

Északnyugat magyarországi homokminták  
nehézasványainak nyomelem-összetétel vizsgálata  
Neutronaktivációs Analitikai (NAA) módszerrel

Juhász Alexandra

Kémia BsC

borász-analitikus

Eszterházy Károly Egyetem

Eger

2020.

Témavezető: Dr. Forgó Péter, főiskolai tanár, Eszterházy Károly Egyetem, Kémiai és  
Élelmiszerkémiai Tanszék

Konzulens: Dr. Gméling Katalin, Tudományos Főmunkatárs, Energiatudományi  
Kutatóközpont, Nukleáris Analitikai és Radiográfiai Laboratórium

## Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék .....	1
A neutronaktivációs analízis.....	3
Bevezetés.....	3
A neutronok fajtái .....	4
Nukleáris reaktor, mint neutronforrás .....	5
A Budapesti Kutatóreaktor.....	6
A gamma-fotonok detektálása.....	7
A neutronaktivációs analízis standardizálási módszerei .....	9
Abszolút standardizálás.....	10
Relatív standardizálás.....	11
Komparátor (összehasonlító) standardizálás .....	13
A $k_0$ - módszer.....	13
Az $\alpha$ paraméter szerepe .....	14
A $k_0$ -tényező.....	14
Az elemi koncentráció számítása .....	15
Célkitűzés .....	16
A vizsgált minták.....	17
A vizsgált minták származási területének földtörténeti áttekintése .....	18
A vizsgált bányák.....	19
Babót .....	20
Hegyeshalom.....	20
Mosonmagyaróvár.....	21
Jánossomorja.....	22
Darnózseli .....	22
Nehézásványok.....	23
A nehézásványok leválasztása .....	25
Az egyes minták nehézásványtartalmának leírása .....	30
Babóti homokminta nehézásványtartalma.....	30
Hegyeshalmi homokminta nehézásványtartalma .....	32
Jánossomorjai homokminta nehézásványtartalma .....	33
Mosonmagyaróvári homokminta nehézásványtartalma.....	35

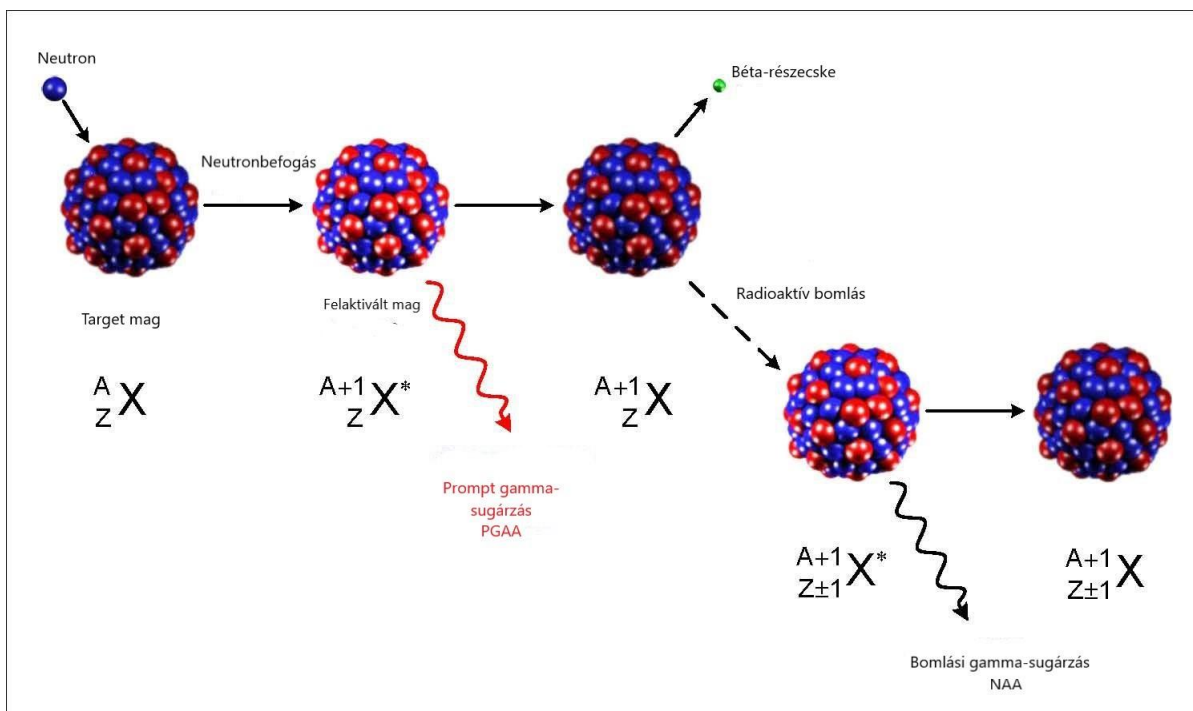
Darnózseli homokminta nehézasványtartalma.....	37
Összesített értékelés .....	39
A homokminták előkészítése és neutronaktivációs analitikai vizsgálata .....	43
A minták feldolgozása.....	43
Mérési adatok .....	47
Elemanalitikai vizsgálati eredmények .....	50
Főelemek .....	50
Nyomelemek .....	52
Összefüggések vizsgálata a nehézasvány-szeparátumok és a kapott kémiai eredmények között .....	60
Összefoglalás.....	62
Köszönetnyilvánítás .....	63
Irodalomjegyzék.....	64

## *A neutronaktivációs analízis*

### *Bevezetés*

Az aktivációs analízisek nukleáris tulajdonságokra és folyamatokra épülő analitikai kémiai módszerek, amelyek a vizsgált anyag minőségi és mennyiségi izotópösszetételéről adnak információkat az aktiválással közvetlenül vagy közvetve létrehozott nuklidok karakterisztikus magsugárzásainak mérésén keresztül. Az analitikai eljárások a magreakciót kiváltó részecskék szerint csoportosíthatók neutronaktivációs, töltött részecske aktivációs (min.energia: p+ 1-12 MeV,  $\alpha$  2-24 MeV) vagy fotonaktivációs (min. energia : 7-8 MeV, kis hatáskeresztmetszet) módszerekre. A neutronaktivációs eljárások az alkalmazott neutron energiája szerint csoportosíthatók tovább: a termikus neutronaktivációs analízisre (NAA), epitermikus aktiválásra (ENAA), gyorsneutron aktivációs analízisre (FNAA) és hidegneutron aktivációs/prompt-gamma analízisre (PGA)<sup>1</sup>.

A neutronaktivációs analízis alapjait Hevesy György és tanítványa Hilde Levi dolgozta ki Koppenhágában 1936-ban. A módszer azóta sokat fejlődött a nukleáris kutatóreaktorok, mint neutronforrások számának növekedésével illetve az egyre szélesebb körben alkalmazott energiaszelektív félvezető detektoroknak köszönhetően. A vizsgálat során a mintát neutronokkal sugározzák be, melyek a minta atommagjaival reakcióba lépnek, ezáltal az atommagok aktiválódnak. A magreakciók során rendszerint gerjesztett állapotú atommagok keletkeznek (**1. ábra**), melyek a gerjesztési energiát azonnal ( $10^{-14}$ s) leadják és prompt(azonnali) gamma-sugárzást bocsátanak ki, illetve gyakran béta instabilitást mutatnak. A képződött radioaktív atommagok a rájuk jellemző felezési idővel tovább alakulnak miközben különböző típusú és energiájú magsugárzást bocsátanak ki. A prompt gamma-sugárzás az aktiválással megegyező helyen és időben mérhető (módszere a PGAA), a késleltetett vagy bomlási gamma-sugárzás mérése a besugárzáshoz képest helyben és időben eltérően történik.



(1. Ábra) Kép forrása: <https://nmi3.eu/neutron-research/techniques-for-chemical-analysis.html>

Magyarosította: Juhász A.

A neutron aktivációs analízis során a besugárzást követően az aktivált minta feldolgozható roncsolással, amikor utólagos kémiai elválasztás történik, az egyes elemeket elválasztjuk egymástól, illetve roncsolásmentesen, amikor nem történik kémiai elválasztás, hanem a besugárzott minta gamma-spektruma közvetlenül mérhető.

### A neutronok fajtái

A neutronok, mint elektromosan semleges részecskék ideális eszközei a nukleáris analitikai és anyagvizsgálati módszereknek a viszonylag nagy hatáskeresztmetszetüknek vagy behatolókéességüknek, hullámtulajdonságaiknak köszönhetően. A neutron olyan (összetett) nukleáris részecske (barion), amelyik szabad állapotában radioaktív, átlagos élettartama  $885,7 \pm 0,8$  másodperc, ezt követően  $\beta$ -bomlással egy proton egy elektron és egy antineutrínó keletkezik belőle, miközben  $0,87\text{MeV}$  energia szabadul fel. Szabad neutronokat tehát nukleáris folyamatokban, elsősorban magreakciókban hozhatunk létre, majd ezeket a neutronforrásokat használjuk további vizsgálatok elvégzésére.

Az atomreaktorokban a hasadó anyag atommagja (általában  $^{235}\text{U}$ ) neutron besugárzás hatására két kisebb tömegű atommagra és átlagosan 2,5 neutronra hasad<sup>2</sup>. Energiájuk alapján három fő neutron komponenst különíthetünk el:

A termikus neutron komponens kis energiájú ( $<0,5$  eV) neutronokat tartalmaz, és hőmérsékleti egyensúlyban van a reaktor moderátorában lévő atomokkal. Ezen neutronok fő energia értéke 0,025 eV, sebességük 2200 m/s. A reaktorban történő besugárzáskor a mintát érő neutronok 90-95%-a termikus neutron.

Az epitermikus neutron komponens energiája 0,5 eV - 0,5 MeV. Egy 1 mm vastag Cd fólia képes elnyelni a termikus neutronokat, de átengedi az epitermikus és gyors neutronokat. Az epitermikus neutronok a teljes neutronfluxusnak mindössze két százalékát teszik ki. A termikus és az epitermikus neutronok is gerjesztenek  $(n,\gamma)$ -reakciókat.

A gyors neutron komponens neutronjainak energiája meghaladja a 0,5 MeV-ot, elsődleges hasadó neutronokat tartalmaz, melyeknek még nagyrészt megvan a hasadástól származó energiájuk. Ezeknek a neutronoknak kicsi a szerepük az  $(n,\gamma)$ -reakciókban, de főleg olyan nukleáris reakciót gerjesztenek, ahol egy vagy több elemi részecske, például  $(n^0,p^+)$  vagy  $(n^0,n^0)$  vagy  $(n^0,2n^0)$  keletkezik. A reaktor aktív zónájában, besugárzási pozícióban a teljes fluxusnak kb. 5%-a gyors neutron.

### *Nukleáris reaktor, mint neutronforrás*

Különböző típusú aktivációs neutronforrások léteznek, amelyek legfontosabb jellemzői az energiaeloszlás és a neutronfluxus. Ezek a neutronforrások az energiaeloszlás és a fluxus tekintetében széles tartománnyal rendelkeznek. Legismertebbek a radionuklid neutronforrások, amelyek az  $(\alpha, n)$ ,  $(\gamma, n)$  binukleáris reakciókat vagy a spontán maghasadást hasznosítják. Elterjedtek még részecskegyorsítót alkalmazó berendezések, például neutrongenerátorok vagy más, töltött részecske illetve elektron gyorsítók által közvetlenül vagy közvetve kiváltott magreakciók, mint például a spalláció vagy a (fékezési  $\gamma, n$ ) reakció, valamint a maghasadást hasznosító berendezések: a nukleáris reaktor vagy a szubkritikus neutronsokszorozó. Legfontosabb aktivációs neutronforrás a termikus, hasadási nukleáris kutatóreaktor. <sup>3</sup>

## A Budapesti Kutatóreaktor

A Budapesti Kutatóreaktor (BKR) VVR típusú (vízhűtéses, vízmoderátoros) reaktor. Hőteljesítménye 10 MW, a zónában a termikus neutronfluxus elérheti a  $2.2 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  értéket.

A VVR-SM tank-típusú reaktorok jellemzője, hogy a moderátorként használt ioncserélt könnyűvíz egyben hűtőközeg is. A hűtővíz felülről lefelé áramlik az aktív zónán keresztül. Itt találhatóak az alumínium mátrixba foglalt fémurán illetve urán-oxid üzemanyagot tartalmazó fűtőelemek.

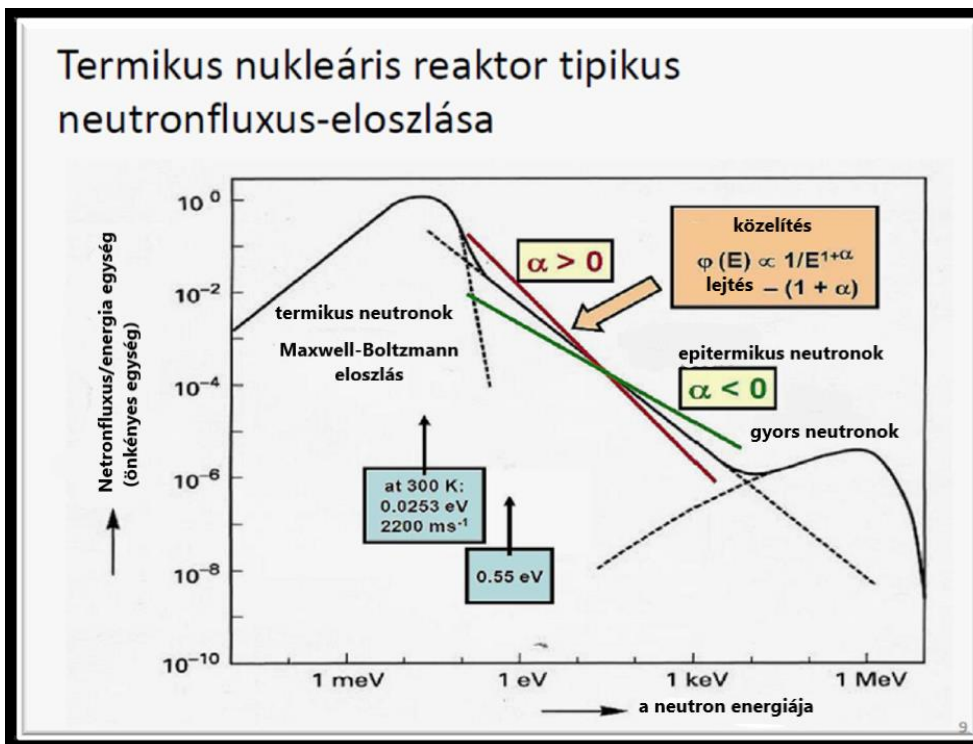
A reaktortartály nyitott, fedéllel ellátott, alumíniumból készült függőleges tengelyű körszelvényű edény, amelynek alsó harmadában helyezkedik el a reaktor zónatartály. A zónatartályban különböző konfigurációban elhelyezkedő fűtőelemeket berillium reflektor veszi körül a neutronkiszökés csökkentése miatt. A neutronok egy része a reaktorzóna vízszintes szimmetriásíkjában kialakított tíz darab vízszintes besugárzó csatornán jut el a felhasználási helyére. A tartályban található még körülbelül 40 függőleges besugárzó csatorna, a magban illetve a berilliumreflektor rétegben. A zónában jelenleg VVR-M2 LEU típusú  $19,75 \pm 0,25\%$  dúsítású egyes és hármas fűtőkötegek találhatóak. Az ilyen kötegek átlagos  $^{235}\text{U}$  tartalma 50 gramm.

A reaktor neutronspektruma széles energiatartományt fog át (**2. Ábra**), amelyet önkényesen három termikus neutronenergia tartományra szokás felosztani:

- termikus neutronfluxus (termikus neutronok, amelyek a környezettel egyensúlyban vannak, energiájuk Maxwell-Boltzmann eloszlást követ, melynek értéke 0,5eV alatti)
- epitermikus neutronfluxus (epitermikus neutronok, energiájuk 0,5 és 100 eV között van)
- hasadási/gyors neutronfluxus (gyors neutronok, energiája 100eV-től 20MeV-ig terjedhet)

A neutronspektrum alakja függ:

- a reaktor típusától
- a reaktor teljesítményétől
- az aktív zóna kialakításától
- a besugárzóhelyek elhelyezkedésétől



(2. Ábra) Tipikus neutronfluxus-eloszlás a termikus nukleáris reaktorokban

### A gamma-fotonok detektálása

A gamma-fotonokat egy detektorból, kiegészítő elektronikából és egy számítógép alapú, többcsatornás (MCA-computer) analízatorból álló mérőrendszerrel detektálják. A detektor egy nagytisztaságú Ge-detektor (HPGe), ami folyékony nitrogénnel hűtve 77°K hőmérsékleten üzemel. A detektor fontos tulajdonságai közé tartozik a felbontóképesség és a hatásfok. A felbontóképesség annak a mértéke, hogy a berendezés mennyire képes elkülöníteni az egymáshoz közel eső csúcsokat a spektrumban. A hatásfok pedig azt mutatja, hogy az összes keletkező foton hány százalékát észlelik a mérés során. Értéke többek között a fotonok energiájától, valamint a detektor geometriai viszonyaitól függ. A detektor hatásfokának növelésével a felbontóképesség általában csökken.

A gerjesztett atommagból kilépő  $\gamma$ -fotonok a detektor anyagával háromféle kölcsönhatásba léphetnek, ezek a következők: 1, Fotoeffektus; 2, Compton-szórás és 3, Párokeltés <sup>4</sup>. Fotoeffektus<sup>5</sup> esetén a foton egyetlen ütközésben elveszti teljes energiáját és ún. fotoelektront kelt. A Compton-szórás<sup>6</sup> egy  $\gamma$ -foton, és egy héjelektron olyan ütközése, amely



során a  $\gamma$ -foton energiájának egy részét átadja az elektronnak. Az ütközés következtében egy kisebb energiájú, Compton-foton és egy Compton-elektron keletkezik. Párváltás<sup>7</sup> akkor játszódik le, ha a  $\gamma$ -foton energiája nagyobb, mint 1022 keV. Ekkor a  $\gamma$ -foton az atommag elektromos erőterével kölcsönhatásba lépve egy elektronná és egy pozitronná alakul át. A keletkezett pozitron lelassulása után az anyaggal kölcsönhatásba lépve újra két, egymással ellentétes irányba kisugárzó, 511 keV energiájú fotonná, ún. annihilációs fotonná alakul. Elemazonosításra elsősorban a fotocsúcsokat használják fel.

A detektált  $\gamma$ -spektrum kiértékelését több tényező is befolyásolhatja. Kis energián zavaró a Compton-hát megnövekedése, illetve az egyszeres és kétszeres kiszökési csúcsok előfordulása. Kiszökésnek nevezzük azt a jelenséget, amikor a párváltás során keletkezett fotonpár egyik vagy mindkét tagja elhagyja a detektor térfogatát. Így a detektor az eredeti  $\gamma$ -foton energiájánál 0,511 MeV-tal, illetve 1,022 MeV-tal kisebb jelet észlel. Ezek az ún. egyszeres, illetve kétszeres kiszökési csúcsok. Zavaró hatást kelt még a levegőn és más környezeti elemeken szórt neutronokból származó háttér (pl. a visszaszórás csúcs a detektorral szemközti falról), ami növeli a N, az Al, a Fe és az Pb csúcsokat. Nagy térfogatú minták meghatározásakor figyelembe kell venni a neutron önárnyékolását és az önabszorpciót is. A fent említett  $\gamma$ -sugarakat és/vagy a detektálást befolyásoló és zavaró tényezőket a pontos kiértékelés érdekében mind figyelembe kell venni, és az értékeket ezek alapján kell korrigálni. A spektrumok általában igen bonyolultak, ezért a spektrumokat és a korrekciókat az erre a célra kidolgozott kiértékelő programok segítségével illesztik és elemzik. A spektrumon a  $\gamma$ -csúcsok energiája az adott elemet, a csúcs alatti terület pedig az elem tömegét vagy koncentrációját adja meg.

A fenti kölcsönhatások mindegyike tehát egy vagy két, egyetlen elemi töltéssel rendelkező töltött részecske keltéséhez/kiszabadításához vezet. E töltött részecskék mozgási energiája sokszorosa a detektor atomjaiban lévő elektronok kötési energiájának. A felvezető detektorban haladva ezek elektron-lyuk (elektronhiány) párokat hoznak létre, az elektronokat a vezetési sávba taszítva. Egy ilyen elektron-lyuk pár létrehozásához mindössze néhány eV energia szükséges. Így egy meglökött elektron (pozitron)  $10^5$ – $10^7$  töltéshordozó párt is létrehozhat a felvezető detektorban, a leadott energiájával arányosan. Ezt a keletkezett töltésmennyiséget határozzuk meg a töltések bizonyos idő ( $\approx 10 \mu\text{s}$ ) alatti begyűjtésével. Az energiamérés nagy (jobb, mint egy ezrelék) pontossága (azaz a detektor felbontása) éppen azon

múlik, hogy a létrehozott elektron-lyuk párok száma nagy, így statisztikusan csak kevésbé fluktuál a számuk.

