

## **A PERIGLACIÁLIS TALAJFAGY-JELENSÉGEK KUTATÁSA PÉCSI MÁRTON NYOMÁN**

SCHWEITZER FERENC – FÁBIÁN SZABOLCS ÁKOS – VARGA GÁBOR  
– SIPOS GYÖRGY – KOVÁCS ISTVÁN PÉTER

STUDY OF THE PERIGLACIAL FROZEN GROUND PHENOMENON  
FOLLOWING MÁRTON PÉCSII

### **Abstract**

This study is a review of Hungarian research on the periglacial frozen ground phenomenon emphasising the works of Professor Pécsi. The extent and attributes of the periglacial zone and features has been discussed since Szádeczky-Kardoss identified the first periglacial relics in Hungary. Unfortunately, according to the results of international research in the last decade, there is also some uncertainty on the last European permafrost maximum. The main goal of this paper is to evaluate former national research and to provide new insights into the current state of understanding on periglacial ground features in Hungary. Former studies on wedge shaped frost features were reinterpreted and compared to international standards. Ice and frost wedge casts were detected as relict sand wedges as proxies of the DPZ or the SPZ. Although several authors depicted the southern limit of the past permafrost zone as crossing the Pannonian Basin, the certain ground frost evidences of CPZ are still missing. Based on the estimated old relative and new numerical ages, the relict sand wedges were formed in the late Pleistocene during the LGM.

**Keywords:** cryoturbation, sand wedge, permafrost, Hungary

### **Bevezetés és célkitűzés**

E tanulmány a PÉCSI MÁRTON akadémikus születésének 90. évfordulójára rendezett emlékülésen elhangzott előadás kibővített írásbeli változata. A szerzők ezzel a tanulmánnyal tisztelegnek a neves professzor nemzetközi szinten jegyzett, mind a mai napig elismert, a periglaciális jelenségek, folyamatok tudományos megismerését célzó munkássága előtt. PÉCSI MÁRTON 1961-ben e témából írta és védte meg (1962) disszertációját a tudományok doktora fokozatért „A negyedkori korráziós folyamatok hatása a felszínalakulásra és az üledékképződésre Magyarországon” címmel. Érdekes módon az értekezés könyv formában csak 35 évvel a védelem után, 1997-ben jelent meg (PÉCSI M. 1997). A periglaciális formák és folyamatok kutatása cseppet sem vesztett aktualitásából, mert egyrészt a jelenlegi periglaciális övezetben egyre aktívabb társadalmi-gazdasági tevékenység folyik (pl. Kanada, Oroszország), másrészt napjaink intenzívebbé váló klímaváltozásának megértéséhez elengedhetetlen a múltbeli események ismerete. A klímamodell-számítások sem csak a jövőt firkézik, hanem a múltra vonatkozóan is készítenek forgatókönyveket (SAITO, K. et al. 2013), arra keresve a választ, hogy miként változott a földi klímarendszer, például a pleisztocénben.

A Föld periglaciális térségeinek kutatása ma már a geomorfológia klasszikus területének számít. CHOLNOKY J. (1911) jelen volt a születésénél, a híres XI. Geológiai Kongresszus (Stockholm) Spitzbergákon rendezett terepbejárásán. Magát a periglaciális kifejezést először a lengyel ŁOZINSKI, W. (1909) alkalmazta azokra a jégkörnyéki területekre, amelyeken a fagy hatása sajátos morfológiai arculatot eredményez; egyszerűsített értelemben e fogalommal vertikálisan a hó- és a fahatár közötti területeket, horizontálisan a belföldi jégtakaró előterében kialakuló tundrazónát jelölte. Mivel a fagyváltozékonyság hatása a klasszikus permafrost jelenség nélkül is érvényesül, ezért MULLER, S. W. (1943) beve-

zette a valódi periglaciális terület fogalmát, ahol már a permafrost is megjelenik. Bár a periglaciális elnevezés – nem kis részben DYLIK, J. (1964) munkásságának köszönhetően – az 1960-as évektől elfogadottá vált, használata mégis problematikus, mert területet (földrajzi kiterjedést), folyamatot és formát is értünk rajta.

FRENCH, H. M. (2007) szerint legalább két kritérium szükséges a periglaciális környezet értelmezéséhez. Az egyik a fagyás-olvadás periodikus váltakozása (TRICART, J. 1968), a másik a permafrost jelenléte (PÉWÉ, T. L. 1959). Bár a permafrost és a periglaciális nem egészen szinonim kifejezések, a kutatók mégis gyakran használják ezeket azonos értelemben, ami gyakran félreértésekhez vezet (GÁBRIS GY. 2007). A fogalmak tisztázását csak tovább bonyolította, hogy a kezdeti kutatások jórészt az egykori (fosszilis) periglaciális területeken folytak, ahol a reliktum permafrostnak mind D-i irányú, mind mélységi kiterjedése nehezen becsülhető. A recens permafrost területekre behatoló mindennapi emberi élettel együtt megjelenő létesítmények megkövetelték e térszínnek jobb megismerését, ami jelentős tudományos előrelépést is jelentett (PÉWÉ, T. L. 1969; WASHBURN, A. L. 1979). Az utóbbi időben viszont – az űrkutatás fejlődésével és a Földön kívüli élet keresése során – már más planétára is kiterjedtek e vizsgálatok (MELLON, M. T. 1997; MELLON, M. T. et al. 2008; SCHWEITZER, F. 2008; LEVY, J. S. et al. 2009, 2010).

A periglaciális környezet – annak ellenére, hogy a globális felmelegedés okozta fokozódó degradációja jelentős mértékűvé vált – ma a kontinensek kb. 25%-át fedi le (FRENCH, H. M. 2007; GÁBRIS GY. 2007; DOBINSKI, W. 2011). Ezeket a területeket a vegetáció, a tengerszint feletti magasság és a permafrost elterjedése, jellege szerint különféle zónákba sorolják (BLACK, R. F. 1973; BOCKHEIM, J. G. – TARNOCAI, C. 1998). Elterjedési területe alapvetően három részre, folyamatos, szaggatott és szórványos (szigetszerű) zónákra tagolható. A folyamatostól a szigetszerű megjelenésig mélysége, több százról néhány méterre csökken, míg az aktív övezet vastagsága néhány 10 cm-ről 2–3 méterre folyamatosan növekszik. A permafrosttal jellemzett területeket az ún. szezonálisan mélyen ( $\geq 1$  m) átfagyott földek zónája övezi. Jelenkori megfigyelések, modellkísérletek és számítások alapján a szezonális fagy mélysége elérheti a 1,5–1,8, extrém esetekben akár a 2 m-t is, ami a talaj szerkezetének és szemcseeloszlásának, valamint a felszín lejtésének függvényében változhat. Az értelmezést tovább bonyolítja, hogy több szakirodalmi forrás a permafrost nélküli, csak időszakosan, szezonálisan átfagyó zónát is aktív övezetnek tekinti. A közelmúltban (MIS 2) az É-i félteke kontinenseinek nagy kiterjedésű belföldi jégtakaróihoz igazodva, így Európában is, még jóval nagyobb területeken, alacsonyabb szélességeken uralkodhatott az „állandóan fagyott” föld (VANDENBERGHE, J. – PISSART, A. 1993; TARNOCAI, C. – SCHWEITZER, F. 1998; HUTCHINSON, J. N. 2010). Ezt figyelembe véve, az egykori periglaciális területek aránya a Földön még további 20–25%-ra becsülhető (FRENCH, H. M. 2007).

Meg kell jegyezzük azonban, hogy a permafrost fogalma is vitatott a szakirodalomban (DOBINSKI, W. 2011). Egyszerűsítve talán úgy lehetne fogalmazni, hogy olyan, a földfelszín alatt, legalább két éven keresztül fennálló hőmérsékleti állapot, amikor a hőmérséklet nem haladja meg a  $0^{\circ}\text{C}$ -ot, az adott terület feletti levegő évi középhőmérséklete pedig alacsonyabb, mint  $-1^{\circ}\text{C}$ , mert a talaj általában melegebb, mint felette a levegő hőmérséklete. A permafrost környezet hőmérsékleti indikátoraként a levegő évi középhőmérsékletét vagy a leghidegebb hónap középhőmérsékletét, esetleg a talaj hőmérsékletét is szokták használni (WASHBURN, A. L. 1979).

