



**JAMNAJA KURGÁNOK GEOKÉMIAI,
RÉGÉSZETI TALAJTANI ÉS STATISZTIKAI
MÓDSZEREKEN ALAPULÓ
KÖRNYEZETTÖRTÉNETI ELEMZÉSE**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

BRAUN ÁDÁM

Gödöllő

2025

A doktori iskola

megnevezése: Természettudományi Doktori Iskola

tudományága: Környezettudományok

vezetője: Prof. Dr. Csákiné Michéli Erika, MTA r. tagja
intézetigazgató, egyetemi tanár MATE,
Környezettudományi Intézet, Talajtani Tanszék

Témavezető: Dr. Pető Ákos
tanszékvezető, egyetemi docens
MATE, Vadgazdálkodási és Természetvédelmi Intézet,
Természetvédelmi és Tájgazdálkodási Tanszék

.....
Csákiné Prof. Dr. Michéli Erika
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
Dr. Pető Ákos
A témavezető jóváhagyása

1. A munka előzményei, célkitűzések

A síkvidéki tájak antropogén felszínformái közül a kunhalmok, különösen a sírdombok – vagy másnéven kurgánok – m kiemelt jelentőséggel bírnak mind a régészeti, mind a környezettudományi kutatás számára. Ezek a több ezer éves, ember által létrehozott felszíni formák nem csupán temetkezési vagy térhasználati emlékek, hanem olyan komplex geoarchívumok, amelyek képesek megőrizni az építésük idején fennálló környezeti viszonyok lenyomatát. A halomtestek alatt gyakran konzerválódott paleotalajok, valamint a halmok anyagát alkotó, különböző eredetű üledékek és talajrétegek együttesen alkalmasak arra, hogy az építésük idejének egyes környezeti viszonyai, talajfejlődési irányai, valamint felszínfejlődési (geomorfológiai) és geokémiai folyamatai rekonstruálhatók legyenek.

A kurgánok kutatása hosszú időn keresztül elsősorban régészeti megközelítésben zajlott, a hangsúly a temetkezések kronológiai, kulturális és rítustörténeti értelmezésén volt. Az elmúlt évtizedekben azonban egyre inkább előtérbe került az a felismerés, hogy a halmok nem választhatók el élesen a természeti környezetüktől, és kialakulásuk, valamint későbbi átalakulásuk során a természetes és antropogén folyamatok szoros kölcsönhatásban működtek. Ennek megfelelően a kunhalmok vizsgálata mára interdiszciplináris kutatási területté vált, amelyben a negyedidőszaki őskörnyezettan, a talajtan, a geokémia és a geomorfológia módszerei egyaránt meghatározó szerepet töltenek be.

Különösen nagy jelentőséggel bírnak azok a paleotalajok, amelyek a halmok építésével egy időben kerültek elfedésre, és fejlődésük megszakadt. Ezek az eltemetett talajszelvények olyan időmetszetet képviselnek, amely lehetőséget ad a múltbeli klimatikus, növényzeti és talajfejlődési viszonyok vizsgálatára, miközben a felettük elhelyezkedő halomtest anyaga információt szolgáltat a halmok építési technikájáról, az anyagnyerés módjáról, valamint az emberi környezetátalakítás mértékéről. A recens felszíni talajok és a halomtestbe beépült kultúrrétegek további adalékot nyújtanak a későbbi talajfejlődési folyamatok, az anyagvándorlás és az antropogén hatások értelmezéséhez.

A talajtani és geokémiai vizsgálatok különösen alkalmasak arra, hogy a halomtest és az alatta eltemetett talaj közötti kapcsolatokat részletesen feltárják. Az egyes elemek vertikális eloszlása, a makro- és mikroelemek koncentrációinak változása, valamint a só-, karbonát- és humusztartalom mélység szerinti lefutása mind olyan információkat hordoznak, amelyek segítségével leírhatók a természetes talajképződési folyamatok és az emberi beavatkozásból eredő hatások is. A korszerű laboratóriumi analitikai módszerek lehetővé teszik a fő- és nyomelemek nagy pontosságú, alacsony kimutatási határú meghatározását. Az így nyert nagyszámú mérési adat értelmezését sokváltozós statisztikai eljárások segítik, amelyek alkalmasak az összetett geokémiai mintázatok és kapcsolatok feltárására.

A dolgozat központi problémaköre annak vizsgálata, hogy a kunhalmok miként értelmezhetők komplex talajtani–geokémiai rendszerekként, és milyen mértékben alkalmasak a környezeti viszonyok, valamint az emberi tevékenység által kiváltott változások rekonstruálására. Külön figyelmet kap annak feltárása, hogy a halomépités során felhasznált anyag mennyiben tükrözi a környező térszínek talajtani adottságait, illetve hogy az eltemetett paleotalajok milyen mértékben őrizték meg eredeti tulajdonságaikat a fedőrétegek alatt. A vizsgálatok célja továbbá annak meghatározása, hogy a halomtestben és az eltemetett talajban megfigyelhető geokémiai különbségek milyen folyamatok eredményeként alakultak ki.

