






HAJDÚNÁNÁS–ZAGOLYA ETA-01 KURGÁN (HAJDÚ-BIHAR MEGYE) RÉGÉSZETI TALAJTANI ÉS GEOKÉMIAI ADATOKRA ALAPOZOTT RÉTEGTANI VIZSGÁLATA

STRATIGRAPHIC ANALYSIS OF HAJDÚNÁNÁS–ZAGOLYA ETA-01 KURGAN (HAJDÚ-BIHAR COUNTY, HUNGARY) BASED ON ARCHAEOLOGICAL PEDOLOGICAL AND GEOCHEMICAL DATA*

BRAUN ÁDÁM¹; DANI JÁNOS²; KULCSÁR GABRIELLA³; MILINKÓ ISTVÁN⁴;
KOVÁCS GABRIELLA⁵; HEYD VOLKER⁶; PETŐ ÁKOS^{1,*}

¹Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Vadgazdálkodási és Természetvédelmi Intézet, Természetvédelmi és Tájgazdálkodási Tanszék, 2100 Gödöllő, Páter K. u. 1.,
e-mail: Peto.Akos@uni-mate.hu; braunadam95@gmail.com

²Déri Múzeum, 4026 Debrecen, Déri tér 1., e-mail: dani.janos@derimuzeum.hu

³Eötvös Loránd Kutatási Hálózat, Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Régészeti Intézet, 1097 Budapest, Tóth Kálmán u. 4., email: kulcsar.gabriella@abtk.hu

⁴Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Természetföldrajzi Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány P. sétány 1/C., e-mail: milinkoistvan@gmail.com

⁵Magyar Nemzeti Múzeum, Nemzeti Régészeti Intézet, Archeometria Labor, 1113 Budapest, Daróczi út 3.,
e-mail: kovacs.gabriella@mnm.hu

⁶University of Helsinki, Department of Cultures / Archaeology, 00014 Finland, Unioninkatu 38.,
e-mail: volker.heyd@helsinki.fi

* levelező szerző: Peto.Akos@uni-mate.hu

Dr. Barczy Attila emlékére

Abstract

Kurgans are exceptionally important landmarks of the Central-East-European steppes from ecological, pedological and archaeological views; therefore they are of great interest in the geoarchaeological research of Hungary. These burial mounds of the distant past serve as time capsules, preserving information about the builders and their environment. Beyond the physical objects found inside the mound, the soil buried under the mound and the mound's body could hold information if we investigate its pedological and geochemical characteristics. The Yamnaya ETA-01 mound in Hajdúnánás–Zagolya was investigated using pedological and geochemical methods. The mound profile was sampled and analysed by a high, 5 cm resolution, allowing a thorough examination of the elemental distributions. The acid soluble fraction of 39 elements was measured by ICP-MS and MP-AES following an aqua regia extraction. Multivariate statistical methods were used to investigate the results and clusters of the samples were formed. The geochemical clusters match with pedological horizons well and allows a more detailed view for their interpretation. The data of the geoarchaeological investigation helped to interpret the cluster differences. The dissimilarity between clusters revealed their genetic relationships and shed light on the horizon's origins. The buried paleosol reveals the pedological conditions of the once existed Zagolya-dűlő. The central grave was deepened into a soil cover that can be characterised by Chernozem type soil development. The first mound structure made of a grayish yellow material was piled on the surface of the buried soil. This material did not originate from the uppermost humus

* How to cite this paper: BRAUN, Á.; DANI, J.; KULCSÁR, G.; MILINKÓ, I.; KOVÁCS, G.; HEYD, V.; PETŐ, Á., (2022): Hajdúnánás–Zagolya ETA-01 kurgán (Hajdú-Bihar megye) régészeti talajtani és geokémiai adatokra alapozott rétegtani vizsgálata / Stratigraphic analysis of Hajdúnánás–Zagolya ETA-01 kurgan (Hajdú-Bihar County, Hungary) based on archaeological pedological and geochemical data (in Hungarian with English abstract), *Archeometriai Műhely* XIX/3 289–302.

doi: [10.55023/issn.1786-271X.2022-020](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2022-020)

horizon of the surrounding soilscape. This material could have come from the parent material found in the broader geographical environment of the burial site. This material could have been collected along the water courses of Zagolya-dűlő, at naturally occurring exposure sites.

Kivonat

A kurgánok kiemelkedő fontosságú tájelemei a közép-kelet-európai síkságoknak mind ökológiai, talajtani és régészeti szempontból, így a hazai geoarcheológiai kutatások fontos alanyai. A régmúltban emelt síremlékek időkapszulaként információt őriznek az építőikről és környezetükről. A kézzel fogható tárgyi emlékeken túl az építés során eltemetődött talaj és maga a halomtest is információkkal szolgálhat, ha megvizsgáljuk talajtani és geokémiai sajátosságait. A Hajdúnánás–Zagolya dűlőben feltárt ETA-01 gödörsíros (Jamnaja) temetkezési halomból összesen 39 elem került vizsgálatra. A talajminták királyvízzel oldható frakcióját vizsgáltuk ICP-MS és MP-AES módszerekkel. Az elemkoncentrációk sokváltozós statisztikai módszerekkel történő kiértékelésével feltártuk a talajtani módszerrel kialakított szintek, rétegek és a talaj kémiai összetétele közötti kapcsolatot. A csoportok közötti különbségekből pedig azok eredeteire kerestünk választ. A geokémiai eredmények alapján kialakult csoportosulások jól megfeleltethetők a talajtan módszerével megállapítható szinteknek. A geoarcheológiai vizsgálat során nyert adatok segítségével az egyes csoportok közti különbségek értelmezése vált lehetővé. A klaszterek közötti különbség megmutatta genetikai kapcsolatukat, és rávilágított a rétegek eredetére. A korabeli Zagolya-dűlő talajtani viszonyairól árulkodik a halom alatt eltemetett talajtakaró. Egy csernozjom talajfelföldéssel jellemezhető talajba mélyítették a halom központjában megtalált alaptermetkezést. Az eltemetett talaj felszínére egy szürkés sárga anyagból emeltek magasítást, amelyet nem a környezet humuszos termőrétegéből hordtak meg. A temetkezési hely tágabb tájféldrajzi környezetében előforduló alapkőzetből származhatott ez az anyag, amelynek gyűjtési helye a Zagolya-dűlőben futó vízfolyások természetes feltáródási pontjai lehettek.

KEYWORDS: GEOARCHAEOLOGY, ARCHAEOLOGICAL PEDOLOGY, BURIAL MOUNDS, GREAT HUNGARIAN PLAIN, BRONZE AGE

KULCSSZAVAK: GEOARCHEOLÓGIA, RÉGÉSZETI TALAJTAN, KUNHALOM, ALFÖLD, BRONZKOR

Bevezetés

A kurgánok szerepe a környezettörténeti elemzésekben

Az Alföld (kiemelten a Tiszántúl) antropogén eredetű geomorfológiai formakincs világának fontos képviselői a kunhalomok. A kunhalomok fogalom meghatározásba tartoznak az Alföld (bronzkori) sírhalmjai is (Tóth 1999). Régészeti és tájképi jelentőségük mellett legalább ennyire fontos szerepet töltenek be a természeti környezet történeti kutatásában. A sírhalmok építésével eltemetett talajtakaró fontos környezettörténeti időkapszulaként őrzi az egykori eltemetett talajt, illetve annak egyes tulajdonságait (többek között lásd Barczy 2016, Barczy et al. 2006a, b; 2009; Bede et al. 2014; Sümegi et al. 2015). A halom alatt eltemetett talaj mellett a több ezer évvel ezelőtt épített „földmű” talajanyagában lezajló talajképződési folyamatok legalább ennyire fontosak. Megismerésük fényt deríthet egy-egy sírhalom megépítésének módjára, de az építési fázisok tisztázásában, valamint az építés óta lezajlott környezettörténeti folyamatok feltárásában is fontos szerepe lehet ezeknek az adatoknak (többek között lásd Borisov et al. 2019, Csanádi & Tóth 2011; Makeev et al. 2021; Khokhlova et al. 2020, 2022, Morgunova & Khokhlova 2020).

A Hajdúnánás határában elhelyezkedő Zagolya-dűlő több kunhalom/kurgán otthona (Dani et al.

2017). 2012–13-ban a Visegrádi Alap támogatásával nemzetközi kutatás indult Yamnaya Impact projekt néven, amelynek keretében az ETA-01-es halom feltárása is megvalósult. A feltárás során kiemelt figyelmet szenteltünk a halom komplex környezettörténeti kutatásának, amelynek keretében több természettudományos módszert is segítségül hívtunk. A talajtani, paleotalajtani, valamint integrált archeobotanikai eredményeket Pető et al. (2022) foglalja össze. Jelen dolgozatban pedig a kutatások során végzett geokémiai elemzés eredményeit és azok értelmezését adjuk közre. Célunk, hogy a geokémiai adatok értelmezésével pontosítsuk a halom rétegtani beosztását, illetve adatokat szolgáltatassunk a halom építési fázisaihoz.