A detektor egy nagy tisztaságú germánium félvezető detektor. Ebben a  $\gamma$ -foton teljes energiája leadódhat fotoeffektussal, többszörös Compton-szórással, ill. a párkeltést követő annihilációs folyamatban keletkezett mindkét 511 keV energiájú foton megfogásával. Az általunk használt germánium detektor esetén (lineáris méretei  $\sim 5$  cm körül vannak) a többszörös szórás néhányszor  $10^{-9}$  s (néhány ns) alatt megtörténik. Ilyen detektorméret mellett a 200 keV  $\gamma$ -energia felett a teljes energia, ha a detektorban marad, nem fotoeffektussal, hanem nagy valószínűséggel többszörös szórással maradt a detektorban. (Ezért helyesebb a „fotocsúcs” helyett a „teljes energia csúcs” kifejezést használni.) A félvezető detektorok energiafelbontóképessége 1 MeV mellett 1-2 keV, így ez a tulajdonság alkalmassá teszi őket a pontos energia meghatározásra.

A detektorra nagyfeszültséget (3000-4000 V) kapcsolnak, hogy az elektron-lyuk párok ne tudjanak rekombinálódni, hanem az elektronok a pozitív, a lyukak a negatív elektródára gyűlve elektromos áramimpulzust hozzanak létre. A detektort hűteni is kell, mivel a feszültség hatására akkor is áram folyik, ha nem érné radioaktív sugárzás a mintát. Hogy ezt elkerüljék, a detektor egy rézrúd felső végére van helyezve, míg alsó végét folyékony nitrogénben folyamatosan  $-196$  °C hőmérsékleten (a nitrogén forráspontján) tartják. A réz jó hővezető, amikor a felső vége is lehűl a detektort is lehűti. A nitrogén elpárolgása esetén túláram keletkezhet, amely tönkretelhetné a detektort, de ez ellen a nagyfeszültségű tápegység védve van (nagy áram esetén kikapcsol).

A detektor jelét egy spektroszkópai erősítő erősíti fel és formázza meg. Ezután egy rövid, és néhány V amplitúdójú jelet kapunk. Minden foton, amelyik energiát adott le a detektorban, létrehoz egy ilyen elektromos impulzust. Ezt az eseménysort együttesen beütésnek nevezzük.

### A neutronaktivációs analízis standardizálási módszerei

Az NAA során, többféle standardizálási módra van lehetőség, amelyeket az alábbi felsorolás ismertet:

### Abszolút standardizálás

Ebben az esetben a mintában található ismeretlen elemek tömegeinek közvetlen kiszámítása történik, ami elvben a legegyszerűbb mód, az alábbi egyenlet segítségével:

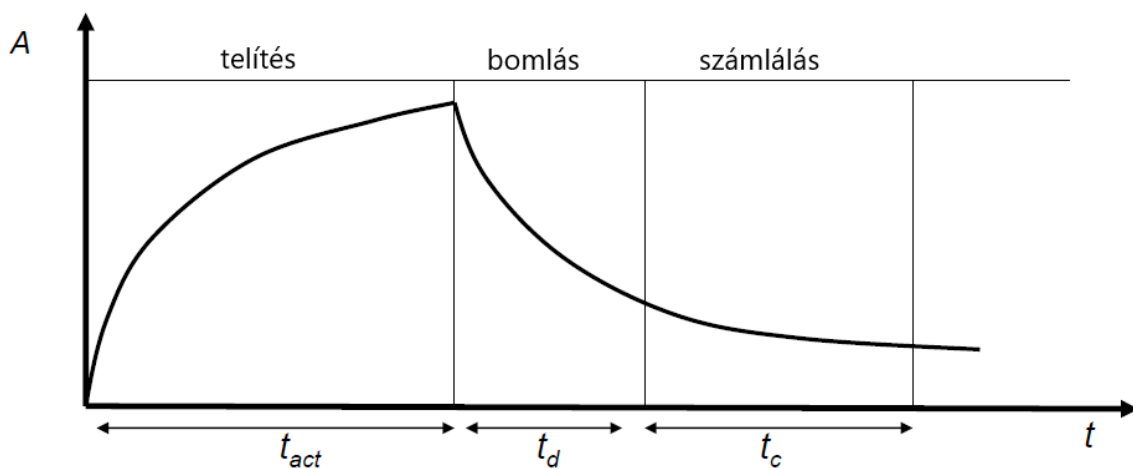
$$m = \frac{M}{N_A \theta \epsilon_p \gamma (\phi_{th} \sigma_{th} + \phi_e I_0)} * \frac{N_p / t_m}{S * D * C}$$

$$S = 1 - e^{-\lambda t_i} \quad D = e^{-\lambda t_d} \quad C = 1 - e^{-\lambda t_m}$$

$$\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$$

Ahol:

**m**: a vizsgált elem tömege, **M**: moláris atomtömeg, **N<sub>p</sub>**: csúcsterület, **N<sub>A</sub>**: Avogadro szám, **θ**: izotóp-előfordulás, **ε<sub>p</sub>**: teljesenergia-csúcs hatásfok, **γ**: a mérendő E<sub>γ</sub> energiájú gamma-vonal abszolút intenzitása, **φ<sub>th</sub>**: termikus neutronfluxus, **φ<sub>e</sub>**: epitermikus neutronfluxus, **σ<sub>th</sub>**: termikus hatáskeresztmetszet (2200 m/s neutron sebesség esetén), **I<sub>0</sub>**: rezonanciaintegrál (epitermikus neutronok integrális hatáskeresztmetszete), **S**: telítési faktor, **D**: bomlási faktor, **C**: mérési faktor (**3. Ábra**), **λ**: bomlási állandó, **T<sub>1/2</sub>**: felezési idő, **t<sub>i</sub>**: besugárzási idő, **t<sub>m</sub>**: mérési idő, **t<sub>a</sub>**: hűtési idő.



(3. Ábra) Forrás: ELTE NAA lab.gyak. Gméling K. 2018 április

-Telítés (saturation)

Ekkor történik a felaktiválás

$$S = 1 - e^{-\lambda t_{act}}$$

-Bomlás (decay)

$$D = e^{-\lambda t_d}$$

-Számlálás (counting)

$$C = \frac{1 - e^{-\lambda t_c}}{\lambda t_c}$$

Az alapösszefüggés több mennyisége legtöbbször megfelelő pontossággal és precizitással ismert: Az  $M$ ,  $N_A$ ,  $\theta$ ,  $\gamma$  és  $\lambda$  esetében a bizonytalanság általában 1% alatt van, az adatok táblázatos formában elérhetőek. Követelmény az  $\epsilon_p$  teljesenergia-csúcs hatásfok nagy pontosságú kísérleti meghatározása. Problémát okozhat az aktivációs hatáskeresztmetszet ( $\sigma$ ,  $I_0$ ) és egyes bomlási állandók pontatlan meghatározása. A neutronter paraméterek ( $\varphi_{th}$  és  $\varphi_e$ ) kísérleti meghatározásának bizonytalansága elérheti az 5-20%-ot. Hátránya, hogy csak az adott mérési összeállításra alkalmazható. Példa az alkalmazásra: Cs-135, I-129 nuklidok meghatározása nukleáris hulladékokban.

$^{135}\text{Cs}$ : az urán és a plutónium hasadási terméke, tisztán bétabomló, rendkívül hosszú felezési ideje van ( $T_{1/2}=2,3 \cdot 10^6$  év), a cézium izotópjai közül a leghosszabb. Kis fajlagos aktivitása és a gamma sugárzás hiánya miatt a cézium izotópok közül a legkevésbé veszélyes. Megjelenése a környezetben légköri atombomba robbantások és reaktor balesetek miatt következett be.

$^{129}\text{I}$ : a jód leghosszabb felezési idejű izotópjai ( $T_{1/2}=15,7$  millió év), hasadási termékként keletkezik. A korai kísérleti atomrobbantások és a reaktorbalesetek nem kívánatos hosszú élettartamú mellékterméke.

### ***Relatív standardizálás***

Az aktivációs analízis végrehajtásának egyik legegyszerűbb módja, ha a vizsgálandó mintával, ( $m_x$ ) a (kémiai) standard ( $m_s$ ) aktiválása is történik, azonos körülmények között, homogénnek tekinthető neutronterben. A standard a meghatározandó elemek megfelelően

megválasztott és ismert tömegű mennyiségét tartalmazza. Az aktiválás után a mintát és a standardot külön-külön, de azonos detektorral és mérési geometriában mérjük, valamint az analitikai nuklid ugyanazon energiájú sugárzását használjuk a kiértékelésre.

$$m_x = \frac{\left( \frac{N_p/t_m}{D * C} \right)_{\text{minta}}}{\left( \frac{N_p/t_m}{D * C} \right)_{\text{standard}}}$$

$$A_{sp} = \frac{N_p/t_m}{S * D * C * m}$$

Ahol:  $N_p/t_m = A_p$  számlálási sebesség,  $S_x = S_s$ ,  $A_{sp}$  az elemi standard specifikus számlálási sebessége.

Előnye, hogy a neutronter jellemzése és a nukleáris konstansok ismerete ( $\varphi_n$ ,  $\varphi_e$ ,  $\sigma$ ,  $I_0$ ,  $\epsilon_p$ ) szükségtelen, mivel közvetlen összehasonlításon alapszik. Hátránya, hogy munkaigényes (multieleemes meghatározások), kedvező esetben azonban, 1% körüli pontosság érhető el. A relatív módszer óriási előnye az egyszerűség és a közvetlen kiértékelés: szükségtelenné teszi nukleáris konstansok ismeretét, a neutronter jellemzését és az abszolút radioaktivitás meghatározását, mert közvetlen összehasonlításon alapszik. A meghatározás pontosságát elsősorban a standard előkészítési eljárása (pl. mérlegelés, hígítás, mikropipettázás és más műveletek bizonytalansága), a standard anyaga, kémiai formája (vegyületek esetében azok nem sztöchiometrikus összetétele), homogenitása és stabilitása nyomnyi mennyiségben) határozza meg. Sokelemes meghatározások esetén azonban, rendkívül munkaigényes (a minta előkészítésének akár többszörösét is jelentheti) és számos hibalehetőség forrása is lehet a nagyszámú (10-30) egyedi vagy közös elhelyezkedésű standard preparálása miatt. Nem minden elem (pl. urán) és minta (pl. korábbi geológiai korokból származó anyagok) esetében nyilvánvaló azok (jelenlegi) természetes izotópösszetétele, ami szisztematikus hibát eredményezhet. A módszer nagy hátránya, hogy nem végezhető el a mennyiségi meghatározás standard hiányában, illetve azon elkerülhetetlen esetekben, amikor nem „várt” radionuklidot (sugárzást) azonosítunk a mintában és ismételt analízisre van szükség (ha ez egyáltalán lehetséges).

### ***Komparátor (összehasonlító) standardizálás***

A módszer lényege, hogy a mintával együtt, egyetlen, alkalmasan kiválasztott standard is besugárzásra kerül, és a számításokhoz szükséges nukleáris adatok bizonyos együttesét is mérjük úgy, hogy nem az értékek abszolút értékét mérjük, hanem összehasonlítjuk egy megfelelően kiválasztott standard adataival<sup>8</sup>. Az összehasonlító standard a *komparátor*, mért adatai a  $k_c$  faktorok, melyek kísérleti meghatározása szükséges minden vizsgálandó elemre. Komparátorként leggyakrabban nagy tisztaságú arany-, irídium-, kobalt-, cink-, réz-, nikkel- vagy vas-fóliák használhatóak az aktiválási idő függvényében. A  $k_c$  faktor állandó, ha a mérési körülmények mindig azonosak (pl. új detektor alkalmazása a  $k_c$  faktorok újramérését igényli) és az aktiváló forrás neutronere, termikus/epitermikus neutronfluxus aránya nem változik.

A komparátor módszer bizonyos szempontból egyesíti az abszolút és relatív módszerek előnyeit. A körültekintően alkalmazott módszer pontossága akár 3% is lehet, vagyis nagyon közelít a relatív módszerekhez. Egyszerűsége multielemes meghatározások esetén is megmarad, ami fontos szempont nagyszámú és hasonló kémiai összetételű minták sorozatának rutinszerű kiértékeléseikor. Ugyanakkor, nagy hátránya a  $k_c$  tényező nagyfokú specifikása. A tényező értéke csak adott aktiváló és mérőberendezés összeállításához érvényes.

### ***A $k_0$ - módszer<sup>9</sup>***

A komparátor módszer hátrányának megszüntetése érdekében a  $k_c(a)$  tényezőben szereplő nukleáris mennyiségekből olyan újabb, kisebb csoport hozható létre, amelyik független lesz a kísérleti körülményektől. Ezáltal, egy általánosabban használható, más laboratóriumok által is alkalmazható nukleáris paraméter nyerhető ( $k_0$ ), ami ugyanakkor megmarad relatív, tehát jobban és pontosabban mérhető mennyiségnek. Mivel a Budapesti Kutatóreaktor stabil, jól termalizált és nagyfluxusú ( $\Phi_s > 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>s) besugárzócsatornákkal rendelkezik, a Genti Egyetemmel való együttműködés keretében kidolgozott  $k_0$ -standardizálási módszer került alkalmazásba<sup>10</sup>.

Egy tetszőleges, meghatározandó elem standardját és egy komparátort (\*) besugározva a mért számlálási sebességekre felírható<sup>11,12</sup>:

$$\frac{N_p/t_m}{(N_p/t_m)^*} = \frac{w}{w^*} \cdot \frac{SDC}{S^*D^*C^*} \cdot \frac{M^*}{M} \cdot \frac{\theta}{\theta^*} \cdot \frac{\gamma}{\gamma^*} \cdot \frac{\sigma_0}{\sigma_0^*} \cdot \frac{f+Q_0}{f+Q_0^*} \cdot \frac{\epsilon_p}{\epsilon_p^*}$$

$$k_0 = \frac{M^*}{M} \cdot \frac{\theta}{\theta^*} \cdot \frac{\gamma}{\gamma^*} \cdot \frac{\sigma_0}{\sigma_0^*}$$

$$Q_0 = \frac{I_0}{\sigma_{th}}$$

### *Az $\alpha$ paraméter szerepe*

Az 1/E lefutású epitermikus neutron spektrum csak bizonyos feltételek mellett teljesül. Az epitermikus neutronfluxus jól közelíthető az  $1/E^{1+\alpha}$  függvénnyel, ahol  $\alpha$  az epitermikus alaktényező. Az ideálistól való eltérés (az  $(n, \gamma)$  reakciók többségénél a rezonanciák száma  $>100$ ) mérésére és a szükséges korrekciókra új módszereket dolgoztak ki.

Az  $\alpha$  értéke könnyűvízes moderátoroknál a zónához közeli, gyengén termalizált csatornában negatív vagy nulla. Más típusú reaktoroknál (pl. grafit, nehézvíz moderált) ez az érték elérheti a +0.2-t is. Egyes, kis teljesítményű reaktoroknál a besugárzó csatornák  $\alpha$  paraméterei évekig nem változnak, míg a nagyobb teljesítményűeknél az intenzívebb fűtőelemkiégés okozta sűrű zónaátrendezés miatt gyakrabban.

A termikus/epitermikus fluxusarány és  $\alpha$  egyidejű meghatározására<sup>13,14</sup> három különböző módszert vezettek be:

- besugárzás Cd-árnyékolásban,
- besugárzás Cd-árnyékolásban és csupaszon,
- besugárzás árnyékolás nélkül (ez a hármas csupasz fólia monitorozási módszer a  $^{94}\text{Zr}$   $^{96}\text{Zr}$  és  $^{197}\text{Au}$  izotópok felhasználásával)

### *A $k_0$ -tényező*

- Olyan „nukleáris konstans”, amely két elem specifikus aktivitásainak ( $A_{sp}$ ) hányadosa tiszta termikus fluxusban ( $\Phi_e=0$ ) történő besugárzáskor.
- Besugárzási és mérési geometriától független.
- Adott magreakcióban keletkező nuklid, adott gamma-sugárzására jellemző.

Az irodalmi  $k_0$ -tényezőket, általában az arany komparátorra adják meg, mert egyetlen stabil izotópja és jellemző gamma-sugárzása van.

Az  $(n,\gamma)$  magreakció nukleáris adatai ( $Q_0$ ,  $T_{1/2}$ ) jól ismertek.

**$^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ ,  $T_{1/2}=2,695\text{nap}$ ,  $E_\gamma=411,8\text{keV}$ ,  $K_{0\text{Au}}=1$**

A  $k_0$ -tényező kísérleti meghatározása Au komparátorra:

1. Csupasz monitor módszer, ha  $f$  és  $Q_0$  nagy pontossággal ismertek:

$$k_{0,\text{Au}}(x) = \frac{A_{sp,x}}{A_{sp,\text{Au}}} * \frac{f + Q_{0,x}}{f + Q_{0,\text{Au}}} * \frac{\epsilon_{p,\text{Au}}}{\epsilon_{p,x}}$$

2. Kadmium-különbség módszer (Cd-árnyékolással és anélkül besugározva)

$$k_{0,\text{komp}}(x) = \frac{A_{sp,x} - (A_{sp,x})_{\text{Cd}}}{A_{sp,\text{Au}} - (A_{sp,\text{Au}})_{\text{Cd}}} * \frac{\epsilon_{p,\text{Au}}}{\epsilon_{p,x}}$$

Ugyanakkor minden olyan izotóp használható komparátorként, amelyek  $k_{0,\text{Au}}(\text{komp})$  tényezője pontosan ismert, illetve előzetesen meghatározott.

A  $k_0$ -tényezők az irodalomban rendelkezésre állnak 144  $(n,\gamma)$  ill.  $(n,f)$  magreakcióra ( $k_0$ -database-2015).

Bármely  $(n,\gamma)$  reakció felhasználható analitikai célokra, ha a jellemző  $k_{0,\text{Au}}(x)$  tényezők, a  $Q_0$  és a felezési idő nagy pontossággal ismertek.

Amit kísérletileg kell meghatározni, az az aktiváláskor fennálló fluxusarány ( $f$ ), ami a termikus és epitermikus neutronok aránya, az  $\alpha$  epitermikus alaktényezőt valamint a detektor hatásfokának pontos energiakalibrálását.

### ***Az elemi koncentráció számítása***

Egy ismeretlen  $x$  elem koncentrációja egy  $w$  tömegű mintában az alábbi összefüggéssel számítható:



$$c_x(\text{ppm}) = \frac{\left(\frac{N_{p,x}}{t_m \cdot S \cdot D \cdot C \cdot W}\right)}{A_{sp,Au}} * \frac{1}{k_{0,Au}(x)} * \frac{f + Q_{0,Au}(\alpha)}{f + Q_{0,x}(\alpha)} * \frac{\epsilon_{p,Au}}{\epsilon_{p,x}} * 10^6$$

$$f = \frac{\phi_{th}}{\phi_e}, \quad \alpha: \text{epitermikus alaktényező}$$

H 1																	He	
Li	Be											B 1	C	N 500	O 500	F 1000	Ne 100	
Na 1.0	Mg 100											Al 10	Si 1000	P 1000	S	Cl 1.0	Ar 0.1	
K 10	Ca 1000	Sc 0.1	Ti 100	V 1.0	Cr 10	Mn 0.1	Fe 100	Co 1.0	Ni 100	Cu 10	Zn 10	Ga 1.0	Ge 100	As 0.01	Se 0.1	Br 0.1	Kr 1.0	
Rb 10	Sr 100	Y 100	Zr 100	Nb 1000	Mo 10	Tc	Ru 10	Rh 100	Pd 10	Ag 1.0	Cd 10	In 0.01	Sn 10	Sb 0.1	Te 0.1	I 0.1	Xe 1.0	
Cs 1.0	Ba 10	La 0.1	Hf 0.1	Ta 1.0	W 0.1	Re 1.0	Os 100	Ir 0.1	Pt 10	Au 0.01	Hg 10	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Ac																
			Ce 10	Pr 1.0	Nd 100	Pm	Sm 0.1	Eu 1.0	Gd 10	Tb 1.0	Dy 0.1	Ho 1.0	Er 10	Tm 1	Yb 0.1	Lu 0.01		
			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Md	Fm	No	Lr		

	Gyorsneutron aktivációs analízis (FNAA)
	Prompt-gamma aktivációs analízis (PGAA)
	Termikus neutron aktivációs analízis (NAA)
	Neutronaktivációs analízissel nem vizsgálható elemek

\* a számok ppm egységekben vannak megadva

(4. Ábra) Neutronaktivációs analízissel vizsgálható elemek

Forrás: <https://www.nist.gov/laboratories/tools-instruments/instrumental-neutron-activation-analysis-inaa>

magyarosította: Juhász A.

