



Egy új perlitbánya kémiai homogenitás vizsgálata, különös tekintettel a Cl elem kvantitására

OTDK dolgozat

Készítette:

Klaj Kitti Patrícia

Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar

Konzulens:

Dr. Móricz Ferenc

Miskolci Egyetem, egyetemi docens

Miskolc, 2025. január

Eredetiség nyilatkozat

Alulírott Klaj Kitti Patrícia, a Miskolci Egyetem Műszaki Föld-és Környezettudományi 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, 2025.01.06.


.....
hallgató aláírása

Konzulensi nyilatkozat

Alulírott Dr. Móricz Ferenc, a Miskolci Egyetem Nyersanyagkutató Földtudományi Intézetének egyetemi docense az OTDK dolgozatot beadásra alkalmasnak ítélem.

Miskolc, 2025.01.06.


.....
konzulens aláírása

Bizalmas kezelési kérelem

Alulírott Klaj Kitti Patrícia (hallgató; Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar), mint a „*Egy új perlitbánya kémiai homogenitás vizsgálata, különös tekintettel a Cl elem kvantitására*” című OTDK dolgozat szerzője, illetve Dr. Móricz Ferenc (egyetemi docens; Nyersanyagkutató Földtudományi Intézet), mint konzulens kérnénk az OTDK dolgozat bírálóit és olvasó(i)t, hogy az Európai Unió területén érvényben lévő GDPR szabályoknak megfelelően kezelje a dolgozatban szereplő adatokat.

Az adatok egy jelenleg is aktívan termelő bányából származnak, így azok bizalmasok. Az adatok másolása és felhasználása a bányatársaság engedélye nélkül szigorúan tilos.

Kérnénk az érvényben lévő GDPR szabályok betartását!

Miskolc, 2025.01.06.


Klaj Kitti Patrícia (szerző)


Dr. Móricz Ferenc (konzulens)

Tartalomjegyzék

1. ABSZTRAKT	5
2. BEVEZETÉS ÉS TÖRTÉNELMI ÁTTEKINTÉS	5
2.1. Bevezetés (általános; perlit geológiai kialakulása).....	5
2.2. Perlit-92 Kft története.....	7
3. PERLIT HASZNOSÍTÁS	8
3.1. Felhasználás.....	8
3.2. Világtermelés (időbeni változás)	12
3.3. Árváltozás (időbeni változás) Globális piac.....	15
3.4. Minőséget befolyásoló paraméterek.....	15
4. PERLIT 92' BÁNYAÜZEMEINEK A BEMUTATÁSA.....	16
4.1. Helyszínek	16
4.2. Pálháza I. bányatelek.....	17
4.4. Időbeni növekedés és jövőbeni tervek.....	18
5. PROBLÉMAFELVETÉS	19
6. MÉRÉSI METÓDUS	20
7. EREDMÉNYEK.....	21
7.1. Magyar eredmények bemutatása	21
7.2 A magyar, a török és görög minta kémiai összehasonlítása	25
7.3 A klór mobilitásának termikus vizsgálata.....	28
7.4. A termikus kísérlet által okozott ásványi átalakulások vizsgálata.....	30
8. ÖSSZEFOGLALÁS	34
9. TOVÁBBKUTATÁS	35
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	35
HIVATKOZÁSOK.....	36
ÁBRA ÉS TÁBLÁZAT JEGYZÉK.....	37

1. ABSZTRAKT

A vulkáni eredetű perlit, melyet hőkezelés során könnyű, porózus anyaggá alakítanak, kiemelkedő ipari jelentőséggel rendelkezik, széleskörűen alkalmazzák az építőiparban, a mezőgazdaságban, és a környezetvédelemben is. Hőszigetelő, akusztikai és vízelvezető tulajdonságai miatt különösen keresett nyersanyag, mely hozzájárul az épületek energiahatékonyságához, fenntarthatóságához, ugyanakkor tökéletesen illeszkedik a „Green Future” koncepcióba. Az ásványi nyersanyag minősége szempontjából a Cl tartalom sarkalatos tényező, amely nemcsak a duzzasztott perlit fizikai tulajdonságait, ezáltal az ipari felhasználhatóságát, de az árát is jelentősen befolyásolja. A magasabb klórtartalom rossz hatással van a hőállóságra, mely csökkentett értéke akadályozza a perlit felhasználási lehetőségeit a tűzálló anyagokban.

A Perlit-92 Kft. az új bányaterületén egyszerre 3-5 szinten fejti a perlitet, mely során az egyes szintek magassága 15-20 méter. A kutatófúrásokból és robbantólukakból származó mintaanyagokon vizsgáltam egyrészt a minták kémiai homogenitását, másrészt a fentiekben említett sarkalatos elem, a Cl koncentrációjának a mennyiségét, ennek hatását a nyersanyag minőségére. A vizsgált minták kémiai elemzéséből, az elemösszetétel és elemarányok segítségével ekvivalencia vonható a már meglévő bányatér különböző perlittípusaival. Ezek az adatok segítenek a Perlit-92 kft.-nek a bányászati folyamat optimalizálásában, illetve biztosítják a kiváló minőségű perlit előállítását, amely megfelel a piaci követelményeknek és a környezetvédelmi normáknak.

2. BEVEZETÉS ÉS TÖRTÉNELMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Bevezetés (általános; perlit geológiai kialakulása)

A perlit egy természetes körülmények között is előforduló üveges, savanyú vulkáni kőzet, amely körülbelül 75% SiO_2 -t és 15% Al_2O_3 -t tartalmaz. Jelentős mennyiségű kötöttvíz tartalmú riolitváltozat, amely a láva vízbe ömlése során képződik. Különleges fizikai és kémiai tulajdonságai miatt széles körben elterjedt nyersanyag többek között az építőiparban, a mezőgazdaságban, vagy a környezetvédelem területén. Az építőiparban a perlit hő- és hangszigetelő tulajdonságai miatt használt, gyakran alkalmazzák könnyített betonokban, habarcsokban vagy vakolatokban. A mezőgazdaságban talajjavítóként ismert, javítja a talaj

vízvezetését, vízháztartását és levegőztetését, így segítve a növények gyökérzetének fejlődését. A környezetvédelemben a perlit víztisztító rendszerekben is szerepet kap, mivel képes felszívni különböző szennyező anyagokat, például olajat és zsírt.

A 2. világháborút követő helyreállítási munkálatokkal megnőtt a kereslet a könnyű, jó hőszigetelő tulajdonságokkal bíró anyagok iránt. Többféle anyagot is kifejlesztettek ebben az időszakban, de csak a perlit felelt meg minden elvárásnak, miközben az előállítása is gazdaságos maradt. Építőanyagként 1944-ben használták először az Amerikai Egyesült Államokban, ekkor kezdődött meg bányászata is (BIGNIO, 1959).

Magyarországon 1970-ben indult meg a Tokaji-hegységben a korábbi térképezés során megismert perlit-előfordulások prognosztikus perlitkészleteinek felmérése. Riolitos vulkáni kőzetek, amilyen a perlit is, a Tokaji-hegységben a felszínen 3 jelentősebb foltban találhatóak. A három folt legnagyobbika északon Pálháza és Telkibánya közé esik, a középső Erdőhorváti és Erdőbénye térségében van, a déli előfordulás pedig több, kisebb riolit előfordulásból áll (GYARMATI, 1982).

A területen előforduló perlitből közetszövet és szerkezet alapján négy elsődleges és három másodlagos perlittípust különböztetünk meg (ZELENKA, 2001). SZAKÁL ÉS WEISZBURG (1994) szerint ezek magmagenetikailag két csoportba sorolhatók. Az illókban gazdag, felfűvódásra hajlamosabb, így a piroklasztitokkal kapcsolatban álló zöld perlitre, valamint az illókban szegényebb szürke-fekete perlitekre. SZAKÁL ÉS WEISZBURG (1994) a telkibányai terület ásványairól szóló munkája szerint ezeket a típusokat részletesen az alábbi módon lehet jellemezni:

A riolitos, szferolitos perlit a horzsakőképződés öve alatt megrekedt, fölös illótartalmú riolitos olvadék, amely túlnyomórészt obszidiánná szilárdult, majd később alakult perlitté. Az egyik leggyakoribb változat, a keveredő riolitos és perlites fázisok közül a perlites van túlsúlyban. Néha sorokba, sávokba rendeződve találhatóak.

Az üveges vagy tömött perlit sekély mélységben, a horzsakőképződés öve alatt szilárdul meg. Vastagsága változó, leggyakrabban a riolitos perlittel együtt jelenik meg. Az eredetileg obszidián üveg testek utólag változó mennyiségű vizet vettek fel, amely három különböző megjelenési formát eredményezett: a fekete obszidián jellegűt, a szürke gyöngykövest, illetve a kettő közötti átmeneti változatot. Az obszidián jellegű perlit tömött, sima felületű, kagylós törésű, kemény változat, amely szabad szemmel nagyon kis mértékben mutat perlites struktúrát. A gyöngyköves változatban a fokozottabb vízfelvétel miatt jól

észrevehető a perlites, gömbös szerkezet, színe szürkés, illetve lecsökken a keménysége és a térfogatsúlya, morzsolódik.

A breccsás perlit elsődlegesen a benyomuló és megszilárduló illódús láva nyomásváltozásra érzékeny tulajdonsága miatt, autobreccsásodási következményként jön létre, ellenben az utólagos mechanikai aprózódás is részt vesz a képződésében. Az autobreccsásodás majdnem minden elsődleges perlittípusra jellemző, nagyon nehéz megkülönböztetni őket egymástól. Lokális megjelenésűek, legszebb, noha nem túl jelentős kiterjedésű foltjai a telkibányai Templomdomb K-i felén, és a Cser-hegy ÉNY-i aljában találhatók.

A horzsaköves perlit a riolit és perlittestek magasabb helyzetű szegélyzónájában kialakuló, illók kiszabadulásakor felhabzott lávákból származó elsődleges kőzettípus, amely a többi perlittől nehezen határolható el. Csöves-szálas horzsakőnyalábokból áll, általában csak csekély mértékben mutat gyöngyköves szerkezetet. Az Fe_2O_3 tartalom, illetve a hidratáció és oxidáció mértéke szerint változik a felfújt és tömör üveg aránya, amely alapján több változat alakult ki. A gyakoribb vörös-szürke és vörös-fekete horzsaköves perlitek összvíz tartalma magasabb, mint a többi perlitfajtáé, amelynek oka főként a montmorillonitos agyagásványosodás.

2.2. Perlit-92 Kft története

Magyarország első perlitbányája 1958 óta működik Pálháza térségében a Gyöngykő-hegyen, és napjainkra a legjelentősebb hazai kitermelővé nőtte ki magát. A Perlit-92 Kft-t 1992-ben alapították, ekkor ír-magyar közös vállalként működött. 2006-ban, 100%-os magyar tulajdonban megnyílt a második perlitbánya Bózsván, amely további 80 évre biztosítja a nyersperlit-ellátást. 2012 óta egy lengyel-magyar közös tulajdonú duzzasztóüzem is működik Lengyelországban (HACSKÓ, 2020; PERLIT-92 KFT, 2024).

3. PERLIT HASZNOSÍTÁS

3.1. Felhasználás

Magyarország nyersanyagokban viszonylag szegény ország, perlit bányászat tekintetében azonban nagyhatalomnak számít. A perlit egyik legfontosabb tulajdonsága a duzzaszthatóság, amely a korábbiakban is említett sokoldalú felhasználását teszi lehetővé (TAKÁCS, 2001).

A duzzaszthatósági jellemzői erősen kapcsolódnak a perlit kötöttvíz tartalmához. Ez a víztartalom általában 2-6 % között mozog, és „a kiömlés során hirtelen megszilárduló lávában rekedt, részben oldott, lazán kötött, illetve kémiaiilag szilárdan kötött formában” lévő vizeket számoljuk bele.

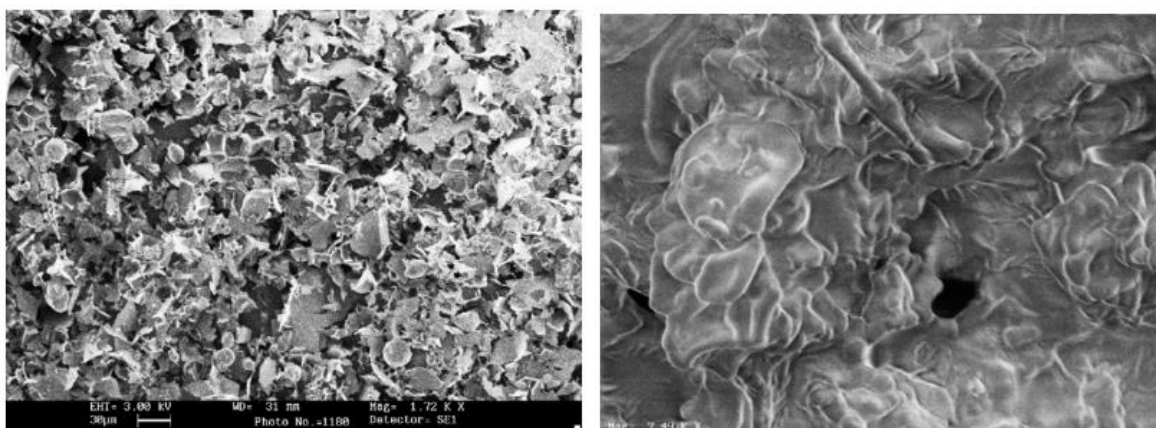
A perlitet felhasználása előtt a legtöbb esetben előkészítik. Ez a folyamat a bányászati kitermelést követő mechanikai előkészítéssel kezdődik. A duzzasztáshoz szükséges méretfrakciókat a nyers perlitből aprítással, szárítással, illetve osztályozással hozzák létre.

A mechanikai előkészítést követően történik a termikus kezelés, amely az alkalmazott eljárástól függően 800 – 1250 °C közötti hevítést jelent. A keletkezett duzzasztott perlit térfogatsűrűsége a kőzet minőségétől, és a további felhasználás céljától függően körülbelül 32 kg/m³ – 240 kg/m³ között változhat (BÖHM ÉS CSÖKE, 2001).

A 2023-as évben a csak a tartályhajókból kiömlő olaj mennyiségét 2000 tonnára becsülték. Ezek az éves adatok felhívják a figyelmet a szennyezés elleni védekezésre, valamint a nyomon követési technológiák fejlesztésére. A vizekbe kerülő olajnak súlyos, hosszútávon is környezetkárosító hatása van (FARKHOD ET. AL., 2024).

Általánosan bevetett megoldás az olajkatasztrófák kezelésére a szennyeződés nagyméretű úszó gátaival való elszigetelése, amit azután speciális hajókkal leszívják a víz felszínéről vagy különböző abszorbens anyagokkal felitatnak.

Hidrofób anyagokat elosztatva a szennyeződésen, a keletkező szorbens – folyadék – víz keverék mechanikailag eltávolítható a víz felszínéről. Az ásványi abszorbensek, mint például a perlit, grafit és agyag használata egyre elterjedtebb az olajszennyeződések eltakarításánál, illetve a szennyvíztisztításban, köszönhetően gyakoriságuknak, illetve alacsony áruknak (BASTANI ET. AL., 2006).

