

## Újabb szempontok hazánk periglaciális klímájához

FÁBIÁN SZABOLCS ÁKOS–KOVÁCS JÁNOS–VARGA GÁBOR<sup>1</sup>

### Bevezetés

A pleisztocén kor éghajlatváltozásával, az éghajlatváltozások nyomaival, kronológiai problémáival sokan, számos szempontból foglalkoztak már hazánkban is. A Kárpát-medence pleisztocén kori fejlődéstörténete a geomorfológiai és paleoklimatológiai kutatások egyik legsokoldalúbban, leg részletesebben vizsgált problémája. Gondoljunk pl. a földtani, és a lösz vizsgálatokra, vagy a talajfagy-jelenségek kutatására, továbbá a puhatestű- és gerincesfauna, ill. ősnövénytani elemzésekre.

A talajfagy-jelenségek vizsgálata 60–70 éve került a hazai geomorfológiai kutatásokban előtérbe, azóta is sok problémát okozva a kutatóknak. A Kárpát-medencének és környezetének pleisztocén periglaciális éghajlatviszonyaival, annak nyomaival – köztük a talajfagy-jelenségekkel – már sok hazai és külföldi kutató foglalkozott (BARABÁS A. 1955; BULLA, B. 1939, 1962; DYLIK, J. 1963; FÁBIÁN SZ. Á. et al. 1998; KERÉKES J. 1938, 1939, 1941; KRIVÁN P. 1958; MAROSI S. 1966; PÉCSI M. 1961, 1964, 1997; PINCZÉS Z. 1995; SCHEUER GY. 1969, 1970; SZÁDECZKY-KARDOSS, E. 1936; TARNOCAI, C.–SCHWEITZER, F. 1998; TÖRÖK, E. 1962; WASHBURN, A. L. 1979).

Célunk, hogy a Kárpát-medencében kevésbé vizsgált homokékekből és azok kitöltéseiből levonható paleoklimatológiai következtetéseket összevessük az eddigi periglaciális kutatások adataival. Ehhez két új feltárásban (Mogyoród, Csipkerek) talált homokék-poligonokat vettünk alapul. A homokékek nagyon jó klíma- és morfológiajelző fagyrepedés-kitöltők, főleg speciális képződési feltételeik miatt. Szintén nagyon fontos, hogy jelenleg is képződnek (ill. képződtek) a glaciálisokban Észak-Alaszka, Észak-Kanada, Grönland és az Antarktisz egyes vidékein (MURTON, J. B.–FRENCH, H. M. 1993; MURTON, J. B. et al. 1997; PÉWÉ, T. L. 1959, 1962; TARNOCAI, C.–SCHWEITZER, F. 1998). Így a recens és fosszilis formák összehasonlíthatók. Kétségtelen, hogy nagy vonásokban a hasonlóság fennáll, de nem lehet figyelmen kívül hagyni az eltérő földrajzi szélességből adódó éghajlati, morfológiai viszonyokat. A részletesebb vizsgálatok rámutathatnak az alapvető hasonlóság keretein belüli különbségekre is (PÉCSI M. 1997).

A jelenkori és jövőbeli éghajlatváltozások problémájának megértéséhez segíthetnek az olyan paleoklimatológiai kutatások, mint pl. a periglaciális talajfagy-jelenségek vizsgálatából származó adatok értékelése. Úgy véljük, hogy a homokékek jelenlegi és további vizsgálatával pontosítani lehet az egyes glaciális klímakilengések éghajlatát és időbeliségét a Kárpát-medencében. Segítséget kaphatunk az európai periglaciális terület, ill. az összefüggő permafrost D-i határának meghúzásához, ami vitatott problémája a nemzetközi kutatásoknak is (MAARLEVELD, G. 1976; VANDENBERGHE, J.–PISSART, A. 1993).

<sup>1</sup> Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar, Földrajzi Intézet, Magyarország Földrajza Tanszék 7624 Pécs, Ifjúság útja 6.

## A kutatástörténet rövid áttekintése

Magyarországon SZÁDECZKY-KARDOSS E. (1936) volt az első, aki felismerte a Kisalföldön és a Bécsi-medencében képződött struktúrtalajokban, zsákos kavicsokban a periglaciális jelenségeket. Ezen formák nagy részét már az ő kutatásai előtt is ismerték, de nem gondoltak arra, hogy esetleg periglaciális jelenségek következményei lehetnek, így nem tudtak elfogadható magyarázatot adni keletkezésükre. SZÁDECZKY-KARDOSS E. felismerése nyomán indult el a hazai periglaciális fagyjelenségek kutatása, amelyeket később sok helyről mutattak ki.

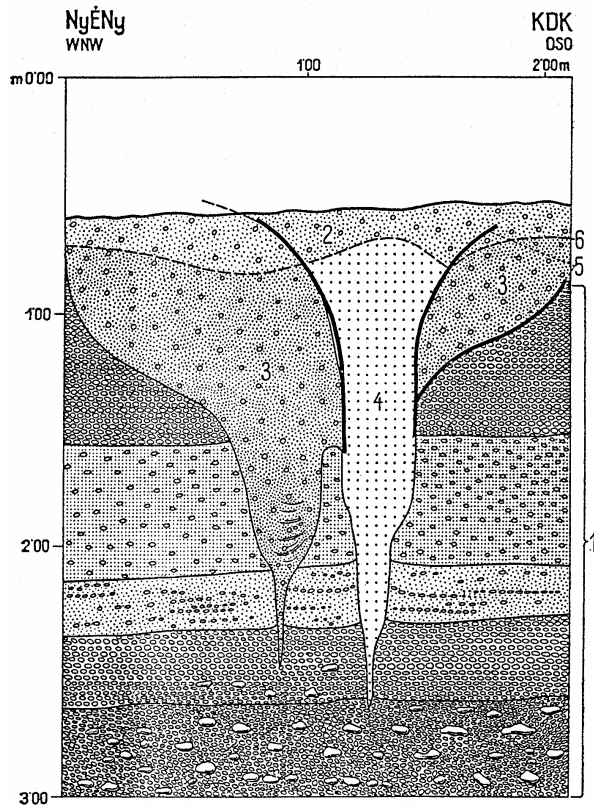
KEREKES J. (1938, 1939, 1941) úttörője volt a periglaciális formák kutatásának. A pestszentlőrinci kavicsbányában talált poligonális fagyrepedésekből és az addig ismert álgűrődésekből, talajfolyásokból következtetett arra – főleg korábbi alaszcai vizsgálatok alapján –, hogy Magyarországon is kialakult az állandóan fagyott talaj, de szerinte ez nálunk csak foltokban, sávokban létezett. Külön kiemeli a defláció szerepét a fagyrepedések futóhomokkal való kitöltésében. KEREKES J. két Würm időszak eljegesedési periódust tételez fel a pestszentlőrinci kavicsbányában talált kettős kifagyási repedések kitöltése alapján (*I. ábra*). Munkáiban úgy véli, hogy hazánk területe a pleisztocén eljegesedési fázisaiban a poligonális síktundrához tartozott.

PÉCSI M. (1961, 1964) a külföldi példák és saját kutatásai alapján rendszerbe foglalja a magyarországi periglaciális talajfagy-jelenségeket, amelyek átlagosan  $-2-3$  °C évi középhőmérséklet mellett képződtek az aktív övezetben, ami 2–4 m vastag lehetett a helyi viszonyoktól függően.

