

## Hazai pleisztocén–holocén üledékek és talajok radioaktívem- tartalmának jellemzői

THAMÓNÉ BOZSÓ Edit<sup>1</sup>, MARSI István<sup>1</sup>, NAGY Attila<sup>1</sup>, MAGYARI Árpád<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, 1143 Budapest, Stefánia út 14.

<sup>2</sup>MOL Nyrt., 1117 Budapest, Októberhuszonharmadika u. 18.

---

### *Characteristics of the radioactive element content of Pleistocene and Holocene sediments and soils in Hungary*

#### Abstract

This paper considers the radioelement content of Pleistocene and Holocene sediments in Hungary. The evaluated data are from laboratory high-resolution gamma spectrometry measurements of sediments collected for luminescence dating, and recent soils for the National Radiometric Base Network. Natural gamma ray logs of boreholes drilled on a loess area were also taken into account. U, Th and K content data indicate that the fine-grained sediments have a higher radioelement content than the coarse sediments have. This could be caused primarily by the higher clay content of the fine-grained sediments. The radioelement content of palaeosols in loess sections is higher than that of loess layers. This is probably due to the soil-forming processes: mainly the formation of clay minerals and iron-oxide-hydroxides, and the increase of the amount of organic matter. These adsorb the studied radioactive elements. Radioelement content of loesses and recent soils from different areas reflects the local lithology or the petrology of the soil-forming rocks. The different soil-forming processes and the post-depositional changes are also important in the development of characteristic U, Th and K content of the soil types and palaeosols. Sporadic radiometric data measured for luminescence dating are not suitable for the correlation of the loess sections. However, they can be well-correlated with the help of the natural gamma ray logs because the coeval loess and palaeosol layers show very similar shapes on the GR logs in the nearby boreholes.

*Keywords: radioactive elements, loess, palaeosol, recent soil, Pleistocene, Holocene, Hungary*

---

#### Összefoglalás

A hazai negyedidőszaki képződmények radioaktívem-tartalma elsősorban a laboratóriumi gamma-spektrometriai mérések eredményei alapján került kiértékelésre. Ezek a mérések egyrészt az üledékek lumineszcens kormeghatározásához készültek, másrészt a recens talajok felmérésére irányultak az Országos Radiometriai Alaphálózat keretében. A kiértékelés lösz kutatási területen mélyült fúrások természetes gamma szelvényeinek elemzésével is kiegészült.

A rendelkezésre álló adatok alapján megállapítható, hogy a finomabb szemcseméretű üledékek (löss, ill. kőzetliszt) nagyobb U-, Th- és K-koncentrációval rendelkeznek, mint a durvább szemcseméretűek (homok). Ez a már ismert tendencia elsősorban a finomszemű üledékek nagyobb agyagásvány-tartalmával állhat összefüggésben. A löszszelvények paleotalajaiban nagyobb a radioaktívem-tartalom, mint a löszökben, amit a talajosodási folyamatok eredményezhettek, különösen az agyagásványok és a vas-oxid-hidroxidok keletkezése, valamint a szerves anyagok bekerülése, mivel mindezek adszorbeálják a vizsgált radioaktív elemeket. A különböző területekről vizsgált löszökben és recens talajokban a radioaktív elemek koncentrációja tükrözi a helyi kőzettani sajátosságokat, ill. a talajképző kőzeteket. Az egyes talajtípusok jellemző U-, Th- és K-tartalmának alakulásában az eltérő talajosodási folyamatok, a paleotalajok esetében pedig a betemetődés utáni diagenetikus folyamatok is fontos szerepet játszottak. A löszszelvények korrelációjában a lumineszcens kormeghatározáshoz készült szórványos radiometriai adatok nem bizonyultak megfelelőnek, a fúrások természetes gamma szelvényei viszont jól alkalmazhatók korrelációs célokra, mivel a szomszédos fúrások egyidős lösz- és paleotalaj-szintjeiben nagyon hasonló a GR-görbék lefutása.

*Tárgyszavak: radioaktív elemek, lösz, paleotalaj, recens talaj, pleisztocén, holocén, Magyarország*

## Bevezetés

A kőzetek és talajok radioaktív-tartalmának meghatározásához leggyakrabban nagy felbontású laboratóriumi, vagy terepi gamma-spektrometriai méréseket alkalmaznak, de egyéb módszerek, például alfa-spektrometria, alfa ill. béta részecskeszámláló, neutron aktivációs, atom abszorpciós, röntgen fluoreszcens, induktív csatolású plazma tömegspektrometriás (ICP-MS), vagy lángfotometriás vizsgálat is használható (AITKEN 1998). A radioaktív-tartalom-koncentráció adatainak ismerete szükséges a lumineszcens kor meghatározáshoz, segítheti egyes nyersanyagok kutatását (pl. urán és tóriumtelepek, szénhidrogén-felhalmozódások), valamint fontos lehet egészségügyi szempontból is (pl. radon, ill. radioaktív sugárzásveszély). A fúrásokban végzett lyukgeofizikai mérések között természetes gamma-szelvényezés is szerepel, amelynek leggyakrabban alkalmazott integrális változata a kőzetek összes gamma sugárzását méri. Az így kapott GR (Gamma Ray) görbe segíti a réteg-oszlopok kőzettani tagolását, elsősorban az agyag- és homokrétegek határának kijelölését, a kőzetek agyag tartalmának meghatározását, a diszkordancia felületek kimutatását, és a fúrások közti réteggörbekorrelációt is. Ezen felül a fúrólyukakban ritkábban alkalmazott spektrális természetes gamma-szelvényezéssel a főbb radioaktív elemek mennyisége is meghatározható. A radioaktív elemek közül a K és a Th részaránya alapján az üledékes kőzetek agyagvastagságtartalmára, fő agyagvastagságra, ill. egyéb Th- és K-hordozó ásványok jelenlétére lehet következtetni (QUIREN et al. 1982, SCHLUMBERGER 1988). A még ritkán alkalmazott légi gamma-spektrometriai mérések a térképezéshez és nyersanyagkutatáshoz nyújtanak segítséget (IAEA 2003).

Jelen munka célja elsősorban a hazai negyedidőszaki üledékek lumineszcens kor meghatározásához az 1970-es évektől napjainkig készült, és az Országos Radiometriai Alaphálózat keretében 1999 és 2011 között recens talajokon végzett laboratóriumi gamma-spektrometriai mérések eredményei alapján meghatározott radioaktív-tartalom-koncentráció adatainak kiértékelése volt. Ezen kívül löszterületen mélyült fúrások természetes gamma-szelvényei is elemzésre kerültek. A rendelkezésre álló adatok alapján a különböző képződmények radiometriai jellemzése információkkal szolgál a negyedidőszaki üledék- és talajképződésre, valamint segíti a lösz–paleotalaj-szelvények korrelációját.

### Az üledékek főbb radioaktív izotópjai

A kőzetek radioaktív sugárzása elsősorban az  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  és  $^{87}\text{Rb}$  radioaktív izotóptól, és azok leányizotópjaitól származik. A földkéregben 2,09% gyakorisággal előforduló K-atomok között a  $^{40}\text{K}$  részaránya 0,01% (LIDE 2008). A 9,6 ppm gyakoriságú tóriumot kizárólag  $^{232}\text{Th}$  alkotja. A földkéreg 2,7 ppm-nyi természetes urán atomjainak 99,28%-a az  $^{238}\text{U}$  és 0,72%-a az  $^{235}\text{U}$ . A 90 ppm gyakoriságú rubidiumban 27,83% a  $^{87}\text{Rb}$ . Kálium elsősorban a káli-földpátokban (ortoklász, mikroklin, szanidin, anortoklász),

a földpátpótlókban (leucit, nefelin) és a csillámokban (biotit, muszkovit, flogopit) fordul elő. Ezért a savanyú magmás kőzetekben, főként a granitoidokban magas a K-koncentráció (kb. 3,5%), míg az ultrabázisos kőzetekben nagyon alacsony (0,58–0,78%). Többek között az agyagásványok (főként az illit), egyes amfibolok (hornblende), az alunit, a glaukonit és a szilvin is tartalmaz káliumot. Az uránásványok közül a leggyakoribb az uraninit, amely gránitokban, pegmatitokban és hidrotermás telérekben, valamint gránitok kőzetalkotó ásványainak zárványaként, és üledékes kőzetekben fordul elő. Ezen kívül nyomokban a tórit, a torianit, a huttonit, a cirkon, a xenotim, a monacit, az allanit, az apatit és a szfén is tartalmaz uránt. A tóriumásványok (pl. tórit, torianit, huttonit, uranotórit) nagyon ritkák, de a cirkonban, a monacitban, az allanitban, a xenotimban, az apatitban, a szfénben és az epidotban is lehet kevés tórium (IAEA 2003).

A felszínen a mállás és talajosodás során a K másként viselkedik, mint az U és a Th. A kálium nagyobb oldékonysága miatt hamar kioldódik a kis ellenállóképességű ásványokból, legelőször a biotitból, később a földpátokból, majd a muszkovitból. A talajvizekben a kálium jellemzően mobilisabb mint az urán és a tórium (WILFORD et al. 1997). A  $\text{K}^+$  ionok egyrészt a talaj felső részéből mélyebbre mosódva tápanyagot biztosítanak a növényzet megtelepedéséhez és azokat a növények felveszik, másrészt beépülnek az agyagásványokba (pl. illitbe), vagy adszorbeálódnak (pl. montmorillonitban). Az agyagásványok közül a vermikulit és a montmorillonit rendelkezik a legnagyobb kationadszorpciós kapacitással. A humusz kationmegkötő-képessége meghaladhatja az agyagásványokét (SZENDREI 1998). A nitrogéntartalmú szerves anyagok salétromsavas bomlástermékeinek hatására a K-tartalmú málladékból kálisalétrom ( $\text{KNO}_3$ ) kivirágzás is képződhet a felszínen (pl. a Nyírségben, SZÁDECZKY-KARDOSS 1955).

Az U-tartalmú ásványok az ellenálló cirkon és monacit kivételével a felszínen elmállanak, az urán oxidálódik és  $\text{U}^{6+}$  oldható mobilis komplexeket képez karbonát-, szulfát-, vagy foszfát-anionokkal (LANGMUIR & HERMANS 1980), majd megkötődik Fe-oxid-hidroxidokon, agyagásványokon, kolloidokon, ill. szerves anyagokon, vagy a redukív környezetbe kerülő vizekből oldhatatlan  $\text{U}^{4+}$  alakjában válik ki, amely sokféle uránásványt alkothat (DICKINSON & SCOTT 1997). A mocsaras, lápos, tőzeges területeken a korhadó növényi részek adszorbeálják az uránt. 1 g humusz max. 50–100 mg uránt tud megkötni az erre legkedvezőbb 5 pH körül, míg kisebb pH mellett az urán kioldódik, ill. nem adszorbeálódik (SZÁDECZKY-KARDOSS 1955).

