

Összehasonlító granulometriai vizsgálatok fosszilis fagyrepedések (homokékek) kitöltéseiből

Pécsi Tudományegyetem

Természettudományi Kar

Földrajzi Intézet

Szerző: TOMBOR BENCE

Témavezető: DR. FÁBIÁN SZABOLCS ÁKOS

Pécs, 2025

Tartalomjegyzék

Absztrakt	3
Köszönetnyilvánítás	3
1. Bevezetés, kutatási háttér és célkitűzés.....	4
2. Anyag és módszer	6
2.1. A vizsgált feltárások	6
2.2. Terepi mintavétel	9
2.4. Statisztikai módszerek	11
3. Eredmények	12
3.1. Terepi megfigyelések.....	12
3.2. Granulometriai eredmények	15
3.2. Klaszter elemzés	16
4. Diskusszió és konklúzió	19
6. Felhasznált irodalmak jegyzéke.....	20

Absztrakt

A homokékek talajfagyás és hirtelen hőmérséklet-csökkenés hatására kialakuló jellegzetes felszíni formák, amelyek fontos információkat szolgáltatnak a múltbeli környezeti viszonyokról. Jelen kutatás azt vizsgálta, hogyan alakulnak a fosszilis homokékek kitöltőanyagának granulometriai jellemzői két magyarországi lelőhelyen, Szemenyén és Járiföldpusztán. Bár korábban is készültek tanulmányok a homokékek kialakulásáról és jellemzőiről, eddig nem végeztek ilyen részletes lézeres granulometriai elemzést magyarországi mintákon. Terepi mintavételt végeztem mindkét helyszínen (n=270), majd a mintákat laboratóriumi környezetben lézeres granulometriai eljárással vizsgáltam. A kapott adatokat statisztikai módszerekkel, például klaszterelemzéssel dolgoztam fel, hogy összehasonlítsam a kitöltőanyagokat. Az eredmények nem mutattak szignifikáns eltéréseket a granulometriai összetételben, valamint a szállítási és ülepedési folyamatokban. Ez a kutatás új információkat nyújt a fosszilis homokékek képződési folyamatairól és hozzájárul a pleisztocén kori környezeti rekonstrukciók pontosításához. Eredményeim rávilágítanak a lézeres granulometriai elemzések jelentőségére a geomorfológiai kutatásokban.

Köszönetnyilvánítás

Elsősorban szeretnék köszönetet mondani konzulensemnek Dr. Fábíán Szabolcs Ákosnak, amiért megismertette velem a pleisztocén felszínfejlődésben rejlő kutatási lehetőségeket és segítette munkámat minden téren. Nélküle nem szerezhettem volna bővebb ismereteket a fagyrepedésekről és azok kialakulásáról. Köszönöm segítségét Dr. Varga Gábor tanszékvezetőnek, Farkas Beátának a jegyzetekért és fényképekért. Balogh Richárdnak a laboratóriumi munkában nyújtott támogatásért, és szaktársamnak Szabadkai Dárius Márknak a terepi munkában való segítségéért. Nélkülük nem valósíthattam volna meg ezt a kutatást. Ki kell emelnem Lohrmann Ervin és Nagy Róbert bányamérnök és tulajdonos segítségét, akik biztosították a kavicsbányák feltárásaihoz a hozzáférést. Köszönöm.

1. Bevezetés, kutatási háttér és célkitűzés

A geomorfológia tudományterületén az egyik legérdekesebb téma a múltban képződött, de a jelenkorban is megőrződött formák vizsgálata. E képződmények segítségével betekintést kaphatunk a régmúlt felszínfejlődési folyamataiba és környezeti viszonyaiba. Mind a mai napig tartogat vitatott kérdéseket a pleisztocén korból származó reliktum formák és képződmények tanulmányozása. Ebben a kb. 2,5 millió évig tartó földtörténeti korban számos a faggyal kapcsolatos felszínforma jött létre Közép-Európában. Ilyen forma e dolgozatban tárgyalt homokék is.

A homokékek talajfagyással és olvadással együttjáró hőmérsékletváltozások okozta jellegzetes felszíni formák. Hideg, eolikus környezetben a termikus zsugorodási repedések (fagyrepedések) fokozatos elsődleges kitöltésével jönnek létre (Pewe, 1959). Ezek, a keresztmetszetben ékhez hasonló formák akkor is kialakulhatnak, amikor a jégékek felolvadnak, és az általuk elhagyott "üreg" másodlagosan (Murton et al., 1998, 1998). Mivel a két eredeti forma, azaz a jég- és homokék teljesen eltérő képződési környezetet jelez, ezért a fosszilis formák elkülönítése is különösen fontos. A jégékek (jégék-poligonok) csak a folyamatos permafroszt övezetében alakulnak ki (Washburn, 1980). Míg homokékeket (poligonális formában is) mindhárom permafroszt övezetből (folyamatos, szaggatott és szórványos) jeleztek, de egyesek szerint akár nagyon mély szezonális fagy is létrehozhatja őket (Ballantyne, 2018; Wolfe et al., 2018). Mindemellett meg kell jegyezni, hogy létező környezetből írták le, ezért jelentős bizonytalansággal terheltek (French, 2007). Az egykori jégékek kitöltése másodlagos, a jég elolvadásához és a permafroszt viszonyok megszűnéséhez kapcsolódik. A fosszilis homokékek és poligonok eredeti kitöltő anyaga az egykori környezeti viszonyokról, körülményekről további információt szolgáltatnak (Black, 1976; Mackay, 1974).

A homokékek kitöltésének mintázatáról többféle leírás található a szakirodalomban. Egyesek homogén kitöltő anyagról írnak (Péwé, 1959), mások a vertikális laminációt tartják jellegzetesnek (Black, 1976). Ez utóbbi utalhat az ékek szakaszos felnyílására és fokozatos kitöltődésükre (Wolfe et al., 2018).

Nem csak nemzetközi szinten, hanem hazánkban is nagy múltnak örvend e periglaciális talajfagy-jelenségek kutatása. A hazai kutatások legfőbb színtere Közép-Európa és a Pannon-medencék. Szádeczky-Kardoss E. (1936) volt az első, aki Magyarországon felismerte e talajfagy formákat. KERÉKES J. (1938, 1939) úttörő módon azonosította az általa „jégékek”-nek nevezett formákat a Pest környéki kavicsbányákban. (Bár az eredeti feltárások mára

eltűntek, de nagyon valószínű, hogy legalább az egyik általa lerajzolt forma homokék volt.) A vizsgált formákból arra következtetett, hogy Magyarország területét a pleisztocénben permafroszt/periglaciális övezet borította. Pécsi (1961) akadémiai doktori értekezését írta e jelenségek vizsgálatából, mely jóval később 1997-ben jelent meg könyv formában. Schweitzer (2015) felhívja a figyelmet arra, hogy a Pécsi (Pécsi, 1961) által azonosított formák leírása nem minden esetben genetikus szemléletű, ahogy ezt Dylík (1963) magyarországi terepbejárása után meg is jegyzi.