## Célkitűzés

Kutatásom célja a Magyarország északnyugati részéről vett homokmintákból elválasztott nehézásvány-szeparátumok vizsgálata neutronaktivációs analitikai (NAA) módszerrel. A vizsgálat során a nehézásványok nyomelem- és ritkaföldfém-tartalmát kívántuk megismerni, hogy ezáltal összefüggést keressünk ezek teljes (bulk) kémiai analitikai eredményei és szemcseméret eloszlása, valamint ásványi összetétele között.

A nehézasványokban dúsuló ritkaföldfémek (RFF) pontos mennyiségi analízisére az egyik legalkalmasabb módszer az NAA. Néhány, nehézasványokban gyakori elem nem vizsgálható ezzel a módszerrel, azok túl rövid felezési ideje vagy nagy aktiválási energiája miatt (pl: H, N, O, Si, Al, Mg, Ca...), ezeket az elemek a PGAA vagy FNAA módszerekkel vizsgálják eredményesen.

Az NAA módszert előnyös tulajdonságai (pl. nagy szelektivitás, érzékenység, roncsolásmentesség, mátrix-függetlenség, panoráma analízis stb.) versenyképessé teszik az elterjedtebb és olcsóbb elemanalitikai módszerekkel szemben.

Munkám célja volt, hogy részletesen megismerjem az NAA módszert és a hozzá kapcsolódó mintaelőkészítési folyamatokat, mérő berendezéseket, illetve elsajátítsam a gamma spektrumok illesztésének és kiértékelésének folyamatát. Továbbá célom volt megismerkedni az üledékes geológiai minták, pontosabban a homokminták nehézasvány-tartalmának vizsgálati módszereivel, a minták előkészítésétől, azok optikai mikroszkópos leírásáig.

## **A vizsgált minták**

Magyarországi északnyugati régiójában található öt kavicsbánya homok frakciójából (szemcseméret 0-4 mm) származó minták nehézasvány-tartalmát vizsgáltuk.

A homok különféle kőzetek és ásványi anyagok apró szemű törmeléke, melyet a víz, jég vagy szél elhordott eredeti képződési helyéről és alkalmas helyen lerakott. A homok név egyben szemcseméret tartományt is jelöl, homoknak nevezzük a 0,063 - 2 mm közötti szemnagyságú talajt is. A homok anyaga igen sokféle lehet, de a kvarc az az ásvány, amely az összetett kőzetek ásványi elegyrészei között a legfontosabb, legerősebben áll ellen a mállásnak valamint a törmelékek között a leggyakoribb, így a homok legáltalánosabb és leggyakoribb anyagának tekintjük. A homokszemek általában gömbölyűek, néha szögletesek, ritka esetben pedig apró, néha tökéletes kristályok. Attól függően, hogy milyen ásványok dúsítják, eltérő típusú homokfajtákat különböztethetünk meg (pl.: kvarchomok, dolomit-homok, glaukonit-homok, magnetit-homok, arkoze-homok). A homok általában az alluviális (folyóvízi), diluviális (jég szállította) harmadkori rétegeknek képezi anyagát, fiatalabb képződményű, ritkán azonban idősebb rétegeknek is alkotója lehet.

A vizsgálat tárgya, a homokmintákból leválasztott nehézásvány-frakció, amelyet a „A vizsgált minták” és a „Nehézásványok” című fejezetek ismertetnek részletesen. A *nehézásvány* a homok  $2,85 \text{ g/cm}^3$ -nél nagyobb sűrűségű alkotóelemeit tartalmazó ásványegyüttese. Ennek mennyisége általában kevés (az összes anyag maximum néhány százaléka, általában mennyisége az 1%-ot sem éri el). Ennek oka, hogy eleve kevés ilyen jellegű szemcsét tartalmaz a lepusztult kőzet (pl. cirkon, rutil, stb.) illetve amiből sokat, azok mállékony elegyrészek (pl. olivin, piroxén, amfibol). Ugyanakkor, ezek olyan meghatározó jelentőségű ásványok, amelyek a lehordási terület kőzetsorozatára jellemzőek.

### *A vizsgált minták származási területének földtörténeti áttekintése*

Az északnyugati magyarországi régió területét a földtörténeti harmadkor végén a Pannon beltenger borította. A korszak végére azonban a tenger medencéje kavics, agyag, homok és finom márga rétegekkel töltődött fel, elsékélyesedett és helyén egy kiédesülő vizű tórendszer maradt vissza. Ez idő tájt léptek a medencébe az Alpok és a Kárpátok irányából érkező folyók, a Duna, a Morva, a Rába, a Vág és a Nyitra elődei, melyek esésüket elvesztve, lerakódó kavicsos-homokos hordalékkal tovább töltötték a levantei korszakban viszonylag gyorsan süllyedő medencét. Folyásirányuk a maitól még eltért. 2,0-2,5 millió évvel ezelőtt az Ős-Duna az Alpok és Kárpátok vonulatát még a mai ausztriai Bruck környékén tört át és déli irányban folytatta útját. Később a medence fokozatos feltöltődése miatt, a folyók iránya megváltozott és a negyedkor kezdetén, körülbelül 1 millió évvel ezelőtt, a Duna már a Hainburgi-hegy és a Kis-Kárpátok között tört be, s kelet felé építette ki a medrét. Ezzel a térség mai vízrendszere kezdett kialakulni. A folyót a saját maga által épített akadályok új medrek kialakítására készítették, és ezáltal egyre nagyobb területre kiterjedő, legyezőszerűen szétágazó, majd összefutó szövevényes ágrendszer alakult ki. A lerakódott hordalék többször átrendeződött, kimosódott, miközben a finom hordalék távolabbra került. Így egy hordalékkúp alakult ki, ami, mivel a medence süllyedése még mindig tartott, néhol 200 m vastagságú kavicsréteg kialakulását eredményezte. Ez a folyamat jelenleg is tart. A hordalékkúp csúcsa Pozsony térségében van. Oldalait ma a Mosoni-Duna és az Érsekújvári-Duna jelzi, alapja pedig a Győr-Gönyű-Gúta vonalon van.

Magyarországon a kitermelhető kavics döntő többsége az elmúlt néhány millió év során, a pleisztocén időszakban halmozódott fel. E törmelékes-üledékes összleteket a nagyobb folyók, főleg az ősi Duna és Tisza, valamint azok nagyobb mellékfolyói hordták és rakták le, így a hordalékanyag összetételét a folyó lehordási területének közetei határozzák meg. Az üledékben levő, igen ellenálló kvarcit (gyakorlatilag tiszta kvarc) aránya a szállítódás mennyiségének növekedésével arányosan nő, míg a kémiai és fizikailag kevésbé ellenálló ásványok (pl. földpát, különböző kőzetfragmentumok, nehézasványok) aránya csökken.

### A vizsgált bányák

Az ország északnyugati régiójában van a legtöbb működő kavicsbánya, innen a Mosonmagyaróvár, Hegyeshalom, Jánossomorja, Darnózseli és Babót környéki kavicsbányák homok anyagát vizsgáltam (**5. Ábra**). Mind az öt település a Kisalföldön, azon belül a Győri-medencében található, Európa legnagyobb folyami hordalékkúpján, a Szigetköz és a Csallóköz területén. A Győri-medencét a Duna, Dráva, Répce, Lajta, Rábca és Marcal folyók töltötték fel hordalékukkal, amely így tökéletes síksággá formálódott. A bányákból a homokos kavicsot markolós úszókotróval termelik ki a víz alól, a tó vizével mossák, majd osztályozzák. Agyagiszap tartalma, a kitermelt és mosott kavics és homok anyagának 3%-a alatt marad.



(**5. Ábra**) A Kárpát-medence folyói a mintavételi helyek jelölésével 1: Babót, 2: Hegyeshalom, 3: Mosonmagyaróvár, 4: Jánossomorja, 5: Darnózseli

## ***Babót***

A Kisalföld nagytájégségén belül, a Győri-medence középtájában, azon belül a Kapuvári-síkságon terül el. A bányászott réteg negyedidőszaki folyóvízi homok. Homokbányája (**6. Ábra**) a Rába és Mosoni Duna között, inkább a Rába árterében található. Törmelékanyaga tehát közvetlenül a Keleti-Alpokból, ezen belül is nagyrészt a Kelet-Alpi kristályos vonulatból, a Penninikumból és kisebb részt a Gráci paleozoikomból származik.



(**6. Ábra**) A bánya Babót északkeleti sarkánál

## ***Hegyeshalom***

Természetes folyóvize az északi oldalon kanyargó Lajta folyó. A síkfelületű, löszös iszapfelszín alatt található vastag kavicsréteg, a negyedidőszaki folyóvízi kavics és homokos kavics képezi a település egyetlen nyersanyagforrását. A hegyeshalmi kavicsbánya a Kisalföld bejáratánál található (**7. Ábra**). Itt a Duna pleisztocén 2-es teraszanyagát bányásszák.





(7. Ábra) A bánya Hegyeshalom déli oldalán

### ***Mosonmagyaróvár***

A Mosoni-Dunától mintegy 3 kilométerre fekvő, a Felső-szigetközben elterülő település. A város a Dunántúl északnyugati részén, a Kisalföld legmélyebben fekvő középtáján, a Győri medencében fekszik. Területén folyik át a Lajta, amely itt egyesül a Mosoni-Dunával. Maga a település is a Duna hatalmas, 50-200 m vastag, negyedidőszaki homoktörmelékkúpjára épült. A kavicsbánya Mosonmagyaróvár ÉNy- határában van, így a Mosoni Duna teraszanyagát tárja fel (8. Ábra).



(8. Ábra) A bánya Mosonmagyaróvár északi határában

## *Jánossomorja*

A Kisalföld nagytájegységen belül, a Győri-medence középtájában, azon belül a Fertő-Hanság medencében fekszik **(9. Ábra)**. A Mosoni-Dunától körülbelül 10 km távolságban nyugatra, Hegyeshalomhoz és Mosonmagyaróvárhoz képest dél, délnyugati irányba helyezkedik el. A bányászott kavics és homok anyag, a negyedidőszaki deluviális kavics és homokos kavicsréteg. Az itt található törmeléket a pleisztocén terasz anyagából nyerik ki.



**(9. Ábra)** A bánya Jánossomorjától északra

## *Darnózseli*

A település a Szigetközben, ezen belül is az úgynevezett Felső-Szigetközben található. Az Öreg-Dunától körülbelül 4 kilométerre, a Mosoni-Dunától mintegy 3 kilométerre fekszik **(10. Ábra)**. A bányában az ős Duna hordalékát 20-30 méteres mélységből termelik ki és a helyszínen osztályozzák.





(10. Ábra) A bánya Darnózseli északnyugati határában

## *Nehézásványok*

A felsorolt északnyugati magyarországi kavicsbányákból vett homokmintákból leválasztott nehézásvány-szeparátumokat vizsgáltuk. Ebben a fejezetben bemutatásra kerülnek a nehézásványok, azok szerepe és a nehézásvány-leválasztás folyamata, valamint a szeparátumokon elvégzett vizsgálatok.

A makroszkópos valamint a binokuláris mikroszkópos megfigyelések már régóta részét képezik a geológia leíró gyakorlatának. A módszer, amelyet minden ásványvizsgálatnál elsőként alkalmaznak, a polarizációs mikroszkópos petrográfiai (kőzettani) vizsgálat (PM). Az eljárás legfőbb előnye, hogy egy kőzetminta összes alkotója egyenként és egymással összefüggésben is tanulmányozható, meghatározható az ásványi összetétel és információ nyerhető a származásáról (kerekítettség, törések, zárványok stb. alapján).

A mikroszkópos vizsgálatoknál jelentkező hiányosságok pótlására (csak optikai tulajdonságok vizsgálhatók, a kémiai összetétel nem határozható meg pontosan) szolgálnak a műszeres ásványtani módszerek (röntgen pordiffrakció (XRD), derivatográfia (DTA+TG)), amelyek képesek a finomszemcsés anyag ásványos összetételének meghatározására. Bár abszolút értelemben véve az XRD módszer is roncsolásos (a töredék eredeti formájában nem nyerhető vissza), de anyagvizsgálati szempontból nem tekinthető annak, mivel az elkészített



porminta anyagi összetétele nem roncsolódik, további vizsgálatokra felhasználható. A derivatográfia hasonló mintaelőkészítést igényel, azonban az analízis során a minta roncsolódik. A módszerek előnye, hogy a legfinomabb szemcsés alkotókról is képesek ásványtani információt nyújtani.

Az ásványos összetételre vonatkozó információkat szolgáltató másik módszercsoportba a molekula-spektroszkópiái (infravörös spektroszkópia (IR), Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia (FT-IR), Raman spektroszkópia (RS)) és a proton aktivációs módszerek (proton indukált röntgen kisugárzásos módszer (PIXE), proton indukált gamma kisugárzásos módszer (PIGE)) tartoznak.

A negyedik módszercsoport kémiai elemzéssel foglalkozik. Ezek a teljesség igénye nélkül a következők: röntgen fluoreszcens analízis (XRF), neutron aktivációs technikák (hagyományos neutron aktivációs analízis (INAA), prompt gamma aktivációs analízis (PGAA)), tömeg- és egyéb spektroszkópiái módszerek (tömegmérésen alapuló, illetve atom emissziós induktívan csatolt plazma spektroszkópia (ICP-MS, ICP-AES), atom abszorpciós spektroszkópia (AAS)). A módszerek nagyobbik része homogenizált pormintából vagy az abból olvasztással nyert homogén üvegmintából vagy oldatból, esetleg annak porlasztásával végzi a mérést, így teljes mintaösszetételt ad, viszont minden tekintetben roncsolásos (azaz a minta nem használható további elemzésre), bár nem igényel nagy anyagmennyiséget (max. 3–5 g). Teljesen roncsolásmentes és semmiféle mintaelőkészítést sem igényel az NAA, azonban a minta eredeti állapotban történő visszaszerzése hosszabb ideig tart a felaktiválódás miatt.

A nehézasványok az üledékes kőzetekben, esetünkben a homokmintákban előforduló apró (0,063-0,250 mm) ásványszemcsék. Ezen ásványszemcsék tanulmányozásával ismereteket szerezhetünk a lepusztulási területről, illetve annak változásáról térben és időben, továbbá a szállítás közbeni változásokat is nyomon követhetjük. De a vizsgálatoknak számos más célja is lehet, mint például<sup>15</sup>:

- Környezetvédelmi, környezetgeokémiai vizsgálatok: bizonyos (toxikus) elemek milyen ásványfázishoz kötődhetnek.
- Gazdasági hasznosíthatóság vizsgálata: ásványi nyersanyagok kimutatása (pl ónkő stb. torlatok, érctelepek kísérő ásványai [szulfidok, barit, gipsz stb.]).

- Talajtani vizsgálatok: talajképző kőzetek illetve a talajokban végbemenő folyamatok minőségére következtetések.
- Diagenetikai vizsgálatok: a szállítási lerakódási folyamatok viszonyai illetve ezek során történő változások értelmezése.
- Archeometriai vonatkozású vizsgálatok: kerámiák vizsgálata, nyersanyagazonosítás (elsősorban soványítóanyag).
- Bűnüldözési vonatkozású vizsgálatok: pl. cipőn, ruhán feltapadt talaj vagy laza kőzetmaradvány helyszíni előfordulásának vizsgálata.

### A nehézásványok leválasztása

A vizsgálatok során a teljes anyag, nehéz- és könnyűásvány vizsgálatát elvégzik. A könnyű részleg leggyakoribb elegyrészei a kvarc, földpátok, karbonátok, fehér csillámok, illetve esetenként egyéb ásványok, ezt a frakciót a jelen dolgozat nem tárgyalja. A nehéz részleg mennyisége általában kevés (az összes anyag maximum néhány százaléka, általában az 1%-ot sem éri el). Ennek oka, hogy eleve kevés ilyen jellegű szemcsét tartalmaz a lepusztult kőzet (pl. cirkon, rutil, stb.), illetve a gyakori szemcsék (pl. olivin, piroxén, amfibol) mállékonyak. Ugyanakkor ezek olyan meghatározó jelentőségű ásványok, amelyek a lehordási terület kőzetsorozatára jellemzőek.

Az öt bányából vett minta tiszta, kevés kavicsot tartalmazó homokminta volt. A nehézásvány-leválasztást, azok mérését és vizsgálatát, minden mintánál azonos módon, Dr. Józsa Sándor egyetemi tanár az ELTE Földrajz-Földtudományi Intézet, Közettan-Geokémiai Tanszék munkatársa végezte, az alábbi lépések szerinti ütemezéssel:

1. A teljes minta kiszárítása szobahőmérsékleten, szabad levegőn.
2. A teljes minta tömegmérése.
3. A teljes minta szitálása 63, 125 és 250  $\mu\text{m}$ -es sziták használatával száraz – nedves – száraz módszerrel, két mérettartomány a 63-125  $\mu\text{m}$ -es és a 125-250  $\mu\text{m}$ -es részlegének elkülönítése céljából.

4. A kapott két különböző mérettartományba tartozó rész tömegének pontos megmérése Precisa XT 120A típusú mérleggel.
5. A nehéz frakció könnyű részlegtől való különválasztása mind a két kiválasztott mérettartományú (63-125 µm és 125-250 µm) anyag 1-8 grammjából nehézfolyadék (bromofom) használatával elszívófülke alatt, többszörös alkoholos tisztítással.
6. A két különböző szemcseméretű tartomány könnyű és nehéz részlege tömegének pontos megmérése Precisa XT 120A típusú mérleggel (**1. Táblázat**).
7. Műgyantába ágyazott polírozott preparátum készítése a két eltérő mérettartományú nehézásvány frakció szemcséiből.
8. A szemcsék azonosítása, tulajdonságainak megfigyelése, mennyiségük meghatározása Nikon OPTIPHOT2-POL polarizációs átvilágító fénymikroszkóppal.

A leválasztott nehézásványok között voltak átlátszó és nem átlátszó, egyéb vagy nyomnyi mennyiségben jelenlévő ásványok. Az alábbiakban felsorolom, milyen változatos formákban fordulnak elő a szeparátumokban és röviden leírom jellemzőiket.

**Zoisit (11. és 14. Ábra):** Színtelen, apró ásványzárványokat tartalmazó szemcsék. Rendellenes ibolya interferencia szín gyakran látható. Általános képlete:  $Ca_2Al_3[Si_2O_7][SiO_4]O(OH)$

**Gránát (12. és 16. Ábra):** Színtelen, halványrózsaszín változata ritka.

Általános képlete:  $X_3Z_2(SiO_4)_3$ , ahol X = Mg, Ca, Fe(II), Mn(II), stb.; Z = Al, Fe(III), Cr(III), V(III) stb.

**Epidot:** Jól koptatott, utána törött, középerős zöldessárga, belső részén erősen zárványos.

Általános képlete:  $Ca_2(Al_2Fe^{3+})(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$

**Amfibol (12. Ábra):** Két fő típusa különböztethető meg: 1. Tiszta, világos-középzöld közepesen erős pleokroizmusú, jól hasadó, nyúlt oszlopos termetű. 2. Közepes erősségű barnászöld-világoszöld pleokroizmusú, repedezett, kissé nyúlt táblás termetű.

Általános képlete:  $AX_2Y_5((Z)_8O_{22})(OH,F,Cl,O)_2$ ; A = Na, K; X = Na, Ca, Mg, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Li; Y = Mg, Li, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Al, Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>3+</sup>, Ti<sup>3+</sup>; Z = Si, Al.

**Apatit:** Zömök oszlopos sajátalakú szemcséi víztiszták.

Általános képlete:  $Ca_5(PO_4)_3(Cl/F/OH)$

**Rutil:** Töredékes, szilánkos xenomorf vörösbarna szemcsék.

Képlete:  $TiO_2$

**Turmalin** (11. **Ábra**): Sötétbarna-világosbarna, erősen pleokroós szemcséi töredékesek, szilánkosak, xenomorfok. Van hasonló küllemű sötétkék, erősen pleokroós változat is. Egyik szemcse sajátalakú, vékony oszlopos, zöldesbarna belső résszel és sárgásbarna szegéllyel. Bonyolult kémiai összetételű:  $A(D_3)G_6(Si_6O_{18})(BO_3)_3X_3Z$ ; A = Ca, Na, K; D = Al,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ , Li,  $Mg^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ; G = Al,  $Cr^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $V^{3+}$ ; X=O és/vagy OH; Z = F, O és/vagy OH)

**Titanit**: Közepesen koptatott, szabálytalan alakú, belseje erősen opakásvány zárványos.

**Képlete**:  $CaTi(SiO_4)O$

**Cirkon**: Kissé koptatott sajátalakú, törött végű, sok apró kristályzárványt tartalmaz.

**Képlete**:  $Zr(SiO_4)$

**Kianit** (14. **Ábra**): Erősen kopott, egyenetlen szélű, hasadozott, félig sajátalakú oszlopos, szintelen hasadási idomok. **Képlete**:  $Al_2(SiO_4)O$

**Sztaurolit**: kismértékben kopott, szemcséi közepes erősségű okkersárga pleokroizmust mutatnak. **Képlete**:  $Fe^{2+}_2Al_9Si_4O_{23}(OH)$

**Sillimanit** (15. **Ábra**): Vékony hosszú tűkből és szálakból álló halmazai nyúlt, szabálytalan alakúak. **Képlete**:  $Al_2(SiO_4)O$

Egyéb ásványszemcsék:

**Opakásványok**: Nagy részük izometrikus vagy kissé nyúlt, szabálytalan alakú, kisebb részük gömbölyded, jól koptatott izometrikus szemcse.