A tórium savas pH-n  $\text{Th}^{4+}$  alakjában oldódik ki az ásványokból. Az oldhatósága kisebb, mint az urané, és növekszik szerves savak (pl. humuszsav) hatására. Az uránhoz hasonlóan a tórium is adszorbeálódik az agyagásványokon, Fe-oxidokon és szerves anyagokon, ill. fluorid-, oxalát-, jodid-, vagy foszfátásványok kiválásához társulhat (CHOPIN 1988). Magas urán- vagy tóriumkoncentráció esetén a radioaktív bomlás miatt a talajvízben rádium, a talajban pedig radon jelenhet meg (WILFORD 2008). A keletkező radongáz az ásványszemcsék méretétől és a képződmények nedves-

ségtartalmától függően eltávozik a felszíni rétegekből, ami kisebb U-koncentráció méréséhez vezet (IAEA 2003). Az urán és a tórium eltérő oldhatósága miatt a mállás során, amikor az U már oldatba megy, a Th még az ellenálló Th-tartalmú ásványokban továbbra is jelen van. Emiatt a spektrometria természetes gamma mérések alapján megállapítható Th/U hányados fontos jellemző, például a bauxitok esetében az alumínium dúsulás mértékére utal, mivel azokban a Th-koncentráció szoros korrelációt mutat az  $Al_2O_3$ -tartalommal (NYERGES & MINDSZENTY 1979).

A földfelszínen a radioaktív elemek eloszlásában a kőzeteknek, a geomorfológiának, a mállásnak és az erózióknak is nagy szerepe van (IAEA 2003). DICKINSON & SCOTT (1997) Ausztráliában végzett vizsgálatai alapján közepes és erős mállás, ill. talajképződés során a K-tartalom csökken, az U- és Th-tartalom viszont a talajosodó közettől függően változik. Káliumtartalom-csökkenést okozhat, pl. a földpátok kaolinittá alakulása, és a vas-oxid képződése. Ugyanakkor a vas-oxidok megjelenése az U- és Th-tartalom növekedését eredményezi az adszorpció miatt.

Mivel a kálium a mállás korai szakaszában kioldódik, ezért a talajok K-tartalma általában kicsi. Emellett a törmelékes kőzeteken kialakult talajokra kis U- és Th-tartalom jellemző, míg a vas- és alumíniumgazdag talajokban nagyobb az U- és Th-koncentráció (WILFORD 2008). A talajosodás során az agyagbemosódás, azaz a repedések agyaggal való kitöltődése növeli az U- és Th-tartalmat. A calcrete megjelenése relatív radioaktív elem-koncentráció csökkenést okoz, mivel ezek az elemek a karbonátokba nem épülnek be. A vaskonkréciók viszont koncentrálik a tóriumot, és néha az uránt is.

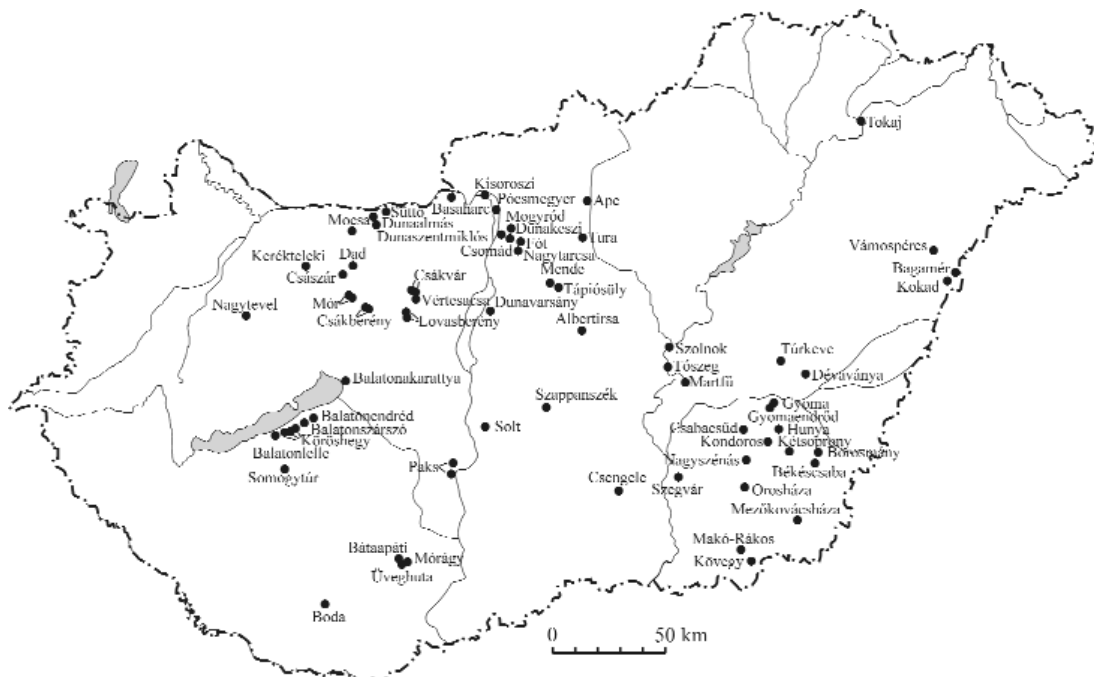
A talajok radioaktív elem-tartalmának alakulását a geomorfológia is befolyásolja, mivel az hatással van a mállásra, az erózió mértékére, a talaj vastagságára, a talajvíz helye-

tére, és a képződő mállástermékek, köztük az agyagásványok milyenségére is. Ahol az erózió a málláshoz képest gyengébb, ott a talajok radioaktív elem-tartalma az alapkőzeteikhez hasonló (WILFORD et al. 1997). A lejtőkről lecsúszó talajok és az eolikus érkező üledékanyagok azonban felülírják a helyi alapkőzetek hatását.

### Felhasznált adatok és alkalmazott módszerek

Összesen 335 db negyedidőszaki üledékes képződmény ill. paleotalaj, és 343 db recens talaj U-, Th- és K-koncentráció adatai kerültek kiértékelésre. A lumineszcens kormeghatározáshoz készült gamma-spektrometriai mérések mintáinak elhelyezkedése az 1. ábrán látható. Az Országos Radiometriai Alaphálózat gamma-spektrometriai mérésekre begyűjtött talajmintáinak helyzetét a 2. ábra mutatja. Az üledékes képződmények között a homokminták dominálnak (174 db), melyek nagy része folyóvízi (111 db) és eolikus (41 db). Sok még a löszminta (118 db), kevés az egyéb kőzetliszt (29 db) és a paleotalaj (14 db, 1. táblázat). Ezeknek a mintáknak a radioaktív elem-koncentráció adatait nagyrészt korábbi publikációk tartalmazzák (FRECHEN et al. 1997; NOVOTHNY et al. 2002, 2009, 2010; ÚJHÁZY 2002; ÚJHÁZY et al. 2003; KISS & SIPOS 2007; NYÁRI et al. 2007; NÁDOR et al. 2007, 2011; T. BIRÓ et al. 2010; GÁBRIS et al. 2011; KISS et al. 2012a, b, 2014; CSERKÉSZ-NAGY et al. 2012; SCHATZ et al. 2012; THAMÓ-BOZSÓ et al. 2007a, b, 2010a, b; THAMÓNÉ BOZSÓ et al. 2009; THIEL et al. 2014; FÁBIÁN et al. 2014).

A mintagyűjtési helyek alapján a recens minták talajtípusának, ill. altípusának, valamint talajképző kőzeteinek és egyéb tulajdonságainak (kémhatás, mészállapot, szerves-



1. ábra. A lumineszcens kormeghatározáshoz készült gamma-spektrometriai mérések mintáinak elhelyezkedése

Figure 1. Location of samples of gamma spectrometry measurements for luminescence dating



2. ábra. Az Országos Radiometriai Alaphálózat gamma-spektrometriai mérésre begyűjtött mintáinak elhelyezkedése

Figure 2. Location of samples collected for gamma spectrometry measurements to the National Radiometric Base Network

anyag-készlet) megállapítása Magyarország digitális Agrotopo talajtérképe (MTA TAKI 1998a, b 2003a, b, 2005, 2009) és Magyarország digitális 100 000-es földtani térképe segítségével történt. A recens talajtípusok és altípusok a talajok általános genetikai osztályozásának megfelelőek (STEFANOVITS et al. 1999), a paleotalajok elnevezése a vonatkozó publikációk alapján a hazai lösztartigráfiát követi (HORVÁTH & BRADÁK 2014).

A hazai negyedidőszaki üledékek lumineszcens kor meghatározásához az 1970-es évek óta készülnek nagy felbontású gamma-spektrometriai laboratóriumi mérések, eleinte külföldi, 2004 óta hazai laboratóriumokban is. Az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, majd a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet Radiometriai Laboratóriumában végzett gamma-spektrometriai mérésekhez általában 0,8–1 kg üledéket használnak fel. A minták kiszáritás, és szükség esetén őrlés után kerülnek mérésre 600 cm<sup>3</sup> térfogatú, légmentesen lezárt Marinelli edényben. A spektrum felvétele

I. táblázat. A kiértékelt hazai negyedidőszaki képződmények U-, Th- és K-koncentráció adatai

Table I. U, Th and K content of the evaluated Quaternary rocks and soils

Képződmények, lelőhelyek	Minták száma (db)	U (ppm)			Th (ppm)			K (%)		
		átlag	min.	max.	átlag	min.	max.	átlag	min.	max.
Homok	174	<b>1,83</b>	0,60	4,28	<b>5,89</b>	0,38	17,00	<b>0,69</b>	0,02	2,20
Közetliszt	29	<b>2,86</b>	1,20	6,21	<b>9,70</b>	3,53	16,90	<b>0,88</b>	0,36	1,94
Lösz	118	<b>3,00</b>	1,88	5,10	<b>10,77</b>	6,45	16,41	<b>1,23</b>	0,40	1,95
Paleotalaj	14	<b>3,06</b>	2,30	3,84	<b>11,19</b>	8,44	13,51	<b>1,30</b>	0,53	1,73
Recens talaj	343	<b>1,79</b>	0,00	9,19	<b>7,77</b>	0,70	30,78	<b>1,31</b>	0,00	6,19
Paks, lösz	42	<b>3,08</b>	2,32	3,57	<b>11,05</b>	8,80	14,67	<b>1,36</b>	1,04	1,73
Mende, lösz	15	<b>2,61</b>	1,88	2,93	<b>9,66</b>	6,45	10,53	<b>1,26</b>	0,73	1,59
Albertirsa, lösz	13	<b>2,54</b>	2,30	2,90	<b>9,20</b>	8,30	10,50	<b>1,16</b>	1,02	1,32
Albertirsa, paleotalaj	4	<b>2,75</b>	2,30	3,00	<b>10,33</b>	9,10	11,50	<b>1,25</b>	1,05	1,38
Süttő, lösz	12	<b>3,06</b>	2,51	3,94	<b>9,75</b>	7,43	14,07	<b>1,25</b>	0,89	1,95
Süttő, paleotalaj	4	<b>3,08</b>	2,65	3,57	<b>11,51</b>	8,44	12,78	<b>1,39</b>	1,12	1,55
Tokaj, lösz	6	<b>3,11</b>	2,27	4,26	<b>11,84</b>	10,62	14,03	<b>1,59</b>	1,46	1,70
Tokaj, paleotalaj	3	<b>3,53</b>	3,37	3,82	<b>12,66</b>	12,18	12,92	<b>1,62</b>	1,55	1,73
Basaharc, lösz	8	<b>2,91</b>	2,46	3,33	<b>10,93</b>	8,48	13,38	<b>1,33</b>	1,12	1,49
Tápiószőlő, lösz	5	<b>3,64</b>	2,86	5,10	<b>10,04</b>	7,30	12,60	<b>1,76</b>	1,43	1,89
Bátaapáti, lösz	5	<b>3,72</b>	3,60	3,88	<b>15,48</b>	13,51	16,41	<b>0,64</b>	0,48	0,86
Újveghuta, lösz	3	<b>3,40</b>	3,25	3,70	<b>15,09</b>	13,63	16,29	<b>0,54</b>	0,51	0,57
Mórággy lösz	2	<b>3,21</b>	2,90	3,52	<b>14,39</b>	13,14	15,64	<b>0,54</b>	0,51	0,57
Csákberény, lösz	4	<b>2,96</b>	2,68	3,13	<b>9,40</b>	8,12	10,30	<b>0,41</b>	0,40	0,43
Lovasberény, lösz	2	<b>3,03</b>	2,60	3,46	<b>10,04</b>	8,68	11,41	<b>0,45</b>	0,40	0,51
Köröshegy, paleotalaj	1	<b>3,69</b>	3,69		<b>13,51</b>			<b>0,53</b>		
Dunavarsány, futóhomok	4	<b>1,45</b>	0,70	2,30	<b>4,63</b>	2,30	6,90	<b>0,66</b>	0,19	1,00
Dunavarsány, paleotalaj	2	<b>2,15</b>	1,80	2,50	<b>7,15</b>	6,10	8,20	<b>1,27</b>	1,21	1,32