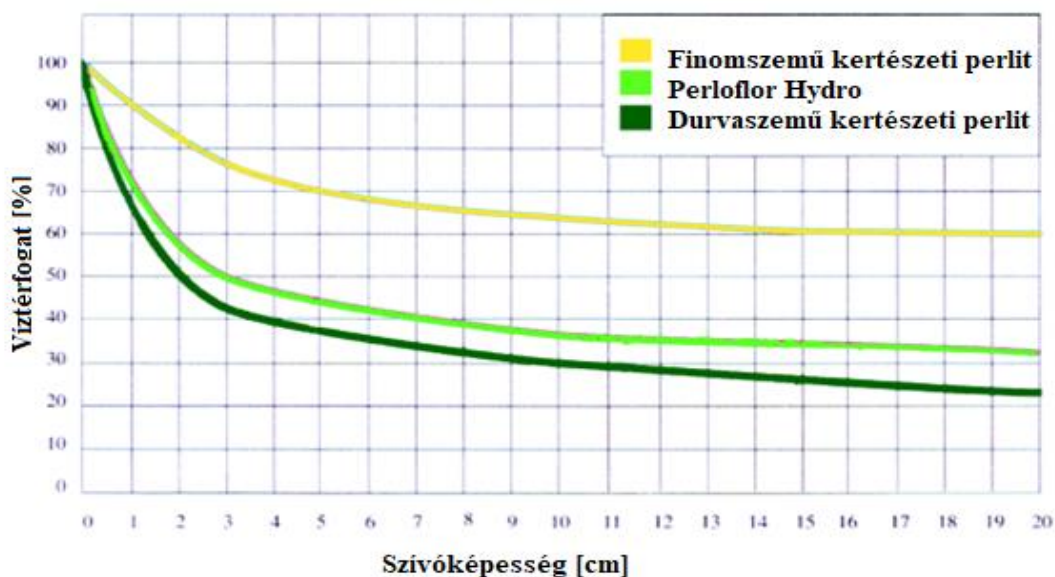


1. ábra: Duzzasztott perlit szövete olajfelvétel előtt és után SEM képeken.

Forrás: BASTANI ET. AL., 2006

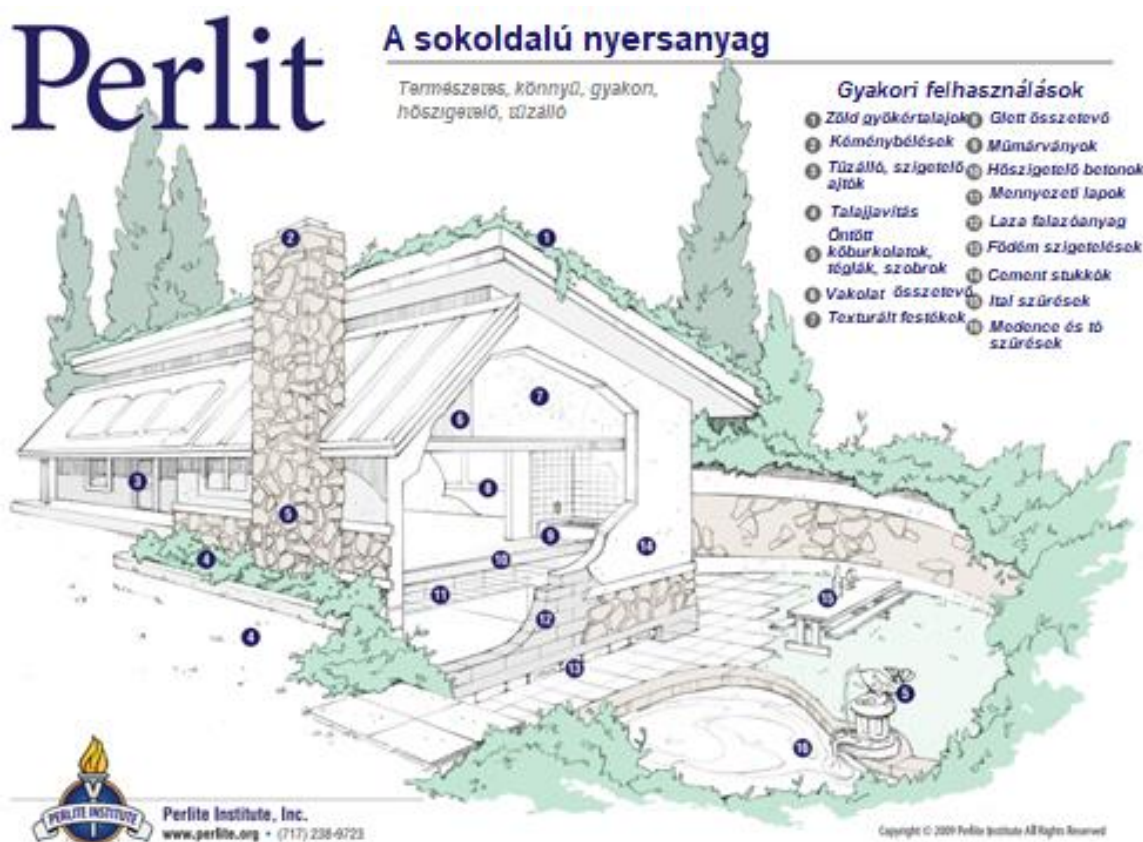
A duzzasztott perlit fizikai tulajdonságai lehetővé teszik, hogy a különböző iparágak, mint például a gyógyszeripar vagy az élelmiszeripar szűrő segédanyagként hasznosítsák. Kis sűrűségű, inert, nem ad át semmilyen ízt vagy szagot a szűrt folyadéknak, és gyakorlatilag semmilyen hőmérsékleten nem oldódik ásványi vagy szerves savakban. Szűrő segédek használata nélkül a szilárd szemcsék egy idő után eltömítik a szűrő felszínét. Perlit felhasználásával egy szűrő réteg képződik a felszínen, aminek pórusaiban megy végbe maga a szűrés. A duzzasztott perlit nagyobb térfogatot tud biztosítani kisebb tömegsűrűséggel a többi használt segédanyaghoz képest, és az eddigi tapasztalatok alapján nem okoz gazdasági visszaesést átváltani a természet barátibb perlitre (PERLITE, 2024).

A kertészeti perlit, azon kívül, hogy a talaj nélküli növénytermesztés alapja, számos különböző módon felhasználható az iparban. Nagyszerű szaporítóközeg dugványok gyökereztetéséhez, például konténeres fatermesztésnél, tőzegalapú virágföldek összetevője, vagy csomagolóanyag a már kigyökerezett dugványok, hagymák számára. Előszeretettel használják mesterséges talajként, hiszen teljesen környezetbarát, szervesetlen, fizikailag és kémiaiilag stabil, valamint a pH-ja is semleges. Duzzasztás után nagy porozitása és belső szerkezete lehetővé teszi, hogy termesztőközegeként használják, mivel javítja a levegőztetést és a vízelvezetést, csökkentve ezzel a nem megfelelő öntözés okozta veszteségeket. Egynél több vegetációs időszakban is használható, illetve talajjavítóként még tovább hasznosítható (GRILLAS ET.AL., 2001).



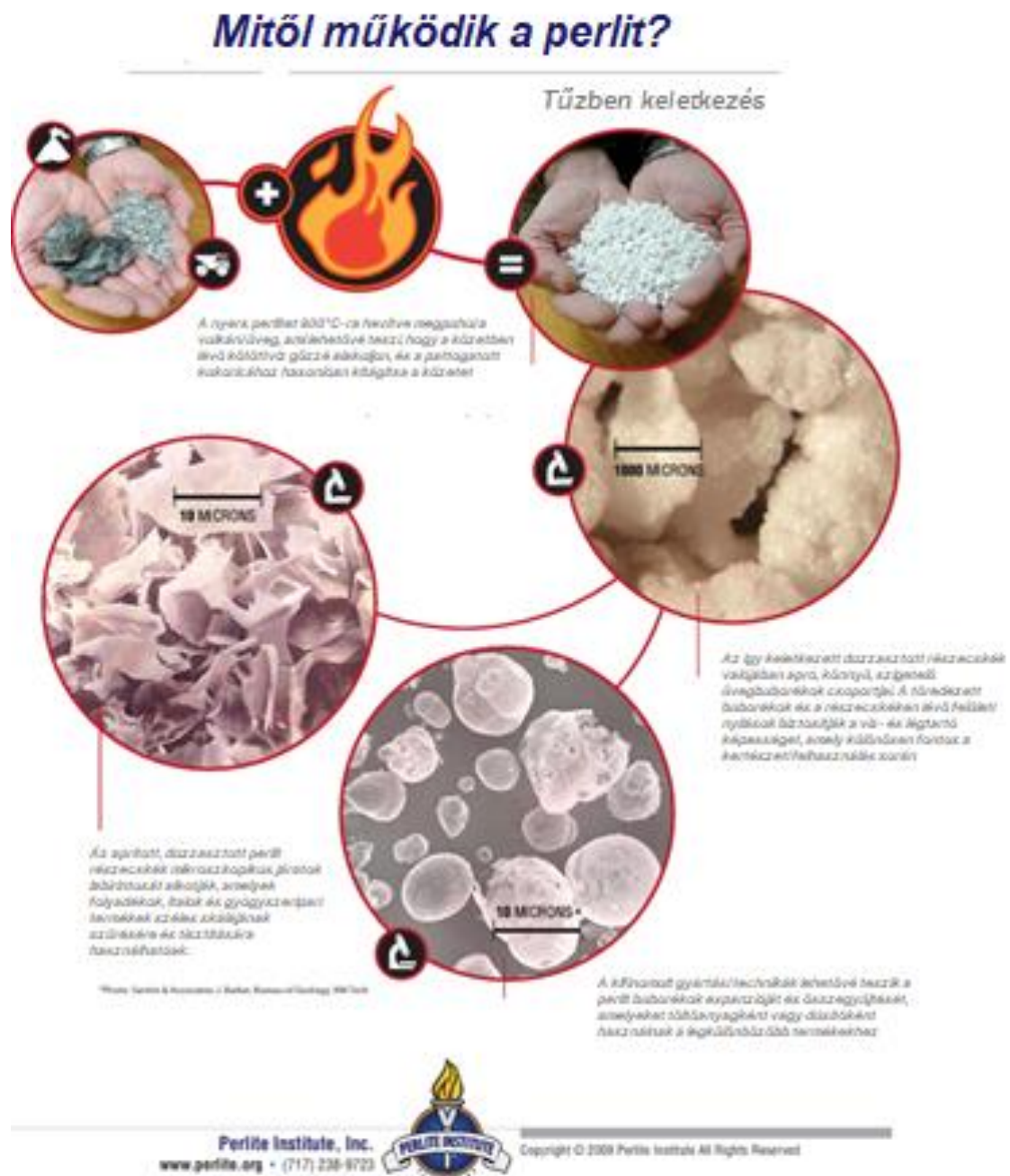
2. ábra: Különböző típusú mezőgazdasági perlitek vízmegtartó képessége.
 Forrás: GRILLAS ET. AL., 2001 nyomán

A 2. világháború utáni újjáépítések felhívták a figyelmet egy gazdaságosan kitermelhető, könnyű, jó hőszigetelő tulajdonságokkal rendelkező nyersanyagra. Napjainkban a világszerte előállított duzzasztott perlit 50%-át az építőipar használja fel (3. ábra).



3. ábra: Perlit az építőiparban. Forrás: PERLITE, 2024 nyomán

Felhasználják könnyűszerkezetes szigetelőbeton és vakolat adalékanyagaként, beton falazóblokkok laza szigeteléseként, illetve tűzvédelmi sprayket, kémény szigeteléseket is készítenek belőle. A duzzasztott perlit felhasználásával készült könnyűszerkezetes szigetelőbeton számos olyan tulajdonsággal rendelkezik, amely a szakemberek számára rendkívül előnyös lehet. Ez a nem éghető (4. ábra), kiváló tűzvédelmi minősítéssel rendelkező építőanyag amellet, hogy könnyű és tartós, természetbarát, illetve segíti az energiahatékonyságra való törekvést (PERLITE, 2024).



4. ábra: A perlit útja a kitermeléstől a felhasználásáig. Forrás: PERLITE, 2024 nyomán

A duzzasztási eljárás folyamán a perlit eredeti térfogatának akár 20-szorosára is megnőhet, ami egy habszerű – lényegében mikroszkopikus méretű üveg buborékok – belső szerkezet kialakulásával jár együtt (4. ábra). A duzzasztott perlit egy gyors, olcsó, és végleges megoldást biztosít a falazatok szigetelésénél, mindamellett, hogy nem éghető anyag. A szuper hideg kriogenikus folyadékokat, mint a hidrogén és hélium, dupla falú edényekben tárolják, amelyek köztes tere duzzasztott perlitel van megtöltve, térfogattartó tulajdonságának köszönhetően (GEOLOGYSCIENCE, 2024; PERLITE, 2024; PERLIT-92 KFT, 2024).

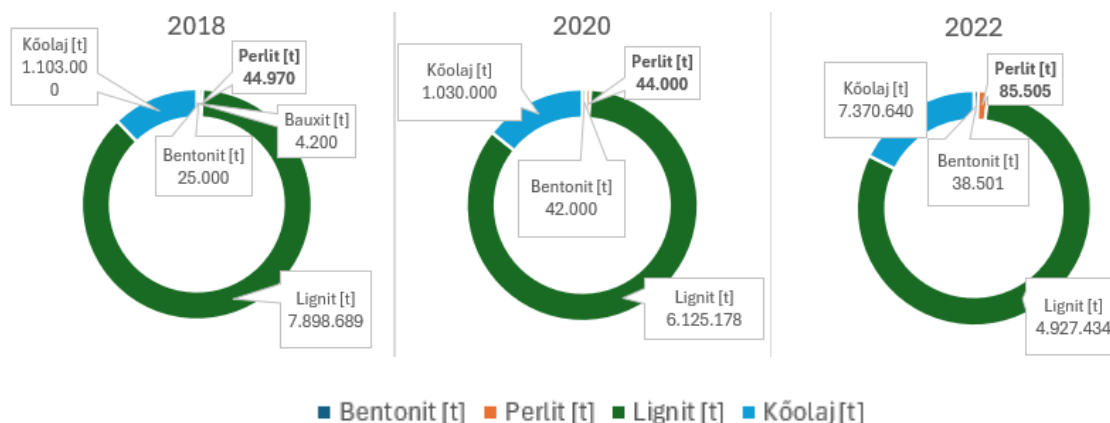
3.2. Világtermelés (időbeni változás)

Bár Magyarország a világ perlit kitermelésének csak egy kis szegmensét adja, az elmúlt években fokozatos növekedés figyelhető meg a termelésben (1. táblázat). Ennek oka egyrészt az egyre bővülő európai kereslet, amely különösen az építőipar és a mezőgazdaság irányából érkezik. Az ország természeti adottságai lehetővé teszik perlit minőségi kitermelését, így Magyarország fontos szerepet játszik a regionális piac ellátásában. A kitermelés növekedéséhez emellett a modernizált bányászati technológiák és a fenntarthatóbb gyártási eljárásokra való törekvések is támogatják. Sajnálatos módon, egyes országok adatai – úgy, mint például Kína – nem jelennek meg az adatbázisban.