**Kőzettörmelék**: Zöldpala-, zoisit- és klorittartalmú metamorfitek, apró turmalinosgratitfillit, szericitfillit, saussurit, csillámpala.

**Klorit** (11. és 13. **Ábra**): Jól koptatott középzöld, sötétszürke.

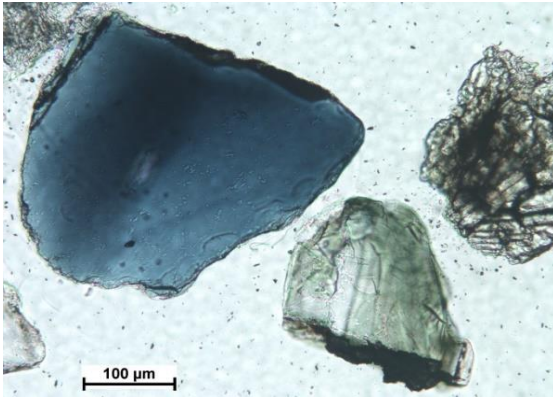
**Képlete**:  $Mg_5Al(AlSi_3O_{10})(OH)_8$

**Muszkovit** (8. **Ábra**): Vaskos, üde, tiszta sajátalakú szemcsék.

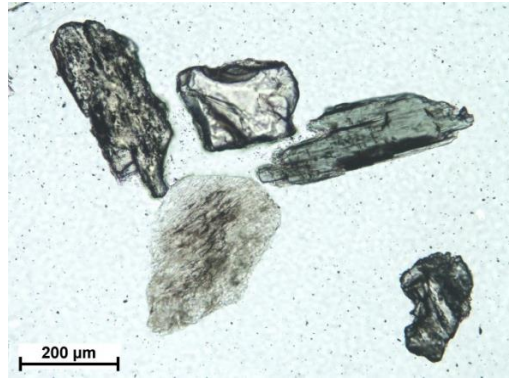
**Képlete**:  $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

**Kloritoid**: Közepesen kopott, kissé nyúlt, vastag lemezes.

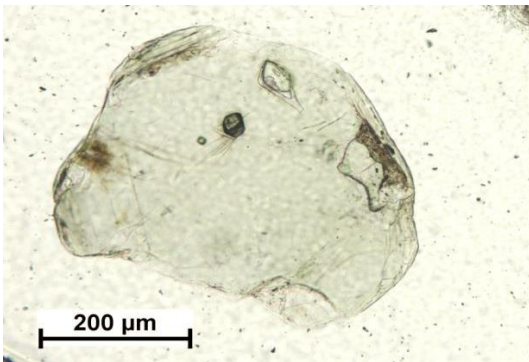
**Képlete**:  $(Fe^{2+}, Mg, Mn^{2+})Al_2(SiO_4)O(OH)_2$



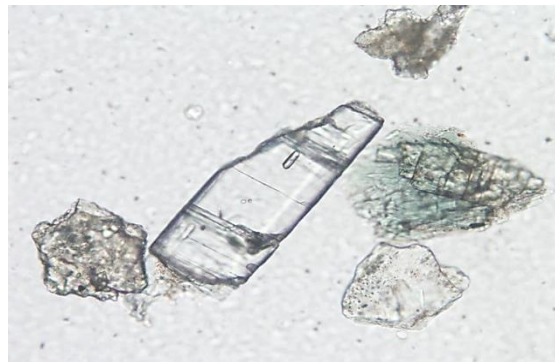
(11. Ábra) Kék turmalin, zoisit és kloritgazdag kőzet



(12. Ábra) Gránát, zoisit, zöldamfibol és muszkovit halmaz



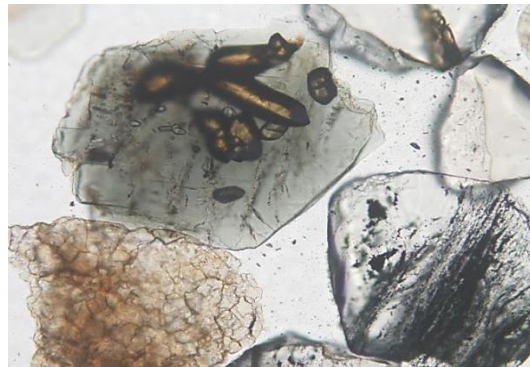
(13. Ábra) Klorit



(14. Ábra) Kianit, epidot-aktinolit tartalmú zöldpala és zoisit



(15. Ábra) Sillimanit



(16. Ábra) Gránát, zöldamfibol rutil zárványokkal, mikropátit

	Település	<63 $\mu$ m (gramm)	63-125 $\mu$ m (gramm)	125-250 $\mu$ m (gramm)
1.	Babót	0,74	2,70	33,59
2.	Hegyeshalom	6,19	19,77	97,32
3.	Jánossomorja	3,19	11,04	71,94
4.	Mosonmagyaróvár	0,91	11,48	73,53
5.	Darnózseli	1,68	8,29	66,2

**1. Táblázat** Az egyes településekről származó minták különböző frakcióinak tömegei.

	Település	N.Á. (gramm)	K.Á. (gramm)	N.Á. + K.Á. (gramm)	N.Á./össz (%)
1.	Babót	0,14	0,89	1,03	14,0
2.	Hegyeshalom	0,22	1,45	1,67	13,3
3.	Jánossomorja	0,36	1,97	2,33	15,3
4.	Mosonmagyaróvár	0,27	1,25	1,52	17,7
5.	Darnózseli	0,19	1,03	1,22	15,5

**2. Táblázat** A vizsgált homokminták 63-125  $\mu$ m közötti tartománya tömegmérési eredményei. (N.Á.: nehézásvány, K.Á.: könnyűásvány)

	Település	N.Á. (gramm)	K.Á. (gramm)	N.Á. + K.Á. (gramm)	N.Á./össz (%)
1.	Babót	0,15	2,83	2,98	5,0
2.	Hegyeshalom	0,28	4,11	4,39	6,4
3.	Jánossomorja	0,36	6,82	7,17	5,0
4.	Mosonmagyaróvár	0,42	5,95	6,37	6,5
5.	Darnózseli	0,31	5,66	5,97	5,1

**3. Táblázat** A vizsgált homokminták 125-250  $\mu$ m közötti tartománya tömegmérési eredményei.

Az **1. Táblázat**ban a nehézásványok tömegmérési eredményei láthatók méretfrakciók szerint elkülönítve, településenként ábrázolva. Ebből jól látható, hogy a szemcseméret csökkenésével arányosan a szemcsék megjelenésének gyakorisága is jelentősen csökkent. A **2.** és **3. Táblázat** a két fő frakcióban a nehéz- és könnyűásványok frakció részarányát/tömegét mutatja. Az ábrából kivehető, hogy a 63-125  $\mu$ m szemcsetartományban a nehézásványok

menyisége 13-15% közt, míg a 125-250 µm tartományban 5-6,5% közt mozog. Azaz a nehézásványok a kisebb szemcseméretű frakcióban gyakoribbak.

*Az egyes minták nehézásványtartalmának leírása*

A vizsgált mintákban talált ásványok gyakoriságát táblázatos formában (**4-8. Táblázatok**), illetve a nehézásványok eloszlását a két különböző frakcióban diagrammon (**17-21. Ábrák**) mutatom be településenkénti bontásban.

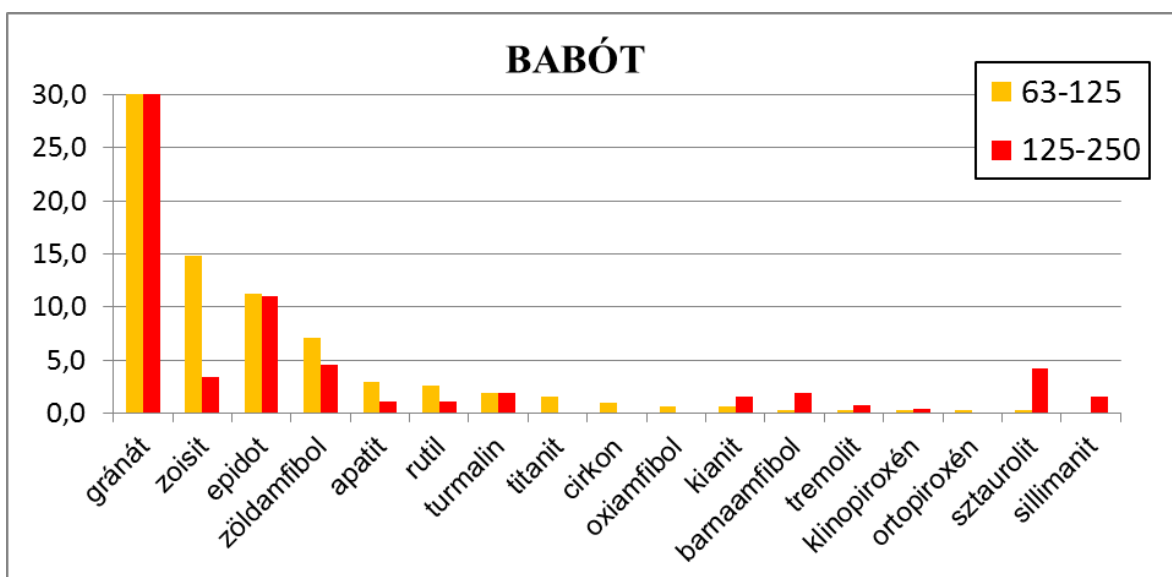
***Babóti homokminta nehézásványtartalma***

	<b>Babót</b>	63-125 µm		125-250 µm	
		Szemcse (db)	összes%-a	szemcse (db)	összes%-a
1	Gránát	167	36,9	174	53,2
2	Zoisit	46	10,2	9	2,8
3	Epidot	35	7,7	29	8,9
4	Zöldamfibol	22	4,9	12	3,7
5	Apatit	9	2,0	3	0,9
6	Rutil	8	1,8	3	0,9
7	Turmalin	6	1,3	5	1,5
8	Titanit	5	1,1	0	0,0
9	Cirkon	3	0,7	0	0,0
10	Oxiamfibol	2	0,4	0	0,0
11	Kianit	2	0,4	4	1,2
12	Barnaamfibol	1	0,2	5	1,5
13	Tremolit	1	0,2	2	0,6
14	Klinopiroxén	1	0,2	1	0,3
15	Ortopiroxén	1	0,2	0	0,0
16	Sztaurolit	1	0,2	11	3,4
17	Sillimanit	0	0,0	4	1,2

18	Opakásvány	127	28,1	43	13,1
19	Kőzettörmelék	8	1,8	4	1,2
20	Klorit	3	0,7	12	3,7
21	Muszkovit	2	0,4	5	1,5
22	Pátit	2	0,4	1	0,3
	TOTÁL	452	100,0	327	100,0

**4. Táblázat** A babóti minta nehézásványos összetétele

A gránátból kiemelkedően sok volt mindkét mérettartományban, darabszámuk szinte azonos, a kisebbik frakció 36%-át, a nagyobbik frakciónak pedig az 53%-át tette ki a mennyisége (**17. Ábra**). Ezt követi a zoisit, az epidot, az amfibol és az opakásványok 10 feletti szemcseszámmal mindkét frakcióban. A totál szemcseszámokat nézve a kisebbik frakció 5-10%-át, míg a nagyobbik frakció 3-27%-át tették ki ezek az ásványok. Ez alapján az mondható el, hogy a 125-250  $\mu\text{m}$ -es tartományban voltak gyakoribbak. A többi ásvány tíz, vagy az alatti szemcseszámmal volt jelen a mintában (arányuk kevesebb, mint 2%) (**4. Táblázat**). A kianit, a barnaamfibol, a sztaurolit, a sillimanit, a klorit és a muszkovit ásványok, a nagyobbik méretfrakcióban gyakoribbak voltak.



(**17. Ábra**) A babóti minta nehézásvány eloszlása a két frakcióban ( $\mu\text{m}$ ). (Y-tengelyen darabszám szerepel.)



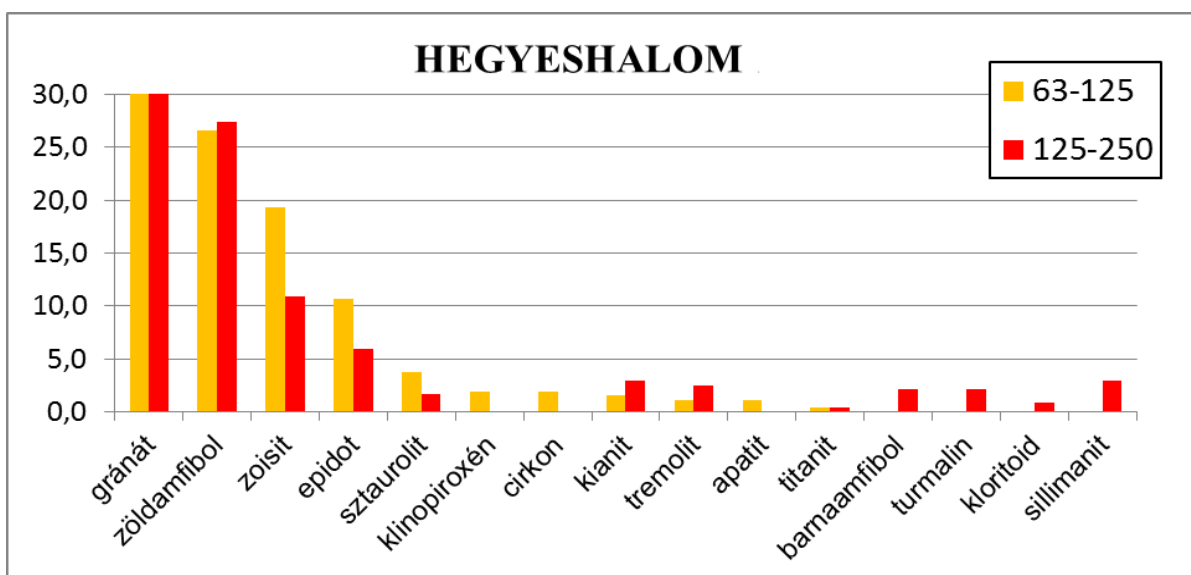
**Hegyeshalmi homokminta nehézásványtartalma**

	<b>Hegyeshalom</b>	63-125 µm		125-250 µm	
	Nehézásvány	szemcse (db)	összes %-a	szemcse (db)	összes %-a
1	Gránát	83	15,8	95	23,0
2	Zöldamfibol	70	13,4	65	15,7
3	Zoisit	51	9,7	26	6,3
4	Epidot	28	5,3	14	3,4
5	Sztaurolit	10	1,9	4	1,0
6	Klinopiroxén	5	1,0	0	0,0
7	Cirkon	5	1,0	0	0,0
8	Kianit	4	0,8	7	1,7
9	Tremolit	3	0,6	6	1,5
10	Apatit	3	0,6	0	0,0
11	Titanit	1	0,2	1	0,2
12	Barnaamfibol	0	0,0	5	1,2
13	Turmalin	0	0,0	5	1,2
14	Kloritoid	0	0,0	2	0,5
15	Sillimanit	0	0,0	7	1,7
16	Pátit	148	28,2	75	18,2
17	Opakásvány	49	9,4	13	3,1
18	Kőzettörmelék	19	3,6	25	6,1
19	Mikrit	18	3,4	29	7,0
20	Klorit	12	2,3	19	4,6
21	Muszkovit	10	1,9	6	1,5
22	Limonit	5	1,0	0	0,0
23	Biotit	0	0,0	9	2,2
	<b>TOTÁL</b>	<b>524</b>	<b>100,0</b>	<b>413</b>	<b>100,0</b>

**5. Táblázat** A hegyeshalmi minta nehézásványos összetétele

A gránátból volt a legtöbb mindkét frakcióban (**18. Ábra**), de a babóti mintához képest lényegesen kevesebb (kb. a fele). A kisebbik frakciónak a 16%-át, a nagyobbik frakciónak pedig

a 23%-át tette ki a mennyisége. A pátit volt a második leggyakoribb ásvány a mintában, a kisebbik frakcióban dúsult, ahol aránya 28%, míg a nagyobbik frakcióban ez csupán 18% volt. Említést érdemel a zöldamfibol, zoisit, az epidot, és az opakásványok 10 feletti szemceszámmal mindkét frakcióban (**5. Táblázat**), arányuk a totál értékeket figyelembe véve, mindkét frakcióban közel azonos, 5 és 15% között mozgott. A kianit, a tremolit, a barnaamfibol, a turmalin, a sillimanit, a mikrit, a klorit és a biotit ásványok, a nagyobbik méretfrakcióban voltak gyakoribbak.



(18. Ábra) A hegyeshalmi minta nehézásvány eloszlása a két frakcióban (μm). (Y-tengelyen darabszám szerepel.)

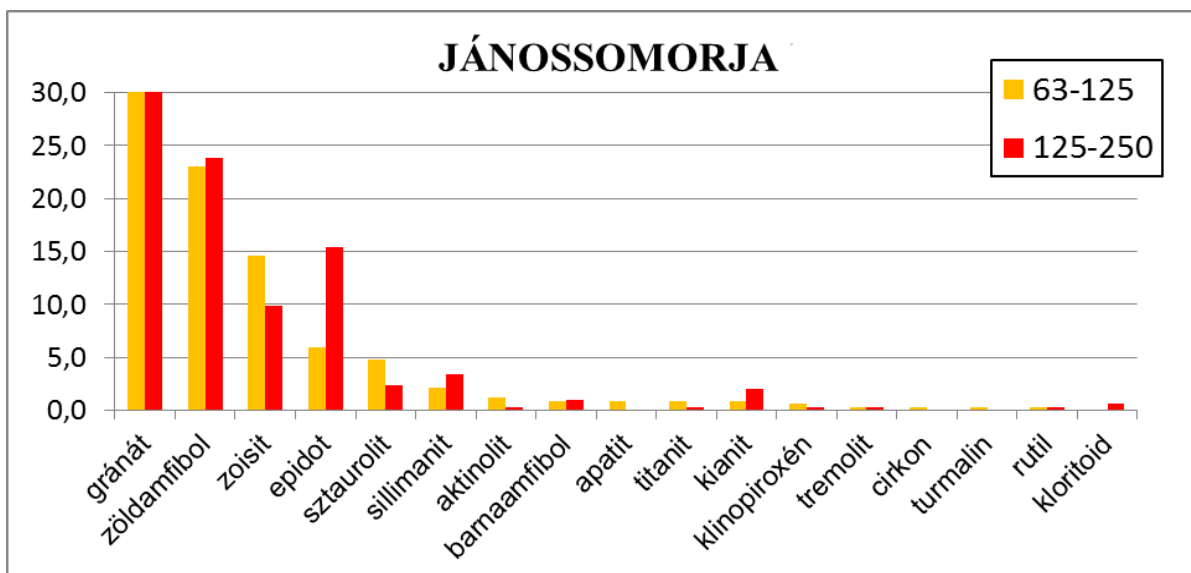
### *Jánossomorjai homokminta nehézásványtartalma*

	Jánossomorja	63-125 μm		125-250 μm	
		szemcse (db)	összes %-a	szemcse (db)	összes %-a
1	gránát	144	22,1	116	25,2
2	zöldamfibol	77	11,8	70	15,2
3	Zoisit	49	7,5	29	6,3
4	epidot	20	3,1	45	9,8
5	sztaurolit	16	2,5	7	1,5
6	sillimanit	7	1,1	10	2,2
7	aktinolit	4	0,6	1	0,2
8	barnaamfibol	3	0,5	3	0,7

9	Apatit	3	0,5	0	0,0
10	Titanit	3	0,5	1	0,2
11	Kianit	3	0,5	6	1,3
12	klinopiroxén	2	0,3	1	0,2
13	tremolit	1	0,2	1	0,2
14	cirkon	1	0,2	0	0,0
15	turmalin	1	0,2	0	0,0
16	Rutil	1	0,2	1	0,2
17	kloritoid	0	0,0	2	0,4
18	Pátit	168	25,8	62	13,4
19	opakásvány	64	9,8	28	6,1
20	kőzettörmelék	45	6,9	21	4,6
21	Klorit	26	4,0	35	7,6
22	limonit	4	0,6	0	0,0
23	mikrit	4	0,6	0	0,0
24	Biotit	3	0,5	9	2,0
25	muszkovit	2	0,3	13	2,8
	TOTÁL	651	100,0	461	100,0

**6. Táblázat** A jánosomorjai minta nehézásványos összetétele

A gránátból volt a legtöbb mindkét frakcióban (**19. Ábra**), a kisebbik frakciónak a 22%-át, a nagyobbik frakciónak pedig a 25%-át tette ki a mennyisége. A pátit a második leggyakoribb ásvány a mintában, a kisebbik frakcióban dúsult, ahol aránya 25%, míg a nagyobbik frakcióban ez csupán 13%. Említést érdemel a zöldamfibol, zoisit, az epidot, a sztaurolit, a klorit és az opakásványok 10 feletti szemcseszámmal mindkét frakcióban (**6. Táblázat**), ez 3-15%-os arányt jelent az egyes frakciók totál szemcse darabszámához viszonyítva. A többi ásvány átlagban 10 db alatti szemcseszámmal volt jelen, ami kevesebb, mint 2%. A kianit, a kloritoid, a sillimanit, a klorit, a muszkovit és a biotit ásványok, a nagyobbik méretfrakcióban voltak gyakoribbak.