Canberra-Packard gyártmányú hordozható nagy spektrális érzékenységgű, folyékony nitrogénnel hűtött HpGe félvezető detektorral történik 0–1500 keV energiatarományban, KFKI gyártmányú 4096 csatornás MCA kártya használatával. A spektrumfelvétel ideje általában 60 000 másodperc. A felvett spektrum kiértékelése „SAMPO 90” (Canberra-Packard) program alkalmazásával történik. A spektrumok energia szerinti kalibrálásához használt jól azonosítható jellegzetes energiavonalak a következők: Pb–214 (U) 351,925 keV; Bi–214 (U) 609,32 keV; Ac–228 (Th) 911,07 keV; Bi–214 (U) 1120,28 keV; K–40 1460,83 keV. Ezek alapján a spektrumok csatornaszám–energia összefüggésének, majd az egyes nuklidokhoz vagy leányelemeikhez tartozó csúcsok nettó területének kiszámítása következik: Bi–214 (U) 609,32 keV; Cs–137 661,66 keV; Tl–208 (Th) 583,19 keV; K–40 1460,83 keV. A mennyiségi meghatározás hiteles mintasorozat segítségével történik. A hiteles anyagminták megfelelő csúcs alatti területei és a bennük lévő radioizotóp-tartalom közötti lineáris regresszió paraméterei alapján számítható ki az ismeretlen mintában lévő anyagmennyiség.

A fúrólukokban az integrális természetes gamma mérések során a kőzetek összes mérhető gammasugárzását szcintillációs számláló detektálja. Az összes mérhető gammasugárzás (GR) értéke függ a kőzetben jelenlévő radioaktív ásványok közöttfógratra vetített arányától (V), a radioaktív ásványok és a kőzettest sűrűségének arányától ( $\rho/\rho_{\text{bulk}}$ ), és az ásványok radioaktivitásának intenzitásától (I). Integrális mérésnél egyfajta ásványra tehát:  $GR_i = \rho/\rho_{\text{bulk}} \times V \times I$ . Több radioaktív ásvány jelenléte esetén az összes mérhető gamma-sugárzás az egyes ásványokból származók összege ( $\Sigma GR_i$ ). A kálium aktivitása lényegesen kisebb, mint az uráné és tóriumé, azonban sokkal magasabb gyakorisága miatt az összes sugárzásban elért aránya hasonlóan jelentős. Mivel az üledékes kőzetekben a legjelentősebb radioaktív ásványnak az agyagásványok tekinthetők, ezért a mélyfúrás-geofizikában a természetes gamma mérést elsősorban az agyagosság becslésére alkalmazzák.

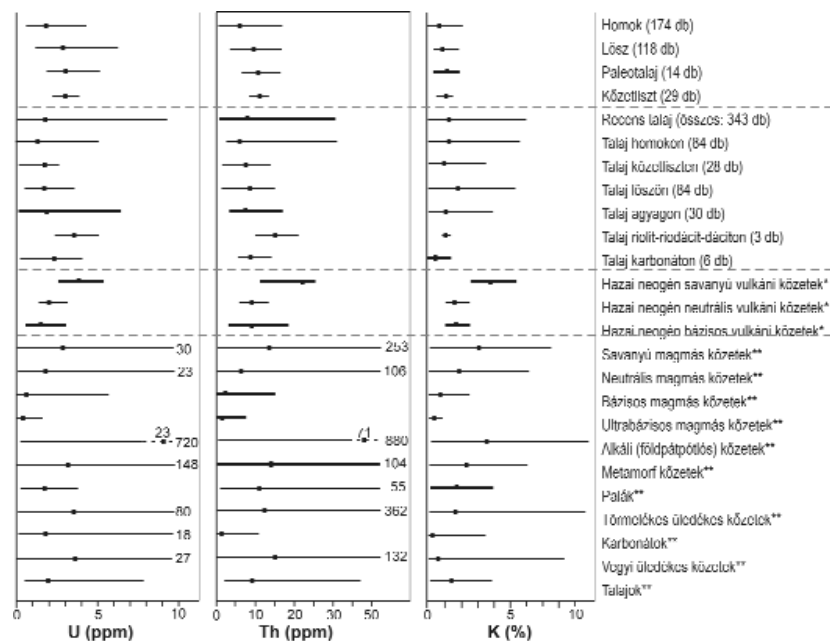
A rendelkezésre álló adatok kiértékelése során a különböző kőzetek, kőzetcsoportok, paleotalajok és recens talajok az U, Th és K átlag, minimum és maximum értékeik alapján kerültek összehasonlításra. A löszszelvények paleotaljai és a löszökön képződött recens talajok U-, Th- és K-tartalma klaszter-analízis segítségével is összevetésre került. A klaszteranalízis az adatok transzformációja nélkül, az euklideszi távolságok alapján számított, súlyozott és súlyozatlan átlag technika alkalmazásával is elkészült (DAVIS 1986, Ó. KOVÁCS 1986), és az értelmezés szempontjából igen hasonló eredményt adott, ezért a későbbiekben a súlyozatlan átlag technikával készült klaszter analízis eredményei kerülnek bemutatásra.

Az adatok kiértékelése során figyelembe vettük LENKEY & SURÁNYI (2006) hazai neogén vulkáni kőzetekre vonatkozó, valamint KILLEEN (1979) és DICKINSON & SCOTT (1997) által különböző kanadai és ausztráliai magmás, metamorf és üledékes kőzetekről publikált radioaktív-tartalom adatait is. A minták K–Th diagramban való ábrázolása (QUIREIN et al. 1982, SCHLUMBERGER 1988 nyomán) ásványi összetételükről nyújtott információt.

A laboratóriumi gamma-spektrometriai mérési eredmények mellett a Mórógyi-rögöt fedő löszösszletben mélyült üveghutai fúrások természetes gamma szelvényei (MARSI et al. 2004) is elemzésre kerültek.

## Eredmények

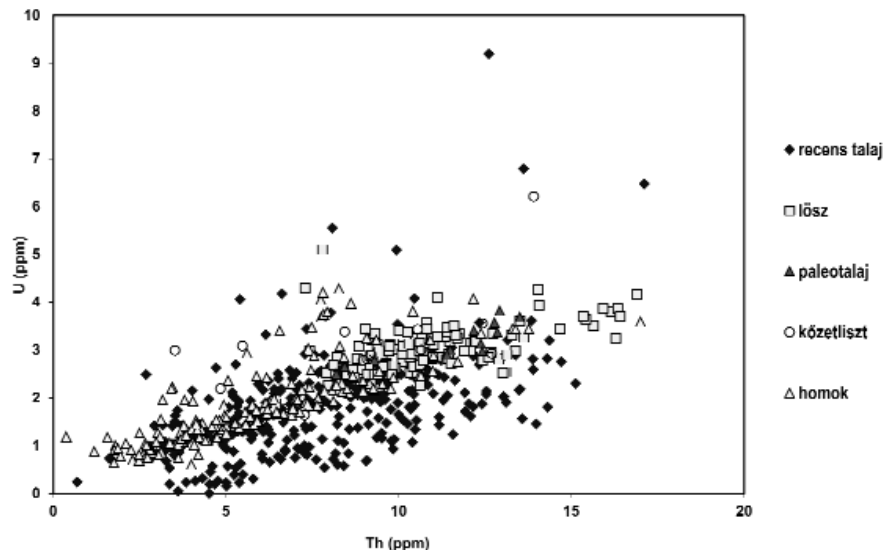
A vizsgált különböző hazai negyedidőszaki képződmények urán, tórium és kálium tartalmának átlag, valamint minimum és maximum értékeit az 1. táblázat mutatja be. Ennek alapján a paleotalajok és löszök rendelkeznek a legnagyobb átlagos U- és Th-tartalommal, és a K tartalmuk is jelentős (U: 3,1 és 3,0 ppm, Th: 11,2 és 10,8 ppm, K 1,3 és 1,2%). Ezeket követik a kőzetlisztek, a recens talajok és a homokok (az utóbbiakban U: 1,8 ppm, Th: 5,9 ppm, K 0,7%). Más üledékes, valamint magmás és metamorf kőzetek irodalmi adatai alapján megállapítható, hogy az alkáli (földpátpótlós) kőzetekben a legmagasabb a radioaktív elemek részaránya. A savanyú magmatitokban, a metamorfítokban és a karbonátok kivételével az üledékes kőzetekben is jelentős a mennyiségük, míg az ultrabázisos kőzetekben a legalacsonyabb (3. ábra).



3. ábra. A vizsgált hazai negyedidőszaki képződmények, valamint különböző kőzetek és talajok U-, Th- és K-tartalma (\*LENKEY & SURÁNYI 2006, \*\*KILLEEN 1979 és DICKINSON & SCOTT 1997 adatai alapján)

A vonalakon a négyzet az átlagértéket jelöli

Figure 3. U, Th and K content of the evaluated Quaternary sediments, soils and different rocks from Hungary (\*data from LENKEY & SURÁNYI 2006, \*\*data from KILLEEN 1979 and DICKINSON & SCOTT 1997) Squares on the lines indicate the average values



4. ábra. A minták elhelyezkedése Th-U diagramban

Figure 4. The studied samples in Th-U diagram

A kiértékelt hazai mintákban ez a három radioaktív elem pozitív korrelációban van egymással. A legerősebb korreláció a Th- és az U-koncentráció között mutatható ki, amit a minták elhelyezkedése is tükröz a Th-U diagramban (4. ábra).

#### Löszök és paleotalajok radioaktív- és tartalmának jellemzői

A hazai löszszelvények 5. ábrán bemutatásra kerülő radioaktív- és tartalom adatai FRECHEN et al. (1997), NOVOTHNY et al. (2002, 2009, 2010), SCHATZ et al. (2012) és THIEL et al. (2014) publikációiból származnak. Ezek alapján megállapítható, hogy az egyes löszszelvényekből vizsgált néhány paleotalajban magasabb a radioaktív- és tartalom koncentráció, mint az alattuk és fölöttük települt löszökben (1. táblázat és 5. ábra: Albertirsa, Süttő, Tokaj). A löszszelvények legfelső részén gyakran kicsi a Th és az U részaránya, amely lefelé növekszik, és a paleotalajok közbe-településével változóvá válik. A Paks I. szelvényben a „Fiatal Löss” és a „Mende Bázis” paleotalaj-komplexum (MB) alatt elhelyezkedő „Idős Löss” sugárzóanyag-tartalma között nem mutatkozik lényeges eltérés, csak kissé nagyobb az átlagos Th- és K-tartalom az idősebb löszben (A „Fiatal Löss”-ben U: 3,0 ppm, Th: 10,7 ppm, K: 1,3%, az „Idős Lössben” U: 2,8 ppm, Th: 11,8 ppm, K: 1,4%). Az albertirsai szelvényben kisebb radioaktív- és tartalom-dúsulás a humuszos szint (h) esetében is megfigyelhető. A süttöi szelvényben két különböző talajtípus adatai is összehasonlíthatók. Eszerint 16,3 m mélyen a vörösesbarna színű paleoerdőtalajból vizsgált minta kisebb U-, Th- és K-tartalommal rendelkezik, mint a feljebb található csernozjom jellegű paleotalaj.

