazások.....                  | 9  |
| 3 MINTAELŐKÉSZÍTÉS .....                                                   | 11 |
| 3.1. Tömegvesztési kísérletre való előkészítés .....                       | 11 |
| 3.2. Kőzetszerkezeti vizsgálatok .....                                     | 12 |
| 3.3. Riolittufa vízmegtartását befolyásoló hatások vizsgálata .....        | 12 |
| 3.4. Porítási eljárás .....                                                | 13 |
| 4. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK.....                                               | 13 |
| 4.1. Röntgen-pordiffrakció (XRD) .....                                     | 13 |
| 4.2. Pásztázó elektronmikroszkóp (SEM-EDS).....                            | 13 |
| 4.3. Száradási tömegvesztés .....                                          | 14 |
| 4.4. Területarányos porozitás mérés .....                                  | 14 |
| 5. EREDMÉNYEK ISMERTETÉSE .....                                            | 15 |
| 5.1. Tömegvesztési kísérlet .....                                          | 15 |
| 5.2. Röntgen-pordiffrakció-vizsgálat (XRD) .....                           | 20 |
| 5.3. Pásztázó elektronmikroszkóp (SEM-EDS).....                            | 21 |
| 6. DISZKUSSZIÓ .....                                                       | 23 |
| 7. ÖSSZEFOGLALÁS .....                                                     | 25 |
| 8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....                                                | 26 |
| 9. IRODALOMJEGYZÉK .....                                                   | 26 |
| 10. MELLÉKLETEK.....                                                       | 28 |

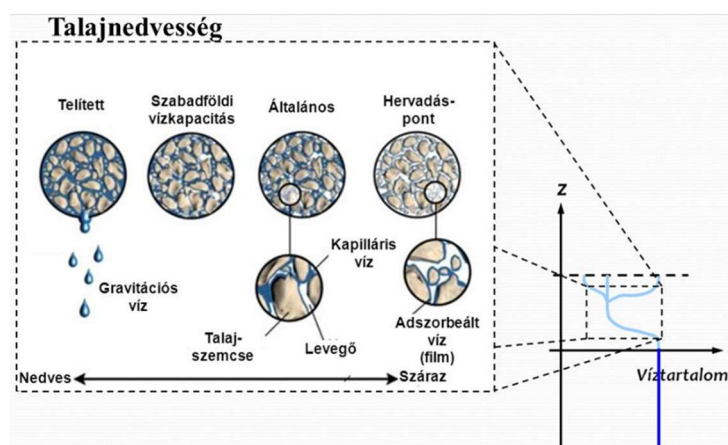
## 1. BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedek statisztikai adatai szerint jelentős változások következtek be természetes környezetünkben, az általánosan „klímaváltozás” formájában észlelt eredményekkel. A régióként eltérő szélsőséges időjárás hatására a mezőgazdasági termelés stabilitása is gyengült. A növénytermesztés kritikus időszakainak tekinthető tavaszi és nyári aszályok száma, illetve hossza jelentősen megnövekedett. Az általuk okozott károk nem csak a nagy parcellás monokultúras szántóföldi művelésben dolgozóknak, de a kiskertészeti gazdaságoknak is jelentős veszteségeket eredményez. A terméshozamokban bekövetkezett csökkenés jelentős anyagi károkhoz és többletmunkához vezet. Az elégtelen mennyiségű és eloszlású csapadék hasznosíthatóságát tovább nehezíti a termőföldek túlhasználása, egyre romló állapota. A mezőgazdasági művelés alatt lévő hazai talajaink jelentős részénél is megjelenik a kiporzás, kialakul a túltömörödés és szerkezeti degradációk következnek be, amelyek belvizeket okozhatnak, illetve a talajvizeink mennyiségi csökkenéséhez vezetnek (<https://agraragazat.hu/hir/talaj-talajelet-termokepesseg-talajdegradacio-biodiverzitas-mezogazdasag/>). Az említett problémák kezelésére, kiemelkedően a talajok vízháztartásának javítására választottam a bodrogkeresztúri riolittufát, amely, ha nem is jelent teljes megoldást, de a problémák mérséklésére egy természetes és nagy mennyiségben rendelkezésre álló anyag. Annak ellenére, hogy régóta alkalmazzák különböző mezőgazdasági művelési ágakban, valamint sokan vizsgálták és kísérleteztek vele, szántóföldi alkalmazással is (Köhler, 2008), a mezőgazdaság számára tervezhető vízmegtartása még nincs meghatározva, illetve részletes szerkezeti vizsgálatot, valamint a talajok vízháztartására gyakorolt hatásait nem elemezték. Kutatásom során ennek az anyagnak a pontos, modellezhető és alakítható vízmegtartó képességét határozom meg a porozitásának részletesebb megismerésével, valamint analitikai módszerekkel, hogy a kültéri-szántóföldi, valamint beltéri kultúráknál optimálisan, növény-specifikusan alkalmazható legyen. A növények számára könnyen elérhető vizet a talajok szerkezeti tulajdonságainak javításával lehet biztosítani. A kapilláris vízvisszatartásával a hervadási pont elérési idejét képesek vagyunk növelni (Füleky, 2011). Ennek következtében a növények fejlődése dinamikusabbá válik és az enyhe szélsőségekkel szemben ellenállóbbak.

## 2. SZAKIRODALMI ÖSSZEFOGLALÓ

### 2.1. Talajok vízgazdálkodása

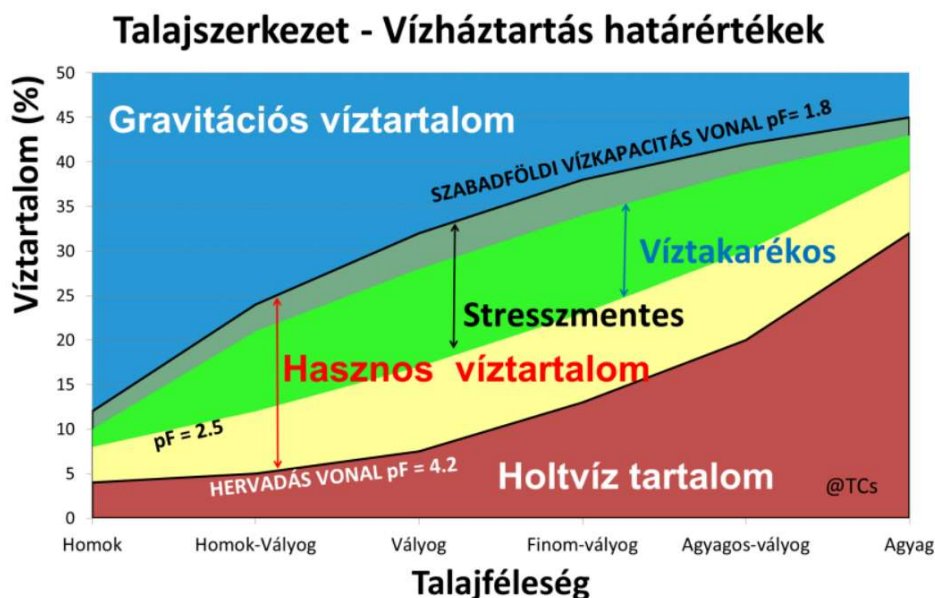
A talajok vízgazdálkodását az általuk tárolni képes víz mennyiségével/mozgékonyságával és a nedvesség tér-időbeli változásával lehet jellemezni. Tulajdonságai meghatározzák a növények gyökerének víz-levegő ellátottságát és kihatnak a talajok biológiai aktivitására. A talajnedvesség mozgása és a növények általi hasznosíthatósága a víz kötöttségével (energiaállapotával) összefüggő jelenség. A talajnedvesség energiaállapotát a molekulák mozgási lehetősége határozza meg, ami a talajközeg egyes részeinek potenciáljával fejezhető ki. A talajban fellépő nedvességpotenciál fajtái: gravitációs potenciál, mátrix potenciál (szilárd fázisú mátrix felületén és kapilláris rendszerben lévő erők összetett hatása), nyomáspotenciál (víz hidrosztatikai nyomásából) és ozmózis potenciál (oldott anyagok hatása). A nedvesség a talajban kötött vízként van jelen (1. ábra), ami lehet kémiaiilag kötött szerkezeti víz és fizikai erőkkel erősen vagy lazán kötött (abszorbeált) víz. A kapilláris víz a 0,2-10  $\mu\text{m}$  átmérőjű kapillárisokban és talajszemcsék érintkezésénél visszatartott víz. Lehet támaszkodó kapilláris víz (alulról felszívott nedvesség, amely szikesedést okoz) és függő kapilláris, felülről beszivárgó víz (pl.: csapadék). A szabad vízhez tartozik a kapilláris gravitációs víz a 10-50  $\mu\text{m}$  átmérőjű pórusokban, ahol a víz elkezd lefelé áramlani. Gravitációs víz az 50  $\mu\text{m}$ -nél nagyobb átmérőjű pórusokban található, ahol a gyors lefelé történő áramlás következtében az oldott anyagok és diszpergált kolloidok lemosódását okozza. A telített zónában a szabad víz jelenti a talajvizet.



1. ábra: Talajnedvesség csoportosítása. <https://slideplayer.hu/slide/2087742/> alapján

A talajok vízkapacitásánál megkülönböztetünk szabadföldi vízkapacitást (gravitációval szemben visszatartott víz), maximális vízkapacitás (kétfázisú/telített zóna) és minimális vízkapacitást (Füleky, 2011).

Az egyes talajtípusok által tárolt, megtartott vízmennyiség és annak kategóriái a 2 ábrán láthatók.



2. ábra Talajszerkezet – Vízháztartás határértékek (Tóth, 2018).

## 2.2. Vulkáni tufák

A vulkáni tufák egy sajátos típusát képviselik a vulkáni kőzeteknek, úgy szerkezetüket, mint ásványtani összetételüket tekintve. Az explozív vulkáni tevékenység során a nagy nyomás alól feltörő szilikátolvadék, gőzök és gázok elegye szétrepeszt, aprózza az útjukba kerülő kőzeteket, a felszínt elérve a porlasztott lávát juttatva a levegőbe, amely ott gyorsan szilárdul meg. A kihulló kőzettörmelék jelentős része lávaanyagú, de a fekvő és mellékkőzetek szétroncsolt törmelékét, vagy átalakult kőzetanyagát is hordozhatják. Anyaguk általában laza porszerű, amelyben gyakran változó nagyságú lávadarabok találhatóak: lapilli, rapilli, bomba és vulkáni hamu. Ezen törmelékek méretükből adódóan a kitörés helyétől változó távolságba jutva hullanak ki, vízi vagy szárazföldi környezetben. A túlnyomó részt durva törmeléket és kevés tufa anyagot tartalmazó képződményeket vulkáni breccsának, ha a finom porszerű – vulkáni hamu –anyag halmozódott fel, cineritnek nevezzük. Ahol a vulkáni kőzettörmelékbe üledékes, illetve átalakult kőzettörmelékek is keverednek ott, tuffitszerű kőzet keletkezett. A tufák szerkezetét befolyásolja, hogy keletkezésük milyen környezetben történt. A finom vulkáni

hamu és törmelék, ha vízbe, illetve szárazföldre hullott, a szerkezetük mikro- vagy makroporózus között változik. (Harangi et al 2013). A felszínre jutás gyors kihűlést eredményez, amelynek során keletkező szilikátos anyagból képződnek, így jelentős amorf – közetüveg – tartalmuk lehet, átalakulásuk során agyagásványok és zeolitok képződésének lehetnek a kiindulási anyaga. A vulkáni anyag geokémiai jellege befolyásolja a porozitás mértékét is, pl. a magas  $\text{SiO}_2$  tartalmú riolitos vulkanizmusra jellemző a nagy mennyiségű horzsakő képződése, amely a tufában halmozódik fel. Felszínen megmaradt, nem tömörödött riolittufákban a horzsakő maradványok jelentős nyílt pórusteret eredményez. Bár az andezites és bazaltos vulkanizmusra nem jellemző a horzsakőszerű anyagok képződése/jelenléte, a levegőből kiülepedő laza anyag porózus maradhat, illetve zeolitosodás, agyagásvány képződés történhet, főleg vízalatti környezetben.

Az ásványtani összetétel szerint a közetüveg mellett, a vulkanizmus kemizmusának megfelelően, alkáliföldpátok (riolitos anyagban), intermediér plagioklászok (andezites anyagban) vagy Ca-plagioklászok (bazaltos anyagban) dominálnak. Ellenben az aktív vulkáni területen hidrotermás fluidumok keringését is kiváltja, így a tufákat átjáró oldatok földpátok és kova (kvarc, tridimit, cristobalit, opál) kicsapódását, zeolitosodást és/vagy szmektitosodást, valamint ritkaföldfém vagy egyéb ércdúsulást is kiválthatnak.

A kialakult tufák vegyi és ásványtani összetétele a kiömlési közetükkel szinte azonos, valamint rétegzettségükkel is rendelkeznek, esetenként növényi és állati ősmaradványokat is tartalmaznak, ami segít a képződésük korolását. Megmunkálhatóságuk szempontjából rendkívül kedvező anyagnak számítanak az építőiparban. A kiömlési közetüvekhez képest hézagterfogatuk, víztartalmuk és vízfelvevő képességük jelentősen magasabb. A víztartalmukat és vízfelvevő képességüket, nemcsak a magas hézagterfogatuk befolyásolja, hanem ásványtani összetételük és állapotuk is. A tufák a kiömlési közettel megegyező változatok, ebből következően a kémiai összetételük alapján határozzuk meg a fajtájukat, a TAS diagram segítségével. A meghatározandó ásványtani összetétel mellett megjelennek a horzsakövek, valamint a lávatörmelék darabok, amelyek a tufák szilárdságát gyengítik. A tufák időtállósága és szilárdsága alacsonynak tekinthető, kivéve beltéri környezetben, a víz, hőmérséklet és légköri gázok korróziójától védve. A magas oldott iontartalmú oldatok (pórusvíz, rétegvíz) perkolációja során a tufákban megjelenhet a kaolinosodás, bentonitosodás és zeolitosodás, valamint előfordulhat a kovásodás és karbonátosodás kötőanyagként. A piroklasztitok genetikai osztályozása a szállítás és leülepedés módja alapján történik, amelyből a robbanásos vulkáni kitörés módjára is lehet következtetni. A piroklasztos üledékek, valamint a piroklasztok két csoportba sorolhatók: hullot vagy szórt

piroklasztos üledék és piroklasztitok, valamit piroklaszt sűrűségárák. Ha a vulkanoklasztos képződmény másodlagos/bizonytalan eredetű, akkor Mc Phie et al. (1993) alapján a törmelékes üledékes nevezéktani besorolást és nevezéktant alkalmazzuk. A piroklasztos üledék és piroklasztitok nevezéktana a szemcseméret, komponensek, litofációs és átalakulás alapján történik. (Harangi, 2013)

A tufákat gyakran építőanyagként is felhasználták pl.: Egri vár, vagy a Visegrádi Fellegvár építésénél. A savanyú vulkáni tufákat trasszcement készítésére is alkalmas (Papp és Kertész, 1966).

### **2.3. Riolitufa**

Az explozív kitörések következtében a nagy viszkozitású, magas  $\text{SiO}_2$  tartalmú savanyú magma nagy sebességgel a felszín felé tör gázok (főleg  $\text{CO}_2$ ) és gőzök kíséretében (Kónya és társai, 2008). A riolitufa kristályos, kevésbé finomszemű frakcióját tekintve idiomorf és hipidiomorf, fehéren fénylő táblásan kifejlődött földpát fenokristályok, sárgásfehér-sárga horzsakődarabok és alaktalan kvarc kristályok alkotják. Bizonyos változataiban megfigyelhetők fehér, sárga-fehér kaolinitdús zárványok, valamint apró fekete és fényes, a mállás következtében sárga vagy barnás megjelenésű biotitpikkelyek. Szerkezetét tekintve 1-2 milliméterestől tizedmikrométeresig terjedő átmérőjű hézagok találhatóak benne. A kaolinit kimosódása során üregek keletkeznek. Magyarországi előfordulásai Mátra ÉK-i részén Sirok és Eger, Bükk É-i részén Sajószentpéter, valamint a Tokaj-hegységben Bodrogkeresztúron, Erdőbényén (Papp és Kertész, 1966).

