

## Szikesedési folyamatok a Kárpát-medencében

VÁRALLYAY GYÖRGY

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest

A Kárpát-medence egy hidrogeológiaiilag zárt medence, különösen a nyári hónapokban erősen negatív vízmérleggel. Ez okozza a szikes talajok nagy területi kiterjedését a Kárpát-medence mélyebb fekvésű, rossz természetes drénviszonyokkal rendelkező területein: a Magyar Alföldön (a Tiszántúlon: Hortobágy, Nagykunság, Körös-vidék; a Kiskunságban és a Duna–Tisza köze semlyékeiben; a Tisza–Zagyva szögben stb.), de ugyanígy Románia, Jugoszlávia, Horvátország és Szlovákia mélyebb fekvésű Kárpát-medencei területein is.

A szikes talajok kialakulásában jelentős (sok esetben meghatározó) és sokoldalú szerepe volt a víznek. Ugyanakkor a szikes talajok korlátozott mezőgazdasági hasznosításának, gyenge termékenységének fő oka e talaj mindkét irányban szélsőséges vízgazdálkodása: egyaránt nagy belvív- és aszályérzékenysége (ARANY, 1956; BALLENEGGER, 1913; HERKE, 1964; ROHRINGER, 1934; SAJÓ & TRUMMER, 1934; SZABOLCS, 1961; VÁRALLYAY, 1981).

A szikesedés alapvető oka a  $\text{Na}^+$ -ionok megjelenése a talaj szilárd és/vagy folyadékfázisában, amely igen sokoldalúan hat egy terület agroökológiai potenciáljára. E hatásokat foglaltuk össze az 1. ábrán (VÁRALLYAY, 1980).

## Sófelhalmozódási folyamatok a Kárpát-medencében

*A sófelhalmozódás alapvető feltételei a következők:*

- sóforrás;
- sók térbeli átrendeződését biztosító szállító közeg;
- időszakos kiszáradás.

‘SIGMOND (1923a,b) a szikes talajok képződésének négy feltételét sorolja fel klasszikus munkájában:

- megfelelő sóforrás (a Magyar Alföld esetében a medence-peremek vulkáni tufáinak és a lösznek vízoldható Na-só mállástermékei);
- lefolyástalan medence-jelleg (rossz horizontális drénviszonyok);
- vízátmeresztő altalaj (rossz vertikális drénviszonyok);
- nedvesedés–kiszáradás gyakran ismétlődő, ciklikus változásai.

\* A Magyar Talajtani Társaság és a Magyarhoni Földtani Társulat Mérnökgeológiai Szakosztálya által szervezett „A szikesedés aktuális problémái” című előadóiülésen (MAFI, Budapest, 1997. december 8.) elhangzott előadás anyaga



A Kárpát-medencében mindezen feltételek adottak:

– sóforrást jelentenek a Kárpát-medence vízgyűjtő területének folyamatosan képződő oldható mállástermékei;

– szállító közeget jelentenek a felszínen lefolyó vizek; a talajfelszín és a talajvízszint közötti háromfázisú talajszelvényben szivárgó vizek; valamint a különböző felszín alatti vizek, elsősorban a talajvizek;

– a medence kontinentális klímájú területein, különösen a száraz–meleg nyári hónapokban adottak az időszakos kiszáradás lehetőségei.

Mindezen folyamatok természetes következménye a szikes talajok nagy területe, s a szikesedés – szinte az egész térségre kiterjedő – potenciális veszélye (SZABOLCS, 1961, 1989).

A szikesítő sók fő forrásai természetes viszonyok között a helyi mállástermékek, valamint a felszíni és felszín alatti vizek.

A helyi mállástermékek a Kárpát-medence éghajlati viszonyai és geológiai adottságai között nem jelentenek olyan jelentős sómennyiséget, amely – jelentősebb áthalmozás nélkül – sófelhalmozódást és szikesedést eredményezne.

A felszíni és felszín alatti vizek abszolút és relatív jelentőségéről a sófelhalmozódás és szikesedés folyamatában igen sok vita folyt a hatvanas évekig. A kérdés megválaszolása nemcsak elméletileg fontos, hanem közvetlen gyakorlati jelentősége is van, hisz a két sóforrás (illetve szállító közeg) szabályozása egész más beavatkozásokat tesz szükségessé.