A különböző területekről vizsgált löszminták közül a legnagyobb, átlagosan 14,4–15,5 ppm Th-tartalommal a Dél-Dunántúli löszei rendelkeznek (1. táblázat: Bátaapáti, Üveghuta, Mórággy), amihez jelentős, 3,2–3,7 ppm U-

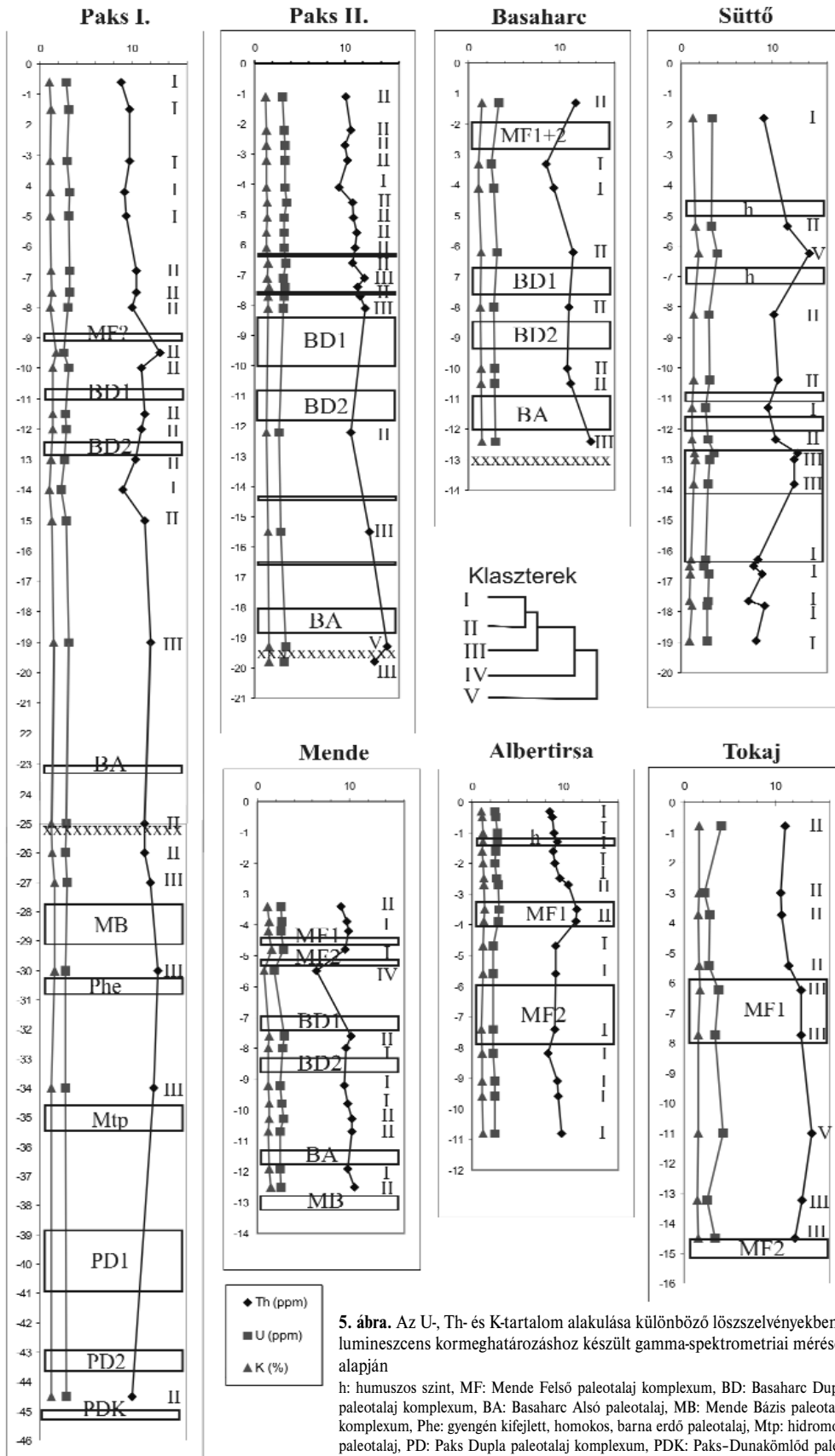
koncentráció is társul. Kis U- és Th-értékek az albertirsai, a csákerényi és mendei szelvényekben, kis K-tartalom a Dél-Dunántúlon és a Vértes déli eltörében jelentkezett.

Az 1. táblázatból az is kitűnik, hogy a löszökben és paleotalajokban lényegesen nagyobb a radioaktív elemek részaránya, mint a velük egyidős folyóvízi és szélfújta homokokban, és kissé nagyobb az egyéb kőzetlisztekhez képest is. A hazai neogén vulkanitokkal összehasonlítva (3. ábra) a vizsgált löszök és paleotalajok kisebb K-tartalommal rendelkeznek, U- és Th-koncentrációjuk pedig nagyobb mint a bázisos és neutrális vulkáni kőzeteké, viszont jóval kisebb mint a savanyú vulkanitoké.

A különböző löszszelvények lumineszcens kormeghatározásra begyűjtött mintáinak U-, Th- és K-koncentráció adatai alapján készült klaszteranalízis szerint az egyes csoportokba igen eltérő korú minták kerültek (5. ábra).

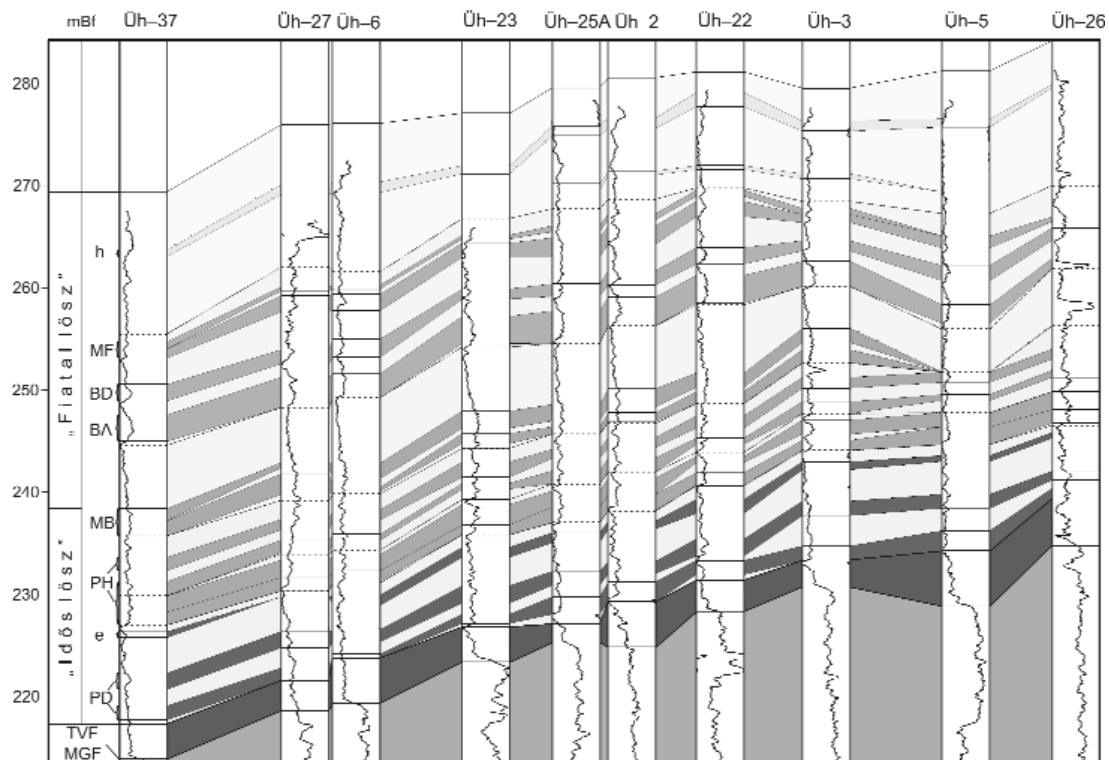
A Mórággyi-rögöt fedő, több mint 50 m vastag löszösszleten mélyült üveghutai fúrások természetes gamma szelvényein (MARSÍ et al. 2004, 6. ábra) látható, hogy a „Fiatal Löss”-ben települt „Mende Felső”, „Basaharc Dupla” és „Basaharc Alsó” paleotalajok jól elkülönülnek a löszrétegektől, különösen a közvetlenül alattuk található, kisebb radioaktivitással rendelkező löszöktől, és az egyre idősebb paleotalajok általában egyre nagyobb gamma-sugárzást bocsátanak ki. Lejjebb, az „Idős Löss” összletben a paleotalajok és a löszök között kisebb a különbség, és az egyes paleotalaj rétegek radioaktivitása is hasonló egymáshoz. Az üveghutai löszösszlet legidősebb (a „Paks Dupla” paleotalaj komplexet magába foglaló) szakaszán a kisebb változásoktól eltekintve lefelé fokozatosan növekszik a gamma-sugárzás.

A lösz és paleotalaj minták K-Th diagramban elfoglalt helyzete, azaz Th/K aránya alapján főként a montmorillonit és részben a kaolinit mezőben helyezkednek el, de közülük néhány a Th-tartalmú nehézasványok és a kevert szerkezetű agyagásványok területére esik (7. ábra). Hozzájuk hasonlóan a különböző felső-pleisztocén–holocén homokok és



**5. ábra.** Az U-, Th- és K-tartalom alakulása különböző löszszelvényekben a lumineszcens kormeghatározáshoz készült gamma-spektrometriai mérések alapján  
 h: humuszos szint, MF: Mende Felső paleotalaj komplexum, BD: Basaharc Dupla paleotalaj komplexum, BA: Basaharc Alsó paleotalaj, MB: Mende Bázis paleotalaj komplexum, Phe: gyengén kifejtett, homokos, barna erdő paleotalaj, Mtp: hidromorf paleotalaj, PD: Paks Dupla paleotalaj komplexum, PDK: Paks-Dunakömlőd paleotalaj, xxx: Bagi Tefra, I-V: fő csoportok a klaszteranalízis eredménye alapján

**Figure 5.** U, Th and K content of different loess sections based on the gamma spectrometry measurements for luminescence dating.  
 h: humic horizon, MF: Mende Upper palaeosol complex, BD: Basaharc Double palaeosol complex, BA: Basaharc Lower palaeosol, MB: Mende Base palaeosol complex, Phe: weakly developed sandy brown forest palaeosol, Mtp: hydromorphous palaeosol, PD: Paks Double palaeosol complex, PDK: Paks-Dunakömlőd palaeosol, xxx: Bag Tefra, I-V: main clusters according to the results of cluster analysis