Hazánkban SZÁDECZKY-KARDOSS, E. (1936) ismerte fel először, hogy a Kisalföld és a Bécsi-medence folyóvízi üledékeiben megfigyelhető zsákos kavicsok és bemélyedések a pleisztocén periglaciális környezetnek köszönhetően alakultak ki. E felismerés után sorra jelentek meg különböző szerzők tanulmányai az egykori periglaciális klíma nyomairól. Ki kell emelni KERÉKES J. (1938, 1939, 1941) munkáit, aki a kavicssteraszokon (pl.

Pestszenterzsébet) megfigyelhető ék alakú bemélyedéseket „jégék”-ek maradványaként írta le. A későbbi kutatások során (pl. KRIVÁN P. 1958; DYLIK, J. 1963) inkább a recens permafrost területekhez (pl. Észak-Szibéria) hasonlították Magyarországi „jégkori” klímáját (1. kép). A megfigyelt jelenségeket PÉCSI M. (1961a, 1964, 1997) összegezte és saját kiegészítéseivel országos kitekintésben jellemezte a periglaciális környezetet és annak lehetséges pleisztocén idejét. Véleménye szerint az aktív övezetben (2–4 m) képződött formák alapján az évi középhőmérséklet  $-2, -3^{\circ}\text{C}$  lehetett. A későbbi munkákban tovább folytatták e jelenségek leírását (pl. TÖRÖK E. 1962; SCHEUER Gy. 1969, 1970; PINCZÉS Z. 1991; TARNOCAI, C.–SCHWEITZER, F. 1998; FÁBIÁN Sz. Á. et al. 2000), egyszersmind próbálták következtetni a paleoklímára is. SZÉKELY A. (1969, 1973a, 1973b, 1977) és PINCZÉS Z. (1977, 1983) szélesebb kitekintésben vizsgálták a fagy hatását és több folyamatot figyelembe véve adtak átfogó jellemzést hazánk periglaciális felszínalakulásáról. Ugyanakkor a hazai kutatók igen korán szembesültek azzal a problémával, hogy az egyes megfigyelt talajfagy-jelenségek különböző paleokörnyezeti viszonyokat feltételeznek.



1. kép A PÉCSI M. (1997) és DYLIK, J. (1963) által is közölt híres atkári feltárás (ma felhagyott szeméttelép) É-ra néző falában még látható „csepptalaj” a feltételezhető krioturáció nyomaival (fotó: FÁBIÁN Sz. Á.)

Photo 1 A drop soil with the traces of cryoturbation at Atkár in the north-facing wall of a famous site (nowadays an abandoned garbage dump) published also formerly by PÉCSI M. (1997) and DYLIK, J. (1963) (photo by FÁBIÁN, Sz. Á.)

Jelen tanulmány egyik célja, hogy a korábban permafrost-indikátornak tekintett és a Pannon-medence számos területéről leírt „fagyékek” korszerű értelmezésével összegezzék az e formákra vonatkozó ismereteinket. Ennek egyik legnehezebb része a korábban dokumentált feltárások újbóli értékelése, revidálása, mert ezek jórészt kavics- és homokbányákhoz kötődnek, amelyek igen gyorsan átalakulnak a folyamatos művelés vagy épp a felhagyottság miatt. Jellemző az is, hogy e feltárások pontos helyét akkoriban nem közölték, jó esetben leg-

alább a település neve szerepel a tanulmányokban. Az évek során az egyes formákra vonatkozó megnevezések „kusza” rendszere alakult ki, ezért megkíséreljük a modern szakirodalom felhasználásával ezeket újraértelmezni. Ez azonban nem egyszerű, mert az 1950–60-as években a formák képszerű leírásán túl nem sikerült genetikájukat is feltárni. Mint DYLIK, J. (1963, p. 456.) megfogalmazta: „... az ’üstszerű homokzsák kavicsfészkekkel’ kifejezés merőben leíró jellegű és semmit sem árul el a képződmény létrejöttéről. Ugyancsak a ’hordó alakú óriáspolygonok’ kifejezést is kerülni kell. Nagyon nehéz elképzelni sokszögűre kidolgozott talajt, ha szomszédságában a jelenlegi forma felhalmozódásmódja látható. A ’kőkör’ (Steinring) fogalom is felette bizonytalan, és nagyon gyenge, kétséges megjelölésmódja a hasonló, Magyarországon a periglaciális ’szerkezetek’ megjelölésére használt fogalmaknak.”

További célunk a szakirodalomban található különféle javaslatok, becslések és modellszámítások, valamint korábban közölt adatok segítségével megbecsülni e talajfagy-jelenségek, illetve a periglaciális környezet tér- és időbeli kiterjedését hazánkban. A térbeli-ség vizsgálatához PÉCSI M. (1961a) térképét vettük alapul, amit kiegészített és átdolgozott formában FÁBIÁN, S. Á. et al. (2014) is közöltek. Erre illesztettünk rá egy olyan – négy kutató „véleményét” ábrázoló – térképet, amely a permafrost D-i határát jelöli az utolsó glaciális maximum (LGM) idején (vö. 4. ábra in VANDENBERGHE, J.–PISSART, A. 1993, p. 127.). Az alaptérképre VAN VLIET-LANOË, B. et al. (2004) paleopermafrost-térképét és a VANDENBERGHE, J. et al. (2004) által értelmezett PEP III projekt javasolt határvonalát is ráfeszítettük. Mindezt a QGIS 1.6.0.2. geoinformatikai szoftverben pont a ponthoz illesztés (*Helmert transzformáció*) segítségével georeferáltuk. Az így előállított digitális állományokról a permafrost feltételezett határait digitalizáltuk, majd az egyes térképi információk végleges szerkesztését *Inkscape (0.48)* rajzoló szoftverben végeztük el.

Meg kell jegyezzük, hogy a tanulmánynak nem célja a hazánkban található teljes periglaciális formakincs vizsgálata, csak a szűken értelmezett talajfagy-jelenségekre, „fagyékekre” koncentrálni.

## A hazai periglaciális talajfagy-jelenségek (újra)értelmezése

A Pannon-medencében kialakult talajfagy-jelenségeket PÉCSI M. (1961a, 1997) dolgozta fel eddig a legteljesebb formában. Már kezdeti munkáiban is tetten érhető, hogy a talajfagy hatására kialakult periglaciális jelenségek formatípusairól nem csak leíró jellemzést nyújtott, hanem a kialakulás idejét és a típusok morfológiai helyzetét, illetve a közöttük levő összefüggéseket is igyekezett tisztázni. E törekvését azonban sem ő, sem az őt követő kutatók a mai napig nem tudták megnyugtatóan megvalósítani.

PÉCSI M. (1961a, 1964) formatípus-jellemzése részletesnek tűnik, de épp az itt jelentkező hiányosságok és az egyes típusok megnevezésének következtelen, pontatlan használata (pl. jégék vagy fagyék) nehezítik az összehasonlíthatóságot. Emellett sok, általa kutatót és leírt feltárás ma már nem is létezik, ami az utólagos módosítás (helyesbítés?) lehetőségét is kizárja. Általános elterjedésűek, gyakoriak a következő típusok: fagyék, rogyott fagyék, fagyzsák, zsákos betüremlődés, kavicspolygon, kriodepresszió és jégék. Ezek mellett a nyugat-magyarországi és a kisalföldi kavicsösszletekben nagyobb méretű, szabályosabb és változatosabb formák jelennek meg, úgymint fagyerek, óriás polygonok, makropolygonok, üstszerű, szabályos polygonok, hidrolakkolitok, puttony formájú homokzsáktalajok, fagyárkok, hordó alakú agyagtömbök, jellegzetes tompaszögű rétegbehajlások. PÉCSI M. (1961a, 1964, 1997) geomorfológiai helyzetük, megjelenésük és relatív koruk alapján rendszerezte ezeket a formákat: fiatal (II/a, II/b) és idős teraszokat (III, IV és V), hordalék-kúp-teraszokat, valamint homokfelszíneket és agyagos felszíneket különített el (*1. táblázat*).



