

**ÖNTÖDEI ÜVEGHOMOK ALTERNATÍVÁK VIZSGÁLATA
VÁLLALATI FEJLESZTÉSI CÉLOKRA
OTDK DOLGOZAT**

Készítette: Glavanov Gergő

(FÖLDTUDOMÁNYI ALAPKÉPZÉS)

Témavezető: Biró Máté

**Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Ásványtani Tanszék**



2025

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés, témafelvetés, célkitűzések.....	2
2. Az üveghomokról általánosságban.....	2
3. Alkalmazott módszertan.....	4
3.1. Minták	4
3.2. Módszertan	5
3.3. Szitálás	6
3.4. Mikroszkópia.....	7
3.5. SEM-EDS, valamint SEM-morfometriai vizsgálatok	7
3.6. Egyéb vizsgálati módszerek	7
4. Eredmények.....	8
4.1. Szitálás	8
4.2. Mikroszkópia.....	9
4.3. SEM-EDS, valamint SEM-morfometriai vizsgálatok	12
4.4. Egyéb vizsgálati módszerek	15
5. Következtetések	17
6. Összefoglalás.....	20
7. Ábrajegyzék	22
8. Forrásjegyzék	23
9. Köszönetnyilvánítás	25

I. Bevezetés, témafelvetés, célkitűzések

A zöld átállás napjaink egyik legtöbbször hangoztatott témája, amely életünk minden szegmensére kihatással van. Ez alól a földtudományok sem képeznek kivételt. Ebből kifolyólag sok más tudományág mellett a geológiának is le kell követni a kor trendjeit, és a jelenkor kihívásait érintő kérdések megválaszolására kell fókuszálnia. Éppen ezért döntöttem úgy, hogy Tudományos Diákköri Dolgozatomban egy ilyen, a mindennapi életünkre is hatással lévő geológiai kérdésnek kívánok a végére járni.

A témafelvetés a földtudományi alapképzés során, a Projektmunka 1 című tárgy során általam választott témának a folytatásaként vetődött fel. Dolgozatomban arra a kérdésre keresem a választ, hogy egy hazai rézöntődében öntőformának készítésére használt, Németországból származó üveghomoknak milyen kiváltási alternatívái lehetnének a térségünkben, adott esetben országhatáron belülről. A téma geológiai aspektusainak vizsgálatával és megválaszolásával lehetőség kínálkozna a fuvarozási költségek csökkentésére a cég számára, valamint a károsanyag-kibocsátás mérséklésére a rövidebb szállítási távolságoknak köszönhetően.

Célkitűzéseim között szerepelt egy olyan dolgozatnak a megalkotása, amely a tudományos eredményei mellett ipari jelentőséggel bír, valamint olyan kérdésre keresi a választ, amelynek kihatása van a mindennapi életre. Ezek mellett személyes célom volt, hogy a dolgozat megalkotásával a gyakorlati feladatokat, valamint az ezeket kiegészítő irodalmi összesítést minél igényesebb formában elvégezzem.

Terveim szerint a kutatás végeztével sikerül pontot tenni a felvetett kérdések végére, és reményeim szerint sikerül egy olyan dolgozatot megalkotnom, amely a tudományos ismeretek bővítése mellett az ipar számára is felhasználható eredményekkel bír. Végso célom az így kapott eredmények összesítése és bemutatása egy tartalmilag és formailag is igényes dolgozat keretében.

Eredményeimet a 2024-es Kari Geológus Tudományos Diákköri Konferencián szándékozom bemutatni.

2. Az üveghomokról általánosságban

Az üveghomok definíciója nem letisztázott, minőségét és megjelenését sok szempont befolyásolja. A legfontosabbak a koptatottsági-gömbölyítettségi viszonyok, a szemcseméret, valamint a kémiai összetétel. Éppen ezért, az idők folyamán számos meghatározás született az

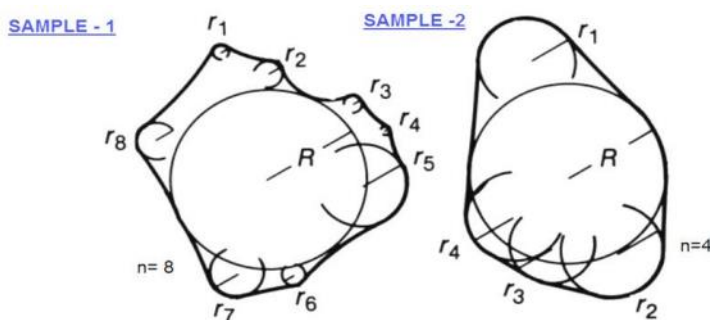
üveghomok definiálására, amelyekben az előbb említett három tulajdonság szerepel (Shufflebarger, 1978).

Az üveghomok felhasználásának sokféle módja létezik. Ahogyan azt a neve is mutatja, elsősorban az üveggyártásban használják. Ugyanakkor az üveghomoknak, mint nyersanyagoknak fontos szerepe van a vegyiparban, a kerámiaiparban, az építőiparban, valamint a kohászatban (Platias et al., 2014). Utóbbi példa esetében öntödei formák készítéséhez használják az üveghomokat. Dolgozatomban korábban említett hazai cég is erre a célra használja az üveghomokat. A klasszikus üveggyártáshoz kiváló minőségű üveghomokat használnak. Ez az jelenti, hogy a homokban az SiO_2 százalékos mennyisége minimum $95\pm 1\%$, az Al_2O_3 maximum $4\pm 0,5\%$, az Fe_2O_3 maximum $1\pm 0,1\%$, a $\text{CaO} + \text{MgO}$ mennyisége pedig maximum $0,5\pm 0,1\%$ (Meechoowas et al., 2021). Bár ez a kritérium az irodalmi forrásokban elsősorban az üvegöntésnél szerepel, mint lényeges szempont, ugyanakkor az említett többi felhasználási területen is jelentőséggel bír, így az öntödei formák készítésénél is. A dolgozatban vizsgált minták mindegyike minimum 95% SiO_2 tartalommal rendelkezik. Szintén fontos kritérium a minőség meghatározásánál a szemcsék alakai viszonyai, ugyanis ez szabja meg a homok mechanikai viselkedését (Cox és Budhu, 2007). Minél jobban koptatottak és gömbölyítettek a szemcsék, annál magasabb minőséget képvisel az üveghomok.

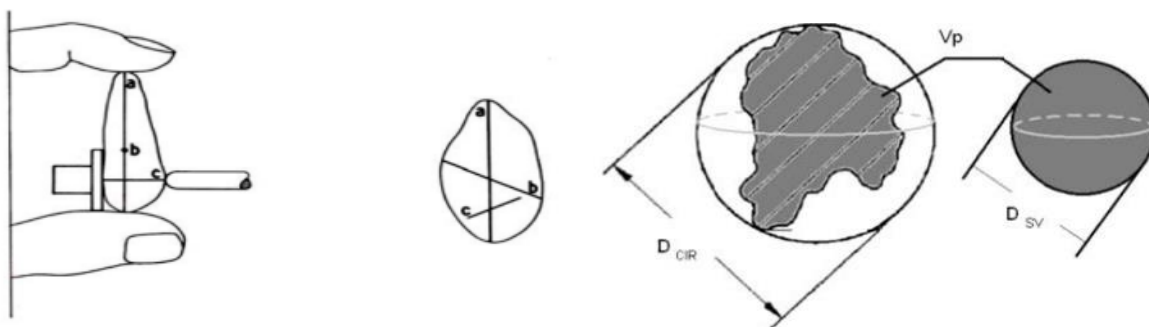
Az üveghomok a nem-érces ásványi nyersanyagok közé tartozik. A Brit Geológiai Szolgálat a Mineral Planning Factsheet című kiadványában kritikus ásványi nyersanyagként említi (2020.január). Képződési környezetét tekintve lehet tengeri, fluviális és limnikus egyaránt. A kitermelés történhet nem konszolidált homoktelepekből, de akár konszolidált homokkövekből, ortokvarcitokból vagy arkózából is (Heinrich, 1981).

Az öntödei homok granulometriai tulajdonságait a szemcsék alakja, mérete, fajlagos felülete, szerkezete és felületi minősége határozza meg. A szemcsék alakja a legfontosabb szempont, ugyanis nagyban befolyásolja az öntödei keverék gázáteresztőképességét, tömöríthetőségét és kötőanyagigényét, illetve szilárdsági jellemzőit. A homok szemcsemérete befolyásolja az öntőforma hajlító- és szakítószilárdságát. A szemcse felületéhez kapcsolódó tulajdonságok a minta tömöríthetőségét befolyásolják. Öntödei szempontból szintén előnyös, hogyha az üveghomoknak van földpát-tartalma, ugyanis ez csökkenti a hőtágulási együtthatót, tehát a hőmérséklet emelkedésével kevésbé fog kitágulni a keverék (Hudák, 2022). Ennek ásványtani magyarázata abban keresendő, hogy a kvarc kristályrendszere hőmérsékletfüggő, 573°C alatt trigonális, felette hexagonális rendszerben kristályosodik. Ez a változás térfogat-növekedéssel

jár együtt, a β -kvarc térfogata nagyobb, mint az α -kvarcé (Johnson et al., 2021). Egy szemcse gömbölyítettsége megadható a sarkok átlagos sugarának és a szemcsébe írható legnagyobb kör sugarának hányadosával (1.ábra). A szemcse koptatottságának megállapítására több képlet is létezik (Alam, 2021). Az egyik módszer a szemcse leghosszabb és legrövidebb tengelyének hányadosának szorzatát veszi alapul a „középső” tengellyel (2.ábra). A másik esetben a szemcse felülete és a vele azonos térfogatú gömb felszínének az arányából lehet meghatározni a koptatottságot (2.ábra). A gömbölyítettség és a koptatottság értéke is megadható egy 0 és 1 közötti skálán, jellemző értékeik 0,3 és 0,9 között mozognak (Hudák, 2022; Alam, 2021).