A Hajdúnánás–Zagolya ETA-01 kurgán és a Boldești–Grădiștea lelőhely példái jól szemléltetik, hogy a halmok eltérő környezeti feltételek között is hasonló alapelvek mentén értelmezhetők, ugyanakkor a lokális talajtani, hidrológiai és üledéktani viszonyok jelentős hatással lehetnek a talajfejlődés és az anyagmozgás irányára és intenzitására.

A dolgozat célkitűzései közé tartozik a halomtestek és az eltemetett talajszelvények részletes talajtani és geokémiai jellemzése, a kurgánok rétegtani viszonyainak leírása, valamint az egyes rétegek és szintek közötti kapcsolatok feltárása. Ezzel párhuzamosan a kutatás törekszik arra, hogy a statisztikai módszerek alkalmazásával objektív módon különítse el a természetes és antropogén eredetű folyamatokat, és hozzájáruljon a kunhalmok, mint komplex őskörnyezeti archívumok értelmezéséhez.

2. Anyag és módszer

Hajdúnánás-Zagolya terület bemutatása

Az ETA-01-es objektum Hajdúnánástól 5 km-re dél-délnyugatra található a Hortobágy és a Hajdúhát határterületén. A terület síkság, jellemző magassága 88-92 m. Jelenleg a legmarkánsabb felszínformák az elhagyatott folyómedrek, feltöltődő morotvák és az ezekhez kapcsolódó folyóhátak, valamint a hátakra, kiemelkedésekre emelt kurgánok. A területen a pleisztocén során jellemzően víz és szél által szállított üledékek akkumulálódtak (Pécsi 1993), arra alkalmas térszíneken löszök és löszszerű üledékek képződtek (Pécsi 1993; Lindner et al. 2017; Lehmkuhl et al. 2018). Mérsékelt meleg, száraz éghajlatú terület (Marosi és Somogyi 1990; Dövényi 2010), így a jelenlegi körülmények között csernozjom talajok dominálják a környéket.

Boldești-Grădiștea terület bemutatása

A második halom Boldești-Grădiștea település közvetlen közelében helyezkedik el a Román-alföld (Havasalföld) területén. Ez a régió a Kárpátok keleti oldalától egészen a Duna-deltáig és a Fekete tenger partjáig húzódik. Déli irányból a Duna völgye határolja. Tengerszint feletti magassága 5 és 320 m között változik. A felszínét elsősorban lösz borítja, amelynek vastagsága a Havasalföld sík területein 4 és 40 m között változik. A vizsgált terület a Buzău és az Ialomița folyók közötti térségben található, amelyet Bărăgan-síkságnak is neveznek (Coroban 2013). Az éghajlat mérsékelt kontinentális. A vizsgált kurgán és tágabb környezete Románia ún. csernozjom övezetben helyezkedik el (Burcea et al. 2015; Stănilă és Dumitru 2016).

Helyszíni talajvizsgálatok módszertana

Mindkét kurgán esetében a régészeti feltárás során létrehozott ún. központ metszetsfalán végeztem vizsgálataimat. A kurgánok egyes rétegeit, valamint az eltemetett talaj és a recens talaj szintjeit, azok megmintázása előtt, a TIM Módszertan (1995) által javasolt, de a régészeti talajtani jelenségek rögzítésére is alkalmas kiegészítéseket, módosításokat is tartalmazó szempontrendszer alapján jellemeztük (Pető et al. 2019).

A metszetsfalakon minden esetben elkülönítésre került a halom megépítéskor eltemetett paleotalaj szelvénye, a meghordott halomtest, valamint a halomtestet fedő recens talaj szelvénye.

Terepi mintavétel módszertana

A metszetsfalakon elvégzett helyszíni talajvizsgálat alapján jelöltük ki a mintavételek helyét. A legfőbb szempont, hogy a halomban megfigyelt rétegek és szintek lehetőség szerint mind szerepeljenek a kiválasztott szelvényen. A vizsgált kurgánok a halmok középpontjához, az ún. elsődleges temetkezéshez közel eső, legtöbb réteget és szintet tartalmazó területekre esett a választás. Szintenként talajtani vizsgálati célra, illetve sűrítetten 5, illetve 10 cm-es felbontásban a talaj tulajdonságaitól függően geokémiai vizsgálati célra történt mintavétel. A mintavétel a halomtestet és az eltemetett talajsínteket is érintette.

Talajtani laboratóriumi vizsgálatok módszertana

A vizsgált kurgánokon nyitott metszetsfalokon meghatározott talajszíntekből és rétegekből talajtani alapvizsgálatok céljából átlagmintákat gyűjtöttünk. Ellentétben a geokémiai vizsgálat céljaira gyűjtött mintákkal ebben az esetben nem folytonos mintázást alkalmaztunk, hanem a morfológiailag elkülönülő rétegtani egységekből vettünk mintákat.

A mintákon az alábbi talajtani alapvizsgálati paramétereket mértük: kémhatás (MSZ-08-0206/2-1978), Arany-féle kötöttség (MSZ-21470/51-1983), szénsavas mésztartalom (MSZ-08-0206/2-1978), összes humusztartalom (MSZ-08-0210/2-1977).

Geokémiai (laboratóriumi) vizsgálatok módszertana

A mintákat homogenizálást követően királyvizes extrakcióval dolgoztam fel. A homogenizálás porcelán mozsárral történt, ahol a teljes mintamennyiséget összetörtem, majd 1 mm-es szitán átráztam. A királyvizes kivonat az MSZ 21470-50:2006 szabvány alapján készült. Hevítési veszteség vizsgálatok is készültek a mintákon, 550 °C illetve 950 °C-on.