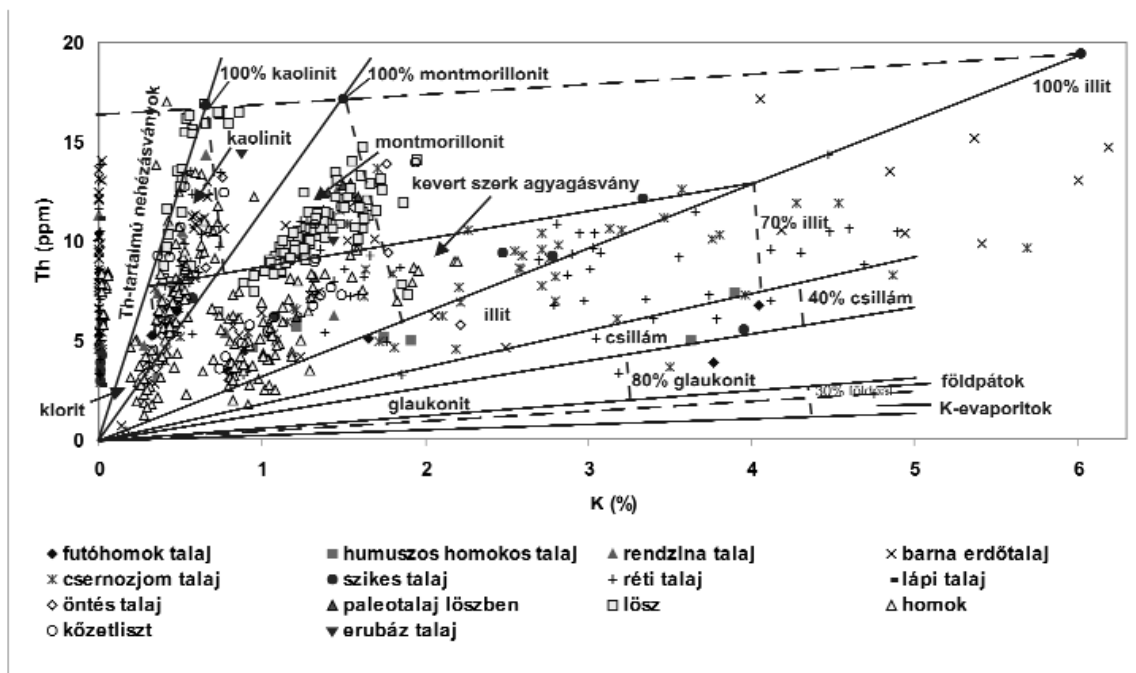


6. ábra. Természetes gamma szelvények az üveghuta fúrásokban MARSÍ et al. (2004) nyomán

h: humusos szint, MF: Mende Felső paleotalaj komplexum, BD: Basaharc Dupla paleotalaj komplexum, BA: Basaharc Alsó paleotalaj, MB: Mende Bázis paleotalaj komplexum, PH: Paksi Homokos paleotalaj, e: embrionális paleotalaj, PD: Paks Dupla paleotalaj komplexum, TVF: Tengelic Vörösgyag Formáció, MGF: Mórági Gránit Formáció

Figure 6. Natural gamma logs of Üveghuta boreholes after MARSÍ et al. (2004)

h: humic horizon, MF: Mende Upper palaeosol complex, BD: Basaharc Double palaeosol complex, BA: Basaharc Lower palaeosol, MB: Mende Base palaeosol complex, PH: Paks Sandy palaeosol, e: embryonic palaeosol, PD: Paks Double palaeosol complex, TVF: Tengelic Red Clay Formation, MGF: Mórág Granite Formation



7. ábra. A minták elhelyezkedése K-Th diagramban (SCHLUMBERGER 1988 nyomán)

Figure 7. Samples in K-Th diagram (after SCHLUMBERGER 1988)



kőzetlisztek egy része is az előbbi mezőkön helyezkedik, viszont az illitre, a kloritra és a csillámokra jellemző Th/K aránnyal rendelkezők is vannak közöttük. A 7. ábra szerint a löszök és paleotalajok két elkülönülő csoportot alkotnak. Az egyik csoportba a nagyobb Th/K aránnyal jellemezhető löszök tartoznak (Dél-Dunántúl, Vértes déli előtere). A kisebb Th/K hányadossal rendelkező csoportba található a többi löszminta, melyek között kissé elkülönülten jelentkezik a legkisebb Th/K aránnyal két tápiósülyi minta. A diagramban a két lösz- és paleotalaj csoport szomszédságában valamivel kisebb Th- és K-tartalommal a homokok és a kőzetlisztek is két csoportosulást képeznek. Ezekon kívül a szinte K-mentes homokok egy harmadik csoportot is alkotnak a Th-tengely közelében.

elem koncentrációjának alakulása a talajképző kőzetek szerint a 3. ábrán látható. Eszerint az átlagértékeket tekintve a homokokon kialakult talajok rendelkeznek a legkisebb U- és Th-értékekkel. Ezekhez képest a finomabb szemcseméretű aleuritokon, löszökön és agyagokon képződött talajok átlagos U- és Th-tartalma, valamint a löszök esetében a K-tartalom is nagyobb. A vulkanitokon létrejött talajokban tapasztalható a legnagyobb átlagos U- és Th-koncentráció (U: 3,6 ppm, Th: 15,2 ppm). A hazai recens talajok és a világ más részéről vizsgált talajok nagyon jó egyezést mutatnak mindhárom radioaktív elem átlagértékei esetében (3. ábra).

A vizsgált hazai recens talajok több mint negyedét (28,6%-át) barna erdőtalajok alkotják, amelyek közül az agyagbemosódásos barna erdőtalajok és a barnaföldek a

II. táblázat. A különböző tájegységekről vizsgált recens talajok U-, Th- és K-tartalma

Table II. U, Th and K content of recent soils from different areas

Tájegység	Minták száma (db)	U (ppm)			Th (ppm)			K (%)		
		átlag	min.	max.	átlag	min.	max.	átlag	min.	max.
Kisalföld	23	<b>1,78</b>	0,23	2,91	<b>7,86</b>	3,25	13,58	<b>0,61</b>	0,00	1,63
Dunántúli-középhegység	39	<b>1,87</b>	0,24	5,55	<b>6,23</b>	0,70	11,30	<b>0,53</b>	0,00	2,85
Dunántúli-dombság	47	<b>1,35</b>	0,00	6,79	<b>9,43</b>	4,47	30,78	<b>1,62</b>	0,00	5,41
Dél-Dunántúl	17	<b>1,93</b>	0,19	6,47	<b>10,84</b>	4,54	17,11	<b>3,59</b>	0,00	6,19
Északi-középhegység	56	<b>2,21</b>	0,88	5,15	<b>9,11</b>	3,13	21,22	<b>0,70</b>	0,01	1,77
Észak-Alföld	30	<b>1,91</b>	0,71	3,32	<b>6,68</b>	1,69	13,49	<b>0,72</b>	0,01	1,84
Duna-Tisza köze	42	<b>1,30</b>	0,00	5,09	<b>5,91</b>	1,63	12,16	<b>2,43</b>	0,30	5,69
Tiszántúl	89	<b>1,90</b>	0,30	9,19	<b>7,37</b>	2,84	12,62	<b>1,27</b>	0,01	3,65

### Recens talajok radioaktív-elem-tartalmának jellemzői

Az Országos Radiometriai Alaphálózat keretében vizsgált talajminták területi eloszlása egyenletes (2. ábra), tájegységek szerinti megoszlásukat, valamint U-, Th- és K-tartalmuk átlag, minimum és maximum értékeit a II. táblázat tartalmazza. A táblázatból kitűnik, hogy a recens talajok a Dél-Dunántúl és az Északi-középhegységben rendelkeznek a legnagyobb U- és Th-tartalommal, és a Dél-Dunántúlon a K-koncentrációjuk is kiemelkedő. A legkisebb U- és Th-átlagértékek a Duna-Tisza között jelentkezők, amihez azonban jelentős K-tartalom társul. Az utóbbi elem a Dunántúli-dombság és a Tiszántúl területén közepesen gyakori.

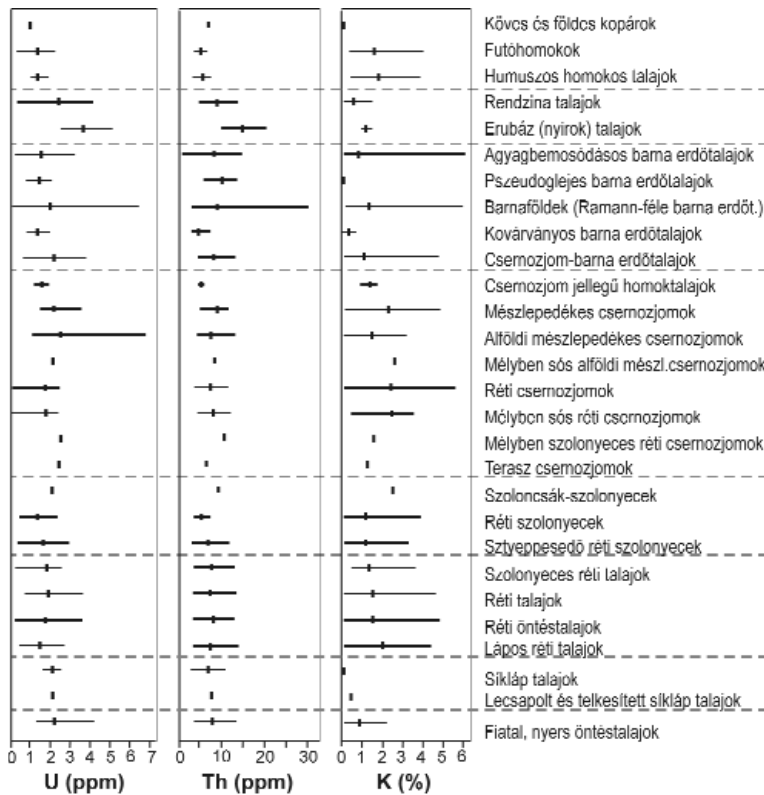
A vizsgált talajok elsősorban pleisztocén és holocén üledékes képződményeken alakultak ki, de idősebb talajképző kőzettel rendelkezők is akadnak, főként az Északi- és a Dunántúli-középhegységben. A negyedidőszaki talajképző képződmények között a folyóvízi és eolikus üledékek a leggyakoribbak, a deluviális és proluviális üledékek alárendelték. Az idősebb talajképző kőzetek zömét pannóniai, ill. miocén törmelékes üledékes kőzetek alkotják, valamint néhány devon és triász karbonáton, és miocén vulkaniton kialakult talajminta is van. A vizsgált recens talajok radioaktív

leggyakoribbak (III. táblázat). A Tiszántúlon azonban, ezen a főcsoporton belül csak kovárányos barna erdőtalaj mintái kerültek begyűjtésre. A talajminták 25,7%-a a réti talajok csoportjába tartozik, azon belül a réti öntéstalajok a leggyakoribbak. Az Alföldön a szolonyeces réti, a Dunántúlon a lápos réti talajminták is jellemzők. A minták 15,7%-a csernozjom talajból származik, melynek több altípusa is előfordul. Lényegesen kevesebb minta került begyűjtésre fiatal, nyers öntéstalajokból (4,4%), váztalajokból (5,0%, azon belül elsősorban futóhomokból és humuszos homokos talajból), szikes talajokból (3,5%), kőzetthasú talajokból (2,5%, azon belül mészköveken és dolomitokon kialakult rendzina talajokból, valamint vulkanitokon kialakult erubáz talajokból), végül pedig láptalajokból (1,2%). A fennmaradó talajminták besorolása bizonytalan.

A különböző talajtípusok közül a vulkanitokon képződött erubáz, ill. nyirok talajok rendelkeznek a legnagyobb, a hazai neogén savanyú vulkáni kőzetek értékeihez hasonló átlagos U- és Th-tartalommal (8. ábra). Ezek után egyes csernozjom és barna erdőtalajok, valamint a rendzina talajok, és egy tiszántúli szikes (szolonszák-szolonyec) talaj következnek. A csernozjomok közül kerülnek ki a legnagyobb átlagos K-koncentrációval rendelkező altípusok.