1.ábra A szemcse gömbölyítettségének meghatározása (Alam, 2021)



2.ábra A szemcse koptatottságának meghatározása (Alam, 2021)

3. Alkalmazott módszertan

3.1. Minták

A németországi minta a Harmadidőszak során rakódott le, képződése szoros kapcsolatban áll az Alsó-Rajna medence széntelepeivel. A terület az Oligocén során egy árokszerkezet volt, amely későbbi időkben feldarabolódott (Meschede és Warr, 2019; Götze, 1997). Az üveghomok egy tengerparti területen, parti turzasként rakódott le 40-60 méteres vastagságban. Jelenlegi rétegzettségét a Harmad- és negyedidőszaki glaciális periódusok alatt nyerte el (Götze, 1997). A frecheni bánya még több emberöltőre elegendő üveghomok készlettel rendelkezik. A szlovákiai minta fluvális tevékenység során képződött a Negyedidőszak során,

erősen tektonizált környezetben (Baňacký, 1996; Madziková et al., 2015). Ezt követően intenzív eolikus behatásoknak köszönhetően áthalmazódott (Baňacký, 1996; Hredzák et al., 2021). Az Šajdíkove Humence településen található bányának a készleteit több tíz millió tonnára becsülik. A sósokúti homokos-kavicsos pannóniai rétegek deltaképződmények (Gimesi, 2015). A másik magyarországi minta Kisörpusztáról származik, amely napjainkban Ábrahámhegyhez tartozik. Szintén pannóniai korú, egykori parti turzás, amely a hullámverés mellett eolikus hatásnak is ki volt téve (Hajós, 1953). Összeségében tehát elmondható a mintákról, hogy Európából származnak, képződési környezetüket tekintve folyóvízi vagy tengeri eredetűek, előfordul szárazföldi áthalmazás több lelőhely esetén, illetve mindegyik a Kainozoikum során rakódott le (1.táblázat).

Minta neve	Származási hely	Képződés módja, környezete	Kor	Készlet
FR	Frechen, Németország	parti turzás (Götze, 1997)	Oligocén-Miocén (Götze, 1997)	min. 40 évre elegendő
SH33	Šajdíkove Humence, Szlovákia	fluviális eredetű, eolikusan erősen áthalmazott (Baňacký, 1996; Hredzák et al, 2021)	Pleisztocén (Madziková, 2015)	75 millió tonna
KH0104	Sósokút, Magyarország	deltaképződmény (Gimesi, 2015)	Pannóniai (Gimesi, 2015)	-
KA	Ábrahámhegy, Magyarország	parti turzás, eolikusan gyengén áthalmazott (Hajós, 1953)	Pannóniai (Hajós, 1953)	-

1. táblázat Minták

3.2. Módszertan

A kiválasztott mintákon komplex vizsgálati sor került végrehajtásra. A szemcseméret-eloszlás vizsgálata kézi, valamint Fritsch gépesített szitasor segítségével történt. A szitasorban visszamaradt frakciók tömege ezred gramm pontossáig precíziós, KERN 572 típusú mérleggel került megállapításra. A homokfrakciók ásványos összetételét Zeiss Axiocam 4K mikroszkópkamerával felszerelt Zeiss Stemi 508 sztereomikroszkópban vizsgáltam.

A mintákon az AuroScience Kft. (Budapest) támogatásának köszönhetően SEM-EDS és automatizált szemcsealak, -méret, -és koptatottságvizsgálat készült Thermo Fisher Scientific PhenomXL elektronmikroszkóppal.

A mikroszkópos fotók alapján a homok alaki bélyegzőinek megállapítása Alam, 2021 és Alshibli et al., 2015 szerint történt.

3.3. Szitálás

A mérés elvégzéséhez 6 darab, különböző lyukátmérőjű Fritsch gyártmányú, acélszövetű szitát használtam. A használt sziták a következő lyukátmérővel rendelkeznek: 500 μ m, 400 μ m, 315 μ m, 200 μ m, 125 μ m, 63 μ m (3.ábra)

A szitákat a lyukátmérő szerint, növekvő sorrendben helyeztem egymásra. Legalulra egy fém tálcát helyeztem, ez fogta fel a legkisebb szitán is áthulló szemcséket (3.ábra). A szitálás előtt minden szitának rögzítettem a tömegét, ezt követően helyeztem bele a homokmintát. Az egymásra helyezett szitákat elsőként rázógépbbe helyeztem fél percig. Ezt követően manuálisan folytattam a szitálást.

Az egyes homokfrakciók tömegét a szitálást követően határoztam meg, a szita és a benne fennakadt homok tömegéből kivontam az előzetesen már rögzített sziták tömegét.

Végezetül meghatároztam a mérési veszteséget, valamint frakciónként zárt papírzacskóban helyeztem el a mintákat.



3. ábra Szitasor (saját fénykép)

3.4. Mikroszkópia

Az előzetesen a szitálás során szemcseméret szerint szétválogatott mintákat sztereomikroszkóp alá helyeztem, hogy meghatározzam az ásványos összetételüket. A vizsgálat során a lényeges vagy különleges megfigyelésekről fénykép készült. Továbbá mindegyik mintáról készült egy kis felbontású, áttekintő felvétel. Az szemcsék alaki bélyegeinek szemre történő megállapítását elvégeztem.

3.5. SEM-EDS, valamint SEM-morfometriai vizsgálatok

Az elektronmikroszkópos vizsgálatok Thermo Scientific Phenom XL CeB₆ elektronforrással szerelt beépített energiadiszperszív detektoros asztali pásztázó elektron-mikroszkóppal. A vizsgálatokat környezeti (60Pa) vákuumon szenezetlen mintafelnszínen, valamint nagyvákuumon (<0,1Pa) 15 nm szénréteggel bevont mintákon is elvégeztük. A mérések 15 kV gyorsítófeszültség és 5 nA mintaáram beállítások mellett készültek. 7-8 mm közötti munkatávolsággal. A mérések során a Thermo Scientific ParticleMetric szoftverrel szemcsealaki és szemcseméret vizsgálatok kerültek elvégzésre mintánként. A szoftver az elektronmikroszkóp integrált része. A szemcsealak-vizsgálatok során a kép szélére eső szemcsék nem kerültek mérésre, valamint minden esetben a manuálisan megerősíthető adatfeldolgozási hibából származó kilógó értékek a teljes adatbázisból manuálisan kiszűrésre kerültek.

3.6. Egyéb vizsgálati módszerek

A vizsgálatok elvégzését követően a kapott adatokat táblázatba rendeztem, belőlük diagramokat készítettem, továbbá a leírásokat is itt rögzítettem. Ezeket az eredményeket összevettem a sztereomikroszkópból, valamint az elektronmikroszkópos vizsgálatokból származó felvételekkel. Végezetül átlagszámítást végeztem, ugyanis a korábbi tapasztalatok alapján az így kapott eredmény ellentmondásban állhat a szemre történő határozásnak, valamint a vizuális ábrázolásnak (2.táblázat). A 2. táblázatban közölt adatok korábbi mérésekből származnak, említésük a példa illusztrálására szolgálnak. A dolgozat későbbi fejezetében említett eredményekhez minden mintából 50 darab szemcse alaki bélyegeit vettem alapul.

	Átlagos koptatottság	Átlagos gömbölyítettség
vizuális ábrázolás (mm)	~0,6	~0,6
számolt (mm)	0,59	0,61

2. táblázat Az FR minta nagyszemcsés homokjának példája

A minták szemcseméret-eloszlásának összehasonlításához empirikus eloszlásfüggvényeket készítettem. Az ilyen diagramok alkalmasak annak vizualizálására, hogy egy bizonyos értéknél kisebb adat mekkora valószínűséggel (=relatív gyakorisággal) fordul elő a mintában (Havancsák, 2012). Ilyen esetekben beszélünk kumulatív adatokról (Havancsák, 2012). A diagram x tengelyén egy tetszőlegesen kiválasztott változót ábrázolunk, jelen esetben ez a szemcsék átmérője μm -ben kifejezve. A diagram y-tengelyén a kumulatív gyakoriságot tüntetjük fel. A diagramot az RStudio 4.2.2-es verziójában készítettem el.