1. táblázat: A világ országainak perlit kitermelése 2018 és 2022 között. Forrás: WORLD MINING DATA 2024

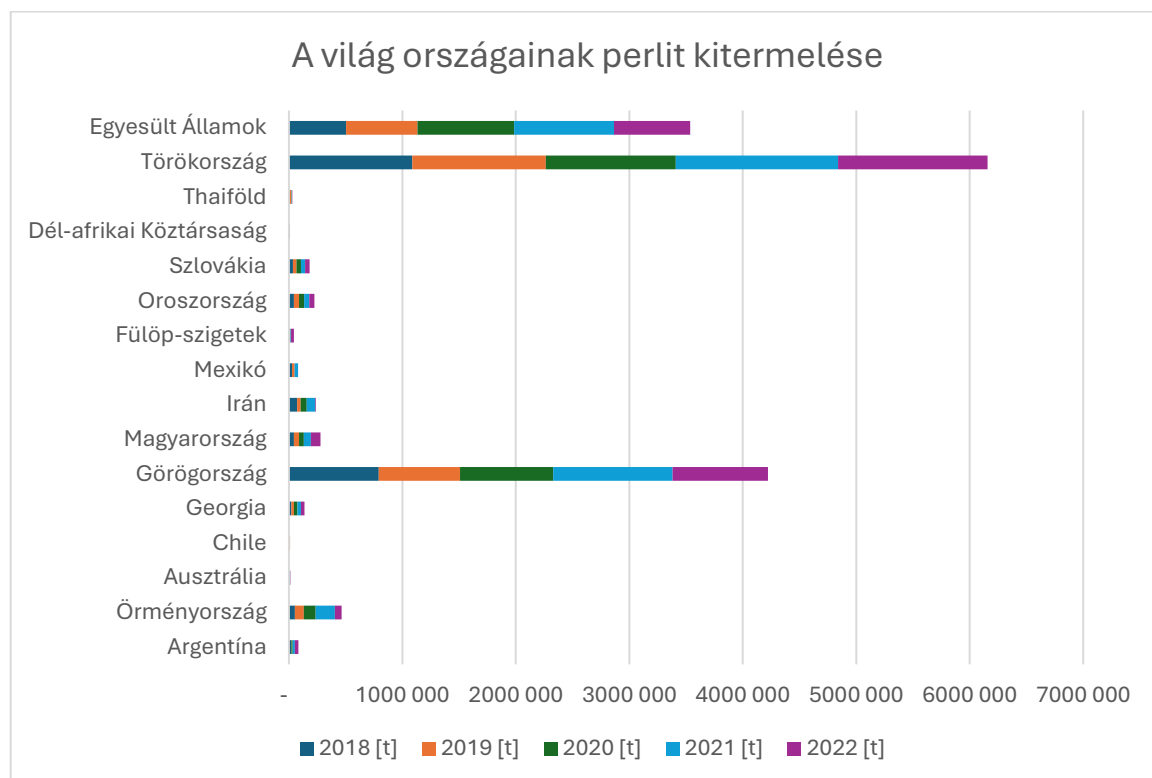
Ország	2018 [t]	2019 [t]	2020 [t]	2021 [t]	2022 [t]	összes [t]
Argentína	18 794	1 850	13 176	18 016	32 450	84 286
Örményország	51 222	80 676	104 410	168 242	60 280	464 830
Ausztrália	2 285	1 264	2 185	3 821	4 000	13 555
Chile	5 020	4 700	-	-	-	9 720
Georgia	22 577	21 000	31 736	31 572	30 000	136 885
Görögország	790 412	718 077	821 233	1 053 019	839 108	4 221 849
Magyarország	44 970	43 900	44 000	60 000	85 505	278 375
Irán	71 579	31 828	52 750	77 024	6 709	239 890
Mexikó	26 400	24 497	-	28 800	-	79 697
Fülöp-szigetek	7 329	6 608	-	4 631	24 878	43 446
Oroszország	45 000	45 000	45 000	45 000	45 000	225 000
Szlovákia	35 600	32 450	37 850	37 240	38 280	181 420
Dél-afrikai Köztársaság	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	5 000
Thaiföld	5 600	15 000	3 500	3 500	2 500	30 100
Törökország	1 088 983	1 174 486	1 146 341	1 428 695	1 319 432	6 157 937
Egyesült Államok	504 000	629 000	853 000	879 000	672 000	3 537 000

Ahogy azt a lenti ábrák (5. ábra) is jól szemléltetik, a Magyarországon kitermelt perlit mennyisége 2022-re szinte megkétszereződik, a 2018-as 44,970 tonna 85,505 tonnára nőtt. Ez a növekedés a természetbarát megoldásokra való törekvések növekedésével magyarázható.



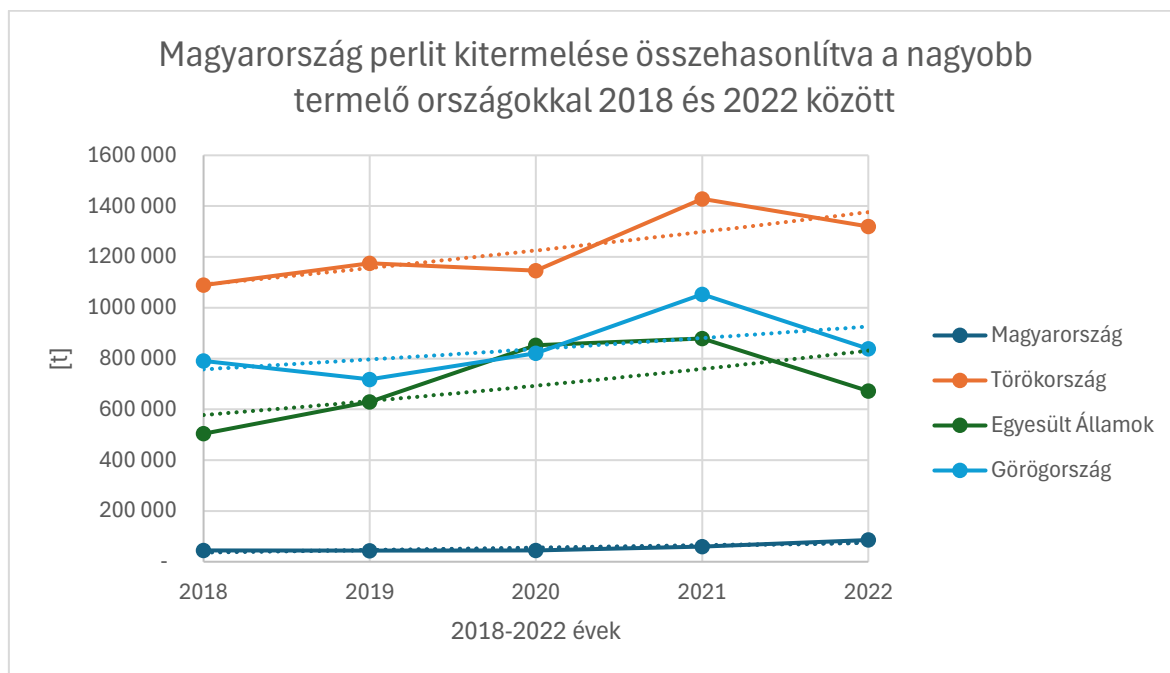
5. ábra: Magyarország nyersanyag kitermelése 2018 és 2022 között. Forrás: WORLD MINING DATA, 2024

2018 és 2022 között a globális perlit kitermelés mintegy 88%-át három ország, az Amerikai Egyesült Államok, Törökország és Görögország adta (6. és 7. ábra), melyek vezető szerepet töltenek be a nemzetközi perlitpiacon. Bár Magyarország csupán a globális termelés mintegy 1,7%-át biztosította ebben az időszakban, a magyar perlit minősége figyelemre méltó, és a nemzetközi piacon is elismert. (WORLD MINING DATA, 2024)



6. ábra: A világ országainak perlit kitermelése 2018 és 2022 között. Forrás: WORLD MINING DATA, 2024

Az ország természeti és talajtani adottságai teszik lehetővé a kiváló minőségű nyersanyag előállítását, ami nagyban hozzájárul a termék versenyképességéhez. A magyar perlit számos iparágban elterjedt, különösen Európában szívesen javítják vele a perlit összetételét.



7. ábra: Magyarország és a világ nagy perlit kitermelőinek összehasonlítása
Forrás: WORLD MINING DATA, 2024

2018 és 2022 között Magyarországon az ásványvagyron kitermelés néhány szegmense növekedést mutatott (2.táblázat), kiváltképp a bentonit és a perlit terén, amelyek jelentős ipari nyersanyagok. A kitermelt lignit mennyisége, amely az ország egyik elsődleges energiaforrása, csökkenő tendenciát mutat, ami összefügg az ország törekvéseivel a zöldebb technológiákra való átállás érdekében.

2. táblázat: Magyarország ásványvagyron kitermelése 2018 és 2022 között. Forrás: WORLD MINING DATA, 2024

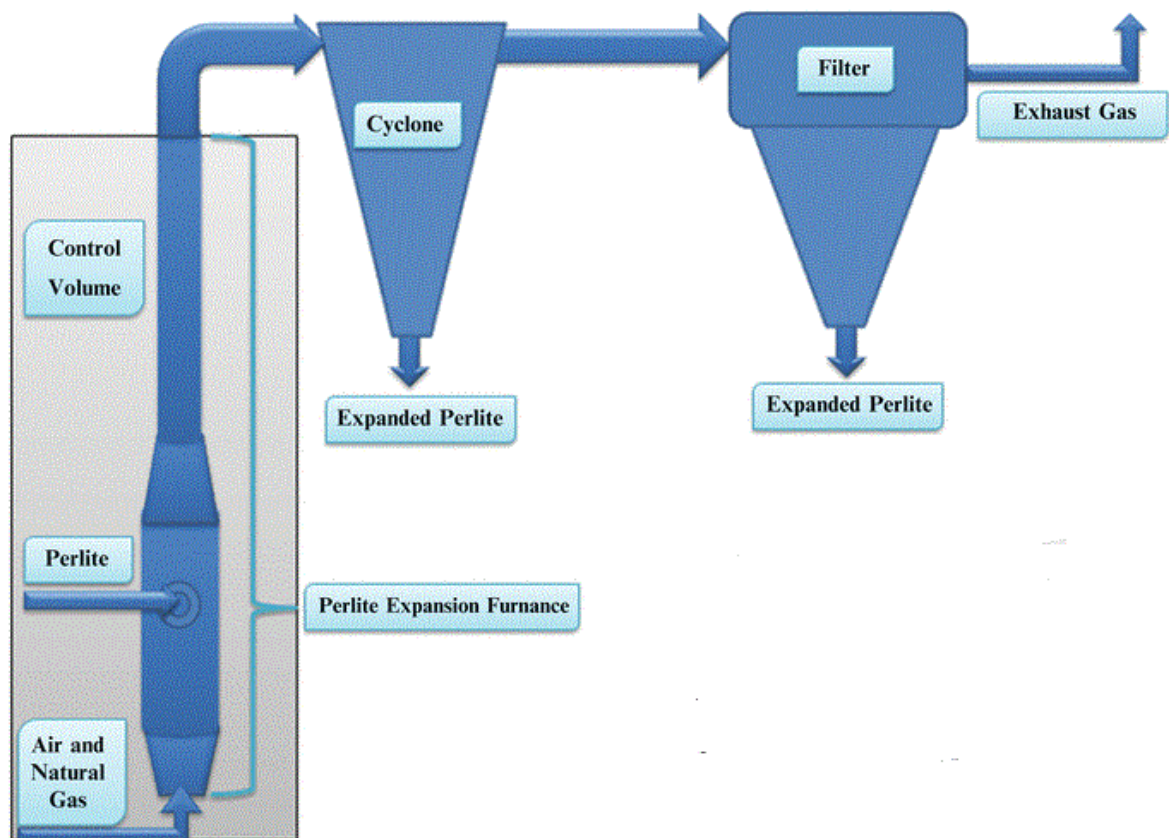
Magyarország	2018	2019	2020	2021	2022
Bauxit [t]	4 200	-	-	-	-
Bentonit [t]	25 000	41 500	42 000	42 000	38 501
Perlit [t]	44 970	43 900	44 000	60 000	85 505
Lignit [t]	7 898 689	6 847 230	6 125 178	4 987 686	4 927 434
Földgáz [Mio m3]	1 905	1 716	1 708	1 526	1 549
Kőolaj [t]	1 103 000	1 160 000	1 030 000	1 087 000	1 080 000
Összes [t]	10 599 859	9 465 430	8 607 578	7 397 486	7 370 640

3.3. Árváltozás (időbeni változás) Globális piac

A globális perlit- és vermikulit piac értéke 2020-ban 605 millió USD volt, és várhatóan 2027 végére eléri a 676 millió USD-t. A 2021 és 2027 közötti időszakban az éves növekedési ütem (CAGR) előreláthatólag 1,6%-os lesz. (INDUSTRYRESEARCH,2024).

3.4. Minőséget befolyásoló paraméterek

A duzzaszthatóság a perlit egyik legfontosabb tulajdonsága, ami nagyban függ az üveg fázistól, amely rendelkezik a duzzadáshoz (8. ábra) szükséges molekuláris kötött víztartalommal. A duzzadáshoz ideális víztartalom előszárítás nélkül 2,5-3,5% körül mozog, ami előszárítva felkúszik 5%-ra. A közet megolvadásához szükséges minimális hőmérséklet 700°C, amelyet a hevítés alatt eltöltött idővel együtt szintén számításba kell venni, amikor a minőségről beszélünk.



8. ábra: A duzzasztás szisztematikus folyamatábrája.. Forrás: HACSKÓ, 2020

A perlit minőségi paraméterei között a meddőtartalom elsősorban egy gazdaságossági mutató. A piac 5% alatti ki nem duzzadó részt, vagyis meddőtartalmat fogad el. A perlit meddőtartalmát laboratóriumi duzzasztó kemencékben vizsgáljuk vizes szétválasztással. 10 g átlagmintát veszünk a duzzasztmányból, amit egy laboratóriumi főzőpohárba töltünk, és 1 liter víz hozzáadása után 30 másodpercig keverjük. Megvárjuk, míg a duzzasztmány szétválk a víztől és megismételjük a keverést. A 3. keverés után poharat 10 percig nyugalomban hagyjuk. A pihentetés után a duzzasztmányt és a vizet szűrőlapon keresztül leöntjük a leülepedett meddőről és 105°C-on tömegállandóságig szárítjuk (HACSKÓ, 2020).

Az adott duzzasztmányok előállításához annak megfelelő szemcseméretet is elő kell állítani.

Brooke módszerrel azt vizsgáljuk, hogy mekkora erőt kell kifejteni ahhoz, hogy a duzzasztmányt a vizsgáló edény 1/3, illetve 2/3 részéig összenyomjuk. Az így kapott értéket N-ban megadva megkapjuk a jellemző nyomószilárdságot.

Az aprózódást és túlduzzadást Imhoff kehelyben történő ülepítéssel állapítjuk meg, a 0,5 mm-es frakció vizsgálatával.