III. táblázat: A különböző tájegységek vizsgált recens talajtípusainak megoszlása  
 Table III. Distribution of soil types in the different areas

Tájegység	Talajtípusok és altípusok megoszlása (%)																															
	Váztalajok			Közet-hatású talajok		Barna erdőtalajok					Csernozjom talajok							Szikes talajok			Réti talajok				Láp-talajok		Bizonnyalan besorolási talajok	Összesen				
	Köves és földes koparak	Füthomokok	Humuszos homokos talajok	Kendzina talajok	Erváz talajok, nyírtalajok	Agygémossódásos barna erdőtalajok	Pszudogleyes barna erdőtalajok	Barnafülek (Kamam-féle barna erdőtalajok)	Koványos barna erdőtalajok	Csernozjom-barna erdőtalajok	Csernozjom jellegű homoktalajok	Mészpedékes csernozjomok	Alföldi mészpedékes csernozjomok	Mélyben sós alföldi mészpedékes csernozjomok	Mélyben sós réti csernozjomok	Réti csernozjomok	Mélyben sós réti csernozjomok	Mélyben szolonyeces réti csernozjomok	Terrasz csernozjomok	Szolonszák-szolonyecsek	Réti szolonyecsek	Sztyppesedő réti szolonyecsek	Szolonyeces réti talajok	Réti talajok	Réti öntéstalajok	Lapos réti talajok			Sík lap talajok	Lecsapolt és lekistett sík lap talajok	Fatal, nyers öntéstalajok	
Kisalföld						26,1		8,7	4,3						4,3										21,7	13,0						4,3
Dunántúli-kg.				7,7		10,3		25,6	10,3	2,6	10,3														2,6	2,6	2,6				15,4	100,0
Dunántúli-domság	2,1					25,5	10,6	8,5	4,3		10,6	2,1			4,3						2,1					10,6	12,8	2,1			4,3	100,0
Dél-Dunántúl						23,5		17,6	5,9						5,9												17,6	23,5	5,9			100,0
Északi-kg.		1,8	1,8	5,4	5,4	23,2	1,8	14,3	5,4						1,8												3,6	14,3			8,9	100,0
Észak-Alföld		3,3	3,3					16,7	6,7																		13,3	10,0			6,7	100,0
Duna–Tisza köze		4,8	11,9					2,4							11,9	7,1											4,8	7,1	14,3	4,8		100,0
Tiszántúl		4,5	1,1						7,9				5,6	1,1	6,7	10,1	1,1	1,1	3,4	5,6	5,6	1,1	1,1	1,1	14,6	5,6	14,6	5,6		1,1	7,9	100,0
Összesen		5,0		2,5				28,6						15,7						3,5					25,7			1,2	4,4		13,8	100,3



8. ábra. Az U-, Th- és K-tartalom alakulása a különböző recens talajokban

Figure 8. U, Th and K content of different recent soils

A kiértékelt recens talajok K–Th diagramban ábrázolva igen szórta helyezkednek el. A barna erdőtalajok főként a montmorillonit, a kaolinit és a Th-tartalmú nehézasványok, valamint az illit mezőjében találhatóak (7. ábra). A csernozjom

talajok viszont a kevert szerkezetű agyagásványok és az illit területén gyakoribbak. A klorit, a csillám és a glaukonit mezőbe is esik néhány recens talaj.

A recens talajok kémhatását, ill. mészállapotát és radioaktívem-tartalmát összehasonlítva kitűnik, hogy a gyengén savanyú talajok rendelkeznek a legnagyobb U- és Th-átlagértékkel (U: 1,9 ppm, Th: 8,2 ppm, IV. táblázat). Ezeknél kisebbek az erősen savanyú talajok, majd a felszíntől karbonátos talajok értékei, végül a szikeseké a legkisebb. A K-tartalom a felszíntől karbonátos szikesekben, ill. a felszíntől karbonátos talajokban a legnagyobb (2,5 és 2,0%), a savanyú talajokban és a nem felszíntől karbonátos szikesekben pedig lényegesen kisebb. A savanyú talajok közül az erősen savanyú talajokban kisebb a K-koncentráció, mint a gyengén savanyúakban.

A vizsgált talajok szervesanyag-készlet és sugárzóanyag-tartalom adatainak összevetése (V. táblázat) mutatja, hogy az U-koncentráció átlagértéke fokozatosan növekszik 1,5 ppm-ről 2,1 ppm-re a szervesanyag-tartalom növekedésével egészen addig, míg el nem éri a 400 tonna/hektár fölötti értéket. A szervesanyag-készlet emelkedésével a Th- és K-tartalom esetében is van növekedés, de nem olyan egyenletes. Összességében a 300–400 tonna/hektár szervesanyag-tartalommal rendelkező talajok átlagosan U-, Th- és K-koncentrációja a legnagyobb.

A löszszelvényekben települt paleotalajok és a löszökön

IV. táblázat. A különböző kémhatású és mészállapotú hazai recens talajok U-, Th- és K-koncentráció adatai

Table IV. U, Th and K content of recent soils from Hungary with different pH and lime status

Kémhatás és mészállapot	Minták száma (db)	U (ppm)			Th (ppm)			K (%)		
		átlag	min.	max.	átlag	min.	max.	átlag	min.	max.
Erősen savanyú talajok	37	<b>1,76</b>	0,23	4,17	<b>8,07</b>	3,20	14,37	<b>0,71</b>	<0,01	3,07
Gyengén savanyú talajok	141	<b>1,89</b>	<0,01	9,19	<b>8,22</b>	0,70	30,78	<b>0,93</b>	<0,01	6,19
Felszíntől karbonátos talajok	122	<b>1,67</b>	<0,01	6,79	<b>7,35</b>	1,63	14,32	<b>2,01</b>	<0,01	5,69
Nem felszíntől karbonátos szikes talajok	10	<b>1,52</b>	0,30	2,93	<b>6,20</b>	2,99	12,15	<b>0,72</b>	0,01	3,33
Felszíntől karbonátos szikes talajok	3	<b>1,37</b>	0,39	2,03	<b>7,03</b>	5,50	9,38	<b>2,50</b>	0,08	3,95

V. táblázat. A különböző szervesanyag-tartalmú hazai recens talajok U-, Th- és K-koncentráció adatai

Table V. U, Th and K content of recent soils from Hungary with different organic matter stocks

Szervesanyag-készlet (tonna/hektár)	Minták száma (db)	U (ppm)			Th (ppm)			K (%)		
		átlag	min.	max.	átlag	min.	max.	átlag	min.	max.
<50	11	<b>1,50</b>	0,23	4,17	<b>5,44</b>	3,48	7,10	<b>1,32</b>	<0,01	4,05
50–100	62	<b>1,52</b>	<0,01	3,32	<b>7,58</b>	2,77	30,78	<b>0,79</b>	<0,01	6,19
100–200	94	<b>1,78</b>	0,15	6,47	<b>8,14</b>	0,70	17,11	<b>1,23</b>	<0,01	6,00
200–300	70	<b>1,84</b>	<0,01	4,08	<b>7,72</b>	1,69	14,30	<b>1,56</b>	<0,01	5,69
300–400	52	<b>2,06</b>	1,03	6,79	<b>8,35</b>	3,20	13,85	<b>1,63</b>	<0,01	4,87
>400	16	<b>1,52</b>	0,39	2,73	<b>7,35</b>	2,69	14,32	<b>1,62</b>	<0,01	4,47

képződött recens talajok U-, Th- és K-tartalom értékeinek klaszter-analízis segítségével történt kiértékelése szerint a löszök paleotalajai elsősorban egymással mutatnak szorosabb rokonságot, valamint egy dunaújvárosi mészlepedékes csernozjom és egy gádoroszi mélyben sós alföldi mészlepedékes csernozjom recens talajhoz is igen hasonlóak. Ugyanakkor a recens barna erdőtalajoktól sem különülnek el teljesen, míg a réti talajoktól jobban eltérnek a radioaktív-tartalmukat tekintve.

## Diszkusszió

A különböző hazai negyedidőszaki képződmények urán-, tórium- és káliumtartalmának alakulása (1. táblázat, 3. ábra) szerint az átlagértékeket tekintve kitűnik, hogy a finomabb szemcseméretű üledékek (löszök, ill. kőzetlisztek) nagyobb sugárzóanyag-koncentrációval rendelkeznek, mint a durvábbak (homokok). Ezt elsősorban a finomszemű üledékek nagyobb agyagásvány-tartalma okozhatja. Ez a tendencia összhangban van a mélyfúrás-geofizikai természetes gamma szelvényeknél tapasztaltakkal, ami miatt a GR-szelvények alkalmasak az agyagtartalom meghatározására, valamint az agyag- és homokrétegek elkülönítésére is. A finomszemű üledékek nagyobb sugárzóanyag-koncentrációjához esetleg azok nagyobb szervesanyag-tartalma is hozzájárulhat, mivel a szerves anyagokon az agyagásványokhoz hasonlóan kationok adszorbeálódhatnak.

A különböző löszszelvényekből vizsgált néhány paleotalaj-minta radioaktív-tartalma, és az üveghutai fúrások természetes gamma görbéi egyaránt jelzik, hogy egy-egy lösz-paleotalaj ciklusban a paleotalajokban magasabb a radioaktív-tartalom-koncentráció mint a löszökben. Ez a talajosodási folyamatokkal függhet össze, melyek során az agyagásványok és Fe-oxidok-hidroxidok képződése, valamint a szerves anyagok bekerülése növeli a radioaktív elemek mennyiségét elsősorban adszorpció révén. A paksi és az üveghutai löszszelvények alapján (5–6. ábra) a „Fiatal” és az „Idős Lösz” sugárzóanyag-tartalma között nincs lényeges eltérés, ami arra utal, hogy a löszök forrásközetei és képződési viszonyai mindvégig hasonlóak voltak. A „Fiatal” és „Idős Lösz” hasonló forrásközeteiből való származás és a hazai löszök nehézasványos összetételének alakulása is alátámasztja egyes szelvényekben (THAMÓ-BOZSÓ et al. 2014).

A különböző területekről vizsgált löszminták eltérő radioaktív elem tartalma a helyi sajátosságokat is tükrözi, ami jelzi, hogy a löszök nemcsak nagy távolságból érkezett poranyagból állnak, hanem közelebről, a helyi kőzetekből származó anyagot is tartalmaznak, ahogy azt a nehézasvány spektrumuk is bizonyítja (THAMÓ-BOZSÓ et al. 2014). Így például a Dél-Dunántúlon (Bátaapáti, Üveghuta, Mórógyi) a löszök nagy Th- és U-tartalma a közeli gránitokból, vagy az azokból képződött üledékanyagból származtatható ásványok (cirkon, monacit, xenotim) jelenlétével, ill. nagyobb gyakoriságával függhet össze. Ugyanakkor a Dél-Dunántúlon és a Vértés déli előterében, a Mórógyi rög, ill. a Velencei-hegység gránitjainak környezetében a löszökben jelentkező kisebb K-

tartalom a mállási folyamatok következménye lehet, mivel a mállás során a K már igen korán kioldódik a kis ellenálló képességű földpátokból és csillámokból, viszont a tórium és részben az urán is az ellenállóbb nehézasványokban marad, ami nagyobb Th/K hányadost eredményez. A kisebb Th/K arányú löszök csoportja esetében a kevesebb Th-tartalmú ásvánnyal rendelkező forrásközetek és a folyók árteréről kifújt kevésbé mállott, kevert anyag lehet meghatározó.