A homokékek hazai előfordulására és környezetjelző szerepére Fábián és munkatársai (2000) utal, bár az adott következtetés (folyamatos permafroszt) biztos, hogy túlzó. Ezt támasztja alá Ruszkiczai-Rüdiger és Kern (2016) összefoglaló tanulmánya is, amiben több klímajelző proxit is összevetnek. A hazai homokékek optikai korát és permafroszt-jelző szerepét vizsgálja Kovács (2007), Fábián (2014) és Farkas (2023) tanulmányukban. Adatokkal alátámasztva úgy vélik, hogy a pleisztocén végén kb. 14–21 ezer évvel ezelőtt alakultak ki a vizsgált homokék-poligonok a Pesti-síkságon és a Kemenesháton. Összehasonlító vizsgálataik alapján feltételezik a szaggatott permafroszt jelenlétét legalább e helyszíneken és legalább a kérdéses időintervallumban. A vizsgált formák kialakulása hideg száraz környezeti viszonyokat feltételeznek, melyet Sebe (2011) vizsgálatai is alátámasztanak.

Célom, hogy a már ismert kemenesháti előfordulás (Szemenye) és egy újonnan felfedezett (Járiföldpuszta) homokék-poligon kitöltőanyagait részletesen megmintázzam, majd lézeres granulometriai méréseket végezzek e mintákon és összehasonlítsam őket. Egyrészt azonosságokat és különbségeket (mintázatokat) keresek az egyes homokékeken belül, illetve a két helyszín között is. Úgy vélem, hogy e részletes vizsgálatokkal pontosabb képet kaphatunk a korabeli környezetről és a homokékek kitöltődési folyamatairól.

2. Anyag és módszer

2.1. A vizsgált feltárások

Kutatásom helyszínéül a már előzőleg is kutatási területként szolgáló feltérképezett és adatokat szolgáltató Farkas (2023) kemenesháti Szemenye II. kavicsbányát választottam. A kavicsbánya tágabb térségében, a Kemenesháton megannyi talajfagy-jelenséget írtak le korábban. Továbbá segítette a munkámat, hogy a bánya művelés alatt áll, így újabb és újabb formák kerülnek feltárássra. A Google Earth Pro (GEP) legfrissebb műholdas felvételein is még a 2019 októberi állapot látható (1. ábra). Azóta a bánya művelési területe nyugat felé növekedett és új homokék poligonokat tartalmazó terület szabadult fel. Nagy segítség volt még az, hogy a területen biztosított a közlekedés és a bejárás, ezáltal könnyen meg tudtam közelíteni a helyszínt.

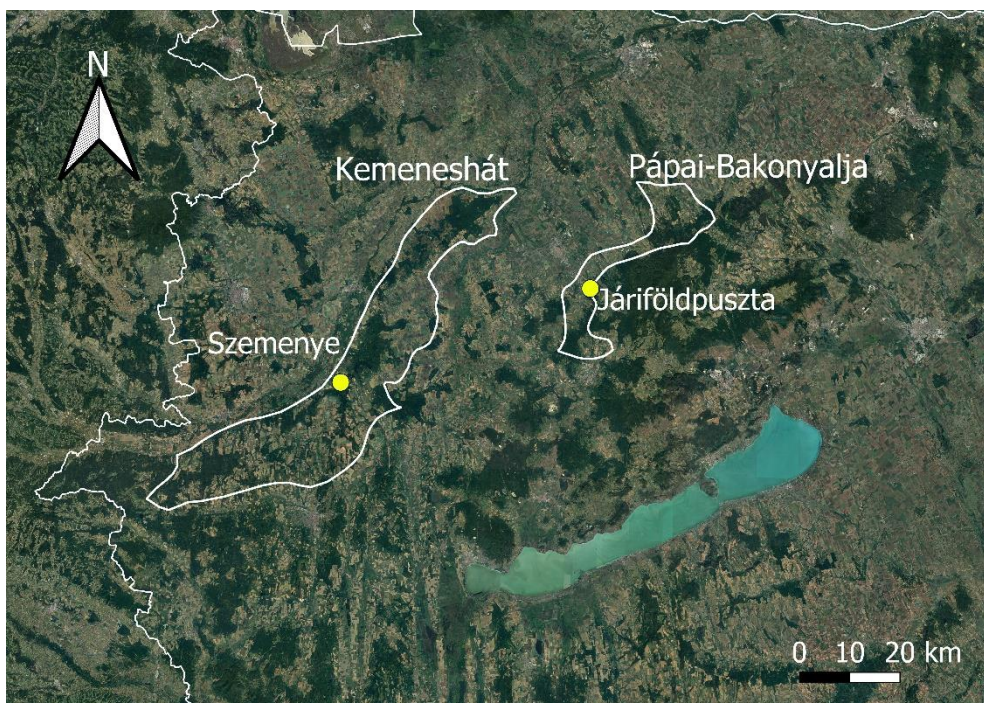


1. ábra: A szemenei homokék elhelyezkedése a még műveletlen területen, a bánya nyugati bővítése előtt

(saját szerkesztés)

Előzetesen a fenti környékről műholdas (GEP) felvételek tanulmányozásával kerestem hasonló poligonra utaló mintázatokat. Így sikerült rátalálnom a Pápa melletti Tapolcafü (Járföldpusztára) felhagyott kavicsbányájára is, ahol több homokék található egy nem aktív fejtő falában. E helyszínről nem találtam a szakirodalomban említést periglaciális vonatkozásban.

A helyszínek földtani felépítéséhez az egykori Magyar Állami Földtani Intézet 1:100 000 léptékű online földtani térképét (geomaps szerver) és a hozzá tartozó térképmagyarázót (Gyalog, 2005) vettem alapul. A szemenei kavicsbánya területét alsó és középső pleisztocén folyóvízi kavics és homok építi fel, amit a bányában személyesen is megfigyeltem (3. ábra). A járföldpusztai kavicsbányát és környezetét felső pleisztocén folyóvízi homok és kavics építi fel (4. ábra). A régebben kavicsbányaként működő terület közvetlenül a 83-as út mellett fekszik Pápa (Tapolcafü) közelében, így a megközelítés itt sem okozott nehézségeket. A szemenei lelőhely a Kemeneshát középső-nyugati területén fekszik, míg Járföldpuszta a Pápai-Bakonyalján terül el.