Különböző geomorfológiai helyzetben megjelenő „talajfagy-jelenségek”  
PÉCSI M. (1961a, 1964) szerint  
Occurrence of frozen ground phenomena in different geomorphic settings  
according to PÉCSI, M. (1961a, 1964)

Morfológiai megjelenés	Az előfordulás helye	A forma megnevezése
II/a	Pesti-síkság, Bükkalja	fagyék, rogyott fagyék homokkal kitöltve, zsákos betüremlődés
II/b	Pesti-síkság, Mátraalja, Mosoni-sík	fagyék, fagyzsák, kavicspoligon, kriodepresszió
terasz III, IV és V, hordalékkúp	Pesti-síkság, Komárom–Esztergomi-sík	fagyék, fagyzsák, jégék, belső/fedett krioturbáció
	Kemeneshát, Sopron–Vasi-síkság	zsákok, fagyékek, fagyerek, óriás poligonok, makropoligonok, üstszerű, szabályos poligonok, hidrolakkolitok, puttony formájú homokzsáktalajok, fagyárcok, hordó alakú agyagtömbök, tompaszögű rétegbehajlás
homokfelszín	Belső-Somogy, Illancs	homokzsáktalaj, kovárványos homokzsáktalaj, vályogos homokzsáktalaj
agyagos felszín	Alföld	virágfüzérés talaj, csepptalaj, kévetalaj, fésűstalaj, mésszel kitöltött fagyerek

Mint fentebb idéztük, már DYLIK, J. (1963) is megállapította, hogy e megnevezés-kavalkád csupán az egyes feltárások változatos formavilágának pusztá leírása, a genetika nem jelenik meg benne. Ilyenek pl. a híres ostffyasszonyfai „hordó alakú óriás kavicspoligonok”. A poligonokról készült vázlatokat és fényképeket PÉCSI M. többször közli (2. táblázat) különféle megnevezéssel és értelmezésben (vö. 7. ábra in PÉCSI M. 1961a, p. 8.; 7. ábra in PÉCSI M. 1964. p. 149.; 22. ábra és 17. kép in PÉCSI M. 1997 p. 39. és 203.). A legteljesebb fejlődéstörténeti rekonstrukció az 1964-ben a Biuletyn Peryglacjalny folyóiratban angolul megjelent vázlatához tartozik (PÉCSI M. 1964), amelyben idős riss korú képződményként írja le ezt a fiatalabb kavicszsákok és rogyott fagyékek (würm glaciális) alatti, egy deráziós völgy hátrálása nyomán feltáruló formát.

Az ostffyasszonyfai feltárás „krioturbációs” nagyformájának megnevezései PÉCSI M. szerint, a hivatkozott tanulmányok szövegében és az ábrák, képek aláírásában  
Denomination of cryoturbated forms at the Ostffyasszonyfa site in the cited papers according to PÉCSI, M.

A kemenesháti kavicsstakaró talajfagy-jelensége, Ostffyasszonyfa	kavicsfészkes üstszerű homokzsák (1961) hordó alakú óriás kavicspoligon (1997) hordó alakú óriáspoligon (1997) kavicsgyűrűs óriáspoligon (1997) hordó alakú makropoligon (1964) óriáspoligon (1964)
--	--

Külön érdekessége az ábrának, hogy FRENCH, H. M. (2007) is típuspéldaként közli a bizonytalan eredetű üledék-deformációkra (vö. 12.11. C ábra in FRENCH, H. M. 2007, p. 324.). A megnevezés- és értelmezés-kavalkád nem egyedülálló a periglaciális reliktumformák kutatásában: Európában és Észak-Amerikában több szerző ír le hasonló formákat, amelyeket hasonló megnevezéssel illetnek. E képződmények (pl. kavicspoligonok, óriás poligonok, makropoligonok, üstszerű, szabályos poligonok, puttony formájú homokszáktalajok, hordó alakú agyagtömbök és tompaszögű rétegbehajlások) rendkívül elterjedtek hazánkban, mégsem szolgálnak perdöntő bizonyítékként a permafrostra vagy épp a szezonálisan mély talajfagyra vonatkozóan (VAN VLIET-LANOË, B.–HALLEGOUËT, B. 2001; FRENCH, H. M. 2007).

Nagyon gyakori – még a legfrissebb magyar szakirodalomban is – a „fagyék” elnevezés, azonban használata pontatlan és következtelen (SZÉKELY A. 1993; LÓCZY D. 2005; GÁBRIS GY. 2007; MEZŐSI G. 2011). Ennek az az oka, hogy szinte minden ékszerű bemélyedést így írtak le korábban, függetlenül a képződmény jellegzetességeitől. Megkülönböztetést csak a kitöltő anyag (agyag, lösz) szerint tettek. A modern periglaciális szakirodalom szerint összefoglalóan „termális kontrakciós repedések” néven nevezett képződmények (magyarosabban talán fagyási repedések, vagy fagyrepedések) három típusba sorolandók, úgymint jégékek, homokékek és talajékek, amelyek jelentősen eltérő környezeti feltételek alatt képződhetnek.

A folyamatos permafrost zóna egyértelmű környezetjelzői a jégékek (HARRIS, S. A. 1982). A téli félévben a földfelszín megreped és a gyakran poligonális repedéshálózatot a benne megfagyó víz egyre jobban szétfeszíti. A befogadó üledék rétegei a jégék pereme felé közeledve felhajlanak. A jégékek fejlődését recens folyamatos permafrost területeken vizsgálva azt tapasztalták, hogy repedéseik kinyílása nem éves ritmusban történik. Sőt, térben és időben jelentős eltérések figyelhetők meg a PÉWÉ, T. L. (1966) és ROMANOVSKIJ, N. N. (1985) által felvázolt klasszikus évi középhőmérsékleti, vagy területi elterjedéshez képest. A felszíni repedések szezonális kialakulása területenként változó: novembertől februárig, sőt akár márciusban is képződhetnek (MACKAY, J. R. 1993). A környezetet egyéb tényezői, mint a talaj szerkezete, a humiditás, a növényzet- és hóborítás sokkal nagyobb hatással vannak a repedések megjelenésére, mint csupán a hőmérséklet változása (MACKAY, J. R. 1992). Épp ezért javasolja MURTON, J. B.–KOLSTRUP, E. (2003), hogy az orosz és kanadai terepi mérések és megfigyelések ellenére se használjuk e képződményeket hőmérsékleti indikátorként, s főleg ne a pleisztocén klíma jellemzésére. További probléma, hogy az eredeti ékszerű forma megőrződésére a termokarsztos folyamatok miatt nem volt esély, ellentétben a részben vagy teljesen jégmentes fagyrepedés-típusokkal. Az egykori kioldódó jégékek oldalfala lépcsősen beszakad (BLACK, R. F. 1976) vagy a jégék helye többé-kevésbé vízszintesen rétegzett üledékkel töltődik ki (HARRIS, C.–MURTON, J. B. 2005).