Végül az alábbi érvek alapján igazolódott a felszín alatti vizek megkülönböztetett jelentősége:

– a felszín alatti vizek igen nagy területekről gyűjtik össze a legkülönbözőbb forrásokból (geológiai képződmények oldható alkotórészei, mélyebb talajrétegek sókészlete stb.) származó sókat;

– hatásuk állandó, szemben a felszíni vizek időszakos hatásával;

– a sók oldékonyságuk sorrendjében történő differenciálódása a talajszelvényben: a  $\text{CaCO}_3$ – $\text{MgCO}_3$ – $\text{NaHCO}_3$ – $\text{NaCl}$  maximumai egymás felett helyezkednek el;

– a talajvízszint és a sóprofil, illetve a talajvízszint-ingadozás és a sóforgalom szoros összefüggése.

Mindezek alapján megállapítható, hogy a Kárpát-medence szikes talajainak kialakulásában a felszín alatti vizeknek, elsősorban a felszín közeli (vagy időszakosan felszín közelbe emelkedő) talajvizeknek volt megkülönböztetett jelentősége (ARANY, 1956; HERKE, 1962; SZABOLCS, 1961; VÁRALLYAY, 1967, 1968).

Másodlagos szikesedés esetén még egy sóforrás számba jöhet: az öntözővíz. A Magyarországon kidolgozott, bevezetett és betart(at)ott korszerű öntözővíz-minőség norma gyakorlatilag kizárja, hogy az öntözővízből szikesedést okozó sófelhalmozódás bekövetkezzék (DARAB, 1962). Az ezt okoz(hat)ó vizek öntözésre történő felhasználását ugyanis a norma szigorú határértékei megtiltják, vagy bizonyos speciális esetekre korlátozzák. Hogy azonban mégis bekövetkezett néhány helyen, ill. esetben közvetlen sófelhalmozódás az öntözővízből,

annak az az oka, hogy a víz minőségét nem a felhasználás, hanem a vízkivétel helyén regisztrálják, s „szembesítik” a vízminőség normákkal. Alföldi öntözéseink gyakorlatában azonban nem ritka az az eset, hogy a vízkivétel helyén a víz még megfelel ugyan a vízminőség norma előírásainak, azonban a burkolatlan (s nem ritkán éppen nagy só- és  $\text{Na}^+$ -tartalmú anyagokból épülő) földcsatornában történő több km-es útja során vízdoldható Na-sókban feldúsul, és a felhasználás helyén már nem felel meg az előírt minőségi követelményeknek, de – ottani ellenőrzés hiányában – felhasználásra kerül és sófelhalmozódást okoz.

Sokkal gyakoribb ennél az az eset, amikor az öntözés közvetlen vagy közvetett hatására (szivárgás a tározókból, visszaduzzasztott felszíni vízfolyásokból, burkolatlan földcsatornákból, vagy – elsősorban felszíni öntözési módokkal – egyenetlen vízeloszlással öntözött területekről) *megemelkedik* a pangó, sós talajvíz szintje, s ez okoz sófelhalmozódást és szikesedést a talajszelvényben (DARAB, 1958; SZABOLCS, 1961; SZABOLCS & VÁRALLYAY, 1980; SZABOLCS et al., 1969; VÁRALLYAY, 1974).

A természetes sófelhalmozódási és szikesedési folyamatokra az utóbbi évszázadokban igen jelentős hatást gyakorolt az *ember tevékenysége*.

