

Löszpusztulási formák és folyamatok kvantitatív vizsgálata szőlőterületen

KERÉNYI ATTILA—KOCISINÉ HODOSI ESZTER

Célkitűzés

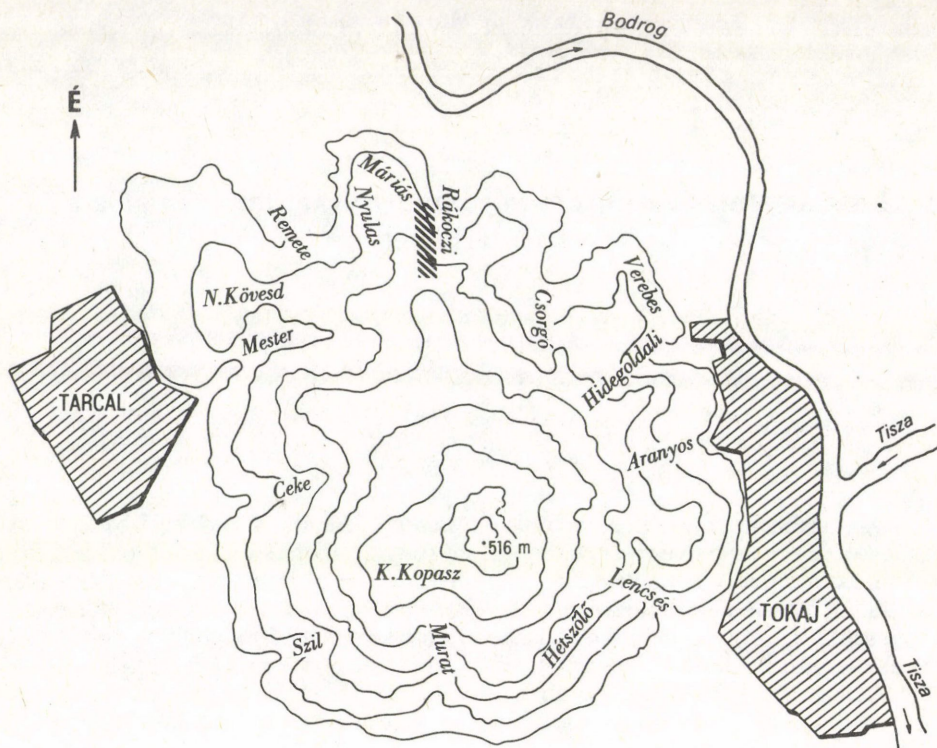
A minőségi szőlőtermelés fontos feltételét jelentik a kedvező besugárzási viszonyok. Ezek a kedvező expozíciójú, viszonylag meredek (15-20°-os) lejtőkön valósulnak meg, így nem véletlen, hogy a szőlőket a történelmi borvidékeinken évszázadok óta meredek lejtőkre telepítették. A lejtőkön talajvédelmi beavatkozásokra volt szükség, hogy az erózió ne pusztítsa el a talajréteget. Leghatékonyabb megoldásnak a teraszok létesítése bizonyult, mivel ezek tartós védelmet jelentettek az erózió ellen. A lösszel fedett lejtőkön azonban néhány helyen - a teraszok helytelen kiépítése miatt - nem valósult meg a talajvédelem, sőt egyes esetekben a korábbinál intenzívebb eróziós folyamat játszódott le.

Vizsgálatainkat a tokaji Nagy-hegy egyik völgyének, a Rákóczi-völgynek a lejtőin végeztük (*l. ábra*), ahol 1960-61-ben teraszokat alakítottak ki a löszön. Néhány év múlva a teraszokon szuffúziós járatok, löszkutak, löszdolinák képződtek, amelyek száma és mérete idővel egyre gyarapodott, ezzel a szőlőművelést a teraszrendszer egy részén abba kellett hagyni.

Vizsgálataink célja az volt, hogy pontos helyszíni felmérést végezzünk a löszpusztulási formákról, megállapítsuk a lepusztult lösz térfogatát, tipizáljuk, majd az adatok alapján statisztikailag elemezzük a negatív löszformákat. A löszpusztulás folyamatának egyes részleteit laboratóriumi kísérletekkel vizsgáltuk, így a terepi méréseinket pontosabban értelmezhetjük. Kutatásaink alapján javaslatot tettünk a teraszok további pusztulásának megakadályozására.

Szakirodalmi előzmények

A magyar löszkutatás egyik központi témaköre a hazai löszök kronológiájának és genetikájának tisztázása. E témában számos kiváló kutatónk nemzetközileg is kiemelkedő eredményeket publikált (PÉCSI M. 1965, 1966, 1975, 1979; PÉCSI, M.—PEVZNER, M.A. 1974; PÉCSI, M.—SZEBÉNYI, E. 1971; PÉCSI M.—PÉCSINÉ DONÁTH É. et al. 1977; HAHN GY. 1966, 1975, 1977; BORSY, Z.—FÉL-



I. ábra. A tokaji Nagy-hegy fontosabb völgyei és dűlői BOROS L. (1977) szerint. A kutatási területünket ferde vonalkázással jelöltük (Rákóczi-völgy)

Major valleys and tracks on the Tokaj Nagy-hegy (after BOROS, L. 1977).
Study area hachured (Rákóczi valley)

SZERFALVI, J.—SZABÓ, P.P. 1979; BORSY, Z.—FÉLSZERFALVI, J.—LÓKI, J. 1984; PINCZÉS Z. 1954).

A kutatás másik irányát jelentette a löszpusztulási formák térképezése, ill. e formák részletes jellemzése, genetikájuk leírása. Ilyen felfogásban írta SÉDI K. (1942) tanulmányát, amelyet a témakörben úttörő jellegűnek tekinthetünk. Ezenkívül ÁDÁM L. (1954, 1964); ÁDÁM L.—MAROSI S.—SZILÁRD J. (1959) munkáit, valamint ZÁMBÓ L. (1971) eróziós árkokról készült térképeit említjük meg. BOROS L. (1977) doktori disszertációja - többek között - az általunk vizsgált teraszrendszer formáiról kvalitatív leírást adott.

A kutatás harmadik irányára a löszpusztulás intenzitásának mennyiségi vizsgálata jellemző. Ilyen célú terepi méréseket, és ezek alapján számításokat végzett ÁDÁM L. 1964-ben. Ki kell emelnünk PINCZÉS Z. (1968, 1980); PINCZÉS Z.—BOROS L. (1967) szabadföldi kísérleteit és méréseit is. Jelenlegi vizsgálataink közvetlen előzményét jelentik KERÉNYI A. (1983, 1984) terepi és laboratóriumi kísérletei.

A löszpusztulási formák egy része a szuffózió folyamatának eredménye, amely folyamat egyes részleteiben még nem tisztázott. Kérdés pl. az is, hogy ezt milyen arányban tekinthetjük mechanikai folyamatnak, és létrejöttében milyen szerepe van a fizikai-kémiai változásoknak. A német szakirodalom a szuffózió mechanikai jellegét emeli ki (KUGLER, H.—SCHWAB, M.—BILLWITZ, K. 1980).

BULLA B. (1954) a löszön kialakult negatív formákat és a löszben képződött üregeket a lösz mésztartalmának oldódásával magyarázta. HAHN GY. (1977) szerint: „Egyedül a mésztelenedéssel a löszterületek depressziós formáinak zöme nem magyarázható. Erre utal, hogy ÁDÁM L. (1954), HAHN GY. (1966) megállapítása szerint az említett formák anyagihiánya meghaladja a mésztelenedéssel eltávolítható mennyiséget.”

HAHN GY. (1977) különös figyelmet szentel a laboratóriumi árasztásos-kompressziós kísérleteknek, melyek során a lezajló tömörödés és roskadás megszünteti a lösz szivacszerű szerkezeti felépítését. Megállapítja, hogy a löszös rétegek erőteljes átmedvesedése a természetben rétegtömörödést, szerkezet-összeomlást, egyes rétegekben a finomabb frakció kihordódását eredményezi. „Ez a folyamat főleg karsztos és mechanikai szuffózió következtében megy végbe.” Nyitva marad azonban a kérdés: hogyan kezdődik el a „karsztos vagy a mechanikai szuffózió” és milyen szakaszok különíthetők el a folyamat során? E kérdésekre is igyekszünk választ adni tanulmányunkban.

JAKUCS L. (1971) a lösz polimineralikus jellegét emeli ki, és fontos szerepet tulajdonít a löszalkotó ásványok szelektív oldódásának. A löszdolinák keletkezésével kapcsolatban utal arra, hogy a löszkorróziós folyamatok egy részének megismeréséhez további kutatásokra van szükség.

Módszerek

Terepmunkánk során cm-pontosságú felmérést készítettünk a vizsgált teraszokon kialakult eróziós formák térbeli helyzetéről, alakjáról, méreteiről. Mérési adataink és a terepen készített vázlatrajzok felhasználásával a formákat típusokba soroltuk, ezeket a típusokat fejlődési rendbe állítottuk. A lepusztulásformák pontos felmérése és a terepi megfigyelések lehetővé tették, hogy megkeressük a formák közti kapcsolatokat (mely formák honnan kapnak vízutánpótlást), s az így elhatárolt járatrendszereknek elkészítettük a felülnézeti és hosszmetseteti képét. A lepusztult anyagmennyiség kiszámításához a következő módszert alkalmaztuk: a járatok formáját legjobban megközelítő mértani alakzatok térfogatait a terepen mért adatok alapján kiszámítottuk, majd az így kapott részeredményeket összegeztük. Egyedi járatoknál, formáknál ennek a módszernek a hibahatára + 10% is lehet, de nagyszámú forma esetében a hibaértékek többé-kevésbé kiegyenlítik egymást, így a végső eltérést + 5%-osra becsüljük. A fentiek mellett statisztikailag vizsgáltuk azt is, hogyan oszlanak meg az eróziós formák az egyes teraszokon, s miben keresendők ennek az okai, milyen kapcsolat van a formák száma, típusa és a teraszok mérete, lejtése, elhelyezkedése között.

A laboratóriumi kísérleteket a korábban kidolgozott és publikált módszerünkkel végeztük (KERÉNYI A. 1984). 10 cm vastag, 0,2 m² felületű *lössmonolitokat* használ-

tunk. Ezeket a megművelt teraszok síkjáról, a terasz rézsűjéről és egy löszmélyút falából vettük. A monolitokat laboratóriumban desztillált vízzel esőztettük a KAZÓ-féle esőztető készülékkel 20 mm/óra intenzitással. A desztillált víz pH-ját a természetes esők pH-jának megfelelően 5,5-re állítottuk be (MÉSZÁROS E. 1977). Ezt úgy értük el, hogy a desztillálás után a vizet két napig állni hagytuk a laboratóriumban.