A feltárt mintákban az elemek koncentrációit induktív csatolású plazma tömegspektrometria (ICP-MS) és mikrohullámú plazma atom emissziós spektrometria (MP-AES) segítségével határoztam meg. A két módszerben közös, hogy külső kalibráló görbe felvételével történt az intenzitások és a koncentrációk közötti kapcsolat megteremtése.

Adatok statisztikai feldolgozása

Feldolgozás előtt a koncentráció adatokat mg/kg egységbe váltottam, majd megvizsgáltam az eloszlásokat. A legtöbb statisztikai módszer normális eloszlású adathalmazt feltételez, ezért az adatsorokat log-transzformáltam, így közelebb kerülve a normális eloszláshoz (Stanley 2006). Geokémiai adatsorokon az egyik leggyakrabban alkalmazott módszer a főkomponens analízis (PCA) (Barczy et al. 2006; Davis 1986; Koinig et al. 2003; Sadeghi et al. 2013). Szerepe, hogy segítsen a sokváltozós adathalmaz dimenzióinak csökkentésében és az eredmények könnyebb értékelésében.

A PCA egyik előnye, hogy az új létrejövő adathalmaz változói ortogonálisok egymásra és így az euklideszi távolság mért mérték jól értelmezhető, ami fontos a következő lépésnél a klaszter elemzésnél (CA). A klaszter analízis célja a mintázatok felderítése. Vizsgálataimnál hierarchikus klaszterezést használtam Ward minimum variancia módszerével (Ward 1963) metrikaként, euklideszi távolsággal.

A kialakult klaszterek ellenőrzésére (Ng és King 2004) és a köztük fennálló viszonyok felderítésére lineáris diszkriminancia analízist használtam. A bemeneti adatok a log transzformált mérési eredmények, illetve a klaszter elemzés csoportjai voltak. Az LDA lehetővé teszi a minták csoportba tartozási valószínűségének vizsgálatát, valamint a csoportok közötti különbségek feltérképezését a diszkrimináló függvények és az eredeti változók közötti kapcsolat vizsgálatával (Barczy 2016).

3. Eredmények és azok megbeszélése

3.1 Hajdúnánás-Zagolya ETA-01 eredményei

3.1.1 Talajtani vizsgálat eredményei

A központi szelvényen megfigyelt talaj- és üledékrétegek morfológiai bélyegei a kurgán rétegtana az alábbiak szerint jellemezhető:

- 0-40 cm A-szint
- 40-60 cm B-szint
- 60-80 cm BC-szint
- 80-110 cm C₁ réteg
- 110-140 cm A_p-szint
- 140-160 cm B_p-szint
- 160-180 cm BC_p-szint
- 180-210 cm C_p-szint

A kurgán palástját fedő recens talajképződmény humuszos feltalaja (A-szint, 0–40 cm) egy barnás fekete színű (10YR 3/2), morzsás szerkezetű talajképződmény. Textúrája a homokos vályog és a vályog kategóriák határára esik. Az A-szint gyengén/közepesen meszes. A talajképződményben csupán gyengén fejlett mészkiválások jelentkeztek. A mészállapotnak megfelelően az A-szint kémhatása a gyengén lúgos tartományba esik és a mélységgel fokozatosan növekszik. A humusztartalom vertikálisan csökken, nem tapasztalható kiugrás vertikális irányban. A kurgánt fedő recens talaj A-szintje színben fokozatosan, textúrában enyhe váltással kapcsolódik az alatta települő átmeneti B-szinthez, amely magasabb szénsavas mésztartalommal, és ehhez mérten lúgosabb kémhatással jellemezhető. A homokos vályog fizikai féleség kategóriába sorolható B-szint humusztartalma 0,55%-os értékre csökken, ugyanakkor a vizsgált szelvényben ebben a mélységtartományban érhető tetten az összes sótartalom enyhe megnövekedése.

A recens talajtakaró alapkőzetét adó C1 réteg és a B-szint között, 60–80 cm-es relatív mélységben leírtunk egy rövid átmeneti BC-szintet. A B-szintben tetten érhető összes sótartalom növekedés a mélységgel fokozódik a BC-szintben is, majd a maximumát a C1 réteg legalsó mintájában éri el. A BC-szint színben átmenet ad a C1 réteg és a B-szint között, talajfizikai és talajkémiai paramétereire jellemző, hogy a homokos vályog fizikai fésülés kategóriába sorolható, közepesen magas összes sótartalommal bír, lúgos kémhatású, közepesen meszes és alacsony humusztartalmú.

A C1 réteg adja a recens talajtakaró alapkőzetét. A szürke mátrixú, de ponton kevert színű, szerkezet nélküli üledékösszlet lencseszerűen ékelődik a kurgántestbe, ugyanakkor nem található meg a teljes keresztmetszeten, a központi temetkezés feletti területén jelentkezik. A rétegben állatjáratok eredményeképpen keveredés tapasztalható. Minden valószínűség szerint ennek tudható be a megemelkedett humusztartalom érték és a hirtelen lecsökkenő szénsavas mésztartalom. Fontos kiemelni, hogy a réteg összes sótartalma magasabb, mint a felszínen.