4. Eredmények

4.1. Szítálás

Az összes mintában elenyésző mennyiségben van jelen a $63\ \mu\text{m}$ -nél kisebb szemcseméret. A péliték egyik esetben sem alkotják a minta 1%-át. Ez az állítás szintén igaz a $63\text{--}125\ \mu\text{m}$ közötti, geológiai értelemben finomszemcsés homok tartománynak nevezett szemcseméretre is, egy kivételtől eltekintve. A KH0104 minta esetében ez a szemcseméret-tartomány 15% fölötti, mennyisége nem elhanyagolható. A $125\text{--}200\ \mu\text{m}$ közé eső szemcsék eloszlása már változatosabb, a minták inntől kezdve mutatnak jelentős eltéréseket. Az FR és az SH33 minta esetében már egyértelműen jelen vannak, azonban mennyiségük nem számottevő. A KA jelű mintában ennek a szemcseméretnek az aránya már nem elhanyagolható, a KH0104 mintában pedig már ez az egyik fő komponens. Bár a $200\text{--}315\ \mu\text{m}$ -es szemcsetartomány értékei az egyes mintákban markáns eltéréseket mutatnak, közös bennük, hogy mindegyik minta esetében ez a szemcseméret van jelen legnagyobb arányban. A $315\text{--}400\ \mu\text{m}$ közötti adatokra szintén hasonló állítás fogalmazható meg. A KH0104 minta kivételével a második legnagyobb frakciót alkotják. A $400\text{--}500\ \mu\text{m}$ -es tartomány eloszlása 10-15% között mozog. A KH0104 jelű minta ebben az esetben is kivétel, benne ez az szemcsetartomány minimális mennyiségű. Összeségében elmondható, hogy a KH0104-es minta kivételével, a $125\text{--}500\ \mu\text{m}$ közötti szemcsetartomány a meghatározó. Ez a geológiai szemcseméret beosztás szerint az apró- és középszemcsés homok tartománya. Az $500\ \mu\text{m}$ nagyobb szemcsék aránya nem meghatározó (3.táblázat).

	Homokfrakciók eloszlása (g)				Homokfrakciók eloszlása (%)			
szemcseméret (μm)	FR	SH33	KH0104	KA	FR	SH33	KH0104	KA
>500	0,83	4,66	0	2,49	1,03	4,65	0	2,48
400	12,83	13,2	0,24	9,84	15,97	13,18	0,24	9,8
315	27,54	19,74	6,05	20,17	34,28	19,71	6,04	20,09
200	33,13	56,43	39,93	52,13	41,24	56,36	39,85	51,93
125	5,32	5,89	38,77	15,25	6,62	5,88	38,69	15,19
63	0,58	0,01	15,09	0,38	0,72	0,01	15,06	0,39
0	0,1	0	0,17	0,12	0,12	0	0,17	0,12
összesen	80,33	99,93	100,25	100,38	99,98	99,79	100,05	100

3. táblázat A minták szemcseeloszlása

4.2. Mikroszkópia

Dolgozatom korábbi bekezdésében említettem, hogy az összes minta kiváló minőségű üveghomok, tehát mindegyik legalább 95% kvarcot tartalmaz. Ez az állítás jól megfigyelhető a sztereomikroszkópos felvételeken (4.ábra). Az ebben a fejezetben tett kijelentések a gömbölyítettségi és koptatottsági bélyegeket illetően hozzávetőlegesek, megállapításuk sztereomikroszkópos megfigyeléseken alapul. A pontos, matematikailag alátámasztott gömbölyítettségi és kerekítettségi értékeket egy későbbi fejezetben fejtem ki.

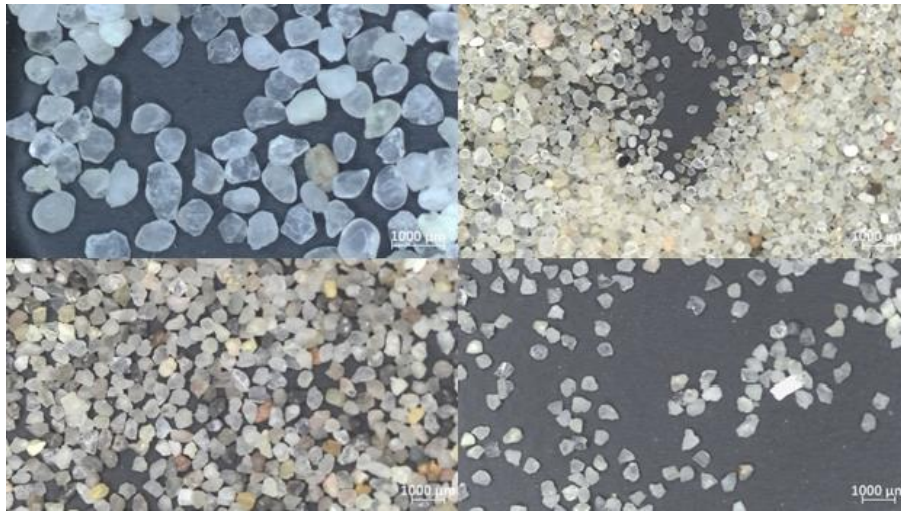
Az FR minta meghatározó szemcseméret-tartományai 200-500 μm közé esnek, ez a geológiai szemcseméret skálán a hozzávetőlegesen középszemcsés homok mérete. A mintában a kvarc mellett, amelyből esetenként zárványos példányok is előfordulnak, alárendelt mennyiségben megjelenik gránát, turmalin, rutil, földpát, sztaurolit és biotit (5.ábra). A frecheni bánya nehézasvány-társulásával Götze, 1997 foglalkozott részletesen. A mintában réz is megfigyelhető, amely feltételezhetően öntödei szennyezésből származik (5.ábra). Az akcesszóriák aránya a mintában a szemcseméret csökkenésével növekszik. A 200-500 μm közötti tartományban a szemcsék gömbölyítettségi és koptatottsági tulajdonságaiban nincsen változás, a 200 μm alatti tartományban megfigyelhető a gömbölyítettségi és koptatottsági viszonyok gyengülése. Az 500 μm -nél, tehát a nagyszemcsés homok tartománytól kezdődő szemcsék jól gömbölyítettek és koptatottak (5.ábra). Összességében tehát a minta szempontjából lényeges, 200-500 μm nagyságú frakció közepesen jól gömbölyített és koptatott

(5.ábra), továbbá kohászati szempontból előnyös, hogy a mintának, bár csekély, de van földpát tartalma.

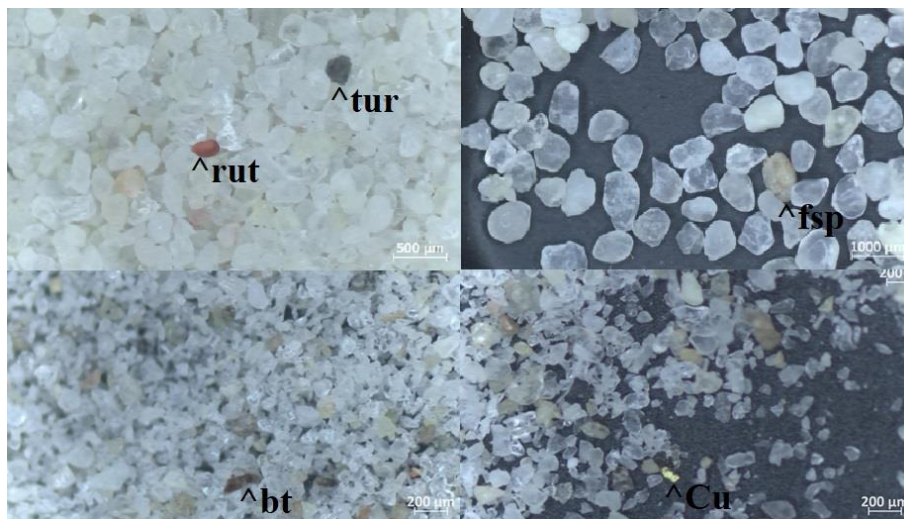
Az SH33 minta meghatározó szemcseméret-tartományai szintén 200-500 μm közé esnek. Kvarc mellett – akár százalékos nagyságrendben földpát (4.ábra), valamint ritkán turmalin, sztaurolit, gránát, olivin, rutil és ilmenit jelenik meg benne (6.ábra). Az általunk megfigyelt nehézasvány társulás jól egyezik a korábban leírttal (Hredzák et al., 2021). A 200-500 μm nagyságú tartomány gömbölyítettségi és koptatottsági viszonyai közepesen jók (6.ábra). A szemcseméret csökkenéssel enyhe gömbölyítettségbeli romlás tapasztalható, továbbá az akcesszóriák mennyisége minimális mértékben nagyobb a finomabb szemcsetartományban.