A fagyrepedések gyakran szinte tisztán homokkal töltődnek ki, ezeket PÉWÉ, T. L. (1959) homokékeknek nevezte el. E formákat mind a folyamatos, mind a szaggatott permafrost, sőt esetenként a szezonálisan mélyen átfagyott területekről is leírták. Az mindenesetre bizonyos, hogy képződésükhöz száraz környezetre van szükség; csekély vagy még inkább hiányzó hóborítás és igen gyér növényzet mellett fejlődnek, ahol erős eolikus aktivitás jellemző (MURTON, J. B.–BATEMAN, M. D. 2007; MURTON, J. B. 1990; MURTON, J. B.–FRENCH, H. M. 1993). Gyors és jelentős lehűléskor a felszínen repedések jelennek meg, amelyek (felülnézetben) általában poligonális hálózatot alkotnak. E repedésekbe hullik a szél által szállított homok, amely megakadályozza az ék kiinduló állapotig tartó összezáródását egy később bekövetkező felmelegedés során (BOCKHEIM, J. G. et al. 2009). HARRIS, S. A. (1982) vizsgálatai szerint a poligonális fagyrepedések megjelenése a befogadó üledék vízmegtartó képességétől függően a szórványos permafrost zónától a folyamatosig szinte mindenhol megfigyelhető. Homokos, kavicsos alapon hidegebb, agyago-

sabb talajon kevésbé hideg viszonyok között alakulnak ki. A homokékek kitöltő anyaga vertikálisan rétegzett, ami a periodikus felnyílási fázisokat bizonyítja (2. kép). E fontos genetikai bélyeg jól alkalmazható az egykori periglaciális területek vizsgálatakor (BLACK, R. F. 1976; HUTCHINSON, J. N. 2010). A permafrostmentes területeken megfigyelt formák általában sekélyebbek, keskenyebbek (inkább erek, mint ékek) és rétegzetlen kitöltésük egy felnyílást tükröz. Továbbá hiányzik a befoglaló üledékben a homokék peremeihez közeledve felhajló rétegzettség, ami viszont a permafrost területeken jól megfigyelhető (MURTON, J. B. et al. 2000).



2. kép A legnagyobb (370 cm mély) homokék több függőlegesen és markánsan elkülönülő (5a, 5b) kitöltő üledéke (fotó VARGA G.).

5a – durvább és idősebb kitöltés, 5b – finomabb és fiatalabb kitöltés, 6 – befoglaló üledék (áthalmozott paleotalaj?)

Photo 2 The largest sand wedge (in depth 370 cm) filled with different vertically laminated sediments (photo by VARGA, G.).

5a – coarser and older fill, 5b – finer and younger fill; 6 – enclosing sediment (reworked paleosol?)

A permafrost zónán kívüli, szezonálisan mélyen átfagyott területeken jellemző, ún. talaj- vagy földékek általában nem érik el az 1,5–2 m mélységet és szélességük is maximum 30–50 cm. Kitöltő anyaguk valamilyen talaj vagy talajszerű képződmény a befogadó üledékösszlet tetejéről. E befogadó üledékek rétegei az ékperemnél lefelé hajlanak vagy a jellegzetes réteghajlások teljesen hiányoznak. Keresztmetszeti formáját tekintve a talajék sokszor inkább üstszerű megjelenésű (FRENCH, H. M. 2007).

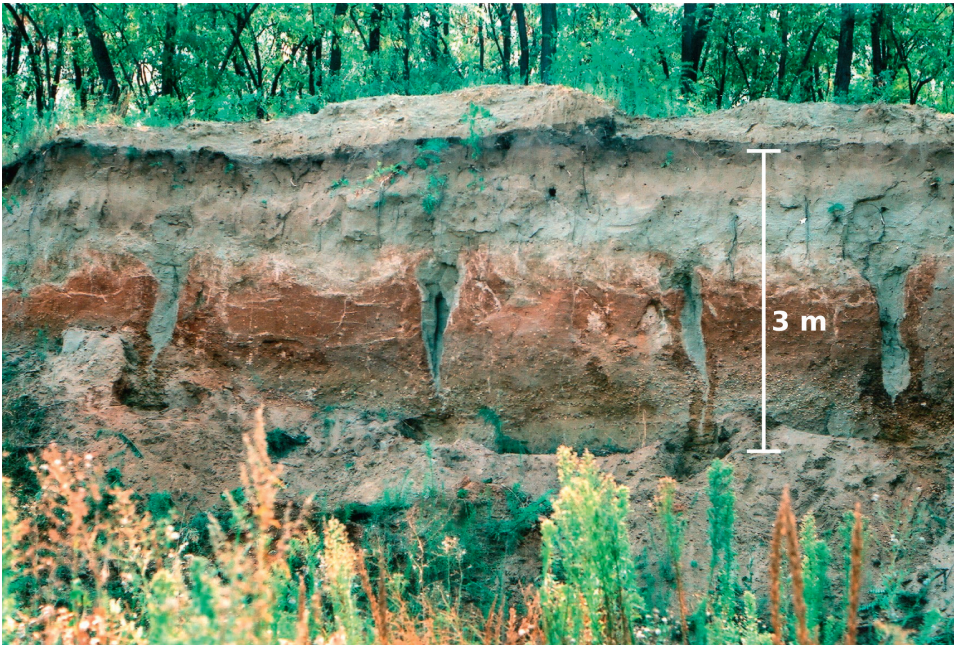
Hazánkra vonatkozóan néhány közleményben megjelenik a „jégék” kifejezés (pl. KERÉKES J. 1939, 1941; PÉCSI M. 1997), amin fosszilis vagy egykori jégékeket értenek. Azonban a leírások, a közölt ábrák és fotók alapján ezek nem tűnnek valódi jégékek maradványainak (jégék-pszeudomorfozációnak), döntő többségük genetikai értelemben valójában homokék. Emellett a közkezdelt „fagyék” megnevezés alatt összefoglalt formák jelentős része inkább homokékként értelmezhető. A sekély ( $\leq 1$  m) üst vagy zsák formájú bemélyedéseket viszont, említett sajátosságaik miatt, talajékeknek tekintjük.



Úgy véljük, hogy a modern nemzetközi szakirodalmi adatok és példák alapján a homok-ékekre jellemző, fent említett kritériumok közül ki kell emelni a poligonális megjelenést, a kitöltő anyag vertikális rétegzettségét és a befogadó üledék felhajló rétegeit. Ezek közül bármelyik előfordulása esetén feltételezhető legalább a szigetserű permafrost megléte a képződés során (HARRIS, S. A. 1982).

A korábban publikált többi, szinte kihámozhatatlanul kaotikus talajfagyjelenség-leírás közül egyiket sem tartjuk perdöntőnek a permafrost létének megítélésében. Ugyancsak problematikus a hazai szakirodalomban a talajfagy-jelenségek epigenetikus vagy szingenetikus besorolása. A korábban közölt ábrák és fotók alapján e formák sokkal inkább tűnnek epigenetikus, mintsem szingenetikus képződményeknek. Már csak azért is, mert az újraértelmezés szerinti ékszerű formák, homok- vagy talajécek sem mutatják a szakaszos vertikális növekedés jegyeit.

A talajfagy-jelenségeket természetes feltárásokból, de még inkább kavics- és homokbányákból írták le a kutatók. E jelenségek felismerését a gyakran több méter mélyen elmesztett felszín tette lehetővé, viszont leírásukkor csak a legritkább esetben rögzítettek, hogy a feltárás síkja milyen módon metszi el a térbeli formát. Ez azért fontos, mert a fagyék-poligonok formáját, méretét leíró adatok a metszés módjától függenek (MACKAY, J. R. 1977). A korábban részletesen vizsgált mogyoródi kavicsbánya (FÁBIÁN SZ. Á. et al. 1998, 2000) rekultivációjának épp e ritka, kivételesen jól felismerhető és tanulmányozható formák estek áldozatul (3. kép). A későbbi (FÁBIÁN, S. Á. et al. 2014) vizsgálatok során



3. kép A mogyoródi homokék-poligonok a juhállási kavicsbánya falában kb. 10 évvel ezelőtti állapotukban (fotó VARGA G.)  
Photo 3 Sand wedge polygons in the wall of Mogyoród-Juhállás gravel pit, 10 years ago (photo by VARGA, G.)

munkagép segítségével újra feltárt bányafal az eredetihez képest már lényegesen eltérő profilképet mutatott (4. kép). Ezért a régi adatok újraértékelése – még akkor is, ha a formát hordozó korábbi feltárás ma is vizsgálható – mindig bizonytalan.





4. kép Az újra feltárt mogyoródi homokék-poligonok 2010-ben (fotó VARGA G.)  
 Photo 4 A re-explored sand wedge polygon at Mogyoród in 2010 (photo by VARGA, G.)