A kurgán által elfedett eredeti járósíntet 110 cm-es relatív mélységben határoztam meg. A vizsgált szelvény 110–210 cm-es relatív mélysége egy elfedett egykori talajszelvényt rejt, amelyet a helyszíni talajvizsgálat során A_p – B_p – BC_p – C_p szintekre tagoltam.

3.1.2 Geokémiai vizsgálatok eredményei.

Jelentősen változik a Ca koncentráció a különböző szintek és rétegeken belül, valamint közöttük is. A B_p szint (eltemetett talaj) rendelkezik a legnagyobb Ca koncentrációval: 140–160 cm között átlagosan 6,05 %. A C1 szint rendelkezik a legkisebb Ca koncentrációval: 14,2 %, melynek szórása nagy, minimum értéke 4,35 % maximum értéke pedig 37,8 %. Ennek oka a réteg átkeveredettsége (Braun et al. 2022). Az alumínium (Al) és a vas (Fe) hasonló koncentrációban van jelen, mindkét elem a BC szintben mutat jelentősebb szóródást.

A főelemeken túl továbbá jelentős mennyiségű bárium (Ba), stroncium (Sr) és mangán (Mn) található a talajmintákban. A mélyebben található szintek és rétegek stroncium (Sr) koncentrációja jelentősen nagyobb, mint a felszín közelében elhelyezkedőké, maximuma a BC_p -szintben található, minimuma pedig a modern talaj B-szintjében. A bárium hasonló tendenciát mutat, ugyan nem olyan markánsan, mint a stroncium (Sr),

maximumát a C1 rétegben éri el, minimumát pedig a B (recens talaj) szintben.

A ritkaföldfémek közül legnagyobb mennyiségben lantán (La) és cérium (Ce) található a mintákban. A nehézfémek (króm, nikkel, réz) a halom tetején képződött modern A-szintben jelennek meg maximális koncentrációval (Braun et al. 2022).

3.1.3 Statisztikai vizsgálatok eredményei

Az adathalmaz leírására 4 főkomponens lett kinyerve, amelyek a variancia 91,3%-át magyarázzák. Az első két komponens 44,4%, illetve 39,9 %-ot tesz ki, tehát az információ jelentős része ezekkel a változókkal leírható. A komponens mátrixot megvizsgálva az tapasztalható, hogy az ritkaföldfémek elkülönülnek a második főkomponensbe a többi elemtől. A hierarchikus klaszter elemzésből eredő dendrogram és a talajmorfológiai jellemzők alapján 7 csoportba soroltam a mintákat. A csoportba tartozási valószínűségek megállapítására diszkriminancia analízist végeztem. Az LDA eredményei alapján minden minta a klaszter analízissel jószolt csoportba került.

3.2 Boldești-Grădiștea kurgán eredményei

3.2.1 Talajtani vizsgálat eredményei

A központi szelvényen megfigyelt talaj- és üledékrétegek morfológiai bélyegek alapján a kurgán rétegtana az alábbiak szerint jellemezhető:

- 0-15 cm A-szint
- 15-25 cm K1 réteg
- 25-100 cm K2 réteg
- 100-170 cm K3 réteg
- 170-245 cm K5 réteg
- 245-250 cm K5 réteg
- 250-280 cm A_p-szint
- 280-300 cm B_p-szint
- 300-320 cm BC_p-szint
- 320-350 cm C_p-szint

A kurgánt egy recens humuszos termőréteg fedi, amely vályog textúrájú, sötétbarna, és szemcsés szerkezetű. Az A-szint gyökerekkel sűrűn, nemezszerűen átszőtt, számos gilisztajáráttal jellemezhető. Bár a szint mésztartalma alacsonynak mutatkozott a mérések során, néhány, a függőleges repedéseket kitöltő karbonátkonkrécio azért megfigyelhető volt.

A helyszíni talajvizsgálat során felvett morfológiai bélyegek alapján a humuszos feltalaj alatt több építési réteg különíthető el:

- K1 réteg: szürkés sárgásbarna (10YR 4/2), a halom közepe felé vastagodó réteg. A központi szelvényben 15–25 cm mélység között jelentkezik. Antropogén zárványt nem tartalmazott. Humusztartalma viszonylag magas (H% = 1,91%). Felső és alsó határa egyaránt éles.
- K2 réteg: 25–100 cm közötti mélységben. Alapszíne a mátrixban szintén szürkés sárgásbarna (10YR 5/2), de nem homogén; bolygatottság nyomai és jól kivehető karbonátkonkréciók láthatók benne. A réteg tömörödött, szerkezet nélküli, humusztartalma magas (H% = 1,61%). Krotovinák nagy számban fordulnak elő benne.
- K3 réteg: sárgásbarna (10YR 4/3), homogén színű, a karbonátkonkréciók szinte teljesen eltűnnek. A sótartalom 0,536%-ra emelkedett, amely a mintasorozat legmagasabb értéke.
- K4 réteg: sötétebb, látszólag több humuszanyagot tartalmazó, tömörödött réteg. A karbonátkonkréciók csak elszórtan, elsősorban függőleges repedések mentén jelentkeztek. A réteg kilúgzott, mészhiányos, amit a $\text{CaCO}_3\%$ közel nulla értéke támaszt alá.
- K5 réteg: a kurgán egyik legérdekesebb rétegtani egysége, mindössze 5 cm vastag (245–250 cm). Közvetlenül a kurgán alatt található paleotalaj felett helyezkedik el. Ebben a vékony rétegben faszénmaradványok és égésre utaló nyomok fordultak elő. Emellett glejes elszíneződések és vasfoltok utaltak pangóvíz jelenlétére. Humusztartalma magas (H% = 2,17%), megközelíti a jelenkori felszíni talaj humusztartalmát.