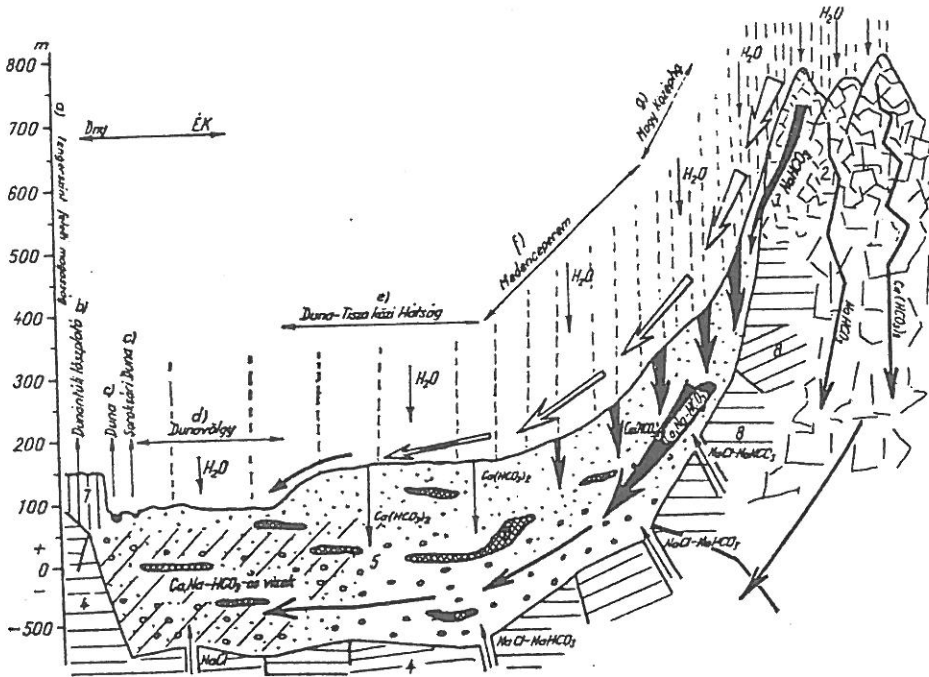
A Kárpát-medence vízgyűjtő területén végrehajtott erdőirtások, valamint a természetes gyepterületek egy részének szántóföldi művelésbe vonása, a múlt század közepének hatalmas mértékű folyószabályozási és vízrendezési munkálatai az egész medence vízháztartását és anyagforgalmát megváltoztatták.

Az erdő és a gyepek védőhatásának területi csökkenésével növekedett a felszíni lefolyás, a medence mélyebb fekvésű területei felé irányuló víz- és anyagmozgás, amely – a párhuzamosan szárazabbá váló mezoklimával együtt – a felhalmozódási folyamatoknak kedvezett e területeken. A *folyószabályozások és vízrendezések* nagy területeket mentesítettek a szinte évente megisméltődő árvizek és belvizek hatásai alól. Ez növelte ugyan a potenciálisan szántóföldi művelésbe vonható termőfelület nagyságát, ugyanakkor azonban a kiszáradó, a felszíni vizek hatása alól teljesen vagy hosszabb időszakokra mentesülő felszín lehetőséget nyújtott a talajoldatok betöményedésére, a vízben oldható sók felhalmozódására, amelyet addig a teljes vagy időszakos vízborítás megakadályozott, vagy egyszerűen elfedett. Azokon a területeken, amelyeken a vízrendezés csak a felszíni vizekre korlátozódott, s a szikesítő sók fő forrásait képező pangó sós talajvizek felszín közelben maradtak (vagy az év bizonyos időszakában felszín közelbe emelkedtek), ott a szikes talajok különböző típusai, változatai jöttek létre (ROHRINGER, 1934; SAJÓ & TRUMMER, 1934; SZABOLCS, 1961; VÁRALLYAY, 1993).

A másik jelentős beavatkozást a terület vízháztartásába és anyagforgalmába az *öntözések* jelentették. A '30-as évek területileg elszórtan jelentkező, s össz-volumenében sem jelentős öntözéseinek ilyen szempontból gyakorlatilag még nem voltak különösebb következményei. Az '50-es években kiépülő Tisza-I. (Tiszalök) Öntözőrendszer hatásterületén azonban mintegy 100 ezer hektáron következett be *másodlagos szikesedés*, 5 ezer hektáron másodlagos láposodás,

20 ezer hektáron a két folyamat összefonódva. A Kiskörei Vízlépcső és Öntözőrendszer tervezése során – e káros hatásokat megelőzendő – SZABOLCS, DARAB és VÁRALLYAY (1968, 1969a,b,c) korszerű, világszerte nagy érdek­lődést és elismerést kiváltó talajfelvételezési–vizsgálati–térképezési rendszert dolgoztak ki, amely sikeresen került alkalmazásra a másodlagos szikesedési folyamatok előrejelzésében és megelőzésében. A rendszer eredményességét bizonyítja, hogy ahol a vizsgálatok alapján kidolgozott előírásokat betartották a tervezők és üzemeltetők, ott káros szikesedési folyamatok nem következtek be.