A KH0104 minta meghatározó szemcseméret-tartományai 63-315 μm közé esnek. Ez geológiai szemcseméret skálán teljesen lefedi a finom, - és aprószemcsés homok nagyságát, ezen kívül beleesik a középszemcsés homok tartományának az alja. A minta akcesszóriákban szegény, minimális mennyiségben földpát, gránát, aktinolit, sztaurolit és rutil fordul elő benne (7.ábra). A mintában a szemcseméret növekedésével nem tapasztalható változás a gömbölyítettségben (7.ábra). A szemcseméret növekedésével, különösen a 400 μm -nél nagyobb frakció esetében a szemcsék sarkosabbak (7.ábra).

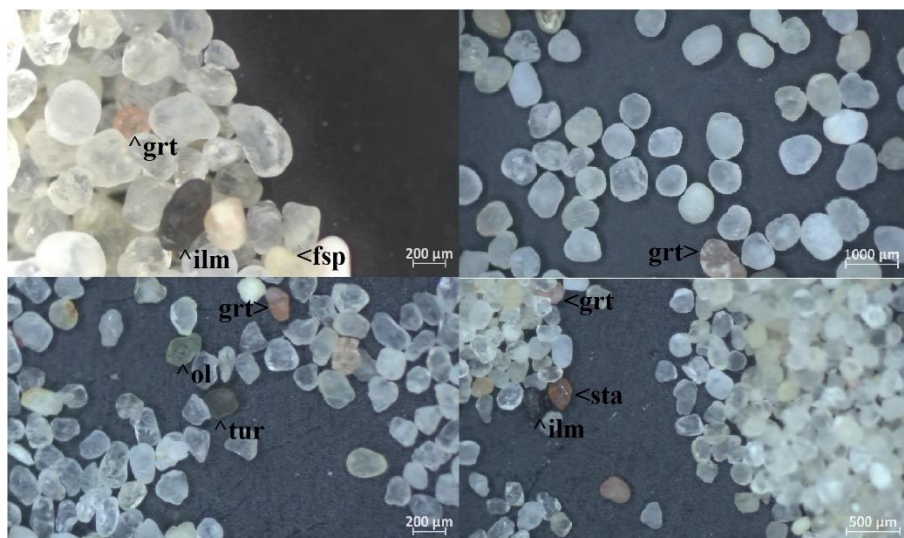
A KA minta meghatározó szemcseméret-tartományai 125-500 μm közé esnek. Ez a geológiai szemcseméret skálán tökéletesen egybeesik az apró, - és középszemcsés homok nagyságával. A mintában akcesszóriaként sztaurolit, ilmenit, gránát, rutil, pirit és csillámok vannak jelen, arányuk a szemcseméret csökkenésével növekszik (8.ábra). A kvarc felszínén helyenként hematit figyelhető meg (8.ábra). A gömbölyítettségi és koptatottsági viszonyok minden méret-tartományban változatosak (8.ábra).



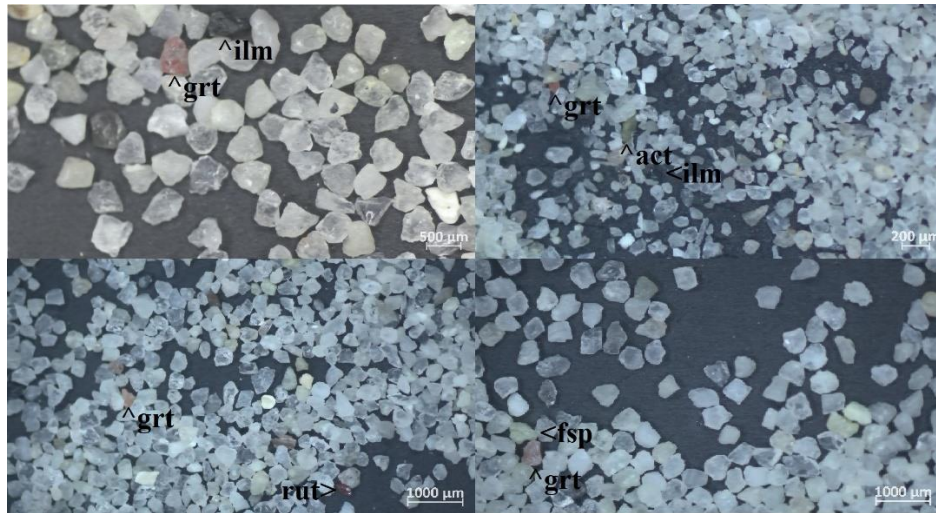
4.ábra Áttekintő fénykép a mintákról. Felső sor balról jobbra FR, SH33. Alsó sor balról jobbra KA, KH0104. (saját fénykép)



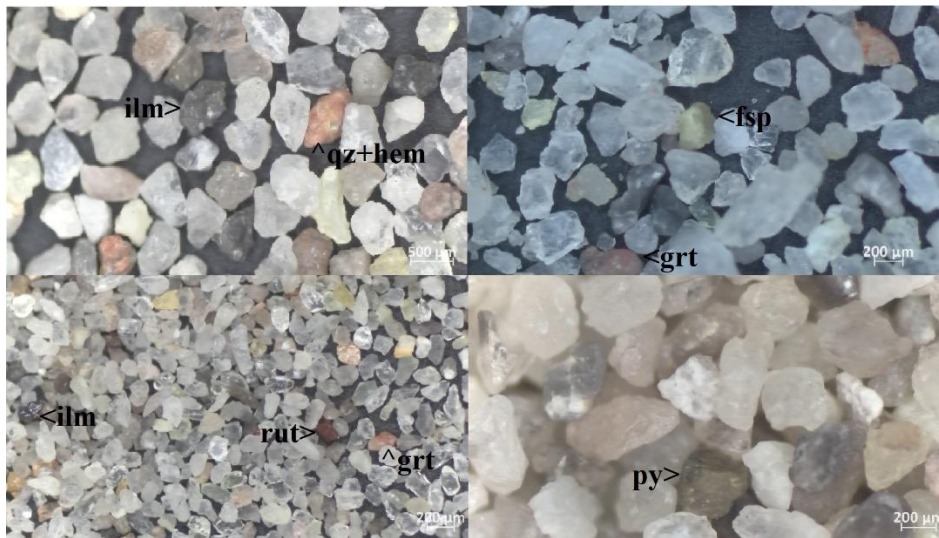
5. ábra Az FR minta akcesszóriái és alaki bélyegei (saját fénykép)



6.ábra AZ SH33 minta akcesszóriái és alaki bélyegei (saját fénykép)



7. ábra A KH0104 minta akcesszóriái és alaki bélyegei (saját fénykép)



8. ábra A KA minta akcesszóriái és alaki bélyegei (saját fénykép)

Az ebben a fejezetben, az ábrákon használt ásványnév rövidítések Warr, 2021 alapján készültek.

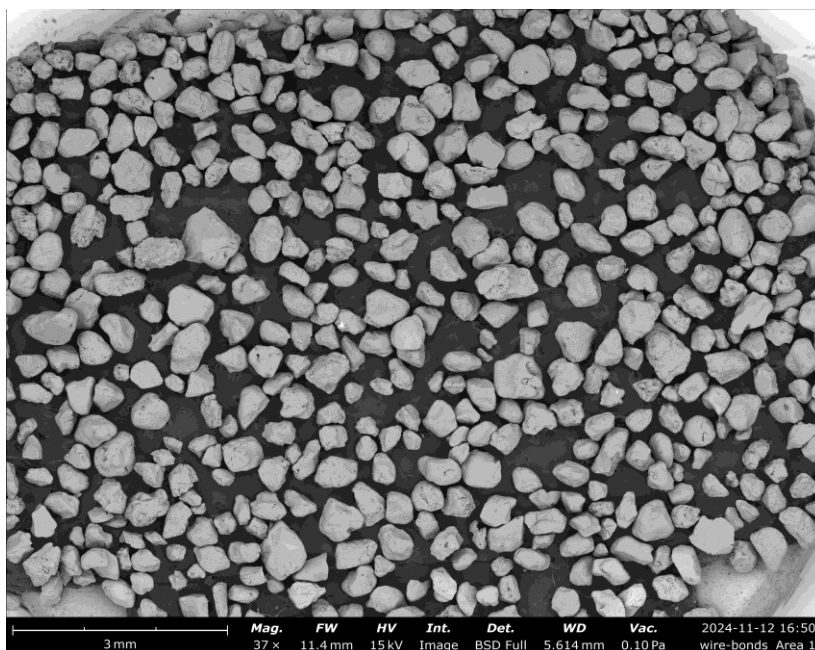
4.3. SEM-EDS, valamint SEM-morfometriai vizsgálatok

Az FR jelű minta szemcséi jól gömbölyítettek és koptatottak (9.ábra). A SEM morfometriai vizsgálat során a szoftver 336 darab szemcsét tudott elkülöníteni (4.táblázat). Ez a szám egy nagyságrenddel nagyobb, mint a sztereomikroszkópos vizsgálatok során, így átfogóbb képet ad.