Az első kísérletsorozatban egy-egy kísérlet 30 percig tartott, amely alatt felfogtuk a felszínről lefolyó vizet, valamint az átszivárgás megindulása után a szivárgó vizet is. Ebben a kísérletsorozatban a monolit felszínének a lejtése 3° -os volt.

A másik kísérletsorozatban a monolit felszínét vízszintesre állítottuk be, és összefüggő vízborítást biztosítottunk rajta - ezzel szimulálni kívántuk az ellenesésű teraszokon kialakult víztöbbletet, ill. víztócsákat. Ebben az esetben az átszivárgó vizet fogtuk fel.

A kísérletek során mind a felszíni lefolyásból, mind pedig az átszivárgásból származó vízből ICP-spektrométerrel a következő elemeket határoztattuk meg: Ca, Mg, K, Na, S. (Az ICP vizsgálatokat a debreceni Növényvédelmi és Agrokémiai Állomás talajtani laboratóriuma végezte el.)

Ezenkívül argentometriás titrálással mértük a Cl-tartalmat is. A desztillált vizet az adott elemekre ugyancsak megvizsgáltuk, és az adatokat vakpróbaként kezeltük.

A terepi mérések eredményei

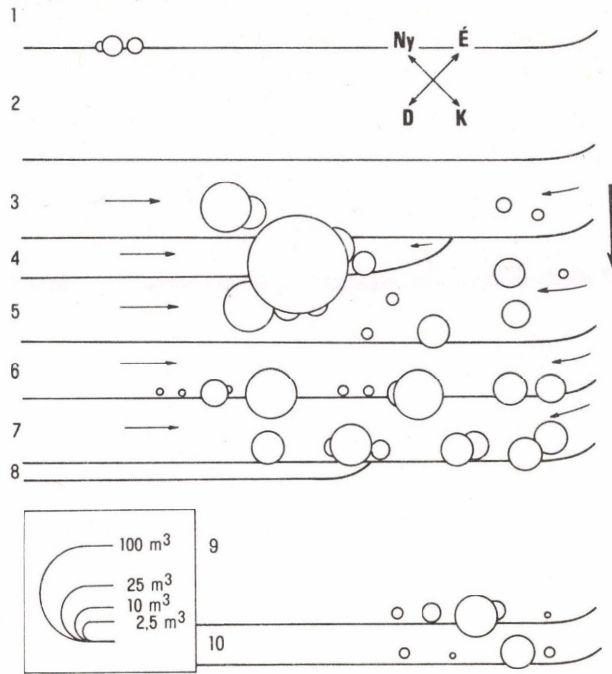
A Rákóczi-völgyben vizsgált tíz terasz szélessége egyenként 2-20 m között változik, csak a második szélessége nagyobb, 60 méteres. Magasságuk 2-10 m, a rézsűk szöge a kialakításkor $65-80^{\circ}$ -os volt (BOROS L. 1971). Az eltelt 25 év alatt a lepusztulás és a felhalmozódás folyamata a rézsűket átformálta, lankásabbá tette. A felső két terasz sík $5-8^{\circ}$ -os lejtésű, a többi vízszintes, vagy ellenesésű. A teraszsíkok ÉK-i végüknél enyhe DNy-ias lejtésbe mennek át, tehát lejtésük ellentétes irányúvá válik (2. ábra). Az eltelt 25 év alatt a teraszokon változatos formájú, tekintélyes nagyságú üregek, járatok alakultak ki.

A keletkezett negatív formákat alakjuk és méretük szerint tipizáltuk. Egy ilyen csoportosítás minden igyekezet ellenére sem lehet tökéletes, hiszen a természet-alkotta változatos formákat merev kategóriákba soroljuk, míg a természetben gyakoriak az átmeneti formák. Az egyes formacsoportokat az alábbiakban jellemezzük.

1. típus: *Löszkút a terasz peremén (3/1. ábra).*

Az 1., a 9. és a 10. terasz peremein fordulnak elő löszkutak. Bár gyakoriak, viszonylag kis méretük miatt csekély arányban részesednek az összlepusztulásból (1. táblázat). Az egy löszkútra eső anyagihiány csak $1,85 \text{ m}^3$. Többnyire ovális vagy tojás alaprajzúak, hosszszelvényükben egyenletesen szélesek. Mélységük max. 3 m. Felső peremük túlhajló, 10-20 cm széles párkányt képez, mely azért nem szakad le, mert gyökerekkel nemezszerűen át van szöve. A kút aljában gyakran eróziós üst helyezkedik el, amelyet egy 30-50 cm-es küszöb határol a rézsű irányában. Képződésük összefügg a rézsűt védő gyepek sérüléseivel.

2. típus: *Depresszió vagy löszdolina (3/2. ábra).*



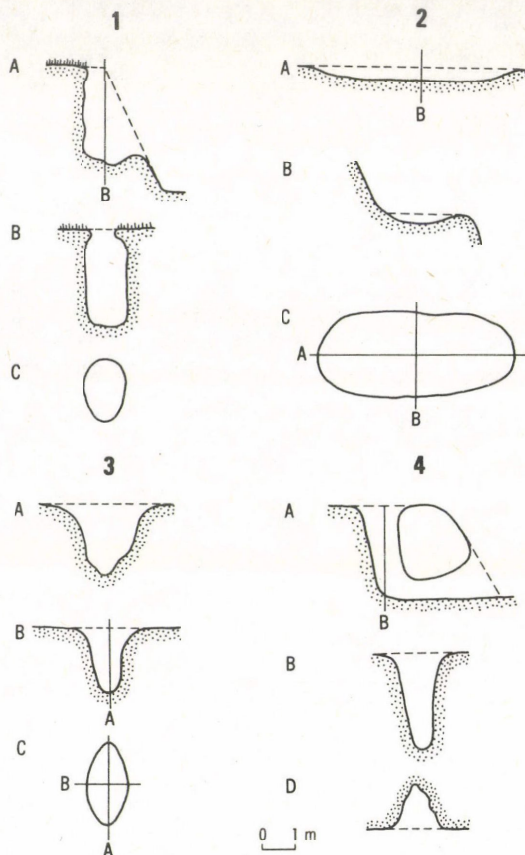
2. ábra. A vizsgált teraszsíkok lejtésvizonyait és a teraszokról lepusztult lösz térfogatának területi megoszlását bemutató térkép-vázlat. A vékony nyilak a teraszsíkok lejtési irányait mutatják, a jobb oldalon feltüntetett vastag nyíl a hegyoldal lejtését jelzi. — 1-9 = teraszsíkok

Sketch map showing slope conditions on the terraces investigated and the distribution of loess volumes removed from the terraces. Thin arrows point to terrace slope, while the thick arrow on the right indicates slope direction on the hillside. — 1-9 terrace plains

Ovális alaprajzú, hossz tengelyük mentén néha erősen megnyúlt formák. Szélességük 3-8 m, a teraszok teljes szélességét átérlik, kivéve a 9. teraszt, melynek szélessége 20 m. Hosszuk ennél jóval nagyobb, tágabb határok közt ingadozik (4-27 m). Mélységük nem nagy (0,2-1,2 m). Az egyik leggyakrabban előforduló forma, anyaghiányuk az összes lepusztult mennyiségnek 62,9%-a (1. táblázat). Az egy löszdolinára jutó anyaghiány 23,1 m³. A legnagyobb depresszió a 4. teraszon alakult ki, ahonnan az anyagvesztés 108,5 m³. Ez részben a lösz belső struktúrájának összeomlásából fakad. Csak látszólagos az anyaghiány - a valódi veszteség kisebb, de annak pontos megállapítása ma már nem lehetséges. (Ismerni kellett volna az adott helyen a depresszió kialakulása előtti CaCO₃-tartalmat.) Kialakulásukhoz hosszabb idő kell, mint a teraszperemi löszkutak képződéséhez.

3. típus: *Löszkút a terasz síkon* 3/3. ábra).

A legritkébbak, csak az 5. teraszon találkozunk két ilyen formával (1. táblázat). Keresztmetszetben általában lefelé elkeskenyedők, oldalfaluk domború, meredek, mély-



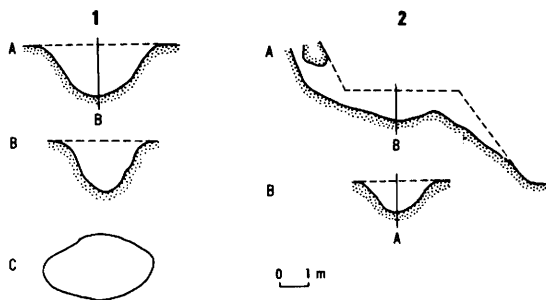
3. ábra. Lösspusztulási formák különböző nézetű metszetei. — 1 = löszkút a terasz peremén; 2 = löszdolina (depresszió) a terasz síkon; 3 = löszkút a terasz síkon; 4 = víznyelő szuffóziós járattal; A = hosszmetset; B = keresztmetset; C = felülnézet; D = a teraszrészűn nyíló kijárat keresztmetsete

Profiles of loess erosion forms from various views. — 1 = loess well on terrace margin; 2 = loess doline (depression) on terrace plain; 3 = loess well on terrace plain; 4 = swallow hole with pipe; A = longitudinal profile; B = cross-section; C = top view; D = cross-section of opening on terrace slope

ségük viszonylag nagy (1,5-3 m). A rézsűn hozzájuk kapcsolódó kijáratral nem találkozunk. Az aljukon elszivárgó víz - oldó és mechanikai hatása révén - fokozatosan mélyíti őket. Depressziók legmélyebb pontján található, e helyek intenzív korróziójával alakulnak ki. Csak 0,7%-kal részesednek az összpúsztulásból (1. táblázat), az egy formára eső anyagiány 1,76 m³.

4. típus: Víznyelő szuffóziós járattal (3/4. ábra).

Gyakran előforduló, típusos szuffóziós formák. Közepes anyagiányúak, az összes lepusztult anyagmennyiségnek 12,2%-át képviselik (1. táblázat). A terasz síkon kör vagy ovális alakú nyílással kezdődnek, oldalfaluk többnyire domború, s a terasz rézsűjén egy vagy több kijáratral nyílnak. Az egymás alatti teraszok szuffóziós járatai között közvetlen



4. ábra. A teraszokon kialakult üstszerű berogyás (1) és eróziós árok (2) különböző nézetű metszetei. — A = hosszszelvény; B = keresztmetszet; C = felülnézet

Bowl-like collapse (1) and erosion gully (2) on terraces in various views. — A = longitudinal section; B = cross-section; C = top view

kapcsolat alakul ki. A tartós esőzések vagy gyors tavaszi hóolvadások idején összegyűlő víz a víznyelőn és a szuffóziós járaton keresztül átfolyik a teraszon, és a rézsűn lévő nyíláson át az alsóbb teraszokra ömlik.