A Kárpát-medencében végbemenő sófelhalmozódási folyamatok egyszerűsített vázlatát mutatjuk be – a magyarországi Dunavölgy példáján – a 2. ábrán (VÁRALLYAY, 1967, 1968, 1997). Jól látható erről, hogy a Kárpát-medence teljes vízgyűjtő területére hulló csapadék felszínről nem elpárolgó és/vagy elpárologtatott, valamint helyben nem visszatartott hányadának egy része a felszínen folyik le, másik része a talaj felszíne és a talajvízszint közti háromfázisú



2. ábra

A Kárpát-medencében végbemenő sófelhalmozódási folyamatok egyszerűsített vázlatát (a Dunavölgy példáján) I. 1. Mészkö; 2. riolit, andezit; 3. riolit és andezit tufa; 4. víz-záró Pannon-agyag; 5. fluviatilis kavics, homok és homokos iszap; 6. agyag lencse; 7. lösz; 8. Pleisztocén agyag. A nyilak iránya a vízmozgás irányát; a fehér nyilak vastagsága a (lefolyó, szivárgó, áramló) vizek mennyiségét; a fekete nyilak vastagsága a vegyjelek nagysága jelzi a vizek sótartalom-növekedésének mértékét

(vízzel nem teljesen telített) zónában szivárog, harmadik része a talajvizet táplálva felszín alatti vízként áramlik a medence mélyebb fekvésű területei felé, ahol felhalmozódik, hisz a Kárpát-medence hidrogeológiai szempontból gyakorlatilag zárt.

A 2. ábráról az is látható, hogy a medence mélyebb fekvésű részei felé mozgó (lefolyó, szivárgó, áramló) vizek útjuk során a velük érintkező talajrétegek és geológiai képződmények oldható alkotórészeinek egy részét feloldják és tovább szállítják. Így fokozatosan gazdagodnak sótartalomban, sóösszetételük pedig az átjárt rétegeknek (mészkeő, dolomit, vulkáni tufák, negyedkori lösz, vagy löszös üledékek stb.) megfelelően Ca, Na–HCO<sub>3</sub>-típusú. Na-tartalmukat a medence pannon fekvő tektonikai törésein keresztül feláramló (a harmadkori Pannon-tenger üledékeiből származó) mélységi vizek Na-Cl típusú sótartalma is gazdagítja. Ezek a vizek halmozódnak azután fel a Kárpát-medence legmélyebb részeinek hatalmas és összefüggő (vízzáró rétegekkel „emeletekre” nem tagolt) felszín alatti vízraktározó rétegösszletében, amelynek vastagsága helyenként több száz métert is elér. Bár az elmondottak és a bemutatott 2. ábra elsősorban a Dunavölgy sófelhalmozódási folyamataira érvényes, értelemszerűen vonatkozatható a Tisza-völgy és a Kárpát-medence többi szikes területére is. Azzal a különbséggel, hogy itt a pannon fekvő vízbe vagy időszakosan vízjárta területre hulló ún. „alföldi lösz”, vagy a Tisza és mellékfolyóinak többnyire karbonátmentes üledékanyag borítja; ezek viszonylag nehezebb mechanikai összetételűek; bennük emiatt a folyadékmozgás és anyagtranszport lassúbb, a felszín alatti vizekben pedig a NaHCO<sub>3</sub> mellett többnyire jelentős a Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-tartalom is.