(19. Ábra) A jánosmorjai minta nehézásvány eloszlása a két frakcióban (μm). (Y-tengelyen darabszám szerepel.)

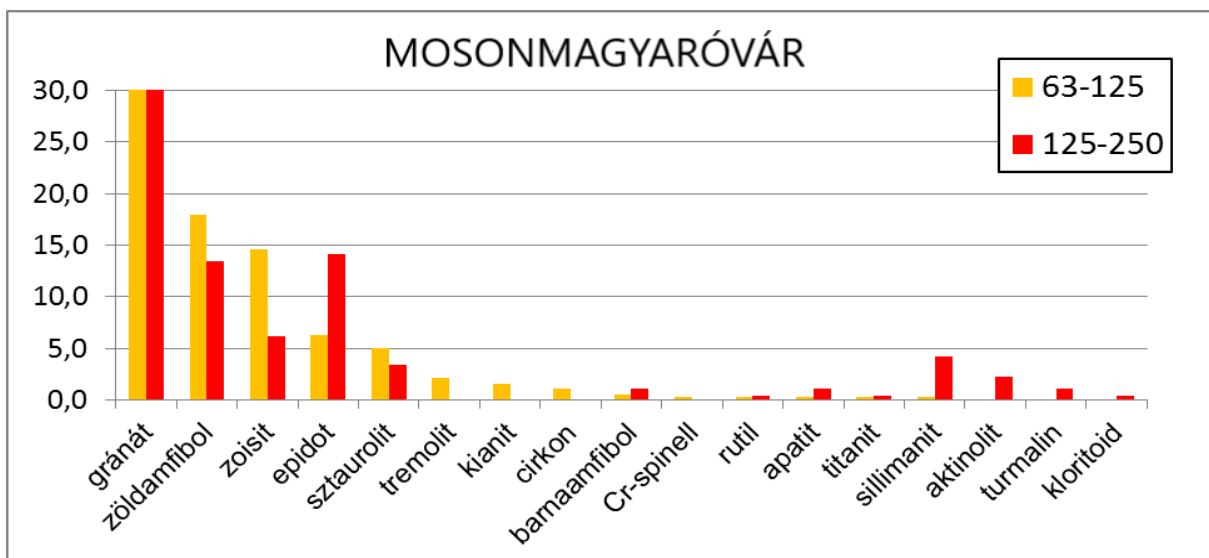
#### Mosonmagyaróvári homokminta nehézásványtartalma

	Mosonmagyaróvár	63-125 μm		125-250 μm	
		szemcse (db)	összes %-a	szemcse (db)	összes %-a
1	Gránát	187	29,4	135	22,5
2	Zöldamfibol	68	10,7	35	5,8
3	Zoisit	55	8,7	16	2,7
4	Epidot	24	3,8	37	6,2
5	Sztaurolit	19	3,0	9	1,5
6	Tremolit	8	1,3	0	0,0
7	Kianit	6	0,9	0	0,0
8	Cirkon	4	0,6	0	0,0
9	Barnaamfibol	2	0,3	3	0,5
10	Cr-spinell	1	0,2	0	0,0
11	Rutil	1	0,2	1	0,2
12	Apatit	1	0,2	3	0,5
13	Titanit	1	0,2	1	0,2
14	Sillimanit	1	0,2	11	1,8

15	Aktinolit	0	0,0	6	1,0
16	Turmalin	0	0,0	3	0,5
17	Kloritoid	0	0,0	1	0,2
18	Opakásvány	92	14,5	36	6,0
19	Pátit	92	14,5	113	18,8
20	Kőzettörmelék	44	6,9	85	14,2
21	Klorit	22	3,5	33	5,5
22	Mikrit	5	0,8	51	8,5
23	Muszkovit	2	0,3	13	2,2
24	Biotit	0	0,0	7	1,2
25	Sziderit	0	0,0	1	0,2
	TOTÁL	635	100,0	600	100,0

**7. Táblázat** A mosonmagyaróvári minta nehézásványos összetétele

A gránátból volt a legtöbb mindkét frakcióban (**20. Ábra**), a kisebbik frakciónak a 29%-át, a nagyobbik frakciónak pedig a 22%-át tette ki. A pátit volt a második leggyakoribb ebben a mintában is, érdekes, hogy itt a nagyobbik frakcióban dúsult, ahol aránya 19%, míg a kisebbik frakcióban ez csupán 14% volt. Említést érdemel a zöldamfibol, zoisit, az epidot, a sztaurolit, a klorit és az opakásványok 10 feletti szemcseszámmal mindkét frakcióban (**7. Táblázat**), arányuk 3% és 10 % közé esett. A mikrit és a muszkovit volt még jelen nagyobb számban, de ez csak a nagyobbik méretfrakcióban jelentős, ahol arányuk 8,5% és 2% volt. A többi ásvány átlagban 10 db alatti szemcseszámot mutatott. A kianit ebben az esetben csak a kisebbik mérettartományban volt kimutatható, 0,9 százalékban, míg az apatit, a sillimanit, az aktinolit, a turmalin, a klorit, a mikrit, a muszkovit és a biotit a nagyobbik méretfrakcióban fordultak elő nagyobb számban.



(20. Ábra) A mosonmagyaróvári homokminta nehézásvány eloszlása a két frakcióban (μm). (Y-tengelyen darabszám szerepel.)

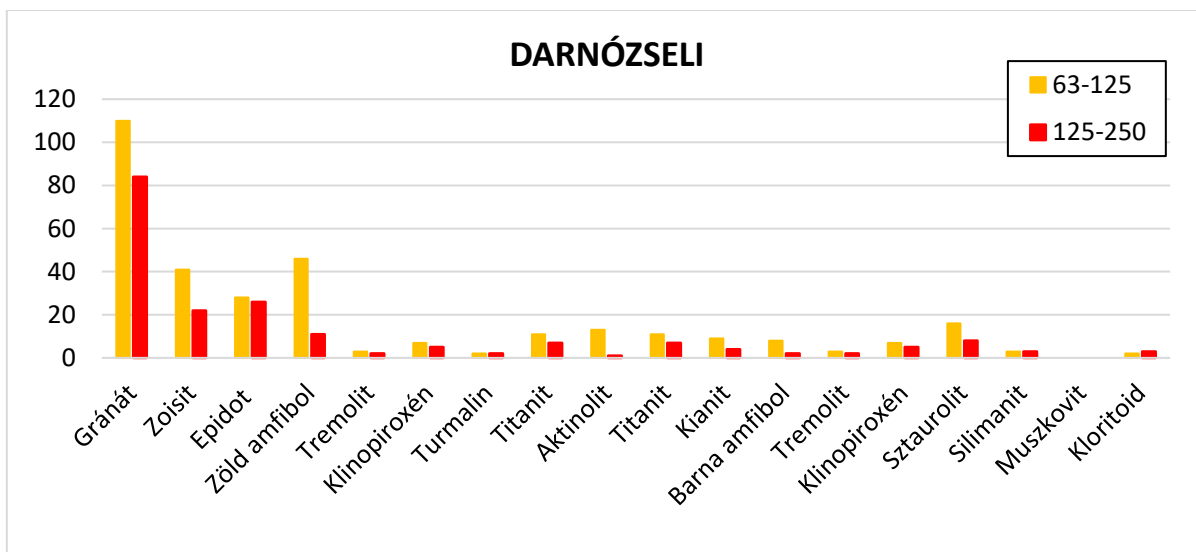
#### *Darnózseli homokminta nehézásványtartalma*

	<b>Darnózseli</b>	63-125 μm		125-250 μm	
		szemcse (db)	összes %-a	szemcse (db)	összes %-a
1	Gránát	110	17,9	84	30,9
2	Zöldamfibol	46	7,5	22	8,1
3	Zoisit	41	6,7	26	9,6
4	Epidot	28	4,6	11	4,0
5	Sztaurolit	16	2,6	8	2,9
6	Aktinolit	13	2,1	1	0,4
7	Titanit	11	1,8	7	2,6
8	Kianit	9	1,5	4	1,5
9	Barnaamfibol	8	1,3	2	0,7
10	Klinopiroxén	7	1,1	5	1,8
11	Rutil	4	0,7	0	0,0
12	Apatit	4	0,7	0	0,0
13	Sillimanit	3	0,5	3	1,1
14	Tremolit	3	0,5	2	0,7

15	Kloritoid	2	0,3	3	1,1
16	Turmalin	2	0,3	2	0,7
17	Cirkon	1	0,2	1	0,4
18	Ortopiroxén	1	0,2	0	0,0
19	Oxiamfibol	1	0,2	0	0,0
20	Pátit	157	25,5	24	8,8
21	Opakásvány	61	9,9	17	6,3
22	Mikrit	46	7,5	25	9,2
23	Klorit	19	3,1	9	3,3
24	szericit/fillit	10	1,6	5	1,8
25	Biotit	4	0,7	1	0,4
26	Limonit	4	0,7	1	0,4
27	Grafitfillit	2	0,3	2	0,7
28	Glaukonit	2	0,3	0	0,0
29	Amfibolit	0	0,0	3	1,1
30	Sziderit	0	0,0	2	0,7
31	Kloritfillit	0	0,0	2	0,7
	TOTÁL	615	100,0	271	100,0

**8. Táblázat** A darnózsellii minta nehézásványos összetétele

A két mérettartományt együtt nézve a gránátból volt a legtöbb (**21. Ábra**). A 63-125  $\mu\text{m}$ -es frakciót külön vizsgálva viszont a pátit szemcsék száma magasabb volt (25%) míg a gránát, csak 17%- át tette ki a tartománynak. A nagyobbik frakcióban 31% a gránát aránya volt, a pátit csupán 9%. Az opakásványok és a mikrit részesezése szintén magas volt mindkét tartományban, 6 és 10% közötti. Említést érdemel a zöldamfibol, zoisit, az epidot, arányuk 4% és 9% közötti. A sztaurolit, az aktinolit, a titanit, a mikrit, a klorit és a szericit, 10 feletti szemcseszámmal (**8. Táblázat**) voltak jelen mindkét frakcióban, az előzőektől eltérően, ebben a mintában az említett ásványok a 63-125  $\mu\text{m}$ -es tartományban dúsultak nagyobb számban. A többi ásvány átlagban 10 db alatti szemcseszámmal volt jelen. A kianit mindkét mérettartományban, azonos mennyiségben, 1,5% százalékban volt kimutatható. Az amfibolit, sziderit és kloritfillit ásványok, csak a nagyobbik méretfrakcióban fordultak elő.



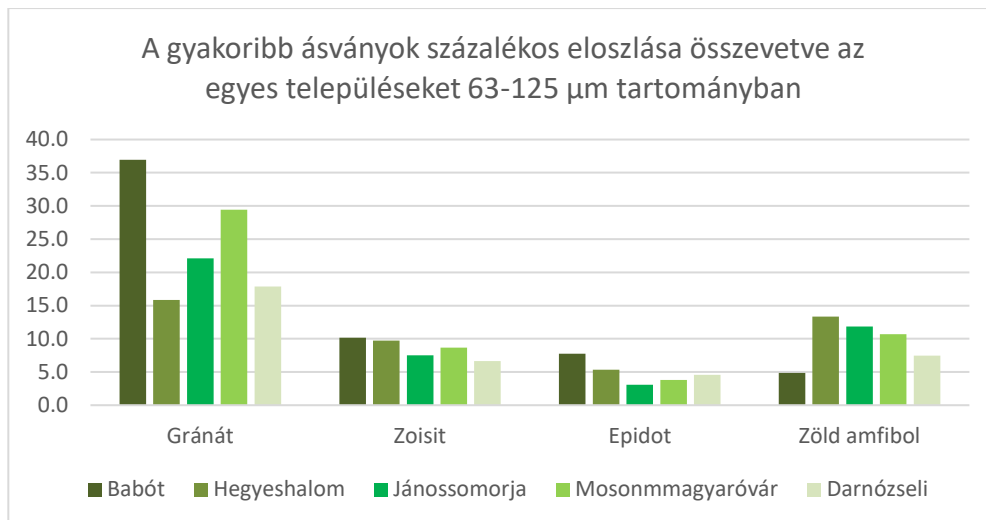
(21. **Ábra**) A darnózséli homokminta nehézásvány eloszlása két frakcióban ( $\mu\text{m}$ ). (Y-tengelyen darabszám szerepel.)

### *Összesített értékelés*

A kislétföldi mintákban a *gránát* mennyisége a legmagasabb, 15-50% között mozgott. A babóti minta 125-250  $\mu\text{m}$ -es frakciójában volt a legtöbb, 53%. Egyforma arányban (kb. 5-15%) jelent meg a *zöldamfibol* az *epidot* és a *zoisit*. Fontos bélyeg még a *rombos piroxén*, *oxiamfibol* és *kék amfibol* hiánya, valamint a *barna amfibol* igen kis mennyisége.

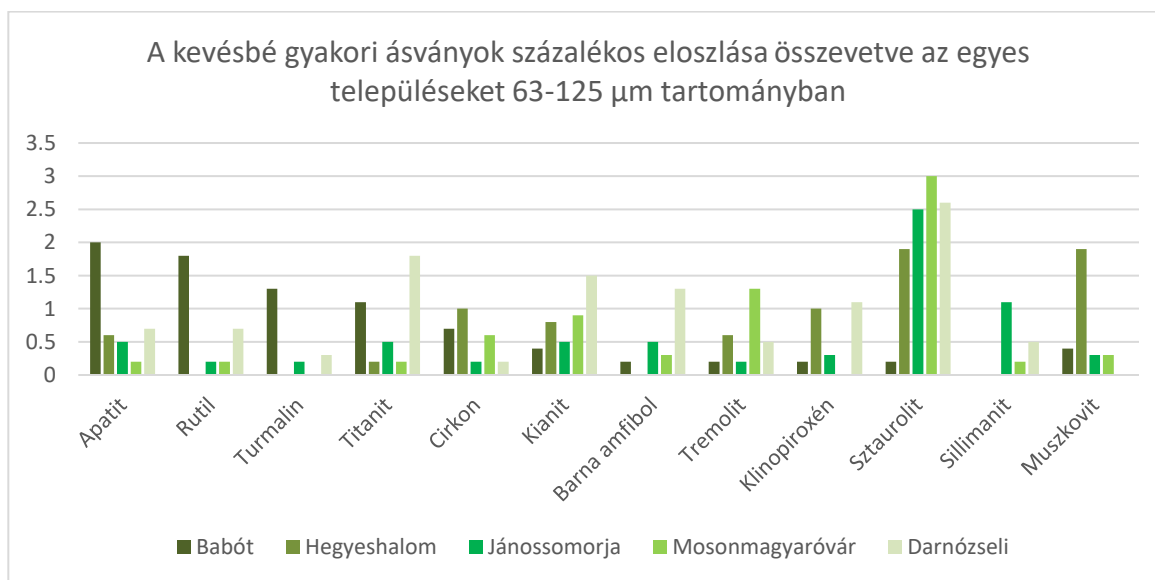
A tizenhét leggyakoribb ásványt kiválasztottam és méretfrakciók szerint elkülönítve ábrázoltam százalékos eloszlásukat oszlopdiagrammokon. Mivel a *gránát*, a *zoisit* az *epidot* és a *zöld amfibol* előfordulása sokkal magasabb arányú volt a többi ásványhoz képest, ezeket külön diagrammon mutatom be a könnyebb áttekinthetőség végett. A **22.** és **23. Ábra** mutatja az ásványok százalékos eloszlását a 63-125  $\mu\text{m}$ -es frakcióban az öt településen.





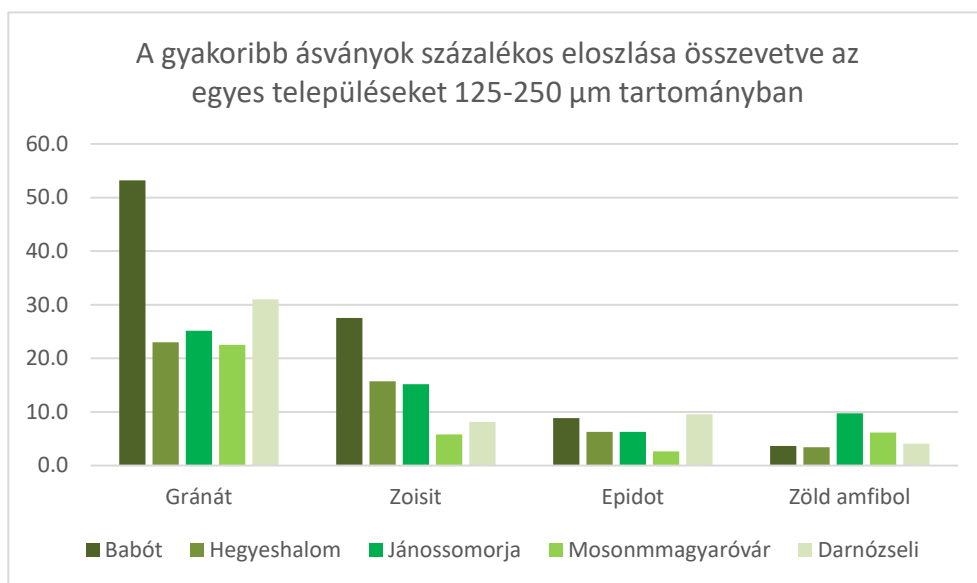
(22. Ábra) A négy legnagyobb mennyiségben előforduló ásvány százalékos eloszlása összevetve az öt települést a 63-125 µm-es tartományban. (Az Y-tengelyen a százalékos arány szerepel)

A gránát volt jelen legnagyobb arányban az összes település homokmintájában. A legtöbbet, 37%-ot, a babóti mintában lehetett mérni, míg a legkisebb arányban, 15%-ban a hegyeshalmi minta tartalmazta az ásványt. Zoisitot közel azonos mennyiségben, 6-10%-ban, mind az öt homokmintában ki lehetett mutatni. Epidotból, a babóti mintában volt mérhető a legtöbb, 7,7%, míg a legkevesebbet a jánossomorjai minta tartalmazott, mindössze 3,1%-ot. Zöld amfibolból, ami a gránát utáni második leggyakoribb ásvány volt a mintákban, a hegyeshalmi minta tartalmazott a legtöbbet, 13,4%-ot, míg a babóti a legkevesebbet, 4,9%-ot.



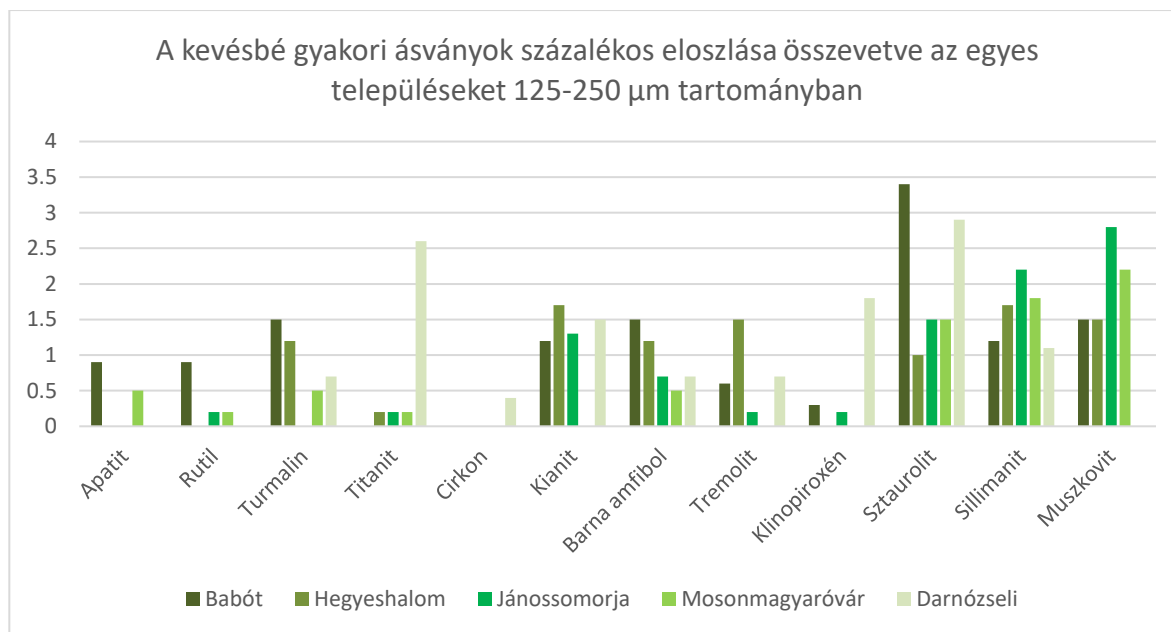
(23. Ábra) A gyakoribb ásványok százalékos eloszlása, összevetve az öt települést a 63-125 µm-es tartományban. (Az Y-tengelyen a százalékos arány szerepel.)