5. típus: Üstszerű berogyás a teraszszíkon (4/1. ábra).

Ritkán fordulnak elő, csak az 5. teraszon található három ilyen forma (1. táblázat). Anyaghiányuk nem nagy, 7 m^3 formánként. Az összes lepusztult anyagmennyiségből 4,6%-kal részesednek. Területük a depressziókénál sokkal kisebb, de mélységük nagyobb azokénál, átlagosan 1,5 m. Valószínűnek tartjuk, hogy egy-egy szuffózióval létrejött felszín alatti üreg berogyásával keletkeztek.

6. típus: Felszakadt járat = eróziós árok (4/2. ábra).

A teljes hosszukban felszakadt járatok az előző rézsű alsó részétől, a teraszszíkon keresztül áthúzódnak a következő rézsűre is. A teraszszíkon a perem felé fokozatosan mélyülnek, a rézsű irányában egy küszöb határolja el őket. Gyakoriságuk közepes (1. táblázat), anyaghiányuk átlagosan $8,89 \text{ m}^3$. Az alsóbb teraszokra jellemző formák. E formák további fejlődése megegyezik az eróziós árkokéval.

A teraszszíkon megfigyelhettünk a fentieknél jelentéktelenebb formákat is: eróziós barázdákat, melyek segítségével kijelölhetők a löszkutak, víznyelők kis vízgyűjtő területei.

A formák és az egyes formátípusok teraszonkénti eloszlása — mint a fentiekből is kitűnik — nem egyenletes, és ebből eredően az egyes teraszokról lepusztult lösz mennyisége is különböző (2. táblázat). Azt, hogy valamely teraszon hány és milyen formát találunk, elsősorban két tényező határozza meg: a teraszszík ÉNy—DK-i irányú lejtése — ez az egész lejtő fő lejtésiránya — és a terasz szélessége. Nem alakult ki egyetlen eróziós forma sem a legkeskenyebb, 2,5 m-es 8. teraszon, egyrészt mert a csekély szélesség miatt a formák kialakulásához szükséges vízmennyiség nem biztosított, másrészt a terasz nem ellenesésű, felszíni hozzáfolyásból nincs töcsaképződés. Kicsi a talajvesztés és kevés az eróziós forma a 2. és a 9. teraszon is, melynek síkja $7-7,5^{\circ}$ -os lejtésű, tehát nem alakul ki rajtuk felszíni víztöbblet.

Megállapíthatjuk, hogy a vízszintes vagy ellenesésű, közepes szélességű teraszokon a legnagyobb a talajvesztés és a legtöbb, legváltozatosabb az eróziós forma. A

I. táblázat. A löszpusztulási formák gyakorisága és részeseésük a lepusztult lösz mennyiségéből

Löszpusztulási formák	A formák száma és %-os aránya		A formák részeseése a lepusztult löszmennyiségből		A formák teraszokénti megoszlása (db)									
	db	%	m ³	%	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.
	Depresszió	13	27,1	299,762	62,9	—	—	1	1	1	3	5	—	1
Löszkút a terasz peremén	12	25,0	22,190	4,7	3	—	—	—	1	2	—	—	3	3
Víznyelő szuffóziós járat	2	4,1	3,570	0,7	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—
Ütszert berogyás a teraszikon	11	20,8	57,999	12,2	—	1	3	2	2	1	1	—	—	—
Eróziós árok	3	6,2	21,730	4,6	—	—	—	—	3	—	—	—	—	—
	8	16,8	71,139	14,9	—	—	—	—	—	5	2	—	—	—
Összesen:	48	100,0	476,390	100,0	3	1	4	3	9	11	8	—	4	4

teljes lepusztult löszmennyiség 98%-a az utóbbi csoportba tartozó nyolc teraszról származik (2. táblázat).

A másodiktól a 7. teraszig a formák közti kapcsolat folyamatos (5. ábra), a víz útját jól lehet követni a felszínen és a felszín alatt. Az alsóbb teraszok felé nő a formák száma és ezzel együtt a lepusztult lösz mennyisége is. (Kivétel: a 4. teraszon előforduló depresszió, amely az összes anyaghiány 23%-át adja, és amely részben a löszstruktúra összeomlásából származik. Mint említettük, a ténylegesen eltávozott anyag tömege ebben az esetben nem állapítható meg). Változatosabbá válnak a formák az alsóbb teraszok felé, gyakoribbak a depressziók, eróziós árok pedig csak az alsó teraszokon alakultak ki. Ezen a hat teraszon két fő járatrendszert lehet elkülöníteni (5. ábra).

A teraszrendszerrel a létrehozásától eltelt idő alatt lepusztult közet összterfogata 476,3 m³. Ez annyi, mintha egységesen 2,4 cm vastag réteg pusztult volna le a teraszok felszínéről. Az erózió azonban elsősorban nem areálisan, hanem lineárisan hatott, s így nagy mélységű berogyások, járatok jöttek létre, melyek akadályozzák a teraszok mezőgazdasági hasznosítását. A víz nem csak a szőlőkarókat, hanem a szőlőtőkét is kimossa, tehát az erózió sújtotta részeken semmiféle művelés nem lehetséges.

A helytelen terasztervezéssel a lösz lepusztulásának az egész lejtőre kiterjedő - areális - formáját sikerült ugyan megakadályozni, de helyette egy gyorsabban ható másik, főleg lineáris eróziós folyamat vette kezdetét.

Laboratóriumi kísérletek eredményei

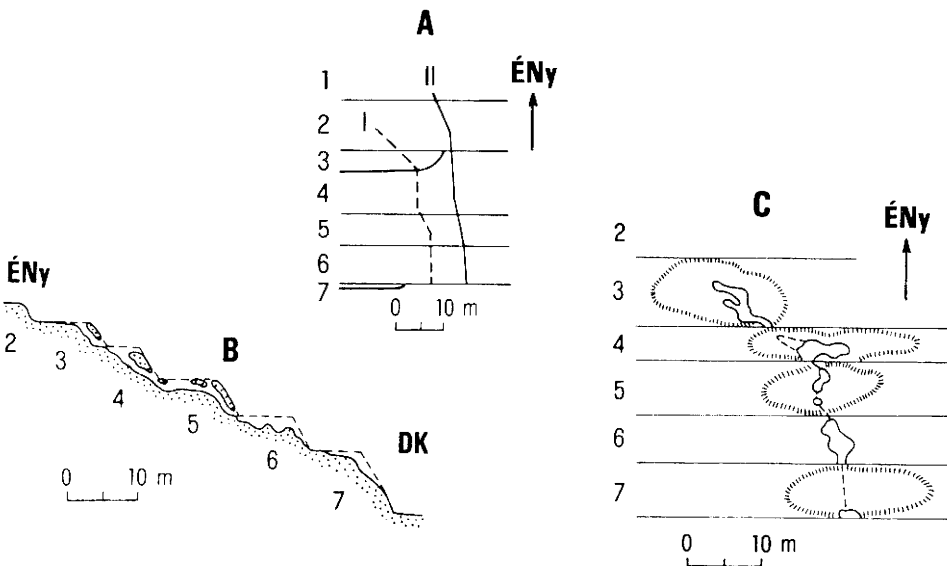
Terepi méréseink és megfigyeléseink pontosabb értelmezésére kísérleteket terveztünk, melyekkel az alábbi problémákat kívántuk megoldani.

2. táblázat. A löszpusztulási formák számának és a lepusztult lösz térfogatának teraszonkénti megoszlása

A terasz száma	A formák száma		A lepusztult lösz		A teraszszík szélessége (m)	A teraszszík lejtése* (o)
	db	%	m ³	%		
I.	3	6,2	9,044	1,9	28,0	7
II.	1	2,1	0,378	0,1	63,0	7,5
III.	4	8,3	47,882	10,0	10,0	-1
IV.	3	6,2	130,085	27,3	5,0	0—(-2)**
V.	9	18,8	72,275	15,2	8,0	0
VI.	11	23,0	85,148	17,9	7,5	0
VII.	8	16,6	92,799	19,5	7,5	0—(-1)
VIII.	0	0,0	0,000	0,0	2,5	0
IX.	5	10,5	26,135	5,5	20,0	0—(-1)
X.	4	8,3	12,704	2,6	4,5	0
Összesen:	48	100,0	476,390	100,0	—	—

* DK-i - a völgytalp irányába mutató - lejtés

** A lejtés kis távolságon belül a megadott intervallumban változik



5. ábra. A teraszokon kialakult két járatrendszer egyszerűsített felülnézeti vázlatrajza (A), az I-gyel jelzett járatrendszer hosszmetsete (B) és felülnézeti rajza (C)

Top view sketch of the two pipe system formed on the terraces (A), longitudinal section of pipe system I (B) and its top view (C)

1. A löszön átszivárgó és a lösz felszínén lefolyó víz milyen ionokat és milyen mennyiségben visz oldatba? Ez az oldás hogyan készíti elő a mechanikai szuffóziót?

2. A mechanikai szuffózió beindulása után megszűnik-e az oldódási folyamatok szerepe a szuffóziós járatok további növekedésében?

A löszterületekről lefolyó vizek vizsgálati adatai azt bizonyítják, hogy itt többféle és nagyobb mennyiségű ion oldatba kerülésével kell számolnunk, mint vulkáni vagy mélységi kőzetek esetében (BARTA I. 1970). Ez is azt valószínűsíti, hogy a szuffóziós folyamatban többféle ion oldatba kerülése játszhat szerepet.

A 3. és 4. táblázatból kitűnik, hogy az oldatba kerülő kationok közül - a várákozásnak megfelelően - minden kísérletnél a Ca^{2+} uralkodik. A lösz felszínén lefolyó vízben monolitiként különbözik a kalcium koncentrációja, mégpedig oly módon, hogy a CaCO_3 -tartalom csökkenésével kismértékben nő a vízben oldott kalcium mennyisége (3., 5. táblázat). A megművelt teraszsíkról és a terasz rézsűjéből származó löszmonolitok esetében olyan csekély ez a különbség, hogy a kísérletek eredményeinek szórásából is származhat. (Az első kísérletek eredményei gyakorlatilag azonosak.) A minták CaCO_3 -tartalma lényegesen különbözik (5. táblázat), az oldódás mértéke mégis közel azonos (3. táblázat). Ezt a hasonlóságot azzal magyarázzuk, hogy az adott hőmérsékleten lehetséges maximális koncentrációt mindkét monolit esetében elérte, ill. megközelítette a mért koncentráció. A mennyiségi viszonyokról megállapíthatjuk, hogy a felszínén lefolyó víz CaCO_3 -oldó hatása nem jelentős.

