

OTDK DOLGOZAT

Név: Szabó Gergely
Szak: osztatlan
tanárképzés
(földrajz-matematika
szak)

2022



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

A Vasvár környéki laza üledékes deformációk összehasonlító vizsgálata

Szerző: **Szabó Gergely**
osztatlan tanárképzés, földrajz-
matematika szak, V. évfolyam.

Konzulensek: **Dr. Kovács Gábor**
adjunktus
Zentai Zoltán
mestertanár

Szombathely, 2022

Tartalomjegyzék

1.	<i>Bevezetés és célkitűzések</i>	4
2.	<i>Vizsgálati helyszín és irodalmi áttekintés</i>	5
2.1	Laza üledékes deformációik	5
2.2	Magyarország laza üledékes deformációi	12
2.3	A Kemeneshát periglaciális jelenségei korábbi irodalmakban	14
2.4	Vizsgálati helyszín	16
3.	<i>Célkitűzések</i>	17
4.	<i>Módszerek</i>	18
2.1	Helyszíni mérések	18
4.2	Laborvizsgálatok	20
4.3	Használt szoftverek	21
5.	<i>Eredmények</i>	22
5.1	Helyszíni megfigyelések, vizsgálatok	22
5.2	Szemeloszlás-vizsgálat	24
5.3	Színskálázás	25
5.4	Mikroszkópos vizsgálatok	26
6.	<i>Diskusszió</i>	28
7.	<i>Összegzés</i>	32
8.	<i>Köszönetnyilvánítás</i>	34
9.	<i>Felhasznált irodalom</i>	34
10.	<i>Melléklet</i>	39
11.1	Szemeloszlás-diagrammok	39
11.2	Mikroszkópos vizsgálatok	42

1. Bevezetés és célkitűzések

Pécsi Márton 1961-es kutatása óta tudott, hogy a Kemeneshát kavicsbányái meglehetősen gazdagok periglaciális formakincsekben. Ő és Dylik professzor számos szerkezetet írtak le a vidékről. Ezen kutatások eredményeit később felülvizsgálták és pontosították a leírt formákat pedig rendszerezettebb kronológiába sorolták (Schweitzer et al., 2015; Fábíán et al., 2000). A Kemeneshát változatos formakincseinek köszönhető, hogy magam is egy itt található területet választottam kutatásom helyszínéül. Jelen vizsgálat célja a Vasvár mellett található egykori kavicsbánya jelenlegi arculatában fellelhető egyik laza üledékes deformáció (későbbiekben Cuneatus) kialakulási körülményeinek megismerése, illetve összehasonlítása a területen fellelhető többi formával. A kutatás kontextusából adódóan számba vettem a bánya többi formakincsére jellemző glaciális eredetű 1/a) jégfagyás vagy 1/b) talajfagyás során történő kialakulás mellett a 2/a) vetődés közvetlen hatása révén történő keletkezést is. Azonban nem hagyhattam figyelmen kívül a forma kifejlődésének 2/b) földrengéssel való magyarázatát sem. Továbbá fenntartottam a Cuneatus kialakulásának 3) áltektónikus úton értelmezett aspektusát is.

A dolgozat témája szorosan kapcsolódik egy másik kutatáshoz, melynek célja egy adott területre jellemző földrengés-veszélyeztetettség mértékének meghatározása korábbi szeizmikus aktivitások nyomaiból. Ezen vizsgálat alapját az egyes helyszíneken fellelhető aktívnak tekinthető vetővonalak képezik (pl. Kovács et al. in prep). Ehhez köthető kutatásom témájának hajdani körvonalazódása, amikor is azzal a ténnyel találtam szemben magam, hogy az egyes, földrengések által létrehozott felszínformák nagyon hasonlítanak, mi több külsőre könnyen összetéveszthetők a laza üledékekben egyéb folyamatok által létrehozott alakzatoktól (Rodríguez-Pascua et al., 2016; Lunina et al., 2016; Šujan et al., 2022). Mivel érdeklődésemhez közel áll a geomorfológia is, így adta magát a téma körül járásának motivációja, amit nagyban segített, hogy hazánk területe a földrengésekhez kapcsolható szerkezetek mellett periglaciális felszínformákban is igen gazdag, melyek egymástól való elkülönítése nem minden esetben egyszerű. Ezzel találkozhatunk például Konrád Gyula és munkatársai által, a Dunaszentgyörgy-Harta vetőzónában végzett kutatás eredményeit olvasva is, ahol különböző, nehezen azonosítható üledékszerkezetekkel foglalkoztak a szerzők. A kutatóárokban ékszerű formákat írtak le, melyek kialakulásánál számba vették a fagyék, tágulós hasadék, benyomulós telér, illetve egy felszínig hatoló vetőág okozta felnyílás során történő kialakulási elméleteket is (Konrád et al., 2021).

Célom ezen kutatások segítése az általam vizsgált formák részletes leírásával és a vizsgálati módszertan közlésével, mely segítségével talán objektívebb kép alkotható az adott forma keletkezési körülményeiről. Kutatásom során igyekeztem minél több, különböző módszerrel igazolni a Cuneatus keletkezési körülményeire irányuló elméleteket, azonban több esetben be kellett látnom, hogy az adott módszertan az általam vizsgálni kívánt kérdés megválaszolásához nem elég reprezentatív. Továbbá más eljárások is önmagukban nem, csak más eredményekkel együtt értelmezve tekinthetők megbízható információforrásnak. Jelen kutatásnak nem célja egy új, átfogó módszertan kidolgozása, amelyet elvégezve pontosan feltárulnának a tárgyalt formakincs kialakulásának körülményei. Ez ugyanis a dolgozat célját messze meghaladó vállalkozás lenne.

Felépítését tekintve írásom először a – munkám szempontjából releváns – laza üledékes deformációk általános bemutatásával foglalkozik, amit a korábbi hazai vizsgálatok helyszíneinek rövid bemutatása követ. E tekintetben a nagyobb értelemben vett környezettől haladtam a kisebb felé. Először Magyarországot, majd a Kemeneshátat s végül a Vasvár melletti kavicsbányát, mint kutatási területet mutatom be az egyes szakirodalmak alapján. Ezt a dolgozat kutatási kérdésének és fő céljának megfogalmazása követi. Mindezek után röviden bemutatom a vizsgálat során használt módszereket, amit ezek eredményeinek közlése követ. Az eredmények együttes értelmezése és a végkövetkeztetések levonása után pedig néhány mondatban tárgyalom a kutatás lehetséges továbblépési lehetőségeit.

2. Vizsgálati helyszín és irodalmi áttekintés

2.1 Laza üledékes deformációk

Képlékeny üledékekben egy vagy több külső tényező hatására végbemenő változásokat laza üledékes deformációknak nevezzük (Mills, 1983). Ezen formákat az egyes kiváltó tényezők alapján (ld. 1. ábra) alapján tipizálhatjuk. A glaciális hatáson belül meg kell különböztetnünk a közvetlenül jég hatására kialakuló formákat a közvetetten, glaciális vagy *periglaciális klímán* kifejlődőktől. Utóbbi fogalom jelen dolgozatban való használatának tisztázása elengedhetetlen, hiszen a szó szerinti értelemben vett „jégtakaró körüli” területekre vonatkozó jelentése meglehetősen tág értelmezéseknek ad lehetőséget. Ennek oka, hogy olyan régiókban is találtak fagyhoz köthető formákat, melyek közelében sosem húzódott összefüggő jégtakaró (Székely, 1992). Napjainkban Szibéria is olyan terület, mely nem képezi előterét jelenlegi jégtakarónak, mégis számos periglaciális formakincset rejt magában. A képet tovább árnyalja az a felismerés,



1. ábra: A laza üledékes deformációk típusai kialakító tényezőik szerint. Készült Shanmugam (2017) munkája alapján.

hogy a periglaciális klímához köthető jelenségek nem csak a jégtakarók közvetlen környezetében, hanem a magasabb hegyvidéki régiókban is megjelennek (sokszor valódi hóval borítottság nélkül) (Székely, 1992). Az imént olvasottak után talán már sejthető, hogy általános érvényű megfogalmazást e tanulmányban sem fogunk tudni adni. Különösen

igaz ez hazánk területére, ami nem csak távol esett az egykori jégtakaró közvetlen környezetétől, de a minket övező kárpáti hegységkoszorúnak köszönhetően Magyarország egykori éghajlata a többi vitatott besorolású periglaciális terület közül is kitűnik. Mind emiatt indokolttá vált tehát, hogy a későbbiekben hazánkra vonatkozóan a *kárpáti szubperiglaciális terület* elnevezéssel éljek, ahol a „szub” előtag az egykori jégtakaró valódi peremétől távolabb kialakult kisebb mértékű periglaciális hatásra, a kárpáti kifejezés pedig a földrajzi térben való elhelyezkedésre utal.

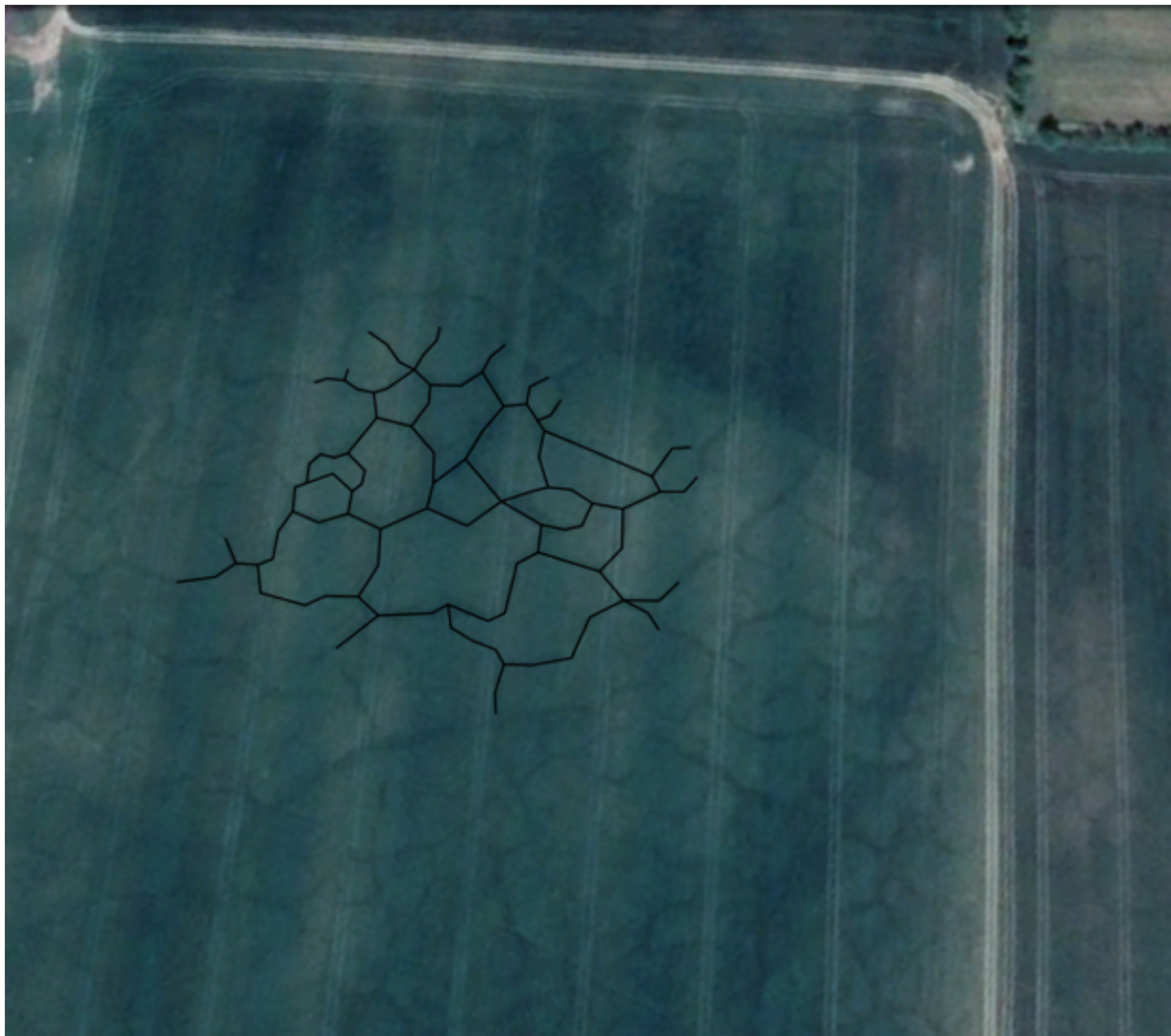
A hazai szakirodalmak szerzői közül bizton állítható, hogy a kárpáti szubperiglaciális klímán kifejlődött laza üledékes deformációkkal Pécsi Márton (1997) foglalkozott legtöbbit. Bár többségében csak leíró jelleggel határozta meg az egyes üledékszerkezeteket, mégis igyekezett rendszerbe sorolni azokat. A későbbiekben sajnos ezt meglehetősen következtetlően használta, így az azonos szerkezetek megnevezése akár egy tanulmányon belül is eltérhetett.

Ennek talán legszemléletesebb példája az ostffyasszonyfai bányában talált formák leírása, melyeket „kavicsfészkes üstszerű homokzsák”, „hordó alakú óriás kavicspoligon” vagy „kavicsgyűrűs óriáspoligon” nevekkkel is egyaránt illetett (Pécsi, 1997 p. 39, 40.) Ezekre a jellemzően ékszerű formákra a korai szakirodalmakban általánosan „fagyékként” hivatkoztak. A mai periglaciális geomorfológiával foglalkozó szakirodalmak már némiképp rendet tettek a nevezéktanban (1. táblázat), azonban egyesek (Székely, 1992; Gábris, 2007) szerint a „fagyék” elnevezés használata nem túl szerencsés, hiszen, ha minden ékszerű formakincset ezzel a névvel illetünk, akkor hivatkozásunkban elvesznek annak sajátosságai. A „fagyék” fogalom kiváltására a nemzetközi szakirodalmak a „termális kontrakciós repedés” (Schweitzer et al., 2015 p. 162). elnevezést használják. Ezen kifejezés könnyebben kezelhető és rövidített változata a „fagyrepedés” (Schweitzer et al., 2015 p. 162) melyet továbbiaknak jómagam is használok. Ezen fagyrepedések alapvetően három típusba sorolhatók. Ezek tárgyalása előtt muszáj tisztáznunk a környezetüket leíró fogalmakat.

A *permafrost* az állandóan erős fagyhatásnak kitett területeken, néhány méter mélyen kezdődő réteg, amelynek magyarra fordításával óvatosan kell eljárni, ugyanis a gyakran használt „örökfagy” kifejezés sokszor megtévesztő lehet. A permafrost kialakult vastagságából következtethetünk a korára, amely sokszor - emberi léptékben mérve - valóban örökkévalónak tűnhet például Gábris (1995) a Léna mentén az „örökfagy” vastagságát 800 m-re becsüli, míg a szibériai Viljul forrásvidékén pedig 1450 m-t említ ugyanakkor nem hagyhatjuk figyelmen kívül a kisebb térségek némely talajának csupán néhány évig tartó átfagyását sem. Emiatt talán szerencsésebb a magyar nevezéktanban „állandóan fagyott földként” hivatkozni rá. A szóban forgó kiejelést Schweitzer és munkatársai (2015, p. 158.) által megfogalmazottak alapján használom, mely szerint az állandóan fagyott föld azaz a permafrost „..., olyan, a földfelszín alatt, legalább két éven keresztül fennálló hőmérsékleti állapot, amikor a hőmérséklet nem haladja meg a 0 °C-ot, az adott terület feletti levegő évi középhőmérséklete pedig alacsonyabb, mint -1 °C „..., ”. *Aktív zónának* pedig a permafrost felett található, legtöbbször néhány méter vastagságú réteget nevezzük, amely télen átfagy a nyári évszakban pedig felenged. Vannak évek, amikor ez a zóna nem fagy át teljesen. Ennek oka lehet például az aktív réteg nagy vastagsága, továbbá egyéb lokális természeti adottságok, mint a növényzettel való borítottság, a domborzat vagy a közettani tulajdonságok (Gábris, 1995).