Zeolitos változataik a kiömlési kőzetek leülepedését követően a mállás, hidrotermás hatások (földpátok bomlása) és utóvulkáni működések) következtében átalakul a kőzet, vagyis a tufák zeolitosodtak, bentonitosodtak. Tokaj Hegyalján ezek a hatások hévforrások voltak (Papp és Kertész, 1966) amiket hidrotermás centrumok tápláltak. A zeolitok keletkezésük során a repedések, hasadékok és apró hézagok közé kristályosodtak. Megjelenésük alapján szabad szemmel nehezen, esetenként nem lehet megkülönböztetni a zeolitot nem tartalmazó riolitufáktól. Előfordulásuk a Tokaji-hegységben Mád határában hatalmas visszamaradt tömegekben találhatóak, amelyek bányászat alatt állnak (Papp és Kertész, 1966). A zeolitos tufák kialakulásukhoz nem feltétlenül szükséges hidrotermás, utóvulkáni tevékenység. Az áthalmazott üledékes tufákban is képes jelentős mennyiségű zeolit kristályosodni, ilyenre példa a Kárpátokban nagy területen felhalmozódott Dési-tufa

formáció anyaga (csak részben riolitos), amelynek akár háromnegyed tömegrészét is alkothatja klinoptilolit (Kristály és társai, 2014).

## **2.4. Dácittufa**

Megjelenése fehér, zöld, zöldessárga színű, finomszemű és esetenként rétegzett, pados. Alapanyaga lehet sima tömött, valamint apró hézagos, amelyben színtelen-fehér, hipidiomorf megjelenésű földpátok, xenomorf kvarc, biotitpikkelyek és amfibol figyelhető meg. Érdes apróhézagos előfordulásai megtalálhatóak a Mátra és Bükk É-i részén. A tömött zsíros tapintású sima felületű változata a Budafok, Fertőrákos, Sósút és Tétény durva mészkőrétegei között, valamint Erdélyben zöld megjelenésben fordulnak elő. A tömött, sima felületű, zsíros tapintású bentonitban gazda dácittufát papírgyártáshoz, növényvédő szerek gyártásához és fűróiszapoknak is feldolgozzák (Papp és Kertész, 1966).

## **2.5. Andezittufa**

Az andezittufa az előzőknél változatosabb lehet, színe szürke, rózsaszín, vörösesbarna vagy zöldes – a kőzetüveg és az alapanyag ásványait érintő mállástól függően. Szerkezetében apró hézagok találhatóak, amelyekben szabad szemmel földpátok, zeolitok, karbonátok vagy agyagásványok is megfigyelhetők. Előfordulnak finomszemű tömött változatai is. A Börzsöny hegység D-i részén durva agglomerátos andezitbreccsa található, az É-i részen a kitörési góctól távol pedig a finom andezittufa a jellemző. Két változata figyelhető meg, egy puhább, valamint egy kovasavval átitatott keményebb változata. Az ismétlődő vulkánkitörések és tufahullások következtében jól rétegzett. Mállási folyamatok során az anyag érdesebbé válik és megjelennek az apró hézagok a könnyebben málló ásványok kioldódása következtében. Jelentősebb előfordulásai Szentendre, Dunabogdány, Ipolydamás, Hont, Nagyoroszi, Drégelyvár, Gyöngyöspata, Gyöngyös (Papp és Kertész, 1966).

## 2.6. Bazalttufa

Megjelenése érdes, apró likacsos, sötétbarna, illetve sötétszürke közet. A Balaton környéki bazalttufában zárványokként permi vörös homokkő, fekete fillit, triásmész-kő és dolomit-zárványok figyelhetők meg. Megtalálhatóak benne olivin, augit és amfibol kristályok is. Mállás során felülete érdekesebbé válik, valamint alapanyagából elveszti a bazaltrapilli, bomba és egyéb zárványait. Előfordulása Tihany, Sitke, Magyargencs és Somoskő környéke (Papp és Kertész, 1966).

## 2.7. Riolittufa-kialakulása, tulajdonságai, előfordulása és bányászata

Magyarországi előfordulása alapján az É-i országrészben domináns. A Mátra-hegység K-i és É-i előterében, Tokaji-hegység jelentős részében és Bükkalján. A riolittufa összetételét tekintve változatos. Kialakulása a földtörténeti harmadidőszak alsó és középső miocénba tehető. Három jól elkülöníthető riolittufa szórási szakaszt ismerünk, amelyek nyomon követhetők a Mecsekben, Dunántúli-középhegységben, Északi-középhegységben és az Alföldön. Az első kitörési szakasz körülbelül a 20 millió évvel ezelőtti Gyulakeszi riolittufa szórás, amelyben 30-100 méter vastagságú réteg keletkezett. A második kitörési időszak a 17 millió évvel ezelőtti Tari-dácittufa szórás, ahol 15-30 méter vastag réteg képződött. A harmadik és egyben utolsó kitörési periódusban a középső miocén végén 13 millió évvel ezelőtti Galgavölgyi riolittufa szórás, ahol körülbelül 30 méter vastagságú anyag keletkezett.

A riolittufa kis testsűrűségű, kis szilárdságú közet. Porozitása nagynak tekinthető, aminek következtében vízfelvevő képessége igen jelentős. Szerkezetéből és ásványtani összetételéből következően agyagásványok keletkeznek benne, így a kémiai mállásra érzékeny (Kónya és társai, 2008).

A bodrogkeresztúri riolittufa (Papp és Kertész, 1966) térfogatsúlya  $1,3-1,4 \text{ g/cm}^3$  a magas porozitás miatt. Víztartalma 3-8 m/m% között mozog a magasabb kaolinosodás miatt. A vízfelvétel a bodrogkeresztúri riolittufánál a legmagasabb 15-30 m/m% között változik, de a 30 súlyszázalékot is meghaladhatja. A legalacsonyabb a magyargencsi bazalttufáé 3 m/m%, a szentendrei andezittufánál m/m7,2%. A bodrogkeresztúri riolittufa magas vízfelvevő képességét a nagy hézagterfogata mellett a földpátok kaolinosodottsága is jelentősen befolyásolta (Papp és Kertész, 1966).

A horzsakő likacsos-porózus, gyakran szivacsra hasonlító szerkezetű piroklasztos anyag, amely a riolitos vulkanizmusra jellemző, kis sűrűségű, szürkés, szürkésfehér színű. A heves explozív vulkáni működések során a levegőbe kerülő nagy viszkozitású lávában található gázok felhólyagosítják kihűlés előtt, a benne kötött víztartalom 6 m/m%-ig terjedhet (Pápay, 2006). A horzsaköves tufák porozitása sokkal magasabb lesz, ezáltal a vízfelvevő és tároló képességük is növekszik.

## 2.8. Tektoszilikátok

A tektoszilikátok rövid ismertetése során áttekintem a zeolitos víz nélküli földpát csoport, valamint a zeolitos vízzel rendelkező zeolit-csoport tagjait, amelyek a tanulmányban leírt ásványok jelentős részét adják. A földpát-csoport tagjait két általános képlettel írhatjuk le:  $R^+ (AlSi_3O_8)$  és  $R^{2+} (AlSi_2O_8)$  ( $R^+$  : Na, K és  $NH_4$  az  $R^{2+}$  : Ca, Ba és Sr). Szerkezetüket tekintve  $SiO_4$ -tetraéderek rendeződhetnek 4-es, illetve 8-as gyűrűvé. A rácsfelépítésük lazának tekinthető, ahol nagy méretű üregek helyezkednek el, amelyekben kationok találhatóak  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Ba^{2+}$ . A földpátok jelentős része egy albit, ortoklász/mikroclin, anortit összetételű háromkomponensű rendszer alá tartozik. Az albit-ortoklász kettős az alkáliföldpátokat, míg az albit-anortit kettős a plagioklászokat képviseli. A három szélső tag albit, anortit, ortoklász ideális kémiai összetétele a természetben ritkán fordul elő. Magas hőmérsékleten (600 °C felett) megfigyelhető a szinte tökéletes elegyedés az albit és anortit között, míg az albit ortoklász között szilárd oldatsort képeznek, amely alacsony hőmérsékleten, vagy lassú lehűlés esetén szételegyedik. Az anortit ortoklász között elegyedési hézag van, ilyen átmeneti fázisok nem képződnek. A földpátok optikai és szerkezeti vizsgálataiból következtetni tudunk a földtani viszonyokra, valamint keletkezési körülményeikre. Az alkáliföldpátok jelentős része nem homogén, káliumban és nátriumban gazdagok. A földpátok keletkezését a hőmérséklet és a lehűlés sebessége határozza meg. Gyors lehűlésnél szanidin, lassabb lehűlésnél ortoklász, míg a lassú lehűlés esetében a mikroclin képződése lesz az elsődleges. A legmagasabb hőmérsékleten monoklin szanidin, közepes hőmérsékleten monoklin ortoklász és alacsony hőmérsékleten triklin mikroclin keletkezik. Az albit esetében a képződési hőmérséklet befolyásolja, hogy felső-, vagy alsó-albitról beszélünk.

A zeolitok váza nyitott, nem úgy, mint a földpátoké, így az üreges szerkezetükbe gyenge kötésű úgynevezett zeolitos vizet vesznek fel, valamint egyéb változó méretű és vegyértékű molekulák épülnek be. A Zeolitokat kristályszerkezetük alapján csoportosítjuk,

megkülönböztetve lánc-, réteg, és kalitkaszerkezetű zeolitokat. A zeolitok szerkezetét a  $\text{SiO}_4$ - és  $\text{AlO}_4$ -tetraéderek kapcsolódási variációiból csatorna és kalitka alakú nyitott üregrendszerek alakulnak ki. A tetraéderek kapcsolódásából létrejövő réteg-, lánc- és kalitkaszerkezetek mérete és helyzetgeometriája változatos. A szerkezetben történő  $\text{Si}^{4+}$  és  $\text{Al}^{3+}$  helyettesítése következtében a töltésegyensúlyi megváltozásának, kation helyettesítés történik, melynek mértéke az  $\text{Al}^{3+}$ -  $\text{Si}^{4+}$  által történő beépülés mértékével megegyező. A folyamat során beépülő kationok az üregekben vagy a csatornában találhatóak szerkezeten kívüli kationoknak nevezik. A rácsban található üregekben és csatornában adszorpciósan kötött molekuláris víz található, amelyet zeolitos víznek nevezünk. A gyenge kötéssel rendelkező víz enyhe hevítés hatására is távozik anélkül, hogy a rács szerkezetét károsítaná. A leadott vizet képes újból felvenni az anyag. A víz leadásán és felvételen kívül a szerkezetükből adódóan képesek az anionok, kationok és más kisebb molekulák (nehézfémek) cseréjére (Szakáll, 2007).

## **2.9. Riolittufa felhasználási területei, alkalmazások**

A témával már többen foglalkoztak Magyarországon szakdolgozat, tudományos, illetve ipari kutatások formájában. Jelentős részükben egy-egy növényre gyakorolt pozitív hatások megfigyelése volt a cél, illetve mennyiségi felhasználásuk tekintetében adott régiókban történő optimális felhasználhatóságuk, valamint irodalmi összefoglalások találhatóak a témával kapcsolatban. Ilyen volt Hajdu Gábor „Vulkanikus eredetű kőzetek és ásványok mezőgazdasági jelentősége Magyarországon” című szakdolgozata, ahol a magyarországi vulkanizmust mutatja, be a talajjavítás tekintetében alkalmazható kőzetekkel és az ott található szőlőterületeket. Dolgozatában kitér a mezőgazdaságban leggyakrabban használt vulkanikus eredetű kőzetekre: alginit, riolittufa, zeolit, perlit, bazalt, amelyek felhasználásuk tekintetében részletesebb bemutatásra kerülnek.

A riolittufa fagyállóságának következtében fagyálló kerámiák gyártásához alkalmazzák, valamint betonok alapanyaga a burkolatok készítéséhez, illetve töltési anyagként is felhasználják út- és vízműépítések során (<https://colas.hu/colas-eszakko/uzem/bodrogkeresztur-banyauzem/>).

A vulkáni eredetű tufákat széles körben felhasználják a mezőgazdaságban is. Leggyakoribb felhasználási területei közé tartozik a talajjavítás, vízháztartás javítása, valamint a tápanyagok beépülésének és megőrzésének elősegítése (Owais, 2013). A

talajjavítóként alkalmazott tufáknak két fő hatását lehet kiemelni, csökkenti a párolgás sebességét és nagyságát, másrészt növeli a talaj víztároló képességét. Ezen hatások eredményeképpen csökkentik a talajokban fellépő hőmérséklet ingadozását, így a visszatartott többlet vizet a növények fejlődésére át tudja adni. A baromfitrágya és riolittufa kezelések hatásának vizsgálta Mészáros et al. (2018), és hozamnövelő hatást figyeltek meg chili-paprika fajták esetében.

Az alkalmazásuk típusát figyelembe véve többféle eljárással lehet találkozni. A kültéri művelésben a felszínen – védőtakaróként, a talajba szántva vagy ültetéssel/vetéssel a gyökérzet közelében adagolva, míg beltéri felhasználás során hidropónikus ágyazatba keverve. Valamint nem csak mezőgazdasági alkalmazásban, hanem a városi környezet zöldítésénél a Technosol típusú (Schad, 2018) szintetikus ágyazatok előállításánál is hasznos nyersanyagok (Flores-Ramírez, 2018). Magyarországon is több évtizedre vezethető vissza a vulkáni tufák mezőgazdasági felhasználásának kutatása, főleg a bodrogkeresztúri riolittufa esetében (<https://www.riolittufa.hu>). Fontos szempont, hogy a hidrotermás vagy diagén átalakulások által érintett tufa kőzetekben milyen járulékos ásványok képződtek, ugyanis a Fe-szulfidok savasodást, az As, Pb, Sb, stb szulfidokban való megjelenése pedig a mállás és kioldódás során nehézfém szennyezést eredményezhet.

A porozitáson és szerkezeten kívül jelentős szerepe lehet az ásványtani összetételnek is, főleg a vízmegkötésre képes ásványok, szmektitok és zeolitok által. A zeolitos bazalttufa talajtakaróként való alkalmazása során (Al-Zboon, 2019) a felszínen nyolcszor, míg 1 méteres mélységben kétszer több vizet tudnak megtartani az agyagos homoktalajok, és ezen kívül jelentős hatás volt megfigyelhető a talaj és növények tápanyag dúsulásában is. A bodrogkeresztúri riolittufa talajjavító (Cseuz és Köhler, 2009) és tápanyag utánpótló (Köhler, 2008) hatását korábban is vizsgálták, amely során sikerült kimutatni a pozitív hatásokat. Az elért eredmények, csak kis mértékben voltak részletesen ásvány- és közettani paraméterekhez kapcsolva, amik figyelembevételével javíthat a felhasználás eredményességén. A zeolitot tartalmazó vulkáni tufák esetében jelentős javulásokat sikerült kimutatni a növényfejlődés és talajregenerálódás terén is (Al-Tabbal, 2020).

### 3. MINTAELŐKÉSZÍTÉS

#### 3.1. Tömegvesztési kísérletre való előkészítés

Az elvégzett kisléptékű laboratóriumi kísérletek folyamán a riolittufát a talajba kevertem, a vízmegtartó képesség tesztelése céljából, amely várhatóan a közet összetételétől, szerkezetétől és porozitásától függ elsődlegesen. A mérések során felhasznált horzsakőben gazdag riolittufa a bodrogkeresztúli bányából származik. Az innen vett mintákat a Colas vállalat bányaudvarában eladásra előkészített különböző frakcióikból bocsájtottak rendelkezésemre, valamint egy nem termelt közetből is állítottam elő frakciókat laboratóriumban. Az osztályozó üzemből származó töretek BK0/5, BK0/12, BK0/22, BK5/12-es minták voltak. Az általam előállított frakciók aprítását acélbetétes mozsárban kezdtem. A törést követően 2 darabos szitasoron 3 frakciót készítettem elő 2mm feletti, 2-1 mm közötti és 1 mm alatti. Összehasonlító mintaként andezit 0-4 mm-es osztályozott frakcióját alkalmaztam, ami a szobi bányából származik. A keverék összeállításához két különböző talajt használtam, egy görömbölyi meszes öntés, valamint egy agyagos vályogtalajt. Minden sorozathoz a referencia minta az adalék nélküli talaj, azonos locsolással.