2. ábra: A két vizsgált táj műholdfelvételen (saját szerkesztés)



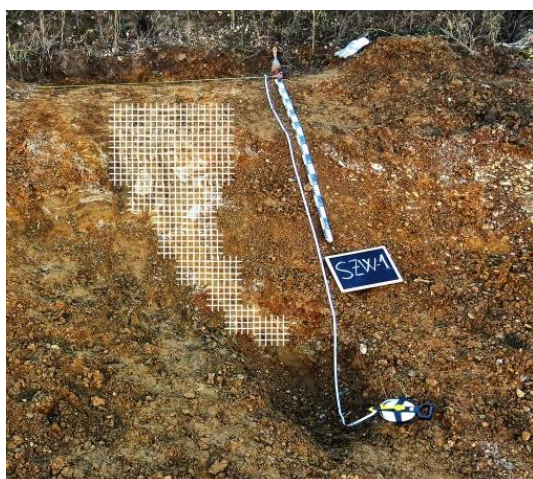
3. ábra: A szemenei kavicsbánya területe 2019-ben műholdfelvételen (Forrás: Google Earth Pro)



4. ábra: A járiföldpusztai bánya területe 2019-ben műholdfelvételen (Forrás: Google Earth Pro)

2.2. Terepi mintavétel

Standard terepi mintavételt végeztem némileg módosítva a kutatási célnak megfelelően. A mintavételre kijelölt két homokéket dokumentáltam, majd a formákat és a környezetüket megtisztítottam és lemértem. Fotókat, helyszínrajzokat, skicceket készítettem róluk. Ez segített a későbbi elemzésekben. Amennyire lehetséges volt próbáltam közel függőleges falat kialakítani és az ékek vonalára merőlegesen letisztítani a falat. Ez sajnos nem sikerült tökéletesre egyrészt biztonsági okokból, mivel többméter magas függőleges fal létrehozása omlásveszélyes. Másrészt az összecementált homokos-kavics befoglaló anyag keménységéből fakadóan. Az ékek mintázásához egy 5×5 cm-es rácshálót feszítettem ki az ék keresztmetszetének egész felületére. Ez volt az a sablon, ami alapján a mintázást végrehajtottam. A célokban tervezett részletes elemzésnek megfelelően, a kis felülethez (25 cm²) igazodva az ékekből egyenként kb. 15–25 g mintát vettem. A mintavételt az ék „aljától” felfelé és jobbról balra haladva végeztem el. Mintázás közben a mintákat egy „terepi” kóddal láttam el. Ez a járíföldpusztai homokék esetében 50 db mintát jelentett. A szemenyei homokék esetében a forma felső harmadának komolyabb szélessége (kb. 160 cm) miatt csak minden második rácshálóban mintáztam, így 217 db mintát vettem. (A mintavétel és laborfeldolgozás hosszadalmas ideje miatt ez a kompromisszum tűnt észszerűnek.)



5. ábra: Szemenyei homokék a rácshálóval (Fotó: Balogh Richárd)



6. ábra: Járíföldpusztai homokék a rácshálóval (Fotó: Varga Gábor)

2.3. Laboratóriumi módszerek

A laboratóriumi vizsgálatokat a Pécsi Tudományegyetem Földrajzi és Földtudományi Intézet Talajtani hallgatói laboratóriumában hajtottam végre. Az eljáráshoz Vaasma (2008) és Gresina (2023) publikációit vettem alapul; ezek szolgáltatták a sablont, ami mentém feldolgoztam, előkészítettem a mintáimat. A leggyakrabban használt szemcseméret-eloszlásra alkalmazott módszer a lézerdiffrakciós eljárás (Blott & Pye, 2006; Bohling, 2004; Buurman et al., 2001; Konert & Vandenberghe, 1997; McCave, et al., 2006; Punning et al., 2008; Syvitski & McCave, 1991). A lézeres szemcseméret meghatározáshoz egy Malvern Mastersizer 2000 műszer állt rendelkezésemre (7. ábra). Sajnálatos módon a műszerből beszerzése óta hiányzik a kék fényű lézer, így csak 1000 μm -ig képes mérni. Ez korlátokat és némi problémát is jelentett a méréseimnél.



7. ábra: Malvern Mastersizer 2000 a PTE TTK FFI laborjában (saját fotó)

A mintákat először szobahőmérsékleten kiszárítottam. Száradás után a mintákat kerámia mozsárban porítottam, majd a lemorzolt anyagot szitáltam. Először 2 mm-es szitával, ezt követte az 1 mm-es. A 2 mm-es szitán gyakorlatilag a begyűjtött minták egésze átesett, azaz a minták nem tartalmaznak kavics frakciót. Az 1mm-es szitán fennmaradtak apróbb növényi részek és durva homok darabkák. Utóbbiak vizsgálatától eltekintettem a műszer korláta miatt. Meg kell jegyezni, hogy bár minden mintában voltak 1 mm-nél durvább részek, de arányuk elenyésző volt, így érdemben valószínűleg nem befolyásolta a vizsgálatot.

A szitálást követően minden mintából kimértem 50–100 ml-es főzőpoharakba kb. 5–7 g anyagot. Ezután a mintákat felöntöttem egy kevés desztillált vízzel, majd ultrahanggal kezeltem őket, kb. 20 másodpercig, hogy az aggregálódott, összetapadt szemcsék széteszenek. A szerves anyagokat a mintáimból 30%-os hidrogén-peroxidot felhasználásával távolítottam el. A hidrogén-peroxid széles körben elterjedt és használt oldószer (Allen & Thornley, 2004; Schumacher, 2002). Hogy gyorsítsam a reakciót a mintákat felhevítettem kb. 70 °C-ra. Addig adagoltam a reagenst a mintákhoz, amíg nem szűnt meg a reakció. Ezután a vizsgált anyagról szárítással eltávolítottam a hidrogén-peroxidot. A karbonátok eltávolításához 10%-os sósavat alkalmaztam (Battarbee et al., 2002; Schumacher, 2002). Miután a sósavas kezelés alatt lévő minták nem mutattak reakciót, a mérés folyamata következett desztillált vizes átmosás után.

2.4. Statisztikai módszerek

A műszerből kapott nyers adatokat először a Gradistat 9.1 szoftverrel dolgoztam fel (Blott & Pye, 2001). Az eljárással részletes szemcseeloszlási jellemzőket számolt a programozott Excel tábla. További elemzést végeztem a kapott adatokon (úm. átlag, módusz, osztályozottság, D10, D50 és D90 értékek Folk és Ward módszere szerint számolva ϕ -ben megadva) RStudio 2024.09.0 szoftverrel R 4.3.1 környezetben a klaszterező *fractoextra* csomagot használva.