A lumineszcens kormeghatározásra begyűjtött lösz- és paleotalaj-minták radioaktív-tartalom-koncentráció adatai alapján készült klaszteranalízissel nem sikerült elkülöníteni az eltérő korú rétegeket, vagyis ezek a szórványos adatok nem használhatók korrelációra. Ugyanakkor a fúrások természetes gamma szelvényei jól alkalmazhatók korrelációs célokra, mivel a szomszédos fúrások különböző lösz-paleotalaj szintjeiben hasonló a görbék lefutása, amint az a Mórógyi-rögöt fedő löszösszetbe mélyült üveghutai fúrások esetében is tapasztalható (6. ábra). Itt a paleotalajok legjobban a mészkonkréciós löszöktől különíthetők el, mivel a mészkonkréciós szinteknél lecsökken a radioaktív-tartalom, és így a természetes gamma görbén negatív anomália jelentkezik (MARSÍ et al. 2004). Az „Idős Löszben” a paleotalajok és löszrétegek között mutatkozó kisebb különbség, valamint a legelső, a „Paks Dupla” paleotalaj komplexet magába foglaló szakaszon a lefelé tapasztalt fokozatos gamma-sugárzás növekedés összefügghet azzal, hogy az idősebb löszök és paleotalajok kompaktabbak és diagenetikusan erősebben átalakultak a fiatalabbakhoz képest.

A süttői szelvényben a két különböző paleotalaj típus U-, Th- és K-koncentráció adatai összhangban vannak a recens talajok adataival, miszerint a barna erdőtalajok többnyire kisebb radioaktív-tartalommal rendelkeznek, mint a csernozjom talajok. Ennek oka a kétféle talaj típus képződésének különbségeiből adódhat, például a barna erdőtalajok esetében az erősebb kilúgzásból, amely a radioaktív elemek egy részét is kimoshatta a talajszintből.

A paleotalajok radioaktív-tartalmának alakulásában a betemetődésük utáni diagenetikus folyamatok is változást okozhattak. Részben ezzel magyarázható, hogy a klaszteranalízis eredménye szerint a löszszelvények paleotalajai elsősorban egymással mutatnak szorosabb rokonságot. Ugyanakkor az, hogy ezek a paleotalajok két recens mészlepedékes csernozjom talajmintához és a löszterületeken kialakult barna erdőtalajokhoz is némiképp hasonlóak, összhangban van azzal, hogy a vizsgált paleotalajokat csernozjom-szerű, ill. barna erdőtalajoknak írták le (HORVÁTH & BRADÁK 2014).

A recens talajok U-, Th- és K-tartalmának alakulása összefügg a terület közzetani felépítésével. A Dél-Dunántúli és az Északi-középhegység talajaiban jelentkező magas radioaktív-tartalmú elem-értékeket főként a magmás, ill. vulkáni kőzetekből, és az azok lepusztulásából képződött törmelékes üledékes kőzetekből álló talajképző kőzetek okozhatják. A Dunántúli-domboságon, a Duna-Tisza közén és a Tiszántúlon a K nagyobb gyakorisága azonban összefügghet egyrészt a földművelés során alkalmazott kálium-tartalmú műtrágyázással (KÁDÁR 1999), másrészt a homokos szikes területek szoloncsák talajain jelentkező kálisálé trom ásványkiválással.

A vulkanitokon kialakult erubáz (nyirok) talajok kiemelkedő, a hazai savanyú neogén vulkáni kőzetekhez hasonló U- és Th-tartalma a talajképző kőzetek meghatározó szerepét jelzik. A csernozjom talajok nagy radioaktív elem-koncentrációja valószínűleg finomszemű talajképző kőzeteknek (löss, aleurit) és nagy szervesanyag-tartalmuknak köszönhető. A szerves anyagok sugárzó izotópokat dúsító hatását a recens talajok rendelkezésre álló szervesanyag-készlet adatai is tükrözik (V. táblázat). A talajosodási folyamatokkal, elsősorban a mállással és kioldódással függ össze az, hogy az erősen savanyú talajok kisebb U- és Th-tartalommal rendelkeznek, mint a gyengén savanyúak (IV. táblázat). A vizsgált felszíntől karbonátos- és nem felszíntől karbonátos szikések kis U- és Th-koncentrációja a karbonátok kiválásának következménye lehet, mivel azokba nem épülnek be a vizsgált sugárzó elemek.

A minták K–Th diagramban elfoglalt helyzete alapján megállapított ásványi összetétel jellemzők közül a löszök és paleotalajok montmorillonit és kaolinit tartalmát a hazai löszszelvények röntgen és termikus vizsgálati eredményei is igazolják (pl. NEMECZ et al. 2000, VICZIÁN 2002, 2010, MARSÍ et al. 2004). E vizsgálatok szerint azonban a lösz-paleotalaj összetételekben földpátok, muszkovit, klorit, illit és szmektit is megjelenik, a kaolinit mennyisége pedig lényegesen alacsonyabb, mint ahogy azt a K–Th diagram alapján gondolnánk.

A recens talajminták K–Th diagram alapján megállapítható összetétele meglehetősen nagy eltérést mutat az anyagvizsgálati, elsősorban röntgen és termikus vizsgálati eredményektől (pl. STEFANOVITS & DOMBÓVÁRINÉ 1985, MTA TAKI 1998, SZENDREI 1998, STEFANOVITS et al 1999, VICZIÁN 2002), amelyek szerint hazai talajainkban az illit és a szmektit a legfőbb agyagásvány, míg a montmorillonit és a kaolinit csak egyes vulkanitokon kialakult nyirok talajokra jellemző. Ezzel szemben a K–Th diagramban a talajmintáknak csak egy része helyezkedik el az illit és kevert szerkezetű agyagásványok mezőjében, a többi viszont főként a montmorillonit és a kaolinit mezőbe esik. Ez az eltérés valószínűleg abból adódik, hogy a K–Th diagramot eredetileg a forráskőzetektől távoli medencék üledékeinek mélyfúrás-geofizikai spektrális természetes gamma-szelvényezés eredményeinek kiértékelésére dolgozták ki. Ezért a diagram is főként ezeknek a képződményeknek az ásványi összetételét tükrözi. A medenceperemi területeken eltérést okoz, hogy az agyagásványok mellett a még nagyobb részarányban jelenlévő káliföldpátok és csillámok is jelentősen befolyásolják a természetes gamma-sugárzást. A talajok esetében a szerves anyagok miatt fellépő dúsulási folyamatok is eltérést okoznak a nyíltvízi üledékekhez képest. További különbséget okozhat még például az is, hogy a szelvényezés során a mélyfúrásokban az üledékeket természetes környezetükben az aktuális nedvesség-, ill. fluidumtartalom mellett és fúróiszap jelenlétében mérik, míg az általunk kiértékelt laboratóriumi gamma-spektrometriai méréseket a szelvényekből kiemelt és kiszáritott mintákon végezték. Így az utóbbiak esetében a víz radioaktív sugárzást gyengítő hatása sem érvényesült.

## Következtetések

A lumineszcens kormeghatározáshoz készült és az Országos Radiometriai Alaphálózat keretében a recens talajokon végzett gamma-spektrometriai mérések eredményei alapján megállapítható, hogy a finomabb szemcseméretű üledékek (löszök, ill. kőzetlisztek) nagyobb radioaktív U-, Th- és K-koncentrációval rendelkeznek az átlagértékeket tekintve, mint a durvább szemcseméretűek (homokok). Ez a már ismert tendencia elsősorban a finomszemű üledékek nagyobb agyagásvány-tartalmával függhet össze. A löszszelvények paleotalajaiban nagyobb radioaktív elem-koncentráció jelentkezik, mint a löszökben, amit a talajosodási folyamatok eredményezhettek, különösen az agyagásványok és a vas-oxid-hidroxidok keletkezése, valamint a szerves anyagok bekerülése révén, mivel ezek egyaránt adszorbeálják a vizsgált radioaktív elemeket. Ez a tendencia az üveghutai lösz-paleotalaj összetételben mélyült fúrások természetes gamma-szelvényein is megfigyelhető.

A különböző területekről vizsgált löszökben és recens talajokban a radioaktív elemek koncentrációja tükrözi a helyi kőzeteti sajátosságokat, ill. a talajképző kőzeteket. Így a Dél-Dunántúlon és az Északi-középhegységben a talajok magas radioaktív elem-tartalma elsősorban a talajképző kőzetek miatt alakulhatott ki, melyeket nagyobb radioaktivitású magmás, ill. vulkáni kőzetek, vagy az azok lepusztulásából képződött törmelékes üledékes kőzetek alkotnak. Ezzel szemben a Dunántúli-dombságon, a Duna-Tisza közén és a Tiszántúlon a K nagyobb gyakorisága a földművelés alá vont területeken a káliumtartalmú műtrágyázással függhet össze. A homokos szikes területek szoloncsák talajainak nagy K-tartalma pedig a kálsalétrom ásványkiválással lehet kapcsolatban.

Az egyes talajtípusok jellemző U-, Th- és K-tartalmának alakulásában az eltérő talajosodási folyamatok, és a paleotalajok esetében a betemetődés utáni diagenetikus folyamatok is fontos szerepet játszhattak. A recens talajok szervesanyag-készlet adatai alapján a szerves anyagok sugárzó izotópokat dúsító hatása is kimutatható volt. A minták K–Th diagramban elfoglalt helyzete nem tükrözte megfelelően az ásványi összetételük fő jellemzőit, ezért ez a diagram csak korlátozottan alkalmazható ezen képződményegyüttes esetében.

A lumineszcens kormeghatározáshoz készült szórványos radiometriai adatok nem bizonyultak megfelelőnek a löszszelvények korrelációjára, a fúrások természetes gamma szelvényei viszont jól alkalmazhatók a korrelációra, mivel a szomszédos fúrások egyidős lösz és paleotalaj szintjeiben a GR-görbék lefutása nagyon hasonló.

## Köszönetnyilvánítás

A kutatást az OTKA (K 75801) támogatta. A mintavételi helyek digitális térképen való megjelenítéséért Dr. CSILLAG Gábornak, az agyagásványokkal kapcsolatos kérdések megvitatásáért Dr. VICZIÁN Istvánnak, a tokaji löszszelvényből mért adatokért Ann-Kathrin SCHATZNAK tartozunk

köszönettel. Külön köszönjük lektorainknak Dr. ZILAHI-SEBESS Lászlónak az észrevételeit, értékes tanácsait, és Dr. LENKEY Lászlónak a helyesbítéseit és a hazai neogén vulkánokon végzett gamma-spektrometriai mérési eredményeinek rendelkezésünkre bocsátását.