BULLA B. (1962) részletesen elemzi a Kárpát-medencének és környezetének pleisztocén éghajlati viszonyait: Magyarország területén az évi középhőmérséklet  $0-+/-2$  °C körül alakult, a legmelegebb hónap középhőmérséklete  $+12-+14$  °C, a leghidegebb hónapé kb.  $-12-14$  °C. A jég hűtő hatása következtében a jégtakaró felett hideg léghalmaz alakult ki, amelyről hideg, fűszerű szelek áramlottak a jégkörnyéki területre, szeszélyessé téve annak időjárását. Az uralkodó szelek, (főként télen) a jeges főnök voltak. Az eurázsiai léghalmaz fagyos K-i szelei, a téli monszunok tovább fokozták a klíma zordságát. A főn szelek szárazsága miatt a tél fagyos, zord és hó nélküli volt. Csapadék csak nyáron hullott a hózivatarok alkalmával, ám ennek mennyisége évente csupán 200–400 mm körül alakult.

DYLIK, J. (1963) úgy véli, hogy Magyarország a pleisztocénban az állandóan fagyott talaj határán belül feküdt. Erre utalnak a termikus fagyopoligonok (Cinkota, Sárvár, Vasvár) és a fagynyomásra keletkezett szerkezetek, az ún. nagysugarú füzérek. Ezek a jelenségek utalnak az örök fagy vertikális kiterjedésére is, ami kb. 5–6 m mély lehetett. Az éghajlat hasonlóan alakulhatott a mai észak-szibériai viszonyokhoz, amelyben meghatározók voltak a kemény, hideg telek.

A későbbiek során az ország sok más helyéről mutatták még ki a periglaciális talajfagy nyomait (FÁBIÁN SZ. Á. et al. 1998; PINCZÉS Z. 1995; SCHEUER GY.–VERMES J. 1967; SCHEUER GY. 1969; TÖRÖK E. 1962a, 1962b) és próbáltak az újabb eredmények figyelembevételével magyarázatot adni keletkezésükre.



1. ábra. Egymást keresztező, futóhomokkal kitöltött jégkori kifagyási repedések (ún. jégécek) metszete a pestszentlőrinci városi kavicsbányában (KEREKES J. 1941 alapján). – 1 = ópleisztocén rozsdássárga folyami kavics; 2 = az óholocénban áttelepített jégkori futóhomok (felső részét lefejtették); 3 = idősebb halványvöröses színárnyalatú, kavicsos, homokos, alul finoman rétegzett, kehelyidomú hasadékkitöltés; 4 = fiatalabb, keresztező, szürke homokos hasadékkitöltés; 5 = meszes kérgezés; 6 = a humuszosodás alsó határa

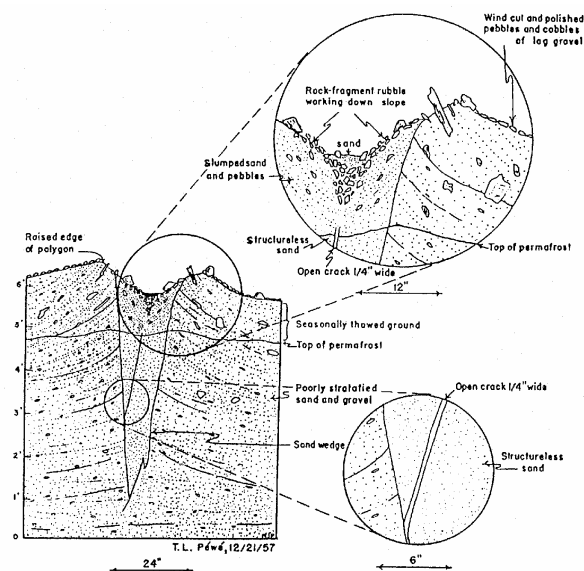
Profile of cross-bedded Pleistocene frost cracks (ice wedges) in the local gravel quarry at Pestszentlőrinc (after KERÉKES, J. 1941). – 1 = Early Pleistocene rusty yellow fluvial gravel; 2 = wind blown sand formed during the Pleistocene and redeposited in the early Holocene (its upper part has been quarried); 3 = older gravelly, sandy, in lower parts finely stratified infilling of pale reddish colour; 4 = younger, cross-bedded crack infilling of grey colour; 5 = carbonate crust; 6 = lower boundary of humification

A periglaciális klímával, jelenségekkel és környezettel foglalkozó külföldi, általános jellegű, összefoglaló könyvek és tanulmányok szintén kitérnek a közép-európai fosszilis periglaciális jelenségek kutatására és értékelésére (EMBLETON, C.–KING, C. A. M. 1975; FRENCH, H. M. 1976; VANDEN-BERGHE, J.–PISSART, A. 1993; WASHBURN, A. L. 1979).

## A homokékek általános jellemzői

A fagyrepedések – köztük a homokékek – keletkezését általában a terepi megfigyelésekre és modellkísérletekre alapozott, termális kontrakciós elmélettel magyarázzák. Ha a hőmérséklet gyorsan és jelentősen fagypont alá süllyed, a talaj ennek megfelelően összehúzódik (BLACK, R. F. 1976). A repedések létrejöttének fontos feltétele a hirtelen hőmérsékletcsökkenés, így a felszínen sokszögű, poligonális alaprajzú repedés-hálózat alakul ki. A poligonok átmérője erősen változó. Természetesen nem minden fagyrepedés poligonális, létrejöhetnek hosszan elnyúló lineáris repedések is (WASHBURN, A. L. 1979). A talaj szerkezete, anyaga, víz- és jégtartalma jelentősen befolyásolja a fagyrepedések kialakulását. Minél kisebb a talaj víz-, ill. jégtartalma, annál hidegebb szükséges kifejlődésükhöz (BLACK, R. F. 1976).

A homokékek kialakulásakor a termális kontrakciós repedés allochton szedimenttel, túlnyomórészt homokkal töltődik ki (2. ábra). A feltöltődés döntően szél által történik (PÉWÉ, T. L. 1959; VANDENBERGHE, J.–PISSART, A. 1993; WASHBURN, A. L. 1979). A repedés folyamatos tágulása az ismétlődő szezonális felnyílások következménye, amit a kitöltés vertikális rétegzettsége mutat. A homokék jól elkülöníthető a jégéktől, mivel más-más geomorfológiai környezetben alakul ki. Az előbbi eléri a felszínt, míg az utóbbi teteje az állandóan fagyott rétegben található.



2. ábra. Homokék vázlata (Taylor Dry Valley, McMurdo Sound, Antarktisz) (PÉWÉ, T. L. 1959 alapján). Az ábra magyarázatát l. a szövegben

Sketch of a sand wedge (Taylor Dry Valley, McMurdo Sound, Antarctica) (after PÉWÉ, T. L. 1959).  
For explanation see the text

A jégékek a permafrost legjellemzőbb képződményei közé tartoznak. A kialakult fagyrepedésbe jutó víz megfagyva az örökfagy testében megőrzi a repedést. A fagyváltozékony rétegben viszont ezek a repedések tökéletesen záródnak a felolvadás-kor. A következő tél során ugyanitt a gyengeségi sík mentén reped fel a talaj, majd a repedésbe jutó víz révén tovább hízik a jég, így mélyül és tágul a repedés (LACHENBRUCH, H. 1962). A jégékek létrejöttét – tapasztalati adatok szerint – általában a  $-6$ – $-8$  °C-os évi középhőmérsékleti izotermához kötik, ezért klasszikusan az összefüggő örökfagyra jellemzők (3–4. ábra). Létrejöttük fontos feltétele a nedves térszín, ill. a víz jelenléte, éppen ezért leggyakoribbak a völgytalpakon és a feltöltött síkságokon, ahol az anyag és a sok nedvesség is kedvez kialakulásuknak (PÉWÉ, T. L. 1966).