3. Eredmények

3.1. Terepi megfigyelések

A vizsgált szemenyei homokék a bánya egy nyugat-keleti kiterjedésű új falában található (8. ábra). A forma mélysége eléri a 3,5 m-t, míg legnagyobb szélessége a 1,5–1,6 m-t. Mivel a feltárást nem lehetett függőlegesre kialakítani, így a valós mélysége az előbbinél kisebb: kb. 2,7–2,8 m lehet. Fontos kiemelni, hogy a bányaművelés miatt a feltalajt és a fedőüledékeket mindenhol eltávolították kb. 30–60 cm mélységben, így az ék felső része is sérülhetett, azaz hiányos lehet. Így a megadott méretek min. értéknek tekinthetők. Szemből az ékből 1,3 m-nél keleti irányba egy nyúlvány ágazik ki, azaz egy poligon oldal találkozása figyelhető meg. Az ék felső 1,7 m-én világos szürkés hálózatos mintázatokat figyeltem meg, melynek az eredete inkább posztgenetikus lehet. 1,7 m-nél látható egy 10×7 cm-es folt, az ék jobb oldalán (10. ábra). Az ebből vett minta finom-közepesen finom-szemcsés, világos szürke (5Y 5/1) homok. A mellőle vett minta barnás-vöröses (10YR 4/6) árnyalatú finom homok. Az aktív bányaművelés miatt frissen megfigyelhető volt a nyugati fejtésben a homokék poligonok szép hálózata (9. ábra).



8. ábra: A bánya nyugat-keleti kiterjedésű fala (Fotó: Balogh Richárd)



9. ábra: Poligonhálózat a bányá művelési területén (Fotó: Balogh Richárd)



10. ábra: A szemenei ék mintavevő helye (saját fotó)

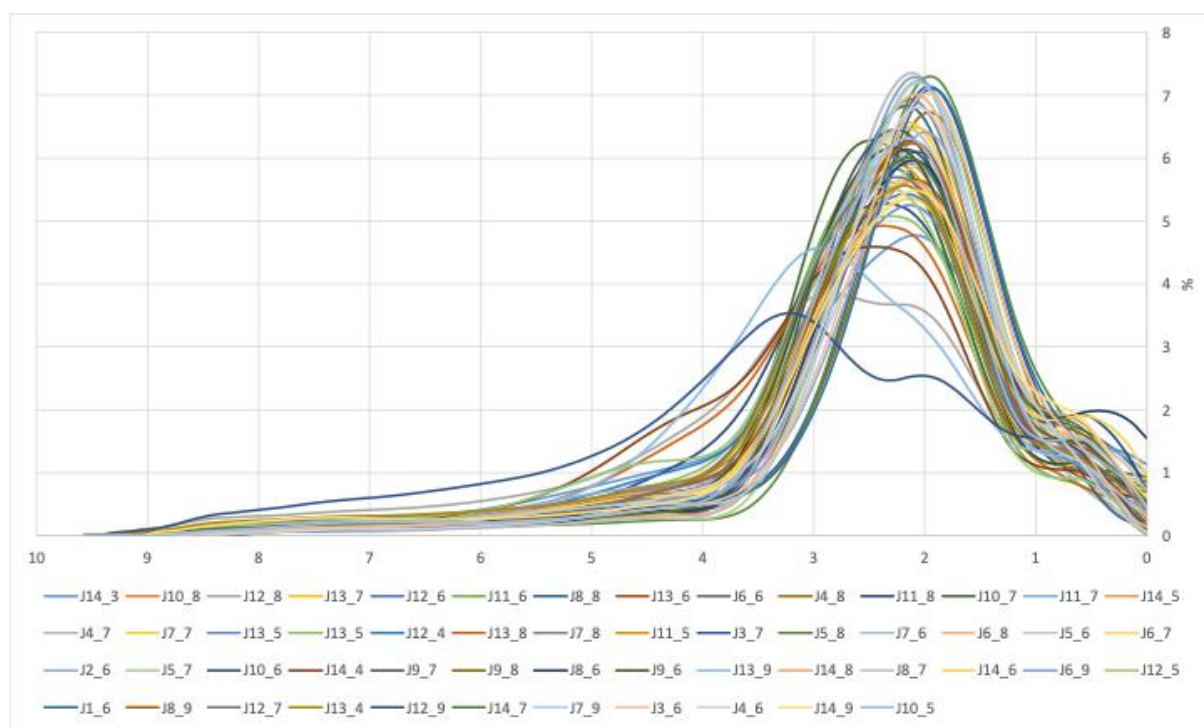
A járíföldpusztai homokék két részre osztható. A felső része 1,1 méter mély, melyben 20 és 40 cm mélységben két határozott furat volt található, melyek sejtésem szerint korábbi mintagyűjtés helyei. A körülölelő, befoglaló üledék erősen kavicsos. A kavicsok méretét tekintve nagy a szórás: a cm-estől a több cm-es kavicsokig minden megtalálható. A kavicsok mellett megfigyelhető még az üledék magas mésztartalma. Az ékből innen vett minták sárgás vöröses (5YR 4/6) és barnás (7,5YR 4/6) árnyalatúak. Az ék második része 1,4 m-nél kezdődik és 2,2 m-nél fejeződik be. Itt újra megjelent egy cementált meszes réteg. Az első rétegekből vett mintáknál megjelenik a világos sárgás barna (2,5 Y 6/4) árnyalat (11. ábra). Az ék szélessége 1,3 méter. Itt is jellemző a fedő eltávolítása, azaz a homokék paraméterei min. becslésnek fogadhatók el.



11. ábra: Járíföldpusztai ék felső rétege (Fotó: Varga Gábor)

3.2. Granulometriai eredmények

A két feltárásból összesen 270 db mintát mértem meg lézerdiffrakciós szemcse-eloszlás vizsgálattal és elemeztem ki Gradistat 9.1 szoftver segítségével. A járőföldpusztai 53 db minta döntő többsége (44 db) gyengén osztályozott finom homok (42 db), egy-egy minta esett a közepes homok (J8_6) és a nagyon finom homok (J12_9) kategóriába. A közepesen osztályozott minták (9 db) közül csak egy került a közepes homok kategóriába, a többi mind finom homok. Kilenc bimodális minta kivételével az összes unimodális, leggyakrabban 240,1 μm (22 db) és 263,3 μm (10 db) módusszal. A minták eloszlása kilenc szimmetrikus kivételével ferde, döntően enyhén (40 db) és jobbra. Az eloszlási görbék 18 esetben nagyon csúcsosak, míg 35 esetben csak kissé térnek el felfelé a normális eloszlási görbétől.