A továbbiakban azt vizsgáljuk, hogy a löszön átszivárgó csapadék mennyivel intenzívebben oldja a CaCO_3 -ot, mint a felszínén lefolyó víz. A 3. és 4. táblázat adatai közül elsősorban arra hívjuk fel a figyelmet, hogy az oldat Ca-tartalma a művelt teraszsíkról és a terasz rézsűjéből származó löszmonolit esetében mintegy ötszörösére nőtt. Az utóbbin keresztülszivárgó vízben valamivel nagyobb a Ca-tartalom, mint az előzőben, ha nem számítjuk a külön kezelés hatására bekövetkezett változásokat. (A talaj rárétegzésének módjáról és következményeiről a későbbiekben írunk.)

Az átszivárgó víz mintegy ötszörös oldó hatása a lösz porusaiban lévő levegő CO_2 tartalmával függ össze. JAKUCS L. (1971) szerint a biogén CO_2 a „mérsékelt folyóvízi” karsztmorfológiai klímazónában 54%-ban, a szerves savak pedig 25%-ban felelősek a mészkő oldásáért. (Ezeket kívül a légköri CO_2 , az anorganikus eredetű CO_2 és a szervesetlen savak játszanak kisebb szerepet a mészkő oldódásában.) Esetünkben a teraszsíkon az élő növények által kiválasztott szerves savak hatásával kisebb mértékben kell számolnunk, mivel azokat leginkább a gyökerek termelik, a kordonos szőlő viszont a rendszeres gyomirtás miatt - a haszonnövény kivételével - gyakorlatilag növénytelen.

A teraszrézsű esetében más a helyzet. Az erózió elleni védekezés miatt a rézsűt összefüggő gyeptakaró borítja és a lágyszárúak gyökérszónája elérte a monolit mélységét.

Az elhalt növényi részek humifikálódásából ugyancsak szerves savak (humuszsavak) származnak. Humuszvizsgálataink azt bizonyították, hogy az egyik monolitban sem kell számolnunk jelentős humuszsav-mennyiséggel (5. táblázat). A természetes (mezőgazdaságilag nem művelt) ásványi talajok átlag 4-6%-os humusztartalmával szemben itt ez 1% alatt marad, és a megművelt löszben valamivel több, mint a rézsűből származó monolitban. Ez tehát ellenkező képet mutat, mint a gyökérsavak eloszlása. Az oldódásbeli különbséget így nem a szerves savak mennyiségének különbségével magyarázzuk, hanem a két löszmonolit biológiai aktivitásának eléré-

3. táblázat. Lössmonolitok felszínéről lefolyó vízben oldott elemek mg/l-ben
(A mesterséges eső intenzitása: 20 mm/h, T = 20 °C)

Idő a lefolyás kezdetétől (perc) Kezelés	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Szervetlen szén	Cl ⁻	S
a) Művelt teraszokról származó monolit							
30	14,82	3,81	6,040	7,330	6,8	18,3	1,140
60	9,81	3,11	3,300	5,240	3,9	11,1	0,380
90	9,08	2,94	2,200	5,330	4,2	10,6	0,460
30+ Talaj rárétegzése	13,41	4,65	10,500	8,370	5,5	22,8	0,770
210 Talaj rárétegzése	7,98	2,70	4,750	3,960	3,5	10,4	0,370
b) Terasz részsíjából származó monolit							
30	14,48	3,66	0,001	0,295	6,0	10,6	0,001
90	12,72	3,45	0,059	0,558	5,2	10,6	0,001
180	13,46	2,61	0,068	0,328	5,2	10,7	0,001
c) Lössmélyút falából származó monolit							
30	56,29	9,42	6,500	27,030	23,8	47,0	5,050
90	9,55	1,31	1,090	5,330	3,8	9,0	0,400
180	11,41	2,27	1,360	5,810	4,6	10,7	0,510

+ Új kísérlet

4. táblázat. Lössmonolitokon átszivárgó vízben oldott elemek mg/l-ben $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Idő a kísérletsorozat kezdetétől	Kezelés	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Szervetlen szén	Cl-	S
a) Művelt terasz síkról származó löszmonolit								
12 óra	90 perc esőztetés, majd árasztás	42,94	4,21	19,04	5,16	31,0	21,0	4,33
5 nap	5 napos takarás	62,63	5,48	18,41	1,71	42,5	18,3	2,87
30 perc+	Talaj rárétegzése	208,40	32,27	28,98	22,52	127,5	53,8	5,80
60 perc	Esőztetés	142,30	18,92	25,03	6,16	98,0	29,9	3,89
210 perc	Esőztetés	88,94	8,90	20,50	2,07	62,0	19,3	3,34
2 nap	Tömörítés, árasztás	104,10	10,52	33,28	2,00	70,2	30,1	3,84
4 nap	Talaj eltávolítása	80,85	8,46	23,71	1,87	53,5	21,4	3,95
66 nap	2 hónap száradás	75,61	6,54	24,61	5,42	49,0	33,5	5,21
68 nap	után árasztás	63,84	4,84	22,68	2,98	46,0	27,2	1,99
b) Terasz részsíkjából származó löszmonolit								
3 nap	Árasztás	72,65	34,37	0,001	3,91	63,0	—	15,59
4 nap	Árasztás	69,77	29,70	0,001	3,45	55,5	—	10,59
5 nap	Árasztás	57,01	22,73	0,001	3,06	49,5	—	5,86
60 nap	2 hónap száradás	48,54	21,74	0,110	3,55	45,5	14,0	3,72
61 nap	után árasztás	39,00	16,94	0,390	2,94	41,0	14,0	2,10
c) Lössmélyút falából származó monolit								
120 perc	Esőztetés	3339	466,70	27,03	666,10	309,0	7830	156,10
150 perc	Esőztetés	2663	424,50	18,27	583,50	190,5	6812	166,20
180 perc	Esőztetés	2141	377,90	14,54	489,60	164,5	5505	155,80
d) Mechanikai szuffúzió a művelt terasz síkról származó löszmonoliton								
30 perc	Mesterséges szuffúziós járat	10,91	1,13	3,85	5,11	5,0	14,0	1,1

+ Új kísérlet

sével. A megművelt rétegbe juttatott kemikáliák és az összefüggő növényzet hiánya akadályozzák a felső 20 cm-es löszréteg biológiai aktivitását (elsősorban a mikroorganizmusok élettevékenységét), míg a mélyebb szintekben az eredetit megközelítő marad.

Különböző kezelések hatása a CaCO_3 oldódására

Ezek után azt vizsgáljuk, hogy milyen változásokat okoztak a különböző beavatkozások a kísérletek alkalmával a megművelt löszrétegből származó monoliton.

Az első kísérlet után *a monolit felszínét letakartuk*, és öt napon át így hagytuk. A takaró lemez és a lösz felszíne között 1 cm-es hézag volt, de a monoliton körülvevő lemez a lösz felett zárt teret biztosított. Öt nap alatt a mikroszervezetek által termelt CO_2 felhalmozódott a monolitban. A megnövekedett CO_2 -koncentráció csaknem másfélszeresére növelte a víz oldó hatását (4. táblázat, 6. ábra). Ha azt is figyelembe vesszük, hogy minden más esetben az első mérés után csökkent az oldott ionok mennyisége, a relatív növekedés így még jelentősebb.

A következő fázisban *a löszre 3 cm-es talajréteget helyeztünk*. A talaj Tokaj közeléből Bodrogkeresztúr község térségéből származik, és az erdőtalajok lejtőhordaléka altípusba sorolható. Fontosabb vizsgálati adatait a 6. táblázatban mutatjuk be. Kiemeljük, hogy a talaj pH-ja a semleges tartományba tartozik, humusztartalma alacsony, de még így is 1,7-szerese a lösz humusztartalmának.

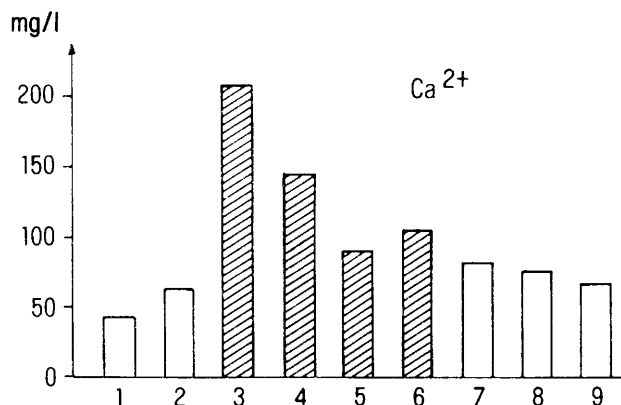
A talajon átszivárgó víz a löszben tovább szivároghatva abból *közel ötször annyi Ca^{2+} iont vitt oldatba*, mint a talaj nélküli kísérletben. Ez az intenzív oldó hatás (a már ismertetett módon) a következő kísérletekben csökken - eleinte nagyobb ütemben, majd fokozatosan csökkenő mértékben.

Kétszázötz percig tartó, összesen 70 mm-es csapadék oldó hatása után is több, mint duplája marad a vízben lévő Ca^{2+} ion koncentrációja a korábbiak. Ez a jelentősen megnövekedett oldó hatás főleg három - egymással összefüggő - tényező változásával magyarázható. 1. A lejtőhordalék-talajban nagyobb a biológiai aktivitás, így több CO_2 van a talajlevegőben, mint a löszben. 2. A talajban nagyobb a humuszsav-tartalom. 3. Mindezek következtében a talajoldat pH-ja több, mint egy egésszel alacsonyabb, mint a löszé.

A kísérlet további lépéseként a talajt és löszöt nedves állapotban *mechanikailag tömörítettük* 30 kPa-es nyomás alkalmazásával. A tömörítés után az átszivárgó vízben az előző beavatkozáshoz képest nem túl jelentős (16%-os) koncentráció-növekedést tapasztaltunk (6. ábra). Ezt a tényt azzal magyarázzuk, hogy az átszivárgás időtartama a pórusok szűkülése miatt megnőtt és az oldáshoz több idő állt rendelkezésre.

A talajrárétegzése erősen befolyásolta a lefolyó és átszivárgó vízben oldott Ca^{2+} arányát. Míg talaj nélküli lösz esetében az átszivárgó vízben 5,5-szer több volt a Ca^{2+} ion, a talaj hatására ez 12,7-szeres lett. Ez a növekedés szinte kizárólag az átszivárgó víz oldó hatásának növekedésével függ össze, hisz a felszínen lefolyó vízben alig változott a Ca^{2+} mennyisége (3., 4. táblázat).