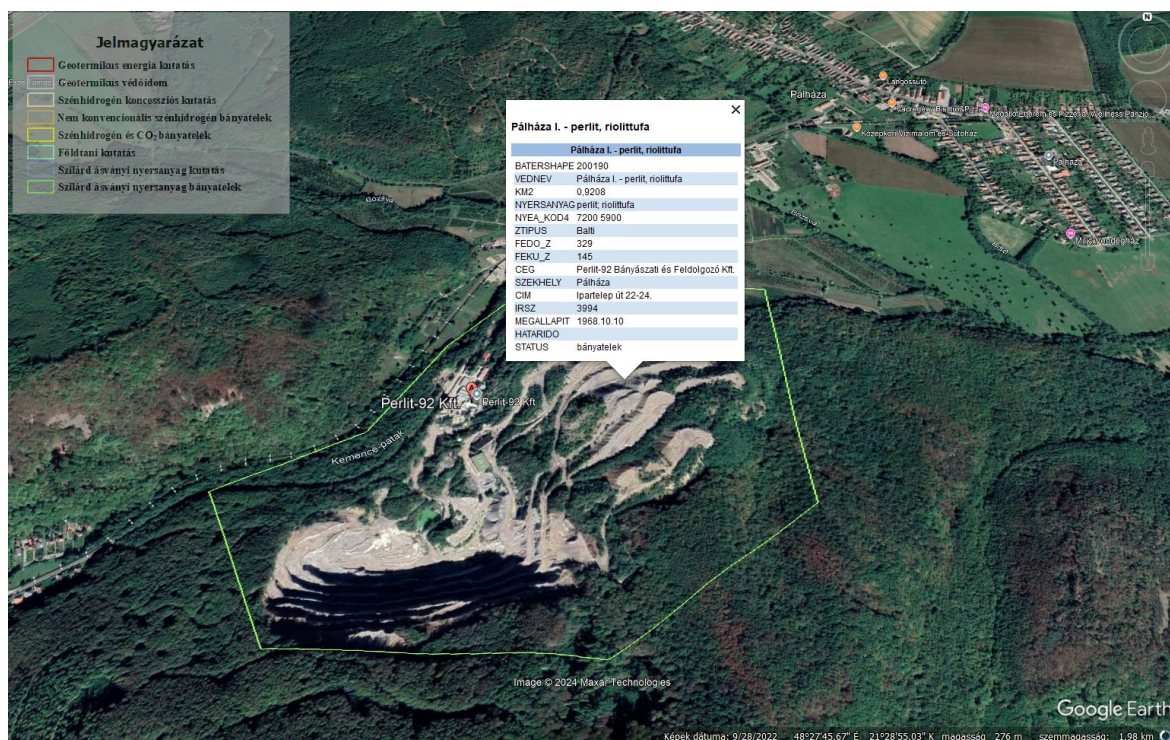
4. PERLIT 92' BÁNYAÜZEMEINEK A BEMUTATÁSA

4.1. Helyszínek

A térségben kitermelt perlit a bánya mellett található őrlőüzembe érkezik, ahol félkész terméket állítanak elő, ami a továbbiakban további előkészítésre szorul a felhasználása előtt. A termelés és őrlés közötti kis távolságnak a versenyképesség elérése és megtartása érdekében van fontos szerepe. A nyers perlit az őrlőüzemben először egy előtörésen megy keresztül, amely során a robbantott szemcseméretet pofás törő segítségével 600 mm-ről 50 mm-re csökkentik. A hatékony szárításhoz szükséges 10 mm-es szemcseméretet a középtörés során, hengeres törővel érik el. Az osztályozást 1% alatti felületi nedvesség tartalommal végzik, amit szárítódobban történő szárítással érnek el. A dobban lévő hőmérséklet nem közelítheti meg a 300°C-ot, mert az duzzadás nélküli kötött víztartalom veszteséggel járna. Osztályozás után az utántörés következik, ahol 4 darab, különböző köpenyméretű és törési résméretű hengeres törő kialakítja a kívánt szemcsetartományokat, a legkisebb 0,125 mm alatti frakció mellett. Amikor elérték a kívánt frakciókat, következik a kitárolás, illetve a csomagolás (HACSKÓ, 2020).

4.2. Pálháza I. bányatelek

A Perlit-92 Kft. első bányauzeme (9. ábra) Pálházán nyílt, az ott kitermelt közetről elnevezett Gyöngykő-hegyen, ahol a kő és ásványbányászatban gyakran használt hegy típusú külfejtéssel találkozhatunk. A bányák a hegytetőn vagy hegyoldalon vannak, bányaudvaruk a környező térszín feletti. A Pálháza I.-es területen 7 művelési szinten folytatnak bányászati tevékenységet, amelyekből 4 termelési, 3 pedig letakarítási szintnek minősül. A bányanyitáskor egy vékony meddőréteg letakarítása után több méteres perlitrétegeket lehetett megszakitás nélkül kitermelni. Mára az arányok leromlottak, 1 m³ perlit előállításához 5m³ meddőt kell kitermelni, ami egy 1:5-ös letakarítási arálynak felel meg. (HACSKÓ, 2020; PERLIT-92 KFT, 2024)



9. ábra Pálháza I. bányatelek. Forrás: SZTFH, 2024

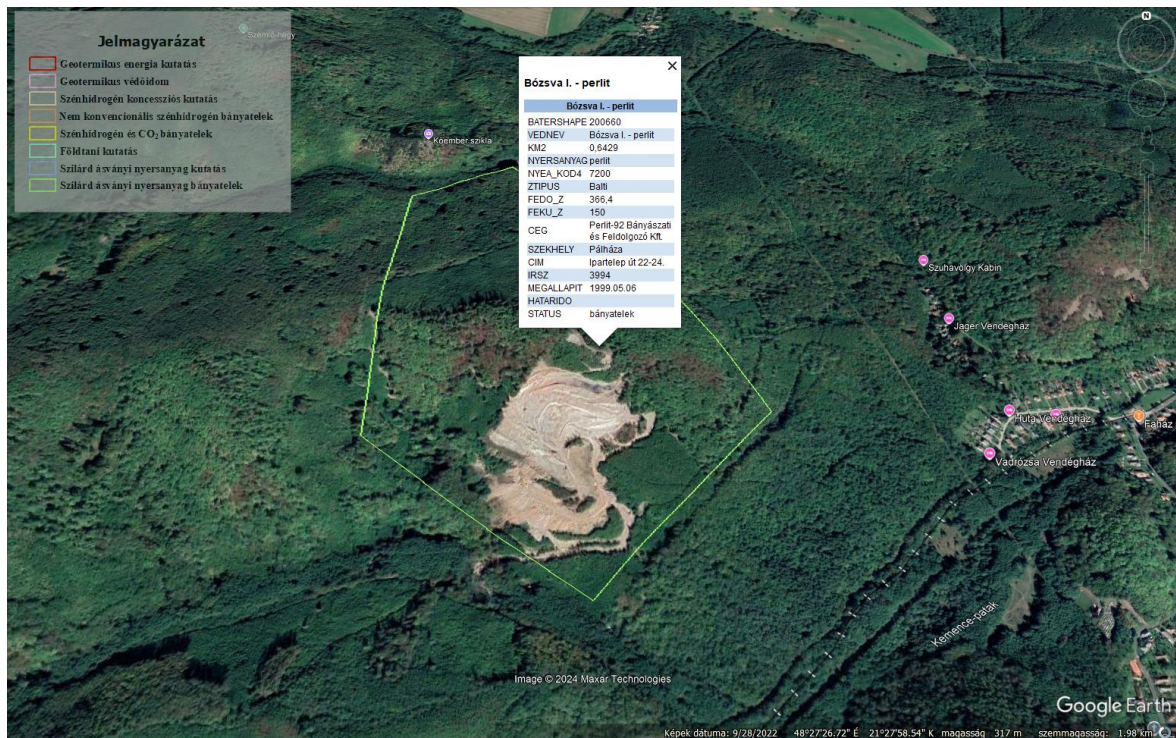
A Pálháza I. bányaterületen a közepes és nagyszilárdságú kőzetek adott felület mentén való elválasztása és előaprítása általában robbantásos jövesztéssel történik. A területen szelektív bányászat folyik, amely a zavart településű hasznos ásványi előfordulásoknál megszokott. A zavart település fogalma alatt a jövesztést gátló, nehezítő települési viszonyokat értjük, mint például a tektonizáltság, a dőlésviszonyok és ezek változékonysága, a többtelepes kifejlődés, vagy a telepek minőségének változása függőleges és vízszintes irányban, illetve az egyéb természeti paraméterek változása. A bányászott nyersanyag obszidiánból átalakult perlit (KOVÁCS ÉS FAUR, 1991).

4.3. Bózsva I. bányatelek

A Perlit-92 Kft. 2006-ban nyitotta meg a bányaterületet, ahol azóta 3 termelési és 1 letakarítási szinten folyik bányászati tevékenység. A letakarítási aránya 4:1, tehát 4 m³ perlit kitermeléséhez 1 m³ meddőt kell letisztítani, ami sokkal kedvezőbb, mint a mai arányok a Pálháza I. bányában. A perlit kitermeléséhez a Bózsva I. bányában (10. ábra) a mechanikai és a robbantásos jövesztést keverik (PERLIT-92 KFT, 2024).

A külfejtésekben található kőzetek nagy része mechanikusan jöveszthető, főképpen az erősen repedezett szilárd kőzetek (KOVÁCS ÉS FAUR, 1991).

Mivel a vizsgált területen jelenleg is aktív bányászati tevékenység zajlik, a dolgozatban konkrét koordináták, illetve EOJ jelöléssel ellátott térképek a cég kívánságának eleget téve nem kerültek bemutatásra, ezen adatok titkosak.



10. ábra: Bózsva I. bányatelek. Forrás: SZTFH, 2024

4.4. Időbeni növekedés és jövőbeni tervek

A cég a jövőben is kiemelten törekszik arra, hogy presztízséhez méltóan az egyik legjobb minőségű európai perlit előállítója legyen. Ennek érdekében folyamatosan fejleszti gyártási technológiáit, és rugalmasan igazodik az iparági igényekhez. Figyelembe veszi a legfrissebb környezeti és fenntarthatósági követelményeket, és célja, hogy a termékei a legszigorúbb minőségi standardoknak is megfeleljenek. A vállalat hosszú távú célja, hogy meghatározó

szereplő maradjon mind hazai, mind nemzetközi piacokon. Az ügyfelek visszajelzései és az új technológiai lehetőségek integrálása révén a cég törekszik arra, hogy termékei mindig megfeleljenek a legújabb piaci trendeknek és vevői elvárásoknak.

A perlit jól illeszkedik a „Green Future” koncepcióba, mivel természetes szigetelőanyagként csökkenti a műanyagok iránti igényt, hozzájárulva az építőipar fenntarthatóságához. A duzzasztott perlit amellett, hogy hatékony szigetelőanyag, biológiailag semleges, és többször újra felhasználható, ami ideális nyersanyaggá teszi a környezetbarát szemléletű ipari projektekhez.

5. PROBLÉMAFELVETÉS

Dolgozatomban a Perlit-92 Kft. Bózsza I. nevű perlit bányájának kémiai homogenitását vizsgáltam, nagy hangsúlyt fektetve a Cl elem mennyiségére. A modernkori társadalom életszínvonalának fenntartásához szükséges mennyiségű nyersanyagok bányászata számos országban a minőség jelentős csökkenésével jár együtt. Az elmúlt 30-35 évben az vasércnek vastartalma körülbelül 1,3-szorosára, a nemesfémek esetében 1,3-1,8-szorosára csökkent (GENNADY ÉS ALEXEY, 2018).

Az előbbieken említett minőségbeli csökkenés számos okkal magyarázható, amelyekből dolgozatomban a nagy heterogenitású területek fejlesztésbe vonását emelem ki, vizsgálom, hogy a Perlit-92 Kft. új bányaterületén probléma lehet-e belőle.

A minőség romlásának elkerülése érdekében elengedhetetlen ismernünk a bányaterületről kitermelt közet kémiai összetételét, hiszen a Cl elem jelenléte negatívan befolyásolhatja a feldolgozott perlitek minőségét, eladási árakat is csökkentve.

6. MÉRÉSI METÓDUS

Dolgozatomban a Perlit-92 Kft által rendelkezésemre bocsátott minták kémiai összetételét, azon belül is Cl tartalmát hullámhossz diszperzív röntgenfluoreszcens spektrometriai módszerrel (WDXRF) mértem meg. Ezzel az analitikai módszerrel meg lehet állapítani a mintaanyagot felépítő elemek mennyiségét.

Amikor egy anyag atomjának belső elektronhéján ionizáció jön létre, akkor a kilépő elektron helyét egy külső elektronhéjról származó elektron veszi át. A gerjesztett állapot megszűnése, egy, a kérdéses atom elektronhéjára jellemző energiájú és hullámhosszú elektromágneses sugárzást hoz létre. Az utóbbi jelenség az XRF mérések alapja.

A laboratóriumba érkező 0 – 1 mm frakciójú mintaanyagokat alapos előkészítésnek vetettem alá. Első lépésként 12 g mintát szárítószekrényben, 60 °C-on 24 órán keresztül szárítottam, hogy eltávolítsam a nedvességet. Ezt követően a mintát porcelán mozsárban őröltem, egészen 0,063 mm-es szemcseméretig, hogy a későbbi analízishez megfelelően előkészített anyagot kapjak.

A finomra porított mintából 5 g-ot üvegedénybe mértem, majd 120 percig, 120 °C-on szárítottam a kemencében, hogy maradék víztartalmát is csökkentsem. Az analitikai mérlegen pontosan kimértem 4.0000 g mintát, amelyhez 1.0000 g Fluxana Cereox ragasztót adtam hozzá. Ezt a keveréket achát mozsárban homogenizáltam, hogy a komponensek egyenletesen eloszoljanak.

Az így előállított homogén keverékből pelletező prés segítségével, 25 tonna nyomáson Ø32 mm átmérőjű pelletet készítettem.

A minták elemeinek kalibrálása vákuumban, 1,2-1,5 Pa nyomás alatt zajlott, egy RIGAKU Supermini 200 típusú WDXRF mérőberendezés segítségével. A berendezés sugárforrása egy levegőhűtéses, 200 W-os palládium (Pd) röntgensugárforrás, amelyet 50 kV feszültség és 4,0 mA áramerősség gerjesztett. A mérési folyamat során LiF200, PET és XR25 típusú analizátor kristályokat használnak az elemek pontos meghatározása érdekében. A berendezés vezérlését ZSX szoftver segítségével végzik, amely lehetővé tette a mérések pontos és megbízható feldolgozását.

7. EREDMÉNYEK ÉS DISZKUSSZIÓ

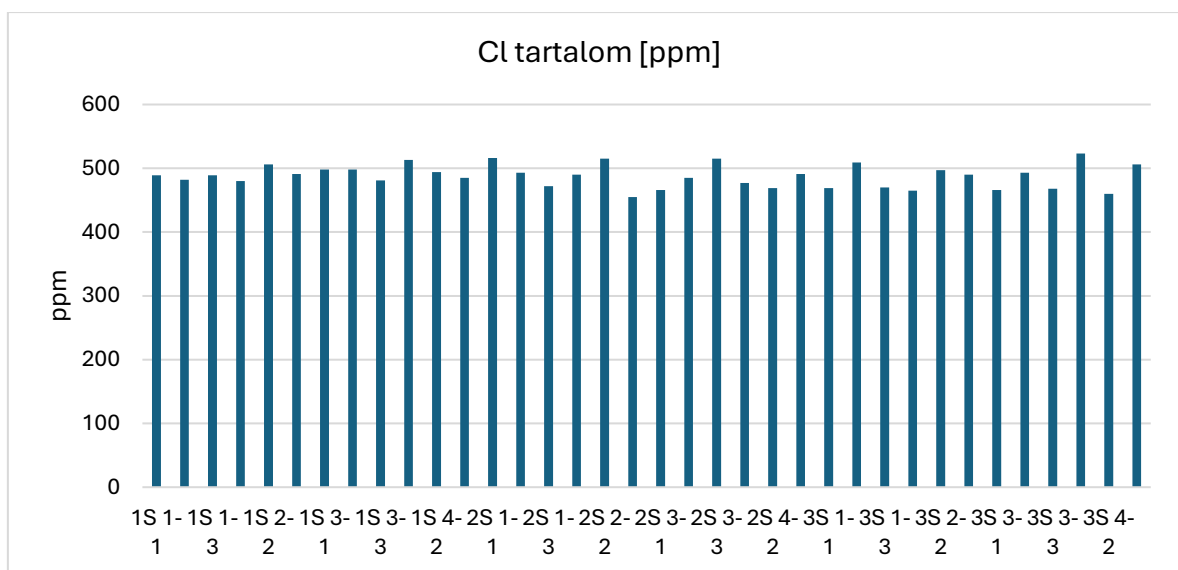
7.1. Magyar eredmények bemutatása

Az elvégzett mérések összegzését mutatom be a 3. táblázatban, melyben a 36 db Bózsva I. bányaterületről származó minta kémiai elemzése szerepel. A könnyebb értelmezhetőség, illetve a minták nagy mértékű homogenitása miatt a fő- és nyomelemek tekintetében a 36 db minta statisztikai adatait mutatom be. Előzetes konzekvenciaként levonható, hogy a szórás statisztikai paraméter alacsony értékei bizonyítják a 36 db perlitminta kémiai homogenitását. Szintén jól mutatja a táblázat, hogy a perlitminták nyomelem tekintetében viszonylagosan szegények, ezek koncentrációja alacsony.