A talaj-adalék mintákat 10x20x10 centiméteres mérőedényekben állítottam össze, a mérések 2 fázisban zajlottak. Első mérési sorozatban meghatároztam a legmegfelelőbb talajt és tufát, amelyekkel további mérés végezhető. Ebben a szakaszban 4 mérést végeztem el, két mérést a görömbölyi öntéstalajon majd ezt követően további kettő vályogtalajon. A kísérlethez használt öntéstalaj tömege 400 g, a talajba kevert riolittufa és andezit tömege 80 g, amely a talaj 20 tömegszázalékának felelt meg. A belocsolt desztillált víz mennyisége 35 ml volt, amely a talaj tömegére vonatkoztatott 8 és 9 tömegszázalék közötti víztartalom, amely kellően alacsony érték a rövid távú változások kimutatására. A keverékek belocsolása területarányosan, csepegtetéssel történt pipetta alkalmazásával, így elkerülve a víz egyenlőtlen eloszlását. A kapott eredmények alapján a vályogtalajon folytak a további mérések a bányából származó különböző frakciójú tufákon, három párhuzamos mintán, a mérési bizonytalanságok korrigálása miatt. A keverékek térfogatarányosan lettek összeállítva, a mérőedények térfogata  $0,55 \text{ dm}^3$ , amelyek  $\frac{3}{4}$  részig voltak talajjal megtöltve (696,6 g talajt eredményezett mintánkként), a különböző szemcseméretű adalékok  $0,2 \text{ dm}^3$  mennyiségben lettek a talajhoz hozzáadva (eltérő térfogat kitöltésük következtében tömegük nem azonos). A belocsolt desztillált víz mennyisége 110 ml volt, amely a mérőedény 20

V%-ra volt viszonyítva. A keverékek belocsolása szintén területarányosan, csepegtetéssel történt pipetta alkalmazásával, így elkerülve a víz egyenlőtlen eloszlását.

### **3.2. Kőzetszerkezeti vizsgálatok**

A SEM-EDS mérések elvégzéséhez 5 darab pogácsába öntött mintát készítettem elő a Miskolci Egyetem Ásvány- és Kőzettani Intézeti Tanszék laboratóriumában. A csiszolatok elkészítéséhez a mintákat Araldite 2020 kétkomponensű műgyantába beágyaztam. A három napos kötési idő letelte után elkezdhettem a minták csiszolását 220-es, 320-as, 500-as, 800-as 1200-es 2000-es Si-karbid csiszolópapíron. A csiszolóporos eljárást nem tudtam alkalmazni a minták nagy kiporzása miatt. A mintákat váltásonként kiultrahangoztam és desztillált vízben lemostam a keresztszennyeződések elkerülése érdekében. A csiszolás után a mintákat polírozó géppel kézzel políroztam. A folyamat során 6  $\mu\text{m}$ -es, 3  $\mu\text{m}$ -es, 1  $\mu\text{m}$ -es, 1/4  $\mu\text{m}$ -es gyémántszemcséket tartalmazó polírozópasztát alkalmaztam. A polírozókorongot vízbázisú kenőanyaggal és desztillált vízzel nedvesítettem. A polírozó anyagok váltásai során a mintákat kiultrahangoztam és desztillált vízzel lemostam. A megfelelő minőségű felület elérésénél a minták készen álltak a SEM-EDS vizsgálatok elvégzésére.

### **3.3 Riolittufa vízmegtartását befolyásoló hatások vizsgálata**

Az irányadó porozitás vizsgálatot az ImageJ nevű képelemző szoftver segítségével végeztem a minták BSE képein. Az effektív porozitás meghatározásához módszert kell fejleszteni, mert a szabványos eljárásokkal, például higanyintrúziós vizsgálattal az örlemény típusú minták nem vizsgálhatóak. Továbbá az anyagok vízfelvevő képességének vizsgálatával további méréseket végeztem. A mérések során a riolittufa vízmegtartását befolyásoló hatásokat is teszteltem talaj hozzáadása nélkül. A mérés előkészítése során 200 ml térfogatú anyagot felhasználva, a mérőlombikot 205 ml-ig feltöltöttem vízzel. Ezt követően hagytam leszáradni a mintákat a víz lecsurgatása nélkül, 24 óránként mérve a tömegvesztést. A másik mérési elrendezés során 3 párhuzamos mintán végeztem mérést a bányából származó mintákon, amelyekből 0,6 dm<sup>3</sup> térfogatú mennyiséget helyeztem főzőpoharakba, amiket 75°C-on tömegállandóságig történő szárítás követően 70 ml-ig feltöltöttem vízzel. A mintákat 24 órán keresztül állni hagytam, majd a vízfelesleget óvatosan lecsurgattam a pohárból. Az így kapott „bőrnedvesnek” vehető mintákon mértem tömegvesztést a kiindulási víztartalomra normálva. A 75 °C-on történt rövid idejű vízleadás

során a zeolitok és duzzadó agyagásványok hatása háttérbe szorult, míg a vízmegkötéshez elérhető felület és aktív porozitás hatásai tudtak érvényesülni. A szabadlevegőn történő vízmegtartási kísérlet során a zeolitok és duzzadó agyagásványok hatásai is tudnak érvényesülni az aktív porozitás és vízmegkötéshez elérhető felület mellett. (értelmezés milyen összefüggés mutatható az eloszlási görbék között)

### **3.4. Porítási eljárás**

A röntgen-pordiffrakciós (XRD) mérések elvégzéséhez a mintákon porítást kellett végezni. Az eljárást a bányából származó frakciókon (BK0/5, BK0/12, BK0/22, BK5/12), a laboratóriumban előállított töreteken (0-1mm, 1mm, 2mm) és az osztályozatlan mintán is elvégeztem.

A szárítószekrényben 75°C-on (a zeolitok dehidratációját megelőzendő) tömegállandóságig kiszárított mintákat feladtam az acélbetétes mozsárba, ahol 1 mm alatti szemcseméretű lett a töret. A következő lépcsőben az 1 mm alatti mintákat tovább finomítottam a porcelán mozsárban, ahol 50 µm alá lettek porítva. Az XRD méréshez a mintákat tovább kellett porítani az achát mozsárban 4-5 µm-es méret alá, így a minták készen álltak a mérésre.

## **4. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK**

### **4.1. Röntgen-pordiffrakció (XRD)**

XRD vizsgálatok a Miskolci Egyetem Ásvány-és Kőzettani Intézeti Tanszéken Bruker D8 Advance (Cu k-alfa sugárzás, 40 kV, 40 mA) műszerrel végeztük, Bragg-Brentano geometriával, Vantec-1 helyzetű érzékelő detektorral (1° ablaknyílással). A kiértékelést DifffracPlus EVA szoftverében, Search/Match algoritmussal, az ICDD PDF2 2005 adatbázisa alapján történt. A vizsgálatok elvégzésében és a kapott diffraktogramok kiértékelésében Dr. Kristály Ferenc tudományos főmunkatárs segített.

### **4.2. Pásztázó elektronmikroszkóp (SEM-EDS)**

Az energiadiszperzív spektrométerrel felszerelt pásztázó elektronmikroszkópos (SEM+EDX) vizsgálatok Jeol 8600 JXA Superprobe elektronmikroszkóppal, 20kV gyorsító

feszültséggel, 20 nA mintaárammal és 60 s-os spektrumok mérésével történtek, karbon vezetőréteggel bevont mintákon. A mérések Dr. Kristály Ferenc segítségével történtek. A kapott eredményekből információt nyertünk a közetszövetre, porozitására, valamint az egyes fázisok kémiai összetételére. A dolgozatban a visszaszórt elektronképeket használok fel az értelmezéshez.

#### **4.3. Száradási tömegvesztés**

A levegőn történő szárítás tömegvesztési folyamatait AE-ADAM ACBplus típusú precíziós mérlegen mértem, 24 órás intervallumokban. A mérleg 1500 g-ig mér, beosztása 0,05 g míg megbízhatósága  $\pm 0,09$  g.

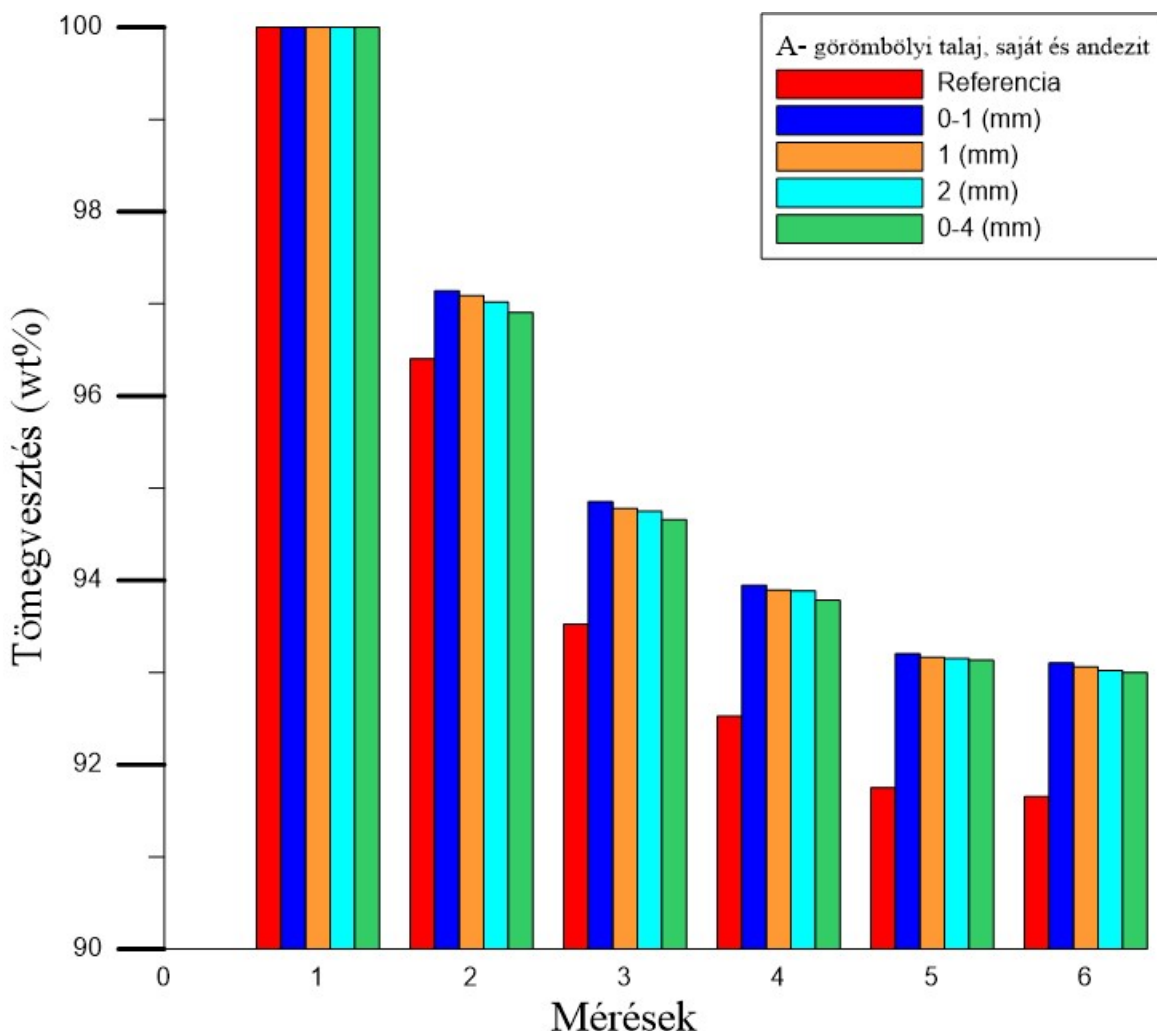
#### **4.4. Területarányos porozitás mérése**

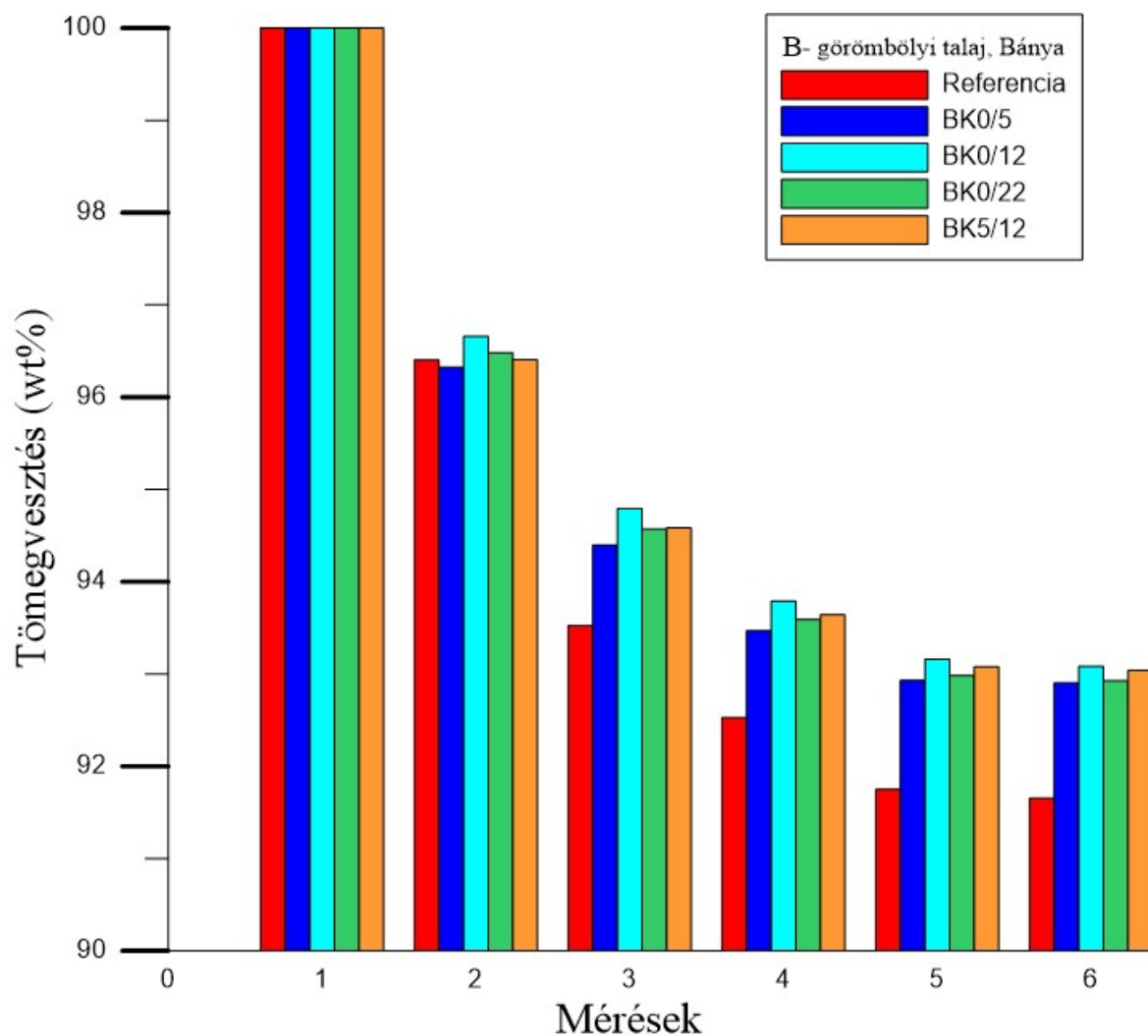
Az ImageJ program segítségével tudtam a BSE képeken látható pórustereket beazonosítani. A programba behívott BSE képen első lépésben beállítottam a méretarány a képen látható értékek szerint. Ezt követően Image -Crop paranccsal lehatároltam a munkaterületet. Következő lépésként az 50  $\mu\text{m}$ -nél nagyobb pórusokon vágással eltávolítottam a zavaró elemeket. A Threshold paranccsal kijelöltem a pórusokat (nyitott és zárt pórusterek). A Set Measurements parancsban beállítottam a mérendő paramétereket: Area, Standard deviation, Area fraction és Feret's Diameter. Ezt követően az Analyze Particles paranccsal meghatároztam az irányadó porozitást az alábbi beállítások mellett: Show-Overlay, Display results, Summerize, Include holes, Overlay.