Hajdúnánás–Zagolya ETA-01 kurgán régészeti talajtani vizsgálatának korábbi eredményei

Az ETA-01-es halom belső struktúráját a feltárás során létrehozott központi Ny-K-i irányú metszettel alapján tudtuk leírni és jellemezni (Dani et al. 2017). A részletes leírást és jellemzést Pető et al. (2022) adja közre. A halom felszínén lévő recens talaját, a halomtest talajanyagát, illetve a halom alatti eltemetett, ún. paleotalaj vizsgálatát talajtani módszerek segítségével valósítottuk meg. Az így nyert adatok értelmezése régészeti és környezettörténeti relevanciával bír, ezért a régészeti talajtan fogalom meghatározásba beilleszthető (Pietsch & Kühn 2017).

1. táblázat: Hajdúnánás–Zagolya ETA-01 kurgán rétegtrendjének alapvető talajtani jellemzői (Pető et al. 2022 nyomán módosítva)

Table 1.: Soil morphological properties of the layers of Hajdúnánás–Zagolya ETA-01 kurgán (modified after Pető et al. 2022)

Szint/Réteg megnevezés	Relatív mélység	Szín	Szerkezet	Fizikai féleség	egyéb
A-szint	0–40 cm	10YR 3/2	morzsás	vályog	gyengén fejlett mészkiválások
B-szint	40–60 cm	10YR 3/4	gyengén szerkezetes	homokos vályog	
BC-szint	60–80 cm	10YR 5/4	szerkezet nélküli	homokos vályog	
C1 réteg	80–110 cm	2.5Y 7/2	szerkezet nélküli	homokos vályog	állatjáratok jelenléte; magas karbonát-tartalom
A _p -szint	110–140 cm	10YR 3/3	morzsás	vályog	mészkiválások; állatjáratok (paleokrotovina?)
B _p -szint	140–160 cm	10YR 4/6	gyengén szerkezetes	agyagos vályog	
BC _p -szint	160–180 cm	10YR 5/6	szerkezet nélküli	agyagos vályog	
C _p -szint	180–210 cm	2.5Y 8/4	szerkezet nélküli	agyagos vályog	magas karbonát-tartalom

Jelen dolgozatunkban megadjuk a régészeti talajtani vizsgálatok eredményeinek összefoglalását, és kiegészítjük azt a ráépülő geokémiai vizsgálatok értékelésével.

A halom az alábbi rétegtani egységekből áll (**1. táblázat**). A halom felszínén egy csernozjom-jellegű talajképződmény alakult ki. Talajvizsgálati paraméterei, valamint morfológiai bélyegei alapján a halompalást talajtakaróját csernozjomokra jellemző talajképződési folyamatok alakították ki. A recens talajképződmény a 80–110 cm-es relatív mélységben elhelyezkedő felhordási rétegen jöhetett létre. Ez a felhordási réteg egy szürke színű, szerkezet nélküli üledékösszet, amely lencseszerűen ékelődik a halomtestbe. Rétegtani pozícióját illetően nem a teljes keresztmetszeten, hanem a központi temetkezés feletti területrezen jelentkezik csak.

A helyszíni talajvizsgálat során megfigyelt talajképződési bélyegek, valamint a vizsgálatba vont talajminták laboratóriumi eredményeinek ismeretében a kurgán eltemetett talaját a mezőségi (csernozjom) talajok főtípusába soroltuk. A szelvényben tetten érhető volt a mészlepedékes csernozjomokra jellemző karbonát-kiválási réteg, valamint a mélyebb rétegeiben enyhén megemelkedő sótartalom mutatkozott, amely alapján rokon vonásokat mutathat a mélyben sós altípussal (Pető et al. 2022).

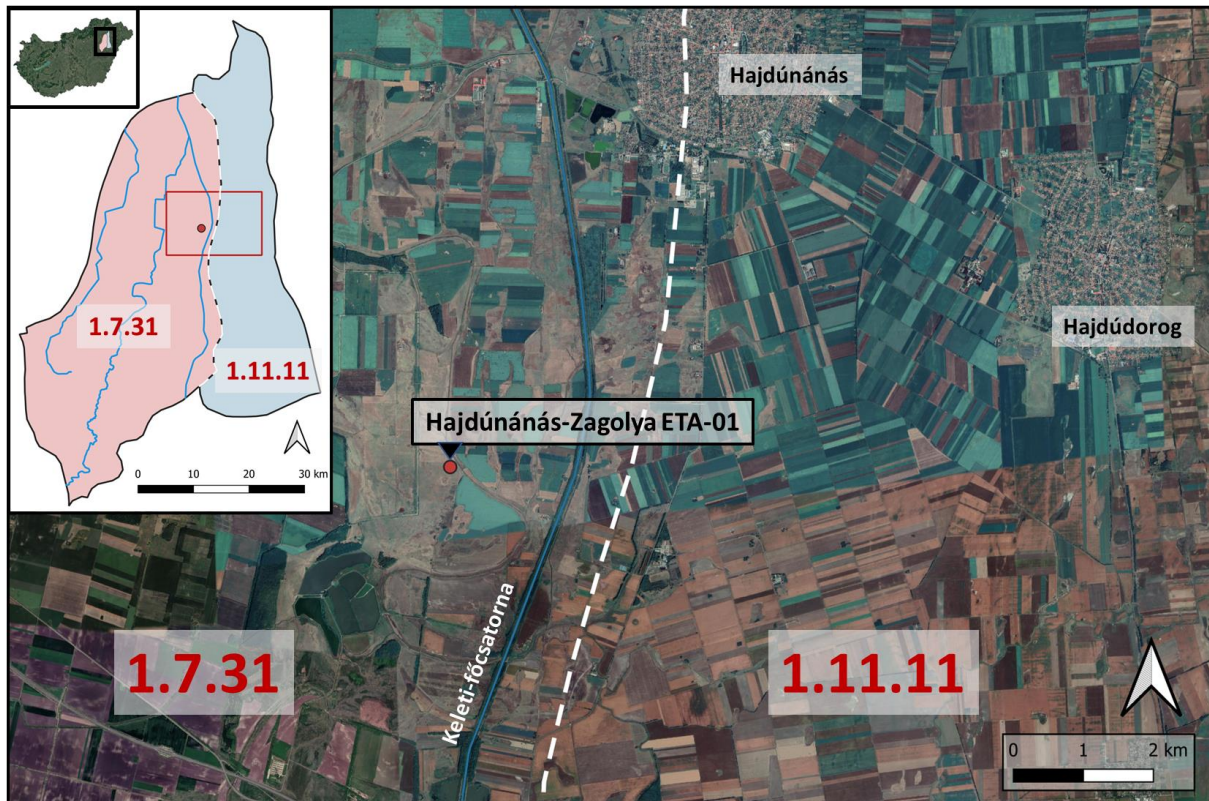
Anyag és módszer

Hajdúnánás–Zagolya ETA-01 halom tájféldrajzi környezet

A Hajdúnánás–Zagolya ETA-01 halom Hajdúnánástól 5 km-re dél-délnyugatra, a Keleti-

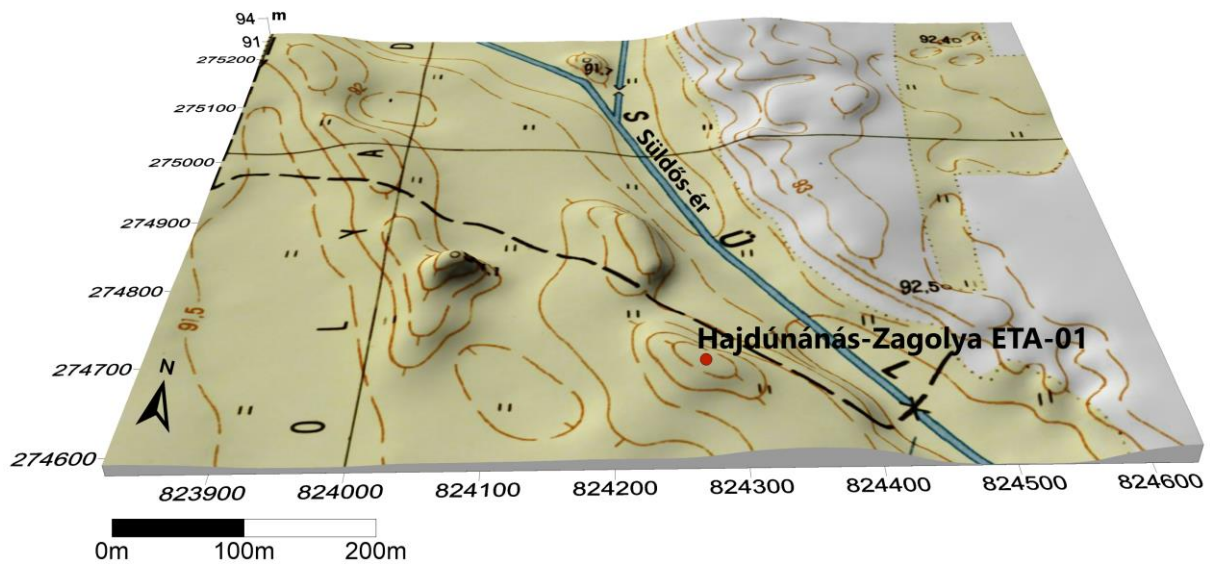
főcsatornától légvonalban körülbelül 1,6 km-re nyugatra található a Hortobágy és a Hajdúhát kistájak átmeneti zónájában (**1. ábra**). A terület tökéletes síkságnak tekinthető, amelynek tengerszint feletti magassága 87 m és 110 m között változik. Jellemző magassága 88–92 m. E magasság fölé csak a homokbuckák, buckavonulatok, valamint antropogén eredetű felszínformák (pl. kunhalmok) emelkednek. A terület felszíne rendkívül kis reliefű, így a kis magasságkülönbségeknek is nagy szerepük van a felszínfejlődésben (Marosi & Somogyi 1990). A kistáj területén a késő miocéntől, a Pannon-tó fokozatos feltöltődését követően szárazföldi, fluviolakusztikus környezetben zajlott az üledékképződés (Gábris & Nádor 2007; Magyar et al. 2013; Balázs et al. 2018.). Jelenleg a legmarkánsabb felszínformák az elhagyott folyómedrek, a feltöltődés különböző stádiumában lévő morotvák, az ezekhez kapcsolódó folyóhátak, valamint a jellemzően hátakra, kiemelkedésekre települő, azok mesterséges magasításával létrejött kunhalmok. A jelenleg vizsgált kurgán is egy, a Süldős-ér Ny-i partját követő háton azonosított kurgánmező egyik, a Kis-Süldős-halom mellett található név nélküli tagja (**2. ábra**). A tárgyalt területen a pleisztocén során jellemzően víz és szél által szállított üledékek akkumulálódtak (Pécsi 1993). Az arra alkalmas térszíneken löszök és löszszerű üledékek képződésére nyílt mód (Pécsi 1993; Lindner et al. 2017; Lehmkuhl et al. 2018).