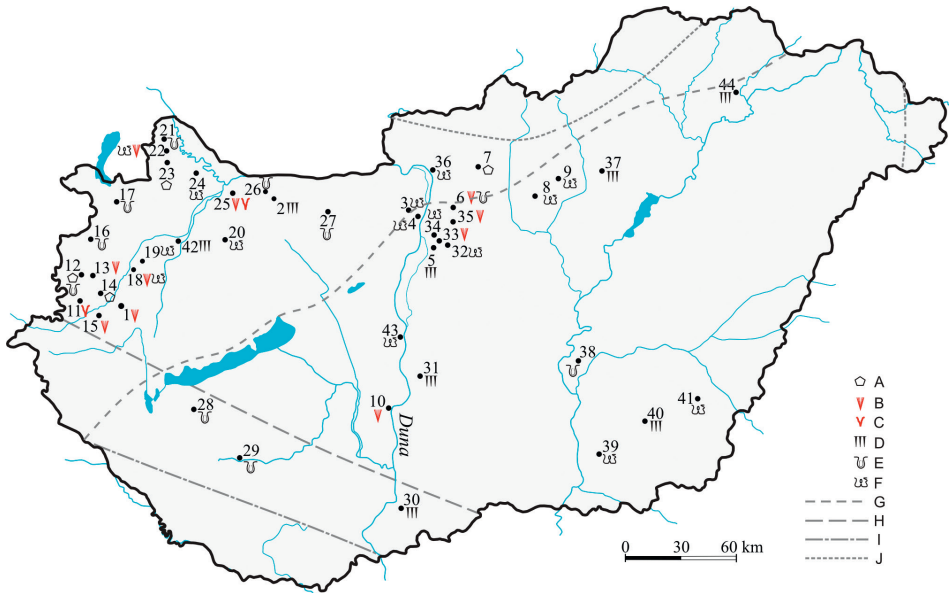
### A permafrost lehetséges kiterjedése hazánkban

PÉCSI M. (1997) szerint a hazai talajfagy-jelenségek a 2–4 m mélységet is elérő, általa lágytalajnak is nevezett aktív övezetben alakultak ki. Egyedüliként a 2–8 m hosszú, lapos hullámformaként megjelenő rétegdeformációt tekintette valódi, folyamatos permafrostot jelző formának. Ez a 3–6 m mélyen, agyagos és homokos rétegek váltakozásánál jelentkező forma szerinte a permafrost legfelső részén keletkezett, az aktív réteg határszintje alatt. E formákat a dél-alföldi feltárásokból (Hódmezővásárhely és Békéscsaba) rögzítette, ahol a későglaciális, valamint a holocén fluvialis és eolikus feltöltődés mértéke elérheti a több métert is. Tehát e formák valódi egykori mélysége, továbbá az aktív övezet vastagsága inkább csak becslés; nem valószínű, hogy a feltételezett permafrost jellegére vonatkozóan ad információkat.

Az európai pleisztocén permafrost zónára vonatkozó, korábban publikált kutatási eredmények és térképek (VAN VLIET-LANOË, B. 1989; VANDENBERGHE, J.–PISSART, A. 1993) a Pannon-medencére helyezik e zóna legdélebbi kiterjedését (*1. ábra*). Fontos kiemelnünk, hogy e publikációk kevés kivételtől eltekintve (VAN VLIET-LANOË, B. et al. 2004; VANDENBERGHE, J. et al. 2014) nem részletezik a permafrost zóna jellegét. Ez nem véletlen, mert még a permafrost-indikátor recens jégékek pontos környezetjelző szerepe is megkérdőjelezhető (MURTON, J. B.–KOLSTRUP, E. 2003).

A PÉCSI M. által közölt térkép (vö. 18. ábra in PÉCSI M. 1961a) alapján nagyon bizonytalan a permafrost határának megvonása, mert a feltüntetett formák (10) jó része nem is genetikai jellegű. Ha e határ nem is húzható meg egyértelműen az e térképen jelölt talajfagy-jelenségek alapján, de a fentebb át- és újraértelmezett homokék-indikátorok (poligonális megjelenés, vertikális rétegzettség és rétegfelhajlás) egyértelműen mutatják az egykori örökfagy jelenlétét. Ezek mellett az utóbbi 10 év nemzetközi kutatási eredményei, valamint terepi megfigyelések, adatok alapján megalapozottnak tekintjük azt a feltételezésünket, hogy a permafrost kialakult hazánkban, D-i határa tehát a Pannon-medence területén vonható meg. A megfigyelt jelenségekre magyarázatot ad a szaggatott vagy szigetszerű permafrost zóna jelenléte. Áttekintésünk alapján a folyamatos permafrostot biztosan igazoló jelenséget eddig nem közölt sem a magyar, sem a nemzetközi szakirodalom hazánkból.

Az *1. ábrán* látható, hogy az általunk fentebb megfogalmazott célkitűzésekben szereplő négy klasszikus szerző véleménye közül csak kettő ábrázolható e kivágatban, a másik két szerző által jelölt határvonal (vö. 4. ábra in VANDENBERGHE, J.–PISSART, A. 1993) hazánknál



1. ábra A magyar szerzők által publikált talajfagy-jelenségek típusa és helye, valamint a permafrost lehetséges D-i határának helyzete Magyarországon.

(1–10 – FÁBIÁN, Sz. Á. et al. [2014]; 11–41 – PÉCSI M. [1961a]; 42 – TORÓK E. [1962]; 43 – SCHEUER GY.–VERMES J. [1967]; 44 – PINCZÉS Z. [1991]).

A – szerkezeti talaj; B – homokék; C – „jégék”-maradvány; D – talajék; E – csepptalaj; F – krioturbáció; G – VAN VLIET-LANOË, B. et al. (2004); H – MAARLEVELD, G. C. (1976); I – VELICHKO, A. A. (1982); J – VANDENBERGHE, J. et al. (2004).  
 Települések: 1 – Csipkerek; 2 – Bábolna; 3 – Bojtárutca, Budapest; 4 – Harsány-lejtő, Budapest; 5 – Soroksár, Budapest; 6 – Mogyoród; 7 – Vanyarc; 8 – Atkár; 9 – Visonta; 10 – Paks; 11 – Egyházaskesző; 12 – Szombathely; 13 – Vép; 14 – Csemeszkopács; 15 – Vasvár; 16 – Csepreg; 17 – Fertőszentmiklós; 18 – Sárvár; 19 – Ostffyasszonyfa; 20 – Lovászpataona; 21 – Hegyeshalom; 22 – Mosonszolnok; 23 – Mosonszentjános; 24 – Mosonszentmiklós; 25 – Sashegy, Győr; 26 – Bana; 27 – Tatabánya; 28 – Marcali; 29 – Kaposvár; 30 – Bátmonostor; 31 – Solt; 32 – Vecsés; 33 – Pestlőrinc; 34 – Kőbánya, Budapest; 35 – Cinkota; 36 – Vác; 37 – Kerecsend; 38 – Cserkeszőlő; 39 – Hódmezővásárhely; 40 – Orosháza; 41 – Békéscsaba; 42 – Magyarergencs-Egyházaskesző; 43 – Dunaújváros; 44 – Bodrogkeresztúr

Figure 1 Types and locations of cryogenic features published by Hungarian authors and proposed southern limit for permafrost zone in Hungary

(1–10 – FÁBIÁN, Sz. Á. et al. [2014]; 11–41 – PÉCSI M. [1961a]; 42 – TORÓK E. [1962]; 43 – SCHEUER GY.–VERMES J. [1967]; 44 – PINCZÉS Z. [1991]).

A – patterned ground; B – relict sand wedge; C – ice wedge cast; D – soil wedge; E – drop soil; F – cryoturbation; G – VAN VLIET-LANOË, B. et al. (2004).

H – MAARLEVELD, G. C. (1976); I – VELICHKO, A. A. (1982); J – VANDENBERGHE, J. et al. (2004).  
 1–44 – settlements

délebbre húzódik. Így a korábbi kutatások feltételezhetően kissé túlbecsülték az európai permafrost zóna kiterjedését, amelynek D-i határa mozaikos átmenetet képezett a melegebb területek felé, ahogyan napjainkban is. Ezt igazolja a hazánkban eddig megfigyelt formák területi elrendeződése is, amit két-három biztos és legalább ugyanennyi bizonytalan folt (szigetszerű permafrost) mutat az 1. ábrán.