A jégéket, mint a periglaciális klímájú területekre jellemző laza üledékes deformációk egy típusát masszív, általában ék alakú testként határozhatjuk meg, mely lefelé csúcsosodik, kitöltő anyaga pedig jellemzően vertikálisan rétegzett jégből áll (Harris et al., 1988). A pleisztocén glaciális időszakában, a talaj hirtelen, nagy mértékben átfagyott a téli évszakban,

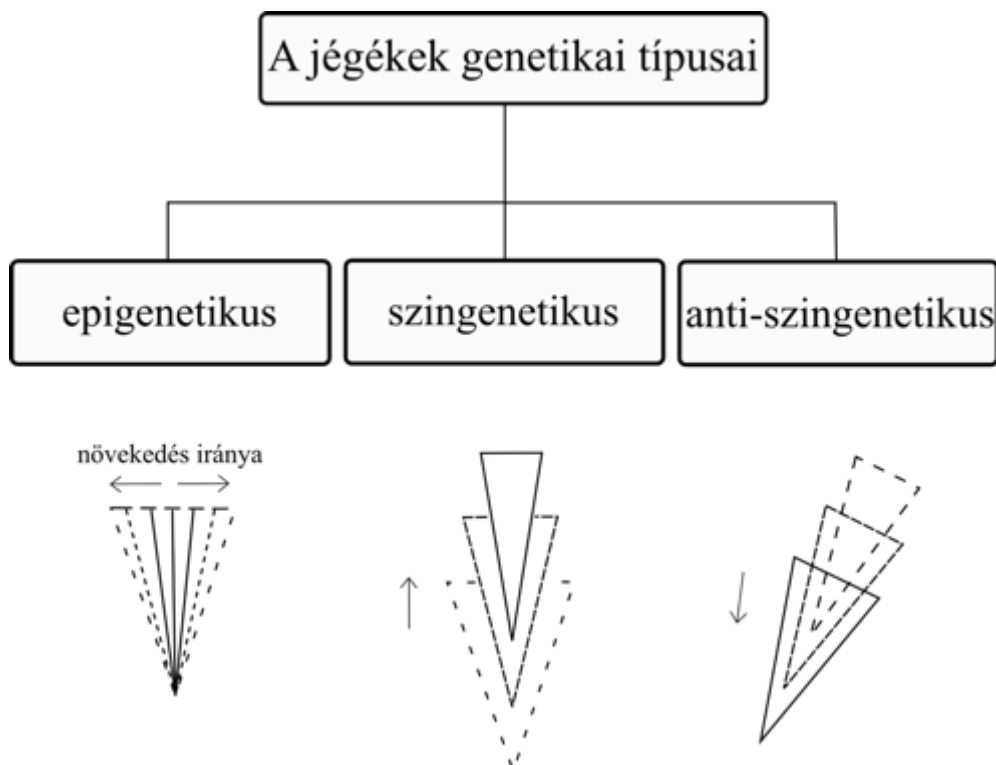
térfogata lecsökkent, így az poligonálisan felrepedezett. Ezek a repedések egyes, valamikor periglaciális klíma hatása alatt állt területeken még napjainkban is megfigyelhetők (ld. 2. ábra). *Nedves* klíma mellett ezek a repedések, melyek a permafrost zónába is lehatoltak jéggel töltődtek ki. A tavaszi olvadások során az aktív zóna hőmérséklete fagypont fölé emelkedett ami a repedéseket kitöltő jég olvadásával, majd a zóna ismételt kitágulásával és a felszíni repedéshálózat eltűnésével járt. Azonban a *permafrost* zóna a nyári évszakban sem melegedett fagypont fölé, így ott a repedés és az azt kitöltő jég is megmaradhatott egész évben (Worsley, 2014). Ezek a maradványok kijelölik a következő felszíni talajösszehúzódás során keletkező repedéshálózatok helyét.



2. ábra: Feltehetően a pleisztocénben létrejött poligonális repedéshálózat maradványa Szemenye környékén. Készült a Google Earth műholdfelvétel közreműködésével.

Ilyenformán a jégékek évről évre egyre szélesednek (ld. 3. ábra) (Székely, 1992). Az eredetileg vertikálisan rétegzett kitöltődésű formák azonban ma már más képet mutatnak, hiszen a klíma tartós melegedésével az ékeket kitöltő jég elolvadt és a befogadó üledékekkel keveredett. Ennek eredménye egy horizontálisan rétegzett vagy krioturbált jellegű kitöltődés lett (Schweitzer,

2015). A jégékek esetében megkülönböztethetünk epigenetikus, szingenetikus és anti-szingenetikus típusokat is. Az epigenetikus jégékek a már kialakult permafrostban keletkeznek, jellemzően „V” alakúak, továbbá oldalirányban növekednek, de nem mélyülnek (MacKay, 2000). Egy jégék szingenetikus, ha a befogadó üledékek lerakódásával párhuzamosan keletkezik, így az ék fokozatosan felfelé növekszik (MacKay, 2000). Az anti-szingenetikus típusba soroljuk azokat az ékeket, melyek nagy lejtésű térszínen jöttek létre, növekedésük pedig lefelé irányul (MacKay, 2000).



3. ábra: A jégékek típusai kialakulásuk szerint (Mackay, 2000 nyomán, módosítással). A szaggatott vonalak az éket legkorábban kitöltő anyagokat, a folytonosak pedig a legfrissebb üledékek helyzetét ábrázolják. A nyilak a növekedés irányát jelzik.

Ha mindez *száraz* klímán történik, akkor a repedések nem jéggel, hanem eolikus üledékekkel töltődnek ki és homokéknak nevezzük. Azonban fontos különbség a homokék és a jégékek kialakulása között, hogy előbbi keletkezése során az aktív zóna nyáron, a talaj kiengedése után sem tudja visszanyerni eredeti formáját, hiszen a repedést kitöltő homok megmarad. A növekedés módszere ebben az esetben is ugyan az, viszont, annak köszönhetően, hogy ezek nem jéggel töltöttek voltak vertikális rétegzettségük a reliktum formákban napjainkban is megfigyelhető (Schweitzer et al., 2015).

Permafrosttal nem rendelkező területeken sokkal kisebb és egyszerűbb formák jöttek létre. Itt a téli fagy hatására sekélyebb erek keletkeztek, melyek az adott környezetre aktuálisan

jellemző talajjal töltődtek ki, ezért talajéknak nevezzük. Rétegzetlenségük azt tükrözi, hogy ezek a repedések vélhetően csak egyszer nyíltak fel (Schweitzer et al., 2015). A fentiekben definiált fagyrepedéseket az 1. táblázat hasonlítja össze.

Jellemzők	Reliktum jégék	Homokék	Talajék
Szükséges klíma	Nedves + hideg (Gábris, 1995).	Száraz + hideg, gyér növényzet, gyenge hóborítottság és erős eolikus aktivitás (Murton et al., 2007; 1993)	Hideg (olykor nedves) (Mangerud et al., 1972)
Poligonális repedéshálózat	Kialakul (Kethra, 2020)	Kialakul (Bockheim et al., 2009)	Lehet, hogy kialakul, de max. kicsi és nem feltétele (French, 2007) (Mangerud et al., 1972)
Permafrost jelenléte	Szükséges (Harris, 1982)	Nem feltétlenül szükséges (a befogadó üledék víz megtartó képességétől függ) (Harris, 1982)	Nem feltétlenül szükséges (French, 2007) (Mangerud et al., 1972)
<i>Flexúrák</i> ¹	Felfelé (French, 2007)	Felfelé (Harris, 1982)	Lefelé, vagy nem is hajlanak (French, 2007) (Mangerud et al., 1972)
Kitöltő anyag	A befogadó rétegek anyaga, felszíni üledékek (Black, R. F., 1976; Harris et al, 2005)	Döntően eolikusan szállítódott homok (Bockheim, et al., 2009)	Talaj vagy talajszerű képződmény (French, 2007)

¹ ¹Flexúra: Az akkumulálódó anyagot befogadó üledék vízszintes, könnyen deformálódó rétegeinek utólagos elhajlása.

Belső rétegzettség	Horizontális vagy krioturbált (Harris et al., 2005)	Vertikális (Worsley, 2014)	Általában nincs, de van ellenpélda (Mangerud et al., 1972)
Éves ritmusú növekedés	Nem (Schweitzer et al., 2015)	Igen (Black, 1976; Hutchinson, 2010)	Általában nincs, de van ellenpélda (Mangerud et al., 1972)
Egyéb	Folyamatos permafrost zónát jelöl (Harris, S. A., 1982) (Murton et al., 2003) Talaj szerkezete, humiditás, növényzet és hóval borítottság sokkal nagyobb hatással van a repedések megjelenésére, mint a hőmérséklet (Mackay, 1992)	Homokos, kavicsos alapon hidegebb, agyagosabb talajon kevésbé hideg viszonyok között alakulnak ki. (Black, 1976; Hutchinson, 2010)	Általában nem érik el a 1,5-2m-es mélységet, szélességük is max. 30-50 cm Keresztmetszetét tekintve sokszor inkább üstszerű megjelenés. (French, 2007)

1. táblázat: Fagyrepedések osztályozása.

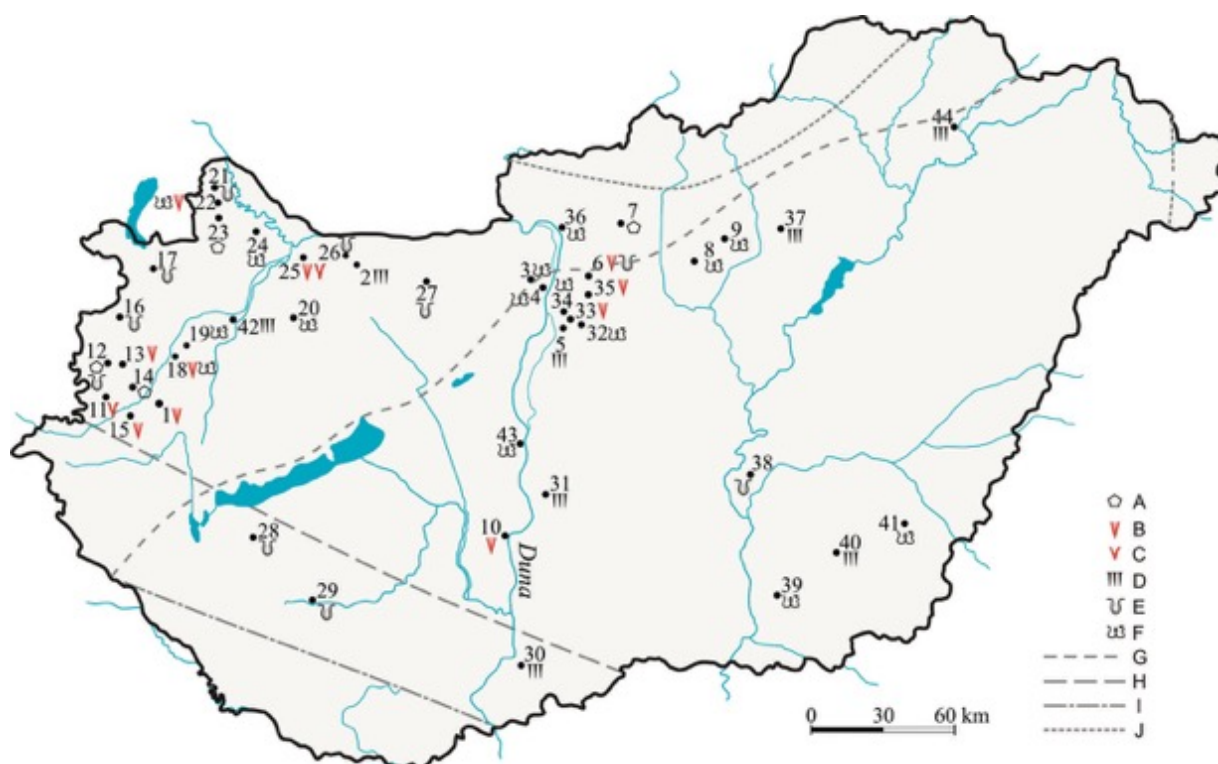
Pécsi hazai kutatásai során, a Győr-Újfalu, Fehérvári út menti kavicsbányában a feltárás arculatában vetődéshez hasonló *tömegmozgás* nyomaira lett figyelmes (Pécsi, 1997). Ezt azzal magyarázta, hogy a mélyre hatoló téli fagyok hatására az üledékek annyira átfagyhattak, hogy egy tömböt képezhettek, amely töredezhett majd az egyes blokkok lejtős térszínen törési síkok mentén elmozdulhattak (Pécsi, 1997). Erre a későbbiekben jómagam *fagyásos áltektonika* néven fogok hivatkozni. Ha az elmozdulás síkjai mentén a hasadék nyitva maradt a felszínen, akkor az felszíni üledékekkel töltődhetett ki. Ilyenformán ezek keresztmetszetében ékszerű szerkezetek rajzolódhatnak ki.

Tektonikus folyamatok eredményeként is születhetnek laza üledékes deformációk. Ha a merev közettestek elmozdulásának síkjában haladó vető egészen a felszínig hatol, akkor ott egy hasadékot hoz létre, melybe felszíni anyagok akkumulálódása esetén új üledékszerkezetek keletkezhetnek (Konrád et al., 2021). Azonban a vetőkapcsoltság nem szükséges feltétele a fentiekhez hasonló deformációk kialakulásának. Pusztán *földrengés* hatására is kialakulhatnak

homoktelérek, melyek a rengéshullámok generálta nyomásnövekedés következtében keletkeznek. A rázkódás hatására a nagy pórustérfogattal rendelkező üledékek tömörödnek. Ha ez egy vízzel telített közegben megy végbe, akkor – révén, hogy a folyadék térfogata nem csökken – a víz egyre nagyobb nyomást fejt ki a környező rétegekre, majd amikor ez nagyobb lesz mint a valamely környező rétegé, akkor a folyadék elindul a legkisebb ellenállás irányába. Ezt a jelenséget a talaj megsüllyedése ill. gyakran iszapfeltörések kísérik (Katona, 2015). Az így létrejövő szeizmikus homoktelérek egy üledékszelvény keresztmetszetében vizsgálva ékszerű formaként jelenhetnek meg, ahol az injektálódott kitöltő anyag rétegzettsége megegyezik annak haladási irányával.

2.2 Magyarország laza üledékes deformációi

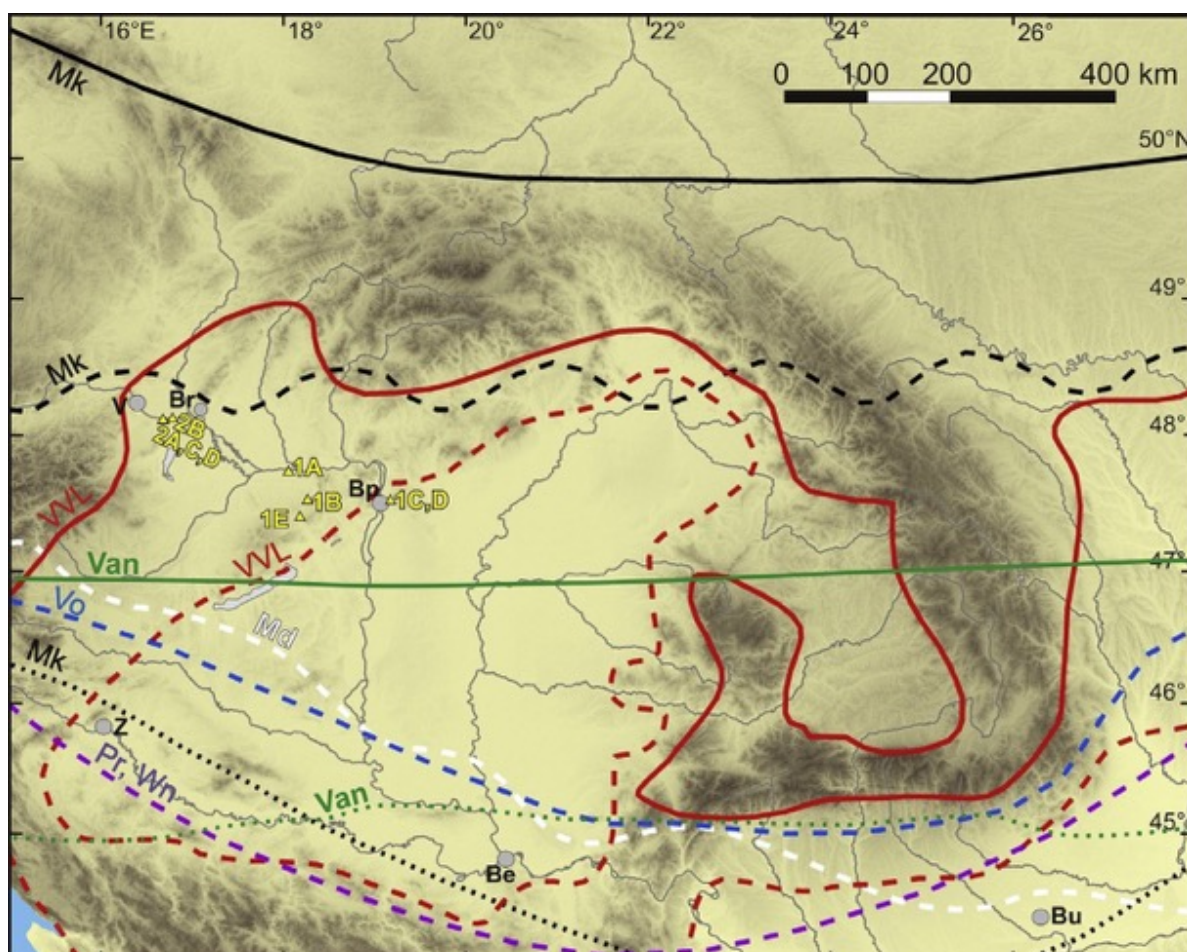
“Jelenleg Magyarország egész területén mindenfelé bőven és nagyon változatos megjelenésben ismeretesek a periglaciális jelenségek, annyira, hogy Magyarország periglaciális vonatkozásban Európában a legelső helyet foglalja el.” (Dylik, 1963 p. 454.). A lengyel professzor állításának ékes bizonyítéka a Schweitzer Ferenc és munkatársai (2015) által készített térkép is, mely a magyar szerzők által publikált talajfagy-jelenségek típusát és helyét tünteti fel.