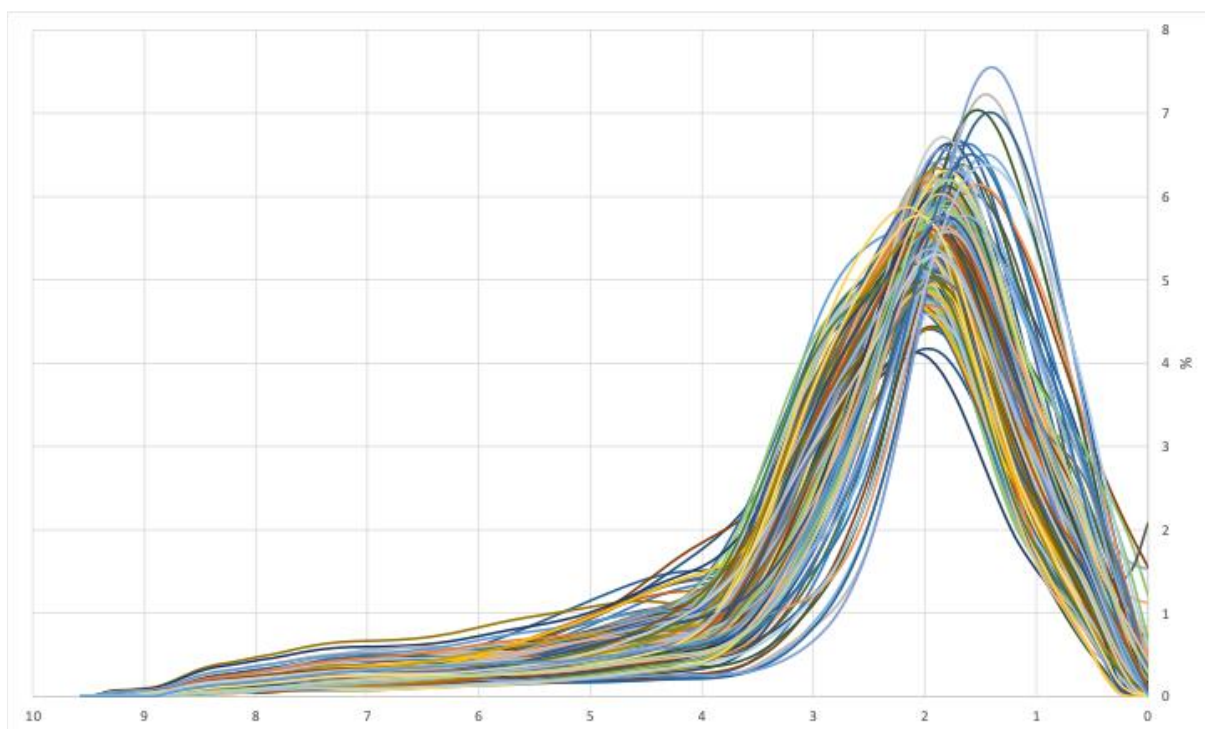


12. ábra: A járőföldpusztai minták méréséből származó eredmények görbén (saját szerkesztés)

A szemenei 217 db minta döntő többsége (211 db) gyengén osztályozott finom homok (181 db); 29 minta esett a közepes homok és csak egy (SZ32_19) a nagyon finom homok kategóriába.

A közepesen osztályozott 5 db minta közül három került a közepes homok kategóriába, a másik kettő finom homok. Egyetlen (SZ24_7) nagyon rosszul osztályozott nagyon finom homok minta

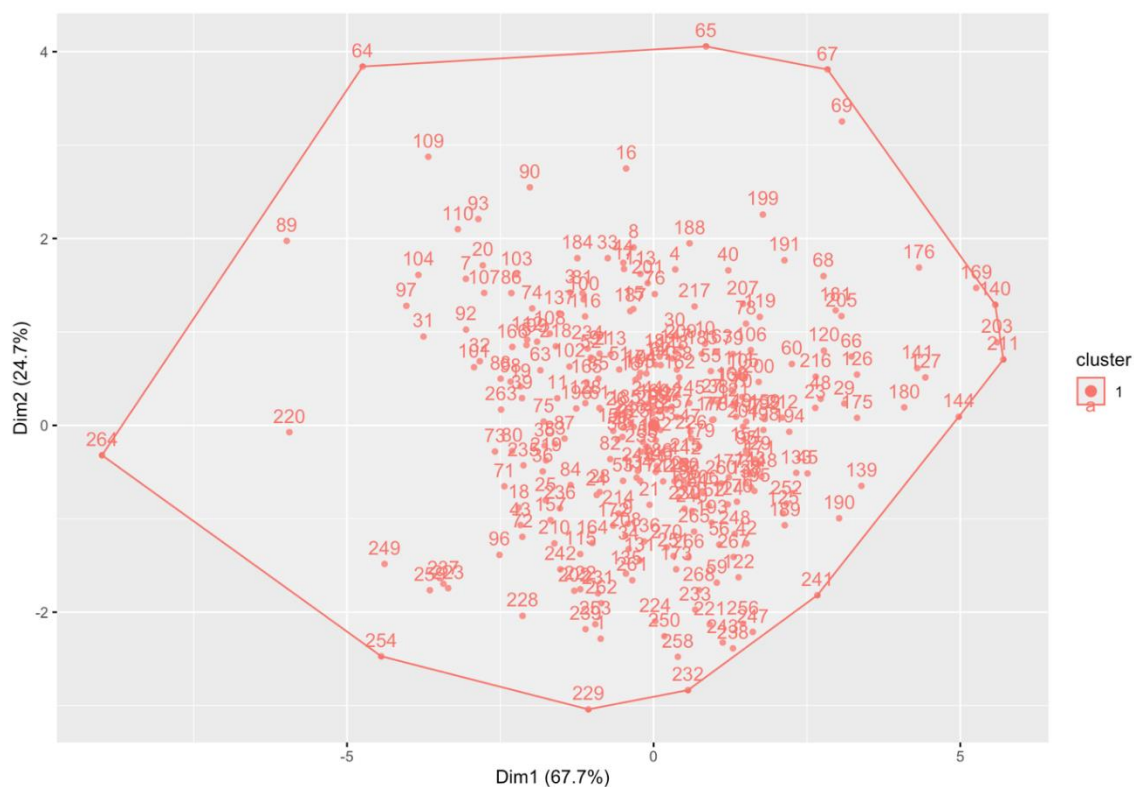
található csak a sokaságban. Három bimodális minta kivételével az összes unimodális, leggyakrabban $263,3\text{ }\mu\text{m}$ (85 db) és $288,7\text{ }\mu\text{m}$ (76 db) módusszal. Az összes minta eloszlása ferde, kb. fele-fele arányban enyhén és nagyon enyhén. Az eloszlási görbék 50 esetben nagyon, 4 esetben közepesen csúcsosak, míg 163 esetben csak kissé térnek el felfelé a normális eloszlási görbétől.