A befejező kísérletben *eltávolítottuk a talajt*, de a löszöt tömören hagytuk. Az oldás először közel 30%-kal, majd a későbbi kísérletekben kisebb mértékben csökkent



6. ábra. A kalcium ion koncentrációjának változásai a megművelt teraszokról származó löszmonoliton átszivárgó vízben - különböző kezelések hatására. — 1 = alapkísérlet; 2 = 5 napig tartó takarás; 3 = lejtőhordalék-talaj rárétegzése; 4-5 = kísérletek a lejtőhordalék-talaj változatlanul hagyása mellett; 6 = a talaj és lösz mechanikai tömörítése; 7 = a lejtőhordalék-talaj eltávolítása; 8-9 = kísérletek a lejtőhordalék-talaj eltávolítása után 66, ill. 68 nappal

Changes of calcium ion concentration - to the effect of various treatments - in water percolating through a loess solum from cultivated terrace surface. — 1 = basic experiment; 2 = 5-day cover; 3 = overlaying of slope deposit soil; 4-5 = experiments with leaving the slope deposit soil undisturbed; 6 = mechanical compacting of soil and loess; 7 = removal of slope deposit soil; 8-9 = experiments 66 or 68 days after the removal of slope deposit soil

(6. ábra), de nem állt vissza az eredeti alacsony szintre, ami azzal függhet össze, hogy a talaj és a lösz tartós (4 napig tartó) kontaktusa hatással lehetett a lösz mikroorganizmusokban való gazdagodására, valamint az alacsonyabb pH-jú talajoldat tompította a lösz eredeti lúgosságát, így az oldásnak kedvezőbb körülményeket biztosított. Feltevésünk helyességét támasztja alá az a tény, hogy a kísérletsorozat végén a lösz pH-ja 7,61 volt a korábbi 7,83-mal szemben (5. táblázat).

5. táblázat. A kísérletekben használt löszmonolitok vizsgálati adatai

Monolit	Mechanikai összetétel								Humusz %	pH kísérlet előtt	pH kísérlet végén	Ca-CO ₃ %
	0,2-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	0,02-0,01	0,01-0,005	0,005-0,002	0,002-0,001	0,001				
Teraszokról	0,4	13,7	48,6	15,0	4,7	4,0	2,3	11,3	0,95	7,83	7,61	4,5
Terasz részsíjából	3,8	12,0	47,8	14,1	5,6	4,3	4,6	7,8	0,55	8,12	8,12	2,5
Löszmélyútból	2,8	8,4	48,9	18,6	6,2	3,2	3,9	8,0	0,38	7,55	7,41	1,1

A Mg²⁺, K⁺ és Na⁺ oldódása

Változások általában a kalciuméhoz hasonló. A magnézium koncentrációja a felszínen lefolyó vízben ugyanúgy megnő a talaj rárétegzése hatására, mint a kalciumé. Átszivárgó vízben az ötnapos takarás kismértékű, a talaj rárétegzése viszont közel

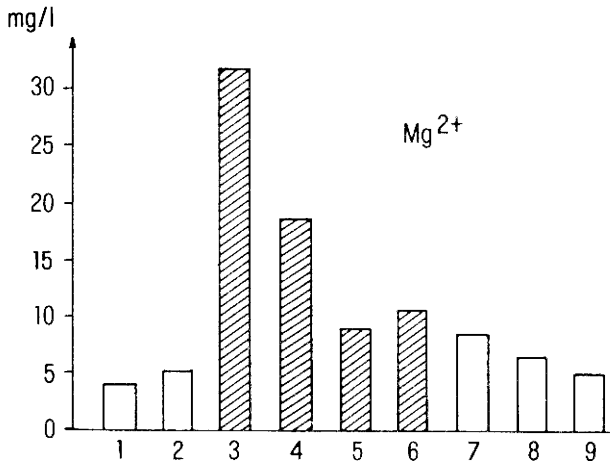
hatszoros koncentráció-növekedést eredményezett. A tömörítés, majd a talaj eltávolítása után szintén a kalciuméhoz hasonló irányú változásokat mértünk (7. ábra).

Eltérők azonban az átszivárgó és lefolyó víz magnézium-koncentrációjának arányai. *A művelt löszből a kalcium 5,5-szeres arányával szemben csak 1,8-szer több magnéziumot oldott ki az átszivárgó víz, mint a lefolyó víz. A talaj rárétegzése után ez az arány 4,8-szeres lett. (A kalcium esetében 12,7-szeres volt.) A terasz rézsűjéből származó monoliton fordított a helyzet: a kalcium 4,9-szeres arányával szemben 8,9-szeresre nő a magnézium koncentrációja a felszínen lefolyó vízhez hasonlítva. Ezt azzal magyarázzuk, hogy a kalcium- és magnézium-vegyületek antropogén hatások miatt más arányban fordulnak elő a megművelt rétegben, mint a terasz mélyen fekvő részeiben, így az oldatokban különbözők lehetnek a koncentrációk is. (Antropogén hatásnak minősülnek pl. a műtrágya-adalékanyagok kémiai hatásai.)*

A kálium koncentrációjának változásai eltérnek a kalciumétól és a magnéziumétól. A lejtőhordalék-talaj rárétegzése után a felszínen lefolyó vízben csaknem ötszörösére nőtt meg a koncentráció, miközben a kalciumé és magnéziumé ehhez képest alig növekedett (3. táblázat). Az átszivárgó vízben ellenkező előjelű változásokat tapasztaltunk, melyeket a 6., 7. és 8. ábra illusztrál.

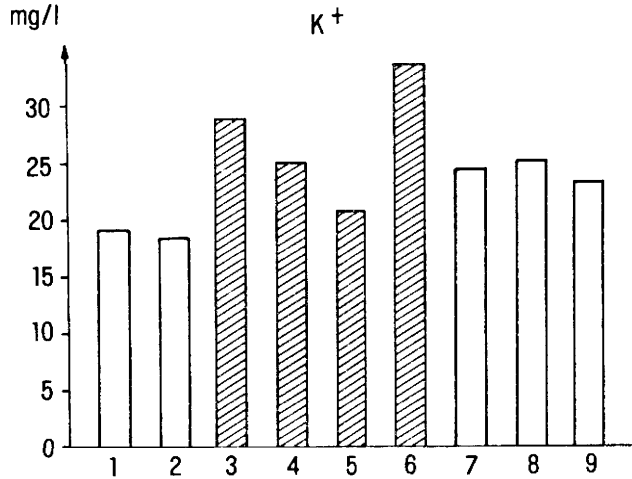
Az ábrák összehasonlító elemzése alapján mindenekelőtt azt emeljük ki, hogy a három elem közül *a kálium oldatba kerülése függött a legkevésbé a különböző beavatkozásoktól, és a változások amplitúdója is a legkisebb. Ez az egyetlen elem, amelynek koncentrációja a talaj tömörítésének hatására nőtt meg a legjobban.*

A terasz rézsűjéből származó löszmonoliton átszivárgó vízben kezdetben az igen alacsony kálium-koncentráció volt jellemző, amely az ismétlések során sokszorosára növekedett, bár a koncentráció még ekkor sem tekinthető jelentősnek. Feltételezésünk szerint a lösz szárazabb viszonyai között a kálium fixációjával is számolhatunk, de hozzájárulhatott az igen csekély koncentrációhoz az is, hogy a rézsüt



7. ábra. A magnézium ion koncentrációjának változásai a megművelt teraszíkról származó löszmonoliton átszivárgó vízben - különböző kezelésekre (1, 2, 3... jelentését l. a 6. ábránál)

Changes of magnesium ion concentration - to the effect of various treatments - in water percolating through a loess solum from cultivated terrace surface. - For legend see Fig. 6



8. ábra. A kálium ion koncentrációjának változásai a megművelt teraszokról származó löszmonoliton átszivárgó vízben - különböző kezelések hatására (1, 2, 3... jelentését l. a 6. ábránál)

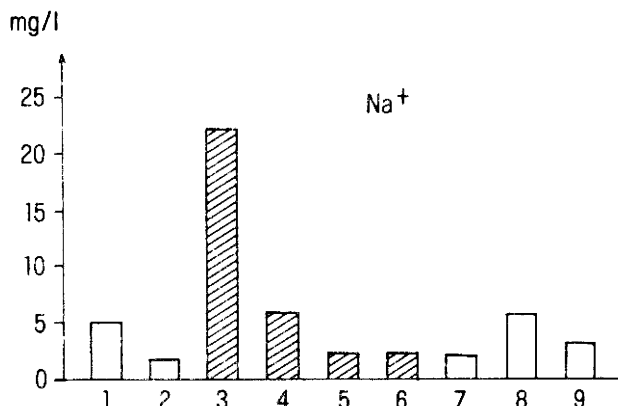
Changes of potassium ion concentration - to the effect of various treatments - in water percolating through a loess solum from cultivated terrace surface. - For legend see Fig. 6

védő sűrű gyomnövényzet gyökereivel felvette és testébe beépítette a mállásból felszabaduló káliumot. Kísérleteink alkalmával a hosszabb ideig tartó nedves viszonyok hatására (a két hónapig tartó szünet nagyobb részén is nedves volt a monolit) és a növényzet hiánya miatt a hidrolízis során oldható formában felszabaduló kálium a löszön átszivárgó vízben oldódhatott. Mérési adataink a folyamat igen gyenge intenzitását bizonyítják.

A megművelt löszön mért jelentős kálium-koncentráció és annak „rendellenes” változásai egyértelműen bizonyítják a kálium antropogén eredetét. A szőlő sok káliumot igényel, amit műtrágyázással biztosítanak, leggyakrabban KCl formájában. Ez mint könnyen oldódó só kezdettől fogva nagy mennyiségben található az átszivárgó vízben. A lejtőhordalék-talaj rárétegzése (vagyis a széndioxidban dúsabb víz) jóval kisebb hatással volt a KCl oldódására, mint a kalcium és magnézium oldatba kerülésére. A mechanikai tömörítés, amely az oldási idő növekedésével és a „talajoldat-szilárd fázis” szorosabb kontaktusával járt együtt, jelentős oldóhatás-növekedést idézett elő (8. ábra). A szén-sav koncentráció-növekedése tehát kisebb jelentőségű a KCl oldódásának fokozódásában, mint a kalcium és magnézium esetében.

A nátrium oldatba kerülésének a következő sajátosságát emeljük ki: Az átszivárgó vízben oldott nátrium koncentrációjára a talaj rárétegzése az összes elem közül a legnagyobb hatással volt (13-szoros növekedés), de ez a hatás a legrövidebb ideig tartott (9. ábra).