4. ábra: „A magyar szerzők által publikált talajfagy-jelenségek típusa és helye, valamint a permafrost lehetséges D-i határának helyzete Magyarországon.” (Schweitzer et al., 2015 pp. 166.).

A – szerkezeti talaj; B – homokék; C – „jégék”-maradvány; D – talajék, E – csepptalaj, F – krioturbáció; Az összefüggő permafrost lehetséges D-i határa: G – Van Vliet-Lanoé, B. et al. (2004); H – Maarleveld, G. C. (1976); I – Velichko, A. A. (1982); J – Vandenberghe, J. et al. (2004).

Fontos megjegyeznünk, hogy bár hazánkban számos periglaciális klímán kifejlődött reliktum formakincs található, azonban Ruszkiczay-Rüdiger és munkatársa (2016) szerint egyik sem használható az egykori folytonos permafrost zóna jelenlétét igazoló indikátorként. Ennek oka, hogy a fagy okozta deformációk kialakulásában nem csak a hőmérséklet játszik szerepet, hanem egyéb lokális tényezők is, mint a hótakaró vastagsága, a talaj hőmérsékleti gradiense, az üledékek szemcsemérete és nedvességtartalma, illetve a felszínt borító növényzet is (Ruszkiczay-Rüdiger et al., 2016). Mindezek fényében számos eltérő vélemény létezik az egykori folytonos permafrost zóna déli határának meghúzására vonatkozóan, ami a 4. ábrán látottak helytállóságát is kérdésessé teszi (ld. 5. ábra).



5. ábra: A permafrost kiterjedése a Kárpát-medencében a korábbi rekonstrukciók szerint. Folytonos vonal: Folytonos permafrost zóna; Szaggatott vonal: szigetszerű permafrost zóna; Pontozott vonal: szezonálisan létrejövő permafrost zóna. A különböző rekonstrukciók különböző színnel vannak feltüntetve. Md: Maarleveld (1976); Mk: Maruszczak (1987); Pr: Poser (1948); VVL: Van Vliet-Lanoé et al. (2004) ez utóbbi rekonstrukció összhangban van Ruszkiczay-Rüdiger és munkatársa eredményeivel; Van: Vandenberghe et al. (2014); Vo: Velichko (1982); Wn: Washburn (1980). Néhány szerző (Md, Pr, Vo, Wn) nem tett különbséget az egyes permafrost zónák között. Ebben az esetben a permafrost zónát szigetszerűnek értelmezzük. (Ruszkiczay-Rüdiger et al., 2016 p. 249)

Bár hazánkban a nagyobb pusztítást okozó földrengések nem túl gyakoriak, mégsem vagyunk szegények rengések alkotta felszínformákban és üledékszerkezetben sem. Dunaharasztiiban az 1956-os földrengés iszapvulkánokat hozott létre, Tenkén pedig holocén korú talajfolyósodás nyomaival találkozhatunk (Győri et al., 2004). Ádánd mellett a Kis-Koppány völgyében és Simondpusztán pedig szeizmikus hatásra létrejött üledékdeformációkat vizsgáltak (Magyari et al., 2002 p. 112).

2.3 A Kemeneshát periglaciális jelenségei korábbi irodalmakban

A Rába hatalmas hordalékkúpmaradványán számos helyen észleltek periglaciális talajfagy-jelenségeket. A száznál is több feltárásból csak a legjelentősebbekről kaphatunk képet Pécsi Márton munkáiból (Ostffyasszonyfa, Vasvár, Kemenesmihályfa) (Pécsi, 1997). Itt különféle fagyékeket, krioturbációs formákat, rétegdeformációkat és poligonális repedéshálózatokat írtak le (Pécsi, 1997). Fábián Szabolcs és munkatársai (2000) munkájának révén pedig megismerhettük a Csipkerek és Szemenye között elterülő, ma is működő kavicsbányában, továbbá a Mogyoród mellett feltáruló homokékeket.

A Vasvár melletti deráziós völgyoldalban létesült bánya már korábban is feltűnt neves kutatók munkájában (ld. 6. ábra) (Pécsi, 1961; Dylik, 1963) akik az itt fellelt formákat az egykori periglaciális klíma formakincseiként azonosították.



6. ábra: Dylik professzor a vasvári kavicsbányában (Dylik, 1963 p. 461).

Azonban az általuk közzétett leírások nem túl részletesek, ami az alakzatok helyesnek vélt besorolását is kérdésessé teszi. Az ezen – és más korabeli – kutatások során végzett kronologizálás csak a formakincsek külső jegyeinek alapján történt, azonban ezt gyakran nem használták következetesen. “Hatalmas, 4 – 5 m mélyre is lehatoló, ferde metszetben árok formájú *fagyékek* vannak a vasvári kavicsbányában” (Pécsi, 1997 p. 39.). Ugyanebben a munkában, az itt található formákra alkalmazta a “*homokkal kitöltött poligonális földék*” elnevezést is (ld. 7. ábra).



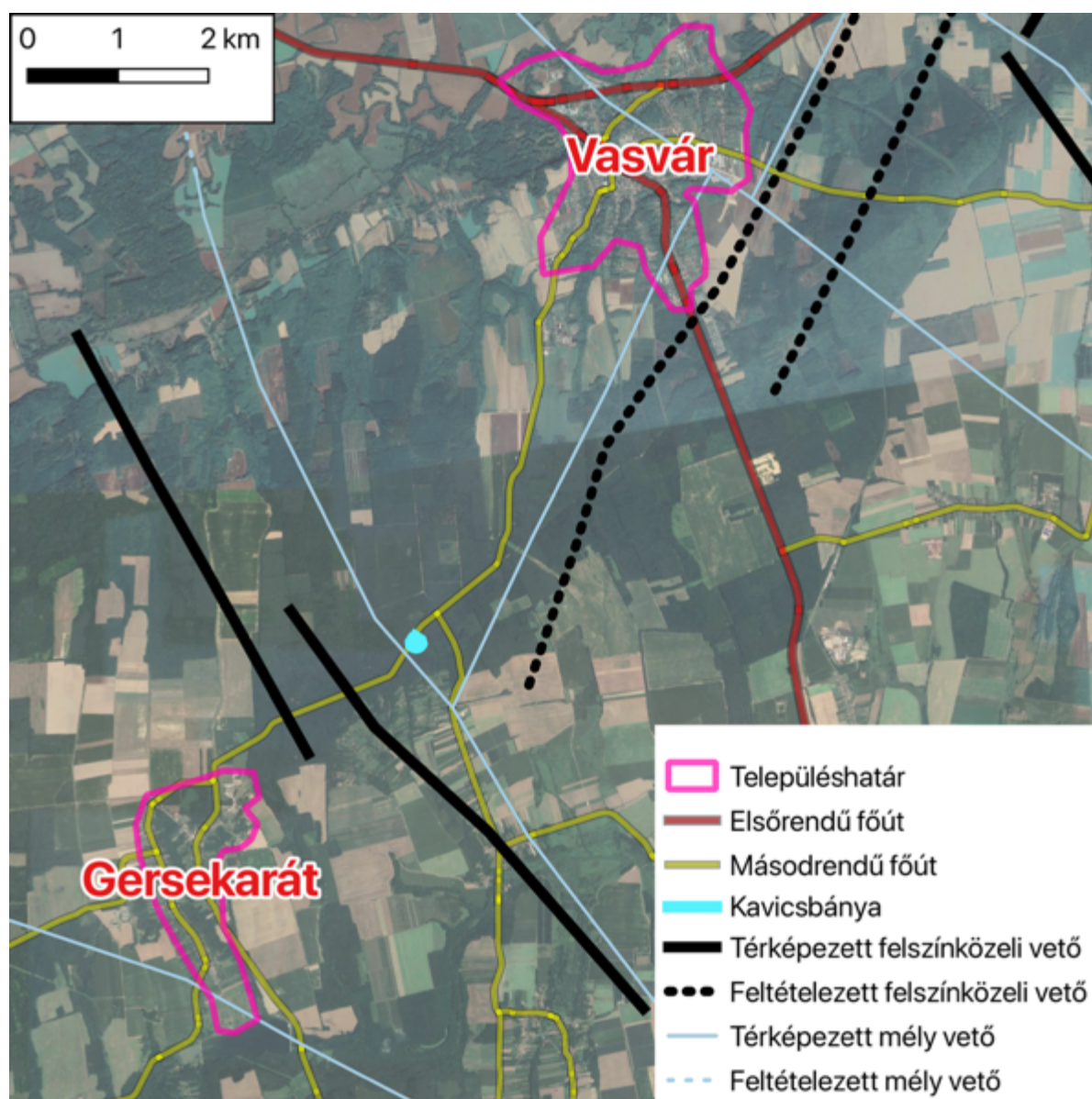
7. ábra: “Homokkal kitöltött poligonális földék” (Pécsi, 1997 p. 202).

“Mindamellett közvetlenül az ék közelében levő kavicsok fekvése termikus hatásra utal. Egyébként a Vasvár közelében fekvő fagyékek fényképén ezt nagyon jól szemügyre lehet venni. Behatóbb vizsgálat nélkül azonban nem lehet megállapítani, hogy jégfagyásos vagy talajfagyásos *jégékről* van-e szó.” (Dylik, 1963 p. 455.). Mindezek mellett találkozunk más kifejezésekkel is, melyeket azonos kontextusban használtak. “Bárhogyan áll is ez a kérdés, az

tény, hogy hazánkban eddig megfigyelt legnagyobb méretű “jégékek” és “kavicspoligonok” formamaradványai éppen a Kemeneshát *deráziós völgyoldalaiból* kerültek napfényre.” (Pécsi, 1997 p. 39.). “A periglaciális szerkezetek közül a legfeltűnőbbek és legbiztosabban megfigyelhetők a 3 – 4 m mélységet is elérő jégékek. Külön is fel kell hívni a figyelmet arra, hogy mindegyik jégék terasz kavicsba ágyazódott be ,..., vagy hordalékkúp-kavicsba, pl. Vasvár közelében. Az utóbbi környéken a jégékek a Rába idősebb hordalékkúpjának kavicsában képződött idős *korráziós völgyben* alakultak ki.” (Dylik, 1963 p. 454.).

2.4 Vizsgálati helyszín

Maga a bányaterület (8. ábra) Vasvár, illetve Gersekarát irányából a 7441-es útról személyautóval is jól megközelíthető. A vizsgált terület egy széles deráziós völgyben fekszik (Pécsi, 1997).



8. ábra: A vizsgált kavicsbánya és környezete. A vetők Koroknai et al. (2020) és Wórum et al. (2020) alapján, az úthálózat OpenStreetMap közreműködők alapján. GoogleSatellite műholdkép. 47.000819, 16.773213.

A földtani térképet megvizsgálva jól látható, hogy a vizsgált területet és annak környékét proluviális üledékek borítják. A 40 – 50 cm vastag barna erdőtalaj alatt, a környékre jellemző zsiros szürke, korai pleisztocén bazaltok és piroklasztjaikból kialakult bentonitos réteget találunk (Jámbor, 2013). Ez az agyag legtöbbször vulkáni, esetleg földpátokban gazdag kőzetek vizes környezetben történő átalakulása során jön létre (Jámbor, 2013). Az alatta található nagyjából 15 – 20 méteres vastagságban felhalmozódott kavics összlet (Vasvári Kavics Formáció, Zagyvai Formáció) Pécsi (1997) szerint legkésőbb a Riss folyamán kellett, hogy áthalmozódjon a Kemeneshát felszínéről és lerakódjon a térségben. Ez a kavicsstakaró a felső-miocén pannon homokra települt. A bánya arculatában látható vörösayagos talajképződményeket Pécsi (1997) szerint 1 – 1,5 m nagy szabályos kavicspoligonok hatolták át.

3. Célkitűzések

Dolgozatomban eddig már többször némi kritikával éltem a korábbi kutatók, különösen Pécsi Márton és Jan Dylik munkái iránt, azonban fontos megjegyezni, hogy nem bírálni szeretném a professzorok munkáit, inkább csak kihangsúlyozni, hogy a tudomány mai állása szerint már fontolóra kell vennünk, hogy az általuk azonosított periglaciális eredetű formakincsek eredettörténete esetenként merőben más is lehet. Nincs ez másképp a Vasvári kavicsbányában sem, ahol az általam megkülönböztetett figyelmet élvező Cuneatus esetlegesen máshogy keletkezhetett, mint a bányában található talajfagy-jelenségek. Céлом a kutatási területen megfigyelt üledékszerkezetek és az azokat befogadó üledékek részletes leírása továbbá elemzése a vizsgálat fő tárgyának, a Cuneatus kialakulása szempontjából, melynek keletkezésére több elméletet is felállítottam. Előfordulhat, hogy ez az alakzat 1) az egykori kárpáti szubperiglaciális klíma hatására fejlődött ki. E tekintetben meg kell állapítanunk, hogy 1/a) jégfagyásos vagy inkább 1/b) talajfagyásos formára utalnak-e a megfigyelt tulajdonságai. Azonban a vizsgálat megkezdése előtt az sem kizárható, hogy 2) földrengés, vagy egyéb tektonikus folyamatok eredményeként született. Lehetséges, hogy egy rengés okozta 2/a) rétegdeformációt, vagy esetleg 2/b) egy közelben húzódó törésvonal felszínig hatoló ágát találtuk meg. Egy harmadik, ritkábban bekövetkező esemény szerint 3) pedig a forma áltektónikus úton is létrejöhetett.