## 5. EREDMÉNYEK ISMERTETÉSE

### 5.1. Tömegvesztési kísérletek

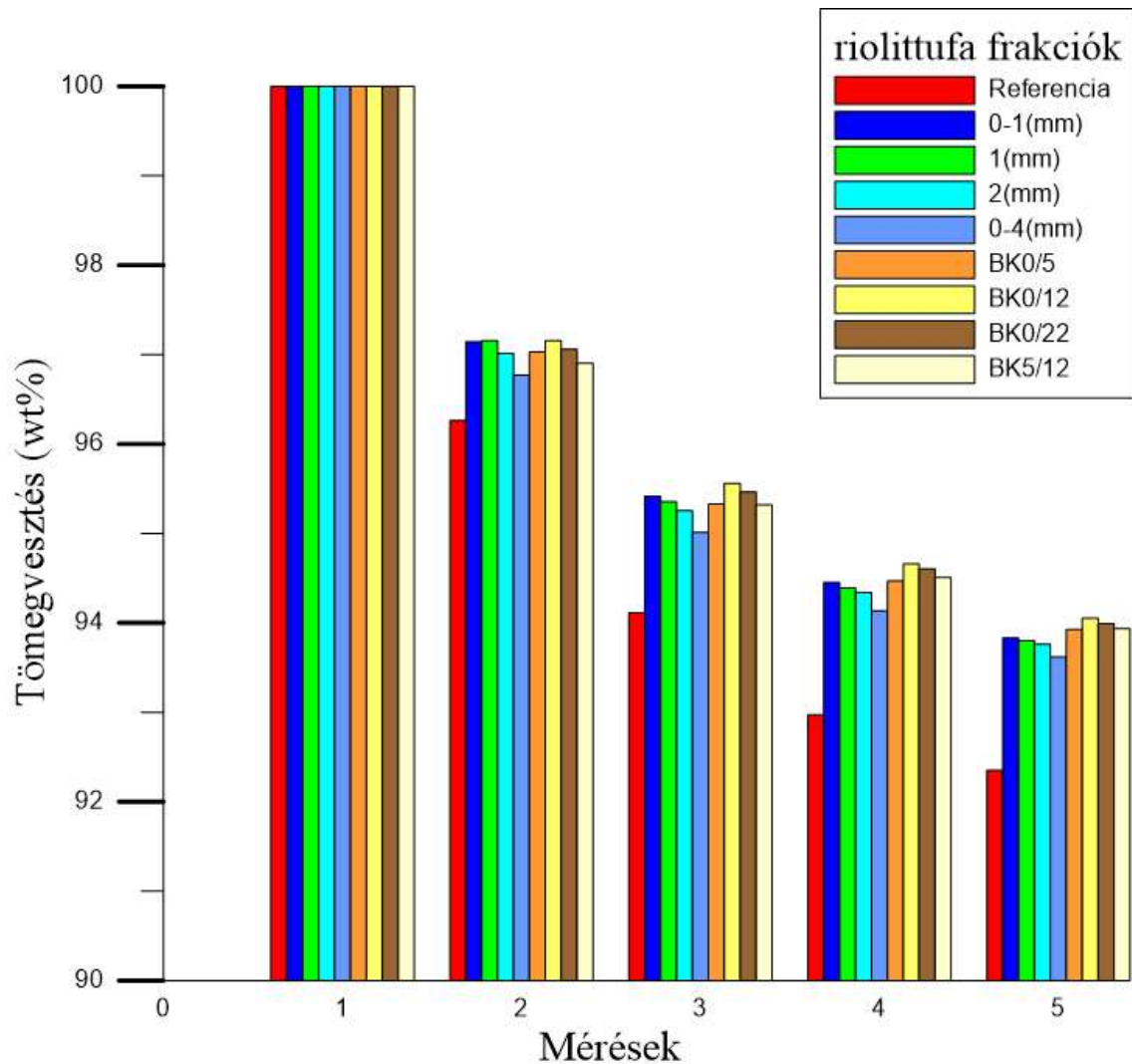
Az elvégzett száradási kísérletek során a cél a legtöbb vizet visszatartó termék kiválasztása volt. Az első mérési sorozatot görömbölyi öntéstalajon végeztem. A laboratóriumi frakciókból a 0-1 mm-es 0,04-0,1 wt%-kal több vizet tartott meg többinél. A bányából származó termékek esetében a BK 0/12-es minta 0,1-0,3 wt%-kal több víz megtartására volt képes a többi frakcióhoz képest. Az összesített eredmény alapján a laboratóriumi frakciók több víz megtartására voltak képesek a görömbölyi talajon 0.3-1 wt% közötti értékben. A mérési eredményeket a 3. ábra A és B diagramjain mutatom be.





3.ábra: Különböző szemcseméretű adalékok száradási tömegvesztési adatai, A laboratóriumi, B bányából származó minták görömbölyi talajon, 24 óránként történt mérések sorozata.

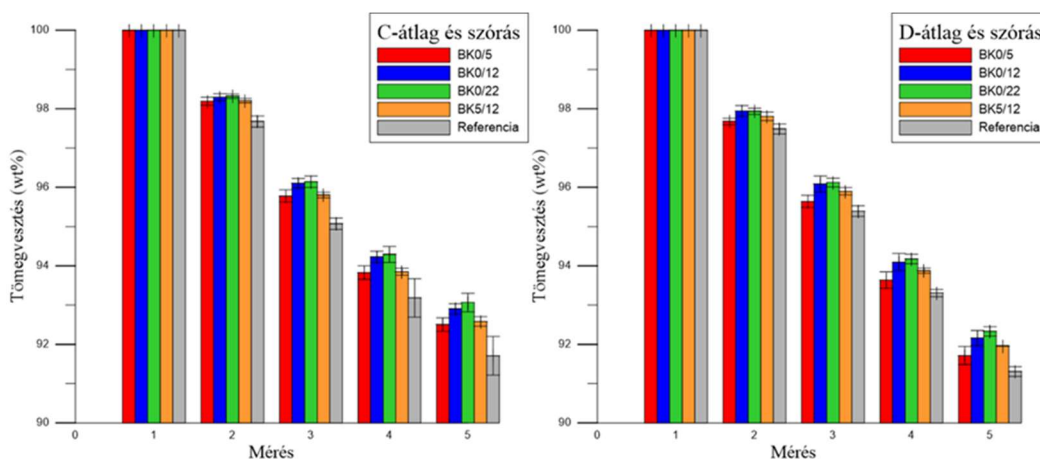
A vályogtalajon elvégzett mérés során szintén a 0-1mm és BK 0/12-es frakció tartotta vissza legtöbb nedvességet, összesítést tekintve vályogon a bányából származó termékek több vizet tartottak meg 0,1-0,4 wt%-kal a referenciához és a 0-4mm-es andezithez képest, mint a laboratóriumi töretek. A további vizsgálatok vályogtalajon történtek háromszoros ismétlésben a bányából származó termékeken, mivel ezek a termékek nagyobb hatékonyságot mutattak ezen a talajtípuson. A mérési eredmények ábrázolása a 4. ábrán látható



4. ábra: februári vályogtalajon elvégzett száradási kísérlet, 24 óránként történt mérések sorozata.

A szórás alkalmazásával látható a mérési eredmények közötti bizonytalanságok és esetleges eltérések mértéke. A C méréssorozat vályogtalaján elvégzett háromszoros ismétléses vizsgálatok eredményeinek átlaga alapján a BK0/22-es frakció kötötte meg a legtöbb vizet, a BK0/12-es frakció 0,16 wt%-kal kevesebbet kötött meg hozzá képest a többi frakció 0,5 wt%-kal volt kisebb. A legnagyobb vízvisszatartást mutató frakció a BK0/22-es volt, amely a referenciához képest 0,65-1,34 wt%-kal több vizet volt képes megtartani. A BK 0/5 a legalacsonyabb megkötést mutatta 0,52-0,79 wt%-kal magasabb víz megtartásra volt képes a referenciához képest. A D mérési sorozat esetében sem történt nagy változás a C sorozathoz képest. A BK0/22-es tartotta vissza a legtöbb vizet, alatta változatlanul a BK0/12-es minta 0,16 wt%-kal. A többi minta 0,4-0,5 wt%-kal kevesebbet kötött meg a BK0/22-höz képest. A D mérési sorozat során a C-hez hasonlóan a BK0/22-es volt a

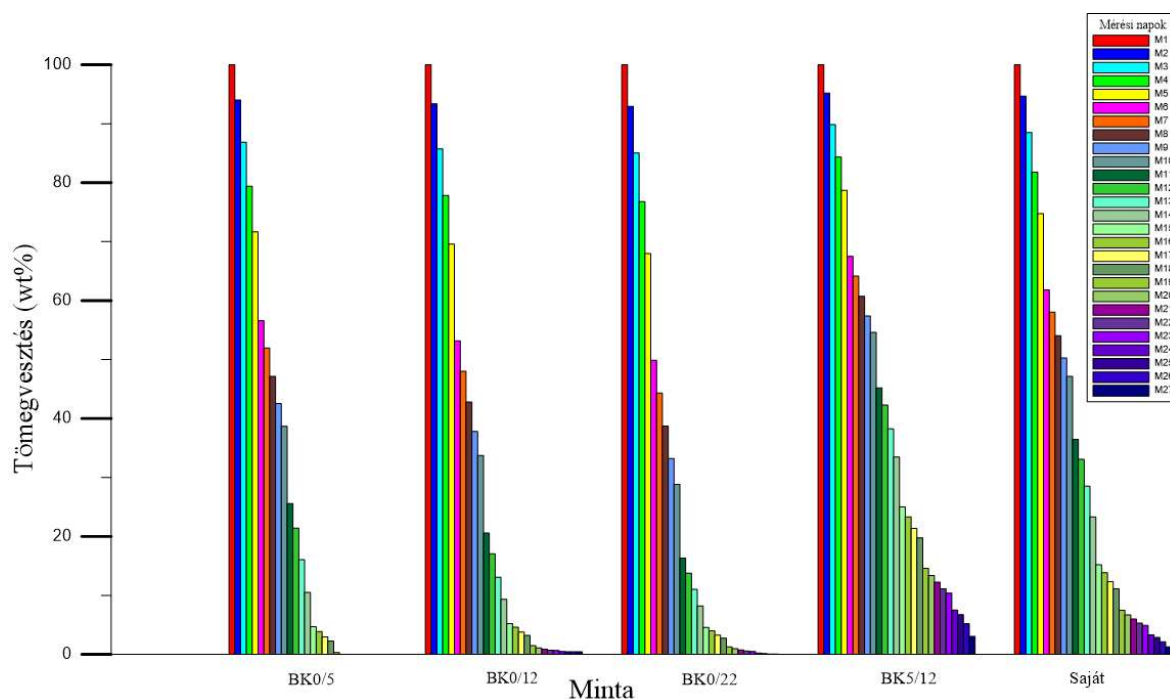
legnagyobb megtartással rendelkező, míg a BK 0/5 a legkisebb értékkel bírt. A BK0/22-es frakció 0,45-1 wt%-kal magasabb vízmegtartást mutatott a referenciához képest. A BK0/5-ös minta 0,19-0,41 wt%-kal mutat magasabb értéket. A C mérési sorozatnál a referencia minta szórása mutat magas értéket, amely valamilyen mérési bizonytalanságot jelez, ez okozhat magasabb, illetve alacsonyabb különbségeket a referencia és a bekevert frakciók között. A mérések eredményeit a 5. ábrán mutatom be. A C és D mérési szakasz összesített diagramjait az 4. Melléklet 1. és 2. ábráján mutatom be. A diagramjaik ábrázolásához használt értékek az 5. Melléklet 4.; 5.; 6. és 7. táblázatokban kerülnek bemutatásra.



5. ábra: Vályogtalaj elvégzett BK frakciók mérései eredményeinek átlaga és szórása, 24 óránként történt mérések sorozata.

A szobahőmérsékleten elvégzett vízmegtartási kísérletek is hasznos eredményeket szolgáltatottak. A százalékosan kifejezett eredmények alapján a több mint 1 hónapos mérési sorozatban a BK5/12-es, valamint a saját laboratóriumi minták mutatták a legnagyobb vízvisszatartást. A BK0/5-ös frakció az M14-es mérésig 1,1-4,98 wt%-kal jobb megtartást mutatott, mint a BK0/12-es és a BK0/22-es minták, viszont az M14-es mérést követően drasztikusan vesztette el a vizet és az M20-as mérésre leszáradt a minta, ennek következtében a legrosszabb vízmegtartást mutatta. A BK0/12-es minta az M12-es mérésig magasabb vízvisszatartást mutatott BK 0/22-es mintához képest, amelynek a mértéke 1-4,9 wt%. Az M14-es mérést követően a két minta között az eltérés trendje lineárisan csökkent egészen 0,4 wt%-ig. Hasonló lefutás figyelhető meg a BK5/12-es és saját laboratóriumi minta között. A vizsgálat során az anyag és víz közelítő kapcsolatát tudtam megállapítani, mivel a leszáradás során látható különbségeket valószínűleg a különböző frakciók vízmegkötő tulajdonsága idézte elő. Ide értendő a szemcsék eltérő porozitása, a nyílt és zárt

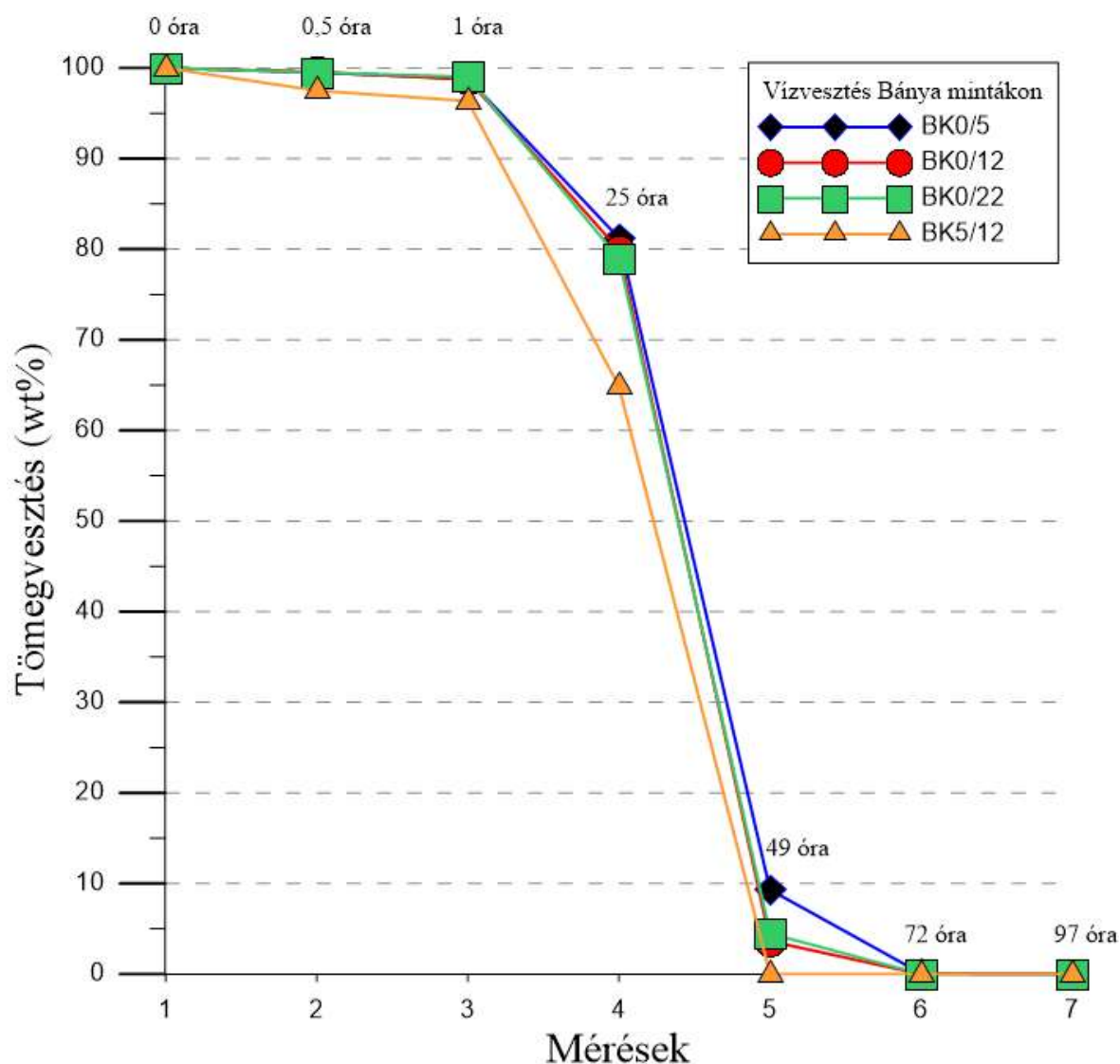
pórusterek megoszlása anyagokként a finomfrakció mértéke, illetve a frakciókban található duzzadó agyagásványok és mordenit mennyiségi jelenléte. A mérési eredményekről készült oszlopdiagramok a 6.ábrán láthatóak.