Bár a recens repedések struktúrája mindkét típusnál vertikális, ám a homokék-nél ez megőrződik, így a fosszilis formákon is megfigyelhető. A fosszilis jégék viszont rogyott szerkezetű, a kitöltő szedimentek horizontálisan települnek (5. ábra).

Homokék-poligon csak nagyon száraz környezetben jöhet létre: a felszín, ahol a repedéshálózat kialakul, teljesen száraz, így a kitöltő anyag egyedül homok lehet. Valódi homokék (jég nélküli ék) csak úgy alakul ki, ha a hőmérséklet egész évben tartósan  $0$  °C alatt van, ill. nincs csapadék (tavaszi hó vagy nyári eső formájában sem). Homokék-poli-gonok képződésekor olyan az eolikus aktivitás, mint egy sivatagi környezetben. A homokékek kialakulásához  $-12$  °C körüli évi középhőmérséklet és  $100$  mm-nél kevesebb csapadék szükséges (EMBLETON, C.–KING, C. A. M. 1975; VANDENBERG-HE, J.–PISSART, A. 1993). A rettentően száraz klíma akadályozza meg, hogy a talaj nyáron felengedő legfelső része (aktív övezet) „elmoossa”, kaotikussá formálja a rétegeket.

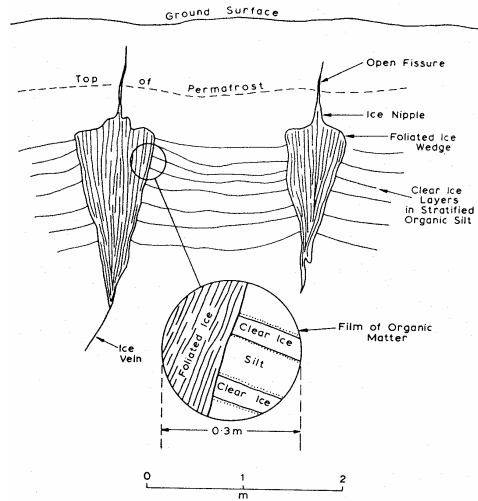
A homokék csak az összefüggő permafrostra jellemző. Jelenleg is képződnek Alaszka É-i területein, Kanadában az összefüggő permafrost É-i sávjában és az Antarktisz száraz vidékein (MURTON, J. B.–FRENCH, H. M. 1993a,b; PÉWÉ, T. L. 1959; TARNOCAI, C.–SCHWEITZER, F. 1998). Fosszilis homokékek a negyedidőszaki üledékekben szórványosan ismertek. Megtalálhatók az európai pleisztocén összefüggő permafrost zónában, mint pl. Hollandiában, Lengyelországban és a Kárpát-medencében (FÁBIÁN SZ. Á. et al. 1998; FRENCH, H. M.–GOZDZIK, J. S. 1988; VANDENBERGHE, J.–PISSART, A. 1993).

Természetesen előfordulnak összetett homokékek is (bizonyos mennyiségű jéggel), mivel a fenti feltételrendszer nem minden esetben tud teljesülni a természetben. Ezen forma mélysége és szélessége nagyságrendekkel kisebb, mint a valódi homokéké. Összetett homokék jellemző az aktív övezetben és a permafrost zóna peremén a szezonálisan fagyott talajban kevés csapadék mellett (VANDENBERGHE, J.–PISSART, A. 1993).

## Homokékek Magyarországon

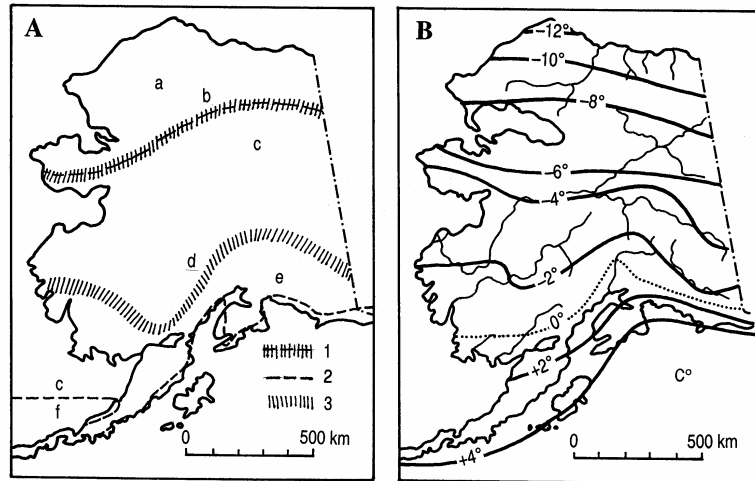
### *Mogyoród*

A homokékek Mogyoród mellett a Pesti-sík a és Gödöllői-dombság találkozásánál, a Juhállás nevű terület kavicsbányájában található,  $255$  m tszf-i magasságban. A területet régebben a Duna teraszrendszeréhez sorolták, mint V. ópleisztocén hordalék-kúp-teraszt (PÉCSI M. 1959). Az újabban talált deltaösszletek, torrens medrek és a



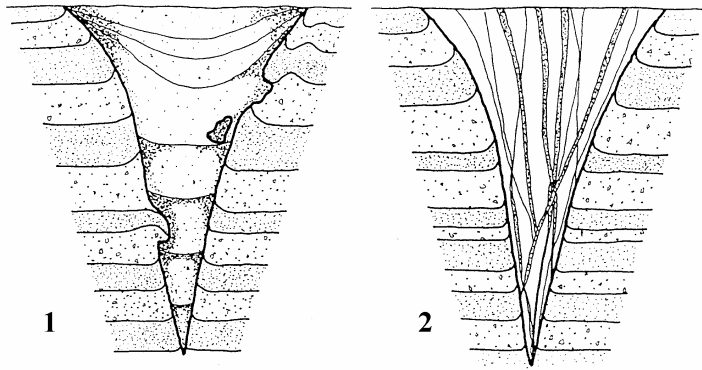
3. ábra. Vertikálisan rétegzett recens jégécek (Galena, Alaszka) (PÉWÉ, T. L. 1962 alapján). Az ábra magyarázatát l. a szövegben

Vertically stratified recent ice wedges (Galena, Alaska) (after PÉWÉ, T. L. 1962). For explanation see the text



4. ábra. A jégécek eloszlásának (A) és a levegő évi középhőmérsékletének (B) összefüggése (PÉWÉ, T. L. 1966 alapján). – 1 = az örökfagy határa; 2 = 0 °C-os évi izoterma; 3 = a jégéktípusok határa; a = aktív jégécek; b = folyamatos örökfagy; c = szaggatott örökfagy; d = gyengén aktív és inaktív jégécek; e = nincs jégék; f = nincs örökfagy