A káliummal ellentétben itt hatástalannak bizonyult a mechanikai tömörítés (4. táblázat), viszont a 66 napos szünet után - miközben a kapilláris telítettségi állapottól lassan csökkent a lösz nedvességtartalma - az első kísérletnél megnőtt a Na⁺ koncentrációja, majd ez a második kísérletnél rohamosan csökkent (9. ábra). Az abszolút értékek közel voltak a kísérletsorozat első két mérésének adataihoz. Az eltelt 66 nap



9. ábra. A nátrium ion koncentrációjának változásai a megművelt teraszokról származó löszmonoliton átszivárgó vízben - különböző kezelések hatására (1, 2, 3... jelentését l. a 6. ábránál)

Changes of sodium ion concentration - to the effect of various treatments - in water percolating through a loess solum from cultivated terrace surface. - For legend see Fig. 6

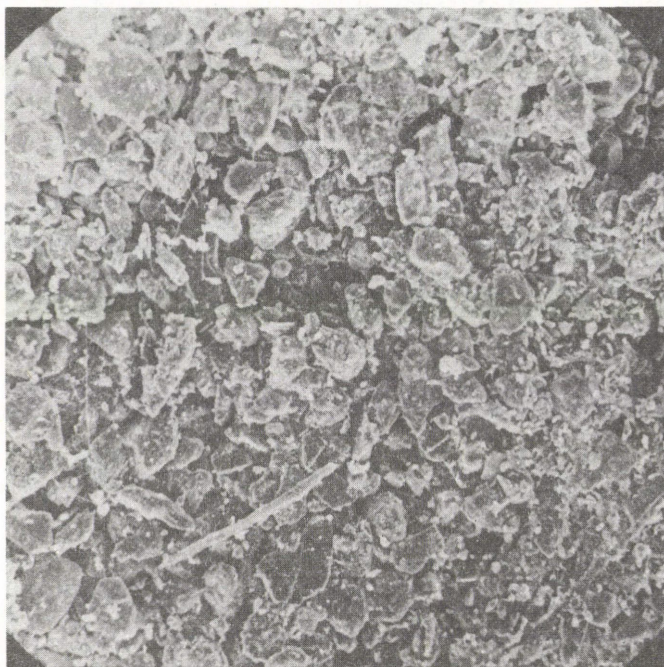
alatt a mállás hatására felszaporodott a vízben jól oldható nátriumvegyületek mennyisége. Ezzel magyarázható a csaknem háromszorosára növekedett koncentráció.

Külön kell szólnunk a löszmélyút falából vett monolitban lejátszódó oldódási folyamatról. A 4. táblázat adatai arról tanúskodnak, hogy a löszmélyút falában a kálium kivételével extrém mértékű koncentrációk alakultak ki, holott az emberi tevékenység hatása (műtrágyázás) itt kizárt, a mintavétel topográfiai is távol esett a megművelt területektől. A jelenséget azzal magyarázzuk, hogy a löszmélyút függőleges fala a napsugárzás és szél hatására minden csapadék után gyorsan kiszárad, és a lösz mélyebb rétegeiből horizontális irányú kapilláris tenzió-grádiens hatására a fal felszíne irányában mozognak az oldatok. Itt betöményednek, és az oldott ionok sók formájában kicsapódnak. Ennek eredményeként a Ca²⁺ mellett nagy mennyiségű Na⁺ és viszonylag sok Mg²⁺ van jelen. A kiváláskor a kloridok dominálnak (4. táblázat), kevesebb a karbonát és szulfát, amire a szerves szén és a kén koncentrációja utal. Mindezek eredményeként a löszfal mechanikai ellenállóképessége csökken, amit penetrométerrel bizonyítottunk (l. később!). E mérési adatoknak a löszpusztulási folyamat értelmezésében fontos szerepük van, amit a következőkben fejtünk ki.

A lösz pusztulásának folyamata a terepi mérések, megfigyelések és a laboratóriumi kísérletek tükrében

A löszmonolitokon végzett laboratóriumi kísérletek eredményeit mikroszkópi vizsgálatokkal kiegészítettük, valamint egy szuffóziós járat különböző pontjaiból származó mintákon ellenőrző méréseket végeztünk. Az így kapott vizsgálati eredmények alapján az alábbiakban ismertetjük a szuffóziós folyamat időbeli változásait.

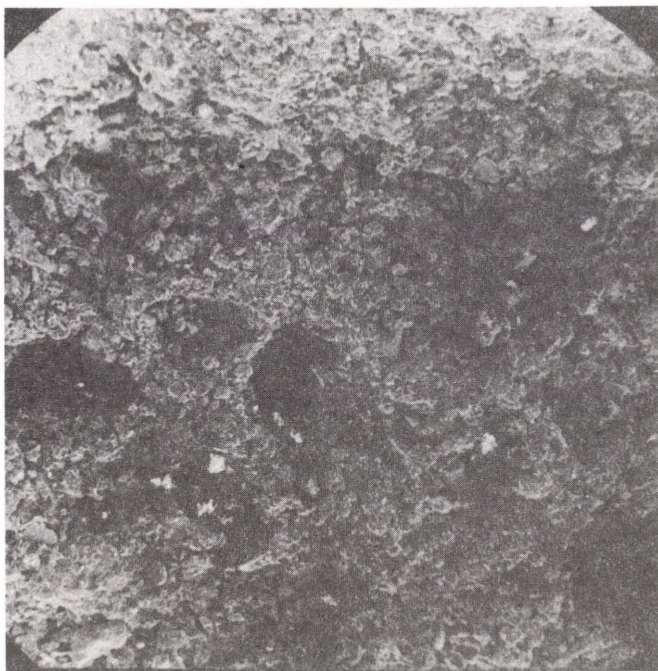
A löszfelszínre esőcseppek formájában érkező víz mechanikai ütőhatása következtében vékony felszíni kérget hoz létre (KERÉNYI A. 1983). Ezt a kérget mikroszkóppal kétszázszoros nagyítással vizsgálva megállapítottuk, hogy benne a pórusok méreteit szinte kizárólag a löszszemcsék méretei határozzák meg és általában századmm nagyságrendűek (1. kép). Ez a kéregképződés azt eredményezi, hogy nagyobb lesz a csapadék felszínén lefolyó hányada, amely elsősorban mechanikailag puszít, oldó hatása - kísérleteink tanúsága szerint - csekély.



1. kép. Löszszemcsék egy monolit felszínén, esőztetés után (N = 200X)
Loess grains on a solum surface, after simulated rainfall (200-fold enlarged)

A szuffúzió létrejötté szempontjából igen lényeges, hogy mennyi a beszivárgó víz. Tekintettel arra, hogy a löszben szivárgó víz - a már elemzett kémiai változások miatt (elsősorban a talajlevegő magas CO_2 -tartalma következtében) - sokszoros oldóhatást fejt ki, minél nagyobb a löszben szivárgó víz mennyisége, annál hamarabb alakulnak ki a szuffúziós járatok. Mikroszkóp alatt végzett oldásos kísérleteink bizonyították, hogy kb. 500 mg/l CO_2 -tartalmú víz már 10-20 mp után annyi Ca- és Mg-sót old ki a löszből, hogy annak szerkezete egyes mikrokörzetekben összeomlik, és ezeken a helyeken az addig századmm-es nagyságrendű pórusok tizedmm-es méretűekké válnak (2. kép). Ezt a fázist tekinthetjük a szuffúziós folyamat első szakaszának. Ekkor a felszínén szabad szemmel még semmilyen változás nem észlelhető (10. ábra A).

A közel vízszintes vagy homorú felszíni formák, az ellenesésű teraszok kedvez-



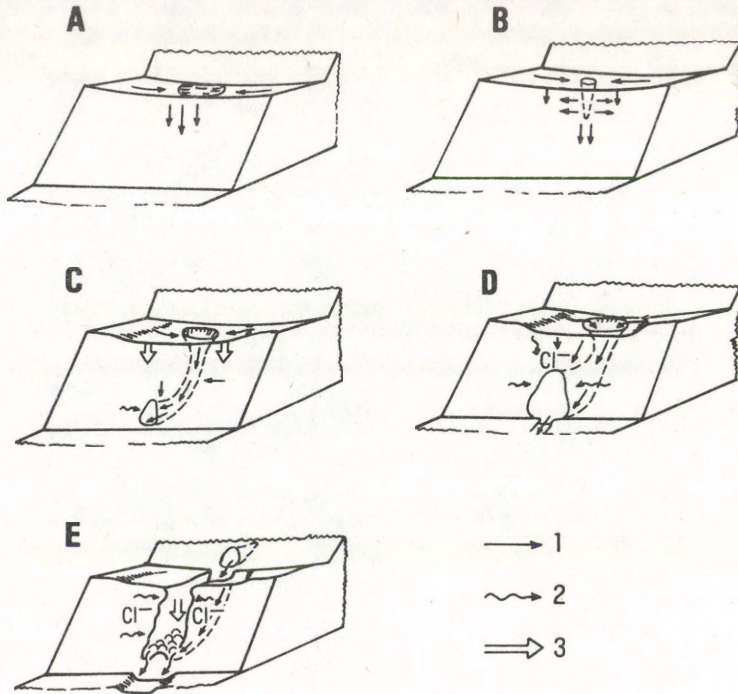
2. kép. Szénsav hatására képződött, tizedmm-es nagyságrendű járatok a löszben (N = 50X)

Tenth of millimetre diameter pipes, formed to the effect of carbonic acid, in loess (50-fold enlarged)

nek a csapadék beszivárgásának (felszíni víztöbblet jön létre), ezáltal az oldódás további fokozódásának. A tizedmm-es nagyságrendű pórusok száma a további oldódás során gyarapodik, majd válaszfalaik összeomlásával gyorsan bekövetkezik a szemmel látható méretű járatok kialakulása. (A folyamat második szakasza, 10. ábra B, 3. kép).

Ettől kezdve felgyorsul a folyamat mechanikai formája, és csökken az oldódás szerepe, de hiba lenne az oldódási folyamatokat teljesen figyelmen kívül hagyni a szuffóziós járatok továbbfejlődése szempontjából. A kezdetben még kijáratral nem rendelkező kis víznyelőben (10. ábra B) csapadékos időszakban akár az egész járatot kitöltő vízmennyiség is összegyűlhet, amely aztán minden irányban szétszivárog. Ez a szivárgó víz CO_2 -ban dúsul, így intenzíven oldja a CaCO_3 -ot, aminek eredményeként a víznyelő falának mechanikai ellenállóképessége csökken. Tehát az oldás mintegy elősegíti, sieteti a mechanikus pusztulást. Magában a cm-es nagyságrendű víznyelőben a mechanikai rombolás játssza a fő szerepet. Megjegyezzük, hogy az emberi tevékenység (pl. szőlőkarók leverése mélyfekvésű részeken) felgyorsíthatja a szuffózió mechanikai folyamatát (4. kép).