A **23. Ábra** vegyesebb képet mutat az előzőnél. Az itt szereplő ásványok közül nem mind fordult elő az összes településen és százalékos arányuk is jóval alacsonyabb. Az apatit, a titanit, a cirkon, a kianit, a tremolit, a sztaurolit és a muszkovit minden mintában kimutatható volt. A legnagyobb arányban a sztaurolit fordult elő, átlagosan 2-3%-ban. Ez alól csak a babóti minta volt kivétel, ahol ennél jóval alacsonyabb arányban, mindössze 0,2%-ban jelent meg. Turmalin és sillimanit fordult elő a legkevesebb helyen, előbbi csak a babóti, a jánosomorjai és a darnózsели mintában, az utóbbi pedig csak a jánosomorjai, mosonmagyaróvári és darnózsели mintában volt megfigyelhető.



(**24. Ábra**) A négy legnagyobb mennyiségben előforduló ásvány százalékos eloszlása összevetve az öt települést a 125-250 µm-es tartományban.

A **24. Ábra** alapján az mondható el, hogy a nagyobbik mérettartományban is a gránát volt az uralkodó, akár csak a kisebbik szemcseméret-tartományban. Százalékos aránya, magasan a babóti mintában a legnagyobb, mintegy 53%, míg a többi település közel azonos arányban, 20-30%-ban tartalmazta. A zoizitról szintén elmondható, hogy a babóti mintában volt a legtöbb, aránya 27%, míg a legkevesebbet a darnózsели mintában lehetett kimutatni, mindössze 5,8%-ot. Az epidot közel azonos arányban fordult elő az öt mintában, 6-10% között, kivéve Mosonmagyaróvárat, ahol csupán 2,7% volt a nagyobb mérettartomány epidot-tartalma. Zöld amfibolból a jánosomorjai homokminta tartalmazott a legtöbbet ebben a frakcióban, 9,8%-ot, míg a többi településen aránya 3 és 6% között mozgott.



(25. Ábra) A gyakoribb ásványokszázalékos eloszlása összevetve az öt települést a 125-250  $\mu\text{m}$ -es tartományban.

A 25. Ábrán látható, hogy a barna amfibol, a sztaurolit, a sillimanit és a muszkovit voltak azok az ásványok, amelyek mind az öt település homokmintájában benne voltak a 125-250  $\mu\text{m}$ -es tartományban. A sztaurolit, sillimanit és muszkovit ásványokból volt a legtöbb a mintákban. Részesedésük az egyes mintákban 1 és 3 % közé tehető. Kiemelkedik Babót sztaurolit-tartalma 3,4%-al. Kimagaslik Darnózseli titanit-tartalma 2,6%-al, a többi településen csak 0,2%-ban volt jelen az ásvány ebben a mérettartományban. Apatitot csak a babóti és mosonmagyaróvári mintában lehetett találni, 0,5 és 0,9%-ban. Cirkon pedig egyedül a darnózseli mintában szerepelt, de itt is mindössze 0,4 %-ban.

Összességében elmondható, hogy a gránát, zoisit, epidot és kianit közel azonos arányban dúsult mindkét mérettartományban, míg a zöld amfibol nem sokkal ugyan, de gyakoribb volt a kisebb méretfrakcióban. Az apatit, rutil, titanit, cirkon és sztaurolit a 63-125  $\mu\text{m}$ -es tartományban volt inkább megtalálható, a turmalin, barna amfibol, sillimanit és muszkovit ásványok, pedig a 125-250  $\mu\text{m}$ -es tartományban dúsultak inkább.

## *A homokminták előkészítése és neutronaktivációs analitikai vizsgálata*

Méréseimet az Energiatudományi Kutatóintézet, Nukleáris Analitikai és Radiográfiai Laboratóriumában, annak is a Neutronaktivációs Analitikai Laborjában végeztem Dr. Gméling Katalin segítségével.



(26. Ábra) A minták a bemérés megkezdése előtt.

### *A minták feldolgozása*

A mintákat a következő lépések elvégzésével dolgoztam fel:

#### **1. Minta bemérése kvarccsőbe**

- Méretre vágott, talpalt, és gravírozott sorszámmal ellátott, savakkal és lemosó folyadékkal megtisztított suprasil-310 (Heraeus) kvarcüveg csöveket készítettem elő, melyeket számozás szerint sorrendbe állítottam. A nagypontosságú, mikroanalitikai mérlegen (Mettler-Toledo XPE206DR (reprodukálhatóság <math><0.0015\text{ mg}</math>)) (27. Ábra) lemértem a kvarccsöveket, amelyek súlyát 6 tizedes pontossággal feljegyeztem. A mérleget táraztam.
- A kvarccsőbe óvatosan, egy műanyag spatulával kb. 5 mm magasságig töltöttem a homokot. Finom ütögetéssel tömörítettem a mintát a cső alján.
- A tárazott mérlegen lemértem a kvarccsövet a mintával együtt, ezzel megkaptam a bemért minta súlyát, melyet feljegyeztem. Átlag 100-150 mg mintát mértem be. A mérleget újra táraztam.

A tározott mérlegről levéve a mintát, negatív értékben megkaptam a minta és kvarc együttes súlyát. Ez feljegyeztem, hogy a mérés pontosságát később számolni tudjam.

- Parafilmmel lezártam a cső száját (28. Ábra).



(27. Ábra) Mettler Toledo mikromérleg



(28. Ábra) A parafilmmel lezárt kvarccsövek, bennük a mintákkal.

## 2. Kvarccső zárása, üvegtechnika

A mintákkal töltött és parafilmmel lezárt üvegcsöveket az üvegtechnikai műhelyben az üvegtechnikus légmentesen lezárta (29-30. Ábra).



(29. Ábra) Oxigén tartalmú gázlánggal zárja az üvegtechnikus a mintákat tartalmazó, nagytisztaságú kvarcüvegcsöveket.



(30. Ábra) A légmentesen lezárt kvarcüveg cső, benne a mintával.

### 3. A monitorok bemérése és csomagolása

Az aranyból termikus fluxust, az aranyból és cirkonból közösen az  $f$ -et (termikus és epitermikus fluxus arányát) illetve az  $\alpha$ -t (epitermikus alaktényezőt), a vasból és nikkelből gyors fluxust tudunk meghatározni.

2 féle monitor fóliát készítettem elő minden besugárzásra váró mintacsomaghoz.

<b>Zr</b> (kétféle van a laborban)	- 0,025 mm-es (vékony) 99,9995%-os Zr fólia, Alfa Aesar; - 0,127 mm-es (vastag) fólia, Alfa Aesar 99,995%
<b>Au</b>	- Al-0,1% Au tartalommal, 0,1 mm vastag fólia, IRMM-530

- A monitorokat a mikromérleggel, egyesével lemértem, és súlyukat feljegyeztem, majd 0,038 mm vastag, 99,9995%-os Al, Alfa Aesar fóliába hajtogattam őket (**31. Ábra**). A monitorszettet piros alkoholosfilccel megjelöltem (**32. Ábra**).
- Az Al-fóliába csomagolt monitorokat az egyik, általam kiválasztott mintára alufóliával rácsomagoltam. Minden lezárt kvarccsövet alufóliába tekertem (**33. Ábra**). Ez azért fontos, mert ha megsérül a kvarc, akkor nem hullik ki a minta, illetve az alufóliának a hőelvezetésben is szerepe van.



(31. Ábra) Az alumínium fólia



(32. Ábra) A pirossal megjelölt monitorszett



(33. Ábra) Alumíniumba csomagolt kvarccsövek

- A 6 mintából álló mintacsomagokat egy Al-dróttal kötöttem össze (**34. Ábra**), ezután a kötegeket egy vastagabb alufóliával körbecsavartam (**35. ábra**). A vastag alufóliába tekert mintakötegeket egyesével megjelöltem, majd papírhengerekben adtam át a besugárzásért felelős kollégának.





(34. **Ábra**) Az alufóliába tekert, összedrótozott mintacsomag



(35. **Ábra**) A vastag alufóliába tekert minták a papírhengerekkel

#### 4. A besugárzókba helyezés

- A mintacsomagot ezt követően, esztergált alumínium csövekbe helyezték (36. **Ábra**), és alufólia habot tettek a mintakötegek alá és fölé. A tokokat hideg sajtolással (37. **Ábra**) légmentesen lezárták. (A légmentességet úgy ellenőrzik, hogy a bezárt tokokat egy glicerinnel teli tartályba helyezik, ami vákuumozható.) Ezután két alumínium gallér került a tokok köré, ami stabilan rögzíti azokat egy még nagyobb külső tokba (38. **Ábra**). Minden tok számát felírják, ezzel azonosítva a besugárzásra váró mintakötegeket.



(36. **Ábra**) Az alumínium tokba helyezett mintaköteg



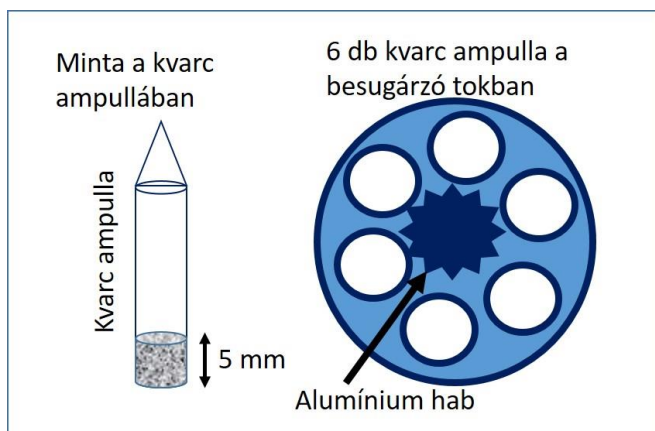
(37. **Ábra**) Az esztergálás



(38. **Ábra**) A külső tok rögzítése







(40. Ábra) A kvarccsövek elhelyezkedése a besugárzótokban

Minta	Bemért tömeg (g)	Besugárzás ideje	Első mérés ideje	Második mérés ideje	Harmadik mérés ideje	Negyedik mérés ideje
Mosonmagyaróvár 63-125 µm	0,127192	2019.11.07. 16:45-19:45	2019.11.11.	2019.11.28.	2019.12.16.	2020.01.24.
Mosonmagyaróvár 125-250 µm	0,107945	2019.11.07. 16:45-19:45	2019.11.11.	2019.11.28.	2019.12.16.	2020.01.24.
Hegyeshalom 63-125 µm	0,145452	2019.11.07. 16:45-19:45	2019.11.11.	2019.11.29.	2019.12.18.	2020.01.27.
Hegyeshalom 125-250 µm	0,173904	2019.11.07. 16:45-19:45	2019.11.11.	2019.11.29.	2019.12.18.	2020.01.27.
Babót 63-125 µm	0,108606	2019.11.07. 16:45-19:45	2019.11.11.	2019.11.29.	2019.12.19.	2020.01.28.
Babót 125-125 µm	0,062196	2019.11.07. 16:45-19:45	2019.11.11.	2019.11.29.	2019.12.19.	2020.01.31.
Jánossomorja 63-125µm	0,100336	2019.12.12. 08:45-11:45	2019.12.17.	2020.01.06.	2020.01.22.	2020.02.07.
Jánossomorja 125-250µm	0,119511	2019.12.12. 08:45-11:45	2019.12.17.	2020.01.06.	2020.01.22.	2020.02.07.
Darnózseli 63-125µm	0,106062	2019.09.12. 05:44-08:44	2019.09.16.	2019.09.30.	2019.10.15.	2019.11.04.
Darnózseli 125-250µm	0,102146	2019.09.12. 05:44-08:44	2019.09.16.	2019.09.30.	2019.10.15.	2019.11.04.

9. Táblázat A vizsgált minták pontos besugárzási időpontjai.

A mintákból távozó késő-gamma fotonokat alacsony háttérű vaskamrában, egy p-típusú OrtecHPGe detektorral (amelynek energia felbontása 1,75 keV, relatív hatásfoka 50-3300 keV energia tartományban 55%) (41. Ábra), illetve egy p-típusú Canberra HPGe detektorral (Canberra HPGe, 36% relatív hatásfoka 1.75 keV) mértük. A detektor két mérőláncot párhuzamosan kezelni képes ORTEC DSPEC 502 spektrométerhez van csatlakoztatva (42. Ábra), amit egy ORTEC Maestro 7 szoftver vezérel<sup>16</sup>. A spektrumokat zero-deadtime (ZDT) üzemmódban, 2x16k csatornában gyűjtjük. A spektrumok illesztésére a HyperLab 2013.1 szoftvert<sup>17</sup>, míg a radioaktív izotópok azonosításra, és koncentrációsámításra a KayZerofor Windows 3.06 programot<sup>18</sup> használtuk.



(41. Ábra) A kisháttérű mérőkamra



(42. Ábra) A spektrométer

## Elemanalitikai vizsgálati eredmények

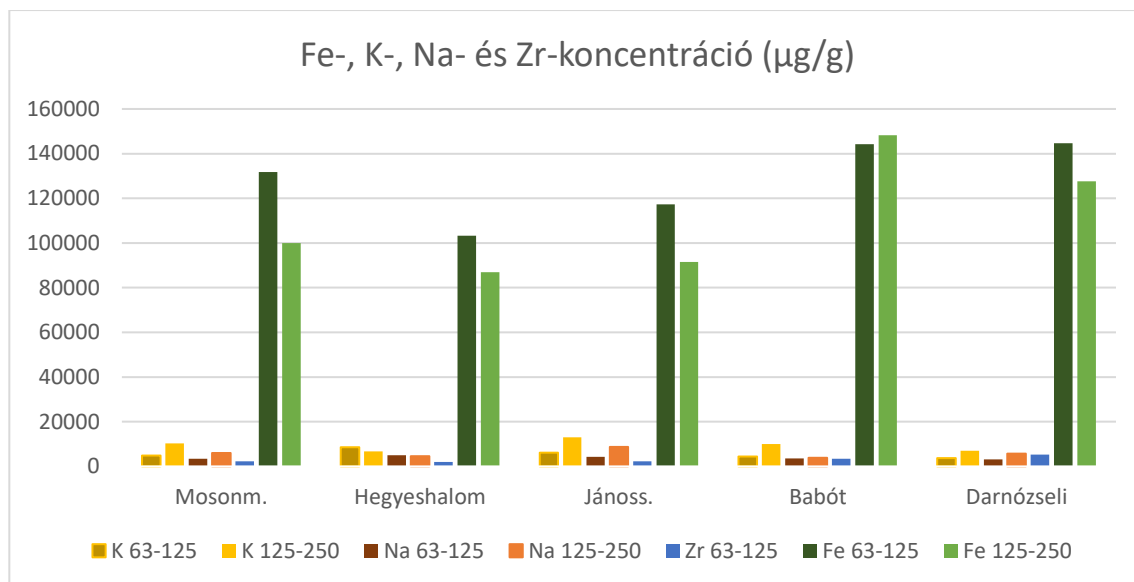
### Főelemek

Az elemek földkéregbeli gyakorisága alapján elkülönítünk *főelemeket* (átlagos földkéregbeli gyakoriságuk nagyobb, mint 1t%, pl. Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, O) és *nyomelemeket* (átlagos földkéregbeli koncentrációjuk kisebb, mint 1t%, pl. Rb, Ba, Pb, Nb, Zr).

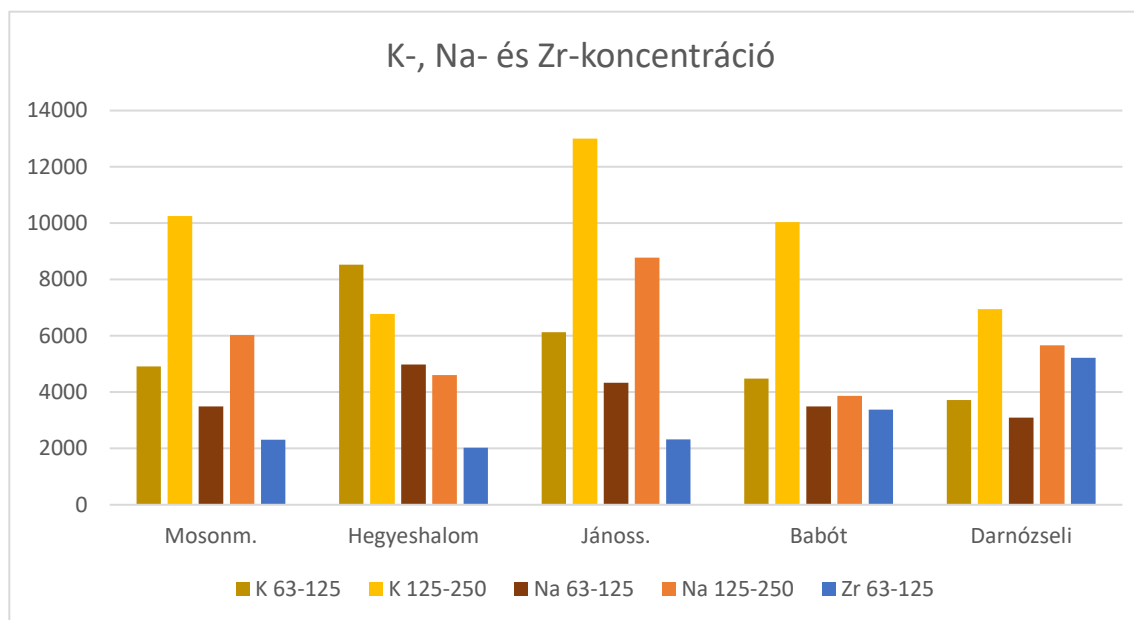
A vizsgált nehézasvány szeparátumokban a Fe, K, Na, illetve a Zr fordul elő legnagyobb százalékban (**43/A és /B Ábra, 10. Táblázat**). A vas 8-15 t%, a kálium 0,3-1,3 t% míg a nátrium és a cirkon mennyisége 0,2-0,9 t% között változott a vizsgált mintákban.

	Fe (µg/g)		K (µg/g)		Na (µg/g)		Zr (µg/g)	
(µm)	63-125	125-250	63-125	125-250	63-125	125-250	63-125	125-250
Mosonm.	131700	100000	4913	10260	3493	6023	2311	KHA
Hegyeshalom	103200	86950	8531	6779	4984	4612	2024	KHA
Jánoss.	117300	91450	6126	13010	4329	8778	2323	KHA
Babót	144300	148200	4476	10040	3497	3865	3384	KHA
Darnózseli	144700	127600	3719	6952	3096	5662	5223	KHA

**10. Táblázat** A vizsgált minták Fe-, K-, Na- és Zr-tartalma. A Zr mennyisége a 125-250 µm-es tartományban kimutatási határ alatt van.



(43/A. Ábra) Főelemek eloszlása az öt településen kétféle szemcseméret-tartományában.



(43/B. Ábra) A leggyakoribb elemek a vas nélkül ábrázolva az öt településen.

**Vas:**

Mind az öt mintában a vasból volt a legtöbb (> 8 t%), a minták 63-125 µm-es tartományában átlagosan 128000 µg/g (12,8 t%), míg a 125-250 µm tartományban 92500 µg/g (11,08 t%). A babóti mintákban a vastartalom a két tartományban hibahatáron belül megegyezett. A másik négy településen a kisebbik szemcseméret-tartományban átlag 15 %-al nagyobb mennyiségben volt jelent, mint a nagyobbik szemcseméret-tartományban. A babóti mintának volt a legmagasabb a vastartalma, közel 15%.

### Kálium:

A nehézasvány-szeparátumokban a vas utáni leggyakoribb elem volt (0,4-1,3 t%). Négy településen a 125-250 µm-ig terjedő mérettartományban dúsult, átlag 5500 µg/g koncentrációval. Érdekes, hogy a hegyeshalmi mintában ez megfordult, ott a kisebbik méretfrakcióban volt mérhető magasabb koncentrációban.