Interrelationship between the distribution of ice wedges (A) and annual air temperatures (B) (after PÉWÉ, T. L. 1966). – 1 = boundary of permafrost; 2 = annual isotherm of 0 °C; 3 = boundary of ice wedge types; a = active ice wedges; b = continuous permafrost; c = discontinuous permafrost; d = poorly active and inactive ice wedges; e = areas free from ice wedges; f = areas free from permafrost



5. ábra. Jégék- (1) és homokék-kitöltés (2) szerkezete (BLACK, R. F. 1976 alapján)

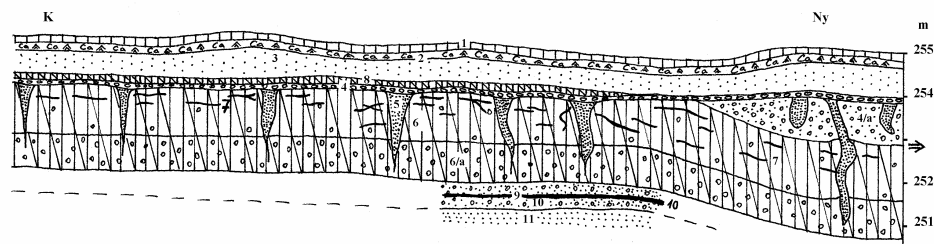
Structures of ice wedge (1) and of sand wedge (2) (after BLACK, R. F. 1976)

medrek anyagában fellelhető sivatagi fénymázos kavicsok tükrében sokkal idősebbnek gondolják a terület egyes részeit (PÉCSI M. 1991; SCHWEITZER F. 1993). Ezeket a kavicsokat valószínűleg a pliocén, esetleg a felső-miocén korban rakták le az ösfolyók jelenlegi helyükre, így csak később jelenhetett meg a Duna, kialakítva teraszrendszerét.

A homokékek a bánya egy K–Ny-i irányú falában helyezkednek el (6. ábra). Az ékek vastag, áthalmozott, kavicsos, vöröses-barna (5 YR 5/8) paleotalajba mélyülnek, amely alatt homokos–kavicsos, néhol mangánsávós folyóvízi összlet található. A paleotalajban horizontálisan elhelyezkedő meszes erek a változó mélységű aktív övezet jelölhetik. A vöröses-barna fosszilis talajösszletet vékony (5–10 cm), élesen elkülönülő kifagyási kavicslepel borítja, amit mészcementál össze. Ez a réteg szinte hiánytalanul nyomozható az egész feltárásban. A kifagyási kavicszinór általánosan jellemző a hazai talajfagy-jelenségekre (PÉCSI M. 1997). Erre vékony paleotalaj (10 YR 5/4) települ, ami a feltárás K-i végétől egészen a közepéig megtalálható. A visszameszedésből származik a kavicsleplet cementáló mészcement. Ezután futóhomok következik, ami alapja a recens talajnak (7.5 YR 4/4).

A homokékek mélysége átlagosan 1,5–1,8 m, de maximálisan 2,5 m is lehet. Szélességük változó, 25–30 cm-től egészen 50–60 cm-ig terjedhet. Az ékek kitöltése vertikális laminációt mutat, ez alapján tisztán felismerhető a szakaszos képződés. Az egykori ékperemek többféle módon kijelölhetők. Az egyik, amikor az üledék függőleges síkok mentén, a kitöltési fázisoknak megfelelően, kisebb nagyobb blokkokban esik ki a falból a pusztulás során. Másik esetben az ékperemek összecementáltak, keményebb függőleges gerincekként rajzolódnak ki. Harmadik esetben már a kitöltő üledékek is teljesen eltérő minőségű anyagok. Ezek az egykori ékperemek, a vertikális lamináció fontos, speciális jellemzői a homokékeknek (7. ábra).

Az ékek többségét szürkés eolikus homokanyag (2.5 Y 7/4) tölti ki. A homok mellett előfordulnak az ékekben apróbb kavicsok és kavics töredékek, amik az egykori felszínről hullottak a repedésbe. Ezek aránya minimális. A kavicsok felszíne jól polírozott és kvarcsemcsék által „bombázott”, amely bizonyítja a hajdani erős eolikus aktivitást.



6. ábra. A mogyoródi homokék-poligonok szelvénye (szerk.: FÁBIÁN SZ. Á. 1998). – 1 = recens talaj (7.5 YR 4/4); 2 = felhalmozódási szint; 3 = futóhomok (10 YR 6/6); 4 = meszes kavicslepel; 4/a = homokos kavics; 5 = homokék; 6 = áthalmazott paleotalaj; 6/a = áthalmazott paleotalaj kavicsal (5 YR 5/8); 7 = mésszel kitöltött fagyerek; 8 = paleotalaj (10 YR 5/4); 9 = folyóvízi kavicsos homok; 10 = mangánsáv; 11 = kereszttrétegzett homok

Transversal profile of sand wedges at Mogyoród (drawn by FÁBIÁN, SZ. Á. 1998). – 1 = recent soil (7.5 YR 4/4); 2 = accumulation horizon; 3 = wind blown sand (10 YR 6/6); 4 = calcareous gravel blanket; 4/a = gravelly sand; 5 = sand wedge; 6 = redeposited paleosol; 6/a = redeposited paleosol with gravel (5 YR 5/8); 7 = ice wedges with carbonate infilling; 8 = paleosol (10 YR 5/4); 9 = sand with fluvial gravel; 10 = manganese stripe; 11 = cross-bedded sand

Található a feltárásban olyan homokék is, ahol különböző üledékek alkotják a kinyílások egyes periódusait. A korábbi kinyílásokat feltöltő idősebb anyag sárgás színű (2.5 Y 6/6), kavicsos homok. A fiatalabb, szürkés homok, ami jól egyezik az összes többi ék anyagával, tehát képződésük azonos idejű. Ez azt jelenti, hogy a mogyoródi homokékeknek van egy „idősebb” és egy „fiatalabb” generációja. A fagyékek képződésének 2 vagy több generációjára már a korábbi kutatások felhívják a figyelmet (KEREKES J. 1941; PÉCSI M. 1961).

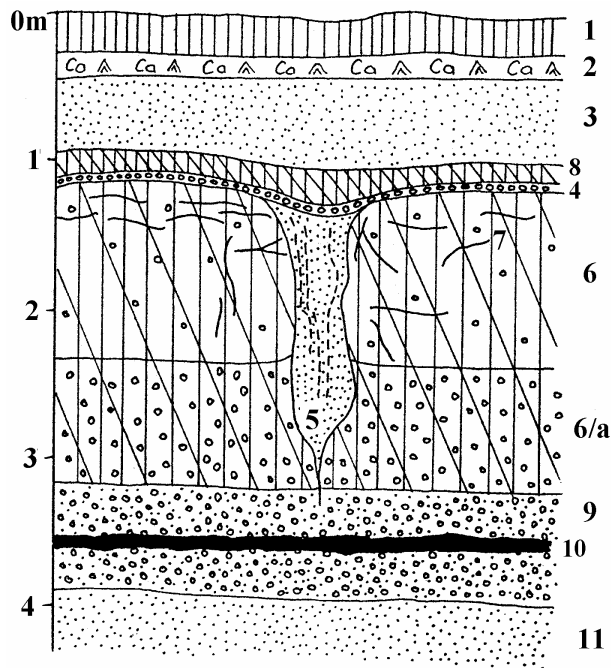
A feltárásban a homokékek poligonális rendszert alkotnak, de a kavicsbánya más részein „magányosan” is előfordulnak. Ezeket lineáris repedésekként értelmezhetjük. Üledékük hasonló a „fiatalabb” generációs homokékek kitöltéséhez.