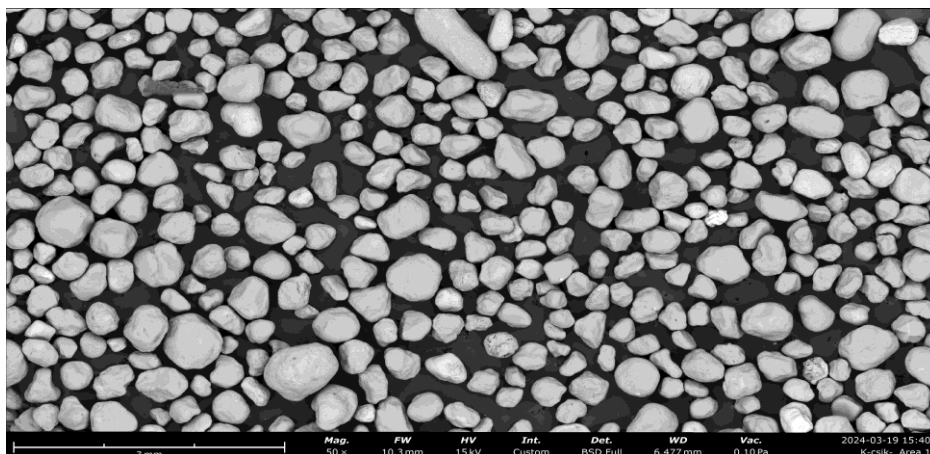
Az SH33-as minta jól gömbölyített és koptatott szemcsékből áll (10.ábra). A SEM morfometriai vizsgálat során a szoftver 324 darab szemcsét volt képes elkülöníteni (4.táblázat).

A KH0104-es átlagosan közepesen jól gömbölyített és koptatott szemcsékből áll (11.ábra). Azonban az egyes szemcsék alaki bélyegei között éles kontraszt van (11.ábra). A SEM morfológiai vizsgálat során a szoftver 843 darab szemcsét volt képes elkülöníteni (4.táblázat). Annak oka, hogy a szoftver ezúttal több, mint kétszer annyi szemcsét volt képes elkülöníteni, abban keresendő, hogy ennek a mintának az átlagos szemcsemérete kisebb, mint az összes többi mintának.

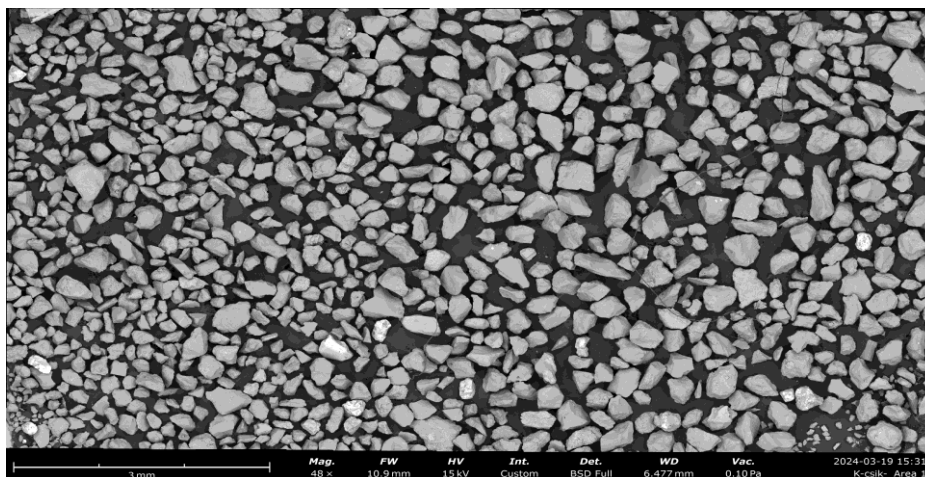
A KA jelű minta közepesen jól gömbölyített és koptatott szemcsékből áll a szoftver szerint (4.táblázat), ezt az erről a mintáról készült fénykép nem feltétlenül támasztja alá (12.ábra). A SEM morfológiai vizsgálat során a szoftver 425 darab szemcsét volt képes elkülöníteni (4.táblázat).



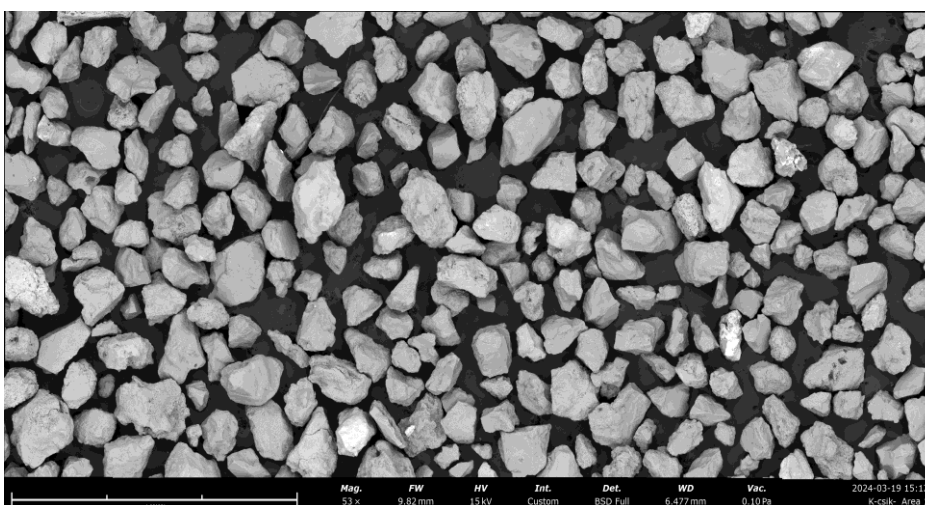
9.ábra Az FR minta SEM morfológiai vizsgálata (saját fénykép)



10. ábra Az SH33 minta SEM morfológiai vizsgálata (saját fénykép)



11. ábra A KH0104 minta SEM morfológiai vizsgálata (saját fénykép)



12. ábra A KA minta SEM morfológiai vizsgálata (saját fénykép)

A minták átlagos gömbölyítettsége és koptatottsága SEM morfológiai vizsgálat alapján				
Minta	FR	SH33	KH0104	KA
Vizsgált szemcsék száma	336	324	843	425
Átlagos gömbölyítettség	0,738	0,765	0,687	0,621
Átlagos koptatottság	0,718	0,711	0,657	0,6

4.táblázat A minták átlagos gömbölyítettsége és koptatottsága SEM morfológiai vizsgálat alapján

4.4. Egyéb vizsgálati módszerek

Mindegyik minta esetében 50 darab szemcse alaki bélyege alapján határoztam meg az átlagos gömbölyítettséget és koptatottságot. A kapott értékeket a 5.táblázat tartalmazza.

$$\text{Az FR minta átlagos gömbölyítettség értéke: } \frac{7*0,3+17*0,5+20*0,7+6*0,9}{50} = 0,6$$

$$\text{Az FR minta átlagos koptatottsági értéke: } \frac{6*0,3+12*0,5+15*0,7+17*0,9}{50} = 0,672$$

$$\text{Az SH33 minta átlagos gömbölyítettségi értéke: } \frac{4*0,3+16*0,5+18*0,7+12*0,9}{50} = 0,652$$

$$\text{Az SH33 minta átlagos koptatottsági értéke: } \frac{0,1+7*0,3+16*0,5+20*0,7+6*0,9}{50} = 0,592$$

$$\text{A KH0104 minta átlagos gömbölyítettségi értéke: } \frac{11*0,3+19*0,5+15*0,7+5*0,9}{50} = 0,556$$

$$\text{A KH0104 minta átlagos koptatottsági értéke: } \frac{6*0,1+12*0,3+18*0,5+12*0,7+2*0,9}{50} = 0,468$$