A Kárpát-medence alföldi részeinek vízmérlege – különösen a kontinentális klíma száraz nyári hónapjaiban – negatív: a potenciális párolgás (ET<sub>pot</sub>) mértéke meghaladja a lehullott csapadék (P) mennyiségét (ET<sub>pot</sub> > P), s a vízmérleget a felszíni lefolyás (R), a háromfázisú zónában történő odaszivárgás (S), illetve a talajvíz odaáramlás (G) tartja egyensúlyban:

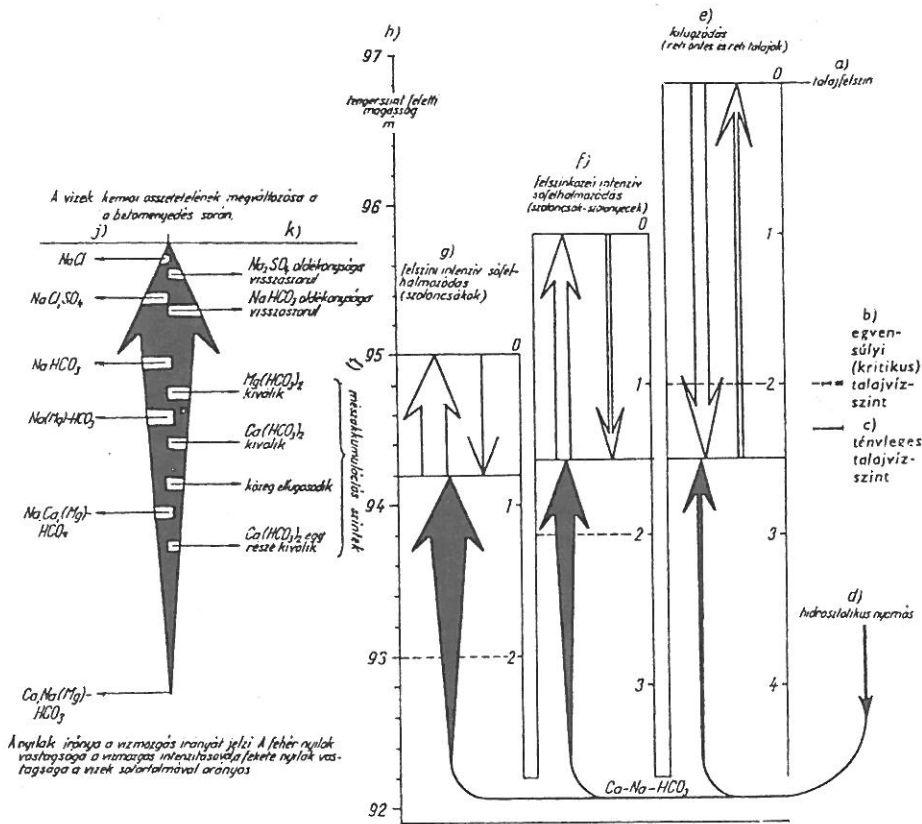
$$P + R_1 + S_1 + G_1 \approx ET + R_0 + S_0 + G_0,$$

tehát vagy  $R_1 > R_0$ ; vagy  $S_1 > S_0$ ; vagy  $G_1 > G_0$ ,

ami az anyagforgalom szempontjából egyértelműen *felhalmozódást* eredményez, hisz párolgással csak víz távozik el a területről, a csapadékkal, felszíni lefolyással, felszín alatti szivárgással és talajvízáramlással viszont oldott anyagok is jutnak a területre, s ott fokozatosan felhalmozódnak (VÁRALLYAY, 1994, 1997).

A negatív vízmérleg másik következménye, hogy a talajszelvényben végbenő víz- és sómozgás lefelé és felfelé irányuló folyamatai közül ez utóbbiak válnak uralkodóvá. KOVÁCS (1960) munkássága a Kárpát-medence körülményeire is érvényesítette azt a hidrológiai tételt, hogy a talajvízszint terep alatti mélységének növekedésével a talajvízből történő párolgás sokkal nagyobb mértékben csökken, mint a talajvíztáplálás mértéke. Minden helyen van egy olyan (természetesen a természeti viszonyoktól és talajtól függő) talajvízszint-mélység, amelynél a talajvíztáplálás és a párolgás hatására bekövetkező talaj-