A kurgán földépítménye alatt egy paleotalaj került elő, amely A_p – B_p – BC_p – C_p szintekre tagolható, sárgás barna löszös üledéken fejlődött talaj.

A háttérszelvény megfigyelt rétegsorozata a helyszíni talajvizsgálat alapján:

- 0-40 cm A-szint
- 40-60 cm B-szint
- 60-100 cm C-szint

A háttérszelvény egy löszös üledéken fejlődött csernozjom talajként azonosítottam.

3.2.2 Geokémiai vizsgálatok eredményei.

A makro elemek közül a magnézium (Mg) és a kálium (K) koncentrációja minden rétegben és szintben hasonló. A kalcium (Ca) koncentrációja függőlegesen csökken a felső rétegektől lefelé, majd ismét emelkedik, és a BC_p- és C_p- szintekben éri el a maximumát (1,66 %). Általánosságban megállapítható, hogy a mobilabb elemek (pl. Ca, Sr és Na) szórása nagy a rétegek és szintek között. A vastartalom a halmon belül a K4 rétegben mutatja a minimumot és a felszín közelében a K1 rétegben éri el a maximumot. Az alumínium (Al) hasonló képet mutat. A stroncium (Sr) eloszlása hasonló a kalcium (Ca) és magnézium (Mg) eloszlásához. A ritkaföldfém-tartalom a kurgán közepe felé csökken, és a K3-as rétegben éri el a minimumot. A mélyebb rétegek felé haladva az eltemetett talajban növekszik, majd a BC_p és C_p szintben ismét csökkenő tendenciát mutat. A nátrium (Na) koncentráció függőlegesen csökken, viszont a K4 rétegben hirtelen növekedést mutat, azonban az átlag növekedésével a heterogenitás is növekszik, amit a megnövekedett szórás mutat.

3.2.3 Statisztikai vizsgálatok eredményei

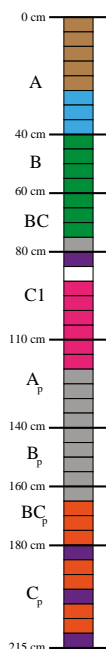
A főkomponens analízis 6 főkomponenst (PC) eredményezett, amelyek az adatállományban jelenlévő teljes variancia 83,8%-át magyarázzák. A PC1 a variancia 31,4%-át magyarázza, és a könnyű ritka földfémekkel, tóriummal, uránnal, alumíniummal, vassal, titánnal és krómmal korrelál. A PC2 a variancia 20,5%-át magyarázza, és korrelációt mutat a nehéz ritka földfémekkel, a rézzel, cinkkel és káliummal. A PC3 a teljes variancia 13,8%-át magyarázza, és pozitív korrelációt mutat a nátrium, szkandium, mangán elemekkel, és negatív korrelációt a karbonáttartalommal (LOI950), Ca és Mg koncentrációval. A kálium szintén korrelációt mutat a PC3-mal, de nem olyan erősen, mint a PC2-vel. A PC4 a variancia 6,7%-át magyarázza, és korrelációt mutat a stronciummal és ólommal. A PC5 a variancia 6,2%-át magyarázza, és negatív korrelációt mutat a szerves széntartalommal (LOI550). A PC6 a variancia 5,2%-át magyarázza, és korrelációt mutat a galliummal és a báriummal.

A klaszterelemzés alapján a minták nyolc csoportba sorolhatók, amelyek helyességét a diszkriminancia analízis is megerősített.

4. Következtetések és a javaslatok

4.1 Hajdúnánás-Zagolya ETA-01

A halomtest rétegződésének elkülönítése a morfológiai megfigyelések és a talajtani vizsgálatok eredményei alapján lehetővé tette a természetes eredetű talajképződmények (eltemetett paleotalaj, recens talaj) és az antropogén hatásra létrejött rétegek azonosítását. A geokémiai elemzések elsődleges célja az volt, hogy a morfológiai bélyegek és a klasszikus talajtani paraméterek alapján meghatározott szint- és réteghatárokat megerősítse, pontosítsa, illetve szükség esetén módosítsa.



4.1.Hiba! A(z) 0 itt megjelenítendő szövegre történő alkalmazásához használja a Kezdőlap lapot. 1. ábra Hajdúnánás-Zagolya ETA-01 halom kialakult klaszterei a profil mentén

A klaszteranalízis eredményeit a talajmorfológiai bélyegek alapján meghatározott szint- és réteghatárokkal összevetve megállapítható, hogy az 1. és 2. klaszter a recens talajtakaró A-szintjéhez tartozó mintákat foglalja magában. Az 1. klaszter a felső, mintegy 25 cm vastagságú réteget reprezentálja, míg a 2. klaszterbe ugyanennek az A-szintnek az alsó, 25–40 cm közötti relatív mélységben elhelyezkedő mintái sorolhatók.