### Csipkerek

A feltárás a kemenesháti kavicsstakaró Ny-i peremén található egy jelenleg is működő kavicsbányában, 230 m tszf-i magasságban. A homokékek alapját jelentő kemenesháti folyóvízi kavicsok kora az újabb kutatások szerint idősebb, mint azt korábban gondolták. A régi elképzelések szerint alsópleisztocén korú lerakódásokról van szó (ÁDÁM L.–MAROSI S. 1975). Azonban a kavicsokat vörösgyag fedi, amelynek kora 3–4,2 millió év közé tehető (SCHWEITZER F. 1993), így a kavicsok lerakódása valószínűleg az alsópliocénben (*Ruscium-Csarnótánium*) következett be (PÉCSI M.–ZENTAI Z. *ex verbis*). Ezt az is alátámasztja, hogy a kavicsok között szép számmal találhatunk sivatagi lakkal fedettek is.

A csipkerei homokékek rendkívül szépen kirajzolódnak a kavicsanyagból, hiszen a sárga, ill. szürke homokkal kitöltött ékeknek jó kontrasztot ad a vörösgyaggal





7. ábra. A VI. sz. homokék metszete az egykori ékperemekkel (szerk.: FÁBIÁN SZ. Á. 1998). Jelma-gyarázatot l. a 6. ábránál.

Cross profile of sand wedge No. VI with former ice edges (drawn by FÁBIÁN, SZ. Á. 1998). For explanation see Fig. 6.

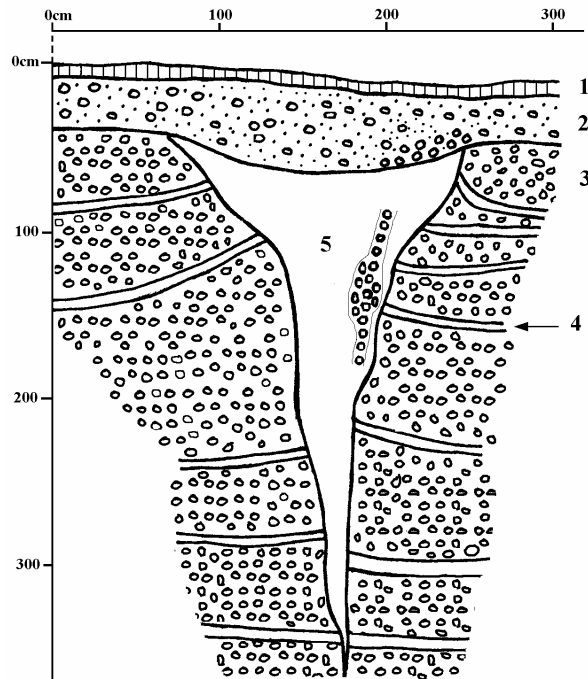
cementált kavicsösszlet (8. ábra). A homokékekben több helyen előforduló sűrű foltokat valószínűleg utólagosan a növényzet gyökerei hozták létre. A közel vízszintesen települő kavicsrétegekbe mélyülő homokékek magányosan ritkán fordulnak elő, jellemzőbb a csoportos megjelenés. Az utóbbi esetben 3–6 m-es távolságban követik egymást az egyes ékek. Ez a többé-kevésbé szabályos megjelenés poligonális szerkezetet mutat.

A szabályos poligonális szerkezet kialakulásának kedvező feltétele volt a szinte teljesen sík kavicsfelszín. Ez a sík felszín ma is nyomon követhető a Kemeneshát eróziós és deráziós völgyektől kevésbé felszabdalt területein.

Az itteni homokékek maximális szélessége 1 m, mélységük 2–3 m között változik. A kitöltő homokanyag (2.5 Y 7/4) makroszkopikus ismérvei alapján szinte teljesen megegyezik a Mogyoród mellett találtakéval. A bányában itt is találunk poligonszerűen elhelyezkedő ékeket, ill. magányosakat is.

### Kronológiai és paleoklimatológiai problémák

Érdekes probléma, hogy a Kárpát-medencében mikor volt olyan szélsőségesen hideg és arid a klíma, hogy homokékek tudtak képződni egyes helyeken. A kérdés el-



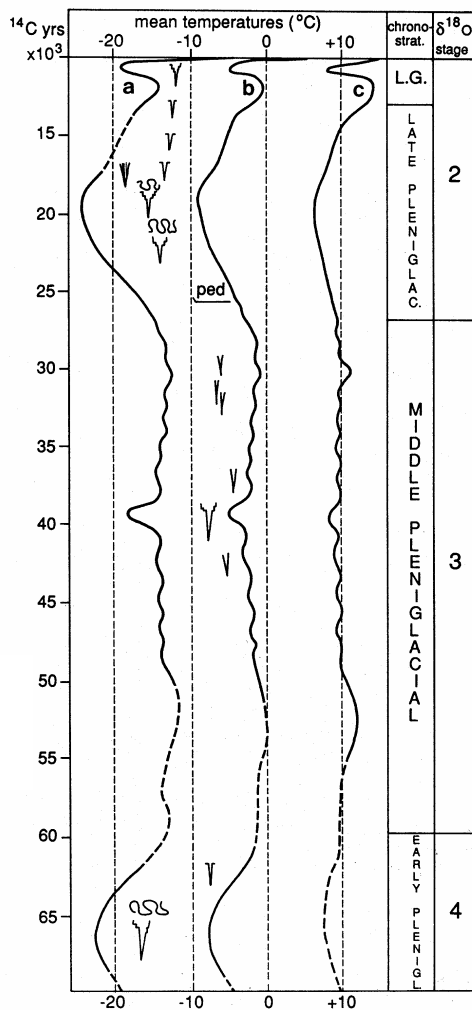
8. ábra. Homokék a csipkerei kavicsbányából (szerk.: FÁBIÁN SZ. Á.–VARGA G. 1998). –  
 1 = recens talaj; 2 = kavicsos homok; 3 = kavicsösszlet, a tetején vörösbagyag foltokkal (10 R 3/6);  
 4 = kavicsösszlet szürke sávokkal (5 Y 5/1); 5 = homokék

Sand wedge in the gravel quarry at Csipkerek (drawn by FÁBIÁN, SZ. Á. and VARGA, G. 1998). –  
 1 = recent soil; 2 = gravelly sand; 3 = gravel sequence, on top patches with of red clay (10 R 3/6);  
 4 = gravel sequence with grey stripes (5 Y 5/1); 5 = sand wedge

döntésének nehézségét fokozza, hogy a mogyoródi és csipkerei feltárásban ez idáig nem találtunk a kérdés eldöntését elősegítő bizonyítékokat. Ezek hiányában a hazai és európai kutatási eredmények figyelembe vételével, analógiákra alapozva illesztjük be a homokékek kialakulását a pleisztocén kronológiába.