víz-megscapolás egyensúlyban van: ez az ún. „*egyensúlyi talajvízszint*”. Ennél mélyebb talajvízszint esetén a talajszelvényben a lefelé irányuló vízmozgás (és ennek anyagforgalmi következménye, a kilúgzás), ennél magasabb talajvízszint esetén a felszíni párolgás által „mozgatott” felfelé irányuló kapilláris vízmozgás (és ennek anyagforgalmi következménye, a felhalmozódás) válik uralkodóvá. Ezt a tételt fejlesztette tovább SZABOLCS, DARAB és VÁRALLYAY (1969a) a talaj anyagforgalmára és sóforgalmára, s vezették be a „kritikus talajvízszint”, majd később a „kritikus talajvíz dinamika” fogalmát. *Kritikus talajvízszint* a talajvízszint azon terep alatti mélysége, amely esetén a talaj felszíne és a talajvízszint közötti talajszelvény sómérlege egyensúlyban van. Ennél mélyebb talajvízszint esetén a sómérleg negatív: a lefelé irányuló oldatmozgás, a talaj-oldat hígulása és a kilúgzás dominál; ennél magasabb talajvízszint esetén a sómérleg pozitív: a felfelé irányuló oldatmozgás, az oldatok betöményedése és a sófelhalmozódás válik uralkodóvá. Az elmondottak szemléltetésére mutatjuk be a 3. ábrát. A „kritikus talajvízszint” terep alatti mélységének meghatározására



3. ábra  
Sófelhalmozódás folyamata a Dunavölgyben II.

DARAB (1958), majd SZABOLCS, DARAB és VÁRALLYAY (1969a) dolgoztak ki számítási eljárást – sóforgalom és sómérleg vizsgálataik alapján –. Módszerükkel „kritikus talajvízszint mélysége” térképek készültek 1:25 000 méretarányban a Tisza-II. Öntözőrendszer egész hatásterületére. Később VÁRALLYAY (1974, 1979), majd VÁRALLYAY és RAJKAI (1989) négylépcsős modellt alkotott az ingadozó talajvízszint feletti rétegzett talajszelvényekben végbemenő víz- és oldatmozgás kvantitatív jellemzésére és e modellt alkalmazta az „optimális talajvízszint” (a növény jóminőségű talajvízből történő csapadék-kiegészítő vízellátását biztosító talajvízszint), illetve „kritikus talajvízszint” (a talajvízből történő másodlagos szikesedés lehetőségét kizáró talajvízmélység) meghatározására (SZABOLCS, DARAB & VÁRALLYAY, 1969a, VÁRALLYAY, 1974, VÁRALLYAY & MIRONENKO, 1979; VÁRALLYAY & RAJKAI, 1989).

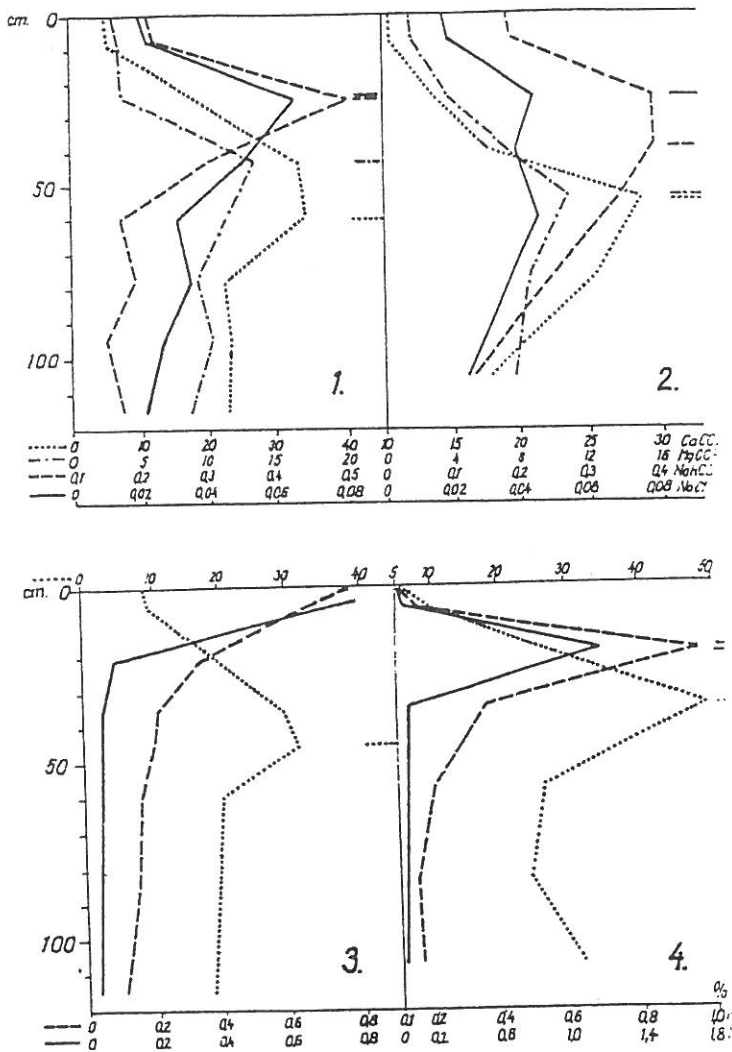
A bemutatott 3. ábráról a sófelhalmozódási folyamatoknak még egy jellegzetessége is kitűnik. Nevezetesen: a kapilláris vízmozgással felfelé mozgó talajoldat összetételének fokozatos megváltozása és a sók oldékonyságuk szerinti kiválása, osztályozódása, differenciálódása a talajszelvényben.