6.ábra: Riolittufa termékek kapilláris vízmegtartása

Szárítószekrényben állandó 75 °C-on elvégzett vizsgálatokat három párhuzamos mintán végeztem a bányából származó mintákon. A lineáris skálára felvitt méréseket különböző időegységekben ábrázoltam, amelyek időpontjait a diagram pontjai fölött jelöltem. Megállapítható volt, hogy a BK 0/5-ös minta tartotta legjobban vissza a vizet, amit a BK0/12-es és BK0/22-es váltakozó hatásfokkal. A mérési sorozat első mérési adata alapján a BK0/12-es minta tartotta vissza a vizet legnagyobb mértékben 0,04 wt%-kal a BK0/22-hez képest. A harmadik mérés során a BK0/22-es frakció tartotta legjobban vissza a vizet 0,18 wt%-kal BK0/5-hoz képest. A negyedik mérést követően a BK 0/5-ös minta tartotta a legnagyobb mértékben vissza a vizet. A 4. mérés során a BK0/12-es minta a második legjobb vízmegtartással rendelkezett 1,3 wt%-kal elmaradva BK0/5-től. Az 5. mérés során már a BK 0/22-es minta mutatta a második legjobb megtartást 4,82 wt%-kal elmaradva BK 0/5-től, a BK5/12-es minta teljesen leszáradt ebben a szakaszban. A hatodik mérésnél már csak a BK 0/5-ös minta rendelkezett 0,07 wt% megkötött vízzel. A BK5/12-es frakció veszítette el leghamarabb a víztartalmát végig a alulmaradva a többi mintához képest. A 7. mérés után a

minták a 75°C-os szárítás során tömegállandóságig leszáradtak. Az elvégzett mérések lineáris ábrázolása a 7. ábrán láthatóak.



7.ábra: nyílt porozitás vizsgálata

## 5.2. Röntgen-pordiffrakciós vizsgálat (XRD)

A bányában, illetve a laborban osztályozott frakciókon elvégzett XRD felvételek kiértékelése alapján a frakciók közötti ásványtani összetételben jelentős különbségek nem voltak megfigyelhetőek, de zeolit tartalom tekintetében már mutattak változásokat, a két termék között a mordenit tartalom mértéke volt a meghatározó.

A laboratóriumban osztályozott mintáknál a magas mordenit arány az uralkodó. Az előállított 3 frakció ásványos összetételében kis változást lehet megfigyelni. A detektált

ásványok mordenit, kvarc, ortoklász, mikroklin és Ca-tartalmú albit. A 0-1mm-es frakció mutatott nagyobb eltérést, a 23,7°-nál lévő csúcsánál megnövekedett mikroklin aránya, szemben a 1mm és 2mm-es frakciókhoz. Ettől eltekintve jelentősebb változások nem voltak megfigyelhetők.

A bányában osztályozott minták zeolitban szegénynek tekinthetők, kvarc és földpátok dominálják. A frakciók között mennyiségi és ásványtani különbségek is megfigyelhetők. Ezáltal 2 csoportra oszthatóak: egy mordenit és andezin tartalmú, illetve egy magas albit és ortoklász tartalmú frakcióra. A BK 0/5 és BK 0/12-es minták nem tartalmazzak mordenitet és andezint, ellenben megjelenik a magas albit és az ortoklász. A két görbe csúcsai alapján jelentős mennyiségi különbség nem állapítható meg az adott termékekben lévő ásványok között. Összetételük alapján viszont a BK0/5-ös mintánál kis mennyiségben megjelenik a goethit, amely a hidrotermás folyamatok járulékos kiválása. A BK0/22 és BK5/12-es termékeknél megjelenik az andezin és a mordenit, de a magas albitot és ortoklászt, már nem tartalmaz. A bányában osztályozott minták két eltérő tagjának diffraktogramjai a *2. Melléklet 1.ábráján* láthatóak. A két frakció között ásványtani különbség nincs, viszont a mordenit mennyisége magasabb a BK5/12-es mintába. A bányában osztályozott anyag mordenittartalma sokkal kevesebb, mint a laborban osztályozott mintáé. A frakciók diffraktogramjai *2. Mellékletben* láthatóak.

### 5.3. Pásztázó elektronmikroszkóp (SEM-EDS)

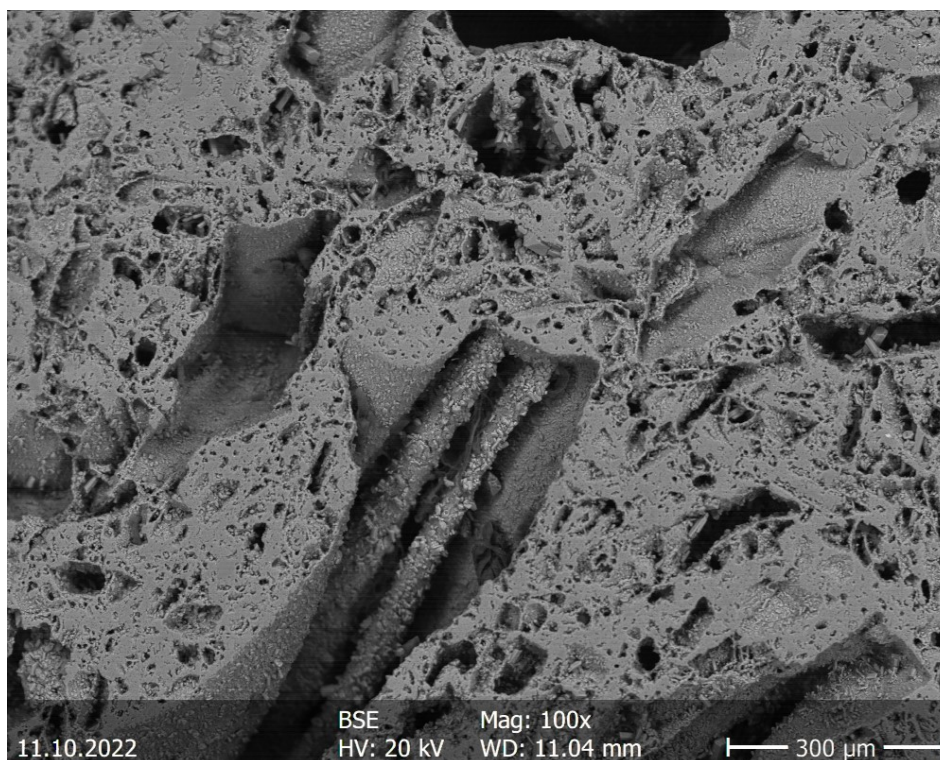
A tufák közetporozitásának és szerkezetének a meghatározását a BSE képek elemzésével végeztem. Az ImageJ képelemző program segítségével a porozitást határoztam meg. A programba felvitt képeken elvégzett alapbeállítások után a threshold alkalmazásával lehatároltam a pórustereket, majd elvégeztem a mérést. A kapott eredmények átlaga alapján a BK0/12-es frakció 71,74%-kal a legnagyobb irányadó porozitással rendelkezik. Csökkenő sorrendben követte a laboratóriumban osztályozott minta 61,24%-kal, a BK5/12 60,87%-kal, BK0/22 59,13%-kal és a BK0/5 51,93%-kal a legalacsonyabb irányadó porozitást mutatta.

A SEM-EDS vizsgálatok alapján a BK0/22-es minta szerkezetében a nagy 200 µm-et meghaladó hézagok-üregek, valamint a horzsakő maradványok és azok csövei jól figyelhetők meg. Amegfigyelések alapján a hézagokban-üregekben idiomorf albit és kvarc található. A horzsakövek üregeinek csöves szerkezetei között kvarc, albit és szmektites összetétel volt kimutatható. Alapanyagát tekintve dominánsan közetüveg és káliföldpát

elegyedése, valamint idiomorf szanidin kristályok a minta felszínén figyelhetőek meg. A 7. ábrán látható horzsakő csövek, valamint a hézagokban elhelyezkedő idiomorf albit kristályok, valamint szmektit. A BK5/12-es mintánál elvégzett vizsgálatok hasonló eredményeket mutattak, mint a BK0/22-es minta esetében. A mintában megjelenik az ortoklász a szanidinnel alkotott elegyedésben, amelyet nehéz elkülöníteni egymástól. A BK0/12-es mintában sem figyelhető meg nagy szerkezeti eltérés a többi frakcióhoz képest. Ortoklász-szanidin-kőzetüveg keveredése jobban megfigyelhető az előző mintához képest. A horzsakövek belső részében megfigyelhető az albitot bevonó szmektit. A BK 0/5-ös frakció jelentősen változást nem mutat az előző mintáktól. A négy frakcióból nem tudunk mordenitet vagy andezint kimutatni.

A laboratóriumban osztályozott minta elemzése alapján megállapítható, hogy mordenitben gazdag. A bányából származó mintákhoz képest a szövetében szanidin helyett ortoklász és kőzetüveg keveredése figyelhető meg az alapanyagban, valamint a káliföldpátokra nőtt rá a mordenit. A horzsakövekben továbbra is jelen van a szmektit. Szerkezete tömörebbnek látszik, mély hézagok nem gyakoriak a mintában.

A mintákon elemterképezést is végeztünk, amellyel a minták szöveti szerkezetében és horzsakövekben lévő elemek mennyiségi eloszlását vizsgáltuk, hamis színes eloszlással ábrázolva. A mintákról készült a 3. Mellékletben láthatóak. A kapott eredmények alapján jól lehatárolhatóak az ásványok: kvarc, albit, szanidin és ortoklász. A 3. Melléklet 3. ábrán az üregekben idiomorf albit kristályok láthatók, amelyeket lila szín jelöl a hamisszínes elemterképen.



8. ábra: BK0/22-es minta, BSE kép horzsakőmaradvány (középen) nagyon porózus mátrixban.

## 6. DISZKUSSZIÓ

A száradási kísérletek alapján a BK0/22-es és BK0/12-es minták tartják legjobban vissza a talajvizet a vályogtalajon. Ez a BK0/12-es mintánál a nagy irányadó porozitásának a következménye, illetve ásványtani szempontból a hézagokban elhelyezkedő alkáliföldpátok, valamint a horzsakő maradványokban megfigyelhető szmektit eredménye. A BK0/22-es frakciónál az XRD eredmények alapján megjelenik a mordenit, amely növelheti a vízmegtartást, de a SEM-EDS mérések során nem sikerült kimutatni a jelenlétét, amely a csiszolás során történt kiporzás következménye lehet. A minta irányadó porozitása a többihez képest kisebb, mivel 59,13%, így a szerkezetileg történő megkötés nem befolyásolhatta túl nagy mértékben a víz megkötését, amely valószínűleg a minta ásványtani összetétele miatt lett magas, valamint a mintában megtalálható finomfrakciók és nanokristályok felületnövelő hatása következtében. A száradási mérések során megfigyelhető volt, hogy a bányából származó termékek több víz visszatartására voltak képesek a vályogtalajon, mint a görömbölyin a laboratóriumi anyagokhoz képest, amely valószínűleg a talajok kötöttsége közötti különbségek miatt történt. A bányából származó frakciókon szárítószekrényben állandó 75 °C-on elvégzett mérés során megállapítható volt, hogy a BK0/5-ös minta tartotta vissza a legjobban a vizet és a BK0/12-es és BK0/22-es

változó intenzitással a második legjobb visszatartást mutatták, míg a BK5/12-es minta esetében a legrosszabb eredményt adta. A szobahőmérsékleten elvégzett 1 hónapos mérések során a BK5/12-es és saját laboratóriumi minták mutatták a legnagyobb vízmegtartást. A leghamarabb a BK0/5-ös minta frakció vesztette el a vizét. A BK0/12-es és BK0/22-es minták között az M14-es mérést követően az eltérés trendje lineárisan csökkent egészen 0,4 wt%-ig de a BK0/12-es minta mutatta a nagyobb vízvisszatartást. A szobahőmérsékleten elvégzett mérés során a zeolitok és duzzadó agyagásványok vízmegkötést befolyásoló hatása tudott érvényesülni, ellenben az állandó 75 °C-on végzett kísérlettel, ahol az elérhető felület mértéke volt a számottevő. A különböző típusú frakciók vízmegkötő képességében a fajlagos felületük mértéke, finomfrakciók aránya és ásványtani összetételük mérhető különbségeket okoznak. A laboratóriumban osztályozott minták közül a 0-1mm-es frakciónál volt megfigyelhető a legnagyobb víz megtartás. A diffraktogramjaik elemzése alapján nem láthatóak jelentős különbségek, csak a kis mértékben megnövekedett mikroklin aránya a 0-1mm-es frakcióban. A SEM-EDS mérés alapján szerkezetük azonosnak tekinthető. A legkisebb szemcseméretű mintában a zeolit a felszínen és a szerkezeti csatornában is képes megkötni a vizet, valamint a fajlagos felülete is nagyobb, mint a többi frakcióknak. Az összehasonlításként használt 0-4 mm-es andezitnél is megfigyelhető vízmegkötés, amely a zeolitok jelenlétének a következménye, mivel a kőzet porozitása sokkal alacsonyabb, mint a riolittufáké.

Az XRD és SEM-EDS mérések alapján megállapítható, hogy két típust tudunk elkülöníteni. Egy mordenitben dús szilárdabb szerkezetű (laboratóriumi) és zeolitban szegény porózusabb szerkezetű (bányában) osztályozott típust. A mordenitben dús kőzet szerkezete ortoklász-kőzetüveg keveréke, addig a zeolitban szegény mintáknál a szanidin-kőzetüveg elegyedése a domináló. Porozitásuk szempontjából a bányában osztályozott frakciók hézagjai-üregei nyitottabbak, csak albit és kvarc kristályok helyezkednek el bennük, illetve a horzsakövek üregeiben az albit és szmektit figyelhető meg. A laboratóriumi minták esetében a pórusok tús mordenit kristályok töltik ki, a horzsakő maradványoknál a szmektit szintén jelen van. Bányából származó minták két részre bonthatóak egy BK0/5, BK0/12-es mordenitet, andezint nem tartalmazó és egy BK0/22, BK5/12-es mordenit, andezint tartalmazó frakciókra, viszont ezek a mennyiségek nem közelítik meg a laboratóriumi mintákban mért értékeket. A BK 0/5 és 0/12-es mintáknál viszont megjelenik a magas albit és ortoklász. Valószínűleg az osztályozás során történt nagymértékű kiporzás következtében, csak a nagyobb frakciójú mintákban marad meg minimális mennyiségben.

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

A bodrogkeresztúri bányából származó riolittufa két jellemző típusba sorolható, a zeolitban (mordenitben) gazdag dús típus szilárdsága magasabb és jelenleg nem áll fejtés alatt. Ebből az anyagból lett előállítva a laboratóriumi frakció. A másik a mordenitben és általánosan zeolitban szegény lazább szerkezetű típus, amely jelenleg is termelés alatt áll. Ezek a bányából származó BK jelölésű minták.

A bodrogkeresztúri riolittufa frakcióinak vízmegkötési képességét nagyban befolyásolja pórusszerkezete, annak nyitottsága valamint az azokban elhelyezkedő ásványok típusai. A zeolitok (mordenit) szerkezetileg történő vízmegkötése igen jelentősnek tekinthető, amely többlet felvételt eredményez a nagyobb pórusokban.

A riolittufa legkisebb szemcsemérete a magas mordenit tartalmú változatnál javítja leginkább a vízmegtartást, de a durvább frakciók még a zeolit hiányában is pozitív hatással vannak. Az andezit termék hatása is hasonló, csak kismértékben marad el a riolittufától, mivel az összetételében kis mennyiségben zeolitok, agyagásványok és porózus mikroszemcsék találhatók.