A 3. klaszter a recens talaj B- és BC-szintjének feleltethető meg, amely 40 és 75 cm közötti mélységtartományt ölel fel. E réteg

alatt, 75 és 90 cm között olyan minták fordulnak elő, amelyek eltérő klaszterekhez kapcsolódnak, és nem alkotnak egységes csoportot.

A korábban 80–110 cm közötti mélységben lehatárolt C1 réteg (Pető et al. 2022) a jelenlegi statisztikai értékelés alapján vertikálisan eltolódva jelenik meg. A 90–120 cm közötti tartomány egy jól elkülöníthető, homogén egységet alkot, amely egyben a 6. klaszternek felel meg.

Az eltemetett paleotalaj Ap- és Bp-szintjei együtt a 4. klaszterbe rendeződtek, közöttük a geokémiai adatok alapján nem mutatkozott markáns különbség.

A következő váltás 165 cm körüli relatív mélységben figyelhető meg, ahol a BC_p-szint mintái már a 7. klasztert alkotják. A halom alatti talajképző alapközetként azonosított Cp-szint vegyes képet mutat, mivel az 5. és a 7. klaszterhez tartozó minták egyaránt előfordulnak benne.

Összességében megállapítható, hogy az elemösszetétel alapján végzett csoportosítás alapvetően összhangban van a morfológiai bélyegek alapján felállított rétegfelosztással, ugyanakkor kisebb eltérések is azonosíthatók. A klaszterek szelvény menti elhelyezkedése akkor értelmezhető teljeskörűen, ha az egyes csoportokhoz tartozó üledék- és talajkémiai sajátosságokat is figyelembe vesszük.

A klaszteranalízis során elkülönített mintacsoportok közötti különbségek részletesebb feltárása érdekében diszkriminancia-analízist alkalmaztam a mért változók felhasználásával.

A klaszterek közötti kapcsolatokat és eltéréseket az 4.1.1. ábrán bemutatott biplot segítségével értelmeztük. Az ábrán a klaszterek jól elkülönülnek egymástól. A nyilakkal jelölt változók a diszkriminancia-függvényekkel mutatott összevont korrelációkat szemléltetik, és azt jelzik, hogy az egyes elemek milyen irányban és mértékben járulnak hozzá a minták térbeli elkülönüléséhez.

A halom komplex természettudományos feldolgozásához kapcsolódóan az archeobotanikai, talajtani és földtani módszereket kiegészítve (Pető et al. 2022) a geokémiai eredmények hozzájárulnak a halomról alkotott teljesebb kép leírásához.

Az eltemetett talajtakaró csernozjom jellegét a geokémiai adatok is alátámasztották, amit az A_p- és B_p-szintek homogén klaszterbe rendeződése jelez. A paleokrotovinák nagy száma az eltemetett talaj egykori biológiai aktivitására utal. A C1 réteg elemösszetétele és a C_p-szinttel mutatott hasonlóság arra enged következtetni, hogy a halom első felhordása nem a környező humuszos termőrétegből, hanem a tágabb környezetben előforduló alapkőzetből történt.

A recens talajtakaró geokémiai mintázata jól elkülöníthető az eltemetett rétegektől. A felső, morfológiailag egységes A-szint erős antropogén hatásokat nyomot viseli, míg a mélyebb B- és BC-szintek homogénebb kémiai jellegűt mutatnak. Az elemösszetételei adatok alapján valószínűsíthető, hogy a halom palástjának kialakításához további humuszanyagot is felhasználtak, amely később konszolidálódott és talajosodott. A vizsgálatok összességében igazolják, hogy a halomtest rétegződésének és geokémiai sajátosságainak értelmezése csak a morfológiai, talajtani és statisztikai módszerek integrált alkalmazásával lehetséges.

4.2 Boldești-Grădiștea kurgán értékelése

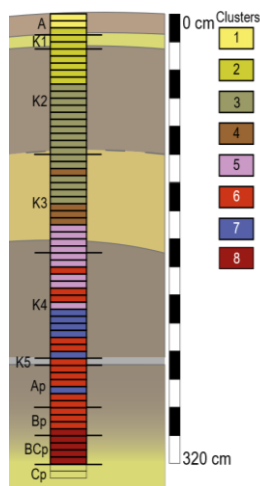
A boldești–grădiștea-i kurgán feltárása során végzett helyszíni megfigyelések, valamint a részletes talajtani és geokémiai vizsgálatok lehetőséget teremtettek a halomépités egyes fázisainak és a korabeli környezeti viszonyok bizonyos aspektusainak rekonstrukciójára.