3. táblázat: A 36 db magyar minta kémiai összetételének összefoglalása.

	Elem	Min.	Max.	Tartom.	Átlag	Medián	Szórás
FŐELEMEK [%]	SiO ₂	74,11	76,71	2,60	75,75	75,83	0,60
	Al ₂ O ₃	12,33	13,55	1,22	12,99	12,98	0,29
	MgO	0,12	0,30	0,18	0,18	0,17	0,04
	CaO	0,74	0,80	0,06	0,76	0,76	0,01
	Na ₂ O	2,32	2,71	0,39	2,51	2,49	0,09
	K ₂ O	4,17	4,39	0,22	4,28	4,28	0,06
	Fe ₂ O ₃	1,20	1,42	0,22	1,28	1,27	0,05
	MnO	0,03	0,03	0,004	0,03	0,03	0,0008
	TiO ₂	0,06	0,08	0,02	0,06	0,06	0,0036
	P ₂ O ₅	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,0013
	S	0,002	0,01	0,008	0,003	0,002	0,0014
NYOMELEMEK [ppm]	Cl	455	523	68	488	490	18
	Cu	16	22	6	19	18	2
	Zn	54	91	37	61	57	9
	Pb	20	31	11	25	25	3
	Rb	219	230	11	224	225	3
	Sr	49	56	7	53	53	1
	Ba	688	777	89	734	735	24
	As	<10	<10	-	-	-	-
	Cr	13	21	8	17	17	2
	Co	<10	<10	-	-	-	-
	Ni	13	21	8	18	18	2
	Zr	88	97	9	92	92	2

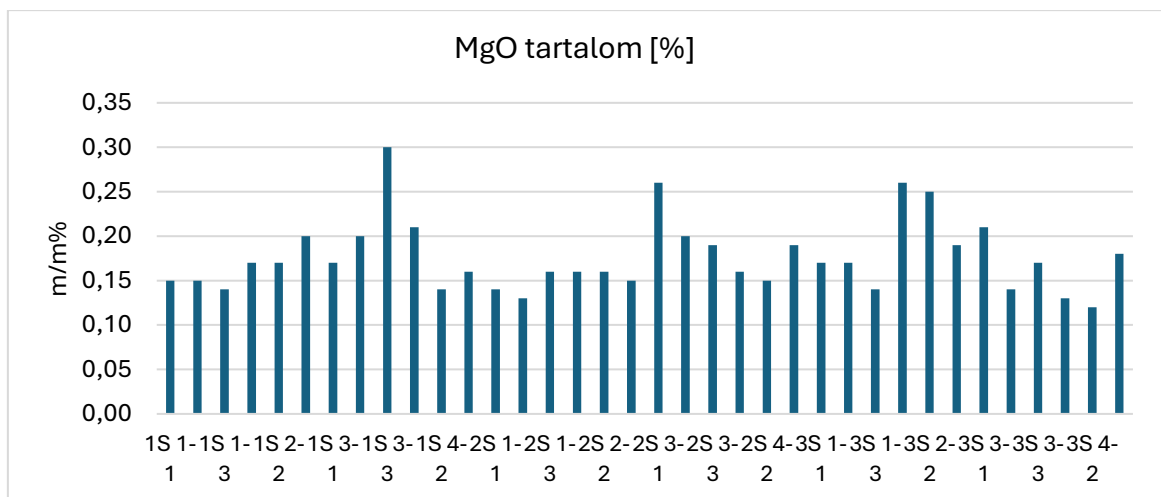
A dolgozatban elsődlegesen vizsgált Cl elem tartalma az alábbi diagramon (11. ábra) látható módon meglehetősen homogén. A perlit bányákban a klórtartalom egyenletes eloszlása kulcsfontosságú, mivel a klór koncentrációja közvetlen hatással van a perlit fizikai és kémiai tulajdonságaira, így az ipari alkalmazások minőségére is. A túl magas klórtartalom a hő- és vízszigetelő képesség csökkenését okozhatja. Ezen kívül a nem homogén klóreloszlás különböző feldolgozási nehézségeket is generálhat, amelyek a perlit végtermékeinek stabilitását és teljesítményét befolyásolják. A klórtartalom egyenletes eloszlása biztosítja a termékek minőségének homogenitását, így az ipari felhasználás során elérhető legjobb eredményeket.



11. ábra Bózsza I. bányából származó perlitminták Cl tartalma

A magnézium tartalom (12. ábra) szintén fontos szerepet játszik a perlit bányászatában, hiszen közvetlen hatással van a kőzet hő- és mechanikai tulajdonságaira. A változó magnézium tartalom nehezítheti a perlit hőkezelését is, mivel megváltoztathatja a kőzet tágulási viselkedését. Ennek következtében csökkenhet a perlit szigetelő képessége és változik a nedvszívó képessége is, ami befolyásolja a viselkedését az olajszennyeződések takarításánál.

Ezen kívül a magas magnézium koncentráció növelheti a perlit kemikáliákra való érzékenységét, különösen savas vagy lúgos környezetekben, és hosszú távon károsíthatja a szerkezetét. Ezen elem mennyiségében nagyobb eltérések fedezhetők fel.



12. ábra: MgO tartalom a Bózsva I. bányában.

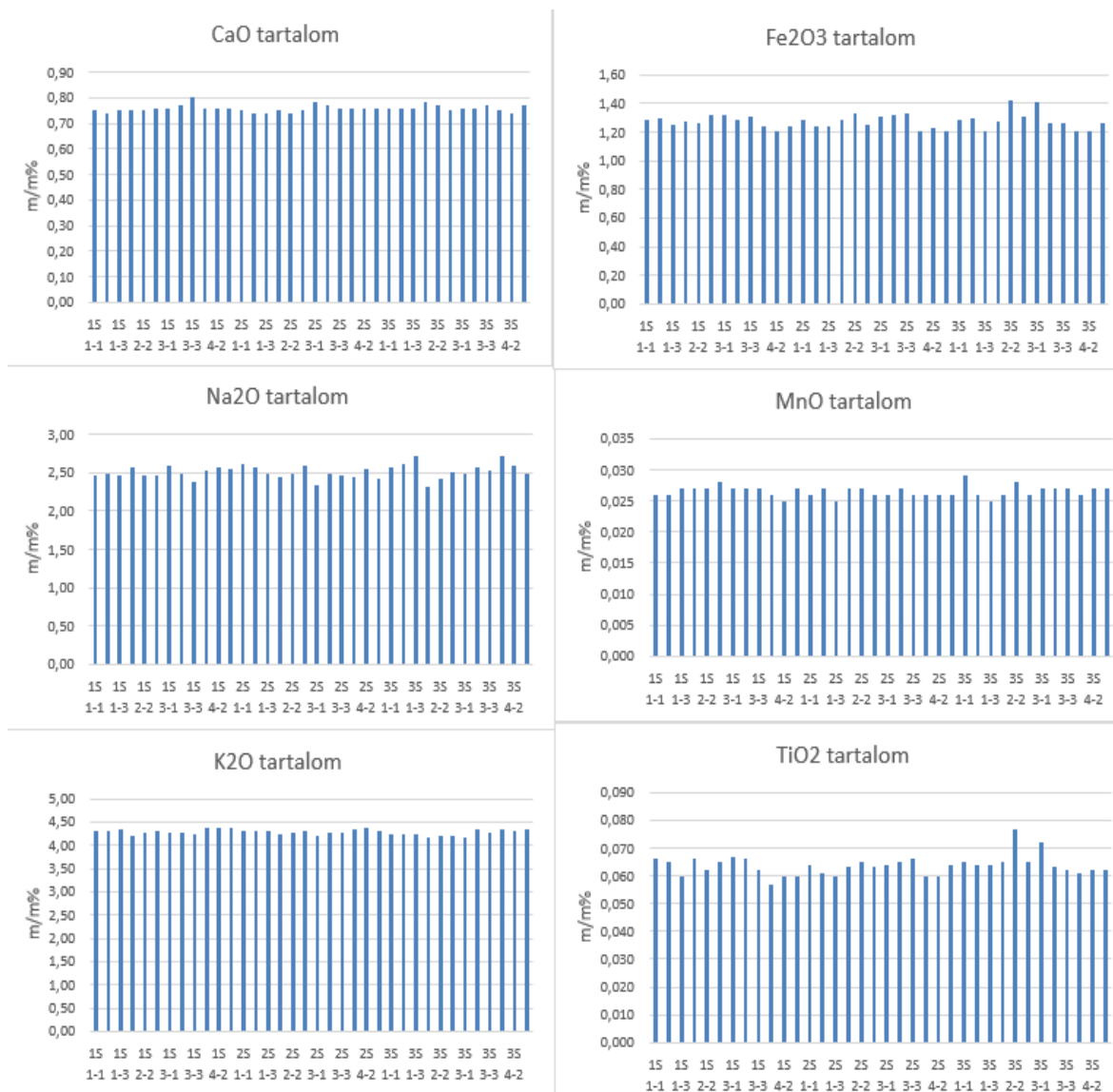
A vizsgált perlit mintákban a Ca-tartalom (13. ábra) minimális különbségeket mutat a kutatott területen, a minimum és maximum mennyiségek (3. táblázat) között mindössze 0,06% különbség van a 36 minta esetében.

Az Fe_2O_3 előfordulását (13. ábra) hasonlóképpen lehet jellemezni, 0,22%-os numerikus tartománnyal (3. táblázat) a vas jelenlétére is igaz a nagyfokú állandóság.

A nátrium (13. ábra) mindkét vizsgált bányatelken kisebb mennyiségben fordul elő, mint a török vagy a görög mintákban, ami a Perlit-92 Kft. számára egy meglehetősen kedvező eredmény, hiszen a nátrium csökkenti a perlit olvadáspontját, így rontva a hőállóságán (PANAGIOTIS, 2024).

A kálium egyaránt egyenletes mennyiségben fordul elő a területen, ellenben egy kicsit nagyobb mennyiségben, mint a külföldi mintákban, ami a nátriumhoz hasonlóan negatívan befolyásolhatja a perlit olvadáspontját (PANAGIOTIS, 2024).

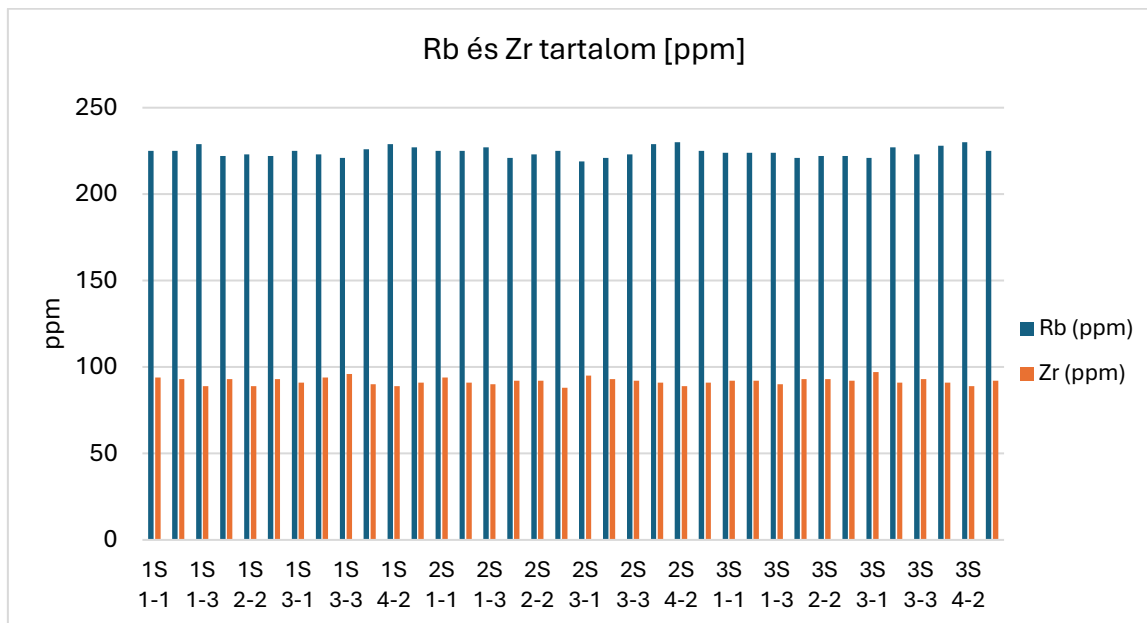
A Mn tartalom (13. ábra) a 36 mintában, mindössze 0,004 %-ot változik a minimum és maximum értékek között (3. táblázat). Ez az érték a jövőbeli vizsgálatoknál valószínűleg növekedni fog, a perlitminták rózsaszínes színéből kiindulva.



13. ábra: Néhány főelem homogenitásának ábrázolása.

A mintákban mért titán mennyisége egyenletes eloszlást mutat (13. ábra), mindössze 0,02%-os eltéréssel a minimális és maximális értékek között (3. táblázat). A titán stabilitása és hőállósága kedvezően befolyásolhatja a perlit fizikai és kémiai ellenálló képességét. Ezek a tulajdonságok javítják a perlit tartósságát különféle alkalmazási környezetekben. Ezen felül a Ti növeli a perlit fényvisszaverő képességét, ami előnyt jelenthet számos ipari, illetve dekorációs célú felhasználás során (PERLITE, 2024)

A rubídium mennyisége a vizsgált 36 db magyar mintákban (3. táblázat és 14. ábra) meglehetősen egyenletes, a bányászati tevékenységet nem befolyásolja a mért minták alapján. A perlitben található rubídium általában véletlenszerű, ez az elem nem fő alkotóeleme egyik ásványnak sem (USGS, 2024).



14. ábra: Rb és Zr mennyiségének összehasonlítása a mintákban.

A cirkónium ásványa és vegyületei rendkívül stabilak, nem hajlamosak oxidálódni, illetve ellenállóak a savas és lúgos környezettel szemben is. Ennek következtében a cirkónium jelenléte a perlitben növelheti annak kémiai stabilitását, illetve csökkentheti a kőzet reakcióképességét agresszív környezetekben. Ez különösen fontos olyan ipari alkalmazásoknál, ahol a perlitet savas vagy lúgos vegyületeknek kell ellenállnia, például szűrőanyagként vagy ipari tisztítószerként (METAL TECHNOLOGY, 2024). A mintában lévő cirkónium mennyiségét tekintve kijelenthető, hogy a 36 db magyar mintában lévő koncentrációk (3. táblázat és 14. ábra) kis szórással rendelkeznek (METAL TECHNOLOGY, 2024).