Kísérlettel bizonyítottuk, hogy több cm-es átmérőjű szuffóziós járatban áramló víz oldó hatása gyakorlatilag azonos a felszínen lefolyó víz oldó hatásával (4. táblázat d). Ennek az a magyarázata, hogy a nagyobb méretű járatokban, amelyekben a légköri



10. ábra. A löszpusztulás folyamatának szakaszai. (Magyarázat a szövegben.)

Stages of loess erosion (For explanations see text)

levegő és a talajlevegő könnyebben cserélődhet, a CO_2 -koncentráció a légköri levegő-jéhez hasonló.

A folyamat harmadik szakaszát úgy jellemezhetjük, hogy a CO_2 -ban dúsuló víz oldó hatására felgyorsuló mechanikai folyamat teljes hosszában létrehozza a szuffúziós járatot (10. ábra C). A járat környékén a lösz szerkezete saját súlyának hatására összeomlik, a lösz megroskad. Az oldódás-kicsapódás folyamatai és általában a fizikai és kémiai változások a löszfal mechanikai ellenállásának változásában fontos szerepet kapnak.

A járat fala a csapadékos időszakok után hamarabb szárad ki, mint a lösz mélyebben fekvő részei, ezért a kapilláris potenciál-különbség a víz mozgását a szuffúziós járat felé irányítja (10. ábra C). A vízben szállított sók a szuffúziós járat falában felhalmozódnak. A járat kialakulásának első évtizedeiben főleg mechanikai romboló hatásra tágul a föld alatti üreg (ez még a folyamat harmadik szakasza), de a víz leggyakoribb lefolyási helyén az oldásnak is fontos szerepe van, és a járat falában lejátszódó kémiai változások (elsősorban a kloridok képződése, karbonátok mennyiségének relatív csökkenése) már előkészítik a következő szakaszt.

A víz ettől kezdve igen gyorsan folyik végig a járaton, és legtöbbször csak az alján formál ki miniatűr medret. A löszön belüli nedvességáramlást a szuffúziós járat drénhatása határozza meg.



3. kép. További savas oldás hatására képződött, mm-es nagyságrendű járatok a löszben. Fent: eredeti, esőztetett löszfelszín (N = 10X)

Some millimetre diameter pipes in loess, produced by further acidic solution (10-fold enlarged)

A harmadik fejlődési szakaszban lévő szuffúziós járat aljáról, oldaláról és mennyezetéről mintákat vettünk és laboratóriumban elemeztük. A járat alján a víz oldó hatásának egyértelmű bizonyítékát találtuk: a víz leggyakoribb lefolyási helyén a mésztartalom 0,9% volt, a miniatűr „teraszon”, amelyen csak a nagyobb vízhozamok alkalmával folyik a víz, 1,4%-os mésztartalmat mértünk, az oldalfalakon és a mennyezeten 5,4%, ill. 5,0% volt a CaCO_3 mennyisége. A mechanikai ellenállás, amelyet házilag készített rugós ellenállásmérővel mértünk (csak relatív összehasonlításokra volt alkalmas), a mészszegény rétegben kétszer kisebb volt, mint az oldalfalon.

A szuffúziós járatban a víz fajlagos oldó hatása ugyan lecsökkent, de a járat vízgyűjtő szerepénél fogva sokkal nagyobb víztömeg áramlik mindig ugyanazon a helyen, mint amennyi a felszín más részein, így a többszörösére növekedett vízmennyiség oldó hatása jelentős.

A szuffúziós járat fejlődésének negyedik szakaszában az oldásos folyamatoknak és a kémiai átalakulásoknak újra meghatározó szerepük van. A járat feletti löszrétegben a kapilláris potenciál és a gravitációs hatás összegződik, így itt a legerősebb a víz szivárgása az üreg felé (10. ábra D).

Ez egyben azt eredményezi, hogy a járat feletti löszréteg az oldás hatására táguló,



4. kép. A mélyebb fekvésű részekben levert szőlőkaró mellett szuffóziós járat képződik (Tokaj, Rákóczi-völgy)

Piping generated along vine-stock in lower-lying terrain, Rákóczi valley, Tokaj

nagyobb méretű pórusokban gazdagodik, állékonysága csökken. Ehhez járul hozzá a mennyezet kloridokban való gazdagodása és karbonátokban való viszonylagos szegényedése, amely a mechanikai ellenállóképességet tovább csökkenti. (Rugós ellenállásmérővel bizonyítottuk, hogy a közeli löszmélyútból származó, kloridban gazdag, karbonátban szegény lösz ellenállóképessége háromszor kisebb a kloridban szegény, karbonátban gazdag réteghez képest.)

Mindezek eredményeképpen a szuffóziós járat boltozata idővel saját súlya alatt beszakad. Ettől kezdve a szuffóziós folyamat az adott helyen megszűnik, a löszpusztulás minőségileg új szakasza kezdődik: eróziós árok jön létre, amelynek fala közvetlenül ki

van téve az eső nedvesítő hatásának, a szélnek és a direkt napsugárzásnak (10. ábra E). Ennek következtében a száradás-benedvesedés gyakrabban és gyorsabban változtatja egymást, mint a fedett szuffóziós járatban.

A horizontális tenziógrádiens hatására az árok függőleges falaiban 30-50 cm vastag, sókban gazdag, de CaCO_3 -ban szegény réteg alakul ki. Eddig még nem tisztázott kémiai folyamatok következtében ebben a rétegben rendkívüli mértékben felszaporodnak a kloridok, és jelentős mennyiségű szulfát is képződik. Az ilyen löszfal mechanikai ellenállása csekély, így a *mechanikai pusztulás a kémiai folyamatok előkészítő hatására tovább gyorsul.*

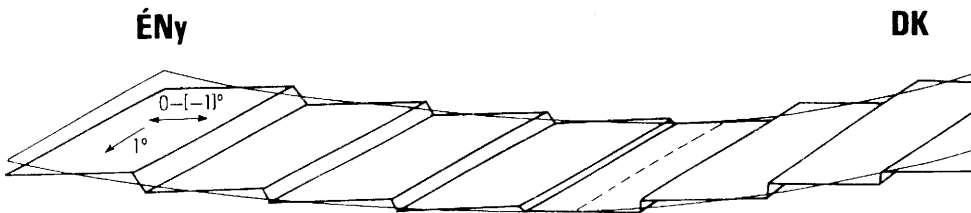
A vizsgálatok talajvédelmi vonatkozásai

Terepi és laboratóriumi méréseink eredményei alapján a teraszrendszer rekonstrukciójára és a lösz további pusztulásának megakadályozására az alábbi javaslatokat tehetjük.

A teraszrendszer ÉK-i végén két szuffóziós járatrendszer alakult ki, amelyek az alsó teraszokon fel is szakadtak, s így olyan mértékben felszabdalták a felszínt, hogy ezen a részen a teraszok újjáépítése szükséges. Az új teraszíkokat völgyirányban $1-2^\circ$ -os lejtésűre kell kiképezni, hogy a nagymértékű tócsaképződés megszűnjék. Emellett fontosnak ítéljük a teraszok DNY-i, épen maradt szakaszának átformálását is.

A teraszíkok nem pontosan a szintvonalakkal párhuzamosan futnak, hanem DNY—ÉK-i irányban hosszan lejtnek, majd ÉK-i végükön rövid, ellenkező irányú lejtésre csapnak át. Nagyobb esők és hóolvadás alkalmával e két irányból érkező víztöbblet növeli a löszpusztulás intenzitását. Ennek elkerülésére az épen maradt teraszok síkját a szintvonalak mentén futó, vízszintes szakaszokra kellene tagolni, amely viszonylag kis földmunkát igényelne (11. ábra).

A laboratóriumi kísérletek azt is bizonyították, hogy a mesterségesen létesített lyukak, ha kis vízgyűjtőjük is van, felgyorsítják a mechanikai szuffóziót. Ezért szőlőtelepítéskor a karókat vagy kordontartó oszlopokat bakhátszerű kiemelkedésekre kell



11. ábra. A teraszíkok lépcsőzetessé alakítása kis vízgyűjtőket hoz létre és megakadályozza a felszíni víztöbblet keletkezését a teraszíkok mélyvonalában (szaggatott vonal). A vékony vonal a teraszíkok mai helyzetét jelöli, a vastag vonal a javasolt lépcsőzetes teraszíkok lejtésviszonyok feltűntetésével

Carving steps into the terrace surface creates small catchments and prevents the generation of surface water surplus in the line of deepest points (pecked line). The thin line marks the present position of the terrace surface, while the thick line is the proposed stepped terrace surface

telepíteni. Terepi megfigyeléseink is alátámasztották, hogy a mélyebb fekvésű részeken levert szőlőkarók gyakran a szuffóziós járatok képződésének helyei.

Általános következtetésként levonhatjuk, hogy a teraszok tervezésénél és kivitelezésénél egyaránt alapvető szempont, hogy a löszön ne képződhessen víztöbblet felszíni összefolyásokból. A löszön kialakult talaj vízháztartásának egyensúlya talajvédelmi szempontból elsődleges fontosságú.