A pórusszerkezet, mint a vízmegtartás fő meghatározója, nagymértékben független a mordenit jelenlététől, bár a zeolitok (és duzzadó agyagásványok) jelenléte javítja a vízmegtartási képességet. Az andezit esetében, ahol a szemcseporozitás is alacsonyabb, és a zeolit tartalom is kisebb, a vízmegtartás nem sokkal maradt el a riolittufa értékeitől.

A legjobb vízmegtartási értékeket a mordenitben dús riolittufa legkisebb szemcseméretű frakciója adta a görömbölyi talajon, amely eredmények alapján érdemes lehet további kísérleteket folytatni további talajtípusokon. A nyersanyag paraméterei és előkészítési igényeinek alapján azonban valószínű, hogy nem a kültéri, hagyományos szántóföldi alkalmazása a legoptimálisabb felhasználása.

A zeolitban szegény típus BK0/22-es frakciója jó vízmegtartást mutat a vályogtalajokon és az előkészítése is kellő mértékben költséghatékony ahhoz, hogy akár szántóföldi használatra is alkalmas legyen.

## 8. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Szeretném kifejezni köszönetemet témavezetőimnek Dr. Kristály Ferencnek és Tompa Richárdnak, akik segítségükkel nagyban hozzájárultak a dolgozatom létrejöttéhez. Családomnak, barátaimnak és mindenkinek, aki segített a dolgozat megvalósulásában.

## 9. IRODALOMJEGYZÉK

- Al-Tabbal, J. A., Al-Mefleh N. K., Al-Zboon K. K., Tadros M. J. (2020): Effects of Volcanic Zeolite Tuff on Olive (*Olea Europaea* L.) Growth and Soil Chemistry under a Constant Water Level: Five Years' Monitoring Experience. *Environment and Natural Resources Journal* 2020; 18(1): 44-54 doi: 10.32526/enrj.18.1.2020.05
- Bidló A., Bíró B., Csákiné Tombácz E., Fülekgy Gy., Kristófné Horváth E., Michéli E., Pápay L. és Tóthné Farsang A. (2011): Talajvédelem, talajtan 3. kötet. In: Fülekgy György A Felsőoktatás szerkezeti és tartalmi fejlesztése”című pályázat keretében. Pannon Egyetem-Környezetmérnöki Intézet 2011 (76-80)
- Cseuz L.- Köhler M. (2009): Riolit tufa őrlemény hatásának vizsgálata vetőmagtermesztésben az őszi búza és őszi durumbúza fajtákra. *Őstermelő - Gazdálkodók Lapja* 2009/3: 107-109
- Flore-Ramírez E., Abel S., Nels T. (2018): Water retention characteristics of coarse porous materials to construct purpose-designed plant growing media. *Soil Science And Plant Nutrition*, 64/2: 181–189 <https://doi.org/10.1080/00380768.2018.1447293>
- Hajdu G. (2017) Vulkanikus eredetű kőzetek és ásványok mezőgazdasági jelentősége Magyarországon. Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi kar, Miskolci 2017
- Harangi Sz., Szakmány Gy., Józsa S., Likács R., Sági T. (2013): Magmás kőzetek és folyamatok - gyakorlati ismeretek magmás kőzetek vizsgálatához. Eötvös Loránd Tudományegyetem 2013 (328)
- Kamel K. Al-Zboon, Jalal A. AL-Tabbal, Noor M. Al\_Kharabsheh, Naji K. Al-Mefleh (2019) Natural volcanic tuff as a soil mulching: effect on plant growth and soil chemistry under water stress
- Kristály F., Orbán Sz., Kovács A. (2014): Clinoptilolite tuff at Racoș and Mateiaș (Perșani Mts, Central Romania). *Central European Mineralogical Conference*, pp 64-65 doi: 10.13140/2.1.3686.7845

- Kónya B. T., Kopecskó K. és Forgó L. Z. (2008): A riolittufa-mint műtárgyalkotó kőzet-mállásának vizsgálata. (Mérnökgeológia-Kőzetmechanika) 165-176 o.
- Köhler M. (2008): A riolittufa (vulkáni hamu) hasznosságáról a tápanyag gazdálkodásban és egyéb területeken. Őstermelő 2008/3: 119-120
- Mészáros O., Gonda V., Márta-Kergyik É., Cziáky Z., Vígh Sz., Tarek M., Irinyiné Oláh K. Hüsniye Aka S. és Csabai J.(2018): Baromfitrágya és riolittufa kezelések hatásának vizsgálata, nemzetközi chili-paprika fajták termés hozamára. In: Kalmárné Vass Eszter (szerk.) (2018): Komplex vidékgazdasági és fenntarthatósági fejlesztések kutatása, szolgáltatási hálózatának kidolgozása a Kárpát-medencében (Nyíregyházi egyetem, Nyíregyháza 2018) 13-19
- Owais S. J., Abdel-Ghani A. H., Ghrair A. M., Al-Dalain S. A., Almajali N. (2013): Effect of Natural Jordanian Volcanic Tuff on Growth, Irrigation Water Saving and Leaves Mineral Content of *Salvia officinalis*. Jordan Journal of Agricultural Sciences, Volume 9/4: 439-455
- Papp F. és Kertész P. (1966): Geológia mérnökhallgatók számára. Tankönyvkiadó, Budapest 1966 (82-86)
- Pápay L. (2006): Kristálytan, ásvány-, kőzetan. Szegedi Egyetemi Kiadó, Szeged 2006 (190)
- Schad P. (2018): Technosols in the World Reference Base for Soil Resources – history and definitions. Soil Science And Plant Nutrition, 64/2: 138-144
- Szakáll, S. (2007): Ásványrendszertan. Miskolci Egyetemi Kiadó. Miskolc 2007 (287-317)
- Tóth Cs. (2018): Talajnedvesség-érzékelők a precíziós gazdálkodásban. Szent István Egyetem Agrár- és Gazdaságtudományi Kar, Szarvas 2018

Internetes források:

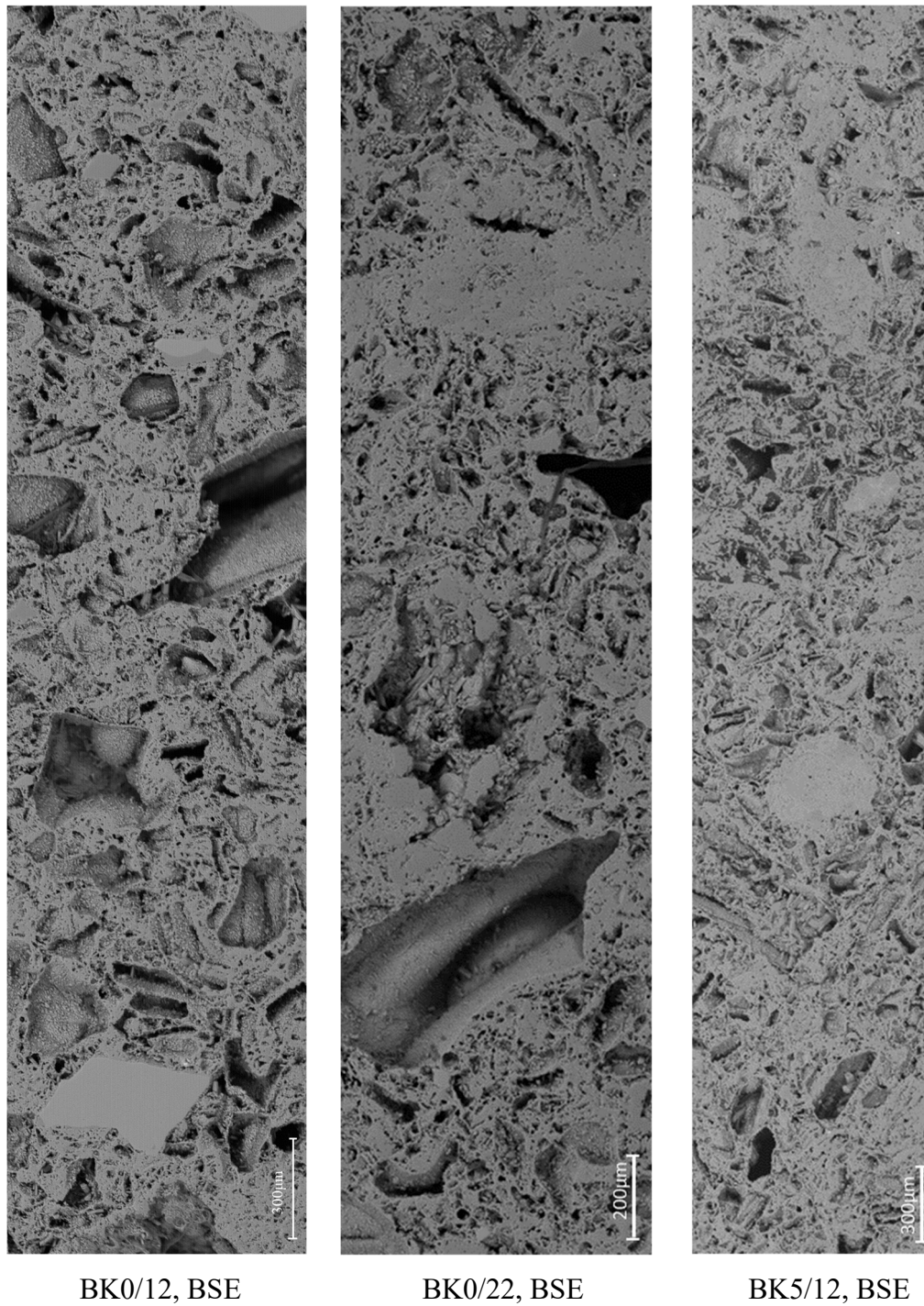
<https://colas.hu/colas-eszakko/uzem/bodrogkeresztur-banyauzem/>

<https://slideplayer.hu/slide/2087742/>

<https://agraragazat.hu/hir/talaj-talajelet-termokepesseg-talajdegradacio-biodiverzitas-mezogazdasag/>

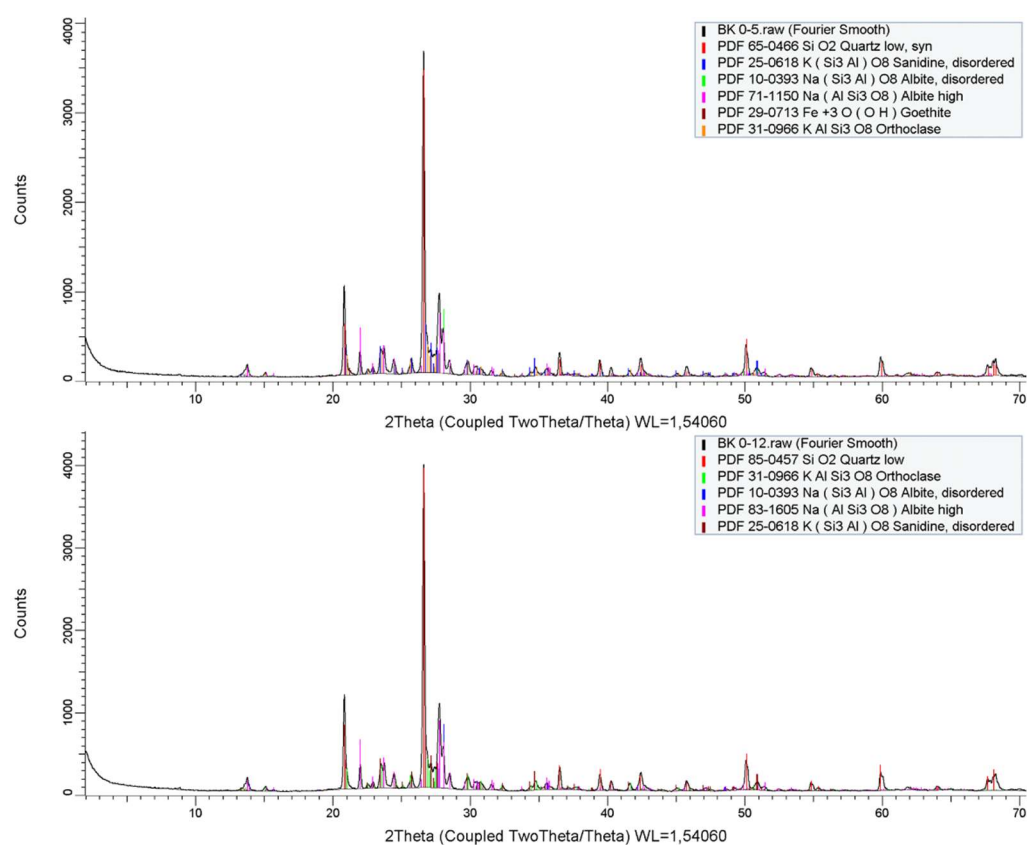
## 10. MELLÉKLETEK

### 1 Melléklet

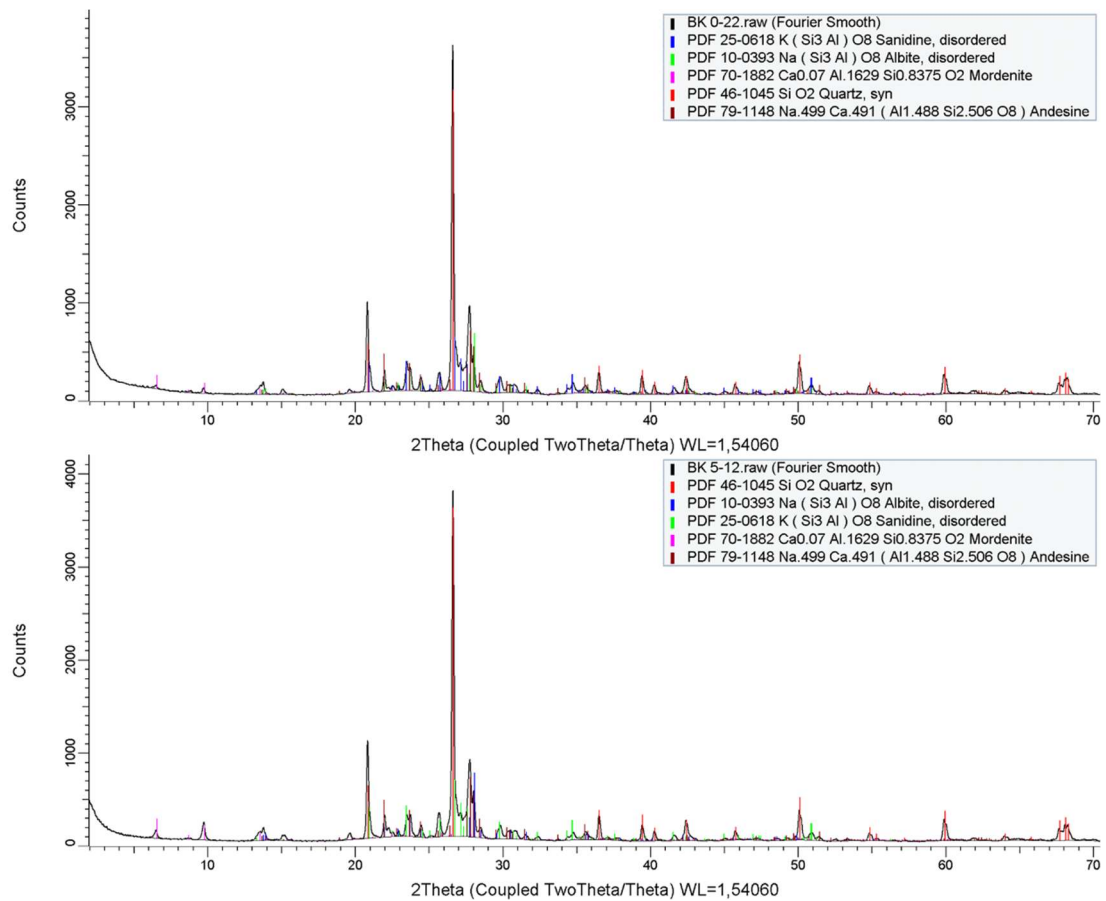


1 ábra: A különböző frakciók szemcseszerkezetében megjelenő pórusok eloszlása.