### A talajfagy-jelenségek kialakulásának ideje

A különböző talajfagy-jelenségek eltérő geomorfológiai helyzete (alacsony és magas terasz, kavicsotakaró, löszös síkság stb.), eltérő befoglaló üledékei (löss, kavics, paleotalaj stb.) csak nagyon tág időintervallumban adják meg a képződésük korát, illetve kialakulásuk

lehetséges kezdeti idejét. Hazánkban a formák jórészt a felszín közelében helyezkednek el, ritkán utalnak több lehülési fázisra (KEREKES J. 1941). PÉCSI M. (1997) vizsgálatai alapján döntő többségük későpleisztocén besorolású, klasszikus értelemben riss vagy würm glaciális korú. Ennél szűkebb értelemben csak a nagyon fiatal teraszok (pl. II/a) felszínén megfigyelhető jelenségeket lehet relatíve besorolni. PÉCSI M. (1997) az összetett formák miatt két időszakra bontja a hazai formakincs kialakulási idejét, de nem vállalkozik részletesebb bontásra a fent említett riss vagy würm időszaknál, de más korábbi szakirodalmi források sem nyújtanak többletinformációt e kérdés eldöntéséhez.

Egészen a közelmúltig hiányoztak a hazai periglaciális jelenségek képződési idejét megadó numerikus adatok. KOVÁCS, J. et al. (2007) és FÁBIÁN, S. Á. et al. (2014) a mogyoródi homokékek mintáiból származó optikai koradatai az utolsó glaciális maximum (LGM) idejére (MIS 2 GS 2c, GS 2a), kb. 22,5–15,7 ezer év közé esnek. Igaz, hogy csak egyetlen feltárásból, de két független homokékből vett minták vizsgálatának eredményéről van szó, amit megerősítenek a befogadó és fedő üledékeken elvégzett mérések adatai is (*ex verb* SIPOS Gy. et al. 2013). Az eddigi kutatási eredmények alapján megállapítható, hogy a mogyoródi homokékek legalább két periódusban, kb. 20–22, és kb. 16–17 ezer év között képződtek (vö. 6. ábra és 2. táblázat in FÁBIÁN, S. Á. et al. 2014).

### A talajfagy-jelenségek szerepe az őskörnyezet rekonstrukciójában

A legújabb klímamodell-számítások alapján a földtörténeti múltra készített hőmérsékleti zónák (pl. JOST, A. et al. 2005; STRANDBERG, G. et al. 2011) és a pleisztocén permafrost kiterjedése sem határolható el egyértelműen (VANDENBERGHE, J. – PISSART, A. 1993). Ez jól látható a különféle térképek felhasználásával készült rekonstrukciónkon is (1. ábra). A térképek jelentősen eltérő méretaránya és vetülete, a georeferálás viszonylagos pontatlansága, valamint leginkább az alapul vett paleokörnyezeti indikátorok eltérő értelmezése miatt az csak bizonyos korlátokkal használható. Így az utolsó permafrost maximális kiterjedésének pontos D-i határa továbbra is vitatott (FÁBIÁN, S. Á. et al. 2014), de az biztosan állítható, hogy a folyamatos és a szaggatott permafrost zóna határa Európában a 45–50° szélességi körök között húzódott (VANDENBERGHE, J. et al. 2014). Ez azt is jelenti, hogy a permafrostmentes területek É-i határa hazánktól D-re húzható meg, míg a folyamatos permafrost területe tőlünk É-ra, a jégtakaró közvetlen környezetében alakult ki. Így hazánk területét biztosan érte valamilyen periglaciális hatás és feltételezhető a permafrost valamilyen fokú jelenléte. Ugyanakkor ebben az átmeneti zónában – jelenlegi ismereteink szerint – nem lehet határozottan és biztosan kijelölni a folyamatos és a szaggatott zónák határának helyzetét.

Mivel az utolsó glaciális követő nagy olvadás még az oly jellemző, különféle típusú fagyhalmokat is eltüntette, az egyedül biztosnak vett információkat a fagyrepedések pszeudomorfozái és kitöltései adják a permafrost kiterjedésére vonatkozóan (FRENCH, H. M. – GOZDZIK, J. S. 1988; TARNOCAL, C. – SCHWEITZER, F. 1998; FRENCH, H. M. 2007; HUTCHINSON, J. N. 2010), ami azonban még így sem szünteti meg a bizonytalanságot a permafrost jelenlétének és jellegének megítélésében.

A periglaciális környezet rekonstrukciójában mind a mai napig jelentős és meghatározó szerepe van a különféle „talajfagy-jelenségeknek”, főleg az „ékeknek” (LIU, X. J. – LAI, Z. P. 2013); minden kétség ellenére (HORVÁTH Z. et al. 2005; VAN VLIET-LANOË, B. et al. 2004). A jégék-kitöltések és -maradványok széles körben használatosak az évi középhőmérséklet rekonstrukciójához; jelenleg csak –3,5°C-nál hidegebb környezetben képződnek. A homokékek klímarekonstrukciós szerepe viszont korlátozottabb, mert kialakulhatnak nagyon hideg permafrost környezetben éppúgy, mint annak hiányában, erős szezonális fagy esetén



is. Ezért keletkezésük a jégékekhez képest tágabb klimatikus környezeti feltételek között mehet végbe. Azonban ki kell emelnünk, hogy bizonyos fosszilis formabélyegek (poligonális szerkezet, vertikális kitöltés és felhajló rétegek) együttes megléte esetén jogosan feltételezhető a permafrost-eredet (MURTON, J. B. et al. 2000). Az e morfológiai bélyegekkel rendelkező homokékek hazánkban legalább két helyen, Csipkerekén és Mogyoródon is előfordulnak (FÁBIÁN, SZ. Á. et al. 2000, 2014).

## Összefoglalás

PÉCSI M. (1961b) akadémiai doktori értekezése után a hazai szakirodalomban kevés új eredményt találunk a talajfagy-jelenségek kutatásáról. A 35 évvel később, nyomtatásban napvilágot látott mű (PÉCSI M. 1997) már nem tekinthető korszerű áttekintésnek. Az általa közölt talajfagy-jelenségek egy része permafrost vagy szűken értelmezett periglaciális környezet nélkül is létrejöhetett. A korábbi feltárások jelentős része ma már nem tanulmányozható, így értelmezésükkor csak a leírásokra lehet hagyatkozni. Ám ezek már nem helytállóak, sőt az 1960-as években sem voltak azok. A korábban permafrost-indikátornak tekintett hazai jég- és fagyékek véleményünk szerint leginkább homokékek, esetleg talajékek lehetnek. Bár csak egyetlen hazai homokék-feltárásnak vannak numerikus koradatai, a permafrostot jelző talajfagy-jelenségek legvalószínűbb képződési ideje a nemzetközi eredményekkel analóg LGM. Az európai pleisztocén permafrost zóna D-i határa vitatott, nincs biztos rekonstrukció sem magára a permafrost zónára, sem jellegére (folyamatos, szaggatott) vonatkozóan. A szerzők többsége a Pannon-medence környezetében húzza meg a határt, periglaciális hatást feltételezve hazánkban. Összegezve elmondható, hogy az utóbbi 15 év új kutatási eredményei ellenére továbbra is várat magára a hazai periglaciális környezet tér- és időbeli sajátosságainak megnyugtató tisztázása.

## Köszönetnyilvánítás

A tanulmány alapjául szolgáló előadás a PÉCSI MÁRTON akadémikus 90. születésnapjának tiszteletére rendezett emlékülésen hangzott el. E felkérésért a szerzők hálását az emlékülés szervezőinek: GÁBRIS GYULÁNAK és KIS ÉVÁNAK. A kutatás az Európai Unió és Magyarország támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú „Nemzeti Kiválóság Program–Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program” című kiemelt projekt keretei között valósult meg. Külön köszönet illeti a PTE Földrajzi Intézetét, hogy fedezte a kutatáshoz szükséges terepi munkálatok költségét. A jelen tudományos közleményt a szerzők a Pécsi Tudományegyetem alapításának 650. évfordulója emlékének szentelik.