IRODALOM

- ÁDÁM L. 1954. A mezőföldi löszös területek karsztos formáiról. - Földr. Közl. 2. pp. 339—350.
- ÁDÁM L. 1964. A Szekszárdi-dombvidék kialakulása és morfológiája. - Akadémiai Kiadó Budapest, 83 p.
- ÁDÁM L.—MAROSI S.—SZILÁRD J. (Szerk.) 1959. A Mezőföld természeti földrajza. - Földrajzi Monográfiák 2. Akadémiai Kiadó Budapest, 514 p.
- ANDERSON, M.—BURT, T.P. 1982. Throughflow and pipe monitoring in the humid temperature environment. - In: Badland Geomorphology and Piping (ed. BRYAN, R. and YAIR, A.). - University Press, Cambridge, pp. 337—354.
- BARTA I. 1970. Hidrogeokémiai vizsgálatok a Tokaji-hegységből. - Hidrológiai Közlöny 6. pp. 244—254.
- BOROS L. 1977. A tokaji Nagy-hegy lösztakarójának pusztulása. - Doktori disszertáció, 134 p.
- BORSY, Z.—FÉLSZERFALVI, J.—SZABÓ, P.P. 1979. Thermoluminescence dating of several layers of the loess sequences at Paks and Mende (Hungary). - Acta Geol. Acad. Sci. Hung. 22. 1—4. pp. 451—459.
- BORSY, Z.—FÉLSZERFALVI, J.—LÓKI, J. 1984. Electronmicroscopic investigation of the sand material from the loess exposure at Paks. - In: Lithology and stratigraphy of loess and paleosols. (ed. PÉCSI, M.) Geogr. Res. Inst. Hung. Acad. of Science - Budapest, pp. 71—86.
- BULLA B. 1954. Általános természeti földrajz. - Budapest, II. kötet, 549 p.
- BUTZER, K.W. 1986. A földfelszín formakincse. - Gondolat Kiadó, Budapest, 519 p.
- CHODAK, T.—KOWALINSKI, S. 1972. Micromorphological and mineralogical properties of some soil types developed from loess. - Państwowe Wydawnictwo Naukowe Warszawa, pp. 219—231.
- CSORBA P. 1985. Tokaji löszön kialakult talajok és földes kopárok nedvességszorzóinak tér- és időbeni változása. - Földr. Ért. 34. pp. 283—297.
- DERBYSHIRE, E. 1984. Granulometry and fabric of the loess at Jiuzhoutai, Lanzhou, People's Republic of China. In: Lithology and Stratigraphy of Loess and Paleosols. (ed. PÉCSI, M.) Budapest, pp. 49—58.
- DREW, D.P. 1982. Piping in the Big Muddy badlands, southern Saskatchewan, Canada. - In: Badland Geomorphology and Piping. (ed. BRYAN, R. and YAIR, A.) University Press, Cambridge, pp. 293—304.
- GYARMATI P. 1974. Magyarózó a Tokaji-hegység földtani térképéhez. 25 000-es sorozat, Tarcál—Tokaj. - Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 67 p.
- HAHN GY. 1966. Mai álláspont a löszről és a lösszerű üledékekről. - Egyetemi doktori disszertáció, 182 p.
- HAHN GY. 1975. A magyarországi hegységelőtéri, dombvidéki és medencebeli löszök és lösszerű üledékek morfogenetikája és kronológiája. - Kandidátusi értekezés, 212 p.
- HAHN GY. 1977. A magyarországi löszök litológiája, genetikája, geomorfológiai és kronológiai tagolása. - Földr. Ért. 26. 1. pp. 1—28.
- HARVEY, A. 1982. The role of piping in the development of badlands and gully systems in south-east Spain. - In: Badland Geomorphology and Piping. (ed. BRYAN, R. and YAIR, A.) Cambridge, pp. 317—335.
- JAMAGNE, M. 1972. Some micromorphological aspects of soils developed in loess deposits of Northern France. - Państwowe Wydawnictwo Naukowe Warszawa, pp. 559—582.
- JAKUCS L. 1971. A karsztok morfogenetikája. - Akadémiai Kiadó Budapest, 310 p.

- JAKUCS L. 1900. A karszt biológiai produktum! - Földr. Közl. 28. 4. pp. 331—342.
- JONES, J.A.A. 1982. Experimental studies of pipe hidrology. - In: *Badland Geomorphology and Piping*. - University Press, Cambridge, pp. 355—370.
- KERÉNYI A. 1984. A talajerózió vizsgálatának laboratóriumi kísérleti módszere. - Földr. Ért. 33. 3. pp. 266—276.
- KRIGER, M.—PÉCSI, M. 1987. Engineering geological research of loess and loess-like sediments in the USSR. - *Loess in Form I*. Budapest, 144 p.
- KUGLER, H.—SCHWAB, M.—BILLWITZ, K. 1980. *Allgemeine Geologie, Geomorphologie und Boden-geographie*. - VEB Hermann Haack Geographisch-Kartographische Anstalt, Gotha-Leipzig, 216 p.
- MÉSZÁROS E. 1977. *A levegőkémia alapjai*. - Akadémiai Kiadó Budapest, 180 p.
- OLLIER, C. 1969. *Weathering*. - Oliver/Bozoyd, Edinborough, 304 p.
- PÉCSI M. 1965. A Kárpát-medencebeli löszök, lösszerű üledékek típusai és litostratigráfiai beosztásuk. (The loesses and types of loess-like sediments of the Carpathian Basin and their lithostratigraphical classification.) - Földr. Közl. 13. 4. pp. 305—338.
- PÉCSI M. 1975. A magyarországi löszszelvények litostratigráfiai tagolása. (Lithostratigraphical subdivision of the loess sequences in Hungary.) Földr. Közl. 23. 3—4. pp. 217—223.
- PÉCSI, M. 1979. Lithostratigraphical subdivision of the loess profiles at Paks. - *Acta Geol. Acad. Sci. Hung.* 22. 1—4. pp. 409—418.
- PÉCSI, M.—PEVZNER, M. 1974. Paleomagnetic measurements in the loess sequences at Paks and Duna-földvár, Hungary. (Paleomágneses vizsgálatok a paksi és a dunaföldvári löszösszletekben.) - Földr. Közl. 22. 3. pp. 215—226.
- PÉCSI, M.—SZEBÉNYI, E. 1971. Guide book for Loess Symposium in Hungary. - IGU European Regional Conference. Budapest, pp. 1—34.
- PÉCSIM.—PÉCSINÉ DONÁTH É.—SZEBÉNYIE.—HAHN GY.—SCHWEITZER F.—PEVZNER, M.A. 1977. A magyarországi löszök fosszilis talajainak paleogeográfiai értékelése és tagolása. (Paleogeographical reconstruction of fossil soils in Hungarian Loess.) - Földr. Közl. 25. 1—3. pp. 94—134.
- PINCZÉS Z. 1954. A tokaji Nagy-hegy lösztakarója. - Földr. Ért. 3. pp. 575—584.
- PINCZÉS Z. 1968. Vonalas erózió a Tokaji-hegy löszén. - Földr. Közl. 16. pp. 159—171.
- PINCZÉS Z. 1980. A művelési ágak és módok hatása a talajerózióra. - Földr. Közl. 28. pp. 357—379.
- PINCZÉS Z.—BOROS L. 1967. Eróziós vizsgálatok a Tokaji-hegy szőlőterületein. - *Acta Geographico-geologica Debrecinorum 1966/67*. 5—6. pp. 308—325.
- PYE, K. 1984. SEM investigations of quartz silt-microtextures in relation to the source of loess. - In: *Lithology and Stratigraphy of Loess and Paleosols*. (ed. PÉCSI, M.) Geogr. Res. Inst. Hung. Acad. of Sci. Budapest, pp. 139—152.
- SALAMIN P. 1980. A víz szerepe a magyarországi sík-, domb- és hegyvidékek felszínének alakulásában. - Földr. Közl. 28. 2. pp. 308—321.
- SALAMIN P. 1982. Erózió elleni küzdelem és környezetvédelem. - BME Mémőktovábbképző Intézet, 121 p.
- SAJGALIK, I. 1979. Dependence of microstructure of loesses on their genesis. - *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae Budapest, Tomus 22*. (1—4.) pp. 255—266.
- SÉDI K. 1942. A Gerecse löszvidékének morfológiája. - Földr. Közl. 70. pp. 84—92.
- SLAYMAKER, O. 1982. The occurrence of piping and gullyng in the Penticon glaciolacustrine silts, Okanagon Valley, B.C. - In: *Badland Geomorphology and Piping*. (ed. BRYAN, R. and YAIR, A.) University Press, Cambridge, pp. 305—316.
- SZILÁRD J. 1983. Dunántúli és Duna-Tisza közti löszfeltárások új szempontú litológiai értékelése és tipizálása. - Földr. Ért. 32. 1. pp. 109—166.
- WANG YOUNG-YAN—TENG ZHI-HONG—YVE LE-PING 1984. Loess microtextures and origin of loess in China. - In: *Lithology and Stratigraphy of Loess and Paleosols*. (ed. PÉCSI, M.) Budapest, pp. 49—58.

- ZÁMBÓ, L. 1971. Study of some development factors of antropogenically preformed loess gullies. - Acta Geographica Debrecina Tomus X. Debrecen, pp. 113—116.
- ZÁMBÓ L. 1986. A talaj-hatás jelentősége a karszt korrozíós fejlődésében. - Kandidátusi értekezés tézisei, Budapest, 16 p.

QUANTITATIVE INVESTIGATION OF EROSION FORMS AND PROCESSES ON LOESS IN A VINEYARD

by A. Kerényi—E. Kocsis-Hodosi

S u m m a r y

Field measurements were made on a loess-mantled slope of the Tokaj Nagy-hegy (Big Hill). To prevent erosion, the slope is terraced. On terrace counterslopes various features of loess erosion have developed for 25 years. Our investigations were aimed at surveying the forms of loess erosion in the field as precisely as possible, at computing the volume of the loess removed, at typifying and statistically analysing negative loess forms. Certain details of the erosion of loess were studied in the laboratory.

The slope conditions and the regional differences in the volume of loess eroded from the terraces are shown in *Fig. 2*. The features of loess erosion were referred into the following classes: 1. loess well on terrace margin; 2. loess doline on terrace flat; 3. loess well on terrace flat; 4. sinkhole with piping (*Fig. 3*); 5. collapse bowl; 6. erosion gully (*Fig. 4*).

The distribution of features and landform types is not even over the terraces and thus there is variation in the amount of loess removed from the individual terraces (*Table 2*). Total loss exceeds 476 m³. The largest amount of loess are removed from flat or countersloping terraces of medium width. Towards the lower terraces the number of forms and the amount of eroded loess increases.

The volume of loess removed from the terrace system equals the erosion of a uniform 24-mm thick layer for the whole surface, i.e. the overall rate of denudation is 1 mm per year. In our case it is not the rate but the nature of erosion that is problematic for cultivation: where collapses, piping, loess wells and gullies develop, the soil cannot be tilled, runoff washes out vine-props and stocks.

The laboratory experiments showed that there is a substantial difference between the solution influence of runoff on the loess surface and percolating waters (cf. *Tables 3 and 4*). In the case of Ca²⁺, for instance, five times the amount is dissolved by percolating water than by surface runoff. If loess is overlain by a thin soil, the solution capacity of infiltrating water becomes much stronger. The same was observed (although differing in absolute numbers) for Mg²⁺ and Na²⁺. The 'irregular' concentration of K⁺ and its changes are due to human influence (fertilization).

In the experiments several conditions of dissolution of ions were examined (*Figs. 6-9*): 1. basic experiment; 2. covering for five days; 3. soil overlaying; 4-5. repeated experiments in the 'soil over loess' state; 6. mechanical compaction of soil and loess; 7. removal of soil from loess; 8-9. 66 or 68 days after soil removal.

Based on our investigations, an analysis of loess erosion was made (*Fig. 10*) and proposals were outlined for farmers cultivating loess slopes.

Translated by D. LÓCZY