A felszíni vízhálózat főbb tengelyét a Nyugati-főcsatorna, a Hortobágy és a Keleti-főcsatorna alkotja (**1. ábra**), amelyek között mintegy 700 km hosszú belvízelvezető csatornahálózat létesült. A talajvíz mélysége 2 m és 4 m között változik (Dövényi 2010).



1. ábra: Hajdúnánás–Zagolya ETA-01 kurgán tájféldrajzi helyzete a Hortobágy (1.7.31) és Hajdúhát (1.11.11) kistájak határzónájában

Fig. 1.: The geographical position of Hajdúnánás–Zagolya ETA-01 kurgán in the transitional zone between the Hortobágy (1.7.31) and the Hajdúhát (1.11.11) micro-regions



2. ábra: Hajdúnánás–Zagolya ETA-01 kurgán közvetlen környezetének topográfia viszonyai (topográfiai térképre vetített terepmodell; a magassági torzítás mértéke: 9x)

Fig. 2.: Topographical properties of the close vicinity of Hajdúnánás–Zagolya ETA-01 kurgán (DTM projected to topographic map, with 9x height exaggeration)

Mérsékelt meleg, száraz éghajlatú terület (Marosi & Somogyi 1990; Dövényi 2010), így a klímazonális talajokat a Hortobágyon a jelenlegi körülmények között a csernozjom talajok képviselik, míg a Hajdúhát esetében ez a

meghatározó talaj főtípus. A talajfejlődést leginkább a domborzat, a talajvíz mélysége, valamint sótartalma befolyásolja. A kis mélységben elhelyezkedő, vízben oldható sókban gazdag talajvíz hatására különböző szikes talajok

képződhetnek, míg az alacsonyabb sótartalmú felszínközeli talajvíz hatására réti talajok képződésére nyílik mód. A magasabban fekvő, mélyebb talajvízszintű területeken a hidromorf hatás csökkenésével lehetőség nyílik klímazonális csernozjom talajok képződésére (Stefanovits et al. 2010). A környezetükből néhány méterre kiemelkedő folyóhátak, kunhalmok felszíne kedvező körülményeket biztosít csernozjom talajképződésre. A szántóföldi művelés számára a csernozjom talajokkal borított területek biztosítják a legkedvezőbb körülményeket, azonban a kunhalmok felszínét a 20. század második feléig nem vonták intenzív művelés alá. Éppen ezért nagy biodiverzitású, akár izolátumként funkcionáló kunhalmok löszgyep és löszfal növényzet társulásoknak nyújthatnak élőhelyet, valamint kulturális értékük is kimagasló (Gallé & Bede 2019). Ennek megfelelően *ex lege* védelmet élveznek (1996. évi LIII. törvény).

A Hajdúnánás-Zagolya ETA-01 halom a kistáj északi, intenzívebb mezőgazdasági művelés alá vont területén található. A kunhalom CLC-2018 besorolás alapján legelő (231) területen fekszik, míg a közvetlen környezetében szántóföldi művelésbe (211) vont területek találhatóak (**1. ábra**).

A vizsgálati anyag

A halom feltárása során kialakított ún. központi metszetről történt mintavételezés, talajtani és archeobotanikai vizsgálatok céljából (lásd Pető et al. 2022). A talajtani vizsgálatokhoz gyűjtött minták almintázásával képeztünk egy mintasorozatot a geokémiai elemzéshez (mintánként 20–30 g talajanyagot elválasztva), így biztosítva azt, hogy a két vizsgálatsorozat azonos származású és elhelyezkedésű mintákat tartalmazzon.

A központi metszet 210 cm-es relatív mélységű; melynek profilján 5 cm-es bontásban végeztünk mintavételezést. Ennek értelmében összesen 42 db minta geokémiai vizsgálata valósult meg az alábbiak szerint: ETA-01/0–5 cm-től – ETA-21/205–210 cm-ig (vö. Pető et al. 2022 1. táblázat).

Geokémiai vizsgálat módszertana

A laboratóriumba a minták légszárazan érkeztek. A királyvizes kioldás előtt a minták porcelán dörzsmozsárban homogenizálásra kerültek. A homogenitás érdekében, a porítást addig folytattuk, amíg 1 mm lyukméretű szitán maradék nélkül átrázhatóvá váltak.

A homogenizált mintákból analitikai pontossággal 0,50 g mennyiségek kerültek bemérésre. Analitikai tisztaságú salétromsav (HNO₃) és sósav (HCl) 1:3 arányú elegyével 1,5 óra forralással a savoldható elemek extrakcióját valósítottuk meg.

A validációs protokoll során ellenőrzésre került a használt módszer. A reprodukálhatóságot

előkísérletek során vizsgáltuk. Koncentrációtól, minta homogenitástól függően 1–10% közé tehető a relatív hiba. Összehasonlítást a Zn, Sr, Cu és Cr mérések esetén tehetünk. A Co és Pb az MP-AES technika kimutatási határa alatt volt a mintaoldatokban. A Ba pedig az ICP-MS mérések esetén túllépte a detektor lineáris tartományát.

A geokémiai vizsgálat célja a minták csoportosítása elemösszetételük alapján, majd a kialakuló mintázat összevetése a talajmorfológiai eredményekkel és rétegrenddel. Korszerű elemanalitikai módszereket alkalmazva megvizsgáltuk a fontosabb főelemek, nyomelemek és a ritkaföldfémek koncentrációját a szelvény mentén. A kialakuló sokdimenziós teret a sokváltozós statisztika módszereivel vizsgáltuk (**2. táblázat**).

Induktív csatolású plazma tömegspektrometria (ICP-MS)

A vizsgálatok Agilent ICP-MS 8800 készülékkel történtek. A vizsgálatok során az ütközési cella He üzemmódban működött. Ez azért szükséges, mert a plazmában nedves körülmények között, különböző oxid, hidroxid, karbid és egyéb a vizsgált izotóppal megegyező tömegű molekulaionok képződése növeli a mérés háttérét és a bizonytalanságát (May et al. 1998). A **2. táblázat**ban szereplő elemek koncentrációját határoztuk meg ICP-MS módszerrel. A ritkaföldfémek mellett olyan nyomelemeket mértünk, amelyek antropogén hatásra (is) megjelenhetnek a talajban.

2. táblázat: A tanulmányban vizsgált paraméterek és az alkalmazott analitikai módszerek

Table 2.: Inventory of measured parameters and applied methods

Analitikai módszer	Mért paraméter
ICP-MS	Be, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Y, Cd, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, ²⁰⁶ Pb, ²⁰⁷ Pb, ²⁰⁸ Pb, Th, U
MP-AES	Zn, Sr, Cu, Co, Ni, Ba, Pb, Cr, Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn
Gravimetria	LOI ₅₅₀ , LOI ₉₅₀

Mikrohullámú plazma indukciós atomemissziós spektrometria (MP-AES)

A vizsgálatokhoz Agilent MP-AES 4200 típusú készüléket használtunk. Előnye, hogy a láng atomabszorpciós módszerektől a legtöbb elem esetében jobb kimutatási határral és lineáris tartománnyal rendelkezik. A módszer további

előnye a mérések alacsony költsége, mivel nincs szükség nagymennyiségű argonra az üzemeltetéshez (Balaram 2020). A **2. táblázat**ban szereplő elemek koncentrációit határoztuk meg MP-AES módszerrel. Ezek olyan nyomelemek, amelyek mérhetőek ezzel a technikával és egyben a talajban található ásványi fázis főalkotó elemei is. A két technikával mért elemek között van átfedés.