### Nátrium:

Mosonmagyaróváron, Jánossomorján és Darnózseliben a 125-250 µm-es tartományban volt a legtöbb kimutatható, ezen a három településen koncentrációja átlagosan 6000µg/g körül mozgott. Hegyeshalmon és Babóton a két frakció aránya hibahatáron belül azonos. A jánossomorjai minta tartalmazta a legtöbbet mindkét frakciójában, 0,4 a kisebbik és 0,8 t% a nagyobbik frakcióban, a babóti pedig a legkevesebbet (0,3 t%).

### Cirkónium:

Csak a kisebb (63-125 µm) szemcseméret-tartományban volt kimutatható, átlagosan 0,3 t%-át teszi ki a mintáknak. Darnózseli mintájában volt a legmagasabb a koncentrációja, 5200µg/g a legkevesebbet pedig a hegyeshalmi mintában lehetett mérni (2000 µg/g).

*Összességében* elmondható, hogy a vas és a cirkónium a kisebb, míg a kálium és a nátrium a nagyobb szemcseméret-tartományú nehézasvány-szeparátumokban dúsulnak.

### Nyomelemek

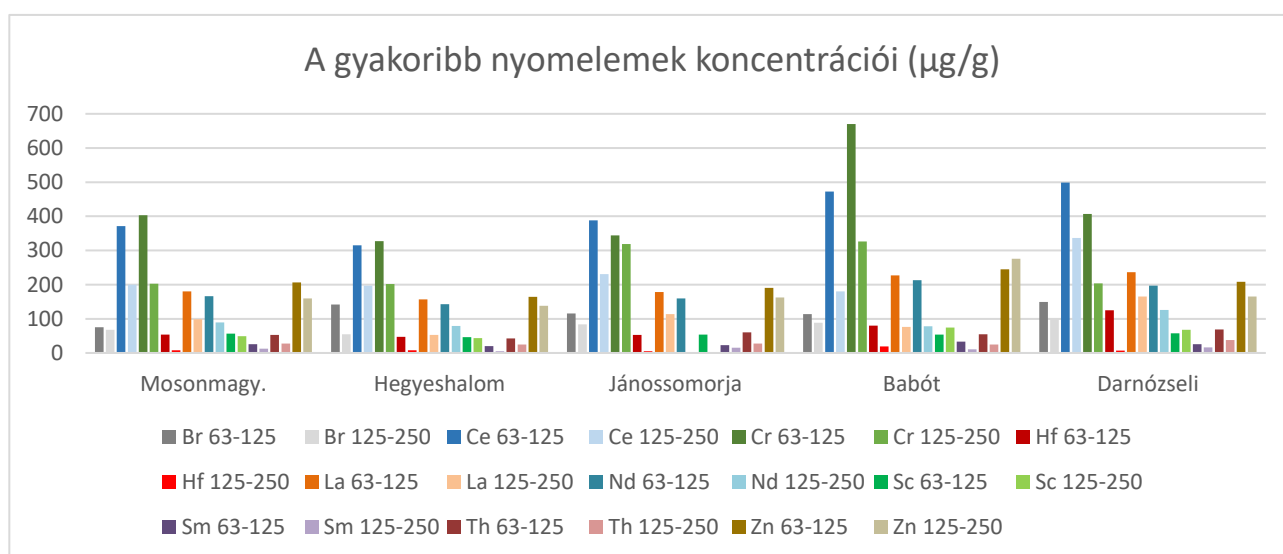
A nyomelemek részben a főelemeket helyettesítik, részben statisztikus eloszlásban, laza kötésben vannak jelen a szilárd fázisokban. 24 féle nyomelemet sikerült megmérni a mintákban.

Közülük először azokat az elemeket soroltam fel, amelyek koncentrációja relatív magasabb, néhányszor 10 illetve 100 µg/g tartományba esik. Ezek a bróm, cérium, króm, hafnium, lantán, neodímium, szkandium, szamárium, tórium és cink (**44. Ábra, 11. Táblázat**).

Elem	(µm)	Mosonm. (µg/g)	Hegyesh. (µg/g)	Jánoss. (µg/g)	Babót (µg/g)	Darnózseli (µg/g)
<b>Br</b>	63-125	75,5	142	116	114	149
	125-250	68,2	55	83,4	88,2	101

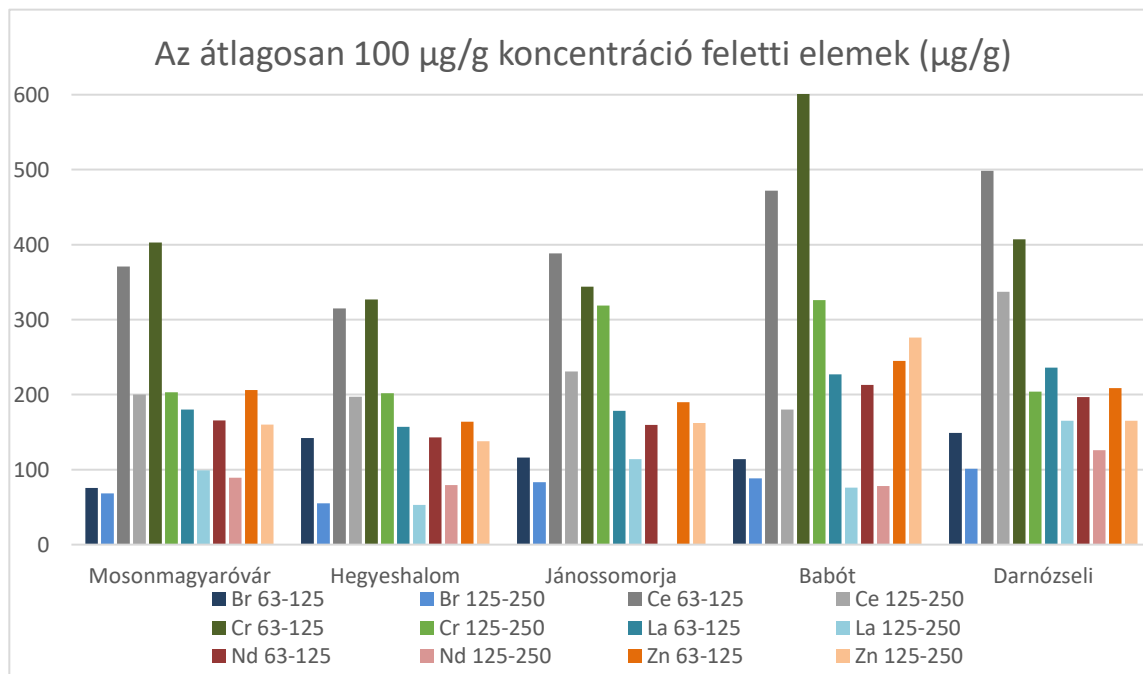
<b>Ce</b>	63-125	371	315	388	472	499
	125-250	200	197	231	180	337
<b>Cr</b>	63-125	403	327	344	670	407
	125-250	203	202	319	326	204
<b>Hf</b>	63-125	53,89	46,9	53,1	80,2	125
	125-250	7,5	7,56	5,05	18,8	7
<b>La</b>	63-125	180	157	178	227	236
	125-250	99	52,8	114	76,1	165
<b>Nd</b>	63-125	165,8	143	160	213	197
	125-250	89,33	79,2		78,1	126
<b>Sc</b>	63-125	57,04	45,9	53,7	53,8	57,3
	125-250	48,88	43,6	49,2	74,6	67,6
<b>Sm</b>	63-125	25,25	20,4	22,6	33,2	26,0
	125-250	13,04	5,48	15,8	11	16,5
<b>Th</b>	63-125	52,5	43	60,0	54,3	68,5
	125-250	27,33	25	27,20	24,9	37,6
<b>Zn</b>	63-125	206	164	190	245	209
	125-250	160	138	162,0	276	165

11. Táblázat A gyakoribb nyomelemek koncentrációi a vizsgált mintákban.

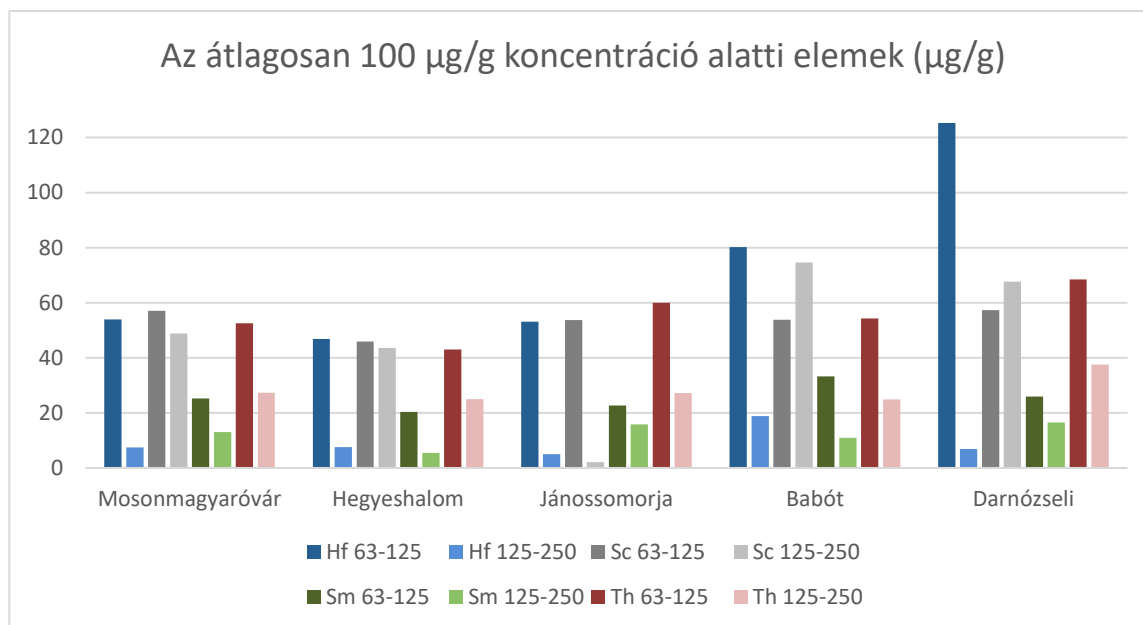


(44. Ábra) A gyakoribb nyomelemek településenkénti eloszlása.

A jobb áttekinthetőség végett külön ábrázoltam a legalább az egyik szemcseméret-tartományban 100 µg/g feletti (45/A. Ábra) és legalább az egyik szemcseméret-tartományban 100 µg/g alatti koncentrációban jelenlévő nyomelemeket (45/B. Ábra).



(45/A. Ábra) A legalább az egyik mérettartományban 100 µg/g koncentráció felett lévő elemek.



(45/B. Ábra) A legalább az egyik mérettartományban 100 µg/g alatti koncentrációjú elemek eloszlása vizsgált területeken.

### **Króm:**

A króm a kisebb szemcseméret-tartományban dúsult, ahol koncentrációja átlagosan 430 µg/g volt, míg a nagyobbik szemcseméret-tartományban csupán 250 µg/g-ot lehetett mérni. Kivétel volt a jánossomorjai minta, ahol hibahatáron belül azonos mennyiséget mértem (átlag 330 µg/g). A legkiemelkedőbb Babót krómtartalma, 670 µg/g a 63-125 µm-es tartományban. Összességében is a babóti minta tartalmazza a legtöbb, a hegyeshalmi minta pedig a legkevesebb krómot.

### **Cérium:**

Erről az elemről is elmondható, hogy a kisebbik szemcseméret-tartományban volt gyakoribb. Átlagos koncentrációja 408 µg/g körül mozgott a kisebbik, és 229 µg/g körül a nagyobbik szemcseméret-tartományban. A Ce-tartalom az 5 településen egyenletes eloszlást mutatott.

### **Cink:**

Az öt település cinktartalma közel azonos, átlagosan 176 µg/g volt. A kisebbik szemcseméret-tartományban, kb. 25%-al nagyobb volt a dúsulás mértéke, kivéve Babóton, ahol hibahatáron belül azonos volt a két érték.

### **Lantán:**

Az elem a kisebbik mérettartományban dúsult (~195 µg/g), ez átlagosan kétszer annyi, mint a nagyobbik szemcseméret-tartományban (~101 µg/g). A legmagasabb a darnózselli minta La-tartalma volt, 236 µg/g a nagyobbik és 165 µg/g a kisebbik szemcseméret-tartományban.

### **Neodímium:**

Az elem a kisebb mérettartományban dúsult, átlagában kétszer annyi volt itt (175 µg/g), mint a nagyobb szemcseméretű tartományban (74 µg/g). A babóti minta nagyobbik mérettartományának volt a legmagasabb a Nd-tartalma: 213 µg/g. Érdekes, hogy Jánossomorja 125-250 µm-es frakciója nem tartalmazott kimutatható mennyiségben belőle.

### **Bróm:**

A kapott értékek minden valószínűség szerint, a nehézasvány-szeparációkor használt bromoform szennyezésből származhattak.

A 100 µg/g koncentrációnál kisebb mennyiségben megjelenő elemek a következők:



### **Hafnium:**

A kisebbik szemcseméret-tartományban dúsult egyértelműen, itt átlagosan 71 µg/g, a nagyobbik mérettartományban pedig 9 µg/g volt jelen. A legtöbb - a többihez képest kiugró - hafnium-koncentráció a darnózsелиi minta kisebbik mérettartományában volt, ez az érték 125 µg/g.

### **Szkandium:**

A szkandium mindkét mérettartományban, hasonló arányban dúsult, ~53 µg/g és ~47 µg/g. A legtöbb, a babóti minta nagyobbik mérettartományában volt (74 µg/g). Az elem mérettartományok közötti megoszlása vegyes képet mutat. Mosonmagyaróvár és Hegyeshalom mintáiban hibahatáron belül azonos, a jánossomorjai mintában a kisebbik, míg a babóti és darnózsелиi mintában a nagyobbik méretfrakcióban dúsul.

### **Tórium:**

A Th a kisebbik mérettartományban dúsult, koncentrációja közel kétszer annyi volt (~55 µg/g), mint a nagyobbik mérettartományban (~23 µg/g). A legtöbb tórium a darnózsелиi minta kisebbik frakciójából volt mérhető, 68 µg/g, míg a nagyobbikban ez 37 µg/g volt.

### **Szamárium:**

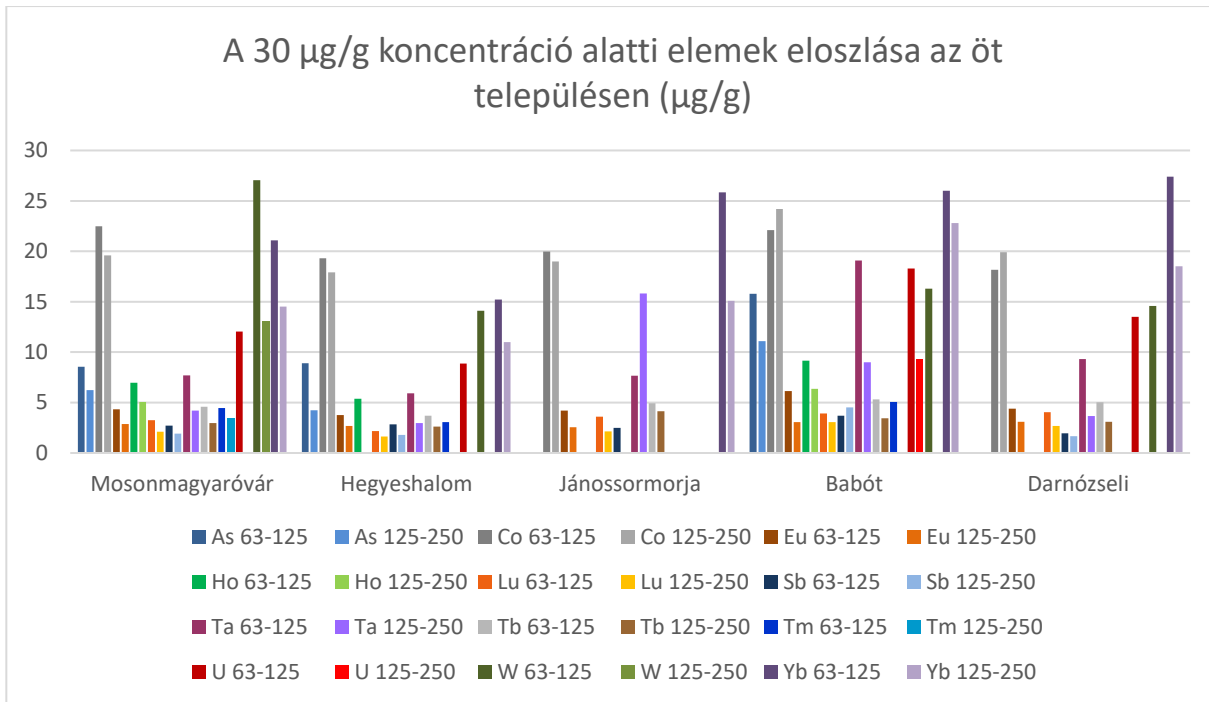
A kisebbik szemcseméret-tartományban dúsult, itt átlagában kétszer annyit mértem (25 µg/g), mint a nagyobbik frakcióban (12,3 µg/g). A minták kisebbik méretfrakciója közel azonos mennyiségű samáriumot tartalmazott, a nagyobbik méretű frakció mutatott változatosságot, ahol a Sm koncentrációja 5-16 µg/g között változott.

A soron következő elemek koncentrációi a vizsgált mintákban 30 µg/g alatti mennyiségben voltak kimutathatóak: arzén (As), kobalt (Co), európium (Eu), holmium (Ho), lutécium (Lu), antimon (Sb), tantál (Ta), terbium (Tb), túlium (Tm), urán (U), wolfrám (W), és itterbium (Yb) (**46. Ábra és 12. Táblázat**)

	(µm)	Mosonm. (µg/g)	Hegyesh. (µg/g)	Jánoss. (µg/g)	Babót (µg/g)	Darnózsели (µg/g)
<b>As</b>	63-125	8,56	8,9	KHA	15,8	KHA
	125-250	6,23	4,23	KHA	11,1	KHA
<b>Co</b>	63-125	22,47	19,3	20,0	22,1	18,2
	125-250	19,61	17,9	19,0	24,2	19,9

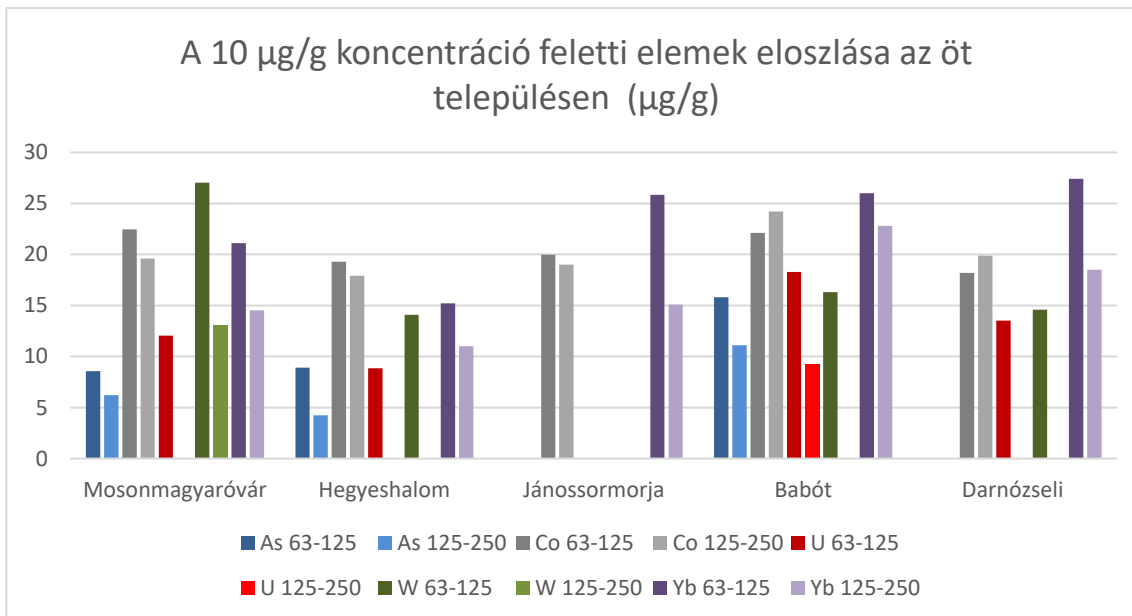
<b>Eu</b>	<i>63-125</i>	4,32	3,77	4,20	6,15	4,39
	<i>125-250</i>	2,86	2,68	2,923	3,07	3,11
<b>Ho</b>	<i>63-125</i>	6,96	5,38	KHA	9,15	KHA
	<i>125-250</i>	5,07	KHA	KHA	6,37	KHA
<b>Lu</b>	<i>63-125</i>	3,24	2,17	3,59	3,92	4,06
	<i>125-250</i>	2,11	1,65	2,14	3,05	2,68
<b>Sb</b>	<i>63-125</i>	2,7	2,85	2,49	3,71	1,97
	<i>125-250</i>	1,93	1,78	2,095	4,52	1,68
<b>Ta</b>	<i>63-125</i>	7,69	5,93	7,678	19,1	9,30
	<i>125-250</i>	4,21	2,98	4,144	9,01	3,67
<b>Tb</b>	<i>63-125</i>	4,6	3,69	4,94	5,32	5,03
	<i>125-250</i>	2,96	2,61	2,709	3,45	3,11
<b>Tm</b>	<i>63-125</i>	4,47	3,06	KHA	5,06	KHA
	<i>125-250</i>	3,43	KHA	KHA	KHA	KHA
<b>U</b>	<i>63-125</i>	12,04	8,86	KHA	18,3	13,5
	<i>125-250</i>	KHA	KHA	KHA	9,25	KHA
<b>W</b>	<i>63-125</i>	27,04	14,1	KHA	16,3	14,6
	<i>125-250</i>	13,07	KHA	KHA	KHA	KHA
<b>Yb</b>	<i>63-125</i>	21,1	15,2	25,8	26	27,4
	<i>125-250</i>	14,52	11	15,07	22,8	18,5

12. Táblázat A30 µg/g konc. alatti elemek. a településeken. KHA: kimutatási határ alatt.



(46. Ábra) A 30 µg/g koncentráció alatti elemek településenkénti megjelenése a két frakcióban.