Sajnos a kavics folyamatos kitermelésének következtében a Pécsi Márton és Dylik professzorok által felfedezett formák már közvetlenül nem ellenőrizhetők, illetve a részletesebb vizsgálatok és leírások híján sem tudunk visszamenő következtetéseket levonni. Ezért is fontos

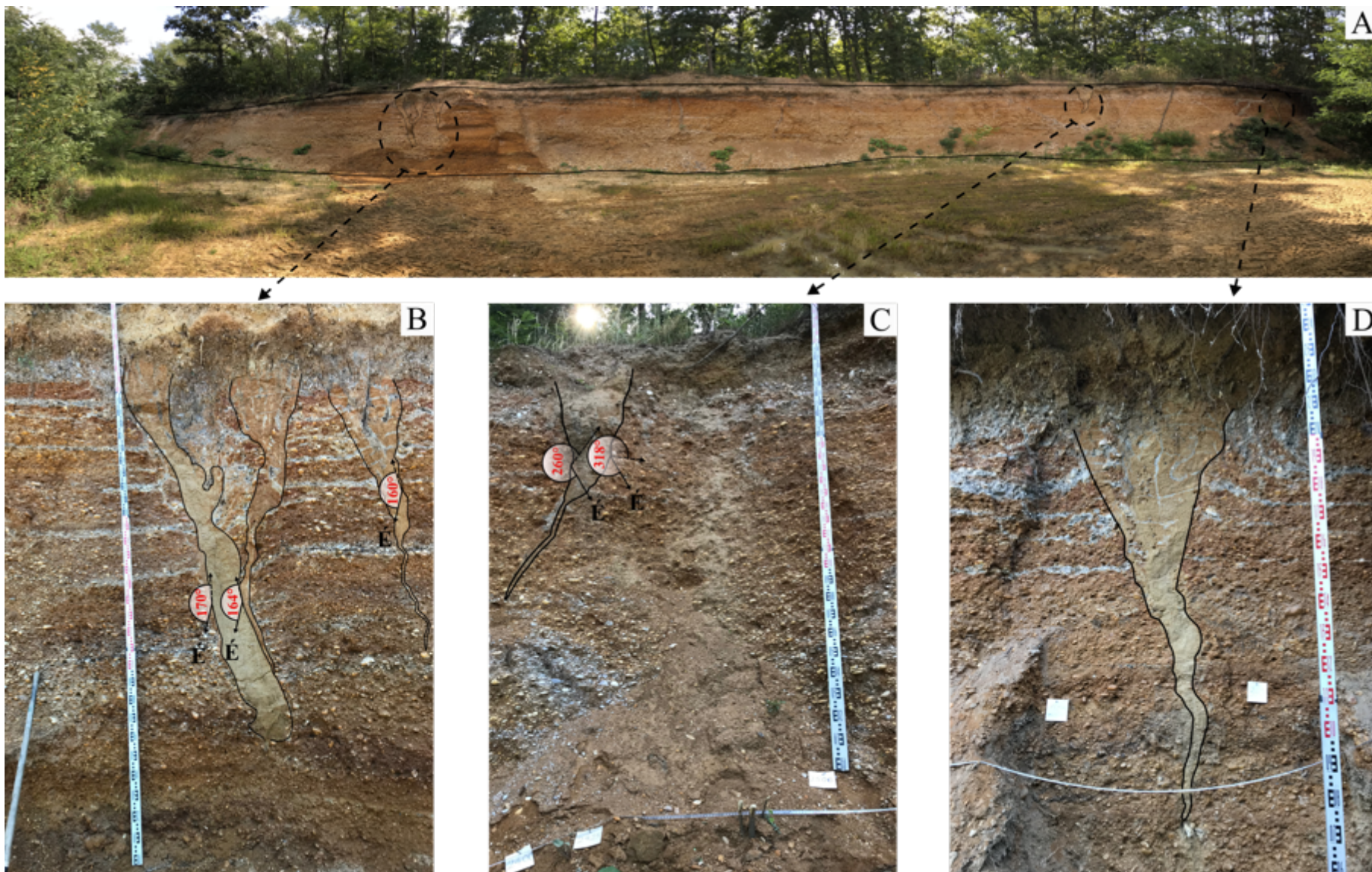
számunkra a formák részletes leírása, illetve a hamarosan eltűnő feltárások dokumentálása a jövő számára.

4. Módszerek

A tényleges munkát először a helyszíni mérésekkel kezdtem. Témavezetőimmel 2021 július 10-én jártam először a bánya területén (9. ábra). A terepi méréseket később különböző laborvizsgálatok követték.

2.1 Helyszíni mérések

A terepi vizsgálat megkezdésével mérőszalagot húztunk ki a bányafal tövében, annak domborulatait követve. Ezután a mérőszalag mentén haladva a bányafal arculatvonalának törési pontjaiban megmértük az É-i iránytól való eltérés szögét. Ennek alapján már a helyszínen fel tudtuk rajzolni a terület vázlatos képét, melyet 2 méterenként haladva végig is fotóztunk (ld. 10. ábra). A bányafal bizonyos pontjainak helyzetét GPS-szel is bemértük. Egy ilyen pontban többször és több ideig is mértünk, majd az így kapott (léggöri viszonyok miatt) eltérő pozíciók átlaga 1-2 méteres pontossággal határozta meg a mért pont helyzetét. Mind ezt követte a bányafalban talált deformációk zavaró környezeti elemektől (gyökerek, bokrok, törmelékkúpok stb.) való megtisztítása. Ezek sikeres eltávolítását követően kezdtük meg ténylegesen az egyes formák (ld. 9. ábra) vizsgálatát, különösen nagy hangsúlyt fektetve a Cuneatusra, melynek környezetének dokumentálása után elvégeztük a befogadó üledékek rétegsorának leírását, illetve az ezek közötti korrelációk vizsgálatát a szerkezet két oldalán. Az egyes rétegeket számozott cetlikkel jelöltük, segítve ezzel a későbbiekben fotók alapján elvégzett digitalizálást. Utolsóként pedig a Cuneatus és a többi ékforma csapásirányát mértük meg (ld. 9. ábra). A fenti méréseket a mintavételezés követte. Az általunk megkülönböztetett rétegekből néhány dekagramm anyagmintát vettem, melyeket külön, zárható zacskókba gyűjtöttem. Később ezeket szemeloszlás vizsgálatnak vettem alá és színskálán vizsgáltam a helyszínen felállított réteggörrelációk igazolása esetleg cáfolása érdekében.



9. ábra: A vizsgálati helyszín és a bányafalban található üledékszerkezetek. A: panorámakép; B: a Cuneatus (balra) a bal (170°) illetve jobb (164°) oldalán mért csapásiránnyal és a mellette található formakincsek (a jobb szélső 160°-os (j) csapásiránnyal); C és D: a bányában található további ékszerkezetek (C-ben mért 260°-os (b) és 318°-os (j) csapásiránnyal).



10. ábra: A bányafal dokumentálása a Cuneatus környezetében.

4.2 Laborvizsgálatok

A terepen gyűjtött mintákat legelőször alkalmassá kellett tennem a későbbi mikroszkópos vizsgálatokra. Ennek oka, hogy az egyes rétegekből vett minták szemcséi erősen össze voltak tapadva, megnehezítve ezzel kezelhetőségüket. Először az összes mintát szemeloszlás vizsgálatnak vetettem alá. Az egyetem laboratóriumában lévő szitasor legfinomabb szemcseméretű tagjának lyukátmérője 63 mikrométer a legnagyobb pedig 5000 mikrométer. Az egyes minták a szítálás során 9 további mintára különültek el szemcseméretük szerint. Ezek tömegét külön-külön digitális mérleg segítségével meghatároztam. A minták imént leírt előkészítését követte az egyes rétegek színének skálán történő elhelyezése. Munsell-színskála segítségével megállapítottam a minták legfinomabb és legnagyobb térfogatszázalékú szemcseméretének színekódját. Ezen eredmények egymással, illetve a szemeloszlás vizsgálattal nyert adatokkal való összehasonlításával igyekeztem a későbbiekben egyezéseket találni az azonosnak vélt rétegek között.

A fény- és elektronmikroszkópos vizsgálatok segítségével a Cuneatus-t kitöltő homok eredetére próbáltam magyarázatot találni. A bányafal előtt ásott (80 cm mély) kutatóárok aljában elértük a vizsgált üledéksor fekvésében a pannóniai (felső-miocén) homokot. A

kutatóárok aljzatából vett mintákat összehasonlítottam az ékszerkezeteket kitöltő homokkal. A különböző helyről vett mintákon folyóvízi és eolikus szállítódás nyomaira utaló mikromorfológiai bélyegeket kerestem. Ennek oka az volt, hogy kizárhassam, esetlegesen megerősíthessem a Cuneatust kitöltő homok pannon rétegből való injektálódását. Ezen szemcsék mikromorfológiai formabélyegeinek tanulmányozásával választ kaphatunk az egykori környezetükre, illetve szállítódásuknak és felhalmozódásuknak módjára (Balogh et al., 1991; Kapui et al., 2022). Azonban az így kapott eredmények felhasználását óvatosan kell kezelni, ugyanis az egyes homokszemcsék külső jegyeit nem csak fizikai, hanem kémiai folyamatok (visszaoldódás, kiválás, bekérgezés) is befolyásolhatják, ráadásul gyakran különböző folyamatok egymáshoz hasonló formákat hoznak létre. Ennek megfelelően talán nem meglepő, hogy az egyes formák esetében nehéz leszűkíteni a kört kizárólag egyetlen kialakulási környezetre (Kapui et al., 2022). Későbbiekben a szemcsék koptatottságának meghatározására Kapui és munkatársai (2022) definíciót használom, melynek megfelelően *jól koptatott* kvarcsemcsének nevezem azokat, melyek alakja a gömbölyűhöz közelít, azaz keresztmetszetben az egymásra merőleges átmérők közel azonos hosszúságúak. Ha a szemcse körvonalát éles sarkok jellemzik akkor az *sarkos*, míg ha ennél tompább hegyek akkor *koptatott*. A homokszemek morfológiáját tekintve *nagyon érdesnek* nevezem azokat, melyek domborzatában jelentős magasságkülönbségek mutatkoznak (1–2 μm mértékű), ha ezek a különbségek kisebbek (<1 μm), akkor *közepesen érdesnek* hívom. *Simának* tekinthetők azok a szemcsék melyek felszínén legfeljebb minimális topográfiai különbségek mutatkoznak.

A mintákból kiválasztott kvarcsemcséket először fénymikroszkóp alatt tanulmányoztam. Ekkor még nem kezeltem a mintákat, így a szemcsék tele voltak ásványkiválásokkal, ami megnehezítette vizsgálatukat, azonban a homokszemcsék lekerekítettségének mértéke így is kivehető volt. A könnyebb megfigyelés és dokumentálás érdekében 250 μm és 500 μm méretű szemcséket vizsgáltam. Később, az elektronmikroszkópos vizsgálat előtt az egyes mintákat 50%-os ecetsavban egy napig áztattam, majd desztillált vízben lemostam őket. Ezzel az eljárással sikerült megtisztítani a megfigyelésre szánt szemcséket a nem kívánatos felszíni kiválásoktól. Ehhez a vizsgálathoz maximum 500 μm méretű homokszemeket használtam.

4.3 Használt szoftverek

Munkám során 3 számítógépes alkalmazással dolgoztam. A dolgozatban található 8. ábrát alkotó átnézeti térképet QGIS alkalmazásban hoztam létre a behívott GoogleSatellite műholdkép segítségével. Erre helyzetem rá az úthálózatot, illetve jelöltem rajta a kavicsbánya

Ezeket jellemzően különböző átmérőjű kavicsok és az őket összecementáló agyag alkotta mátrix építi fel. A kőzetösszlet szemcsemérete a kőzetliszt frakciótól egészen a nagyobb (akár 10 cm átmérőjű!) kavicsokig terjed. A kvarckavicsok a mátrixszal azonos rozsdavörös színüket nem a kristályrácsba épülő anyagoknak köszönhetik, hanem egy későbbi agyagos málladékkal történő átítatódásnak. Ennek ékes bizonyítéka, hogy a kavicsok keresztmetszetét tekintve egy kívülről befelé tartó kifehéredést figyelhetünk meg. A talajtakaró alatt sok helyen zsíros szürke bentonitot találunk. Foltokban találkozhatunk bíborvörös agyaglerakódásokkal is, melyek az egykori vörösayagképződésről tanúskodhatnak. Szembetűnnek a falban egymással párhuzamosan futó, növényi részekkel gazdagon átszőtt szürke sávok, melyek déli áldőléssel rendelkeznek (jellemzően nagyjából 3%-os lejtés) és több tíz méterenként kiékelődnek. Vastagságuk 3 cm és 20 cm között mozog. Ezeket merőlegesen átszelik a gyökök által létrehozott szintén szürke sávok (ld. 12. ábra).



12. ábra: Vízszintesen futó szürke erek, az őket merőlegesen átszövő növényi gyökerekkel.

A 9. ábrán a Cuneatus helyszínen készített fotóját és a helyszínen értelmezett képét láthatjuk (52, 57, 60-as számokkal jelölve alulról felfelé). Az üledékszerkezet helyszínen megmért csapásirányára megközelítőleg 164°-os azimut-szöget kaptunk a szerkezet jobb oldalát

kipreparálva (ld. 9. ábra), míg a bal oldalán 170°-ot. Fontos megfigyelés továbbá, hogy a Cuneatus „hegye” tompa nem úgy, mint a többi, valóban ékszerűen elvégződő formáé (9. ábra/A bal oldalán összevetve A jobb oldalán és B-C). Nagyon érdekes dologra lettünk figyelmesek a formakincs két oldalán húzódó rétegek korreláltatása során is. A terepi megfigyelések alapján felállított, helyesnek vélt rétegkorrelációk ugyanis azt mutatják, hogy a formakincs két oldalán az azonosnak vélt rétegekben 30–40 cm-es ugrómagasságok mutatkoznak. Mindezek mellett furcsaságként hat az is, hogy a Cuneatus két oldalán a rétegek határozottan lefelé hajlanak, ami se a szeizmiteknek (Konrád et al., 2021) se a fagyrepedéseknek (ld. 1. táblázat) nem sajátossága. Az imént felsoroltak alapján talán nem meglepő, hogy a kutatás egyik központi kérdése a Cuneatus kialakulására vonatkozik.

Ezen elméletek tisztázásához először ellenőriznünk kellett, hogy a 11. ábrán azonos színnel jelölt rétegek valóban korrelálnak-e egymással, vagy különböző rétegekről kell beszélnünk melyek a Cuneatus környezetében kiékelődtek. E kérdés megválaszolása a helyszínen vett rétegminták alaposabb vizsgálatát igényelte.

5.2 Szemeloszlás-vizsgálat

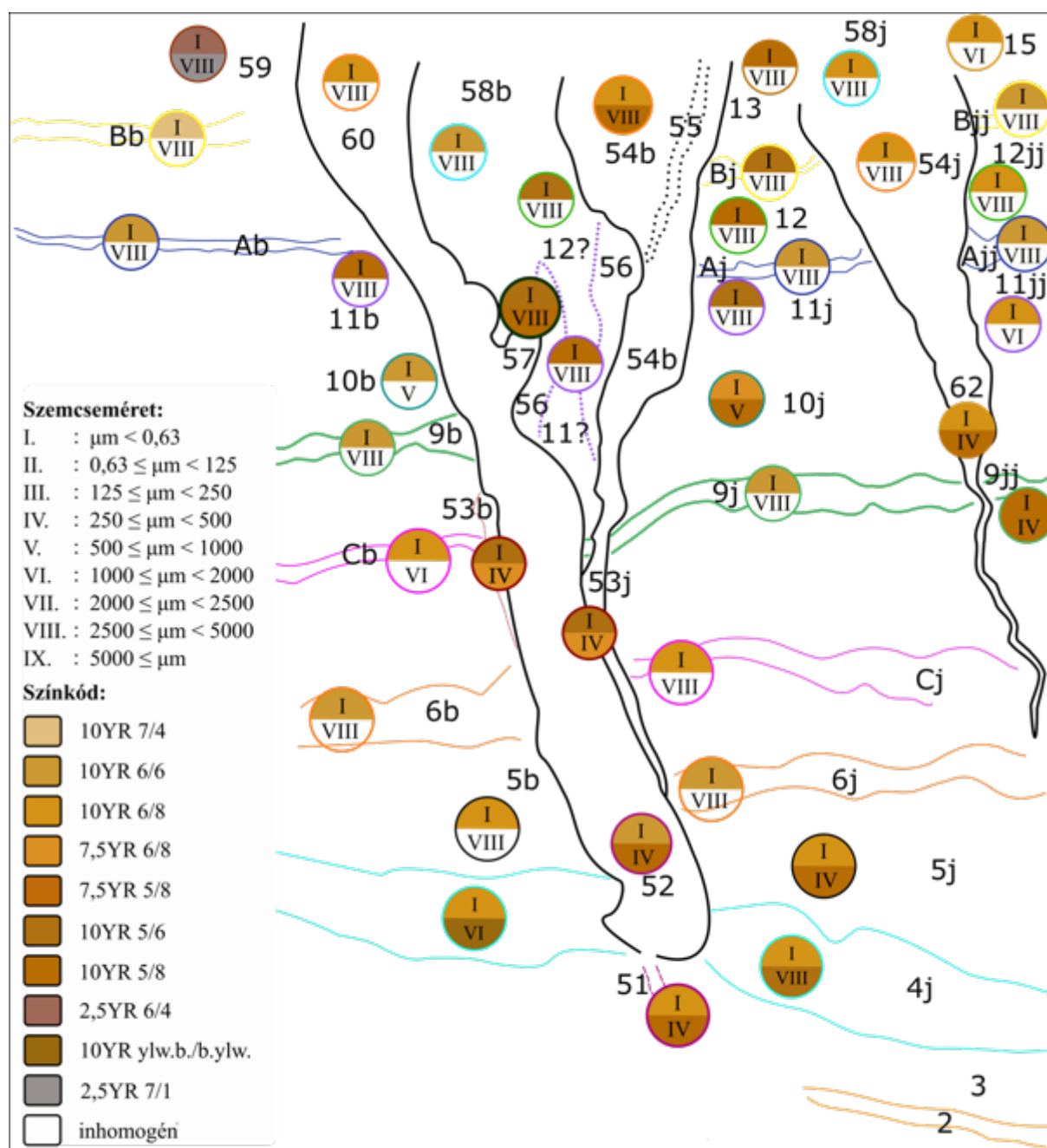
A helyszínen gyűjtött mintákat először mérlegelésnek, majd szitálásnak vettem alá. Ezt követően külön-külön is megmértem az egyes frakciók tömegét. Az így nyert információkból egy adatbázist kaptam. Az egyes szemcseméreték tömegszázalékát szemeloszlási görbéken ábrázoltam, úgy, hogy a legnagyobb (5000 µm-es) frakciót kihagytam, ugyanis néhány nagyobb kavics már aránytalanul torzítja a százalékos megoszlást. A megfigyelt egyezéseket és különbségeket itt jelölöm, azok értelmezését a Diskusszióban írom le.