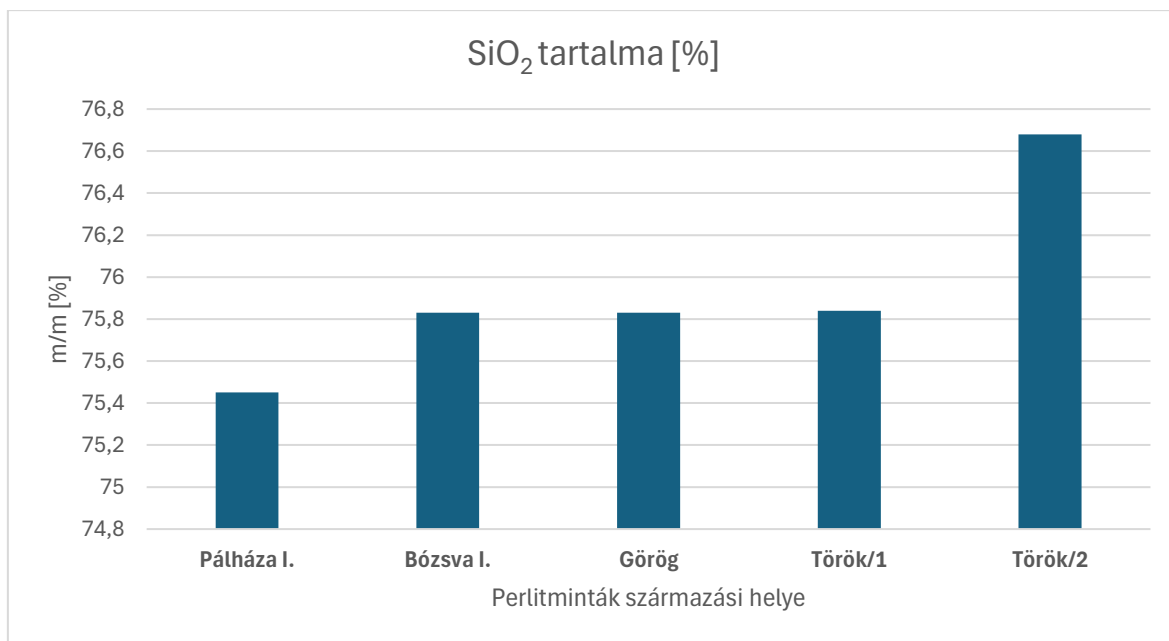
7.2 A magyar, a török és görög minta kémiai összehasonlítása

A magyar perlitminták mellett rendelkezésünkre állt 1 db Görögországból és 2 db Törökországból származó, kereskedelmi forgalomban is kapható perlitminta. Ennek a három mintának is meghatározásra került a fő- és nyomelem összetétele (4. táblázat), mely jól összehasonlítható a magyar minták eredményeiből (3. táblázat) képzett medián értékkel. Mivel a 36 db magyar minta közül pár elem esetében volt 1-1 kiugró érték, így a 4. táblázatban az átlag helyett a medián érték listázását részesítettem előnyben a matematikai átlaggal szemben.

4. táblázat: A magyar és a külföldi minták kémiai összetételének összehasonlítása.

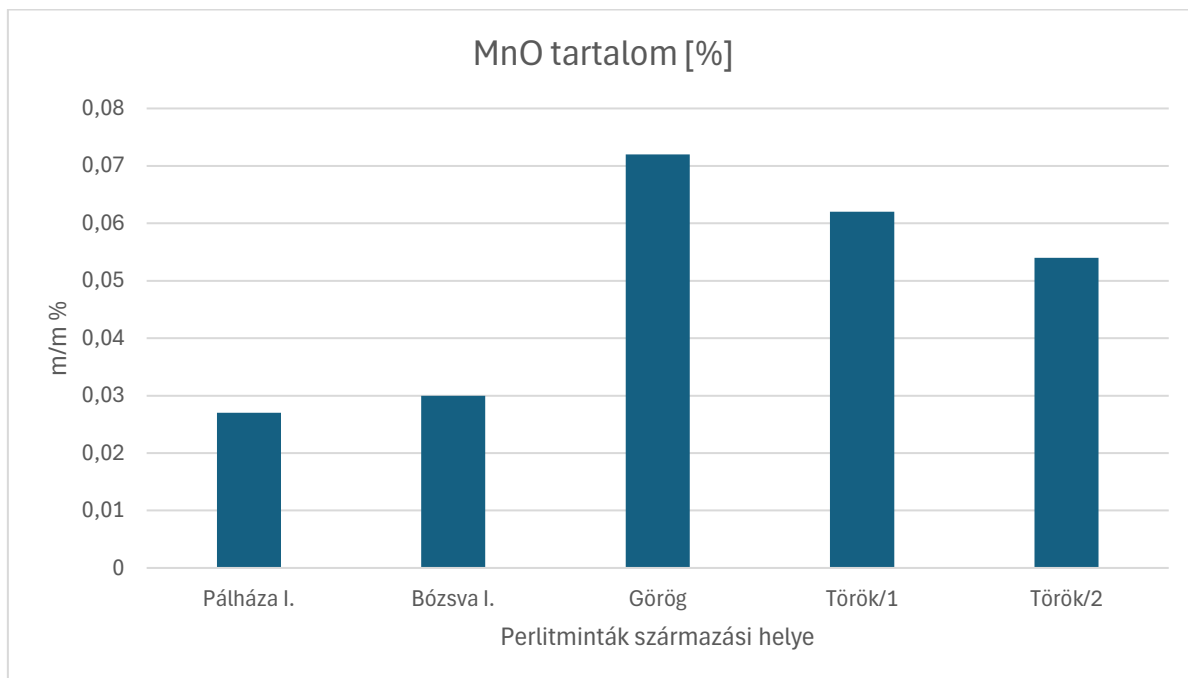
	Elem	Magyar bányák		Görög	Török/1	Török/2
		Pálháza I.	Bózsva I.			
FŐELEMEK [%]	SiO ₂	75,45	75,83	75,83	75,84	76,68
	Al ₂ O ₃	13,36	12,98	12,72	13,19	13,49
	MgO	0,23	0,17	0,34	0,29	0,3
	CaO	1,19	0,76	1,07	0,72	0,68
	Na ₂ O	2,75	2,49	3,61	3,09	3,08
	K ₂ O	3,91	4,28	3,09	4,21	4,24
	Fe ₂ O ₃	1,43	1,27	1,12	0,88	0,75
	MnO	0,027	0,03	0,072	0,062	0,054
	TiO ₂	0,096	0,06	0,133	0,124	0,109
	P ₂ O ₅	0,006	0,01	0,021	0,013	0,009
	S	0,004	0,002	0,005	0,005	0,004
NYOMELEMEK [ppm]	Cl	493	490	613	532	662
	Cu	19	18	14	14	<10
	Zn	53	57	44	52	47
	Pb	23	25	9	47	<10
	Rb	203	225	135	175	173
	Sr	85	53	83	145	130
	Ba	694	735	526	1617	1908
	As	<10	<10	<10	<10	<10
	Cr	14	17	17	17	<10
	Co	<10	<10	<10	<10	<10
	Ni	17	18	144	16	13
	Zr	116	92	99	109	93

A perlit fő összetevői közé tartozó SiO₂ a magyar minták tekintetében 75,5 és 75,8 %-ot, a görög és a török/1 minták esetében egybehangzóan 75,8%-ot tesznek ki (4. táblázat és 15. ábra). A török/2 minta növekedett SiO₂ koncentrációt mutat, a vizsgált perlitminták közül ebben a legmagasabb, 76,68% (4. táblázat). Fontos megemlíteni, hogy a Bózsva I. bányaterület perlitmintáinak medián SiO₂ tartalma gyakorlatilag teljesen megegyezik a török/1- illetve a Görögországból származó mintáival.



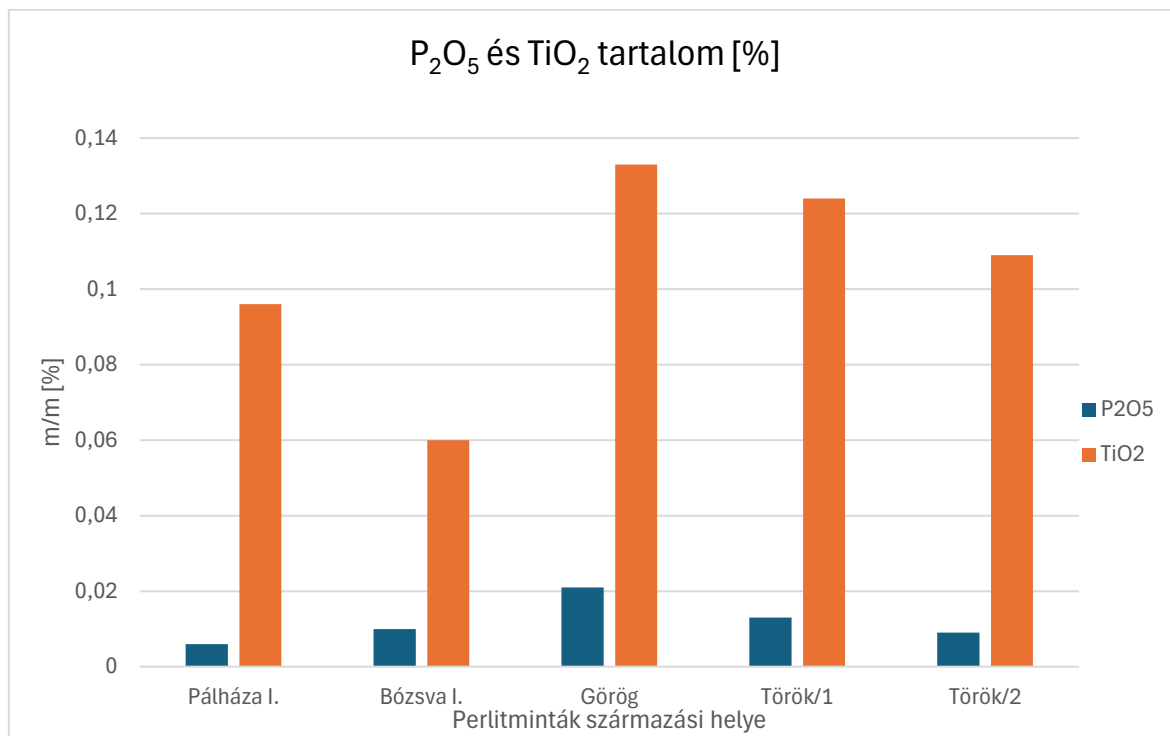
15. ábra: A minták SiO₂ tartalmának összehasonlítása

A mangán tartalmat (4. táblázat és 16. ábra) tekintve a mindkét magyar bányaterületről származó minták szignifikánsan alacsonyabb mangán tartalommal rendelkeznek, mint a külföldön kitermelt társaik.



16. ábra: MnO tartalom összehasonlítása a különböző perlit mintákban.

A két magyar és a három külföldi perlit minta foszfor és titán tartalmát (4. táblázat és 17. ábra) szemléltetve a grafikonról kiolvasható, hogy az első elem tekintetében a magyar minták sokkal tisztábbak, az elemkoncentrációjuk kisebb a külföldiével szemben. A titán tekintetében a Pálháza I. minta nem mutat nagy eltérést, azonban az új bányaterületről, a Bózsva I.-ből származó medián csupán fele a külföldi minták koncentrációinak.



17. ábra: A P_2O_5 és a TiO_2 mennyiségének összehasonlítása a mintákban.

7.3 A klór mobilitásának termikus vizsgálata

Összesen három, két magyar és egy külföldi mintát véletlenszerűen kiválasztottam és termikus kísérletnek vettem alá. Ennek célja volt, hogy megvizsgáljam, a benne lévő klórtartalom hogyan változik, illékonyan reagál-e a termikus kísérlet maximális hőfokára (1050 °C), vagy változatlan marad.

A vizsgált minták a 2S 1-2 és 2S 2-3, illetve a török/2 számúak voltak. A vizsgálat során, a 120 °C-on, 2 órát szárított mintákat mázatlan porcelán égetőcsónakba tettem és elektromos kemencében égettem ki. A kemencét 1050 °C-ra fűtöttem fel, 10 °C/perc sebességgel és 15 percig 1050 °C-on tartattam. Visszahűlést követően elvégeztem az izzítási veszteség (LOI) számítását. Az eredmények a következők voltak: a 2S 1-2 minta esetében 3,93%, a 2S 2-3 mintánál 3,96%, míg a Török/2 mintánál 3,47%.

A három kiégetett minta főelem, klór és néhány fontosabb nyomelemtartalmát is megmértem WDXRF módszerrel. Az 5. táblázatban láthatóak a főelemek értékei, míg a 6. táblázatban a vizsgált nyomelemeké. Az eredeti minták kémiai összetételét csak átemeltem a 7. fejezetből, az égetett minták azonban új eredmények.

Az 5. táblázatból jól látható és kiolvasható, hogy a főelemek tekintetében, az eredeti és az égetett minták között nincs számottevő különbség. Pontosabban fogalmazva pont annyival nagyobbak az égetett minták esetében a koncentrációk, amennyit az illóanyag tartalom (3,93%, 3,96%, illetve 3,47%) hiánya miatti „betöményedés” generál.

5. táblázat: : Az eredeti és az égetett minták főelem összetétele.

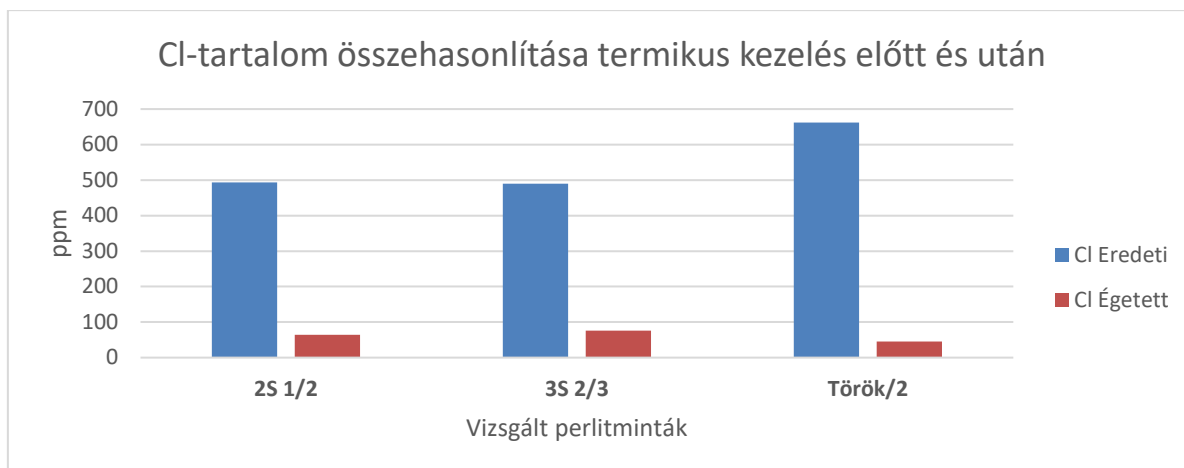
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅
2S 1-2	75,78	12,74	0,13	0,74	2,56	4,29	1,24	0,027	0,061	0,007
3S 2-3	74,92	12,96	0,19	0,75	2,50	4,20	1,31	0,026	0,065	0,007
TÖRÖK/2	76,68	13,49	0,30	0,68	3,08	4,24	0,75	0,054	0,109	0,009
2S 1-2 ÉGETETT	77,55	13,27	0,13	0,77	2,83	4,35	1,25	0,027	0,066	0,006
3S 2-3 ÉGETETT	77,30	13,59	0,18	0,78	2,76	4,31	1,31	0,027	0,070	0,008
TÖRÖK/2 ÉGETETT	77,37	13,7	0,26	0,67	3,13	4,28	0,77	0,054	0,114	0,012

A 6. táblázat eredményei (a klór elemzését leszámítva) azt mutatják, hogy a vizsgált nyomelemek sem mutatnak illékonyságot, a koncentrációjuk gyakorlatilag megmaradt az égetés során használt 1050 °C hatására is.