A makromorfológiai és laboratóriumi adatok alapján a Jamnaja kultúrához tartozó személy központi (elsődleges) sírját egy kilúgzott csernozjom talajba ásták. E talajok egyik fő jellemzője a karbonát hiánya (vagy alacsony tartalma) az A-szintben, ami arra utal, hogy ezek a talajok olyan löszterületeken alakultak ki, ahol az éves csapadékmennyiség meghaladja az 500–550 mm-t, és potenciális növényzetük mérsékelt övi füves puszták és erdőssztyepp mozaikjaként jellemezhető. A temetkezési hely egy alacsony területen (kb. 79 m tszf.) helyezkedett el a Kárpátok keleti lejtői és a Fekete-tenger nyugati partvidéke között. Bár a Kárpátok éghajlati hatása részben kimutatható a csapadékmennyiség növekedésében, a lelőhely a Kr.e. 4. évezred végén mégis egyértelműen sztyeppe jellegű környezetet tükrözött.

A temetkezési helyet, majd később a kurgán első építési fázisának területét a temetés előtt előkészítették. A felszínt valószínűleg

lekaparták és enyhén kifelé lejtővé tették, így alakítva ki azt a platformot, amelyre a halmot emelték. A halom fedőrétege az elsődleges sír fölé került, de nem terjedt túl a platform körvonalán.

A korabeli felszín előkészítése a kurgán rétegtanában is megfigyelhető. A K5 kóddal szereplő réteg (4.2.1. ábra) ennek a tevékenységnek a bizonyítéka. A paleofelszín tetején élesen elkülönülő határként jelentkezik, ami tudatos építési tevékenységre utal. A rétegben talált faszénmaradványok emberi környezetátalakító hatásról tanúskodnak, amelyet vagy a platform szándékos felégetése, vagy annak területén elhelyezkedő tűzhely jelenléte magyarázhat. Ez a vékony réteg a temetkezési terület lezárását szolgálhatta, és a pangó víz nyomai, valamint a vas és mangán feldúsulása arra utalnak, hogy a felszín taposott, enyhén tömörödött talajréteggé vált. Geokémiai összetétele és talajtani tulajdonságai azonban nem térnek el jelentősen a paleo A_p -szinttől, ami azt jelzi, hogy a platform vagy a temetkezési térség lezárása helyben kitermelt anyagból történt. Mivel a K5 réteg nem volt folyamatos, és hiányzott a halom központi részéről, ahol az elsődleges temetkezés található, feltételezhetjük, hogy a platform kialakítása még a temetés előtt, a rituális tér előkészítéseként történt.



Hiba! A(z) 0 itt megjelenítendő szövegre történő alkalmazásához használja a Kezdőlap lapot..1. ábra Klaszterek elhelyezkedése a profil mentén (jobbra)

A kurgán első építési fázisát a K4 réteg képviseli, amely makromorfológiai és laboratóriumi adatok alapján részben az A_p -szinthez hasonlítható. Ez alátámasztja azt a feltevést, hogy az első

halom a környék felső, humuszos talajsztintjének lekaparásával épült. A kilúgzottság, a tömörödés és a morfológiailag homogén réteg belső rétegződése olyan talajképződési folyamatokat tükröznek, amelyekhez hosszabb idő szükséges. Ennek időtartama részben nyomon követhető a Jamnaja temetkezések vertikális eloszlásában. Míg az elsődleges sír a paleotalaj mélyére került, és a Kr. e. 4–3. évezred fordulóját képviseli, addig a kurgán délnyugati negyedében található bronzkori temetkezések a Kr.e. 2. évezred első és második harmadába keltezhetők. Mindez arra utal, hogy az első halom építmény felszíne évszázadokig nyitva állt. Hasonló jelenséget azonosítottak a Hajdúnánás–Lyukashalom lelőhelyen is, ahol fitolitvizsgálatokkal sikerült igazolni, hogy az első halom felszíne elegendő ideig maradt nyitva ahhoz, hogy sűrű vegetáció alakuljon ki rajta (Pető és Scott Cummings 2011). A Boldești-Grădiștea esetében a helyzetet tovább bonyolítja, hogy az egyik sírt 2914–2883 cal BC-re keltezték. Ugyanakkor a K4-be ásták, közvetlenül a központi sír fölé. Ez arra utalhat, hogy ezt a sírt közel az eredeti halomstruktúra építése után ásták, és csak ezután hagyták el az építők a területet. A rendelkezésre álló adatok alapján nem valószínű, hogy a halmot ekkor jelentősen megemelték. Inkább arról lehet szó, hogy az eredetileg a primer temetkezéshez kialakított struktúrát használták újra.

Következő lépésként a kurgán szerkezete további temetkezésekkel módosult. A halom kiterjedése túlnyúlt az eredeti platform szélén. A perem rétegtana eltérő, de a halom megújítása a központi metszetben is nyomon követhető. A halom második építési fázisát a K3 réteg tetejéhez köthető két sír jelzi. Radiokarbon keltezés azonban nem áll rendelkezésre e két sírhoz, így időbeli elhelyezésük bizonytalan. Talajtani szempontból azonban a halom megemelésére használt anyag eltérő jellegű, ami kérdéseket vet fel származását illetően. A Hajdúnánás-Zagolya ETA-01-es objektum esetében megfigyelt löszös anyagú felhordás a rendelkezésre álló adatok szerint nem készült ezen halom esetén. Valószínűbb, hogy az eredeti paleofelszín (A_p -szint) alatti talajanyagot kaparták le, részben összekeverték, és a halom megemelésére használták. E rétegben a sótartalom, valamint a nátrium és a kálium mennyisége volt a legmagasabb. Ennek fényében a K3-at olyan kevert réteggént értelmezzük, amelyben a szikes tényezők feldúsultak. Jelenleg nincs bizonyíték arra, hogy ez a réteg eredetileg szikes talajból épült volna fel, mivel ezt a vonatkozó sóadatokat nem támasztják alá. Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy a Kárpát-