Gravimetriás mérések

A homogenizált talajmintákat szárítás után két lépésben hamvasztottuk, majd analitikai mérlegen tized milligramm pontossággal mértük a tömegcsökkenést. A hamvasztások 550°C majd 950°C-on történtek. Az első izzítási hőmérsékleten elégnak a szerves alkotók, így a tömegcsökkenésből következtetni lehet a minták szervesanyag tartalmára. A második, 950°C-on történő izzítás során pedig a szervesetlen szén tartalmú (pl. karbonátok) anyagok is elbomlanak, így a tömegcsökkenésből a karbonát-tartalomra lehet következtetni (Heiri et al. 2001).

Adatelőkészítés

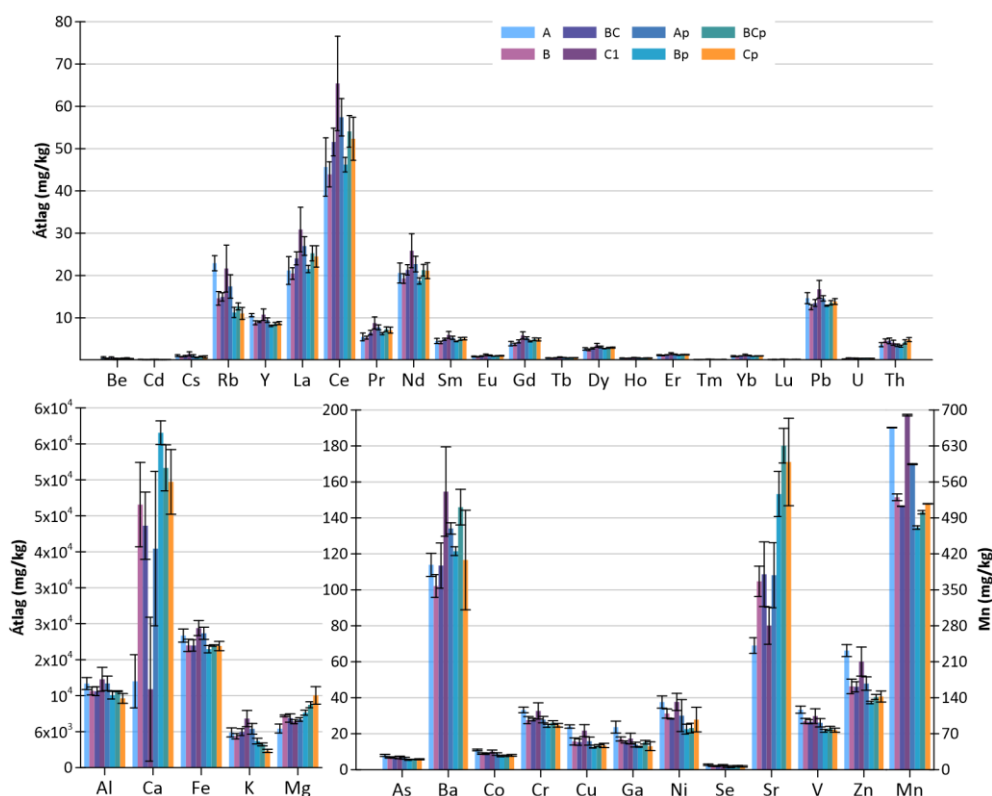
A geokémiai adatokat statisztikai elemzés előtt transzformáltuk annak érdekében, hogy additív, normális eloszlású változókat kapjunk. A

gyakorlatban gyakran alkalmazzák a logaritmikus transzformációt (Stanley 2006). A logaritmus hátránya, hogy nincs értelmezve 0 értéknél, azonban estünkben nincs ilyen adat. Minden mért elem a kvantifikációs határ fölött volt a mérések során.

Eredmények és értelmezésük

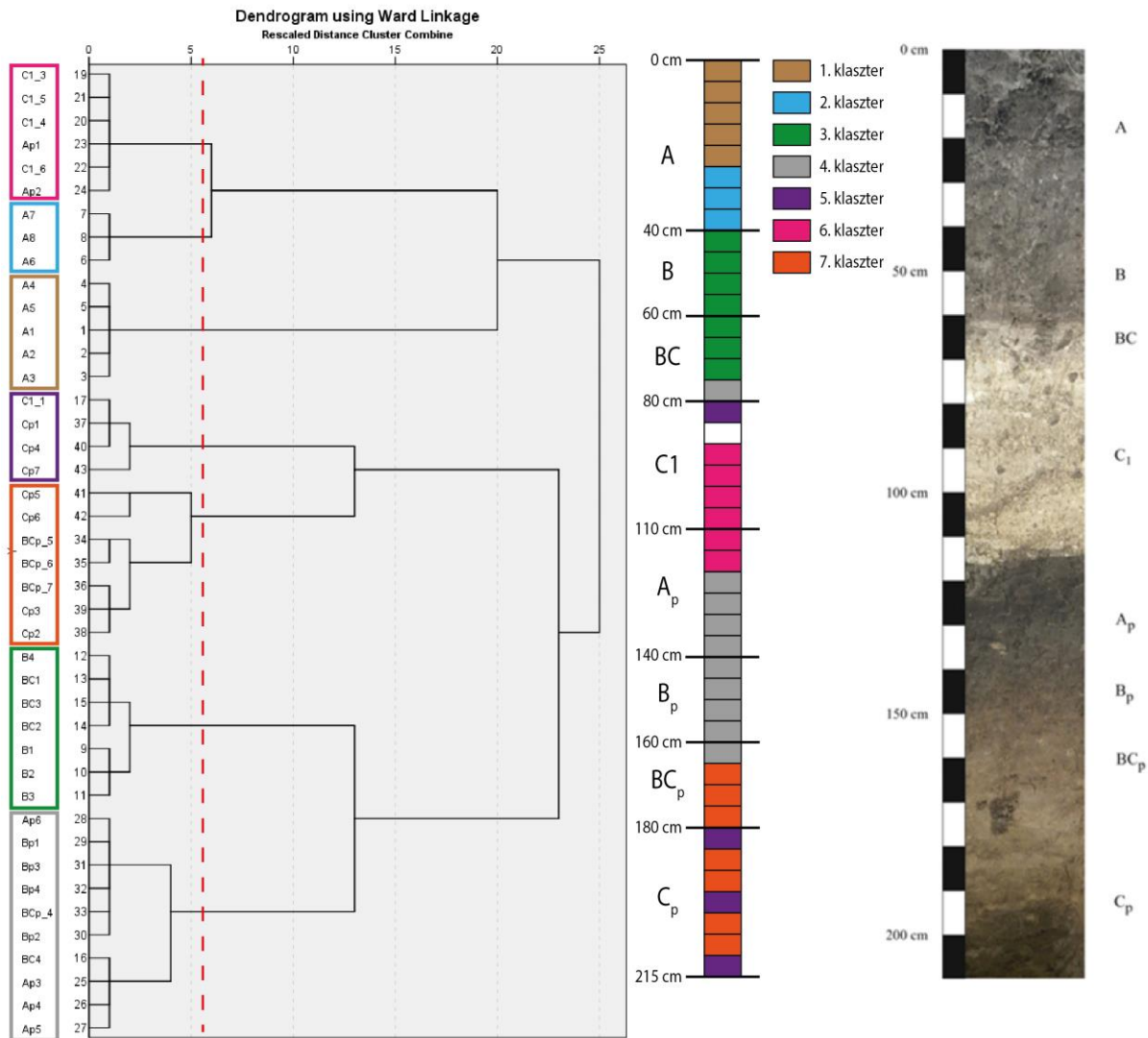
A **3. ábra** foglalja össze a halomtestből gyűjtött minták átlagos elemkoncentrációját mg/kg mennyiségben. A ábrán az 1σ hibasávok is feltüntetésre kerültek. A főelemek közül a mintákban az alumínium- és vastartalom hasonló értékeket mutat, a legnagyobb szórást ez a két elem a BC-szintben mutatja. A kalcium (Ca) jelentős variabilitást mutat az egyes rétegtani egységeken és talajszinteken belül, valamint azok között is.

A legnagyobb Ca-koncentrációval az eltemetett talaj B-szintje rendelkezik (B_p-szint; 140–160 cm; 60505 mg/kg; vö. **1. táblázat** és **3. ábra**), míg a legkisebb Ca-koncentrációval pedig a C₁ réteg (14157 mg/kg). A C₁ kis Ca koncentrációjához nagy szórás tartozik, minimum értéke 4353 mg/kg, maximuma pedig 37766 mg/kg, ennek oka a réteg perturbáltsága.



3. ábra: Hajdúnánás–Zagolya ETA-01 kurgán központi metszetalán azonosított talajszintek és rétegek átlagos elemkoncentrációja (a hibasávok 1σ távolságokat jelölnek; a hibasávok itt a szintekhez tartozó minták szórását jelölik).