A Cuneatust és a mellette található formákat kitöltő anyagok (a számozások rendszerét ld. 13. ábra) eloszlását vizsgálva azt tapasztaltam, hogy az 53-as üledék töröttvonalai szinte teljesen egymáson futnak (1/a. melléklet) mely a későbbiekben fontos következtetésekre ad majd okot, továbbá őket követi a 62-es üledékegység futása is. Ezekről eltér, de egymással hasonló módon fut az 57-es és 60-as egységek töröttvonala is. Ugyanígy, a többi anyagtól markánsan eltér, de egymással nagy hasonlóságot mutatnak az 54b és 54j minták eloszlásai. A befogadó üledékrétegek mintáinak eloszlása között hasonlóságot tapasztalhatunk a 9j és 6b rétegek között (1/b. melléklet). Ezt kiegészíti, hogy a 5b és 6j rétegek között is látszólag egyezés/nagy hasonlóság rajzolódik ki, mindez kiegészülve a 4j réteggel. Hasonló, de az eddigiekhez képest kevésbé egyező futást láthatunk a 9jj, 4b és 5j rétegek esetében. A felsőbb rétegek felé haladva azt tapasztalhatjuk, hogy a 11-es rétegek töröttvonalai meglehetősen együtt

haladnak, kiegészülve a 9b réteggel (1/c. melléklet). A Cuneatus két oldalán található 10b és 10j rétegek esetében is a korreláció gyanújával kell élnünk. Az 1/d. mellékletet vizsgálva a 12 és 12jj, Ajj és Bjj valamint Ab és Bb rétegek között fedezhetünk fel kapcsolatot. Az 1/d. mellékletben látható egyéb rétegek között már csak a rétegek töröttvonalának azonos irányú törését fedezhetjük fel, mint kapcsolatot. Kivételt képez ez alól az 58b réteg futása.

5.3 Színskálázás

A színskálázás változatos eredményeit a könnyebb átláthatóság miatt a 13. ábrán szemléltettem.

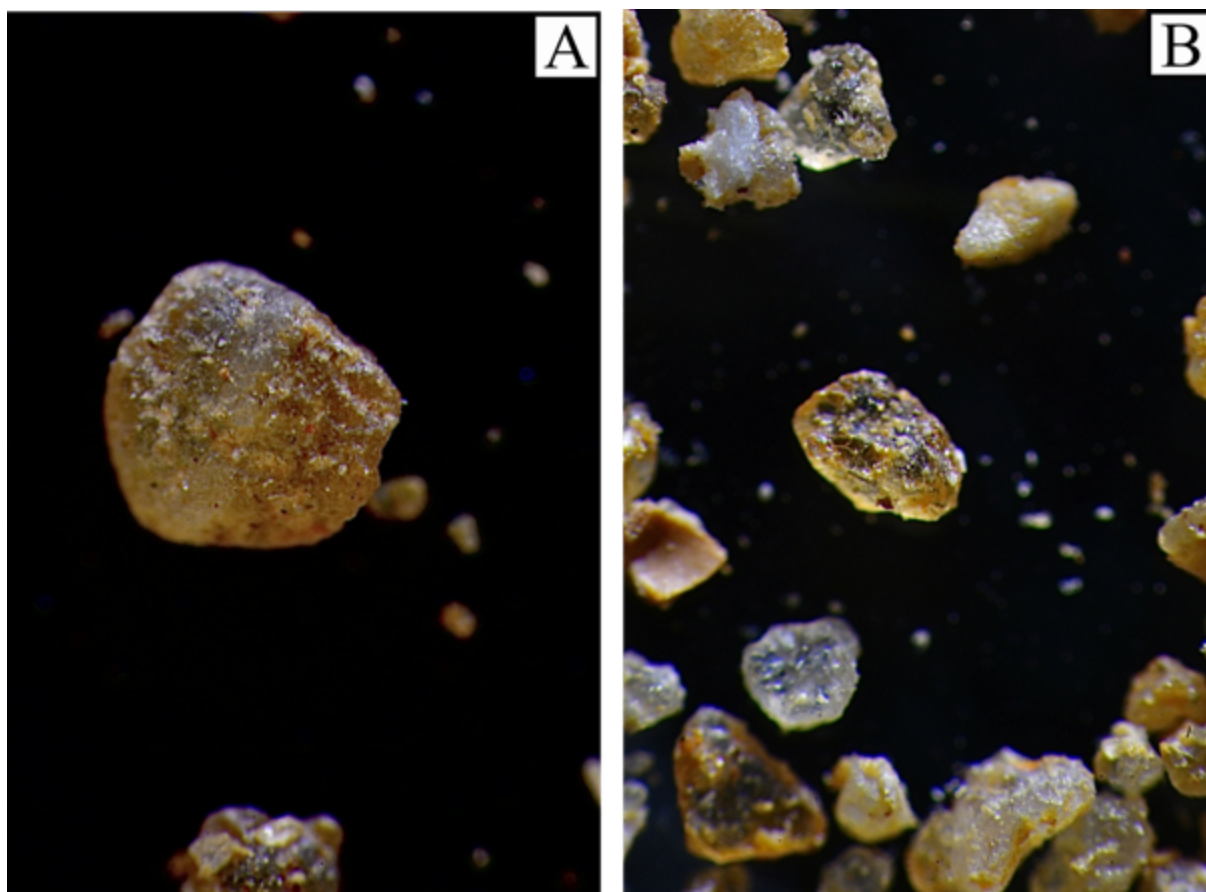


13. ábra: A színskálázás eredményei a Cuneatus környezetében. A körök körvonala a rétegek színére utal. A felső félkör kitöltő színe a legfinomabb frakció színkódját, az alsó az adott mintában legnagyobb térfogatszázalékban előforduló szemcseméret színére utal. A bennük szereplő római számokkal a feltüntetett szemcseméret-tartományt mutatják.

Az ábrán a Cuneatus 2 oldalán található és a helyszíni vizsgálat során egymás folytatásának vélt rétegek határvonalait azonos színnel jelöltem. Az ezekbe rajzolt köröket két részre osztottam. A felső félkör mindig a legfinomabb frakció színekódját mutatja, míg az alsó az adott rétegben legnagyobb térfogatszázalékban előfordulóét. Egyes rétegek között nagyon erős korreláció mutatkozott, míg mások között gyenge vagy egyáltalán nem egyeztek meg. Az erős korreláció esetében mind a legfinomabb szemcseméreték színe mind a legnagyobb térfogatszázalékú frakciók színe megegyezett. Különösen érdekes, hogy az 53-as minták színei (ld. 13. ábra) a Cuneatus 2 oldalán (53b és 53j-vel jelölve) erős egyezést mutatnak. Szorosabb kapcsolatot láthatunk az 52-es és 51-es minták színében és legjellemzőbb frakciójában is. Szembetűnően hasonló eredményeket láthatunk az A valamint a 9-es rétegek között is. Továbbá az ábra alapján a következő rétegek kapcsolhatók össze: 6b, 6j valamint a Cj rétegek. Továbbá ide sorolható a 12 és 12j rétegek viszonya is, illetve az Ab, Aj, Ajj és Bjj valamint az 58j és 58b rétegek látszólagos korrelációja is. A csak részben korreláló rétegek esetében az egymásnak megfelelő szemcseméreték színeiben már egy-egy árnyalatnyi különbség fellelhető. Ennek oka vélhetően az, hogy az adott rétegbe lokálisan más anyag keveredhetett, amely így kis mértékben módosította annak színét. Ide sorolható például a Cb réteg, melynek legnagyobb térfogatszázalékát adó frakciója különbözik a Cj rétegetől. Továbbá ugyan ide sorolható a 4b és 4j, 10b, 10j, valamint 11b és 11j rétegek közötti kapcsolat is. A 12jj réteg részben eltér a 12 és 12j rétegektől. Közepes korrelációt mutatnak még az 54b és 54j üledékegységek is. Néhány réteg meglepő módon semmilyen egyezést nem mutatott. Itt sem az egymásnak megfelelő legnagyobb térfogatszázalékot adó szemcseméreték nem egyeztek meg, sem azok színei. Ilyen az 5b és 5j rétegek kapcsolata, valamint 9jj és 11jj rétegek sem tűnnek a többi 9-es és 11-es réteg folytatásának. Nehezen értelmezhető továbbá az 59-es réteg, valamint az 57-es és 60-as üledékegység mibenléte is.

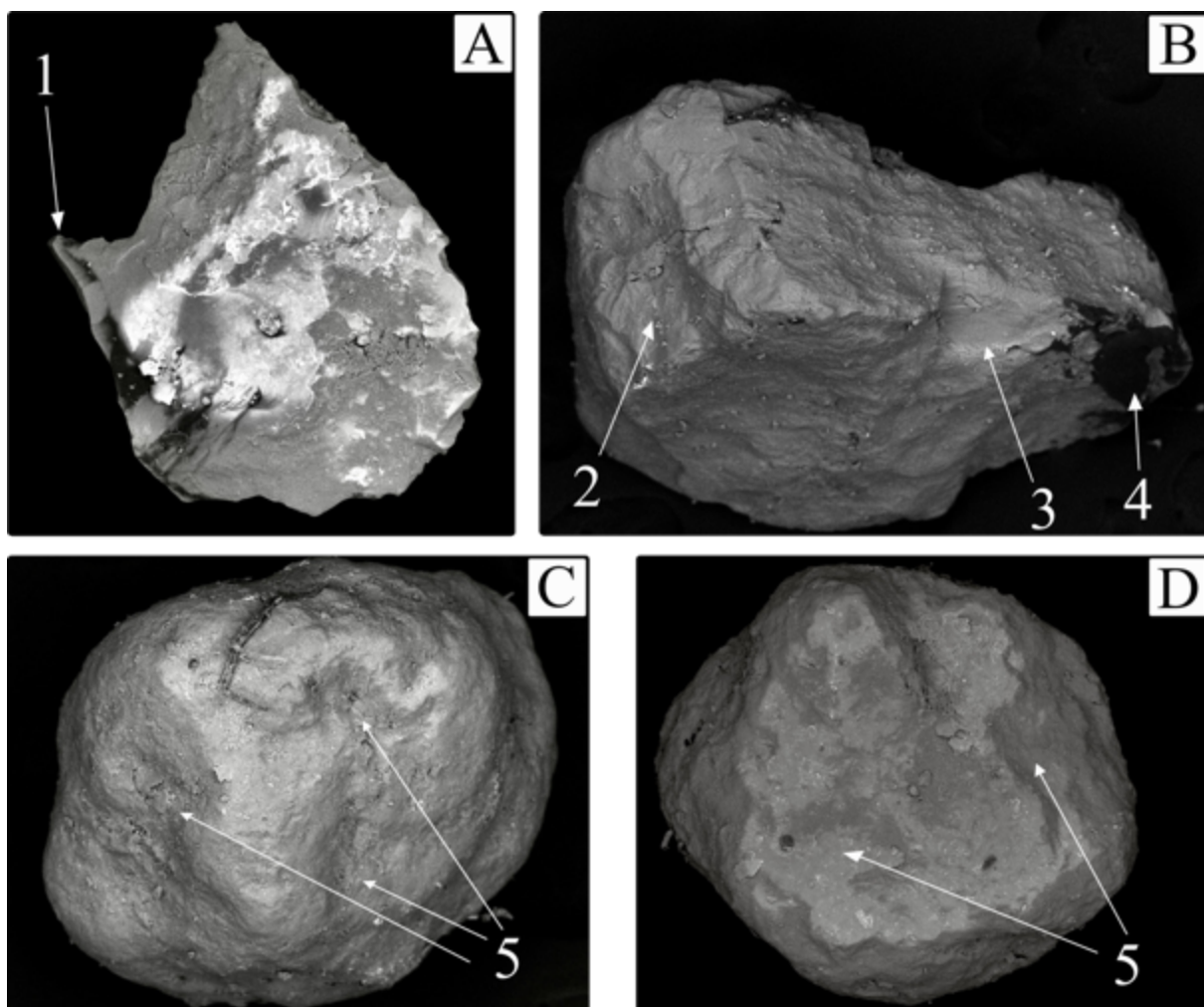
5.4 Mikroszkópos vizsgálatok

A fénymikroszkópos vizsgálat során azt tapasztaltam, hogy az 52-es mintából (a Cuneatust kitöltő anyagból) származó homokszemcsék (a többi szerkezetben találhatóval hasonlóan) *jól koptatottak*, míg a kutatóárok aljában (ld. 9/C), a feltehetően pannóniai üledékben találhatók jellemzően *sarkosak* vagy *koptatottak* (ld. 14. ábra).



14. ábra: A *Cuneatus* kitöltő anyagát és a kutatóárok aljzatában található homokszemcséket összehasonlító fénymikroszkópos vizsgálat eredménye. A: az 52-es üledékegységből származó 500 μm nagyságú, jól koptatott homokszem; B: az f rétegből származó 250 μm nagyságú, koptatott homokszem.

Az elektronmikroszkópos vizsgálat során az f rétegből (pannon fekü) származó homokszemcsék *nagyon* illetve *közepesen érdesnek* mutatkoztak (ld. 15. ábra). Az A-val jelölt szemcsén lépcsős törésfelületet láthatunk, míg a B jelűn kagylós törésfelületekkel, kicsapódási jegyekkel és törési tömbbel találkozhatunk. Az 52-es mintából (*Cuneatus* alsó része, ld. 11. ábra) származó, megközelítőleg *sima* felületű homokszemek esetében kerekded alakú bemélyedéseket és hullámos felszínt tapasztalhatunk.



15. ábra: A kutatóárokából és a Cuneatus anyagából származó homokszemek elektronmikroszkópos képe. A: az f rétegből származó, 500 μm nagyságú, nagyon érdes felületű homokszem szélén lépcsős töréssel (1); B: az f rétegből származó, 500 μm nagyságú, közepesen érdes homokszem kagylós törésfelülettel (2), törési tömbbel (3) és kicsapódási jeggyel (4); C és D: az 52-es üledékegységből származó, 500 μm nagyságú, megközelítőleg sima felületű homokszemek elsimult mélyedésekkel (5).

6. Diskusszió

A terepi megfigyelés során felfedezett, térben felületet alkotó vízszintes erekre (ld. 12. ábra) már Pécsi is felfigyelt. Szerinte a kavicsok vörösre színeződése után repedések keletkeztek, melyeket jég töltött ki. A jég elolvadása után ezek különböző üledékekkel töltődtek ki (Pécsi, 1997). Számomra nehezen értelmezhető ezen elméletben, hogy hogyan jöhetnek létre vízszintes repedések illetve azok miért nem szakadtak be. Véleményem szerint ezek eleve ferdén települt rétegek lehetnek, vagy a terület megbillenésével alakulhatott ki mai lejtésük. Azonban vizsgálataim során ezt a kérdést nem sikerült megválaszolni. A bányában jelenleg fellelhető legtöbb laza üledékes deformáció morfológiai jegyeinek alapján, továbbá csoportos előfordulásukból arra kell következtetnünk, hogy a terület egykor jelentős glaciális hatásnak volt kitéve, melynek érvényesülése szorosan összefügg az egykori permafrost esetleges jelenlétével. A fent leírtakból következik egy meglehetősen fontos kérdés. Vajon a

Kemenesháti kavicstakaró déli része is azon kárpáti szubperiglaciális területek közé sorolható, ahol egyértelmű volt a permafrost jelenléte? Sajnos olyan formát napjainkban sem ismerünk, amely pusztán jelenlétével igazolná, hogy egy adott terület az egykori folytonos permafrost zónán belül húzódtott (Ruszkiczay-Rüdiger et al., 2016). Azonban a talajban létrejött poligonális repedéshálózat és az ezt kitöltő anyag vertikális rétegzettsége, illetve az ékszerkezetek két oldalán a flexúrák felfelé hajlása arra utalnak, hogy az adott területen a pleisztocén időszakban legalább szigetszerűen ki kellett alakulnia permafrostnak (Harris S. A., 1982). Az imént leírtakat figyelembe véve a bányában található legtöbb laza üledékes deformáció a fagyrepedések közé sorolandó. Továbbá az ékeket kitöltő homok vertikális rétegzettsége, valamint a finoman felfelé hajló flexúráik az 1. táblázat alapján homokék eredetre engednek következtetni.