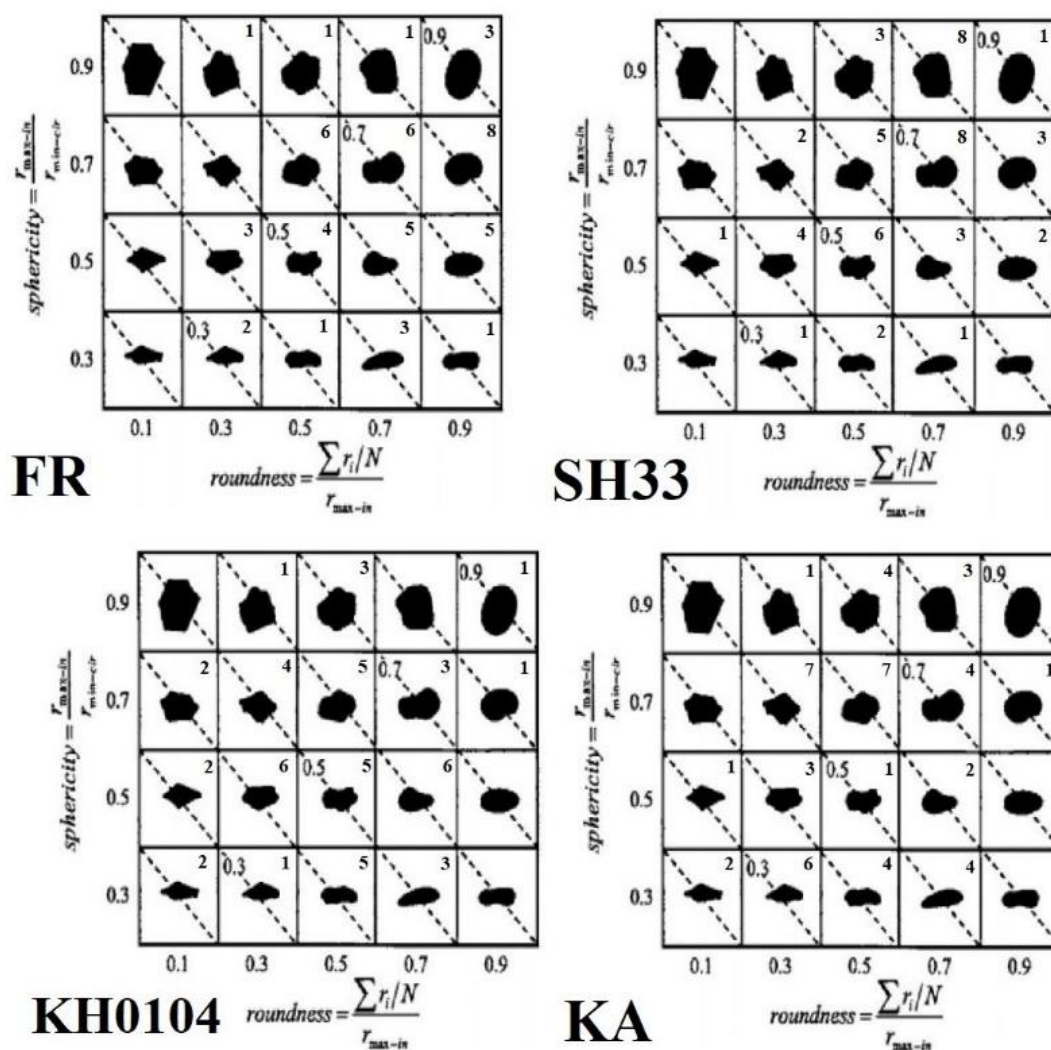
$$\text{A KA minta átlagos gömbölyítettségi értéke: } \frac{16*0,3+7*0,5+19*0,7+8*0,9}{50} = 0,576$$

$$\text{A KA minta átlagos koptatottsági értéke: } \frac{3*0,1+17*0,3+16*0,5+13*0,7+0,9}{50} = 0,468$$

Az FR minta közepesen jól gömbölyített és koptatott. Ez szintén igaz az SH33 jelű mintára, igaz minimális eltérés van a két minta értékei között. A KH0104 jelű minta közepesen jól gömbölyített és közepesen gyengén koptatott. Ez a megállapítás szintén elmondható a KA mintáról is, az értékek szinte azonosak. Az átlagszámításokhoz használt adatokat a 13.ábra tartalmazza.

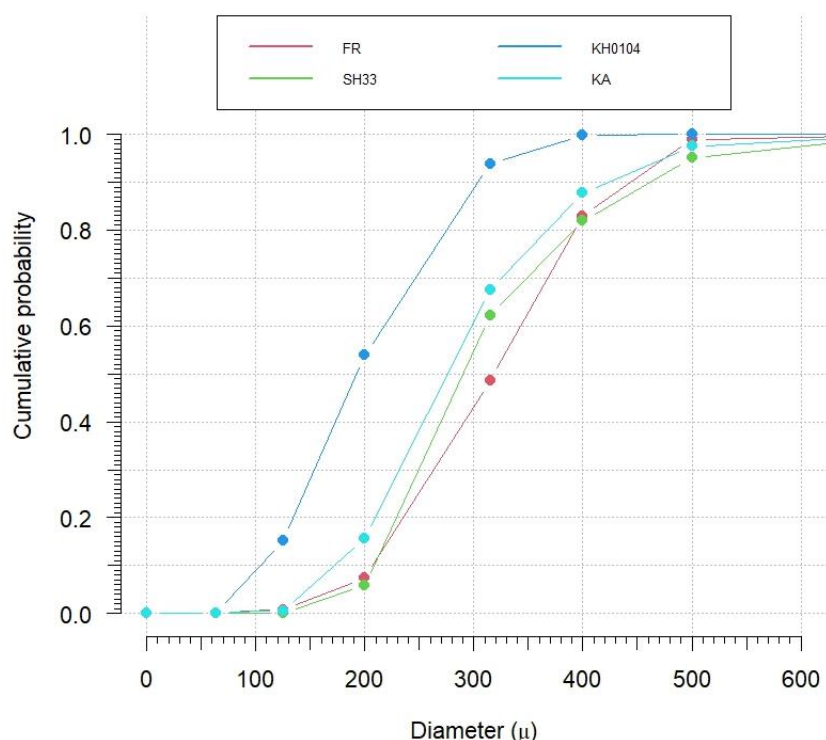
A minták átlagos gömbölyítettsége és koptatottsága sztereomikroszkópos megfigyelések alapján				
Minta	FR	SH33	KH0104	KA
Átlagos gömbölyítettség	0,6	0,652	0,556	0,576
Átlagos koptatottság	0,672	0,592	0,468	0,468

5.táblázat A minták átlagos gömbölyítettsége és koptatottsága sztereomikroszkópos vizsgálatok alapján



13.ábra Az átlagértékek kiszámításához használt adatok (Krumbein & Sloss, 1963 után Taiba et al., 2019, szerkesztett)

Az egyes minták szemcseméret-eloszlását empirikus kumulatív eloszlás függvényként ábrázoltam (14.ábra). A minták szemcseméretének vizualizálása alátámasztja az eddigi megfigyeléseket. Az FR mintától leginkább eltérő szemcseméretű minta a KH0104 (14.ábra), jól megfigyelhető, hogy ennek a mintának az átlagos szemcsenagysága kisebb, a többi mintáéhoz képest (14.ábra). Az FR mintára leginkább hajazó másik minta az SH33. Bár 315 μm -nél van egy nagyobb eltérés, ugyanakkor a minták többi részénél kapott eloszlások hasonlóságot mutatnak (14.ábra). Az SH33 jelű mintára előbb megfogalmazott megállapítások szintén igazak a KA jelű mintára is, azonban az eltérések az FR mintához képest nagyobbak (14.ábra). A minták pontos szemcseméret-eloszlásának ábrázolásához, valamint geometrikai és statisztikai kiértékeléséhez olyan szitasorra lenne szükség, amely nagyobb felbontást tesz lehetővé. Ebből kifolyólag a 14.ábra közelítő jellegű, a számszerű adatok vizuális megjelenítésére szolgál.



14.ábra A minták szemcseméret-eloszlása empirikus kumulatív eloszlás függvényként

5. Következtetések

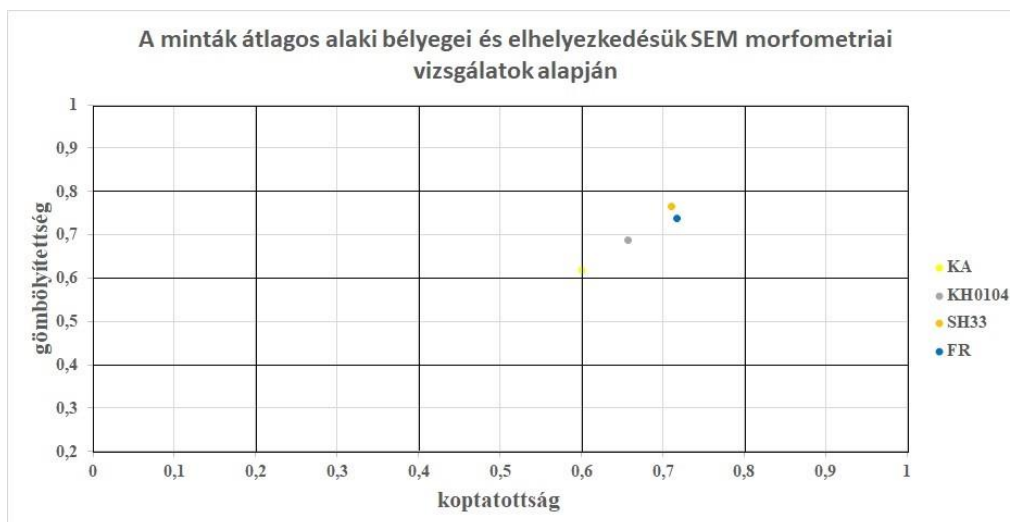
A dolgozat megalkotása során elvégzett vizsgálatok, valamint az ezzel összhangban átnézett irodalmi források alapján az alábbi következtetések vonhatók le:

- I. Az egyes minták szemcseméret-eloszlásából egyértelműen megállapítható, hogy az FR mintától leginkább eltérő másik minta a KH0104 jelű (3.táblázat, 14.ábra). Szembetűnő, hogy ebben a mintában a finom, - és aprószemcsés homok szemcseméret-tartományba eső szemcsék a dominánsak. Az ennél nagyobb alkotók aránya elhanyagolható a KH0104-es mintában. Mivel az öntödei homok szemcseméret befolyásolja az öntőforma hajlító, - és szakítószilárdságát (Hudák, 2022), ezért a KH0104 jelű minta nem alkalmas az Frechenből származó üveghomok pótlására. Az SH33-as minta szemcseméret-eloszlása tökéletes egyezést mutat az apró, -és finomszemcsés, valamint a középszemcsés homok felső harmadában az FR mintával (14.ábra). Ez a megállapítás szintén elmondható a KA jelű mintáról (14.ábra). Az FR mintához képest eltérés mindkét mintában a 315μm körüli tartományban figyelhető meg (14.ábra). Így, habár nem tökéletes mértékben, de szemcseméret-eloszlását tekintve az SH33 és a KA jelű minták alkalmasak lennének a német üveghomok alternatívájának.