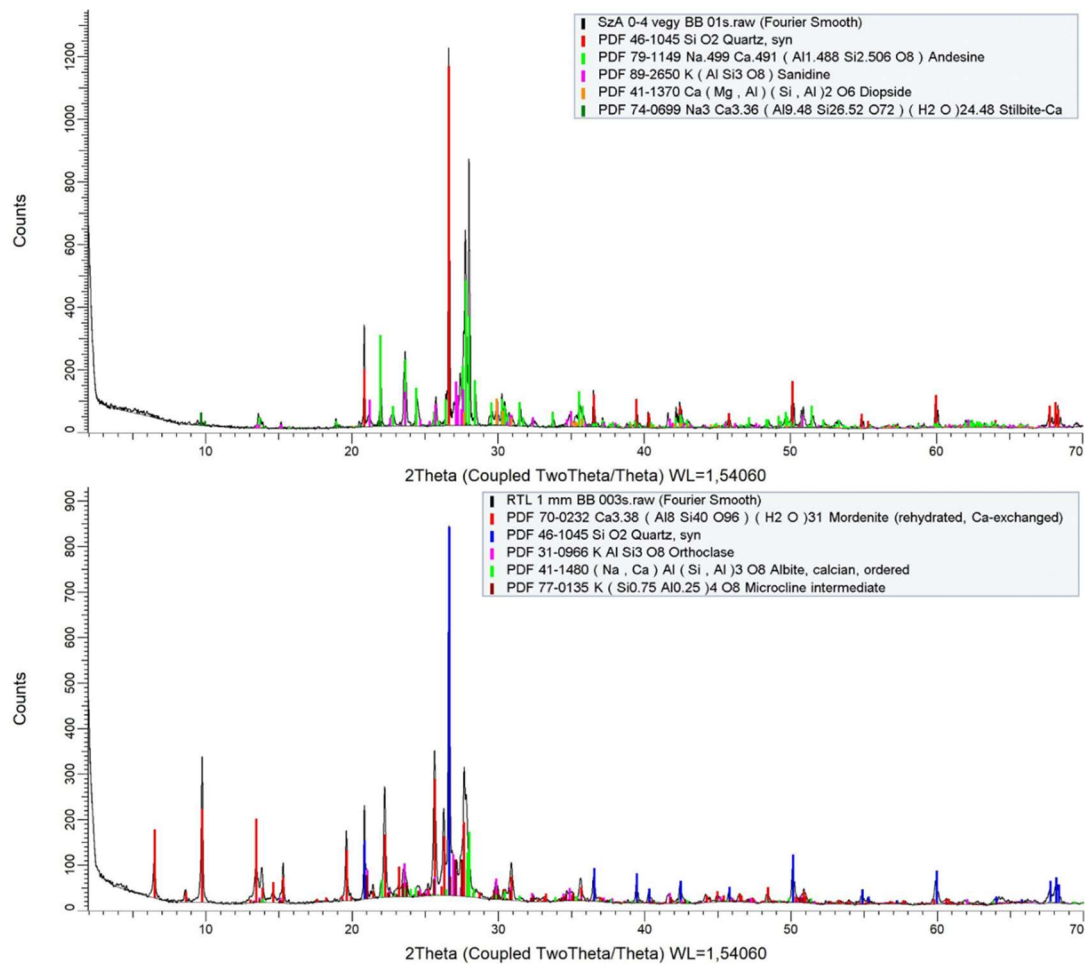
## 2. Melléklet



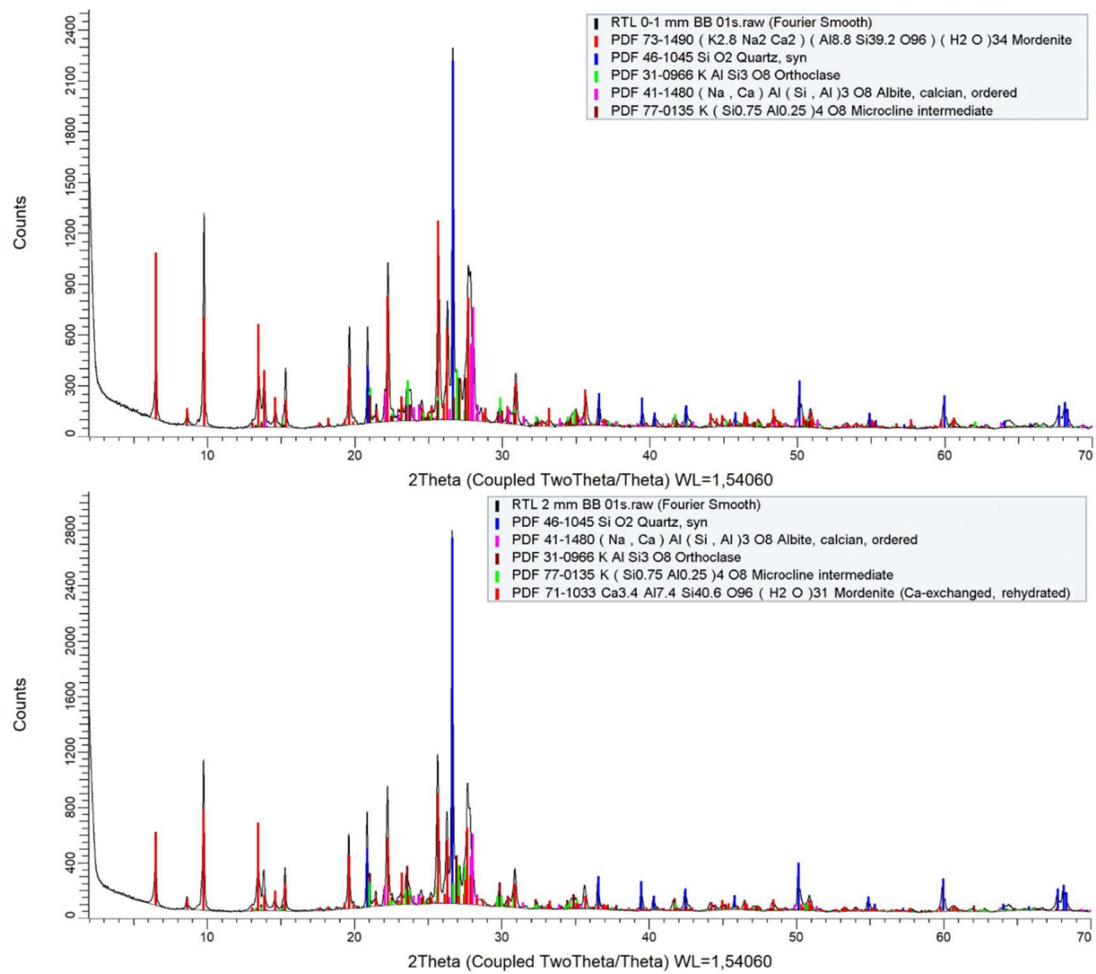
1. ábra: A BK0/5-ös (felül) és a BK0/12-es (alul) minták értékelt diffraktogramjai



2 ábra: BK0/22-es (felül) és BK5/12-es (alul) minták diffraktogramjai

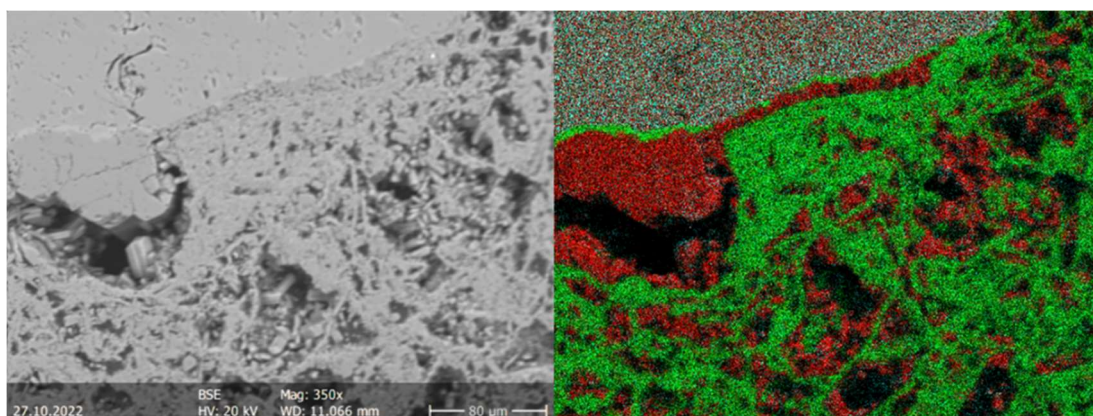


3. ábra: 0-4 mm andezit és laboratóriumi 1mm minták diffraktogramjai

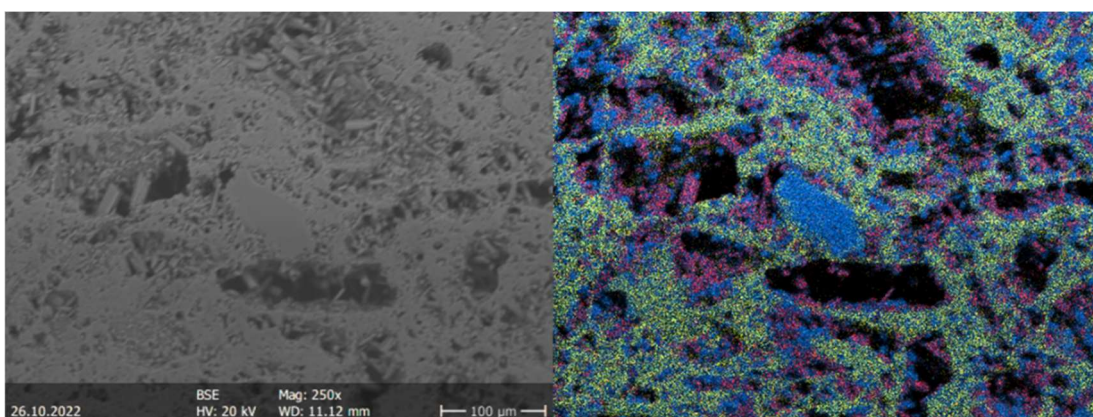


4. ábra: A laboratóriumi 0-1 mm-es (felül) és 2 mm-es (alul) minták diffraktogramjai

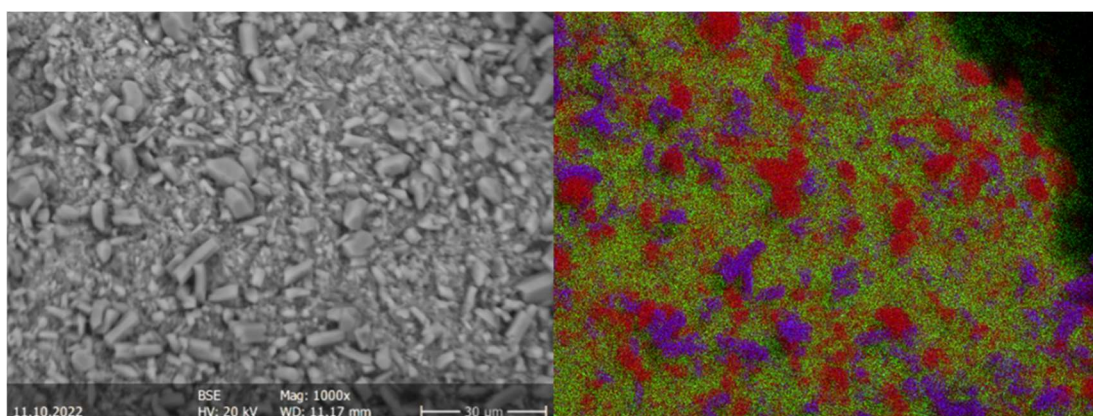
### 3. Melléklet



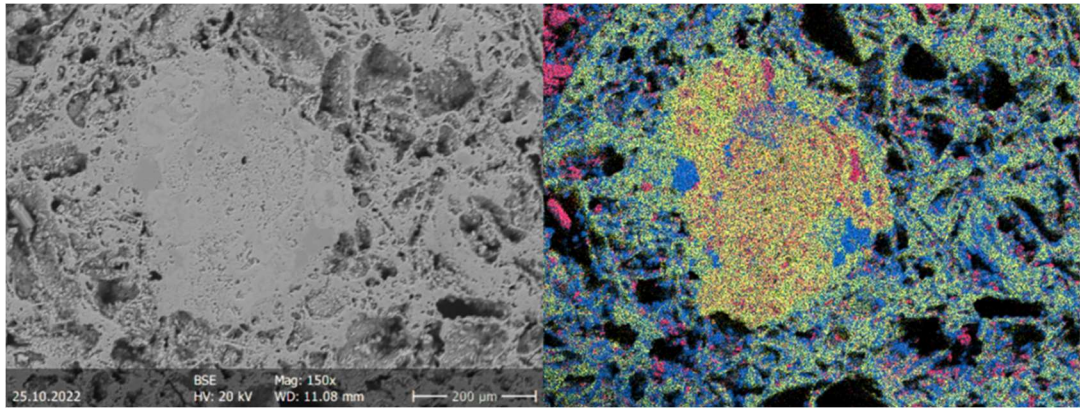
1 ábra: BK0/5 hamis színű elemtérkép, piros Na, zöld Ca, cián K



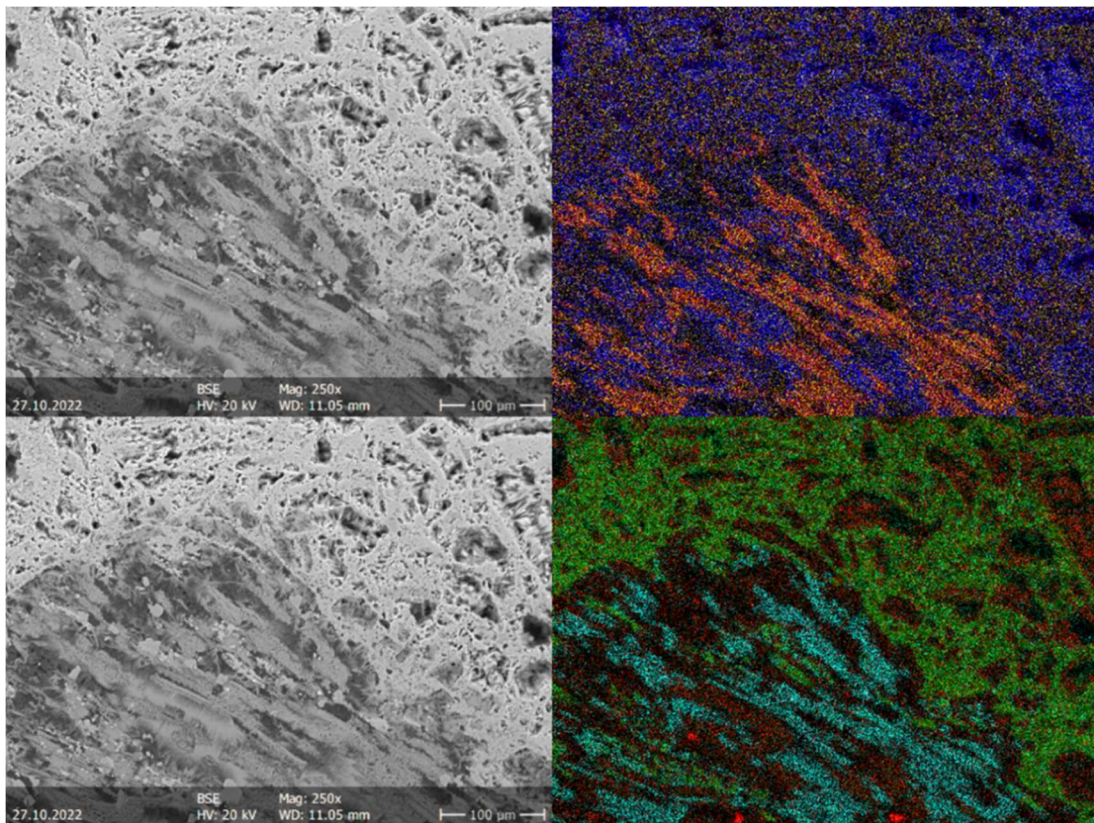
2 ábra: BK0/12 hamis színű elemtérképe lila Na, kék Si, sárga K