3. ábra: Soil and sediment horizons identified in the stratigraphy of Hajdúnánás–Zagolya ETA-01 kurgan and their mean elemental concentration (error bars mark 1σ distances and they represent the standard deviation)



4. ábra: A hierarchikus klaszterelemzés eredménye (dendrogram) (balra). A piros szaggatott vonal jelöli a döntésvonalat, melynél a fát elvágvva kialakításra kerültek a klaszterek. A kialakult klaszterek elhelyezkedése a profil mentén (középen), valamint a központi metszetal habitus képe (jobbra).

Fig. 4.: Left: The result of the hierarchical cluster analysis (dendrogram). Dashed red line marks the decision line at which the dendrogram was split to create the groups. Middle: the position of the clusters along the profile. Right: Edited image of the central profile of the kurgan displaying its stratigraphy.

A mikroelemek közül jelentősebb mennyiségben bárium (Ba), stroncium (Sr) és mangán (Mn) található. A Ba és Sr kémiai hasonló kémiai sajátosságokkal rendelkeznek, mint a Ca, nagy variabilitás tapasztalható koncentrációjukban a teljes metszeten belül. A Ba a maximumát a C₁ rétegben éri el, minimumot pedig a recens talaj B-szintjében. A Sr mélyebben, a BC_p-szintben mutatott maximumot az azonosított szintek közül, minimumot pedig a felszínen, a recens talaj A-szintjében. Króm (Cr), nikkell (Ni), réz (Cu) és gallium (Ga) az A szintben, illetve a C₁ rétegben található a legnagyobb koncentrációban. A ritkaföldfémek közül jelentős mennyiségben lantán (La), cérium (Ce) és neodímium (Nd) volt található.

Halomtest mérési eredményeinek többváltozós statisztikai elemzése

A halomtest morfológiai leírása, illetve a talajtani eredmények alapján természetes úton kialakult talajképződményekre (ú.m. eltemetett paleotalaj, recens talaj) és antropogén eredetű rétegekre bontható (vö. Pető et al. 2022). A geokémiai vizsgálat eredeti célja, hogy megerősítse, tovább részletezze vagy ábrázolja a morfológiai bélyegek és a talajtani paraméterek alapján meghúzott szint és réteghatárokat. Annak érdekében, hogy a sokváltozós tér által közvetített információt értelmezni tudjuk a mintasorozat összes elemét többváltozós statisztikai módszerek keretein belül csoportosítottuk. Célunk az volt, hogy fényt

derítsünk arra, hogy mely minták mutatnak elemkoncentrációjukban azonosságot, és melyek különböznek egymástól.

A minták csoportosítását Ward módszerével történő klaszterelemzéssel végeztük el. Ez a módszer alkalmas arra, hogy csökkentse a klaszteren belüli varianciát. Az elemzés eredményeképpen felálló dendrogramot, a minták elhelyezkedését a metsztfal mentén, valamint a kurgán központi metsztfalának szint- és rétegbeosztását bemutató profilt a **4. ábra** foglalja össze.

Amennyiben az eredményeket a talajmorfológiai bélyegek alapján megrajzolt szint- és réteghatárokhoz mérjük, annyiban elmondható, hogy az 1. és a 2. klasztert a recens talaj A-szintjének mintái alkotják. Az 1. klaszter a recens talajtakaró A-szintjének felső 25 cm-es rétegére terjed ki, míg a 2. klaszterbe ugyanennek a szintnek az alsó három darab mintája tartozik, amely a 25–40 cm-es relatív mélységű réteget jelöli ki.

A 3. klaszter a recens talaj B-szintjét és BC-szintjét foglalja magában, amely alatt 75 és 90 cm között egy olyan réteg detektálható, amelyek elsősorban tartoznak különböző klaszterekbe (**4. ábra**).

Az eredetileg 80 és 110 cm között meghatározott C₁ réteg (Pető et al. 2022) jelen elemzésben vertikálisan eltolva jelentkezik. A 90 és 120 cm-es réteg alkot egy homogén egységet, amely egyben a 6. klaszter is. A paleotalaj A_p-szintje és B_p-szintje együtt alkotja a 4. klasztert, köztük látszólag nincsen eltérés. Váltás a 165 cm-es relatív mélységben jelentkezik, ahol a BC_p-szint a 7. klaszterbe tartozó mintákból rajzolódik ki. Érdekes megfigyelni, hogy a halom alatti talajtakaró alapkőzeteként meghatározott C_p-szint vegyes képet mutat, mind az 5., mind a 7. klaszter mintái megjelennek benne.

Összességében elmondható, hogy a **4. ábrán** látható elemösszetétel alapján kialakított csoportosítás nagyvonalakban egyezik a morfológiai bélyegek alapján elkészített szint- és rétegbeosztással, ugyanakkor kisebb eltérések megfigyelhetők.

Az egyes klaszterek szelvénymentén történő elhelyezkedése akkor nyer igazán értelmet, ha a csoportosítás alapját képező üledék- és talajkémiai háttérrel is hozzárendeljük az adott mintacsoporthoz.

Klaszterek közötti eltérések vizsgálata diszkriminancia analízissel

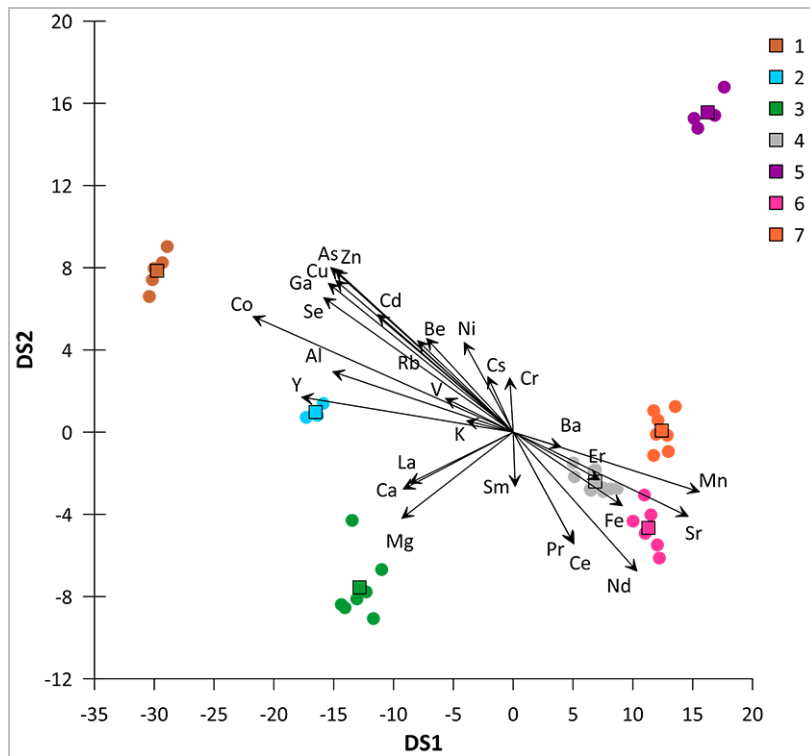
A fent említett célok érdekében diszkriminancia elemzést végeztünk az egyes klasztereken. Az elemzést a mért változókon hajtottuk végre. A diszkriminancia elemzés továbbá kiemeli a csoportok közötti különbségeket, és lehetővé teszi, hogy felderítsük a köztük lévő eltérések mibenlétét.

Az analízis eredményeként minden minta ugyanabba a klaszterbe került, mint ahová a hierarchikus klaszter elemzés is besorolta.

A csoportok közti különbségeket az **5. ábrán** látható biplot alapján értelmezzük. Az **5. ábrán** markánsan elkülönülnek a kialakult klaszterek. A nyilak a változók csoporton belüli összevont korrelációját mutatják a diszkriminancia függvényekkel, megmutatják, hogy a térben melyik elem milyen irányba tolja el az origóhoz képest a pontokat, azaz, hogy az egyes mintacsoportokat (klasztereket) milyen minőségi paraméter jellemez, dominál. Az 1. és 2. klaszter a halomtest felszínén képződött recens talaj A-szintjét jelöli. Ezek a csoportok olyan nehézfémekben gazdagok, mint például a réz (Cu) és a cink (Zn) (**6. ábra**). Ezeknek az elemeknek a feldúsulása a talajban egyértelműen köthetőek modern emberi hatásokhoz is (Horák et al. 2018). Ezek között említhetjük nagy általánosságban a modern mezőgazdasági tevékenységek hatását (Klimek 2002), vagy a felszíni vegetáció égését/égetését (Wilson et al. 2009), ugyanakkor bizonyos szerzők régészeti kontextusban is beszámolnak megnövekedett Cu és Zn koncentrációról (Linderholm & Lundberg 1994; Šmejda et al. 2017). Külön kiemelendő, hogy az ETA-01-es halom esetében egy kulturális újrahaznosításnak (kronológiailag harmadlagos használatnak) lehetünk tanúi, mert a halom palástjában, azaz a recens talajtakaró A-szintje által elfoglalt relatív mélységben, egy Árpád-kori kemence és tűzhely is jelen volt (Dani et al. 2017).