- II. A dolgozatban vizsgált összes minta kiváló minőségű üveghomok, tehát mindegyik legalább 95% kvarcot tartalmaz. Ugyanakkor az akcesszóriák mennyiségét és fajtáját tekintve vannak eltérések az egyes minták között. Az összes mintáról elmondható, hogy az akcesszóriák változatos ásványtársulások formájában jelennek meg, ugyanakkor mennyiségük nem jelentős. Ez alól az SH33-as minta a kivétel, ugyanis benne a földpát mennyisége akár a százalékos nagyságrendet is elérheti (6.ábra). Ez öntödei szempontból kedvező, ugyanis a keverék földpát-tartalma csökkenti a hőtágulási együtthatót (Hudák, 2022), tehát az öntőforma hőmérséklet-növekedés hatására kevésbé fog kitágulni. Ásványos összetétel szempontjából tehát az összes alternatívaként vizsgált minta alkalmas lenne a német üveghomok kiváltására, azonban a szlovák minta a magas földpát-tartalma miatt kiemelten előnyös választás lenne.
- III. Az öntödei üveghomok legfontosabb tulajdonsága a szemcsék alaki bélyegei, ugyanis ez az adottság számos tényezőt befolyásol. Többek között a keverék kötőanyagigényét, szilárdsági jellemzőit, gázáteresztőképességét és tömöríthetőségét (Hudák, 2022). Gömbölyítettség bélyegeit illetően mindegyik minta hasonló az németországi üveghomokhoz, mind sztereomikroszkópos, mind SEM morfológiai vizsgálatok alapján (15.ábra, 16.ábra). Koptatottsági viszonyokat tekintve az SH33-as minta hasonlít leginkább az FR mintához sztereomikroszkópban (15.ábra). Ez a megállapítás szintén levonható a SEM morfológiai vizsgálatok alapján, azonban az így elvégzett mérések alapján a KA és a KH0104 jelű minták koptatottsága sem tér el nagyban a frecheni mintáétól (16.ábra). Bár a sztereomikroszkópos megfigyelések alapján egyértelműen az SH33 jelű minta hasonlít az FR mintára, ezt a SEM morfológiai vizsgálatok alá is támasztják, ugyanakkor jelentős eltérés nincsen az általános alaki bélyegeket illetően a KH0104-es mintához képest. Bár a KA jelű minta alaki bélyegei szintén hasonlítanak az FR mintához, a legnagyobb eltérés ez a két minta között van (16.ábra).



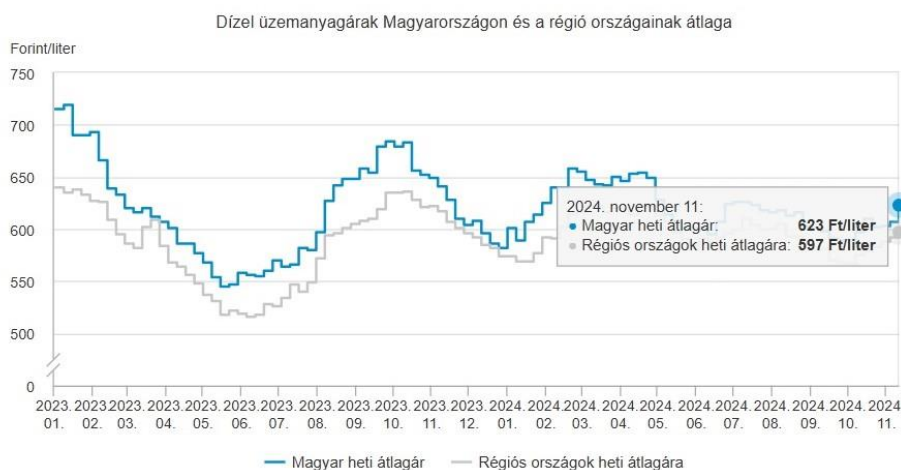
15. ábra A minták elhelyezkedése átlagos alaki bélyegeit alapján sztereomikroszkópos megfigyelések után (saját fénykép)



16. ábra A minták átlagos alaki bélyegei és elhelyezkedésük SEM morfometriai vizsgálatok alapján (saját fénykép)

- IV. Bár a végeredmény megállapításának szempontjából a sztereomikroszkópos vizsgálat is helyes következtetésre vezetett volna, ugyanakkor a kérdés pontos megválaszolásának érdekében célszerű volt elvégezni a SEM morfometriai vizsgálatokat. A geológus szeme sem tévedhetetlen, éppen ezért volt helyes döntés, hogy ugyanannak a kérdésnek a megválaszolásához több, különböző vizsgálatot elvégezni.
- V. Az ebben a fejezetben tett megállapítások alapján a németországi mintára leginkább a szlovák üveghomok hasonlít. Azonban az irodalmi források alapján nem ez volt az első gondolat a dolgozat megalkotásának kezdetén. Éppen ezért, az, hogy a két területről származó üveghomok alaki bélyegei ennyire hasonlóak, arra a megállapításra enged következtetni, hogy a frecheni üveghomok is áthalmozott, feltételezhetően eolikusan.

- VI. A dolgozat során elvégzett mérések és megfigyelések alapján lehetőség kínálkozik a Frechenből származó üveghomok kiváltására egy, az öntödéhez közelebbi bányából. Bár az Ábrahámhegyről származó minta is alkalmas lenne alternatívának, ugyanakkor a legmegfelelőbb minta a Šajdíkove Humence-i bányából származik.
- VII. A felvetett kérdés geológiai aspektusainak vizsgálatával lehetőség nyílik a szállítási távolság rövidítésére, ezáltal a fuvarozási távolság, valamint a szén-dioxid kibocsátás csökkentésére. Az öntöde székhelye Budapest nyugati agglomerációjában található. A szállítási távolság Frechentől oda-vissza 2300 kilométer, míg Šajdíkove Humence-től mindösszesen 540 kilométer oda-vissza. Az öntöde tavalyi nyersanyagfelhasználása alapján 240-300 tonna homokot rendel évente. 2024.11.11-én a gázolaj átlagos ára 597 forint volt literenként Közép-Európában (17.ábra). 100 kilométerenként, egy 40 tonnás tehergépkocsi 30 literes átlagosfogyasztásával (Rodriguez et. al, 2018) számolva, évente 3 782 592 forintot lehetne megtakarítani, amennyiben az üveghomokot a Šajdíkove Humence-i bányából szerezne be a cég. A kisebb fuvarozási távolságnak köszönhetően csökkenteni lehetne a szén-dioxid kibocsátást is. Egy átlagos tehergépkocsi CO₂ kibocsátása 789,3 g/km (Ragon és Rodríguez, 2021). A szlovák üveghomok használatával éves szinten 16,5 tonnával lehetne csökkenteni a szén-dioxid kibocsátást.



17. ábra Dízel üzemanyagárak átlagosan Magyarországon és a régióban (Forrás: <https://www.ksh.hu/heti-monitor/arak.html>)

6. Összefoglalás

TDK dolgozatom kutatásának alapját a Projektmunka 1 tárgy során felvetett kérdés képi, miszerint lehetséges lenne, és ha igen, akkor milyen forrásból a kiváltása egy németországi üveghomoknak. A kérdés megválaszolásának érdekében három mintát vizsgáltam meg, két magyarországi és egy szlovákiait. Elsőként mindegyik minta esetén irodalmi források alapján áttekintettem a földtani háttérüket, képződésük módját és korát. A minták szemcseméret-

eloszlásának meghatározásának érdekében ipari szemcseméret beosztás szerint lesztáltam az üveghomokakat. Az így kapott adatokból diagramokat készítettem, amelyeken geomatematikai kiértékelést végeztem el. Ezt követően a lesztált mintákat frakciónként megvizsgáltam sztereomikroszkóp alatt. Meghatároztam a mintákban előforduló akcesszóriákat, valamint a későbbi vizsgálatokhoz összehasonlítási alapnak meghatároztam a minták átlagos gömbölyöttségi és koptatottsági viszonyait. Ennek a kérdésnek a pontos megválaszolásnak az érdekében a mintákon SEM morfolometriai vizsgálatokat hajtottam végre. Mindezeknek a megfigyeléseknek és méréseknek az eredményit összesítettem, majd ezeket összevetve levontam a végső következtetést (6.táblázat). A TDK dolgozat megalkotásának köszönhetően lehetőség kínálkozik a frecheni üveghomok leváltására. Az eredményeim alapján a szlovákiai minta alkalmas lenne, hogy megfelelő alternatívaként szolgáljon a német üveghomoknak. A dolgozat megírásával sikerült megalkotni egy olyan munkát, amely több tényezőt vizsgálva járja körül a felvetett kérdéseket és mindezt egy olyan szintetizáló munkában foglalja össze, amelyre a hazai irodalomban eddig nem nagyon volt precedens. Továbbá a dolgozat lehetőséget nyújt a tudományos ismeretek bővítésén túl, egy olyan probléma megválaszolásához, amelynek a mindennapokat érintő társadalmi és gazdasági aspektusai vannak.