---

SCHWEITZER FERENC  
MTA CSFK Földrajztudományi Intézet, Budapest  
schweitzer.ferenc@csfk.mta.hu

FÁBIÁN SZABOLCS ÁKOS, VARGA GÁBOR ÉS KOVÁCS ISTVÁN PÉTER  
PTE Természet- és Környezetföldrajzi Tanszék, Pécs  
smafu@gamma.ttk.pte.hu, gazi@gamma.ttk.pte.hu, vonbock@gamma.ttk.pte.hu

## IRODALOM

- BLACK, R. F. 1973: Growth of patterned ground in Victoria Land, Antarctica. – In: *Permafrost: North American Contribution to the Second International Conference*, National Academy of Sciences, Washington, D. C. pp. 193–203.
- BLACK, R. F. 1976: Periglacial features indicative of permafrost. – *Quaternary Research*, 6. pp. 3–26.
- 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. pp. 295–308.
- BOCKHEIM, J. G.–TARNOCAI, C. 1998: Recognition of cryoturbation for classifying permafrost-affected soils. – *Geoderma*, 81. pp. 281–293.
- CHOLNOKY J. 1911: A Spitzbergák. – *Földrajzi Közlemények*, 35. pp. 301–345.
- DOBINSKI, W. 2011: Permafrost. – *Earth-Science Reviews*, 108, pp. 158–169.
- DYLIK, J. 1963: Magyarország periglaciális problémái. – *Földrajzi Értesítő*, 12. pp. 453–464.
- DYLIK, J. 1964: Eléments essentiels de la notion de „périglaciaire”. – *Buletyn Peryglacialny*, 14. pp. 111–132.
- 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. pp. 722–732.
- FÁBIÁN SZ. Á.–KOVÁCS J.–VARGA G. 1998: Új szempontok a Kárpát-medence felsőő-würmi ősföldrajzi viszonyaihoz a homokékek alapján. – *Közlemények a JPTE TTK Természetföldrajz Tanszékéről*, Pécs, 16 p.
- FÁBIÁN SZ. Á.–KOVÁCS J.–VARGA G. 2000: Újabb szempontok hazánk periglaciális klímájához. – *Földrajzi Értesítő*, 49. pp. 189–204.
- FRENCH, H. M. 2007: *The Periglacial Environment*. – Jon Wiley & Sons, Chichester. 458 p.
- FRENCH, H. M.–GOZDZIK, J. S. 1988: Pleistocene epigenetic and syngenetic frost fissures, Bełchatów, Poland. – *Canadian Journal of Earth Sciences*, 25. pp. 2017–2027.
- GÁBRIS Gy. 2007: Földfelszín és éghajlat. – ELTE Eötvös Kiadó, Budapest. 225 p.
- HARRIS, S. A. 1982: Identification of permafrost zones using selected permafrost landforms. – *Proceedings of the Fourth Canadian Permafrost Conference*, Calgary, Alberta, March 2–6, 1981. pp. 49–57.
- 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*. – Geological Society, Special Publication, 242. London. pp. 131–143.
- HORVÁTH, Z.–MICHÉLI, E.–MINDSZENTY, A.–BERÉNYI-ÜVEGES, J. 2005: Soft-sediment deformation structures in Late Miocene–Pleistocene sediments on the pediment of the Mátra Hills (Visonta, Atkár, Verseg): Cryoturbation, load structures or seismites? – *Tectonophysics*, 410. pp. 81–95.
- HUTCHINSON, J. N. 2010: Relict sand wedges in soliflucted London Clay at Wimbledon, London, UK. – *Proceedings of the Geologists' Association*, 121. 4. pp. 444–454.
- JOST, A.–LUNT, D.–KAGEYAMA, M.–ABE-OUCHI, A.–PEYRON, O.–VALDES, P. J.–RAMSTEIN, G. 2005: High-resolution simulations of the last glacial maximum climate over Europe: a solution to discrepancies with continental palaeoclimatic reconstructions? – *Climate Dynamics*, 24. pp. 577–590.
- KEREKES J. 1938: Fosszilis tundratalaj a Bükkben. – *Földrajzi Közlemények*, 66. 4–5. pp. 112–116.
- KEREKES J. 1939: A pestszentlőrinci fosszilis tundraképződmények. – *Földtani Közlöny*, 69. 4–6. pp. 131–139.
- KEREKES J. 1941: Hazánk periglaciális képződményei. – In: *Beszámoló a Magyar Királyi Földtani Intézet vitailéseinek munkálatairól*. Magyar Királyi Földtani Intézet, Budapest. pp. 97–149.
- KOVÁCS, J.–FÁBIÁN, SZ. Á.–SCHWEITZER, F.–VARGA, G. 2007: A relict sand-wedge polygon site in north-central Hungary. – *Permafrost and Periglacial Processes*, 18. pp. 379–384.
- KRIVÁN P. 1958: Jégelencsés-leveles állótundra jelenségek Magyarországon. – *Földtani Közlöny*, 88. 2. pp. 201–209.
- LEVY, J. S.–HEAD, J. W.–MARCHANT, D. R. 2009: Thermal contraction crack polygons on Mars: Classification, distribution, and climate implications from HiRISE observations. – *J. Geophys. Res.* 114. E1 DOI: 10.1029/2008JE003273
- LEVY, J. S.–MARCHANT, D. R.–HEAD, J. W. 2010: Thermal contraction crack polygons on Mars: A synthesis from HiRISE, Phoenix, and terrestrial analog studies. – *Icarus*, 206. 1. pp. 229–252.
- LIU, X. J.–LAI, Z. P. 2013: Optical dating of sand wedges and ice-wedge casts from Qinghai Lake area on the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau and its palaeoenvironmental implications. – *Boreas*, 42. pp. 333–341.
- LÓCZY D. 2005: A jégkörnyéki (periglaciális) felszínformálódás. – In: LÓCZY D.–VERESS M. (szerk.): *Geomorfológia, I. Dialóg Campus*, Budapest–Pécs. pp. 187–228.