medence szikes területein több kurgán esetében évszázadokig, sőt évezredekig tartó vízszintemelkedést és az ennek következtében kialakuló „só-dóm” jelenséget figyeltek meg (Barczy et al. 2006; Csanádi és M. Tóth 2011), és nem teljesen kizárható, hogy a Boldești-Grădiștea kurgán esetében is hasonló folyamat játszódott le. A kurgán történetét tovább árnyalja a peremterületen, az északnyugati szektorban elhelyezkedő, harmadlagos temetkezések csoportja. Radiokarbonos keltezésük alapján ezek a középső és késő bronzkor határára (Kr. e. 1862–1291) tehetőek. E területen a halom magassága a perem felé csökken, ami lehetővé tette, hogy a sírokat akár a paleofelszínig is lemélyítsék, hasonló mélységben, mint a központi temetkezést. A rendelkezésre álló adatok alapján e sírokat a K3 réteg sekélyebb anyagába mélyítették, amely a kurgán másodlagos megemelésének terméke.

A kurgán átalakításának utolsó fázisát a K2–K1 rétegek és a fölöttük kialakult A-szint képviseli. Ebben a zónában egy középkori temetkezés jelenléte is igazolható, amelyet a Kr. u. 9–10. század fordulójára kelteztek, és amely egyértelműen eltérő kulturális kontextusú beavatkozásra utal.

5. Új tudományos eredmények.

A doktori dolgozatomban két kurgánt vizsgáltam. A geokémiai és régészeti talajtani módszerekre alapozott környezet- és építéstörténeti vizsgálat során kapott új tudományos eredmények az alábbiakat tartom:

1) Kidolgoztam és két esettanulmányon teszteltem egy olyan komplex földtudományi módszert, amely geokémiai és régészeti talajtani vizsgálatokat, helyszíni talajvizsgálati megfigyeléseket, valamint többváltozós statisztikai módszereket ötvöz annak érdekében, hogy talajanyagból, üledékből és antropogén üledékből létrehozott emberi építmények rétegtana és fejlődéstörténete minél pontosabban megismerhető legyen.

2) Két Jamnaja kurgán komplex földtudományi vizsgálatával igazoltam, hogy a temetkezési céllal létrejött sírhalmok nem statikus objektumok, hanem hosszú időn keresztül változó, dinamikus rendszerek, amelyek fejlődését az emberi tevékenység (pl. kulturális újrahasznosítás) is és a környezeti feltételek alakítják.

3) Vizsgálataimmal igazoltam, hogy az egymástól térben távoleső, de kulturális affiliációjuk szempontjából azonos emberi struktúrák hasonló környezeti feltételek mellett és elgondolások alapján épültek. Mind Hajdúnánás-Zagolya-ETA-01, mind a Boldești-Grădiștea kurgánt egy csernozjom talajfoltban emelték a terület humuszos feltaljának letermelésével és felhalmozásával.

4) Vizsgálataim igazolták, hogy mindkét kurgán esetében az eltemetett talajhoz hasonló tulajdonságú recens talaj fejlődött a meghordott kurgántesten. Az ún. csernozjom-csernozjom indikáció alapján valószínűsítettem, hogy a két vizsgálati helyszín környezettörténetében nem állt be olyan fokú talajfejlődési irányváltozás, amely alapján az építéskori talajtakarótól jelentősen eltérő talaj fejlődött volna ki a halmokon.

6. A szerzőnek az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációi

Angol nyelvű folyóiratcikkek:

BRAUN, Á., HEYD, V., FRÎNCULEASA, A., KOVÁCS, G., PETŐ, Á. (2024): Layer by layer – Dismantling a Yamnaya kurgan by geochemical, pedological and statistical approaches (Wallachian Plain, Romania). In: *Journal of Archaeological Science: Reports* (2352-4103): 60 Paper 104804. 15 p.

Magyar nyelvű folyóiratcikkek:

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. In: *Archeometriai Műhely* 19:3 pp. 289-301., 13 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. In: *Tájökológiai lapok/Journal of Landscape Ecology* (20) Suppl. 1 pp. 117-146., 30 p.

Angolnyelvű konferencia absztraktok

PETŐ, Á., BRAUN, Á., DANI, J., KULCSÁR, G. (2022):
Complex paleoenvironmental studies of kurgans in the
Carpathian Basin. In: KLEINOVÁ, K (Szerk.) *28th EAA Annual
Meeting (Budapest, Hungary, 2022) – Abstract Book*, Prága,
Csehország 864 p. pp. 21-22., 2 p.

Braun, Á., Pető, Á., Frînculeasa, A., Preda-Bălănică, B., Heyd,
V., (2022): Geochemical analysis of a Bronze Age kurgan from
the Wallachian Plain, Romania. In: KLEINOVÁ, K (szerk.) *28th
EAA Annual Meeting (Budapest, Hungary, 2022) – Abstract
Book* Prága, Csehország 864 p. p. 22, 1 p.