Mintanév	Ásványos összetétel	Szemcseméret- eloszlás	Alaki bélyegek
SH33	kiválóan alkalmas	alkalmas	kiválóan alkalmas
KH0104	alkalmas	nem alkalmas	alkalmas
KA	alkalmas	alkalmas	elégséges

6.táblázat Az alternatívaként vizsgált minták összegzése

7. Ábrajegyzék

1. táblázat Minták.....	5
2. táblázat Az FR minta nagyszemcsés homokjának példája.....	8
3. táblázat A minták szemcseeloszlása.....	9
4.táblázat A minták átlagos gömbölyítettsége és koptatottsága SEM morfolometriai vizsgálat alapján	14
5.táblázat A minták átlagos gömbölyítettsége és koptatottsága sztereomikroszkópos vizsgálatok alapján	15
6.táblázat Az alternatívaként vizsgált minták összegzése	21
1. ábra A szemcse gömbölyítettségének meghatározása (Alam, 2021)	4
2. ábra A szemcse koptatottságának meghatározása (Alam, 2021)	4
3. ábra Szitasor (saját fénykép)	6
4. ábra Áttekintő fénykép a mintákról. Felső sor balról jobbra FR, SH33. Alsó sor balról jobbra KA, KH0104. (saját fénykép)	11
5. ábra Az FR minta akcesszóriái és alaki bélyegei (saját fénykép)	11
6. ábra Az SH33 minta akcesszóriái és alaki bélyegei (saját fénykép)	11
7. ábra A KH0104 minta akcesszóriái és alaki bélyegei (saját fénykép)	12
8. ábra A KA minta akcesszóriái és alaki bélyegei (saját fénykép)	12
9. ábra Az FR minta SEM morfolometriai vizsgálata (saját fénykép)	13
10. ábra Az SH33 minta SEM morfolometriai vizsgálata (saját fénykép)	13
11. ábra A KH0104 minta SEM morfolometriai vizsgálata (saját fénykép)	14
12. ábra A KA minta SEM morfolometriai vizsgálata (saját fénykép)	14
13. ábra Az átlagértékek kiszámításához használt adatok (Krumbein & Sloss, 1963 után Taiba et. al, 2019, szerkesztett)	16
14. ábra A minták szemcseméret-eloszlása empirikus kumulatív eloszlás függvényként	17
15. ábra A minták elhelyezkedése átlagos alaki bélyegeit alapján sztereomikroszkópos megfigyelések után (saját fénykép)	19

16.ábra A minták átlagos alaki bélyegei és elhelyezkedésük SEM morfológiai vizsgálatok alapján (saját fénykép)	19
17. ábra Dízel üzemanyagárak átlagosan Magyarországon és a régióban (Forrás: https://www.ksh.hu/heti-monitor/arak.html)	20

8. Forrásjegyzék

A. Madziková & V. KANDRÁČOVÁ & M. Kulla & Š. Nováková (2015): DEVELOPMENT OF GLASSMAKING AND CHANGES IN ITS DISTRIBUTION IN SLOVAKIA

British Geological Survey, 2020. Mineral Planning Factsheet

E. WM. Henrich (1981): Geologic types of glass-sand deposits and some North American representatives

E. Meechoowas & S. Suriyoporn & C. Yoocharoenkit & S. Pleakbaow (2021): The comparison of different sand sources for glass industrial production

Gimesi I. M. (2015): A DUNAZUG-HEGYSÉG

Havancsák K.: *MÉRÉSI ADATOK KEZELÉSE ÉS ÉRTÉKELÉSE*. Budapest, Typotex Kiadó, 2012. p. 18-19., 155-156.

Hudák H. (2022): ÖNTÖDEI FORMÁZÓ- ÉS MAGHOMOKKEVERÉKEK GÁZÁTERESZTŐ KÉPESSÉGÉNEK ÉS SZILÁRDSÁGI TULAJDONSÁGÁNAK VIZSGÁLATA ÚJSZERŰ MINŐSÍTŐ MÓDSZER ALAPJÁN. Doktori értekezés. Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Kar, Miskolc

J. Götze (1997): Mineralogy and geochemistry of German high-purity quartz sands

Jr. T. E. Shufflebarger: Economics of Glass Sand Prospects. In: K. S. Johnson & J. A. Russel: *Thirteenth annual forum on the geology of industrial minerals*. Norman, The University of Oklahoma, 1978. p. 25-35.

K. A Alshibli & A. M. Druckrey & R. I. Al-Raoush & T. Weiskittel & N. V. Lavrik (2015): Quantifying Morphology of Sands Using 3D Imaging

L. N. Warr: IMA–CNMNC approved mineral symbols. In: S. Mills & R. Mitchell: *Mineralogical Magazine*. Cambridge, Cambridge University Press, 2021. p. 291-320.

M. Meschede & L. N. Warr: Tertiary Basins. In: M. Meschede & L. N. Warr: *The Geology of Germany*. Cham, Springer Nature Switzerland AG, 2019. p. 209-231.

- M. R. Cox & M. Budhu (2008): A practical approach to grain shape quantification
- P-L. Ragon & F. Rodríguez (2021): CO₂ emissions from trucks in the EU: An analysis of the heavy-duty CO₂ standards baseline data
- F. Rodríguez & O. F. Delgado & R. Muncrief (2018): Fuel consumption testing of tractor-trailers in the European Union and the United States
- S. E. Johnson & W. J. Song & A. C. Cook & S. S. Vel & C. C. Gerbi (2021): The quartz $\alpha \leftrightarrow \beta$ phase transition: Does it drive damage and reaction in continental crust?
- S. Hredzák & M. Matik & O. Šestinová & A. Zubrik & D. Kupka & S. Dolinská & I. Znamenáčková: POSSIBILITIES OF EOLIAN SANDS GRAVITY UPGRADING FROM THE ŠAJDÍKOVE HUMENCE DEPOSIT (WEST SLOVAKIA). In: J. Sokolović & M. Trumić: *XIV International MINERAL PROCESSING and RECYCLING CONFERENCE*, Belgrade, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor, 2021. p. 172-178.
- S. Platias & K. I. Vatalis & G. Charalampides (2014): Suitability of quartz sands for different industrial applications
- Sk M. Alam (2021): Analysis of particle shape
- Sz. Hajós M. (1953): A KÖVÁGÓÓRSI ÉS KISŐRSPUSZTAI HOMOK - ÉS KVARCHOMOKKÓ - ELŐFORDULÁS
- V. Baňacký (1996): GEOLOGICAL MAP OF THE CHBOJNICKA PAHORKATINA UPLAND AND NORTHERN PART OF THE BORSKA NIZINA LOWLAND

9. Köszönetnyilvánítás

Hálával tartozom témavezetőmnek, Biró Máténak, aki számos hasznos praktikával és szakmai hozzászólással látott el engem, amelyek hozzásegítettek a dolgozat megalkotásához. Emellett köszönettel tartozom a mérések lebonyolításban nyújtott segítségéért. Szintén köszönettel tartozom Dr. Molnár Ferenc, tanszékvezető egyetemi tanárnak, aki segítőkész észrevételekkel látott el a kezdetekben, valamint biztosította a laborhasználatokat a számomra. A dolgozat nem jöhetett volna létre Dr. Virág Attila, egyetemi adjunktus nélkül, aki a geomatematikai és statisztikai kiértékelésen túl hozzásegített a diagramok megalkotásához. A dolgozat megalkotásához hatalmas segítséget nyújtott Jens Götze, a freibergi egyetem professzora, aki rendelkezésemre bocsátotta cikkeit a frecheni üveghomokról. Végezetül, de nem utolsó sorban szeretném megköszönni szaktársaimnak, akik a dolgozat megalkotásának teljes ideje alatt tartották bennem a lelket, valamint motivációjukkal hozzájárultak annak elkészültéhez. A dolgozat nem jöhetett volna létre a vállalat segítése nélkül.