- ŁOZINSKI, W. 1909: Über die mechanische Verwitterung der Sandsteine im gemäßigten Klima. – *Academie des Sciences Cracovie, Bulletin Internationale Classe des Sciences Mathematiques et Naturelles*, 1. pp. 1–25.
- MAARLEVELD, G. 1976: Periglacial phenomena and the mean annual temperature during the Last Glacial time in the Netherlands. – *Biuletyn Peryglacialny*, 26. pp. 57–78.
- MACKAY, J. R. 1977: The width of ice wedges. – *Geological Survey of Canada Paper*, 77-1A pp. 43–44.
- MACKAY, J. R. 1992: The frequency of ice-wedge cracking (1967–1987) at Garry Island, western Arctic coast, Canada. – *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29. pp. 236–248.
- MACKAY, J. R. 1993: Air temperature, snow cover, creep of frozen ground, and the time of ice-wedge cracking, western Arctic coast. – *Canadian Journal of Earth Sciences*, 30. pp. 1720–1729.
- MELLON, M. T. 1997: Small-scale polygonal features on Mars: Seasonal thermal contraction cracks in permafrost. – *Journal of Geophysical Research: Planets* 102. E11, pp. 25617–25628.
- MELLON, M. T.–ARVIDSON, R. E.–MARLOW, J. J.–PHILLIPS, R. J.–ASPHAUG, E. 2008: Periglacial landforms at the Phoenix landing site and the northern plains of Mars. – *Journal of Geophysical Research: Planets*, 113. E00A23 DOI:10.1029/2007JE003039
- MEZŐSI G. 2011: Magyarország természetföldrajza. – Akadémiai Kiadó, Budapest.
- MULLER, S. W. 1943: Permafrost or permanently frozen ground and related engineering problems. – *Special Report, Strategic Engineering Study, Intelligence Branch Office, Chief of Engineers* no. 62, 136 p. (második kiadás: 1945, 230 p.; változatlan utányomás: 1947, 231 p.)
- 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. pp. 37–47.
- MURTON, J. B. 1996: Morphology and paleoenvironmental significance of Quaternary sand veins, sand wedges, and composite wedges, Tuktoyaktuk coastlands, western arctic Canada. – *Journal of Sedimentary Research*, 66. pp. 17–25.
- 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*, July 5–10, Beijing, China. South China Technological University Press, pp. 482–487.
- MURTON, J. B.–KOLSTRUP, E. 2003: Ice-wedge casts as indicators of palaeotemperatures: precise proxy or wishful thinking? – *Progress in Physical Geography*, 27. (2.) pp. 155–170.
- MURTON, J. B.–WORSLEY, P.–GOZDZIK, J. 2000: Sand veins and wedges in cold Aeolian environments. – *Quaternary Science Reviews*, 19. pp. 899–922.
- PÉCSI M. 1961a: A periglaciális talajfagy-jelenségek főbb típusai Magyarországon. – *Földrajzi Közlemények*, 9. (85.) pp. 1–24.
- PÉCSI M. 1961b: A negyedkori korrázios folyamatok hatása a felszínalakulásra és az üledékképződésre Magyarországon (Fő tekintettel szerkezeti és vázlatajok képződésére). – Akadémiai doktori értekezés. Kézirat. 274 p.
- PÉCSI, M. 1964: Chronological problem of the patterned soils of Hungary. – *Biuletyn Peryglacialny*, 14. pp. 279–293.
- PÉCSI M. 1997: Szerkezeti és vázlataj képződés Magyarországon. – Magyar Tudományos Akadémia Földrajz-tudományi Kutatóintézet, Budapest. 296 p.
- PÉWÉ, T. L. 1959: Sand-wedge polygons (tessellations) in the McMurdo Sound region, Antarctica – a progress report. – *American Journal of Science*, 257. pp. 545–552.
- PÉWÉ, T. L. 1966: Ice wedges in Alaska – classification, distribution and climatic significance. – *Proceedings, first international conference on permafrost*, 11–15 November 1963: National Academy of Science: National Research Council of Canada, Publication, 1287. pp. 76–81.
- PÉWÉ, T. L. 1969: The periglacial environment. – In: PÉWÉ T. L. (ed.): *The periglacial environment*. – McGill-Queen's University Press, Montreal. pp. 1–9.
- PINCZÉS Z. 1977: Hazai középhegységek periglaciális planációs felszínei és üledékei. – *Földrajzi Közlemények*, 25. (101.) pp. 41–45.
- PINCZÉS Z. 1983: A krioplanációs meredek lejtő kialakulása és morfológiája. – *Földrajzi Értesítő*, 32. 3–4. pp. 461–471.
- PINCZÉS Z. 1991: Fagyékek a bodrogkeresztúri téglagyárban. – *Acta geographica, geologica et meteorologica Debrecina*, 30/31. pp. 57–64.
- ROMANOVSKIJ, N. N. 1985: Distribution of recently active ice and soil wedges in the U.S.S.R. – In: CHURCH, M.–SLAYMAKER, O. (eds) *Field and theory: lectures in geocryology*. – Vancouver: University of British Columbia Press, pp. 154–65.
- SAITO, K.–SUEYOSHI, T.–MARCHENKO, S.–ROMANOVSKY, V.–OTTO-BLIESNER, B.–WALSH, J.–BIGELOW, N.–HENDRICKS, A.–YOSHIKAWA, K. 2013: LGM permafrost distribution: how well can the latest PMIP multi-model ensembles perform reconstruction? – *Climate of the Past*, 9. (4.) pp. 1697–1714.
- SCHEUER GY. 1969: Talajfagy-jelenségek dolomit felszíneken. – *Földrajzi Értesítő*, 18. 2. pp. 177–192.
- SCHEUER GY. 1970: Adatok a fagyékek keletkezéséhez. – *Földrajzi Értesítő*, 19. 2. pp. 191–194.



- SCHEUER GY.–VERMES J. 1967: Talajfagy-jelenségek a dunaújvárosi löszösszletben. – Földrajzi Értesítő, 16. pp. 91–95.
- SCHWEITZER, F. 2008: Ventifacts on Mars. – In: KERTÉSZ, Á.–KOVÁCS, Z. (szerk.): Dimensions and trends in Hungarian geography: Dedicated to the 31<sup>st</sup> International Geographical Congress, Tunis, 12–15 August 2008. – Geographical Research Institute of Hungarian Academy of Sciences, Budapest. pp. 9–18.
- SIPOS GY.–FÁBIÁN SZ. Á.–TÓTH O.–THAMÓ-BOZSÓ E.–KOVÁCS J.–VARGA G. 2013: Luminescence dating of sand wedges and the timing of late pleistocene permafrost in the Gödöllő Hills, Hungary. – ex verbis on the Carpatho-Balkan-Dinaric Conference on Geomorphology at Stara Lesna, June 24–28, 2013.
- STRANDBERG, G.–BRANDEFELT, J.–KJELLSTRÖM, E.–SMITH, B. 2011: High-resolution regional simulation of last glacial maximum climate in Europe. – Tellus, 63A, pp. 107–125.
- SZÁDECZKY-KARDOSS, E. 1936: Pleistozäne Strukturbodenbildung in den Ungarischen Tiefebene und im Wiener Becken. – Földtani Közlöny, 66. pp. 213–228.
- SZÉKELY A. 1969: A Magyar-középhegység periglaciális formái és üledékei. – Földrajzi Közlemények, 17. (93.) pp. 271–298.
- SZÉKELY A. 1973a: A Magyar-középhegység negyedidőszaki formái és korrelatív üledékei. – Földrajzi Közlemények, 21. (97.) pp. 185–203.
- SZÉKELY A. 1973b: Periglacial landforms and sediments in the central part of the Hungarian Central Mountains. – Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica, 7. pp. 53–65.
- SZÉKELY A. 1977: Periglaciális domborzatalakulás a magyar középhegységekben. – Földrajzi Közlemények, 25. (101.) pp. 55–59.
- SZÉKELY A. 1993: A periglaciális felszínformálás. – In: BORSY Z. (szerk.): Általános természeti földrajz. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest. pp. 356–425.
- SZÉKELY A. 1993: A periglaciális felszínformálás. – In: BORSY Z. (szerk.): Általános természeti földrajz. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest. pp. 356–421.
- TARNOCAI, C.–SCHWEITZER, F. 1998: Cryogenic features in Canada and Hungary and their significance for past climate. – Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 21. pp. 84–92.
- TÖRÖK E. 1962: Periglaciális talajfagy-jelenségek Magyargéncs-Egyházaskesző környéki bazalttufa településben. – Földrajzi Értesítő, 11. pp. 287–289.
- TRICART, J. 1968: Periglacial landscapes. In: FAIRBRIDGE, R. W. (ed.): Encyclopedia of Geomorphology. – Reinhold, New York, pp. 829–833.
- VAN VLIET-LANOË, B. 1989: Dynamics and extent of the Weichselian permafrost in western Europe (Substage 5E to stage 1). – Quaternary International, 3–4. pp. 109–113.
- VAN VLIET-LANOË, B.–HALLEGOUËT, B. 2001: European permafrost at the LGM and at its maximal extent. The geological approach. – In: PAEPE, R.–MELNIKOVA, V. (eds): Permafrost Response on Economic Development. Environmental Security and Natural Resources, Kluwer Academic Publishing, Dordrecht. pp. 195–213.
- 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. pp. 103–127.
- VAN DEN BERGHE, J.–FRENCH, H. M.–GORBUNOV, A.–MARCHENKO, S.–VELICHKO, A. A.–JIN, H.–CUI, Z.–ZHANG, T.–WAN, X. 2014: The Last Permafrost Maximum (LPM) map of the Northern Hemisphere: permafrost extent and mean annual air temperatures, 25–17 ka BP. – Boreas, 43. pp. 652–666.
- VAN DEN BERGHE, 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. Springer, Dordrecht. pp. 393–416.
- VAN DEN BERGHE, J.–PISSART, A. 1993: Permafrost changes in Europe during the Last Glacial. – Permafrost and Periglacial Processes, 4. pp. 121–135.
- 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. (szerk.): Nauka, Moszkva. 156 p.
- WASHBURN, A. L. 1979: Geocryology. A Survey of Periglacial Processes and Environments. – Edward Arnold, London. 406 p.