3 ábra: BK0/22 hamis színű elemtérkép lila Na, piros Si, zöld K

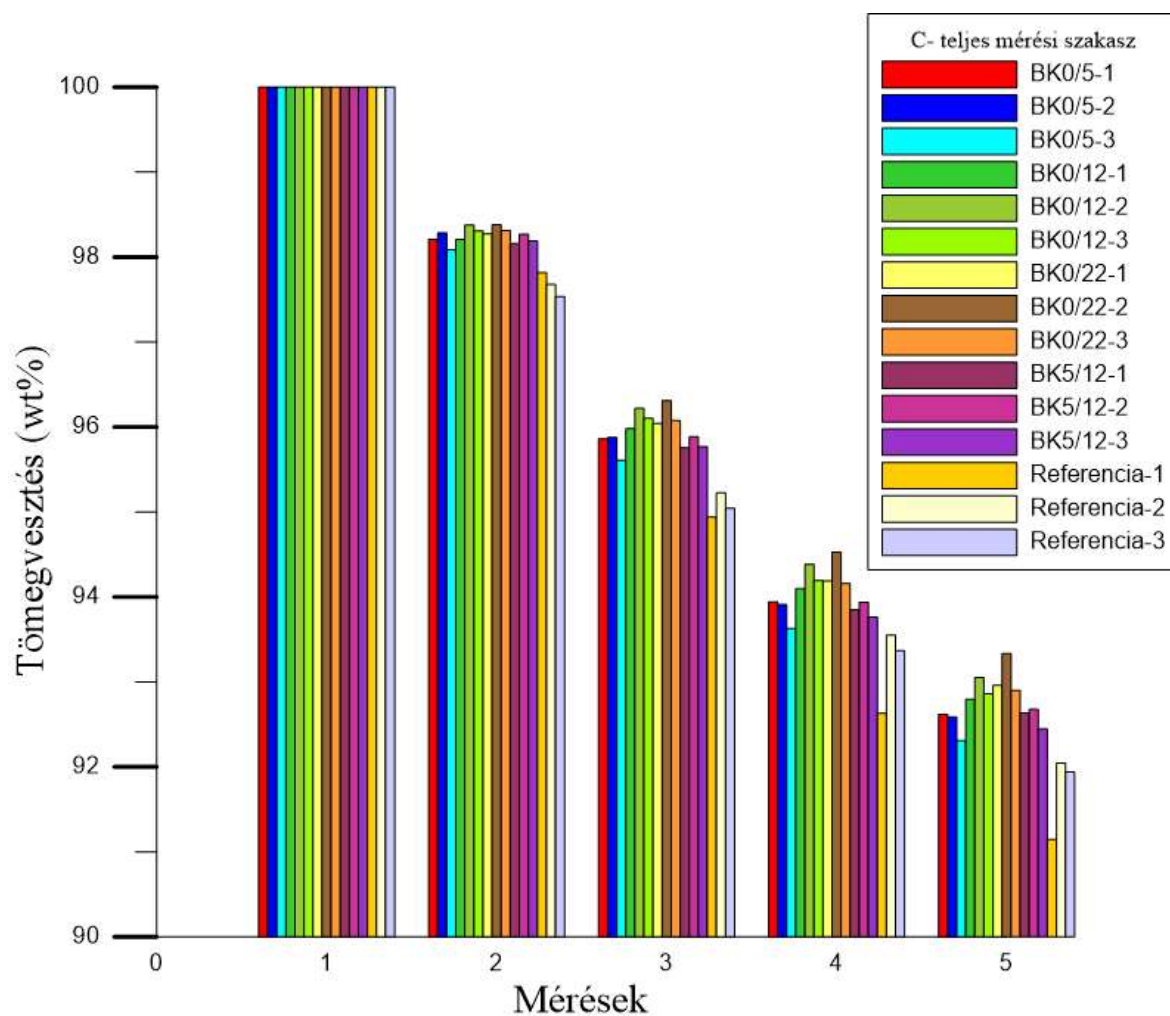


4 ábra: BK5/12 hamis színű elemtérképe piros Na, kék Si, sárga K

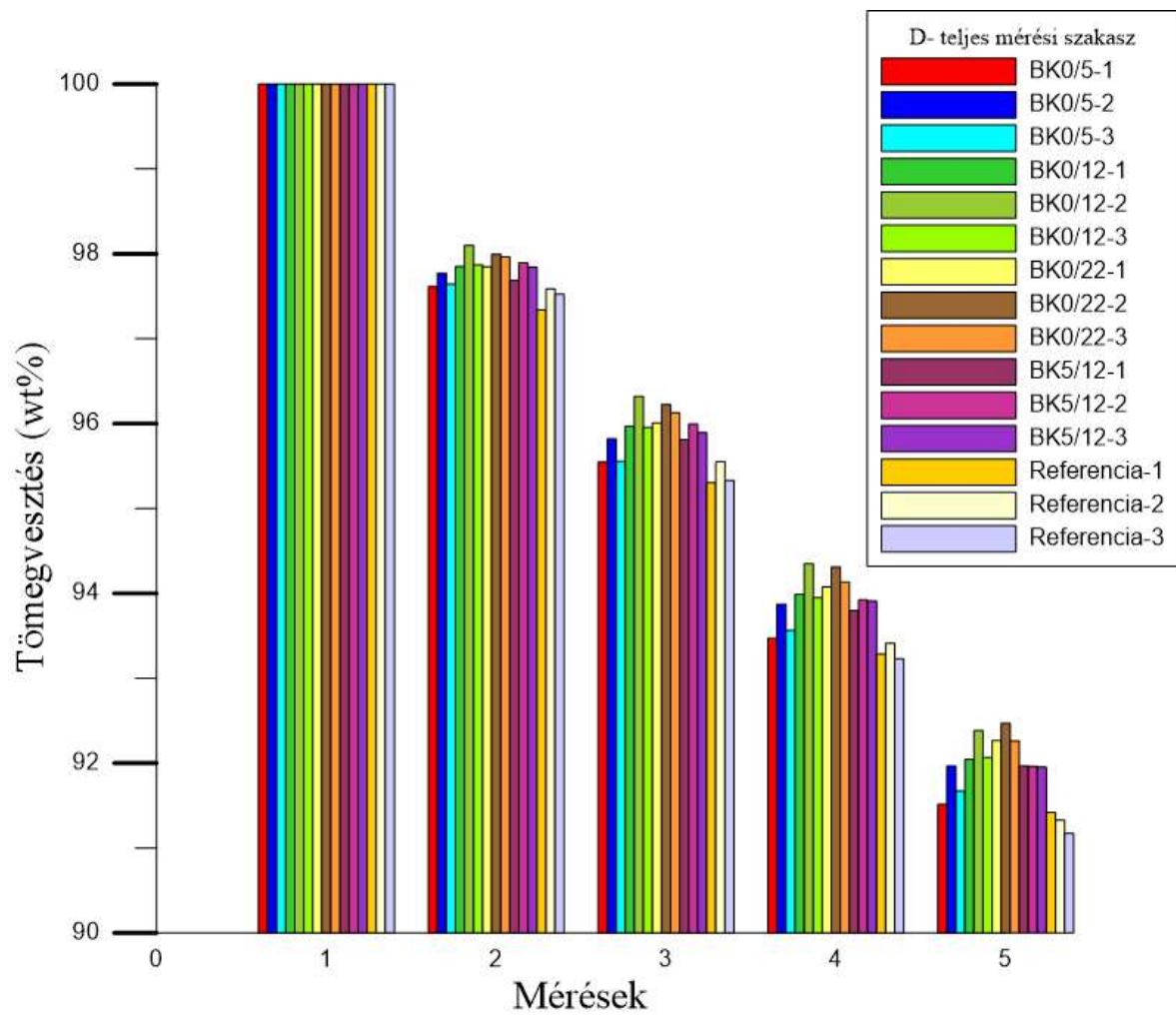


5 ábra: mordenites minta hamis színű elemtérképe Felső kép: sárga Mg, kék Ca, piros Fe.  
Alsó kép: piros Na, zöld K, cián Fe,

#### 4. Melléklet



1.ábra: C mérési szakasz egy diagramon ábrázolt mérései, 24 óránként történt mérések sorozata.



2.ábra: D mérési szakasz egy diagramon ábrázolt mérései, 24 óránként történt mérések sorozata.

## 5. Melléklet

1. táblázat: A- mérési szakasz görömbölyi talajon 100-ra normált száradási értékek Saját laboratóriumi mintákon

| A Görömböly | 1 mérés | 2 mérés | 3 mérés | 4 mérés | 5 mérés | 6 mérés |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Referencia  | 100     | 96,40   | 93,52   | 92,53   | 91,75   | 91,65   |
| 0-1 (mm)    | 100     | 97,14   | 94,85   | 93,95   | 93,20   | 93,10   |
| 1 (mm)      | 100     | 97,09   | 94,78   | 93,90   | 93,16   | 93,06   |
| 2 (mm)      | 100     | 97,02   | 94,75   | 93,89   | 93,15   | 93,02   |
| 0-4 (mm)    | 100     | 96,91   | 94,66   | 93,78   | 93,13   | 93,00   |

2. táblázat: B- mérési szakasz görömbölyi talajon 100-ra normált száradási értékek Bánya mintákon

| B Görömböly | 1 mérés | 2 mérés | 3 mérés | 4 mérés | 5 mérés | 6 mérés |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Referencia  | 100     | 96,40   | 93,52   | 92,53   | 91,75   | 91,65   |
| BK_0/5      | 100     | 96,32   | 94,40   | 93,47   | 92,93   | 92,90   |
| BK_0/12     | 100     | 96,66   | 94,79   | 93,79   | 93,16   | 93,08   |
| BK_0/22     | 100     | 96,48   | 94,57   | 93,59   | 92,98   | 92,93   |
| BK_5/15     | 100     | 96,41   | 94,58   | 93,64   | 93,08   | 93,04   |

3. táblázat: Vályogtalajon elvégzett száradási kísérlet 100-ra normált értékei Bánya és Saját

| Vályog     | 1 mérés | 2 mérés | 3 mérés | 4 mérés | 5 mérés |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Referencia | 100     | 96,26   | 94,11   | 92,97   | 92,35   |
| 0-1 (mm)   | 100     | 97,14   | 95,42   | 94,45   | 93,83   |
| 1 (mm)     | 100     | 97,15   | 95,36   | 94,39   | 93,80   |
| 2 (mm)     | 100     | 97,01   | 95,25   | 94,34   | 93,76   |
| 0-4 (mm)   | 100     | 96,77   | 95,01   | 94,14   | 93,62   |
| BK_0/5     | 100     | 97,03   | 95,33   | 94,47   | 93,93   |
| BK_0/12    | 100     | 97,16   | 95,56   | 94,66   | 94,05   |
| BK_0/22    | 100     | 97,06   | 95,46   | 94,60   | 93,99   |
| BK_5/15    | 100     | 96,91   | 95,32   | 94,51   | 93,94   |

4. táblázat: C mérési szakasz vályogtalajon 100-ra normált értékei

| C            | 1 mérés | 2 mérés | 3 mérés | 4 mérés | 5 mérés |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| BK0/5 1      | 100     | 98,21   | 95,86   | 93,94   | 92,62   |
| BK0/5 2      | 100     | 98,28   | 95,88   | 93,91   | 92,59   |
| BK0/5 3      | 100     | 98,09   | 95,61   | 93,63   | 92,31   |
| BK0/12 1     | 100     | 98,21   | 95,98   | 94,10   | 92,79   |
| BK0/12 2     | 100     | 98,38   | 96,22   | 94,38   | 93,05   |
| BK0/12 3     | 100     | 98,31   | 96,10   | 94,19   | 92,86   |
| BK0/22 1     | 100     | 98,27   | 96,04   | 94,19   | 92,96   |
| BK0/22 2     | 100     | 98,38   | 96,31   | 94,53   | 93,33   |
| BK0/22 3     | 100     | 98,31   | 96,08   | 94,16   | 92,90   |
| BK5/12 1     | 100     | 98,16   | 95,75   | 93,85   | 92,63   |
| BK5/12 2     | 100     | 98,27   | 95,88   | 93,94   | 92,68   |
| BK5/12 3     | 100     | 98,19   | 95,77   | 93,76   | 92,45   |
| Referencia 1 | 100     | 97,82   | 94,94   | 92,63   | 91,15   |
| Referencia 2 | 100     | 97,68   | 95,22   | 93,55   | 92,05   |
| Referencia 3 | 100     | 97,53   | 95,04   | 93,37   | 91,94   |

5. táblázat: C mérési szakasz vályogtalajon 100-ra normált értékeinek átlaga és szórása

| C                 | 1 mérés | 2 mérés | 3 mérés | 4 mérés | 5 mérés |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| BK0/5 Átlag       | 100     | 98,19   | 95,78   | 93,83   | 92,50   |
| BK0/5 Szórás      | 0       | 0,10    | 0,15    | 0,17    | 0,17    |
| BK0/12 Átlag      | 100     | 98,30   | 96,10   | 94,23   | 92,90   |
| BK0/12 Szórás     | 0       | 0,09    | 0,12    | 0,14    | 0,13    |
| BK0/22 Átlag      | 100     | 98,32   | 96,14   | 94,29   | 93,06   |
| BK0/22 Szórás     | 0       | 0,05    | 0,15    | 0,20    | 0,23    |
| BK5/12 Átlag      | 100     | 98,21   | 95,80   | 93,85   | 92,59   |
| BK5/12 Szórás     | 0       | 0,06    | 0,07    | 0,09    | 0,12    |
| Referencia Átlag  | 100     | 97,68   | 95,07   | 93,18   | 91,71   |
| Referencia Szórás | 0       | 0,14    | 0,14    | 0,49    | 0,49    |

6. táblázat: D mérési szakasz vályogtalajon 100-ra normált értékei

| D            | 1 mérés | 2 mérés | 3 mérés | 4 mérés | 5 mérés |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| BK0/5 1      | 100     | 97,61   | 95,55   | 93,47   | 91,51   |
| BK0/5 2      | 100     | 97,77   | 95,82   | 93,87   | 91,96   |
| BK0/5 3      | 100     | 97,64   | 95,56   | 93,56   | 91,67   |
| BK0/12 1     | 100     | 97,85   | 95,97   | 93,99   | 92,05   |
| BK0/12 2     | 100     | 98,10   | 96,32   | 94,35   | 92,38   |
| BK0/12 3     | 100     | 97,87   | 95,95   | 93,95   | 92,07   |
| BK0/22 1     | 100     | 97,85   | 96,01   | 94,08   | 92,27   |
| BK0/22 2     | 100     | 98,00   | 96,23   | 94,31   | 92,47   |
| BK0/22 3     | 100     | 97,97   | 96,13   | 94,13   | 92,26   |
| BK5/12 1     | 100     | 97,69   | 95,81   | 93,80   | 91,97   |
| BK5/12 2     | 100     | 97,89   | 95,99   | 93,92   | 91,96   |
| BK5/12 3     | 100     | 97,84   | 95,89   | 93,91   | 91,95   |
| Referencia 1 | 100     | 97,34   | 95,30   | 93,29   | 91,42   |
| Referencia 2 | 100     | 97,59   | 95,55   | 93,41   | 91,33   |
| Referencia 3 | 100     | 97,52   | 95,33   | 93,23   | 91,17   |

7. táblázat: D mérési szakasz vályogtalajon 100-ra normált értékeinek átlaga és szórása

| D                 | 1 mérés | 2 mérés | 3 mérés | 4 mérés | 5 mérés |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| BK0/5 Átlag       | 100     | 97,68   | 95,64   | 93,64   | 91,72   |
| BK0/5 Szórás      | 0       | 0,08    | 0,16    | 0,21    | 0,23    |
| BK0/12 Átlag      | 100     | 97,94   | 96,08   | 94,10   | 92,17   |
| BK0/12 Szórás     | 0       | 0,14    | 0,21    | 0,22    | 0,19    |
| BK0/22 Átlag      | 100     | 97,94   | 96,12   | 94,17   | 92,33   |
| BK0/22 Szórás     | 0       | 0,08    | 0,11    | 0,12    | 0,12    |
| BK5/12 Átlag      | 100     | 97,81   | 95,90   | 93,88   | 91,96   |
| BK5/12 Szórás     | 0       | 0,11    | 0,09    | 0,07    | 0,01    |
| Referencia Átlag  | 100     | 97,48   | 95,39   | 93,31   | 91,31   |
| Referencia Szórás | 0       | 0,13    | 0,14    | 0,09    | 0,12    |