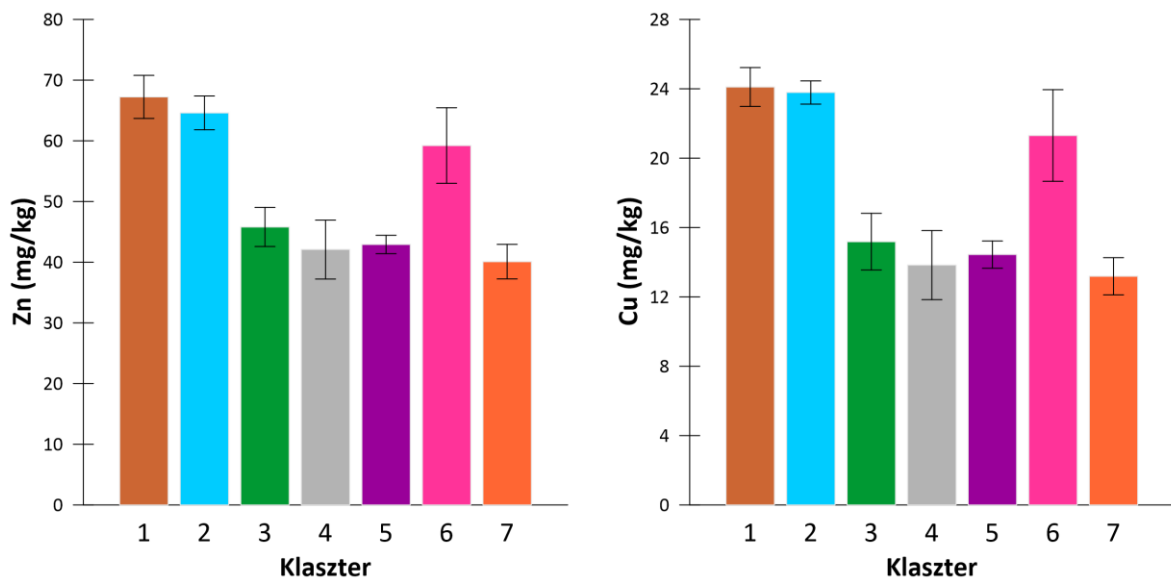
A 3. klaszter megfeleltethető a B és BC talajtani szintekkel, 40 cm-től 75 cm-ig tart. Kémiai összetételét tekintve mind a fő- és nyomelemek átmenetet képeznek az 1. klaszter és a 6. klaszter között, a DS1 tengelyen az említett két klaszter között „félúton” helyezkedik el. A recens talajban relatív abundáns nehézfémek koncentrációja csökken, míg a löszös anyagokból származó elemek, például a stroncium (Sr), kalcium (Ca) és magnézium (Mg) ugrásszerű növekedést mutatnak. Közel megegyeznek az A_p-B_p szintekkel korreláló 4. klaszterrel, mely szintén egy alapkőzetet (C_p szint) jelöl.

A 4. klaszterbe sorolt minták a vas (Fe), a stroncium (Sr) és a mangán (Mn) tartalom alapján kerültek egy csoportba. A halom alatt eltemetett paleotalaj egykori feltalajának (A_p-szint) és az alatta elhelyezkedő átmeneti paleo B_p-szintjének a mintáit foglalják magukba ezek a minták. Az eltemetett paleotalajt egy csernozjom talajképződésmintaként határoztuk meg, amelyben markánsan megjelenik a vertikálisan csökkenő humuszdinamika, és az ezzel ellentétesen növekvő szénsavas mésztartalom (vö. Pető et al. 2022, 3. ábra).



5. ábra: A diszkriminancia analízis eredménye. A kör jelölők a mintákat, a négyzetek a csoport középpontjait jelölik. A nyilak a kiindulási változók összevont csoporton belüli korrelációit jelölik a diszkriminancia függvényekkel.

Fig. 5.: Result of the discriminant analysis. Circles mark the samples, squares mark the centres of the groups. Arrows mark the correlation with the discriminant function.



6. ábra: A klasztereken belüli átlagos cink (Zn) és réz (Cu) koncentráció

Fig. 6.: Average zinc (Zn) and copper (Cu) concentrations within the clusters

Az elemösszetételben megmutatkozó meghatározó elemek köthetők korabeli emberi tevékenységekhez (Nielsen & Kristiansen 2014), így például szerves anyag és trágya felhasználáshoz (da Costa & Kern 1999; Wilson et al. 2008), vagy égetéshez (Aston et al. 1998). A 4. klaszter

mintáiban az Mn-tartalom nem volt kiugró. Kizárni teljes mértékben nem tudjuk, de valószínűsíthető, hogy elsősorban nem a korabeli emberi tevékenységből származik, hanem a természetes talajképződési folyamatok révén jelent meg (vö. redoxi folyamatok). A klaszter érdekessége, hogy a

paleotalaj talajosodott, humuszosodott rétegének minden mintája ebbe esik, amely alapján a paleo A_p - és B_p -szintek talajkémiai oldalról homogénnek tűnnek annak ellenére, hogy a humusz- és karbonát eloszlások egyértelműen megrajzolják ezek lehetséges határfelületét.

Az 5. klaszter a második diszkriminancia függvény alapján (5. ábra), jelentősen elkülönül a többi klasztertől. A központi szelvény mentén a C_1 felhordási réteg és a recens talajtakaró határán, valamint a szelvény legalsó paleo C_p -szintjének egyes mintái tartoznak ide. Az erőteljes elkülönülés oka a minták Ca- és nehézfém- (pl. Ni) koncentrációjában keresendő. A 7. ábra a csoportok átlagos elemkoncentrációi közül a Ca- és Ni-tartalmat jeleníti meg. Az ábráról leolvasható, hogy az 5. klaszterbe sorolt minták magas Ca-tartalom mellett magasabb nehézfém tartalommal rendelkeznek, mint a löszös rétegek. A Ni megközelíti a modern talajok mintáiban mért értékeket. Az 5. klaszter mintái a modern rétegek, ebből adódóan, illetve a szelvény morfológiai leírásakor rögzített számos paleokrotona jelenléte alapján feltételezhetjük, hogy azon rétegek mintái tartoznak ide, amelyek vagy emberi hatásra (vö. BC/ C_1 határfelület), vagy állati tevékenység eredményeképpen átkeveredtek. Az 5. klaszter nem csak a Ca és Ni alapján különül el ilyen mértékben a többitől. Az, hogy ekkora távolságra került, azt indikálja, hogy jelentősen eltér a kémiai összetétele, amelyet indokolhat az, hogy egy átkevert anyagból van.

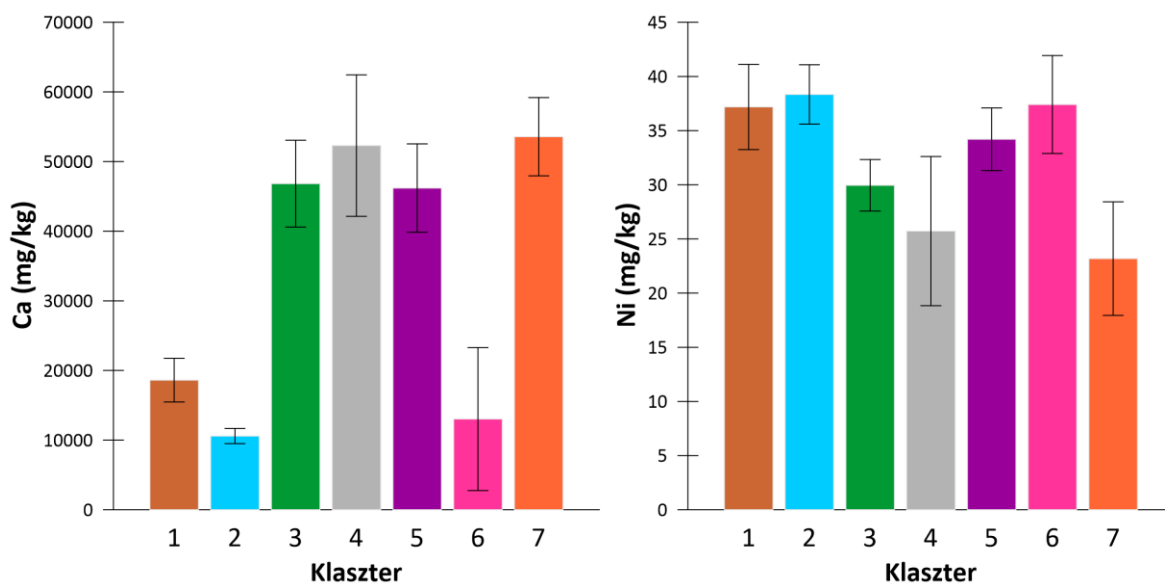
A 6. klaszterbe sorolt minták a C_1 réteghez tartoznak. Az alatta és felette elhelyezkedő talajosodott rétegekhez képest több nehézfém

tartalmaz, de kevesebbet, mint az A-szint. A minták kalcium (Ca), stroncium (Sr) és magnézium (Mg) tartalma kisebb, mint a C_p -szinttel korreláló 7. klaszteré, bárium (Ba) tartalmuk azonban magasabb. Az összes klaszter közül ez a 6. mutatja a legnagyobb ritkaföldfém koncentrációt. Ezen jelenségek magyarázata lehet, hogy a vízmozgások hatására a kisebb rendszámú alkáli földfémek kilúgozódtak. Emellett a rétegben állatjártatok voltak megfigyelhetők, amelyek keresztül recens talajjal történő keveredés is végbemehetett.