6. táblázat: Az eredeti és az égetett minták klór és nyomelem összetétele.

	Cl	Zn	Rb	Sr	Ba	Ni	Zr
2S 1-2^{EREDETI}	493	56	225	53	733	18	91
3S 2-3^{EREDETI}	490	65	222	54	704	19	92
TÖRÖK/2^{EREDETI}	662	47	173	130	1908	13	93
2S 1- 2^{ÉGETETT}	64	58	229	53	764	19	93
3S 2- 3^{ÉGETETT}	76	64	228	54	717	20	95
TÖRÖK/2^{ÉGETETT}	45	48	180	129	1840	14	95

A klórtartalom az előbb leírt eredményekkel ellentétben nagyon nagy mértékű változást mutat az 1050 °C-os hevítés hatására. A két magyar minta esetében az eredeti koncentráció 1/7 – 1/8-ad részére csökkent. A török minta esetében ez az arány még jelentősebb, hiszen a klórtartalom kevesebb mint 7%-ára, azaz az 1/15-öd részére csökkent (18. ábra).



18. ábra: Cl-tartalom összehasonlítása termikus kezelés előtt és után.

A klór óriási mértékű csökkenése arra mutat, hogy ez az elem olyan vegyületben van benne (ásványi fázisnak nem lehet nevezni, mivel a perlit egy kiömlési közet, ráadásul ultra gyors dermedéssel keletkezik, így maximálisan csak mikroszkopikus ásványi csírák lehetnek benne), mely az 1050 °C-on már bomlik és belőle a klór felszabadul, illékony lesz. Valószínűsíthetően ez a $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$ lehet, mely vegyületnek a hexagonális rendszerben kristályosodó ásványa a klórapatit.

7.4. A termikus kísérlet által okozott ásványi átalakulások vizsgálata

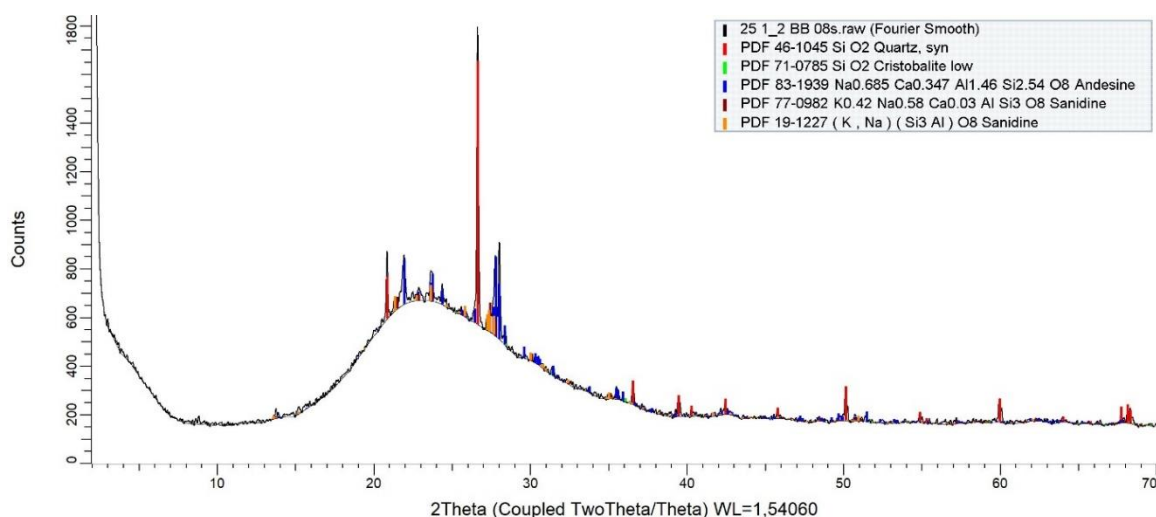
Mind az eredeti 2S 1-2, a 2S 2-3 és a Török/2 számú mintákon, mind az 1050 °C-on kiégetett verziójukon kvantitatív ásványtani összetételt határoztunk meg, Röntgen-pordiffrakciós (XRD) módszerrel. A méréseket Bruker D8 Advance készüléken végeztük, $\text{Cu-K}\alpha$ sugárforrással (40 kV, 40 mA generátor beállításokkal), párhuzamos nyaláb geometriában, Vantec-1 helyzetérzékelő detektorral. A mérések a 2-70 °(2 θ) szögtartományban, 0,007 °(2 θ)/24sec rögzítési közökkel készültek. A porpreparátumot Si egykristály mintatartókba mértük.

A felvételek kiértékeléséhez, az ICDD PDF2 (2005) adatbázist használtuk, a Bruker DiffracPlus EVA szoftverében. A mennyiségi eredményeket a Bruker TOPAS4 szoftverében számoltuk, Rietveld illesztést alkalmazva, a mért és az összes számolt görbék különbség görbéjének a minimalizálása alapján történt. Az amorf anyag mennyiségét az „amorf púp” módszerével határoztuk meg. A földpátok illesztéséhez a szakirodalomban előírt elemi cella értéktartományokat használtuk és az ICSD adatbázis szerkezeteit a gyűjteményi nagy tisztaságú mintákon pontosítottuk alkalmazás előtt.

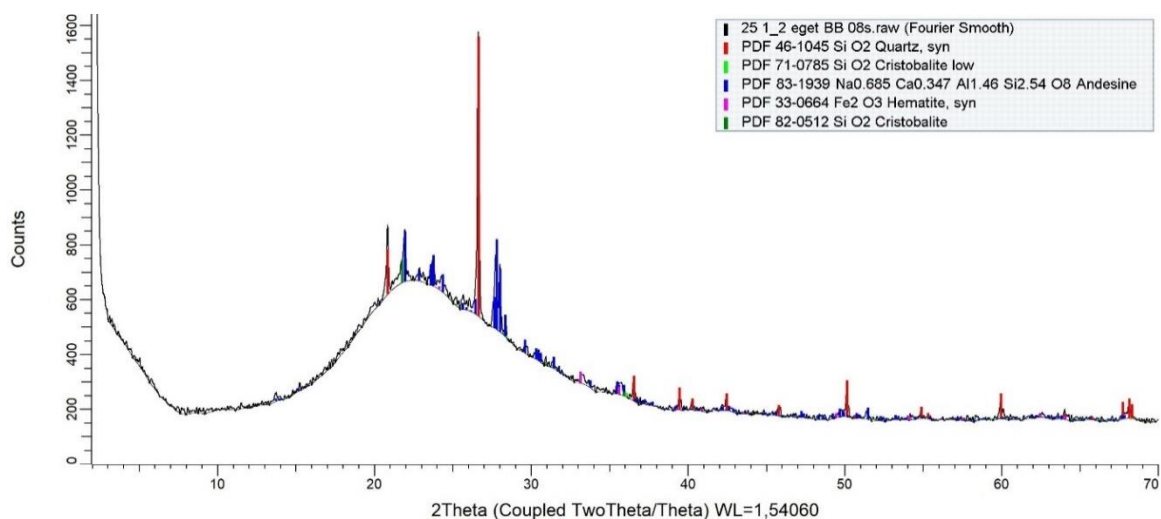
A 2S 1-2 mintát vizsgálva először, elmondható, hogy a 1050 °C-on történő hevítés hatására csak kis mértékű ásványi átalakulás történt (7. táblázat). A már így is közel 90%-os amorf tartalom további 2%-kal növekedett. Az ásványok mennyisége gyakorlatilag nem változott, egyedül a szanidin összes mennyisége csökkent 2%-ról 1% alá. Ez a nagy mértékű hasonlóság figyelhető meg az eredeti (19. ábra) és a kiégetett minta (20. ábra) diffraktogramján is, miként a csúcsok mérete és az elhelyezkedésük is közel egybevágó.

7. táblázat: Az eredeti és az égetett 2S 1-2 jelű minták ásványos összetétele

Ásvány	Képlet	2S 1-2 ^{eredeti}	2S 1-2 ^{égetett}
Kvarc	SiO ₂	3,2	3,2
Andezine (An50)	Na _{0,63} Ca _{0,37} Al _{1,29} Si _{2,71} O ₈	3,8	3,1
Cristobalit	SiO ₂	0,9	0,9
Tridimit	SiO ₂	0,6	0,5
Szanidin (Na0.85)	K _{0,15} Na _{0,85} AlSi ₃ O ₈	1,4	0,7
Szanidin (Na0.16)	K _{0,84} Na _{0,16} AlSi ₃ O ₈	0,6	0,1
Hematit	Fe ₂ O ₃		0,3
Amorf		89,5	91,2



19. ábra: Az eredeti 2S 1-2 jelű minta diffraktogramja

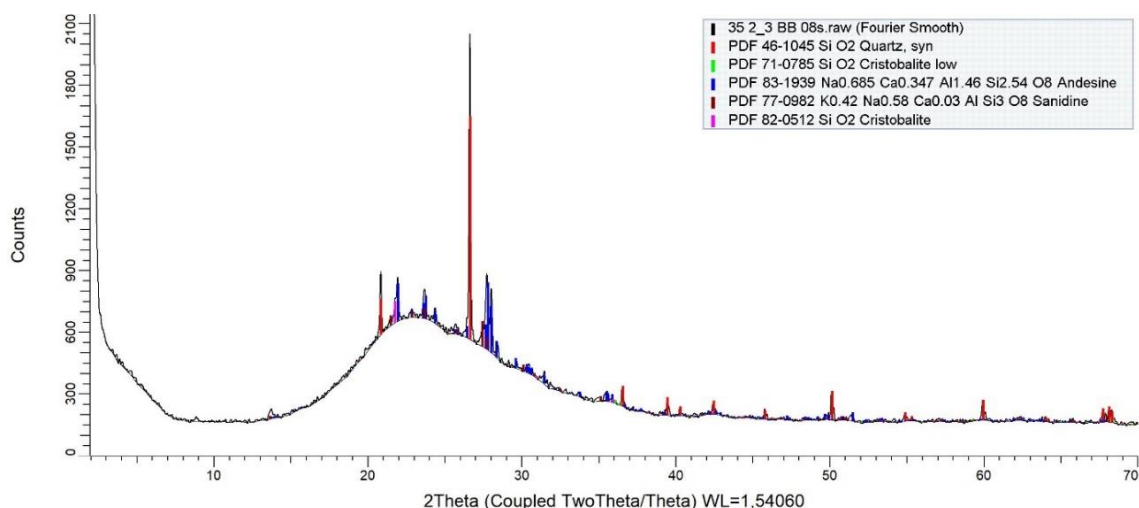


20. ábra: A kiégetett 2S 1-2 jelű minta diffraktogramja

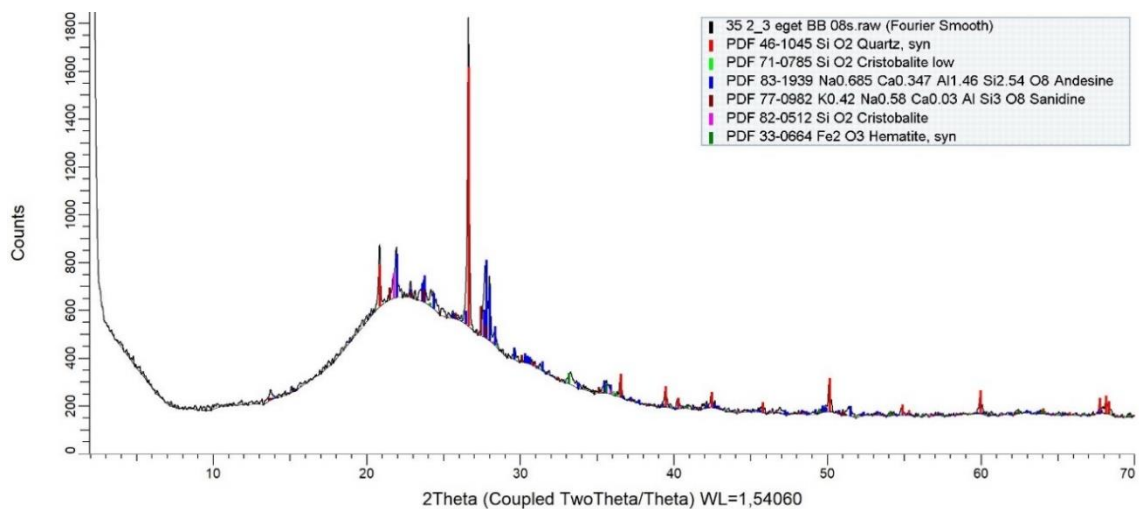
A 3S 2-3 mintát vizsgálva (8. táblázat) az előző, szintén magyar mintához hasonló tendenciákat észlelhetünk. Az amorf tartalom ebben az esetben is közel 2%-kal nőtt a hevítés hatására. A szanidin összes mennyisége az előzővel megegyezően 2%-ról 1% közelire csökkent. Ez a nagy mértékű hasonlóság figyelhető meg az eredeti (21. ábra) és a kiégetett minta (22. ábra) diffraktogramján is, miként a csúcsok mérete és az elhelyezkedésük is közel egybevágó.

8. táblázat: Az eredeti és az égetett 3S 2-3 jelű minták ásványos összetétele

Ásvány	Képlet	3S 2-3 ^{eredeti}	3S 2-3 ^{égetett}
Kvarc	SiO ₂	4,0	4,0
Andezine (An50)	Na _{0,63} Ca _{0,37} Al _{1,29} Si _{2,71} O ₈	4,8	4,0
Cristobalit	SiO ₂	1,0	0,7
Tridimit	SiO ₂	0,7	0,4
Szanidin (Na0.16)	K _{0,84} Na _{0,16} AlSi ₃ O ₈		0,1
Szanidin (Na0.56)	K _{0,44} Na _{0,56} AlSi ₃ O ₈	2,0	
Szanidin (Na0.85)	K _{0,15} Na _{0,85} AlSi ₃ O ₈		1,2
Hematit	Fe ₂ O ₃		0,3
Amorf		87,5	89,3