A Hollandia, belga németalföldi és lengyel kutatások alapján az utolsó glaciális (Weichsel/Würm) során az állandóan fagyott talaj jelensége a felső-pleniglaciális alatt volt a legjellemzőbb (9–10. ábra). Nyugat- és Közép-Európában az éghajlatot  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ill.  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os évi középhőmérséklettel és 200 mm-nél kevesebb csapadékkal jellemezhetjük, ahol a leghidegebb hónap középhőmérséklete elérte vagy meghaladta a  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot, míg a legmelegebbé  $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$  alatt maradt. Így akár  $15\text{--}17\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal is hidegebb lehetett Nyugat- és Közép-Európában, mint ma (FRENCH, H. M.–GOZDZIK J. S. 1988; MAARLEVELD, G. C. 1976; VAN-DENBERGHE, J.–PISSART, A. 1993).

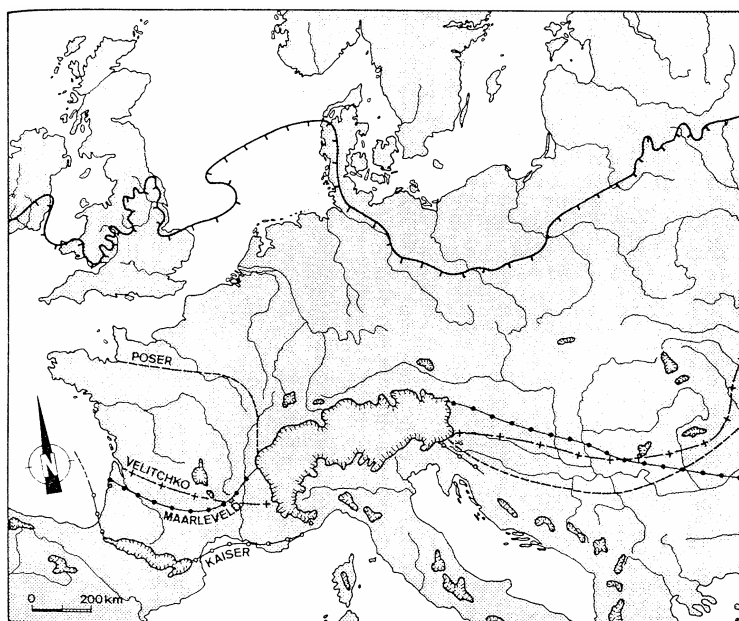
A hazai periglaciális jelenségek vizsgálatából nyert adatok ennél jóval szerényebb mértékű lehüléssel számolnak: az évi középhőmérséklet tekintetében  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal, míg a leghidegebb és legmelegebb hónap középhőmérsékleténél  $-14\text{--}+14\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal



9. ábra. A téli (a) az évi (b), és a nyári (c) középhőmérséklet változása a Weichsel (Würm) glaciális során Belgium és Hollandia területén (VANDENBERGHE, J.–PISSART, A. 1993 alapján). Az ábrában a nyílhegyek fagyrepedéseket (4 széles nyíl), jégékeket és homokéket (1 db) jelölnek. A kígyóvonal nagyméretű krioturbációra utal; ped = kriopediment

Variation of winter (a), annual (b) and summer (c) mean temperatures in present-day Belgium and the Netherlands during Weichsel (Würm) glacial (after VANDENBERGHE, J. – PISSART, A. 1993). In the figure arrow-heads indicate frost cracks (4 wide arrow-heads), ice-wedge casts and one sand-wedge cast (1), serpentine shows large cryoturbation; ped = cryopediment

(BULLA B. 1962; PÉCSI M. 1961). Viszont DYLIK, J. (1963) szerint a Kárpát-medence belsejében a pleisztocén klíma hasonló lehetett a mai észak-szibériai viszonyokhoz, ami sokkal jelentősebb lehűlést feltételez.



10. ábra. Közép- és Nyugat-Európa térképe a permafrost legdélibb kiterjedésével az utolsó hideg maximum idején POSER, KAISER, MAARLEVELD és VELICHKO szerint (VANDENBERGHE, J.–PISSART, A. 1993 alapján).

Central and Western Europe with the southernmost extension of permafrost during the maximum of the last glacial by POSER, KAISER, MAARLEVELD and VELICHKO (after VANDENBERGHE, J.–PISSART, A. 1993).

A felsőpleisztocénra vonatkozó gerincesfauna vizsgálatok adatai szintén enyhébb lehülést mutatnak (KRETZOI, M.–VÉRTES, L. 1965). A pleisztocén legfiatalabb faunaszintjének pilisszántói szakasza felel meg ennek a lehülésnek. A szakasz arktikus faunaegyüttessel jellemezhető, (rénszarvas, lemming, hófajd stb.) (KRETZOI M. 1969). A pleisztocénra vonatkozó malakológiai vizsgálatok szerinti 5. fázis „e” szakaszában hideg-száraz lehetett az éghajlat. Hidegtűrő alakok kerülnek előtérbe és eltűnnek a melegjelző fajok. Ez a lehülés az alpi kronológia Würm III. stadiálisának felel meg (KROLOPP E. 1973).

Az ősnövényntani kutatások adatai erős lehülést és száraz, arid jelleget vázolnak az utolsó glaciális idejére (JÁRAI–KOMLÓDI M. 1969). A vízi növények és a nedveségkedvelő taxonok teljesen hiányoznak, amiből nagymértékű ariditásra következtethetünk: a csapadék maximális értéke 180–200 mm lehetett. A chinofil növények csekély száma jelzi a hótakaró nélküli kemény, hosszú, száraz teleket. A nyári hőmérséklet erős csökkenését jelezheti számos kétszikű család kipusztulása és a fás vegetáció teljes hiánya (JÁRAI–KOMLÓDI M. 1973). Ebből arra lehet következtetni, hogy a júliusi kö-

zéphőmérséklet nem érte el a +10 °C-ot, viszont a januári átlag -18 °C körül alakult, így az évi középhőmérséklet -3—4 °C lehetett.

RÓNAI A. (1969) a jászladányi fűrés rétegsorából von le következtetéseket a pleisztocén éghajlatával kapcsolatban. Hideg klímát csak a negyedkor harmadik harmadában mutat a vegetáció. A felsőpleisztocén utolsó szakaszában (25–8 millió éve) igen hideg és száraz az éghajlat: a *Pinus cembra*, a *Salix* és *Betula* (mind hidegtűrő fák) pollenjei számottevők még, de a pollenszám általában nagyon alacsony, az erdősültség gyenge, a fűfélék (*Gramineae*) pollenjei száraz sztyepvegetációt jeleznek.

A fenti paleoklimatológiai kutatások adataiból és a homokékek kialakulási feltételei alapján úgy véljük, hogy a Kárpát-medencében a Würm hidegmaximuma, a felső-pleniglaciális (27–16 ezer éve) leghidegebb 4–5 ezer évében (Brandenburgi-fázis) volt elég hideg, szeles és száraz a klíma ahhoz, hogy homokékek tudjanak kialakulni.

Fontos kérdés az arid klímához kötődő futóhomokmozgás. A Würmtől napjainkig három homokmozgásos időszak ismeretes (BORSY Z. 1961, 1977). Az első és a legnagyobb fázis a Würm utolsó glaciálisában (felső-pleniglaciális) volt, amely 25–26 ezer évvel ezelőtt kezdődött és a késő glaciálisig tartott. A legerőteljesebb homokmozgás valószínűleg 20 ezer évvel ezelőtt volt a hidegmaximum idején. Valószínűleg ez a futóhomok található meg a homokékek kitöltő anyagaként is.