A 7. klaszter a halom alatt elhelyezkedő C_p -szintnek felel meg, az 5. klaszterhez (C_1 réteg) képest jelentősen több kalcium és magnézium található benne. Nehézfém tartalmát tekintve kisebb koncentrációkban tartalmaz pl. Zn, Cu, Fe, V elemeket.

Következtetések

A Hajdúnánás határában hosszan elnyúló Zagolya-dűlő határrész elsődleges hasznosítási formája – legalábbis az ismert térképei és írott források alapján – legelő, illetve gyepterület volt (Draviczky 1990; Bakodi 2022), amely területet K-felől a Varjas-ér, a Malom/Szőke-ér és a Süldős-ér határolt. A tájfeldrajzi és topográfiai megfigyelések alapján az ETA-01-es kódszámmal jelölt halmot a jelenlegi Süldős-eret kísérő folyóhátra építették. A temetkezési halmokat jellemzően árvízmentes, többlet vízhatással kevésbé érintett területeken emelték. A Zagolya-dűlőben, az említett erek melletti mocsaras, nádas, rendszeresen felvizesező környezetben található magasabb háta felülete temetkezési célokra szintén ideális hely volt.



7. ábra: A klasztereken belüli átlagos kalcium (Ca), nikkelt (Ni) koncentráció

Fig. 7.: The average calcium (Ca), nickel (Ni) concentration within the clusters

A halom 2012-es feltárása során igazolást nyert, hogy az eredeti – primer – funkciója a rézkor végi–kora bronzkori gödörsíros, vagyis Jamnaja kultúra temetkezéséhez köthető (Dani et al. 2017). Ugyanakkor a halomtest kulturális újrahasonosításának egyértelmű nyomai is napvilágra kerültek, hiszen a későbbi korokban (római császárkori bolygatás, majd Árpád-kori használat) többször használatba vették a halomtestet. Ez utóbbi információ talajtani és rétegtani relevanciája, hogy többszörös bolygatásnak lehetett kitéve. A rétegtani vizsgálatok elvégzéséhez olyan metszettel kialakítása vált szükségessé, ami a vélelmezhető és láthatóan legkevesebb bolygatást szenvedte el az eredeti őskori temetkezés megvalósítása óta.

A halom központi metszeten kialakított mintavételi szelvényen komplex természettudományos feldolgozáshoz alkalmas mintavételezést valósítottunk meg, amelynek keretében archeobotanikai, talajtani és földtani módszerekkel igyekeztünk fényt deríteni a halom építésére, az építése óta eltelt időszakban lezajlott folyamatokra (vö. Pető et al. 2022).

Jelen dolgozatban a korábban végzett helyszíni talajmorfológiai megfigyelések, valamint a talajfizikai és -kémiai alapvizsgálatok nyomán kialakított szint- és rétegbeosztást elemösszetételbeli vizsgálatokkal egészítettük ki.

A korabeli Zagolya-dűlő talajtani viszonyairól árulkodik a halom alatt eltemetett talajtakaró. Az enyhe sófelhalmozódást mutató, de morfológiai bélyegeit és talajtani alapparamétereit tekintve csernozjom talajfejlődéssel jellemezhető talajba mélyítették a halom központjában megtalált alaptemetkezést. A mélyen áttalajosodott termőréteg homogén geokémiai jellegét mutatja az, hogy a paleotalaj A_p - és B_p -szintjeiből vett minták egy azonos klaszterbe rendeződtek a sokváltozós statisztikai értékelés során. Ennek kapcsán felmerülhetne a halom alatti talajtakaró talajanyagának összekeverése is, ugyanakkor ennek ellentmondanak a helyszínen tapasztalt morfológiai bélyegek, illetve a talajkémiai (humusz- és szénsavas mérsz tartalom) adatok. Az eltemetett talajtakaró biológiai aktivitását jelzik a metszetben feltáruló paleokrotovinák (kisemlős járatok), amelyek jelentős számban vannak jelen.

Az ETA-01-es halom egyik sajátja, hogy az eltemetett talaj felszínére egy szürkés sárga anyagból emeltek magasztást (C_1 réteg). Ennek a rétegnek a mintái a 6. klaszterbe esnek, és elemösszetételben hasonlóságot mutatnak a 7. klaszter mintáival. A 7. klaszterbe soroltuk az eltemetett talaj talajképző alapközetéből származó minták jelentős részét (BC_p - és C_p -szintek). A két klaszter között fennálló elemösszetételben megmutatókozó hasonlóság felhívja a figyelmet arra

a tényre, hogy a halom első felhordását, vagy legalábbis annak a központi sír felett kialakított részét nem a környezet humuszos termőrétegéből valósították meg, hanem a temetkezési hely tágabb tájféldrajzi környezetében előforduló alapközet segítségével, amelynek természetes feltáródási pontjai a Zagolya-dűlőben futó vízfolyások mentén könnyen elképzelhetők.

A halom palástját adó recens talajtakaró mészlepedékes csernozjom talajok morfológiai és talajkémiai sajátosságait mutatja (vö. Pető et al. 2022). Ugyanakkor érdekes az elemösszetételben megmutatókozó mintázat. A C_1 réteg és a recens talajtakaró határán ún. átmeneti minták helyezkednek el, amelyek a két réteg közötti keveredéssel is magyarázhatóak. A recens talajtakaró B- és BC-szintje ugyanakkor geokémiailag homogén egységet alkot (3. klaszter), míg ettől élesen elválik az A-szint (1. és 2. klaszter). A 80 cm-es relatív mélységben kialakult humuszos termőtalaj minden valószínűség szerint nem tudott volna létrejönni a C_1 réteg felszínén. Valószínűsíthető, hogy a morfológiailag elkülönülő C_1 réteg tetejére a halom környezetéből további humuszos termőréteget halmoztak, amely a halom palástjaként funkcionálva idővel konszolidálódott és talajosodási folyamatokon ment keresztül. Ennek pontos mélységét nem lehet megállapítani. A megfigyelést alátámasztják a humusz- és szénsavas mérsz tartalom, valamint a textúráltsági koefficiens lefutási görbéi (vö. Pető et al. 2022). Az elemösszetételbeli adatok arra utalnak, hogy a felső 40 cm, amit a morfológiailag egységes A-szinttel azonosítunk, erős – akár császár-, Árpád- és modern kori – emberi hatásoknak volt kitéve, fejlődése már a halom megépítését követően alakult. Ezzel ellentétben a mélyebben elhelyezkedő, a környezeti hatásoktól „védelemben” 40–75 cm-es réteg elemösszetételbeli adatai, illetve a minták közötti hasonlóságban mutatókozó egységesség miatt felmerül annak valószínűsége, hogy a recens talajtakaró B- és BC-szintjeként azonosított réteg jeleníti meg az egykori humuszos felhordást.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az „YMPACT: The Yamnaya Impact on Prehistoric Europe” c. H2020-as ERC Advanced Grant kutatási pályázat keretében készült. (The research was founded by the „YMPACT: The Yamnaya Impact on Prehistoric Europe” H2020 ERC Advanced Grant project.)

Felhasznált irodalom

ASTON, M.A., MARTIN, M.H., & JACKSON, A.W. (1998): The use of heavy metal soil analysis for archaeological surveying. *Chemosphere* **37/3** 465–477.

BAKODI A. (2022): A Hajdúnánás-Zagolya-dűlőben található kunhalmok és környezetük tájhasználat-történeti vizsgálata. *Szakdolgozat*

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő. 45 p.

BALARAM, V. (2020): Microwave plasma atomic emission spectrometry (MP-AES) and its applications – A critical review. *Microchemical Journal* **159** 105483.

BALÁZS, A., MAGYAR, I., MATENCO, L., SZTANÓ, O., TÖKÉS, L. & HORVÁTH F. (2018): Morphology of a large paleo-lake: Analysis of compaction in the Miocene-Quaternary Pannonian Basin. *Global and Planetary Change* **171** 134–147.

BARCZI A. (2016): *Kunhalmok eltemetett talajainak vizsgálata*. Szent István Egyetem Egyetemi Kiadó, Gödöllő. 179 p.

BARCZI, A., JOÓ, K., PETŐ, Á. & BUCSI, T. (2006a): Survey of the buried paleosol under the Lyukas mound in Hungary. *Eurasian Soil Science* **39** 133–140.

BARCZI, A., M. TÓTH, T., CSANÁDI, A., SÜMEGI, P. & CZINKOTA I. (2006b): Reconstruction of the paleo-environment and soil evolution of the Csipő-halom kurgan, Hungary. *Quaternary International* **155-156** 49–59.