## Irodalom—References

- AITKEN, M. J. 1998: *An Introduction to Optical Dating. The Dating of Quaternary Sediments by the Use of Photon-stimulated Luminescence*. — Oxford University Press, 280 p.
- CHOPIN, G. R. 1988: Humics and radionuclide migration. — *Radiochimica Acta* **44/45**, 23–28.
- CSEKÉSZ-NAGY, Á., THAMÓ-BOZSÓ, E., TÓTH, T. & SZTANÓ, O. 2012: Reconstruction of a Pleistocene meandering river in East Hungary by VHR seismic images, and its climatic implications. — *Geomorphology* **153–154**, 205–218.
- DAVIS, J. C. 1986: *Statistics and Data Analysis in Geology*. — New York, Wiley, 646 p.
- DICKINSON, B. L. & SCOTT, K. M. 1997: Interpretation of aerial gamma ray surveys: adding the geochemical factors. — *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics* **17/2**, 187–200.
- FÁBIÁN, SZ., KOVÁCS, J., VARGA, G., SIPOS, GY., HORVÁTH, Z., THAMÓ-BOZSÓ, E. & TÓTH, G. 2014: Distribution of relict permafrost features in Central Europe, Hungary. — *Boreas* **43**, 722–732.
- FRECHEN, M., HORVÁTH, E. & GÁBRIS, GY. 1997: Geochronology of Middle and Upper Pleistocene loess sections in Hungary. — *Quaternary Research* **48**, 291–312.
- GÁBRIS GY., KROLOPP E. & UJHÁZY K. 2011: Késő-pleisztocén (késő-glaciális) – holocén környezetváltozás Duna-menti homokbuckák komplex vizsgálata alapján. — *Földtani Közlemény* **141/1**, 57–72.
- HORVÁTH, E. & BRADÁK, B. 2014: Sárga föld, lész, lösz: Short historical overview of loess research and lithostratigraphy in Hungary. — *Quaternary International* **319**, 1–10.
- IAEA 2003: Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. — IAEATECDOC-1363, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 173 p.
- KÁDÁR I. 1999: *Kálium és jelentősége Magyarországon*. — IPI-MTA TAKI, Budapest, 32 p.
- KILLEEN, P. G. 1979: Gamma ray spectrometric methods in uranium exploration — Application and interpretation. — In: HOOD, P. J. (ed.): *Geophysics and Geochemistry in the Search for Metallic Ores*. — *Geological Survey of Canada Economic Geology Report* **31**, 163–230.
- KISS, T., & SIPOS, GY. 2007: Antropogén reaktiváció az eolikus folyamatok a déli Nyírség alluvial fanján, Magyarország. — *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria* **30**, 197–202.
- KISS, T., SIPOS, GY., MAUZ, B. & MEZŐSI, G. 2012a: Holocene aeolian sand mobilization, vegetation history and human impact on the stabilized sand dune area of the southern Nyírség, Hungary. — *Quaternary Research* **78**, 492–501.
- KISS, T., HERNESZ, P. & SIPOS, GY. 2012b: Meander cores on the floodplain – the early Holocene development of the low-floodplain along the Lower Tisza Region, Hungary. — *Environmental Geography* **5/1–2**, 1–10.
- KISS, T., SÜMEGHY, B. & SIPOS, GY. 2014: Late Quaternary paleodrainage reconstruction of the Maros River alluvial fan. — *Geomorphology* **204**, 49–60.
- LANGMUIR, D. & HERMAN, J.S. 1980: The Mobility of thorium in natural waters at low temperatures. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **44**, 1753–1766.
- LENKEY L. & SURÁNYI G. 2006: A magyarországi neogén vulkáni kőzetek hőtermelésének vizsgálata. — *Magyar Geofizika* **47/4**, 128–132.
- LIDE, D. R. (ed.) 2008: *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. — CRC Press, Taylor & Francis Group, 2640 p.
- MARSI, I., DON, GY., FÖLDVÁRI, M., KOLOSZÁR, L., KOVÁCS-PÁLFFY, P., KROLOPP, E., LANTOS, M., NAGY-BODOR, E. & ZILAHI-SEBESS, L. 2004: Quaternary sediments of the northeastern Mórág Block. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2003. évről*, 343–359.
- MTA TAKI 1998a: A talaj fizikai félesége 1:100 000. Agrotopo térkép. — <http://mta-taki.hu/hu/keptar/agrotopo>
- MTA TAKI 1998b: A talajok agyagásvány összetétele 1:100 000. Agrotopo térkép. — <http://mta-taki.hu/hu/keptar/agrotopo>
- MTA TAKI 2003a: A talaj kémhatása és mérszállapota 1:100 000. Agrotopo térkép. — <http://mta-taki.hu/hu/keptar/agrotopo>
- MTA TAKI 2003b: A talaj szervesanyag készlete 1:100 000. Agrotopo térkép. — <http://mta-taki.hu/hu/keptar/agrotopo>
- MTA TAKI 2005: A talajképző kőzet 1:100 000. Agrotopo térkép. — <http://mta-taki.hu/hu/keptar/agrotopo>
- MTA TAKI 2009: Magyarország genetikai talajtérképe 1:100 000. Agrotopo térkép. — <http://mta-taki.hu/hu/keptar/agrotopo>
- NÁDOR, A., THAMÓ-BOZSÓ, E., MAGYARI, Á. & BABINSZKI, E. 2007: Fluvial responses to tectonics and climate change during the Late Weichselian in the eastern part of the Pannonian basin (Hungary). — *Sedimentary Geology* **202**, 174–192.
- NÁDOR, A., SINHA, A., MAGYARI, Á., TANDON, S. K., MEDZIHRADESKY, ZS., BABINSZKI, E., THAMÓ-BOZSÓ, E., UNGER, Z. & SINGH, A. 2011: Late Quaternary (Weichselian) alluvial history and neotectonic control on fluvial landscape development in the southern Körös plain, Hungary. — *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **299**, 1–14.
- NEMECZ, E., PÉCSI, M., HARTYÁNI, ZS. & HORVÁTH, T. 2000: The origin of the silt size quartz grains and minerals in loess. — *Quaternary International* **68–71**, 199–208.
- NOVOTHNY, Á., HORVÁTH, E. & FRECHEN, M. 2002: The loess profile at Albertirsa, Hungary — improvements in loess stratigraphy by luminescence dating. — *Quaternary International* **95–96**, 155–163.
- NOVOTHNY, Á., FRECHEN, M., HORVÁTH, E., BRADÁK, B., OCHES, E. A., MCCOY, W. & STEVENS, T. 2009: Luminescence and amino acid racemization chronology of the loess-paleosol sequence at Süttő, Hungary. — *Quaternary International* **198**, 62–76.

- NOVOTHNY, Á., FRECHEN, M. & HORVÁTH, E. 2010: Luminescence dating of sand movement periods from the Gödöllő Hills, Hungary. — *Geomorphology* **122/3–4**, 254–263.
- NYÁRI, D., KISS, T. & SIPOS, GY. 2007: Investigation of Holocene blown-sand movement based on archaeological findings and OSL dating, Danube–Tisza Interfluvium, Hungary. — *Journal of Maps Student Edition* **2007**, 46–57.
- NYERGES L. & MINDSZENTY A. 1979: Baukitteleptani jellegzetességek vizsgálata mélyfúrási geofizikai mérésekkel, és ezek jelentősége az ipari bauxitkutatásban. — *Magyar Geofizika* **20/5**, 161–166.
- Ó. KOVÁCS, L. 1986: Cluster-analízis eljárások TPA/L számítógépen. — *Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1985. évről*, 571–582.
- QUIREIN, J., GARDNER, J. S. & WATSON, J. T. 1982: Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers. — *Paper SPE* **11143**, 14 p.
- SCHATZ, A. K., BUYLAERT, J. P., MURRAY, A., STEVENS, T. & SCHOLTEN, T. 2012: Establishing a luminescence chronology for a palaeosol-loess profile at Tokaj (Hungary): A comparison of quartz OSL and polymineral IRSL signals. — *Quaternary Geochronology* **10**, 68–74.
- SCHLUMBERGER 1988: *Log interpretation charts*. — Schlumberger Ltd. New York, 150 p.
- STEFANOVITS P. & DOMBÓVÁRI L.-NÉ 1985: A talajok agyagásvány-társulásainak térképe. — *Agrokémia és Talajtan* **34**, 317–330.
- STEFANOVITS P., FILEP GY. & FÜLEKY GY. 1999: *Talajtan*. — Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 472 p.
- SZÁDECZKY-KARDOSS E. 1955: *Geokémia*. — Akadémiai Kiadó, Budapest, 680 p.
- SZENDREI G. 1988: *Talajtan*. — ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 300 p.
- T. BIRÓ K., REGENYE J., PUSZTA S. & THAMÓNÉ BOZSÓ E. 2010: Előzetes jelentés a Nagytevel-Tevel-hegyi kőbánya ásásának eredményeiről. — *Archaeológiai Értesítő* **135**, 5–25.
- THAMÓ-BOZSÓ, E., MAGYARI, Á., NAGY, A., UNGER, Z. & KERCSMÁR, Zs. 2007a: OSL dating and heavy mineral analysis of Upper Quaternary sediments in the valleys of Ér- and Berettyó rivers. — *Geochronometria* **28**, 17–23.
- THAMÓ-BOZSÓ, E., MURRAY, A. S., NÁDOR, A., MAGYARI, Á. & BABINSZKI, E. 2007b: Investigation of river network evolution using luminescence dating and heavy mineral analysis of Late Quaternary fluvial sands from the Great Hungarian Plain. — *Quaternary Geochronology* **2**, 168–173.
- THAMÓNÉ BOZSÓ E., NÁDOR A. & MAGYARI Á. 2009: A lumineszcens kormeghatározás alkalmazása a történelmi idők környezeti eseményeinek datálására. — In: KÁZMÉR M. (szerk.): *Környezettörténet. Az utóbbi 500 év környezeti eseményei történeti és természettudományi források tükrében*. Hantken Kiadó, Budapest, 399–407.
- THAMÓ-BOZSÓ, E., CSILLAG, G., FODOR, L., MÜLLER, P. M. & NAGY, A. 2010a: OSL-dating the Quaternary landscape evolution in the Vértes Hills forelands (Hungary). — *Quaternary Geochronology* **5/2–3**, 120–124.
- THAMÓ-BOZSÓ, E., MAGYARI, Á., MUSITZ, B. & NAGY, A. 2010b: OSL ages and origin of Late Quaternary sediments in the North Transdanubian Hills (Hungary): timing of neotectonic activity. — *Quaternary International* **222**, 209–220.
- THAMÓ-BOZSÓ, E., Ó. KOVÁCS, L., MAGYARI, Á. & MARSI, I. 2014: Tracing the origin of loess in Hungary by the help of heavy mineral composition data. — *Quaternary International* **319**, 11–21.
- THIEL, C., HORVÁTH, E. & FRECHEN, M. 2014: Revisiting the loess/palaeosol sequence in Paks, Hungary: A post-IR IRSL based chronology for the ‘Young Loess Series’. — *Quaternary International* **319**, 88–89.
- UJHÁZY K. 2002: A dunavarsányi garmadabucka fejlődéstörténete radiometrikus kormeghatározások alapján. — *Földtani Közlemények* **132/Különszám**, 175–184.
- UJHÁZY, K., GÁBRIS, GY. & FRECHEN, M. 2003: Ages of periods of sand movement in Hungary determined through luminescence measurements. — *Quaternary International* **111**, 91–100.
- VICZIÁN, I. 2002: Clay mineralogy of Quaternary sediments covering mountainous and hilly areas of Hungary. — *Acta Geologica Hungarica* **45**, 265–286.
- VICZIÁN I. 2010: Agyagásványok földtana, vázlatos jegyzet és ábragyűjtemény. — *Kézirat*, Budapest, 124 p.
- WILFORD, J. R. 2008: Remote sensing with gamma-ray spectrometry. — In: MCKENZIE, N. J., GRUNDY, M. J., WEBSTER, R. & RINGROSE-VOASE, A. J. (eds): *Guidelines for surveying soil and land resources*. Australian Soil and Land Survey Handbook Series, CSIRO Publishing, 189–200.
- WILFORD, J. R., BIERWIRTH, P. N. & CRAIG, M. A. 1997: Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology. — *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics* **17**, 201–216.

Kézirat beérkezett: 2014. 03. 06.