A jobb átláthatóság végett a tíz µg/g alatti és az a felette levő koncentrációban lévő elemeket külön diagrammon is ábrázolom (46./A és /B Ábra).

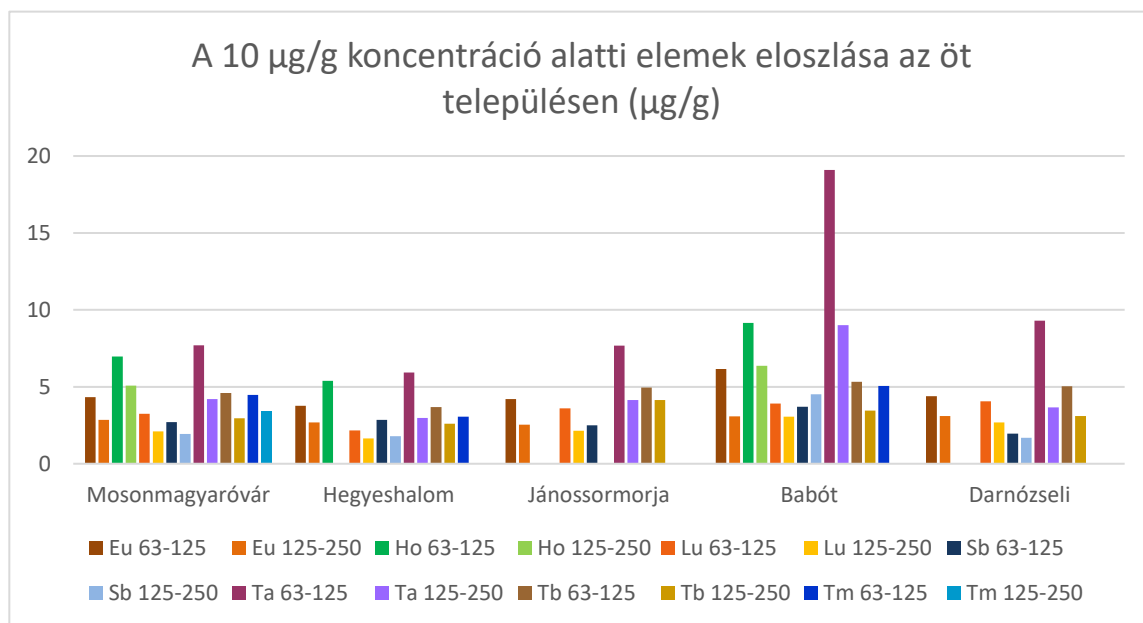


(46./A. Ábra) A 10-30 µg/g koncentráció közötti elemek településenkénti megjelenése a két frakcióban.

Az ábráról leolvasható, hogy az *arzén* volt legkisebb koncentrációban jelen a mintákban, Jánossomorja és Darnózseli nem tartalmazott belőle egyáltalán, vagy kimutatási határ alatti mennyiségben. A kisebbik frakcióban dúsult, ahol átlagos koncentrációja 11  $\mu\text{g/g}$  volt, a nagyobbikban ez csupán 7,15  $\mu\text{g/g}$ -ot tett ki. Babót kisebbik frakciójában lehetett mérni a legmagasabb koncentrációt, 15,8  $\mu\text{g/g}$ -ot

Kobaltot és itterbiumot mind az öt településen mértem. A *kobalt* láthatólag mindkét mérettartományban azonos mértékben dúsult, kb 20  $\mu\text{g/g}$  koncentrációban. Az *itterbium* talán inkább a kisebbik mérettartományban volt gyakoribb, átlagosan 23,1  $\mu\text{g/g}$ -ot lehetett mérni, míg a nagyobbikban 16,3  $\mu\text{g/g}$ -ot.

*Uránt* és *wolfrámot* csak négy település nehézásvány-szeparátumaiban lehetett találni (Jánossomorján nincs), ezeknél is a kisebbik méretfrakcióban dúsultak. Az urán átlagosan 13,26  $\mu\text{g/g}$ , míg a wolfrám 18,1  $\mu\text{g/g}$  koncentrációban volt mérhető. Kivétel volt Babót, ahol az urán, valamint Mosonmagyaróvár, ahol pedig a wolfrám volt mindkét frakcióban kimutatható.



(46/B. Ábra) A 10  $\mu\text{g/g}$  koncentráció alatti elemek településenkénti megjelenése a két frakcióban.

Az *europium*, a *terbium* és *lutécium* mind az öt településen kimutatható volt, a kisebbik mérettartományban magasabb koncentrációban, mint a nagyobbikban. Nincs kiemelkedő koncentrációbeli eltérés az egyes települések között. Legtöbb a terbiumból volt, ezt követi az europium, majd a lutécium.

A *holmium* és a *túlium* három település mintáiban volt mérhető: Mosonmagyaróváron, Hegyeshalmon és Babóton. A kisebbik szemcseméret-tartományban dúsultak. A holmium Hegyeshalmon

a 125-250 µm-es frakcióban nem is volt kimutatható, míg a túlium csak a mosonmagyaróvári mintában volt jelen mindkét mérettartományban.

Az *antimon* vegyes képet mutat. Mind az öt településen kimutatható volt, Mosonmagyaróváron, Hegyeshalmon és Darnózseliben a kisebbik méretfrakcióban dúsul, sőt Jánossomorján csak ott volt kimutatható, míg Babóton a nagyobbik méretfrakció tartalmazott belőle többet.

A *tantal* mind az öt településen megjelent. A kisebbik méretfrakcióban közel kétszer olyan mértékben halmozódott fel, mint a nagyobbikban. A babóti minta Ta-tartalma kiemelkedik a többi közül, 19 µg/g, az átlag 7 µg/g koncentrációkhoz képest.

Összességében elmondható, hogy az összes nyomelem a kisebb szemcseméret-tartományú nehézasványokban halmozódott fel.

### Összefüggések vizsgálata a nehézasvány-szeparátumok és a kapott kémiai eredmények között

Az NAA mérési eredményei szerint a *vas* koncentrációja volt a legmagasabb az öt minta mindkét mérettartományában. A mintákban előforduló ásványfajták közül (**4-8. Táblázat**), a gránát, epidot, zöldamfibol, turmalin, oxiamfibol, klinopiroxén, ortopiroxén, és a sztaurolit tartalmazhatnak vasat. Ezek az ásványok, különösképpen a gránát a vizsgált ásványszeparátumoknak több, mint egyharmadát teszik ki. Ezzel magyarázható a minták magas vastartalma. Az öt települést összevetve Babót volt az egyetlen, ahol a nagyobbik szemcseméret-tartományban volt több Fe, nem pedig a kisebbikben. Ez talán magyarázható azzal, hogy a barna amfibol és a sztaurolit is ebben a tartományban dúsult inkább, megemelve ezzel a vas koncentrációját. A vasat bizonyos ásványokban helyettesítheti a *cink*. A minták magas vastartalma, valószínűleg maga után vonta a cink megjelenését is, erre utalhat a viszonylag magas, minden településen megjelenő, egyenletes eloszlást mutató cinktartalom.

Káliumot a nehézasványok közül, a turmalin és a muszkovit tartalmazhat. A turmalin átlagos részaránya 1% az öt településen, a muszkovité pedig átlag 1,5%, négy településen. A kálium legfőbb hordozója a jelenlévő nehézasványok közül a muszkovit. Ezt szépen példázza az is, hogy a nagyobb szemcseméret-tartományban gyakoribb az ásvány, és ugyanabban a tartományban volt több a mintákban a kálium mennyisége is.

A *nátrium* a turmalin, az amfibolok, a piroxének és a klorit alkotója lehet. A nátrium a nagyobbik szemcseméret-tartományban nagyobb arányban dúsult, ez megegyezik a turmalin előfordulási arányával.

A cirkónium, a vizsgált mintákban csak a kisebbik mérettartományban volt mérhető. Ez egybevág a nehézásvány szeparáció eredményeivel, mert a legfőbb hordozója, a cirkon ásvány, szintén csak a kisebbik mérettartományban volt jelen. A hafniumnak önálló ásványa nem ismeretes; a cirkónium ásványaiban, mint járulékos izomorf elegyrész fordul elő. A cirkónium és a hafnium mellett a cirkonban kis mennyiségben Ta, Th, U, és W is előfordulhatott. Ezek az elemek szintén a kisebb szemcseméretű frakcióban dúsultak, vagy csak ott voltak kimutatási határ feletti mennyiségben jelen.

A ritkaföldfémek szórt elemek, a legtöbb kőzettípusban nagyjából hasonló, a kontinentális kéreg átlagához közeli koncentráció-tartományokban jelennek meg. Sohasem fordulnak elő elkülönülten az ásványokban, hanem vagy az egész ritka földfém-csoport elemei vagy annak egyes alcsoportjaiba tartozó elemek jelennek meg együttesen. A cérium gyakran európiummal társul, és a kalcium-foszfát fázisban a Ca-ot helyettesíthetik. Mindkét elem a babóti és a darnózselli minták finomabb szemcseméretű frakciójában a leggyakoribb, és ezekben van a legtöbb apatit is.

A wolfram mennyisége a kvarcban és a földpátokban elenyésző, a Si-ot a szilikátrácsban nem helyettesíti. Főleg a magnetitben, az ilmenitben és a biotitokban dúsul. A wolfram a természetben primer módon csak wolframát  $WO_4^{2-}$  alakban fordul elő. Jelentős lehet a pegmatitos wolframitok Ta-tartalma. Leginkább a mintákban lévő cirkonból származhat tantál, beépülési aránya ezen ásványba körülbelül 15%, akárcsak a szkandium és egyéb lantanidák többsége. A kékes-zöld és rózsaszín turmalinban is előfordulhat tantál. Cirkon és turmalin mind az öt település nehézásvány szeparátumaiban megtalálható.

Az urán (és részben a tórium is) a gránitos kőzetekben dúsul. A kvarcban és a földpát ásványokban az urán molekuladiszperz állapotban jelentkezik és főleg a kristályok növekedési lapjain, a kristályrácsok hibahelyein foglal helyet. A főelemeket az urán általában nem képes helyettesíteni, részben töltésbeli, részben méretbeli különbsége miatt. Néhány Ca-ásványban azonban, azok speciális szerkezeti adottsága következtében, a  $Ca^{2+}$ -iont ionsugarának közeli volta miatt az  $U^{4+}$ -ion helyettesítheti. Ezek az ásványok az apatit, és a fluorit. Az általam vizsgált mintákban az amfibol, muszkovit, piroxén, apatit, cirkon és kvarc ásványokban fordulhatott elő U és Th.

Króm általában a vasat helyettesíti, jöhetett a klinopiroxénből, a gránátból (knorringit) és a turmalinból. A kobalt az ultrabázisos kőzetekben dúsul a krómmal együtt, főként az olivinekben és a piroxéneknél található.

Az üledékes kőzetekben az arzén fő dúsulási helyei a vas és mangán oxi-hidroxidjai, másrészt a szulfidok és a foszfátok. Az antimon nem ritkán szorosan vas-oxidokhoz kapcsolódik az arzénnal együtt,

minden bizonnyal adszorpciós módon megkötődve. A *bróm* valószínűsíthetőleg a nehézasványok elválasztásakor használt bromoformból (CHBr<sub>3</sub>) származhat.

## Összefoglalás

Az északnyugat-magyarországi régió, azon belül a Kisalföld területén fekvő öt település működő homokbányáiból származó homokminták nehézasvány-szeparátumait vizsgáltam neutronaktivációs analízissel. A kitűzött célokat teljesítettem. Először is megismerkedtem a neutronaktivációs elemanalitikai módszerrel. Az elmélet elsajátítása mellett, megtanultam és saját magam végeztem a módszer minden mozzanatát: a mintaelőkészítés lépéseitől, a besugárzáson, mintabontáson, mérésen, valamint az eredmények számítógépes kiértékelésén keresztül, egészen az eredmények értelmezéséig. Másodszor, pedig részletes tudást szereztem a nehézasványokról, a vizsgált régió geológiai háttéréről, a dolgozatban szereplő egyéb geológiai elemző módszerekről, és az analitikai eredmények statisztikai elemzéséről és értelmezéséről.

Elsőként végeztem a vizsgált terület homokmintáinak nehézasvány-frakcióin átfogó kémiai analízist. A neutronaktivációs analízis segítségével az egyes szeparátumokban, összesen 28 féle elemet sikerült meghatároznom. A vizsgált mintákat a besugárzást megelőzően már alávetették egy előzetes geológiai vizsgálatnak. A két nehézasvány-frakció leválasztását követően mikroszkóp alatt szétválogatásra és azonosításra kerültek az egyes ásványszemcsék. Ennek az első vizsgálatnak az eredményei szolgáltak összehasonlításként az általam mért értékekhez.

A mérés során kapott elemi koncentrációk korreláltak az előzetes mikroszkópos vizsgálat eredményeivel. A neutronaktivációs analízis során kimutatott elemek koncentráció eloszlása tükrözte az őket hordozó ásványok előfordulási gyakoriságát a vizsgált frakciókban.

Kijelenthető, hogy a neutronaktivációs analízis kiválóan alkalmas nehézasvány-szeparátumok nyomelemtartalmának vizsgálatára, eredményei későbbi vizsgálatok és következtetések alapjául szolgálhatnak, megkönnyítve ezzel a szakemberek munkáját.

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Forgó Péter tanár úrnak a sok segítségért, kitüntető bizalmaért, amelyek hozzájárultak ennek a szakdolgozatnak a létrejöttéhez, és tanulmányom ideje alatt kapott tanácsokért, folyamatos figyelmességéért.

Szeretném megköszönni külső konzulensemnek, Dr. Gméling Katalinnak - akinek szintén elévülhetetlen érdemei vannak ennek a szakdolgozatnak a megteremtésében - a rám szánt idejét, türelmét, segítségét a neutron aktivációs analízis elméleti és gyakorlati elsajátításában. Illetve köszönöm szépen, hogy a kutatás tárgyát képező mintákat, mint vizsgálati anyagot a rendelkezésemre bocsátotta, melyért külön köszönet a bányáknak, illetve Józsa Sándornak a nehézasvány szeparálásokért és mikroszkópos leírásért. A minták vizsgálata részét képezi a 127102-es számú NKFIH NN\_17 V-4 Korea projektnek.

Köszönöm az Izotóp Intézet Kft.-nek, hogy támogattak ezen az úton, lehetővé tették számomra az iskola elvégzését.

Köszönöm legdrágább Édesapámnak, hogy időt és energiát nem kímélve végig segített engem az évek alatt és lelkesen támogatott.

Végül szeretnék köszönetet mondani a Budapesti Kutató Reaktor munkatársainak, akik biztosították számomra a helyszínt.



## Irodalomjegyzék

---

- <sup>1</sup>Greenberg R, Bode P, De NadaiFernandes E (2011) Neutronactivation analysis: a primary method of measurement. *Spectrochim Acta B At Spectrosc* 66:193–241. doi:[10.1016/j.sab.2010.12.011](https://doi.org/10.1016/j.sab.2010.12.011)
- <sup>2</sup>Kiss.I. és Veres. A. (1979): *Magkémia*. Akadémiai kiadó, Budapest
- <sup>3</sup>De Corte F, Simonits A, Dewispelaere A et al (1989) k<sub>0</sub>-measurements and related nuclear-data compilation for (n, gamma) reactor neutron-activation analysis. *J Radioanal Nucl Chem* 133(1):3–41
- <sup>4</sup>Davisson CM 1965 *Interaction of gamma-radiation with matter Alpha-, Beta- and Gamma-ray Spectroscopy* vol 1ed Kai Siegbahn (Amsterdam: North-Holland Publishing Company)
- <sup>5</sup>Pratt RH 1960 Atomic photoelectric effect at high energies *Phys. Rev.* 117:1017–28
- <sup>6</sup>Williams, B. (1977). *Compton scattering: The investigation of electron momentum distributions*.
- <sup>7</sup>Mork KJ 1967 Pairproduction by photons on electrons *Phys. Rev.* 160:1065–71
- <sup>8</sup>De Corte Frans (1987) The k<sub>0</sub>-standardization method: a move to the optimization of neutron activation analysis. *Habil. Thesis, University of Gent, Belgium.* p 464
- <sup>9</sup>Simonits, A., De Corte, F., Moens, L., Hoste, J., Status and recent developments in the k<sub>0</sub>-standardization method. *J. Radioanal. Chem.* 72, 209 (1982).
- <sup>10</sup>Simonits A, Decorte F, Hoste J (1975) Single-comparator methods in reactor neutron-activation analysis. *J Radioanal Chem* 24(1):31–46
- <sup>11</sup>De Corte F., Simonits A., Recommended nuclear data for use in the k<sub>0</sub> standardization of neutron activation analysis. *Atomic Data and Nuclear Data Tables* 85, 47 (2003).
- <sup>12</sup>De Corte F.: The k<sub>0</sub>-standardization method. *Habilitation thesis, Rijksuniversiteit Gent, Gent 1987.* [http://www.kayzero.com/k0naa/k0naaorg/Links\\_files/The%20koStandardization%20Method.pdf](http://www.kayzero.com/k0naa/k0naaorg/Links_files/The%20koStandardization%20Method.pdf)
- <sup>13</sup>De Corte F, Moens L, Simonits A, de Wispelaere A, Hoste J (1979) Instantaneous alpha-determination without Cd-cover in the 1-E-1 alpha epithermal neutron-spectrum. *J Radioanal Chem* 52 (2):295–304
- <sup>14</sup>Simonits A, De Corte F, Hoste J (1976) Zirconium as a multiisotopic flux ratio monitor and a single comparator in reactor neutron activation-analysis. *J Radioanal Chem* 31(2):467–486
- <sup>15</sup>*Mikromineralógia Oktatási segédanyag a IV. éves geológushallgatók geokémia gyakorlatán tartott mikromineralógia kurzushoz ELTE-TTK Szakmány György 2001.*
- <sup>16</sup>Tian, K. V., Festa, G., Szentmiklósi, L., Maróti, B., Arcidiacono, L., Laganà, G., ... & Cozza, P. (2017). Compositional studies of functional orthodontic arch wires using prompt-gamma activation analysis at a pulsed neutron source. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 32(7), 1420–1427.
- <sup>17</sup>Simonits A, Ostor J, Kalvin S et al (2003) HyperLab: a new concept in gamma-rays spectrum analysis. *J Radioanal Nucl Chem* 257(3):589–595
- <sup>18</sup>De Corte F, van Sluijs R, Simonits A et al (2001) Installation and calibration of Kayzero-assisted NAA in three Central European countries via a Copernicus project *Appl. Radiat Isot* 55(3):347–354

## NYILATKOZAT

Alulírott Juhász Alexandra....., büntetőjogi felelősségem tudatában kijelentem, hogy az általam benyújtott, Északnyugat-magyarországi homokminták nehézsúlyainak nyomelem-összetétel vizsgálata..... című szakdolgozat (diplomamunka) Neutronaktivációs Analitikai (NAA) módszerrel önálló szellemi termékem. Amennyiben mások munkáját felhasználtam, azokra megfelelően hivatkozom, beleértve a nyomtatott és az internetes forrásokat is.

Tudomásul veszem, hogy a szakdolgozat elektronikus példánya a védés után az Eszterházy Károly Egyetem könyvtárába kerül elhelyezésre, ahol a könyvtár olvasói hozzáfuthatnak.

Kelt: Budapest, 2020. év ..... 05. hó 13. nap.

.....  
  
aláírás