Jóval több fejtörés elé állított minket a Cuneatus besorolása. A vizsgálati helyszín földrajzi elhelyezkedése és sajátosságai miatt jelen esetben az 1. ábrán pirossal jelölt kialakító tényezők jöhetnek számításba. A kialakulását magyarázó ötletekről a korábbiakban már tettem említést. A bevezetőben utaltam az egyes formakincsek esetleges 1/a) jégfagyás általi kialakulására, azonban a korábbiakban már láttuk, hogy a bányában nagy számban található ékek formabélyegeik szerint az 1. táblázat alapján a homokékek közé sorolhatók. A Cuneatusban található homok vertikális rétegzettsége pedig szintén kizárja a jégfagyás útján keletkező jégék-eredetet, hiszen az így létrejövő formák kezdetben meglévő vertikális rétegzettsége nem állandó. A jég elolvadása után az ék fala beszakad, illetve felszíni üledékekkel telítődik. Ezek együttes hatásának köszönhetően az egykori jégékek kitöltődése ma nem szabályos, sokkal inkább krioturbált képet mutat. (Black, R. F. 1976; Harris et al., 2005). A többi kialakulási elmélet helyessége csupán terepi mérésekkel nem ellenőrizhető.

A szemeloszlás vizsgálat eredményeinek kiértékelésekor egymásnak ellentmondó réteggörvök rajzolódtak ki előttem. Meglehetősen közel futott egymáshoz az alábbi rétegek töröttvonalai: 62–53j–53b (ld. 1/a. melléklet); 9j–6b; 4j–5b–6j (ld. 1/b. melléklet); 10b–10j; 11j–11b (ld. 1/c. melléklet); 9b–11?; Aj–Aj–Bjj; 12–12jj (ld. 1/d. melléklet); 9b–Aj . Más rétegek lefutása között is láthatunk hasonlóságokat: 54j–54b (ld. 1/a. melléklet); 4b–9jj (ld. 1/b. melléklet); Ab–Bb (ld. 1/d. melléklet). Ezen eredmények alapján látszólag úgy néz ki, hogy a Cuneatus baloldalán található rétegek folytatása az ékforma jobboldalán, magasabb pozícióban található. Azonban az összes eredmény nem lehet egyszerre igaz, hiszen a 4j–5b–6j (ugrómagasság kb. 40 cm); 4b–9jj–5b (ugrómagasság kb. 20 cm) rétegek kapcsolata ebben az elméletben értelmezhetetlen (ld. 11/B ábra), továbbá a 9b–Aj rétegek összefüggése is kérdéses, hiszen ez ellentmond a 10b–10j; 11j–11b rétegek közötti hasonlóságoknak. Ezen a ponton

felmerül a kérdés, hogy vajon a szemeloszlás vizsgálat jelen célra történő felhasználása során kellően reprezentatív eredményeket nyújt-e. Ennek megválaszolása érdekében végeztem egy ellenőrző vizsgálatot. Az 5j réteg egy pontjából (10 cm-es mélységkülönbségekből) négy további mintát vettem, majd ezekre is elvégeztem a szemeloszlás vizsgálatot, aminek eredményeit az 1/f. melléklet szemlélteti. Jól látható, hogy ilyen kis távolsággal rendelkező mintavételi helyek esetében is meglehetősen eltérő futású eloszlásokat kapunk. Tehát a szemeloszlás vizsgálat eredményei önmagukban nem kellően reprezentatívak. Hasonlót mondhatunk el a színskálázás eredményeiről is. Egyedülként értelmezve azok sem tekinthetők mérvadónak, hiszen az egyes rétegeknek néhány méteren belül is változhat a színük, attól függően, hogy lokálisan milyen anyag keveredik beléjük és színezi el őket. Ez viszont nem jelenti azt, hogy a vizsgálatok eredményei egyáltalán nem használhatók. A 2 vizsgálat során kapott **egyezőseket összevetve**, majd azok közös metszetét vizsgálva már valószínűbb eredményeket kapunk, hiszen arra kicsi az esély, hogy mindkét vizsgálat hibája úgy alakuljon, hogy azonos korrelációk rajzolódjanak ki. Ha ezt megtesszük, akkor az alábbi réteghozzárendelésekre derül fény: 9j–6b; 11j–11b; Aj–Ajj–Bjj; Ab–Bb; 54j–54b továbbá az 53j és 53b rétegek tökéletes egyezést mutatnak. Ezen eredményekből nem könnyű új elméletet felállítani, hiszen a rétegek elvetődését igazolható adatok közül csak egy van, amely a 9j és 6b rétegeket köti össze. Kérdéses lehet még az Ajj és Bjj, továbbá az Ab és Bb rétegek kapcsolata is, hiszen azok egymás alatt helyezkednek el. Ennek egy lehetséges magyarázata, hogy ugyan azokból az anyagokból rakódtak le vagy váltak ki. Bár a köztük lévő Aj és Bj rétegek sem egymással, sem a saját vélt folytatásaikkal nem korrelálnak. Az 53j és 53b minták eloszlásai teljesen megegyeznek, és mivel ez alapján 53b a Cuneatus melletti ék folytatása, feltételezhetjük, hogy egy korábbi homokék képződési periódusban jöhetett létre, amit később ketté vágott a Cuneatus. Ennek azonban ellent mond, hogy az 53-as és 54b rétegek nem mutatnak egyezést. Nem találunk korrelációt az 52-es, 57-es és 60-as rétegek között, hasonlóan az 54j és 62-es rétegek között sem. Ez azzal magyarázható, hogy az egykori repedések – melyek az ékformák alapját képezték – kitöltődése egy hosszú folyamat volt, melynek ideje alatt a szél iránya és erőssége változhatott, ezáltal az egyes üledékegységeket különböző szemcseméretű homokkal töltötte ki.

A fénymikroszkópos vizsgálat során kiderült, hogy a kutatóárokban származó pannon korú minta homokszemcséi jellemzően koptatottak (ld. 14. ábra), némelyek pedig sarkosak. Kapui és munkatársai (2022) szerint ezek a jegyek jellemzően vízi szállítódás során alakulnak ki. Ezt megerősítik az elektronmikroszkópos vizsgálat eredményei is, ahol kiderült, hogy az f réteg (pannon) homokszemeinek felülete érdes vagy közepesen érdes. Ezeket a

mikromorfológiai jegyeket ütközésének sorozata alakítja ki, amely előfordulhat vizes közegben vagy glaciális környezetben illetve mállás hatására is (Kapui et al., 2022). Árulkodó lehet még a 15/B. ábrán jelölt szemcsén található kicsapódási jegy (4), amely valamilyen oldatból származik. Ennek kiválási környezete lehet víz, illetve nedves talaj is (Kapui et al., 2022). A pannon rétegből származó homokszemek felszínén látható lépcsős, illetve kagylós törésfelületek számos módon kialakulhatnak (Kapui et al., 2022), így azok nem tanúskodnak egyértelműen egy adott kialakulás mellett sem. A 12. ábrán látható 52-es mintából – (Cuneatus) – származó homokszem jól koptatott, ami jellemző a minta többi kvarc- és kalciumszemcséjére is. Mikromorfológiai bélyegeiket tekintve (15. ábra) azt láthatjuk, hogy ezek megközelítőleg sima felületű szemcsék elsimult mélyedésekkel. Ezek a jegyek eolikus szállítódással (Balogh et al., 1991), szaltáció útján (Kapui et al., 2022) jönnek létre. Az eredményeket összegezve azt mondhatjuk, hogy a két mintából származó homokszemek mikromorfológiai jegyeik alapján különböző hatásoknak voltak kitéve. Tehát következésképp a Cuneatust kitöltő homok nem a pannon rétegből injektálódott, hanem eolikus szállítódás során halmozódott fel és töltötte ki a formát, akárcsak a bányában található többi ékszerkezet esetében. Utóbbira bizonyíték, hogy azokat is jól legömbölyített homokszemcsék töltik ki (ld. 2/a. melléklet), továbbá mikromorfológiai jegyeik is erre utalnak, mely szerint a kvarc- és kalciumszemcsék sima felületűek. A 2/b. mellékletben érdekes mikromorfológiájú szemcséket láthatunk. Az A-val jelölt szemcsé felszínét egykor erős abrázációs hatás érte, amelyet később a szél által történő szállítódás jegyei felülbélyegeztek. Az 57-es üledékegységből származó szemcsén pedig az egykori litorális környezetben létrejött, párhuzamosan futó íves karcokat érte eolikus felülbélyegzés. A laborvizsgálatok eredményei alapján kizárhatjuk a vetőkapcsoltság nélkül, pusztán földrengés hatására 2/b) történő kialakulási elméletet, hiszen az megkövetelné a kitöltő anyag alsóbb rétegekből való injektálódását.

A Kovács és munkatársai (in prep) által készített domborzatmodellt megvizsgálva kiderült, hogy a Kemeneshát a bánya környezetében 0,8%-nál kisebb lejtőszöget mutat. A bányától DK-re ugyan kezdődik egy erőteljes lejtésű domboldal (Győrvári öblözet), azonban a Cuneatus dőlése ezzel ellentétes irányú. A minimális lejtőszög illetve a domboldal lejtésének iránya arra engednek következtetni, hogy a formakincs áltektonikus úton 3) való kialakulásához vélhetőleg nem voltak meg a szükséges feltételek, így nem beszélhetünk tömegmozgások hatására történt keletkezésről.

Azonban továbbra sem zárható ki, hogy a Cuneatus 1/b) talajfagyás útján jött létre. Könnyen elképzelhető, hogy a „klasszikus” homokék-képződési folyamatnak megfelelően, hirtelen történő drasztikus lehűlés hatására a talaj poligonálisan felrepedezett. Ezek a repedések

egészen addig nyitva maradtak, amíg a talaj erősen fagyott állapotban volt, miközben szél által szállított homokkal töltődtek ki. A kitöltődés következtében a talaj felengedése után a repedések már nem tudtak bezáródni, sőt, a következő zord téli időszakban szintén ezek mentén nyílt fel újra a talaj. Ez a folyamat évszakosan ismétlődhetett. Mindemellett szól, hogy a bánya területén található, poligonális elhelyezkedésű homokékek ide sorolandók, így tehát az ehhez szükséges környezet mindenképp adott volt kialakulásához a kárpáti szubperiglaciális öv ezen térségében. A mikroszkópos vizsgálatok is kimutatták, hogy a Cuneatus kitöltő homokszemcsék meglehetősen lekerekítettek és sima felületűek, ami eolikus szállítódásra utal, ez pedig szintén a homokék eredet mellett szól. Ezt erősíti meg a kitöltő anyag jól kivehető vertikális rétegzettsége is. Ez az elmélet azonban nem magyarázza meg a befogadó üledékek lefelé hajlását a Cuneatus két oldalán, továbbá nem sikerült megcáfolni ezen rétegek elvetődését sem, amely aspektusból jelen elmélet szintén nehezen védhető lenne. Továbbra sem kizárható az sem, hogy valóban egyéb tektonikus folyamatok 2/b) hozták létre. Könnyen elképzelhető, hogy egy vetősík mentén történő elmozdulás hatására, a felszínig hatoló vetőág hasadékába eolikus homok települt. A 8. ábrán jól látszik, hogy a bánya területétől néhány száz méterre egy Koroknai és munkatársai (2020) által térképezett illetve Wórum és munkatársai (2020) által ábrázolt fiatal szerkezeti vonal húzódik, amelynek egyes ágai Koroknai Balázs szóbeli közlése szerint a kavicsbánya alatt is láthatók. Ráadásul, míg a homokékek csapásiránya (ld. 9. ábra) nem szabályos, addig a Cuneatusban mért csapásirány megegyezik a bánya alatt húzódó vetőével. Továbbá ez megmagyarázná a rétegek ugrómagasság-különbségeit is a szerkezet két oldalán, azonban a rétegek lefelé hajlásának kialakulása ebben az esetben is további kérdéseket hagy maga után. Viszont gyanúra ad okot ezen elmélet helytállóságát illetően, hogy a bányában található minden más észlelt forma talajfagyás útján alakult ki, továbbá a Kemeneshát más bányáiban sem írtak még le vetőszerkezeteket.

7. Összegzés

Geomorfológiai és földtani kutatások során is találkozhatunk olyan laza üledékes deformációkkal, melyeknek egyes típusai meglehetősen hasonlóak. Különösen igaz ez a különböző ékszerkezetekre, amiknek már számos lehetséges kialakulási formája ismert. Ezek egymástól csupán külső jegyeik alapján való megkülönböztetése sokszor nehéz, sőt egyes esetekben nem is lehetséges. További problémákat okoz a hazai kutatásokban az azonosítást illetően, hogy nem tudjuk hol húzódott az egykori összefüggő vagy részleges permafrost zóna déli határa, ezáltal nem ismerjük azt a legészakabbi földrajzi szélességet sem, amitől délebbre

már garantáltan nem találhatunk periglaciális eredetű üledékszerkezeteket. Ezért is fontos, hogy minél több eszközzel és vizsgálati ötlettel segítsük a fent említett kutatások eredményességét.

Kutatásom a Vasvár melletti kavicsbányát és annak üledékszerkezeteit tárta fel és írta le. A legkésőbb a Riss-glaciálisban áthalmozódott és lerakódott Rába üledékek azaz a Vasvári Kavics Formáció arculatában már az 1960-as években leírtak periglaciális klímán kialakult ékszerkezeteket, melyek analitikus leírását és besorolását az akkori publikációkéhoz képest kiegészítettem és pontosítottam. A helyszínen nagy számban található egyértelműen ék alakú üledékszerkezetek leírása után azokat talajfagyás során létrejött homokékeként azonosítottam. A kutatásom tárgyát képező, az előzőektől több szempontból is eltérő összetett szerkezetet, azaz a Cuneatust a terepi mérések mellett különböző laborvizsgálatoknak is alávettem, hogy fényt derítsek kialakulásának körülményeire. A helyszíni megfigyelések alapján kizárhattam az üledékszerkezet jégfagyás útján való létrejöttét. Megállapítottam, hogy nem egykorú a többi formával, azoknál később alakult ki. A szemeloszlás vizsgálatok, színskálázás és mikroszkópos vizsgálatok együttes eredményének köszönhetően elvethettem a közvetlenül földrengés hatására történő kialakulás lehetőségét, tehát a Cuneatus szeizmikus homoktelér mivoltát. A vizsgálati helyszín domborzatmodelljét elemezve kizárhattam az áltektónikus úton történő kialakulás lehetőségét is. Azonban továbbra is nyitott maradt a kérdés, hogy az ékszerkezet talajfagyásos vagy tektonikus úton keletkezett-e.

Sajnos kutatásom során többször is azzal a ténnyel találtam szemben magam, hogy az általam választott módszerek önmagukban nem nyújtanak kellően megbízható információkat, ami óvatosságra intett a kapott eredmények igazságtartalmára vonatkozóan. Ezt együttes értelmezésükkel próbáltam kiküszöbölni. Ennek eredményeként viszont nem kaptam kellő mennyiségű adatot egy új rétegorreláció felállítására. Egy harmadik vizsgálati módszer bevonásával azonban az együttes eredmények már választ adhatnának a korreláció kérdésére, amivel fény derülhetne az üledékszerkezet kialakulását tektonikával magyarázó elmélet helytállóságára is.

A Cuneatus kialakulását magyarázó két elmélet között igazságot tehetne az ékszerkezet munkagéppel való kipreparálása is. Ekkor ugyanis kiderülne, hogy a térben egy poligonális hálózat részeként helyezkedik el (ami a talajfagyásos kialakulási elméletet igazolná) vagy egy egyenesen futó hasadék kitöltődését láthatjuk. A befogadó üledékrétegek korrelációjának kérdésére választ adhatna a lumineszcens kormeghatározás is, az egy időben települt üledékek megmutatásával. Továbbá meg lehetne határozni a Cuneatus kitöltődésének korát, amely esetlegesen szintén választ adhat kialakulására. Ugyanis, ha szerencsés esetben a kitöltő homok

interglaciális időszakban települt bele, akkor nem jöhetett létre talajfagyás útján, hiszen ekkor nem voltak adottak a klimatikus feltételek.