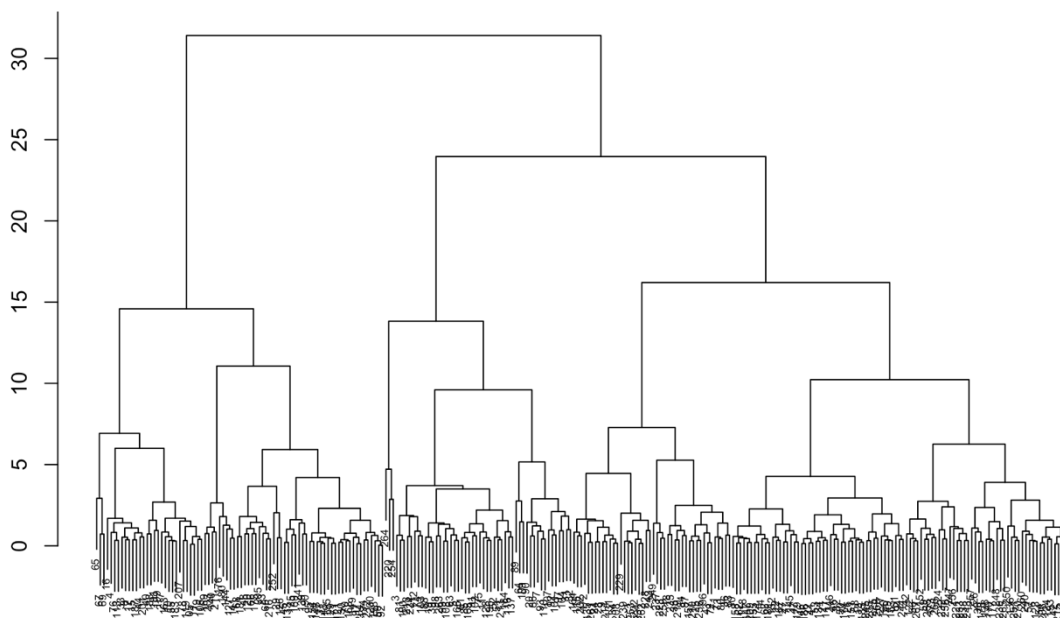
13. ábra: A szeményei minták méréséből származó eredmények görbém (saját szerkesztés)

3.2. Klaszter elemzés

A módszerek fejezetben ismertetett hat jellemző érték alapján elvégzett k-középpontos klaszterelemzés elsődlegesen egy optimális (több, mint 75%-os varianciát lefedő) klasztert határozott meg mindkét sokaságra. Sőt a két adatsort együtt vizsgálva is ugyanez az eredmény született. Ez alapján a vizsgált 270 minta jellemző paraméterei szerint nem különül el szignifikánsan csoportokra. Azaz tekinthetjük úgy, hogy a két különböző helyszínen képződött homokék kitöltő anyaga meglehetősen homogén, azok közt és azokon belül szignifikáns különbségek nem fedezhetők fel a fenti módszerekkel.



14. ábra: A minták elhelyezkedése a két fő komponens mentén gap-statisztikával egy klaszterbe rendezve (saját szerkesztés)

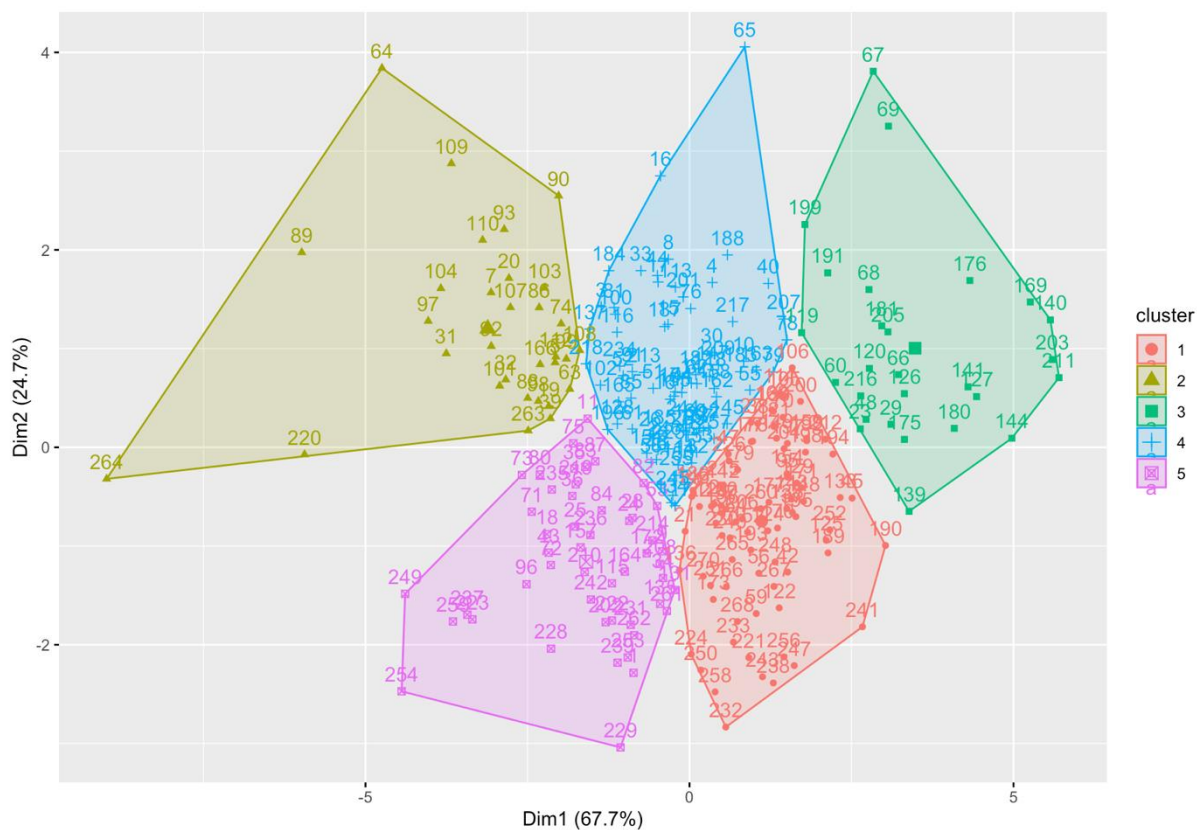


15. ábra: Az összes minta hierarchikus klaszter elemzése (saját szerkesztés)

A hierarchikus klaszterelemzéssel 14. hierarchia szinten már 5 klaszter képezhető a sokaságból, azzal a megjegyzéssel, hogy elég magas szinten (>30) olvad össze egyetlen halmazzá a sokaság. Az így képzett öt klaszterrel futtatott k-közép elemzésből a 2. klaszter

kivételével mindegyik vegyes lett, azaz a két feltárás mintáiból vegyesen épültek fel. A 2. klaszterben csak a személyei homokékból vett minták kerültek.