BARCZI A., TÓTH CS., TÓTH A. & PETŐ Á. (2009): A Bán-halom komplex tájökölógiai és paleotalajtani felmérése. *Tájökölógiai Lapok* **7** 191–208.

BEDE Á., CSATHÓ A.I., CZUKOR P., PÁLL D.G., SZILÁGYI G. & SÜMEGI P. (2014): A hortobágyi Ecse-halom geomorfológiai, tájtörténeti, botanikai, szedimentológiai és mikromorfológiai vizsgálatának előzetes eredményei. In: SÜMEGI P. (szerk.): Környezetföldtani és környezettörténeti kutatások a dunai Alföldön. *GeoLitera*, SZTE TTIK Földrajzi és Földtani Tanszékcsoport, Szeged, 29–41.

BORISOV, A.V., KRIVOSHEEV, M.V., MIMOKHOD, R.A. & EL'TSOV M. V. (2019): „Sodblocks” in kurganmounds: Historical and soil features of the technique of tumuli erection. *Journal of Archaeological Science: Reports* **24** 122–131.

CSANÁDI, A. & TÓTH, M.T. (2011): Mineralogical and geochemical evolution of two kurgans from the Great Hungarian Plain. In: PETŐ, Á. & BARCZI, A. (eds.): *Kurgans Studies: An environmental archaeological multiproxy study of burial mounds of the Eurasian steppe zone*. *BAR International Series* **2238**. Archaeopress Oxford, UK. pp. 183–191

DA COSTA, M.L. & KERN, D.C. (1999): Geochemical signatures of tropical soils with archaeological black earth in the Amazon, Brazil. *Journal of Geochemical Exploration* **66/1–2** 369–385.

DANI J., MÁRKUS G., KULCSÁR G., HEYD V., WŁODARCZAK P., ZITNAN A. & PEŠKA J. (2017): A „Yamnaya Impact Project” régészeti topográfiai tanulságai. In: BENKŐ E., BONDÁR M. & KOLLÁTH, Á. (szerk.): *Magyarország régészeti topográfiája: Múlt, jelen, jövő*. MTA Bölcsészettudományi Kutatóközpont Régészeti Intézet, Archaeolingua, Budapest. 137–150.

DÖVÉNYI Z. (szerk.) (2010): *Magyarország kistájainak katasztere*. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest. 876 p.

DRAVICZKY I. (1990): *Hajdúnánás földrajzi nevei*. I.rész: Határ. Hajdúnánás. 125 p.

GALLÉ E. & BEDE Á. (2019): Az alföldi halmok értékeinek pusztítása. In: MOLNÁR Gy. & ANDRÉSI P. (szerk.): *A civilizáció káros hatásai az élővilágra Magyarországon*. 107–112.

GÁBRIS, Gy. & NÁDOR, A. (2007): Long-term fluvial archives in Hungary: response of the Danube and Tisza rivers to tectonic movements and climatic changes during the Quaternary: a review and new synthesis. *Quaternary Science Reviews* **26** 2758–2782.

KHOKHLOVA, O., SVERCHKOVA, A., MORGUNOVA, N., GOLYEVA, A. & TREGUB, T. (2022): Paleoecology during the creation of a large Boldyrevo kurgan of the Yamnaya culture in the Southern Cis-Urals, Russia. *Tájökölógiai Lapok* **20** (Suppl.1) 83–103.

HEIRI, O., LOTTER, A.F. & LEMCKE, G. (2001): Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology* **25/1** 101–110.

HORÁK, J., JANOVSKÝ, M., HEJCMAN, M., ŠMEJDAB, L. & KLÍRA, T. (2018): Soil geochemistry of medieval arable fields in Lovětín near Třešť, Czech Republic. *Catena* **162** 14–22.

KHOKHLOVA, O., SVERCHKOVA, A., MYAKSHINA, T., MAKEEV, A. & TREGUB, T. (2020): Environmental trends during the Bronze Age recorded in paleosols buried under a big kurgan in the steppes of the Ponto-Caspian area. *Quaternary International* **583** 83–93.

KLIMEK, K. (2002): Human-induced overbank sedimentation in the foreland of the Eastern Sudety Mountains. *Earth Surface Processes and Landforms* **27** 391–402.

LEHMKUHL, F., BÖSKEN, J.; HOSEK, J., SPRAFKE, T., MARKOVIC, S.B., OBREHT, I., HAMBACH, U., SÜMEGI, P., THIEMANN, A., STEFFENS, S., LINDNER, H., VERES, D. & ZEEDEN, C. (2018): Loess distribution and related Quaternary sediments in the Carpathian Basin. *Journal of Maps* **14/2** 661–670.

- LINDERHOLM, J. & LUNDBERG, E. (1994): Chemical characterization of various archaeological soil samples using main and trace elements determined by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. *Journal of Archaeological Science* **21** 303–314.
- LINDNER, H., LEHMKUHL, F. & ZEEDEEN, C. (2017): Spatial loess distribution in the eastern Carpathian Basin: a novel approach based on geoscientific maps and data. *Journal of Maps* **13/2** 173–181.
- MAGYAR, I., RADIVOJEVIC, D., SZTANÓ, O., SYNAK, R., UJSZÁSZI, K. & PÓCSIK M. (2013): Progradation of the paleo-Danube shelf margin across the Pannonian Basin during the Late Miocene and Early Pliocene. *Global and Planetary Change* **103** 168–173.
- MAKEEV, A., RUSAKOV, A., KURBANOVA, F., KHOKHLOVA, O., KUST, P., LEBEDEVA, M., MILANOVSKIY, E., EGLI, M., DENISOVA, E., ASEYEVA, E., RUSAKOVA, E. & MIHAILOV, E. (2021): Soils at archaeological monuments of the Bronze Age – A key to the Holocene landscape dynamics in the broad leaf forest area of the Russian Plain. *Quaternary International* **591** 26–47.
- MAROSI S. & SOMOGYI S. (1990): *Magyarország kistájainak katasztere I.* MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest. 479 p.
- MAY, T.W., WIEDMEYER, R.H., CHAUDHARY-WEBB, M., PASCHAL, D.C., ELLIOTT, W.C., HOPKINS, H.P., GHAZI, M., TING, B.C., ROMIEU, I., VICENTE, O., PELFORT, E., MARTINEZ, L., OLSINA, R., MARCHEVSKY, E., CHEN, H.P., MILLER, D.T. & MORROW, J.C. (1998): A table of polyatomic interferences in ICP-MS. *Atomic Spectroscopy* **19/5** 150–155.
- MORGUNOVA, N. & KHOKHLOVA, O. (2020): Development of ancient cultures and paleoenvironment during the Eneolithic Period and the Early Bronze Age in the Southern Cis-Urals steppe (Russia). *Archaeological and Anthropological Sciences* **12** 241.
- NIELSEN, N.H. & KRISTIANSEN, S.M. (2014): Identifying ancient manuring: tradition phosphate vs. multi-element analysis of archaeological soil. *Journal of Archaeological Science* **42** 390–398.
- PÉCSI M. (1993): *Negyedkor és löszkutatás.* Akadémiai Kiadó, Budapest. 375 p.
- PETŐ Á., KENÉZ Á., BRAUN Á., KOVÁCS G., SKUTAI J., DANI J., KULCSÁR G. & HEYD V. (2022): Hajdúnánás–Zagolya ETA-01 kurgán komplex paleoökológiai vizsgálata. *Tájökológiai Lapok* **20** (Suppl.1) 117–146.
- PIETSCH, D. & KÜHN, P. (2017): Buried soils in the context of geoarchaeological research – two examples from Germany and Ethiopia. *Archaeological and Anthropological Sciences* **9** 1571–1583.
- ŠMEJDA, L., HEJCMAN, M., HORÁK, J. & SHAI I. (2017): Ancient settlement activities as important sources of nutrients (P, K, S, Zn and Cu) in Eastern Mediterranean ecosystems – the case of biblical Tel Burna, Israel. *Catena* **156** 62–73.
- STANLEY, C. R. (2006): Numerical transformation of geochemical data: 1. Maximizing geochemical contrast to facilitate information extraction and improved at a presentation. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* **6/1** 69–78.
- STEFANOVITS P., FILEP Gy. & FÜLEKY Gy. (2010): *Talajtan.* Mezőgazda Kiadó, Budapest. 470 p.
- SÜMEGI P., BEDE Á. & SZILÁGYI G. (2015): Régészeti geológiai, geoarcheológiai és környezettörténeti elemzések régészeti lelőhelyeken – a földtudományok és a régészet kapcsolata. *Archeometriai Műhely* **12** 135–149.
- TÓTH A. (1999): *Kunhalmok.* Karcagi Nyomda, Kisújszállás. 77 p.
- WILSON, C.A., DAVIDSON, D.A. & CRESSER M.S. (2008): Multi-element soil analysis: an assessment of its potential as an aid to archaeological interpretation. *Journal of Archaeological Science* **35/2** 412–424.
- WILSON, C.A., DAVIDSON, D.A. & CRESSER M.S. (2009): An evaluation of the site specificity of soil elemental signatures for identifying and interpreting former functional areas. *Journal of Archaeological Science* **36/10** 2327–2334.