Az ékek kialakulásához, feltöltéséhez rendkívüli szárazság szükséges („hideg sivatagi környezet”), amit a fentebb vázolt éghajlati adatok alá is támasztanak. A terület morfológiájához kötött az ékek képződése, csak ott jöhettek létre. A tágabb környezeteket, Mogyoród–Csömör–Kerepestarcsa háromszöget, ill. a Kemeneshát tetejét figyelembe véve, a legmagasabb pontokon (255 m, ill. 230 m), vízvázlatzó gerincen helyezkednek el az ékek.

### Összefoglalás

A pleisztocén kori európai permafrost zóna D-i határának megvonása problematikus kérdés. A probléma „megoldásához” nyújthatnak segítséget az általunk vizsgált mogyoródi és csipkerekéi homokék-poligonok.

Az eddigi vizsgálatok alapján a Kárpát-medencében a pleisztocén hideg időszakaira -2—3 °C évi középhőmérséklettel és 200–400 mm csapadékkal jellemzett klímát rekonstruáltak a kutatók.

Vizsgálataink, ill. összehasonlító paleoklimatológiai adatok alapján úgy véljük, hogy a Kárpát-medencében, a felső-pleniglaciális idején általános lehetett az összefüggő, folyamatos permafrost jelensége. A homokékek alapján az évi középhőmérséklet legalább -8—10 °C, a csapadék mennyisége pedig maximum 50–100 mm körül alakulhatott. Leginkább egy „jéghideg sivataghoz” hasonlított ekkor hazánk, a Kárpát-medence.

- ÁDÁM L.–MAROSI S. (szerk.) 1975. A Kisalföld és a Nyugat-magyarországi-peremvidék. Magyarország tájféldrajza 3. – Akadémiai Kiadó, Bp. 460 p.
- BARABÁS A. 1955. Jégkori képződmények a földalatti gyorsvasút Kerepesi úti feltárásában. – Földr. Közl. (3.) 79. 1. pp. 1–12.
- BLACK, R. F. 1976. Periglacial features indicative of permafrost. – Quaternary Research 6. pp. 3–26.
- BORSY Z. 1961. A Nyírség természeti földrajza. – Földr. Monográfiák V. Akad. Kiadó, Bp., 227 p.
- BORSY Z. 1977. A magyarországi futóhomokterületek felszínfejlődése. – Földr. Közl. (25.) 101. 1. pp. 13–25.
- BULLA B. 1935. Néhány szó a poláris és szubpoláris tundraképződmények kutatástörténetéhez. – Földr. Közl. 59. pp. 279–284.
- BULLA, B. 1939. Die periglazialen Bildungen und Oberflächengestaltungen des Ungarischen Beckens. – Földr. Közl. 63. pp. 268–281.
- BULLA B. 1941. A Máramarosi Kárpátok periglaciális jelenségeiről. – Földt. Közl. 65. pp. 195–205.
- BULLA B. 1962. Magyarország természeti földrajza. – Tankönyvkiadó, Bp., 424 p.
- BUTZER, K. W. 1986. A földfelszín formakincse. – Gondolat, Bp., 520 p.
- CHOLNOKY J. 1911. A Spitzbergák. – Földr. Közl. 35. pp. 301–345.
- DEMEK, J. 1983. Fosszilis periglaciális jelenségek Csehszlovákiában és értékelésük az őshajlat szempontjából. – Földr. Közl. 31. (107.) 3–4. pp. 262–265.
- DYLIK, J. 1963. Magyarország periglaciális problémái. – Földr. Ért. 12. pp. 453–464.
- DYLIK, J. 1966. Problems of ice wedge structures and frost fissures polygons. – Biul. Peryglac. 15. pp. 241–291.
- EMBLETON, C.–KING, C. A. M. 1975. Periglacial Geomorphology. – E. Arnold, London, 203 p.
- FÁBIÁN SZ. Á.–KOVÁCS J.–VARGA G. 1998. Új szempontok a Kárpát-medence felső-würmi ösföldrajzi viszonyaihoz a homokékek alapján. – Közlemények a JPTE TTK Természetföldrajz Tanszékéről, Pécs, 16 p.
- FRENCH, H. M.–HEGINBOTTOM, J. A. (eds.) 1983. Guidebook to permafrost and related features of the Northern Yukon Territory and Mackenzie Delta, Canada. – Division of Geological & Geophysical Surveys Department of Natural Resources, State of Alaska, Fairbanks, 186 p.
- FRENCH, H. M. 1976. The periglacial environment. – Longman, London, 309 p.
- FRENCH, H. M.–GOZDZIK, J. S. 1988. Pleistocene epigenetic and syngenetic frost fissures, Belchatow, Poland. – Canadian Journal of Earth Sciences, Vol. 25, pp. 2017–2027.
- GÁBRIS GY. 1995. Éghajlati felszínalaktan I. (Periglaciális geomorfológia). – Nemzeti Tankönyvkiadó, Bp., 125 p.
- GULLENTOPS, F.–PAULISSEN, E.–VANDENBERGHE, J. 1981. Fossil periglacial phenomena in NE-Belgium. – Biul. Peryglac. 28. pp. 345–365.
- JÁRAI-KOMLÓDI M. 1969. Adatok az Alföld negyedkori klíma- és vegetációtörténetéhez. – Bot. Közl. 56. 1. pp. 43–55.
- JÁRAI-KOMLÓDI M. 1973. Eurázsia felső-pleisztocén vegetációja a Würm glaciális hideg maximuma és a Riss-Würm interglaciális klímáoptimuma idején. – Geonómia és Bányászat 6. 1–4. pp. 173–181.
- KÁDÁR L. 1957. A kovárványos homok kérdése. – Földr. Ért. 6. pp. 1–10.
- KÁDÁR L. 1973. Földrajzi megjegyzések Eurázsia pleisztocénkori éghajlatához. – Geonómia és Bányászat 6. 1–4. pp. 207–215.
- KÉZ A. 1938. A jégkor éghajlata. – Pótfüz. a Term. Tud.-i Közl.-höz, pp. 97–115.
- KÉZ A. 1965. A jégékek és az állandóan fagyott talaj Észak-Alaszkában. – Földr. Ért. 14. 1. pp. 11–12.
- KARÁCSONYI S.–SCHEUER GY. 1971. A pleisztocén talajfagyási jelenségek építésföldtani értékelése. – Földtani Kutatás 14. 1–2. pp. 15–21.
- KEREKES J. 1938. Fosszilis tundra talaj a Bükkben. – Földr. Közl. 62. pp. 112–116.