21. ábra: Az eredeti 3S 2-3 jelű minta diffraktogramja

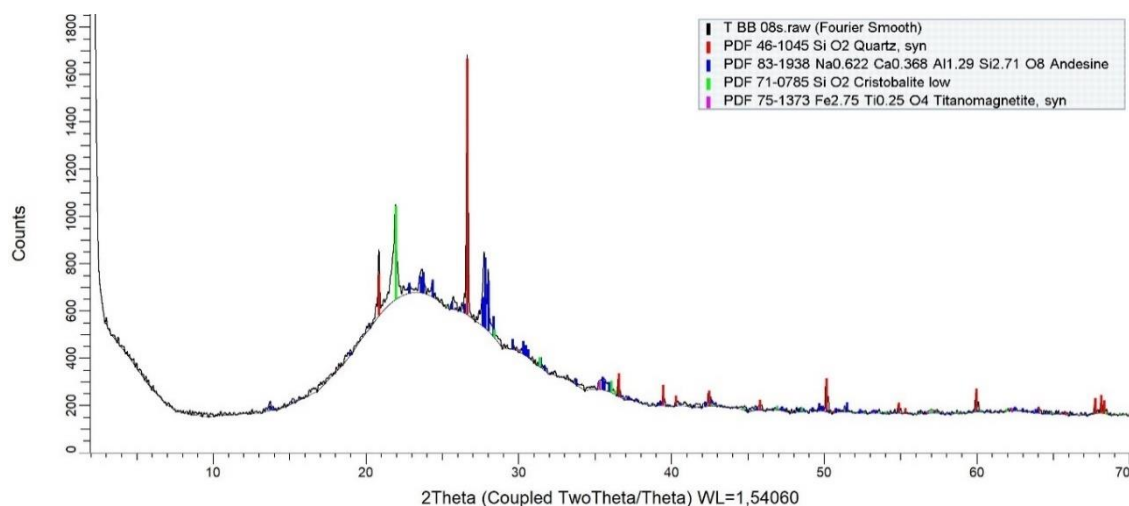


22. ábra: A kiégetett 3S 2-3 jelű minta diffraktogramja

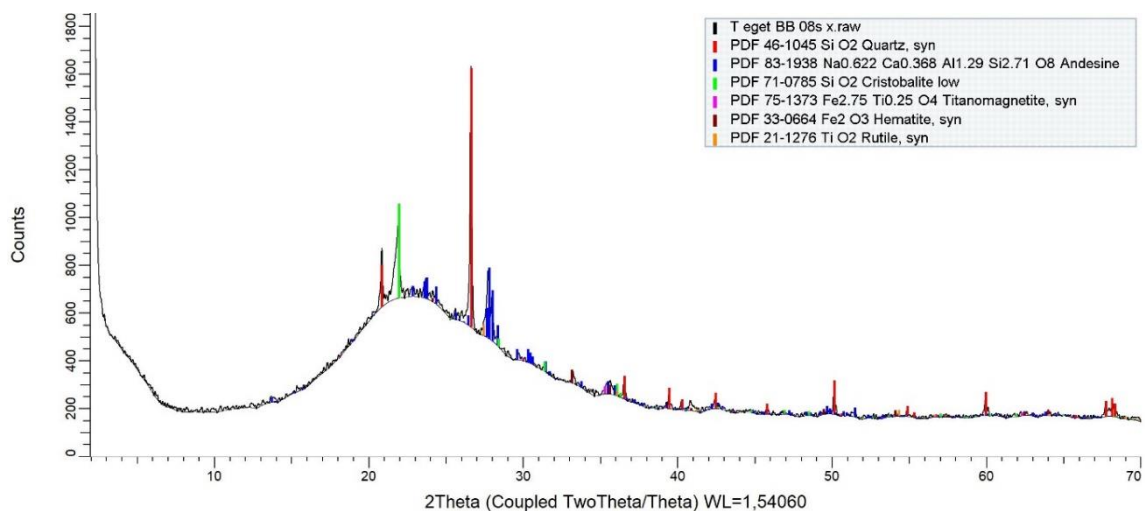
A Török/2 jelű minták elemzési eredményeit (9. táblázat) megnézve nagy hasonlóság fedezhető fel az előzőleg bemutatott két magyar mintával. A plagioklász (andezin) mennyisége azonban az előző (magyar) minták esetében csak 0,7 és 0,8%-kal csökkent, de ennél a mintánál a csökkenés a duplája, 1,5%. Továbbá, ez a minta nem tartalmaz szanidint. Az andezin csökkenése az eredeti (23. ábra) és a kiégetett minta (24. ábra) diffraktogramján is látható, a csúcsok alacsonyabbak az utóbbi esetében.

9. táblázat: Az eredeti és az égetett Török/2 jelű minták ásványos összetétele

Ásvány	Képlet	Török/2 ^{eredeti}	Török/2 ^{égetett}
Kvarc	SiO ₂	3,1	3,4
Andezin (An50)	Na _{0,63} Ca _{0,37} Al _{1,29} Si _{2,71} O ₈	4,5	3,0
Cristobalit	SiO ₂	2,1	1,6
Anatáz	TiO ₂	0,2	
Rutil	TiO ₂		0,1
Tridimit	SiO ₂	1,0	0,7
Titanomagnetit	Ti _{0,25} Fe _{2,75} O ₄	0,3	
Hematit	Fe ₂ O ₃		0,4
Amorf		88,8	90,7



23. ábra: Az eredeti Török/2 jelű minta diffraktogramja



24. ábra: A kiégetett Török/2 jelű minta diffraktogramja

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A perlit egy vulkáni eredetű, kiöleési kőzet, amelyet hőkezelés során könnyű és porózus anyaggá alakítanak, és széles körben alkalmaznak az építőiparban, a mezőgazdaságban és környezetvédelemben. Kiváló hőszigetelő és vízelvezető képessége jelentős mértékben hozzájárul az épületek energiahatékonyságához és fenntarthatóságához, valamint jól illeszkedik a zöld technológiai fejlesztésekbe.

A perlit minőségét azonban erősen befolyásolja a benne található klór (Cl), koncentrációja: magasabb klórtartalom esetén csökken az anyag hőállósága, ami korlátozhatja a tűzálló anyagokban való felhasználását.

A Perlit-92 Kft. bányászati tevékenységében a klórtartalom és az anyag kémiai homogenitása kulcsszerepet játszik a kiváló minőségű perlit biztosításában. A cég több szinten, 15-20 méteres magasságú rétegekben termeli ki a nyersanyagot, amelynek kémiai elemzésével az egyes bányarétegek különböző perlittípusai között ekvivalencia mutatható ki. Az elemzési eredmények segítségével a cég optimalizálhatja a bányászati folyamatot, biztosítva, hogy a termék megfeleljen mind a piaci igényeknek, mind a környezetvédelmi követelményeknek.

A dolgozatban kiemelt fontossággal bíró és vizsgált Cl tartalom tekintetében a 36 db magyar minta meglehetősen homogén. A perlit bányákban a klór tartalom egyenletes eloszlása kulcsfontosságú, így jelen kutatás eredménye, a bizonyított nagyfokú homogenitás pozitív a Perlit-92 kft. számára. A többi elem mennyiségének tekintetében is a 36 db vizsgált perlit minta között elhanyagolható különbségek figyelhetők csak meg (3. táblázat), ami szintén rendkívül kedvező a Perlit-92 Kft. számára.

Az egyenletes kémiai, és az ezen alapuló duzzaszthatósági tulajdonságok biztosítják, hogy a különböző bányaterületekről származó perlit hasonló minőséget képvisel, így a feldolgozási és értékesítési folyamatok során az előállított minőség stabil és megbízható marad. Az ilyen nagyfokú homogenitás lehetővé teszi a hatékony termelést, csökkentve az ipari felhasználásokhoz szükséges technológiai és minőségellenőrzési költségeket és az idő ráfordítást, mivel nem szükséges különböző perlittípusok keverése vagy válogatása.

9. TOVÁBBKUTATÁS

A jövőbeni kutatásaimban fontos szerepet fog játszani a Perlit-92 Kft mintáinak elemzése a bennük található F elem mennyiségére is. A most vizsgált 36 minta a bánya alsó szintjéről, egy területről származnak, ezzel is magyarázható a bennük tapasztalt nagyfokú homogenitás, ami azonban a vizsgált terület bővítésével várhatóan csökkenni fog.

A további kutatás során a perlit minták optikai és elektronmikroszkópos vizsgálatát tervezem, amivel részletesebben feltérképezhetem a közetek mikroszerkezeti tulajdonságait. Az ilyen típusú műszeres analízisek lehetővé teszik a perlit szemcseméretének, textúrájának és ásványos összetételének pontosabb meghatározását, hozzájárulva annak ipari alkalmazásainak optimalizálásához.

Szintén szeretném a mintákat elektronmikroszondás elemzésnek alávetni, hogy a klór kötődési helyét meg tudjam határozni perlitben.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném kifejezni hálámat konzulensemnek, Dr. Móricz Ferencnek, aki folyamatos támogatásával és értékes tanácsaival nagyban hozzájárult dolgozatom elkészítéséhez. Külön köszönettel tartozom az WDXRF vizsgálatok elvégzéséért, amelyek elengedhetetlenek voltak a kutatásom eredményeihez. Nagyra értékelem, hogy idejét és figyelmét nem sajnálva segítette munkámat.

Szintén szeretnék köszönetet mondani Dr. Kristály Ferencnek a dolgozatomban szereplő Röntgen pordiffrakciós mérésekért és kiértékelésükért.

Ezúton szeretnék köszönetet mondani a Perlit-92 Kft.-nek, hogy hozzájárultak dolgozatom elkészítéséhez azáltal, hogy rendelkezésemre bocsátották a vizsgálatokhoz szükséges mintákat. Az együttműködésük és támogatásuk nélkül ez a munka nem valósulhatott volna meg. Köszönettel tartozom a cég két dolgozójának, Hacskó Péter Termelési igazgatóhelyettesnek és Gallyas Márk Kutatásért és nyersanyag minőségért felelős üzemvezetőnek a szakmai segítségükért.

HIVATKOZÁSOK

- Bastani, D., Safekordi, A.A., Alihosseini, A., Taghikhani, V. (2006): *Study of oil sorption by expanded perlite at 298.15 K*, Separation and Purification Technology, Volume 52, Issue 2, p 295-300.
- Böhm József, Csöke Barnabás (2001): *Perlitbányászat – előkészítés- környezetvédelem*. A Miskolci Egyetem Közleménye A sorozat, Bányászat, 60.kötet, p. 9-16.
- Farkhod, A., Rashid N., Akmalbek A. (2024): *Developing a Comprehensive Oil Spill Detection Model for Marine Environments*, Special Issue Remote Sensing Image Classification and Semantic Segmentation (Second Edition), Vol. 16, Issue 16 [DOI: 10.3390/rs16163080]
- Gennady S., Alexey Y. (2018): *Mining technology homogeneity and its composition*. E3S Web of Conferences 56(1):04021 [DOI: 10.1051/e3sconf/20185604021]
- Geologyscience (2024): *Geologyscience* /honlap/; www.geologyscience.com, letöltés: 2024.10.10, URL: <https://geologyscience.com/minerals/silicates-minerals/perlite/>
- Grillas, S., Lucas, M., Bardopoulou, E., Sarafopoulos, S., Voulgari, M. (2001): *Perlite based soilless culture systems: current commercial applications and prospects*, Acta Hortic. 548, p. 105-114 [ISBN: 9789066057548] [ISSN: 0567-7572] [DOI: 10.17660/ActaHortic.2001.548.10]
- Gyarmati P. (1982): *A Tokaji-hegységi perlitkutató és prognózis eredményei*, Földtani Kutatás, XXV. évszám, 2.szám
- Hacskó P. (2020): *Kémiai és ásványtani összetétel szerepe a perlit minőségében és duzzaszthatóságában*. Online előadás. Miskolci Egyetem, 2022. május.
- Bignio I., (1959): *Industrial Review – Ads der. Perlite*, Akadémiai Nyomda, Budapest / Periodica Polytechnica Chemical Engineering, 3(4), pp. 279–282.
- IndustryResearch (2024): *Global Perlite And Vermiculite Market – Industry Reports*, www.industryresearch.com; letöltés: 2024.10.30.
- Kovács F., Faur Gy. (1991): *Külfejtések művelése I.*, Tankönyvkiadó, Budapest, p.256.
- Metal Technology (2024): *Metal Technology* /honlap/, www.mtialbany.com. letöltés: 2024.11.10 URL: <https://www.mtialbany.com/metals/zirconium/>
- Panagiotis M. A. (2024): *Insights in the Physicochemical and Mechanical Properties and Characterization Methodology of Perlites*, Minerals 2024, Vol. 14, pp. 113.
- Perlit-92 kft (2024): *Perlit-92 kft.* /honlap/, www.perlit92.hu, letöltés: 2024. október 21.
- Perlite (2024): *Filtration - Perlite Institute* /honlap/. www.perlite.org, letöltés: 2024.10.30. URL: <https://www.perlite.org/filtration/>

- Szakál S., Weiszbürg T. (1994): *A telkibányai érces terület ásványai*, Topographia Mineralogica Hungariae 2., Herman Ottó Múzeum Miskolc, [ISBN 963 7221166 2] [ISSN 1215 9581]
- SZTFH (2024): *Bányászati területek nyilvántartása – Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága* /honlap/, letöltés: 2024.10.25.
- Takács J. (2001): *Szűrőperlit környezetbarát hasznosítása az élelmiszer- és gyógyszeripari technológiákban*, A Miskolci Egyetem Közleménye A sorozat, Bányászat, 60.kötet, p 93-108.
- USGS (2024): *United States Geological Survey* /honlap/. www.usgs.gov, letöltés: 2024.11.11
- World Mining Data (2024): *World Mining Data* /honlap/, www.world-mining-data.info, letöltés: 2024.10.10.
- Zelenka T. (2001): *Hazai perlit előfordulások földtani viszonyai*, A Miskolci Egyetem Közleménye A sorozat, Bányászat, 60.kötet, p.55-70

ÁBRA ÉS TÁBLÁZAT JEGYZÉK

1. ábra: Duzzasztott perlit szerkezete olajfelvétel előtt és után SEM képeken. Forrás: BASTANI ET. AL., 2006
2. ábra: Különböző típusú mezőgazdasági perlitek vízmegtartó képessége. Forrás: GRILLAS ET. AL., 2001 nyomán
3. ábra: Perlit az építőiparban. Forrás: PERLITE, 2024 nyomán
4. ábra: A perlit útja a kitermeléstől a felhasználásáig. Forrás: PERLITE, 2024 nyomán
5. ábra: Magyarország nyersanyag kitermelése 2018 és 2022 között. Forrás: WORLD MINING DATA, 2024
6. ábra: A világ országainak perlit kitermelése 2018 és 2022 között. Forrás: WORLD MINING DATA, 2024
7. ábra: Magyarország és a világ nagy perlit kitermelőinek összehasonlítása. Forrás: WORLD MINING DATA, 2024
8. ábra: A duzzasztás szisztematikus folyamatábrája.. Forrás: HACSKÓ, 2020
9. ábra Pálháza I. bányatelek. Forrás: SZTFH, 2024
10. ábra: Bózsza I. bányatelek. Forrás: SZTFH, 2024
11. ábra Bózsza I. bányából származó perlitminták Cl tartalma

12. ábra: *MgO tartalom a Bózsya I. bányában.*
13. ábra: *Néhány főelem homogenitásának ábrázolása.*
14. ábra: *Rb és Zr mennyiségének összehasonlítása a mintákban.*
15. ábra: *A minták SiO_2 tartalmának összehasonlítása*
16. ábra: *MnO tartalom összehasonlítása a különböző perlit mintákban.*
17. ábra: *A P_2O_5 és a TiO_2 mennyiségének összehasonlítása a mintákban.*
18. ábra: *Cl-tartalom összehasonlítása termikus kezelés előtt és után.*
19. ábra: *Az eredeti 2S 1-2 jelű minta diffraktogramja*
20. ábra: *A kiégetett 2S 1-2 jelű minta diffraktogramja*
21. ábra: *Az eredeti 3S 2-3 jelű minta diffraktogramja*
22. ábra: *A kiégetett 3S 2-3 jelű minta diffraktogramja*
23. ábra: *Az eredeti Török/2 jelű minta diffraktogramja*
24. ábra: *A kiégetett Török/2 jelű minta diffraktogramja*

1. táblázat: *A világ országainak perlit kitermelése 2018 és 2022 között. Forrás: WORLD MINING DATA 2024*
2. táblázat: *Magyarország ásványvagyon kiterelése 2018 és 2022 között. Forrás: WORLD MINING DATA, 2024*
3. táblázat: *A 36 db magyar minta kémiai összetételének összefoglalása.*
4. táblázat: *A magyar és a külföldi minták kémiai összetételének összehasonlítása.*
5. táblázat: *: Az eredeti és az égetett minták főelem összetétele.*
6. táblázat: *Az eredeti és az égetett minták klór és nyomelem összetétele.*
7. táblázat: *Az eredeti és az égetett 2S 1-2 jelű minták ásványos összetétele*
8. táblázat: *Az eredeti és az égetett 3S 2-3 jelű minták ásványos összetétele*
9. táblázat: *Az eredeti és az égetett Török/2 jelű minták ásványos összetétele*