A 270 minta elsődleges vizsgálata nem mutatott szignifikáns különbségeket és jellegzetességeket sem a helyszínre, sem a homokéken belüli helyzetre.



16. ábra: A minták helyzete két főkomponens mentén öt klaszter esetében (saját szerkesztés)

4. Diszkusszió és konklúzió

A korábbi megfigyelések alapján és a két helyszín terepi tanulmányozásából az a véleményem, hogy a homokékek méretei jelentősen nem térhetnek el a fedő eltávolításából fakadóan. A formák méretei megfelelnek a korábbi hazai megfigyeléseknek Kovács (2007), Fábíán (2014), Farkas (2023), illetve dimenzióikban összevethetők hasonló Közép- és Nyugat-európai formákkal (Andrieux et al., 2016; Bertran, 2022; Bertran et al., 2014). Az bizonyos, hogy a járíföldpusztai ékek kisebbek, mint szemenyei társaik. Azonban a szezonális fagy övezetéből leírt formák vékonyabbak és sekélyebbek, ún. fagyerek Murton (2000), Wolfe (2018), ezért az általam vizsgált méretű ékek utalhatnak a permafroszt valamilyen fokú jelenlétére. Azaz jogosan tételezhető fel legalább a permafroszt szórványos előfordulása a Pannon-medence általam is vizsgált északnyugati részén. Ezt alátámasztják a fenti területre vonatkozó nem hazai szerzők által publikált permafroszt rekonstrukciók is (Bertran, 2022; Vandenberghe et al., 2014).

Nagyon sok esetben a szemcseösszetételi görbék nem „simulnak” ki az 1000 mikronos mérési határnál. Ennek egyik oka lehet, hogy valamilyen „kosz” maradt a mérési sorozat során a műszerben. A másik ok, ami sokkal inkább valószínű, hogy az 1 mm-es négyzethálós Fritsch szitán alakjuktól függően nagyobb szemcsék is át tudnak esni, tehát nem teljesen pontos az előkészítés és sajnos a mérés sem.

A járíföldpusztai minták sokaságából eloszlási görbéjük alapján legalább három minta „kilóg”: J13_9, J12_9 és J12_8. A szemenyei minták esetében ilyen szignifikáns eltérést nem tapasztaltam és a klaszterelemzés sem tárt fel. Előbbinek oka lehet egyszerűen valamilyen utólagos hatás a kitöltő anyagra pl. állatjárat, mivel az érintett minták egymás közelében helyezkedtek el. Érdekes az is, hogy a klaszterelemzés az érintett három mintát két külön csoportba helyezte: 4. és 5.

A kapott adatok alapján a homokékek képződésének relatíve gyors és homogén környezeti adottságai feltételezhetők. Korábbi vizsgálatok (Farkas et al., 2023) OSL koradatai alapján, valamikor a pleisztocén végi hidegmaximum végén, vagy azt követő rövid még hideg időszakban. A rendelkezésre álló homokanyagot a szél csak korlátozottan és rövid ideig mozgatta, mivel a minták rosszul osztályozottak.

6. Felhasznált irodalmak jegyzéke

- Allen, J. R. L., & Thornley, D. M. (2004). Laser granulometry of Holocene estuarine silts: Effects of hydrogen peroxide treatment. *The Holocene*, 14(2), 290–295.
<https://doi.org/10.1191/0959683604hl681rr>
- Andrieux, E., Bertran, P., Antoine, P., Deschodt, L., Lenoble, A., Coutard, S., Ajas, A., Borderie, Q., Coutard, J. P., Didierjean, F., Dousteyssier, B., Ferrier, C., Gardère, P., Gé, T., Liard, M., Loch, J. L., Naton, H. G., Rué, M., Sitzia, L., ... Vernet, G. (2016). Database of pleistocene periglacial features in France: Description of the online version. *Quaternaire*, 27(4), 329–339.
<https://doi.org/10.4000/quaternaire.7717>
- Ballantyne, C. K. (2018). *Periglacial geomorphology*. Wiley-Blackwell.
- Battarbee, R. W., Jones, V. J., Flower, R. J., Cameron, N. G., Bennion, H., Carvalho, L., & Juggins, S. (2002). Diatoms. In J. P. Smol, H. J. B. Birks, W. M. Last, R. S. Bradley, & K. Alverson (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments* (Vol. 3, pp. 155–202). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/0-306-47668-1_8
- Bertran, P. (2022). Distribution and characteristics of Pleistocene ground thermal contraction polygons in Europe from satellite images. *Permafrost and Periglacial Processes*, 33(2), 99–113.
<https://doi.org/10.1002/ppp.2137>
- Bertran, P., Andrieux, E., Antoine, P., Coutard, S., Deschodt, L., Gardère, P., Hernandez, M., Legentil, C., Lenoble, A., Liard, M., Mercier, N., Moine, O., Sitzia, L., & Van Vliet-Lanoë, B. (2014). Distribution and chronology of Pleistocene permafrost features in France: Database and first results. *Boreas*, 43(3), 699–711. <https://doi.org/10.1111/bor.12025>
- Black, R. F. (1976). Periglacial Features Indicative of Permafrost: Ice and Soil Wedges. *Quaternary Research*, 6(1), 3–26. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(76\)90037-5](https://doi.org/10.1016/0033-5894(76)90037-5)
- Blott, S. J., & Pye, K. (2001). GRADISTAT: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(11), 1237–1248.
<https://doi.org/10.1002/esp.261>
- Blott, S. J., & Pye, K. (2006). Particle size distribution analysis of sand-sized particles by laser diffraction: An experimental investigation of instrument sensitivity and the effects of particle shape. *Sedimentology*, 53(3), 671–685. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2006.00786.x>
- Bohling, B. (2004). Variations in Grain Size Analysis with a Time-of-Transition Laser Sizer (Galai CIS-50) using a Gravitational Flow System. *Particle & Particle Systems Characterization*, 21(6), 455–462. <https://doi.org/10.1002/ppsc.200400915>
- Buurman, P., Pape, Th., Reijneveld, J. A., De Jong, F., & Van Gelder, E. (2001). Laser-diffraction and pipette-method grain sizing of Dutch sediments: Correlations for fine fractions of marine, fluvial, and loess samples. *Netherlands Journal of Geosciences - Geologie En Mijnbouw*, 80(2), 49–57.
<https://doi.org/10.1017/S0016774600022319>
- Dylik, J. (1963). Magyarország periglaciális problémái. *Földrajzi Értesítő*, 12, 453–464.
- Fábián, S. Á., Kovács, J., & Varga, G. (2000). Újabb szempontok hazánk periglaciális klímájához. *Földrajzi Értesítő*, 49(3–4), 189–204.
- Fábián, S. Á., Kovács, J., Varga, G., Sipos, G., Horváth, Z., Thamó-Bozsó, E., & Tóth, G. (2014). Distribution of relict permafrost features in the Pannonian Basin, Hungary. *Boreas*, 43(3), 722–732.
<https://doi.org/10.1111/bor.12046>
- Farkas, B., Sipos, G., Bartyik, T., Józsa, E., Czigány, S., Balogh, R., Varga, G., Kovács, J., & Fábián, S. Á. (2023). Characterization and mapping of MIS-2 thermal contraction crack polygons in Western Transdanubia, Hungary. *Permafrost and Periglacial Processes*, 34(3), 417–427.
<https://doi.org/10.1002/ppp.2190>