- KEREKES J. 1939. A peestszentlőrinci fosszilis tundraképződmények. – Földt. Közl. 63. pp. 131–139.
- KEREKES J. 1941. Hazánk periglaciális képződményei. – Beszámoló a Magyar Kir. Földt. Int. vitatüléseinek munkálatairól. pp. 97–149.
- KORDOS L. 1979. A magyarországi paleoklimatológiai kutatások módszerei és eredményei. – OMSZ, Bp., 167 p.
- KRANTZ, W. B.–GLEASON, K. J.–CAINE, N. 1989. Fagymintás talaj. – Tudomány 5. 2. pp. 36–41.
- KRETZOI, M.–VÉRTES, L. 1965. The role of vertebrata faunae and paleolithic industries of Hungary in Quaternary stratigraphy and cronology. – Acta Geol. Hun. IX. pp. 125–144.
- KRETZOI M. 1969. A magyarországi quarter és pliocén szárazföldi biosztratigráfiájának vázlata. – Földr. Közl. (17.) 82. 3. pp. 179–198.
- KRIVÁN P. 1958. Jégencsés-leveles állótundra jelenségek Magyarországon. – Földt. Közl. 44. pp. 201–208.
- KRIVÁN P. 1966. A würmi szakasz kezdetének és záródásának paleoklimatológiai felosztásáról. – Ősl. Vit. 6. pp. 64–66.
- KROLOPP E. 1973. Negyedkori malakológia Magyarországon. – Földr. Közl. (21.) 86. 2. pp. 167–171.
- LÁNG S. 1971. Recens periglaciális formák Jakutiában. – Földr. Ért. 20. 2. pp. 207–214.
- LACHENBRUCH, A. H. 1962. Mechanics of thermal contraction cracks and ice-wedge polygons in permafrost. – Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 70. 69 p.
- MAARLEVELD, G. 1976. Periglacial phenomena and the mean annual temperature during the last glacial time in The Netherlands. – Biul. Peryglac. 26. pp. 57–78.
- MAROSI S. 1966. Kovárványrétegek és periglaciális jelenségek összefüggésének kérdései a belső-somogyi futóhomokban. – Földr. Ért. 15. 1. pp. 27–40.
- MURTON, J. B.–FRENCH, H. M. 1993. Sand wedges and permafrost history, Crumbling Point, Pleistocene Mackenzie Delta, Canada. – Permafrost, Proceedings of the Sixth International Conference on Permafrost, Beijing, China pp. 482–487.
- MURTON, J. B.–FRENCH, H. M. 1993. Thaw modification of frost-fissure wedges, Richards Island, Pleistocene Mackenzie Delta, western Arctic Canada. – Journal of Quaternary science, Vol. 8, pp. 185–196.
- MURTON, J. B.–FRENCH, H. M. 1994. Cryostructures in permafrost, Tuktoyaktuk coastlands, western Arctic Canada. – Canadian Journal of Earth Sciences, Vol. 31, pp. 737–747.
- MURTON, J. B.–FRENCH, H. M.–LAMOTHE, M. 1997. Late Wisconsinan erosion and eolian deposition, Summer Island area, Pleistocene Mackenzie Delta, Northwest Territories: optical dating and implications for glacial cronology. – Canadian Journal of Earth Sciences, Vol. 34, pp. 190–199.
- PÉCSI M. 1959. A magyarországi Duna-völgy kialakulása és felszínaktana. – Földr. Monográfiák III. Akad. Kiadó, Bp., 346 p.
- PÉCSI M. 1961. A periglaciális talajfagy-jelenségek főbb típusai Magyarországon. – Földr. Közl. 9. 74. 1. pp. 1–24.
- PÉCSI M. 1964. A magyarországi szerkezeti talajok kronológiai kérdései. – Földr. Ért. 13. 2. pp. 141–156.
- PÉCSI M. 1991. Geomorfológia és domborzatminősítés. – Elmélet–Módszer–Gyakorlat 53. MTA FKI, Bp., 296 p.
- PÉCSI M. 1993. Negyedkor és löszkutatás. – Elmélet–Módszer–Gyakorlat 54. MTA FKI, Bp., 375 p.
- PÉCSI M. 1997. Szerkezeti és vázlatalképződés Magyarországon. – Elmélet–Módszer–Gyakorlat 57. MTA FKI, Bp., 296 p.
- PÉWÉ, T. L. 1959. Sand-wedge polygons (Tessellations) in the McMurdo Sound Region, Antarctica. A progress report. – Amer. Journ. of Sci. 257. pp. 545–552.
- PÉWÉ, T. L. 1962. Ice wedges in permafrost, Lower Yukon river area, near Galena, Alaska. – Biul. Peryglac. II. pp. 65–76.
- PÉWÉ, T. L. 1966. Paleoclimitic significance of fossil ice wedge – Biul. Peryglac. 15. pp. 65–73.
- PINCZÉS Z. 1995. A bodrogkeresztúri fagyékek. – KLTE Tud. Közl. pp. 112–119.

- RÓNAI A. 1969. A medencebeli pleisztocén sztratigráfia hazai eredményei. – Földr. Közl. 17. (82.) 3. pp. 218–229.
- SCHEUER GY.–VERMES J. 1967. Talajfagy-jelenségek a dunaújvárosi löszösszletben. – Földr. Ért. 16. 1. pp. 91–95.
- SCHEUER GY. 1969. Talajfagy-jelenségek dolomit felszíneken. – Földr. Ért. 18. 2. pp. 177–192.
- SCHEUER GY. 1970. Adatok a fagyékek keletkezéséhez. – Földr. Ért. 19. 2. pp. 191–194.
- SCHWEITZER F. 1993. Domborzatformálódás a Pannóniai-medence belsejében a fiatal újkorban és a negyedidőszak határán. – Akad. dokt. ért. Bp., 125 p.
- SZÁDECZKY-KARDOSS, E. 1936. Pleistozäne Strukturbodenbildung in den ungarischen Tiefebene und im Wiener Becken. – Földt. Közl. 22. pp. 213–228.
- TÖRÖK E. 1962a. Periglaciális talajfagy-jelenségek Magyarécs–Egyházaaszkész környéki bazalttufa településben. – Földr. Ért. 11. pp. 287–289.
- TÖRÖK E. 1962b. Periglaciális talajfagy-jelenségek a Marcal völgyében. – Földr. Ért. 11. pp. 406–409.
- TARNÓCAI, C.–SCHWEITZER, F. 1998. Cryogenic features in Canada and Hungary and their significance for past climate. – Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 21. 1. pp. 87–92.
- VANDENBERGHE, J.–PISSART, A. 1993. Permafrost changes in Europe during the Last Glacial – Permafrost and Periglacial Processes 4. 2. pp. 121–135.
- WASHBURN, A. L. 1979. Geocryology. – A survey of periglacial processes and environments. E. Arnold, London, 406 p.

#### NEW DATA ON THE PERIGLACIAL CLIMATE IN HUNGARY

by Sz. Á. Fábrián–J. Kovács–G. Varga

#### S u m m a r y

Delineation of the permafrost zone in Europe during the Pleistocene is a controversial issue. The authors of the present contribution report on investigations into former ice wedges now filled with sand at Mogyoród and Csipkerek (Hungary).

So far the cold phases of the Pleistocene were characterised in environmental reconstructions by mean annual temperatures between  $-2$ – $-3$  °C and annual precipitation of 200–400 mm.

Based on latest own studies and comparative paleoclimatic data the authors assume a widespread and contiguous permafrost for the Carpathian Basin during the Upper Pleniglacial. Sand wedges testify to a mean annual temperature between  $-8$ – $-10$  °C and annual precipitation of 50–100 mm as a maximum. The basin might have resembled an icy cold desert.

Translated by L. BASSA