8. Köszönetnyilvánítás

Munkám végén szeretném megköszönni konzulenseimnek Dr. Kovács Gábor és Zentai Zoltán tanár uraknak a rengeteg segítséget és iránymutatást, amelyek nélkül jelen kutatás nem jöhetett volna létre és Dr. Sebe Krisztina tanárnőnek opponensi munkáját. Továbbá a terepi munkákban való részvételért és segédkezésért szeretnék köszönetet mondani Szabó Bálint kollégámnak és néhai nagyapámnak Dobos Sándor Istvánnak. Szeretném hálámat kifejezni Török Tamás és Dr. Skribanek Anna tárnő felé a mikroszkópos vizsgálatokban és azok dokumentálásában való segítségnyújtásért. Nem utolsó sorban köszönettel tartozom az ELTE szervezésében létrejött TDK-ra felkészítő kurzussorozat oktatóinak is, akik sokat segítettek, hogy munkám jelen minőségben létrejöhessen.

A kutatás a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap (2018-1.2.1-NKP-201800007) keretében valósult meg.

9. Felhasznált irodalom

Black, R. F. (1976). Periglacial features indicative of permafrost: Ice and Soil Wedges. *Quaternary Research*, 6(1), 3–26.

Balogh, K. & Bérczi, I. (1991). A törmelékes üledékes kőzetek szövete. In Balogh, K. (Ed.), *Szedimentológia I. kötet* (pp. 454–498). Akadémia Kiadó.

Bockheim, J. G., Kurz, M. D., Soule, S. A. & Burke, A. (2009). Genesis of active sand-filled polygons in lower and central Beacon Valley, Antarctica. *Permafrost and Periglacial Processes*, 20(3), 295–308.

Dylik, J. (1963). Magyarország periglaciális problémái. *Földrajzi Értesítő*, 12(4), 453–464.

Fábián, Sz., Ákos-Kovács, J. & Varga, G. (2000). Újabb szempontok hazánk periglaciális klímájához. *Földrajzi Értesítő*, 3(4), 189–204.

French, H. M., Jon, W., & Sons, C. (2007). *The Periglacial Environment* (3th ed.). The University of Ottawa.

Gábris, Gy. (1995). *Éghajlati felszínalaktan I. Periglaciális geomorfológia*. Nemzeti Tankönyvkiadó.

Gábris, Gy. (2007). *Földfelszín és éghajlat*. ELTE Eötvös Kiadó.

Györi, E., Mónus, P., Dr. Tóth, L., & Zsíros, T. (2004). Talajfolyósodás Veszélyeztetettség Magyarországon. In Kegyes, Cs. (Ed.), *Magyarország Földrengésbiztonsága – Modellézés, méretezés* (pp. 117–128). Mérnökszeizmológiai Tudományos Konferencia.

Harris, S. A. (1982). Identification of permafrost zones using selected permafrost landforms. *Proceedings of the Fourth Canadian Permafrost Conference*, 2(6), 49–57.

Harris, S. A., French, H. M., Heginbottom, J. A., Johnston, G. H., Ladanyi, B., Sego, D. C. & Everdingen, R. O. (1988). *Glossary of permafrost and related ground-ice terms*. National Research Council of Canada.

Harris, C. & Murton, J. B. (2005). Experimental simulation of ice-wedge casting: processes, products and palaeoenvironmental significance. In Harris, C. & Murton, J. B. (Eds.), *Cryospheric Systems: Glaciers and Permafrost* (pp. 131–143). Geological Society of London Special Publication.

Hutchinson, J. N. (2010). Relict sand wedges in soliflucted London Clay at Wimbledon, London, UK. *Proceedings of the Geologists' Association*, 121(4), 444–454.

Jámbor, Á., Kovács-Pálffy, P. & Kónya, P. (2013) A magyarországi bentonitok keletkezési lehetőségeinek áttekintése. *Földtani Közlöny*, 143(1), 47–66.

Kapui, Zs., Miklós, D. G., Kereszturi, Á., Szabó, B., Wasser, P. & Józsa, S. (2022). Miről árulkodnak a szállított ásvány szemcsék mikromorfológiai bélyegei? *Földtani Közlöny*, 152(3), 213–232.

Katona, T. J., (2015). *Speciális tervezési követelmények: Külső és belső veszélyek* – Egyetemi Jegyzet. Budapesti Műszaki Egyetem.

Kethra, C.-H. (2020). *Ice wedge activity in the Eureka Sound lowlands, canadian high arctic* – Thesis. University of Ottawa.

Konrád, Gy., Sebe, K., & Halász A. (2021). Késő negyedidőszaki szeizmikus aktivitás nyomai futóhomokban, a Dunaszentgyörgy-Hartai-vetőzónában. *Földtani Közlöny*, 151(2), 179–200.

Koroknai, B., Wórum, G., Tóth, T., Koroknai, Zs., Fekete-Németh, V. & Kovács, G. (2020). Geological deformations in the Pannonian Basin during the neotectonic phase: New insights from the latest regional mapping in Hungary. *Earth-Science Reviews*, 211, 103411.

Kovács, G., Koroknai, B., Győri, E., Németh, V., Balázs, L., Czece, B., Bondár, I., Kegyes-Brassai, O., Szabó, G. & Tóth, T. (in prep): Seismotectonic hazard map of Hungary. *Journal of Maps*.

Lunina, V. O. & Gladkov, S., A. (2016). Soft-sediment deformation structures induced by strong earthquakes in southern Siberia and their paleoseismic significance. *Sedimentary Geology*, 344(1), 5–19.

Maarleveld, G. C. (1976). Periglacial phenomena and the mean annual temperature during the Last Glacial Time in Netherlands. *Biuletyn Peryglacjany*, 26(1), 57–78.

Mackay, J. R. (1992). The frequency of ice-wedge cracking (1967–1987) at Garry Island, western Arctic coast, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 30(1), 1720–1729.

MacKay, J. R. (2000). Thermally induced movements in ice-wedge polygons, western arctic coast: a long-term study. *Géographie physique et Quaternaire*, 54(1), 41–68.

Magyari, Á., Musitz, B., Csontos, L., Brigitte, V. V.-L. & Unger, Z. (2002). Késő-negyedidőszaki szerkezetfejlődés vizsgálata Külső-Somogyban terepi mikro- és morfolitektonikai módszerekkel. *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése, 2002*, 111–128.

Mangerud, J. & Skreden, S. A. (1972). Fossil ice wedges and ground wedges in sediments below till at Voss, western Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 52, 73–96.

Maruszczak, H. (1987). Problems of paleogeographic interpretation of ice wedge casts in European loesses. In Pécsi, M., French, H. M. (Eds.), *Loess and Periglacial Phenomena* (pp. 285–302). Akadémia Kiadó.

Mills, C. P. (1983). Genesis and diagnostic value of soft-sediment deformation structures. *Sedimentary Geology*, 35(1), 83–104.

Murton, J. B. & French, H. M. (1993). *Sand wedges and permafrost history, Crumbling Point, Pleistocene Mackenzie Delta, Canada*. In Proceedings of the Sixth International Conference on Permafrost (pp. 482–487). South China Technological University Press.

Murton, J. B. & Kolstrup, E. (2003). Ice-wedge casts as indicators of palaeotemperatures: precise proxy or wishful thinking? *Progress in Physical Geography*, 27(2.), 155–170.

Murton, J. B. & Bateman, M. D. (2007). Syngenetic sand veins and anti-syngenetic sand wedges, Tuktoyaktuk coastlands, western arctic Canada. *Permafrost and Periglacial Processes*, 18(1), 37–47.

Pécsi, M. (1997). *Szerkezeti és vázlatképződés Magyarországon*. Magyar Tudományos Akadémia Földrajztudományi Kutató Intézet.

Poser, H. (1948). Boden- und Klimaverhältnisse in Mittel- und Westeuropa während der Würmeiszeit. *Erdkunde*, 2(1), 53–68.

Rodríguez-Pascua, M. A., Silva, P. G., Perucha, M. A., Giner-Robles, J. L., Heras, C., Bastida, A. B., Carrasco, P., Roquero, E., Lario, J., Bardaji, T., Pérez-López, R. & Elez, J. (2016). Seismically induced liquefaction structures in La Magdalena archaeological site, the 4th century AD Roman Complutum. *Sedimentary Geology*, 344(1), 34–46.

Ruszkiczay-Rüdiger, Zs. & Kern, Z. (2016). Permafrost or season frost? A review of paleoclimate proxies of the last glacial cycle in the East Central European lowlands. *Quaternary International*, 415(1), 241–252.

Šujan, M., Rybár, S., Thamó-Bozsó, E., Klučiar, T., Tibenský, M. & Sebe, K. (2022). Collapse wedges in periglacial eolian sandse evidence Late Pleistocene paleoseismic activity of the Vienna Basin Transfer Fault. *Sedimentary Geology*, 431(1), 1-22.

Schweitzer, F., Fábrián, Sz. Á., Varga, G., Sipos, Gy. & Kovács, I. P. (2015). A periglaciális talajfagy-jelenségek kutatása Pécsi Márton nyomán. *Földrajzi Közlemények*, 139(3), 157–171.

Shanmugam, G. (2017). The fallacy of interpreting SSDS with different types of breccias as seismites amid the multifarious origins of earthquakes: Implications. *Journal of Paleogeography*, 6(1), 12–44.

Székely, A. (1992). A periglaciális felszínformálás. In Borsy, Z. (Ed.), *Általános Természetföldrajz* (pp. 356–418). Nemzeti Tankönyvkiadó.

Van Vliet-Lanoë, B., Magyari, Á. & Meilliez, F. (2004). Distinguishing between tectonic and periglacial deformations of quaternary continental deposits in Europe. *Global and Planetary Change*, 43(1), 103–127.

Vandenbergh, J., Lowe, J., Coope, G. R., Litt, T. & Zöller, L. (2004). Climatic and environmental variability in the Mid-Latitude Europe sector during the last interglacial-glacial cycle. In Battarbee, R. W., Gasse, F., Stickley, C. (Eds), *Past Climate Variability through Europe and Africa* (pp. 393–416). Springer.

Velichko, A. A. (1982). Paleogeography of Europe During the Last One Hundred Thousand Years (atlasz monográfia oroszul, angol absztrakttal és jelmagyarázattal). In Gerassimov, I. P. (Ed.). *14 Planches*. Nauka.

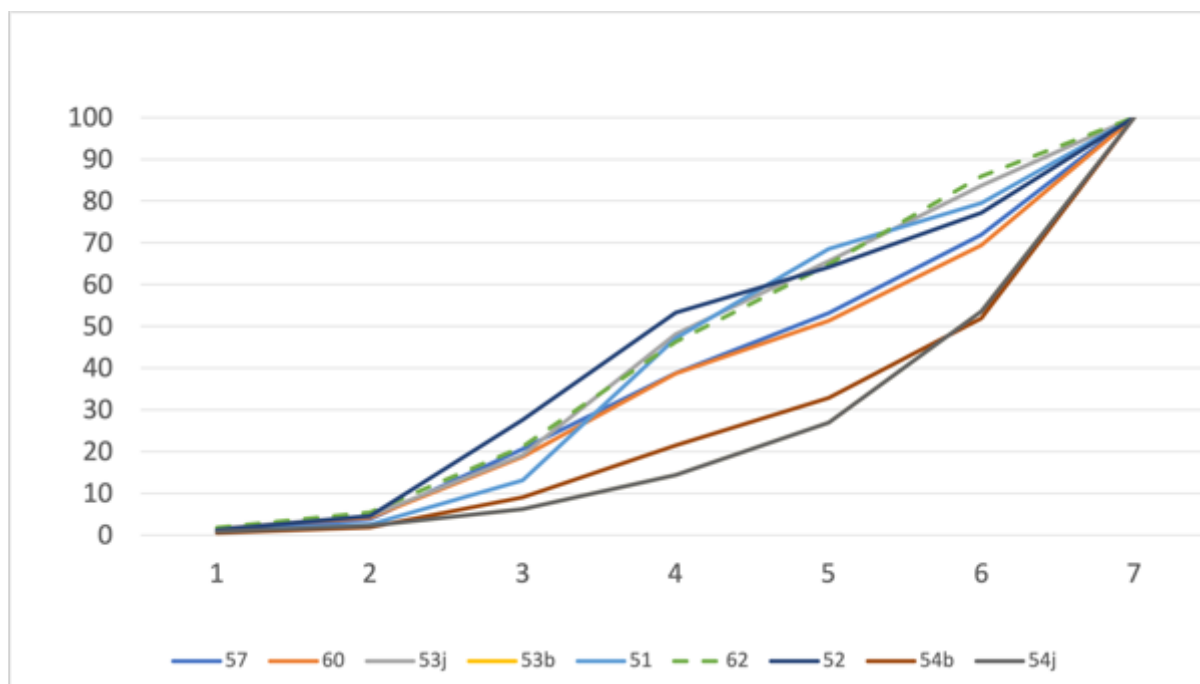
Washburn, A. L. (1980). Permafrost features as evidence of climatic change. *Earth Science Reviews*, 15(1), 127–137.

Worsley, P. (2014). Ice-wedge growth and casting in a Late Pleistocene, periglacial, fluvial succession at Baston, Lincolnshire. *American Geologist*, 18(3), 159–170.

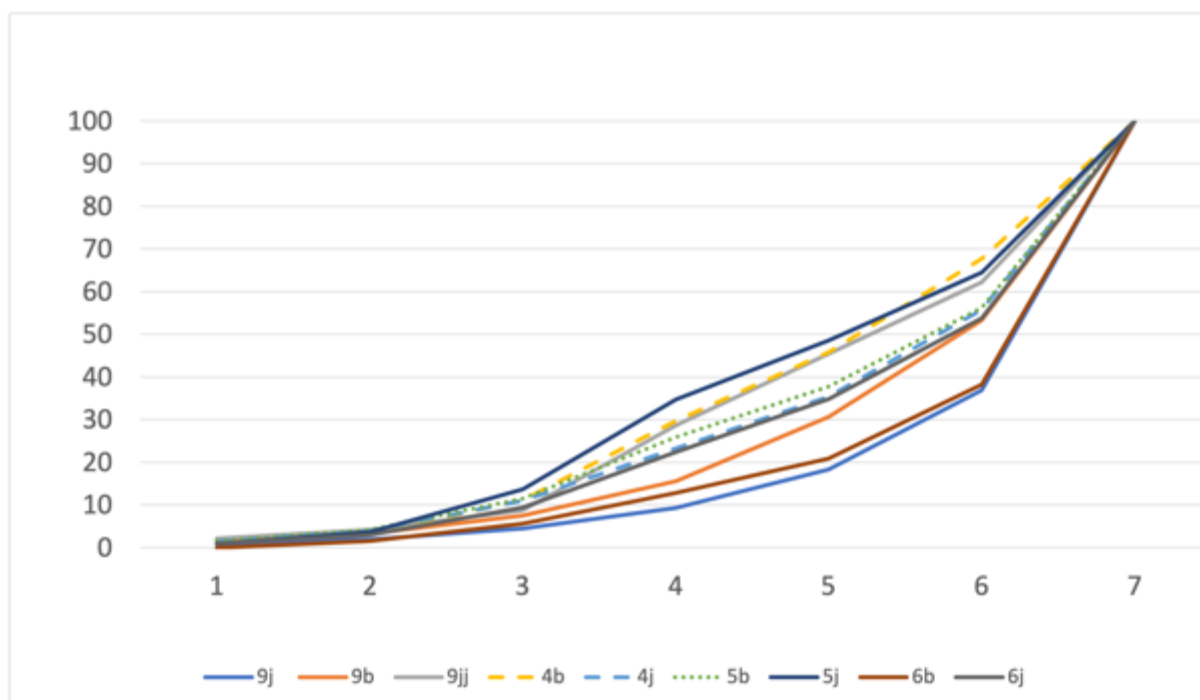
Wórum, G., Koroknai, B., Koroknai, Zs., Fekete-Németh, V., Kovács, G. & Tóth, T. (2020). *Young geological deformations in Hungary*. Geomega Ltd.