- French, H., M. (2007). *The Peiglacial Enviroment* (Third edition). John Wiley & Sons, Ltd.
- Gresina, F., Farkas, B., Fábián, S. Á., Szalai, Z., & Varga, G. (2023). Morphological analysis of mineral grains from different sedimentary environments using automated static image analysis. *Sedimentary Geology*, 455, 106479. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2023.106479>
- Gyalog L. (Ed.). (2005). *Magyarország fedett földtani térképéhez (az egységek rövid leírása)* (Tullner T., Trans.). Magyar Állami Földtani Intézet. <https://mek.oszk.hu/08700/08714/08714.pdf>
- Kerekes, J. (1938). Fosszilis tundratalaj a Bükkben. *Földrajzi Közlemények*, 112–116.
- Kerekes, J. (1939). A pestszentlőrinci fosszilis tundratalajok. *Földtani Közlöny*.
- Konert, M., & Vandenberghe, J. (1997). Comparison of laser grain size analysis with pipette and sieve analysis: A solution for the underestimation of the clay fraction. *Sedimentology*, 44(3), 523–535. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.1997.d01-38.x>
- Kovács, J., Fábián, S. Á., Schweitzer, F., & Varga, G. (2007). A relict sand-wedge polygon site in north-central Hungary. *Permafrost and Periglacial Processes*, 18(4), 379–384. <https://doi.org/10.1002/ppp.600>
- Mackay, J. R. (1974). Ice wedge cracks, Garry Island, Northwest Territories. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 11(10), 1366–1383.
- McCave, I. N., Hall, I. R., & Bianchi, G. G. (2006). Laser vs. settling velocity differences in silt grainsize measurements: Estimation of palaeocurrent vigour. *Sedimentology*, 53(4), 919–928. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2006.00783.x>
- Murton, J. B., French, H. M., & Lamothe, M. (1998). *The dating of thermokarst terrain, pleistocene MacKenzie Delta, Canada*.
- Murton, J. B., Worsley, P., & Gozdzik, J. (2000). Sand veins and wedges in cold aeolian environments. *Quaternary Science Reviews*, 19(9), 899–922. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(99\)00045-1](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(99)00045-1)
- Pécsi M. (1961). *Periglaciális talajfagy jelenségek főbb típusai Magyarországon. IX. (LXXXV.)*(1. szám).
- Pewe, T. L. (1959). Sand-wedge polygons (tessellations) in the McMurdo Sound region, Antarctica; a progress report. *American Journal of Science*, 257(8), 545–552. <https://doi.org/10.2475/ajs.257.8.545>
- Punning, J.-M., Terasmaa, J., Vaasma, T., & Kapanen, G. (2008). Historical changes in the concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Lake Peipsi sediments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 144(1–3), 131–141. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9951-4>
- Ruszkiczay-Rüdiger, Z., & Kern, Z. (2016). Permafrost or seasonal frost? A review of paleoclimate proxies of the last glacial cycle in the East Central European lowlands. *Quaternary International*, 415, 241–252. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.07.027>
- Schumacher, B. A. (2002). *Methods for the determination of total organic (TOC) in soils and sediments*.
- Schweitzer F., Fábián S. Á., Varga G., Sipos G., & Kovács I. P. (2015). A periglaciális talajfagyjelenségek kutatása Pécsi Márton nyomán. *Földrajzi Közlemények*, 157–171.
- Sebe, K., Csillag, G., Ruszkiczay-Rüdiger, Z., Fodor, L., Thamó-Bozsó, E., Müller, P., & Braucher, R. (2011). Wind erosion under cold climate: A Pleistocene periglacial mega-yardang system in Central Europe (Western Pannonian Basin, Hungary). *Geomorphology*, 134(3–4), 470–482. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.08.003>
- Syvitski, J. P. M., & McCave, I. N. (Eds.). (1991). *Principles, Methods and Application of Particle Size Analysis* (1st ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511626142>

- Szádecky-Kardoss, E. (1936). Pleistozäne Strukturbodenbildung in den ungarischen Tiefebene und im Wiener Bechen. *Földtani Közlöny*, 22, 213–228.
- Vaasma, T. (2008). Grain-size analysis of lacustrine sediments: A comparison of pre-treatment methods. *Estonian Journal of Ecology*, 57(4), 231. <https://doi.org/10.3176/eco.2008.4.01>
- Vandenberghe, J., French, H. M., Gorbunov, A., Marchenko, S., Velichko, A. A., Jin, H., Cui, Z., Zhang, T., & Wan, X. (2014). The Last Permafrost Maximum (LMP) map of the Northern Hemisphere: Permafrost extent and mean annual air temperatures, 25-17 ka BP. *Boreas*, 43(3), 652–666. <https://doi.org/10.1111/bor.12070>
- Washburn, Albert. L. (1980). *Geocryology*. New York: John Wiley & Sons Ltd.
- Wolfe, S. A., Morse, P. D., Neudorf, C. M., Kokelj, S. V., Lian, O. B., & O'Neill, H. B. (2018). Contemporary sand wedge development in seasonally frozen ground and paleoenvironmental implications. *Geomorphology*, 308, 215–229. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.02.015>