10. Melléklet

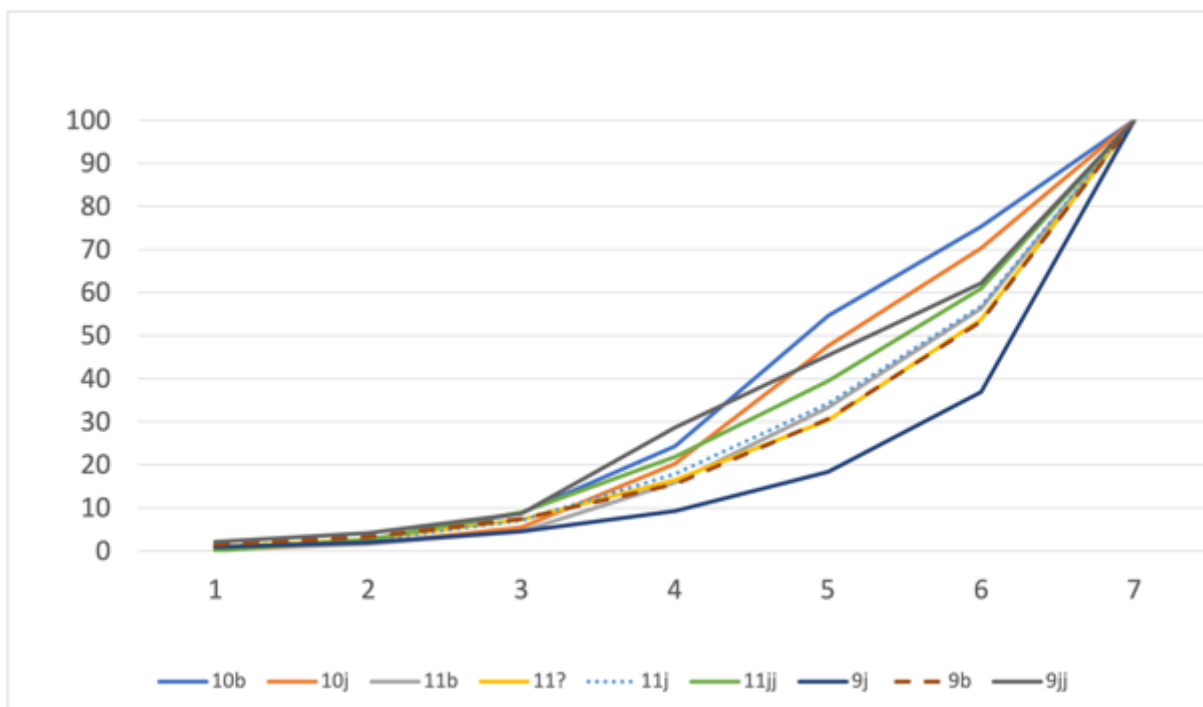
11.1 Szemeloszlás-diagrammok



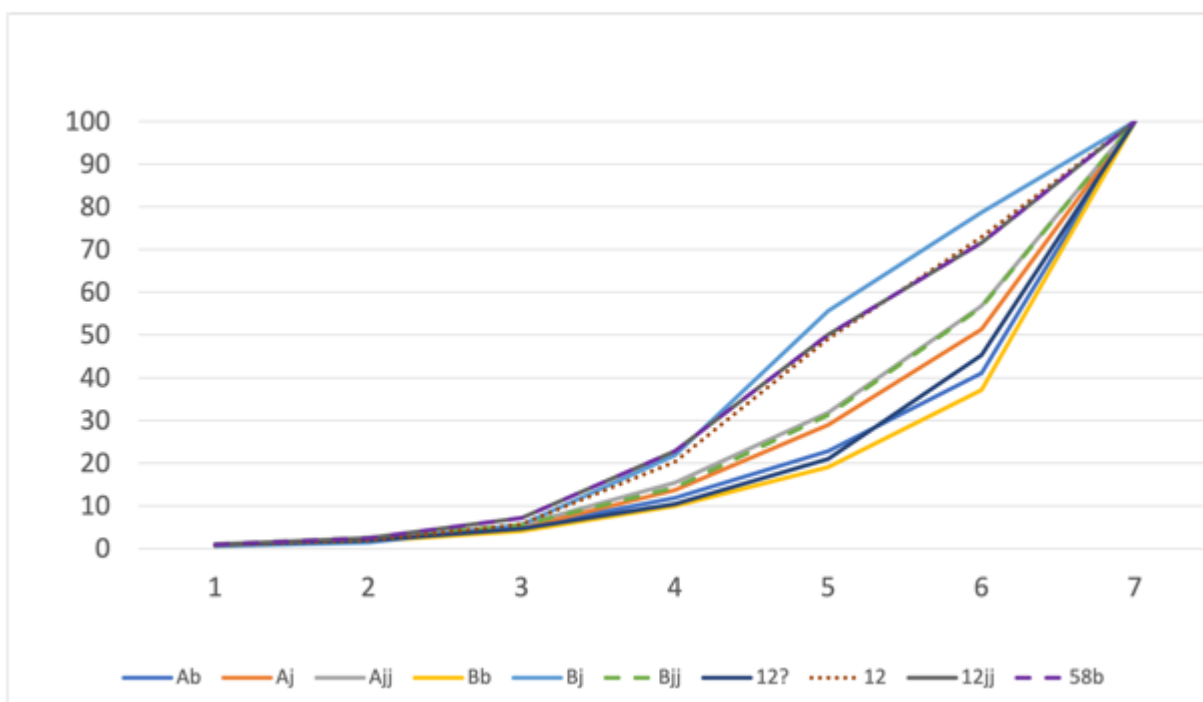
1/a. melléklet: Az üledékszerkezeteket kitöltő homoegységek szemcseösszetétele százalékos megoszlásban.



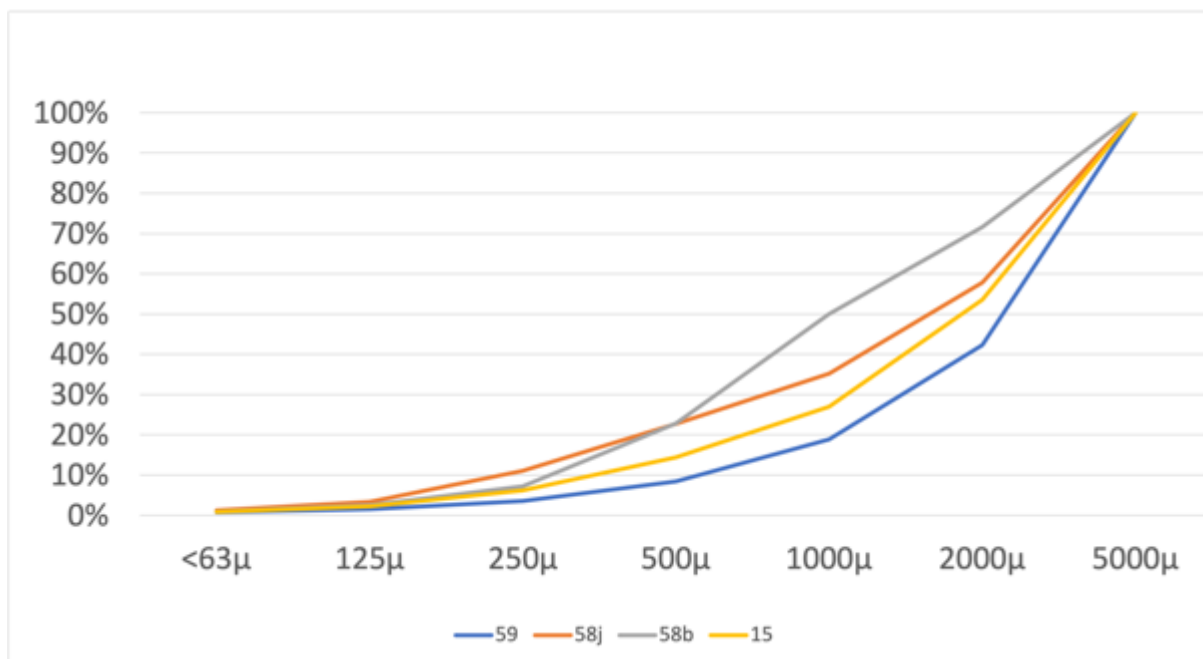
1/b. melléklet: A Cuneatus-t befogadó üledékek szemcseösszetétele százalékos megoszlásban.



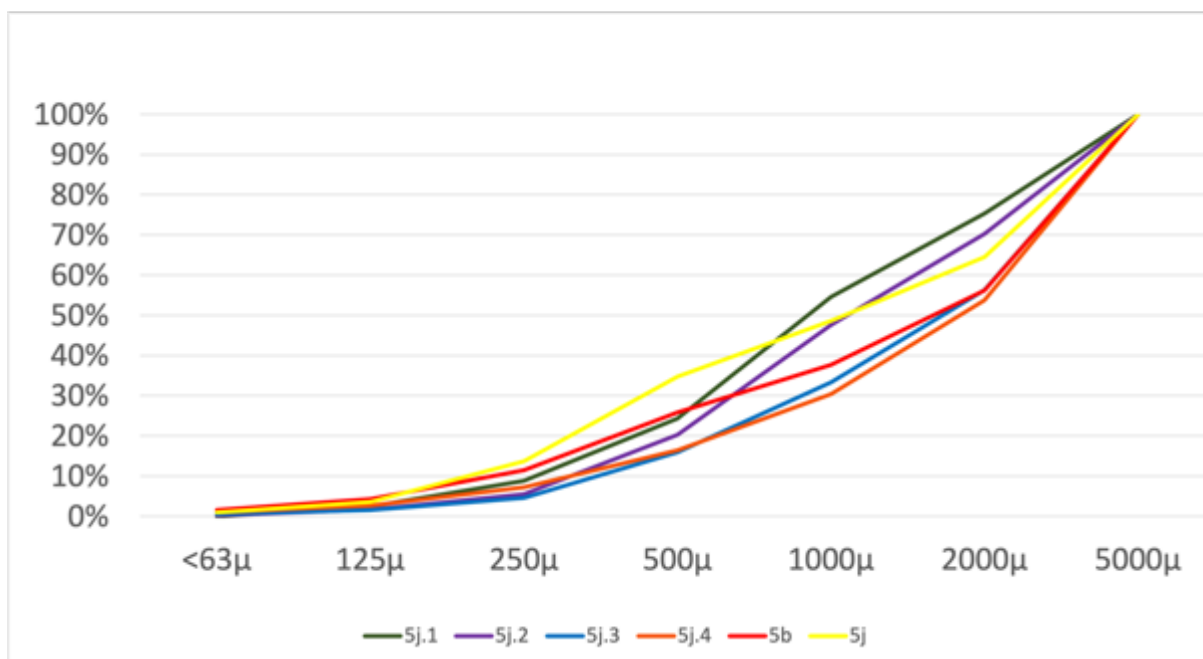
1/c. melléklet: A Cuneatus-t befogadó üledékek szemcseösszetétele százalékos megoszlásban.



1/d. melléklet: A Cuneatus-t befogadó üledékek szemcseösszetétele százalékos megoszlásban.

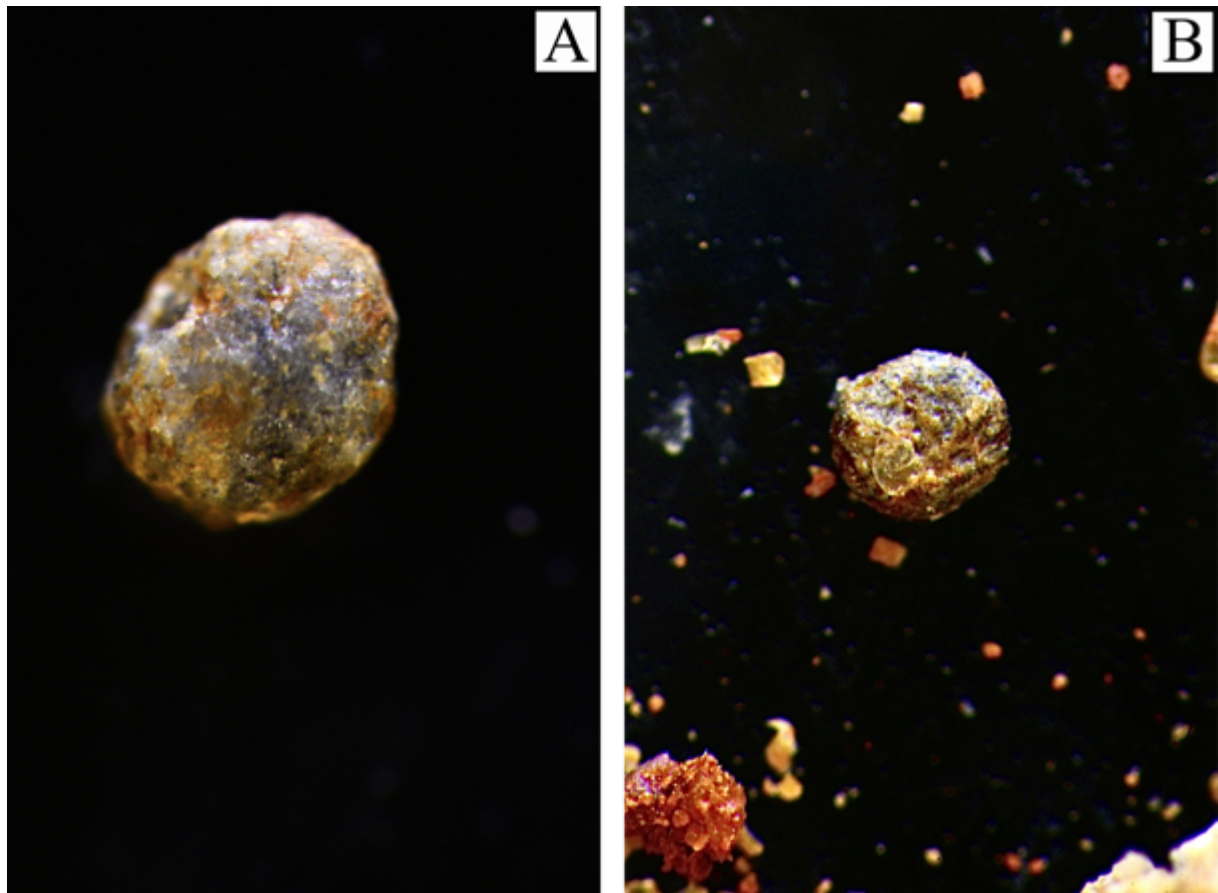


1/e. melléklet: A Cuneatus-t befogadó üledékek szemcseösszetétele százalékos megoszlásban.

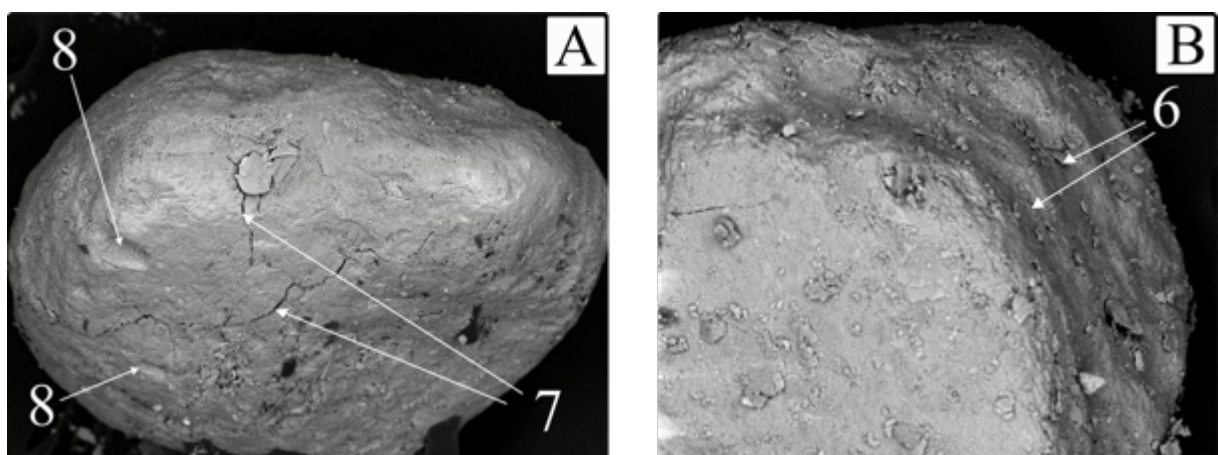


1/f. melléklet: Az 5-ös rétegből vett ellenőrző minták szemcseösszetétele százalékos megoszlásban.

11.2 Mikroszkópos vizsgálatok



2/a. melléklet: Különböző ékszerkezetekből származó homokszemek fénymikroszkópos képe. A: az 54b üledékegységből származó 500 μm nagyságú, jól koptatott homokszem; B: az 57-es üledékegységből származó 500 μm nagyságú, jól koptatott homokszem.



2/b. melléklet: Az ékszerkezetek kitöltő anyagából származó homokszemek elektronmikroszkópos képe. A: 500 μm nagyságú sima felületű homokszem abrázíós (7)- és becsapódási (8) nyomokkal; B: A Cuneatus 57-es üledékegységből származó 500 μm nagyságú, sima felületű homokszem ívesen futó párhuzamos karcokkal (6).