VÁRALLYAY (1967, 1968, 1997) a magyarországi Dunavölgyben végzett részletes sóforgalom és sómérleg vizsgálatai alapján a fenti tételt bizonyító differenciált sóprofilokat szerkesztett. Ezek közül adunk közre néhányat a 4. ábrán. Az ábrán bemutatott adatokat használtuk fel annak bizonyítására, hogy a terület sófelhalmozódási folyamataiban a felfelé irányuló kapilláris vízmozgás volt az uralkodó folyamat, a vízdoldható sók fő forrásai pedig a felszín alatti vizek, hisz a  $\text{CaCO}_3$ – $\text{MgCO}_3$ – $\text{NaHCO}_3$ – $\text{NaCl}$  sómaximumai egymás *felett* helyezkednek el.

Egy másik bizonyítékot jelent erre vonatkozóan, hogy a Dunavölgy talajtípusainak elhelyezkedése szoros összefüggést mutat egyrészt a Dunától való távolsággal (a Duna árvizeinek hatása alól való felszabadulás óta eltelt idővel), másrészt a talajvízszint terep alatti mélységével (talajvíz hatásának mélysége, gyakorisága, időtartama, intenzitása), ami viszont többnyire a térszíni viszonyok függvénye (1. táblázat).

Fentieknek megfelelően a Dunától távolodva nyers öntéseket humuszos öntések, réti öntéstalajok, majd réti talajok váltják fel attól függően, hogy mennyi ideje érvényesül azok fejlődésében a réti talajképződési folyamat. A térszíni elemeken való elhelyezkedés tekintetében ugyanakkor a talajok ún. „hidromorf” sora figyelhető meg, s a mélyebb fekvésű részek felől a magasabb fekvésű területek felé haladva láptalajok, lápos réti talajok, réti talajok, réti csernozjomok és csernozjomok követik egymást aszerint, hogy a talajok hidromorf vonásai mennyire kifejezettek, kialakulásuk során milyen mértékben hatottak a talajvízviszonyok. További változatosságot eredményez a talajviszonyokban a szoloncsákok, szoloncsák–szolonyecek és szoloncsákos, karbonátos réti szolonyecek megjelenése (VÁRALLYAY, 1967).

Az 1. táblázatban a talajtípus, a térszíni fekvés, a talajvízmélység és a talajvíz kémiai összetétele között tapasztalt összefüggést foglaltuk össze.



4. ábra

A sók oldékonyságuk szerinti differenciálódása szoloncsák-szolonyc (1, 2), szoloncsák (3) és sekély réti szolonyc (4) talaj szelvényében

Fentiekből következik, hogy:

– minél kevesebb a csapadék, minél nagyobb a párolgás és minél közelebb van a felszínhez a talajvízszint, a sófelhalmozódás annál intenzívebb (1. táblázat);

– minél magasabban áll a talajvízszint, annál magasabban helyezkedik el a felső beázás és a talajvíz hatásának határfelületén kialakuló sófelhalmozódási szint, s alakulnak ki a szikes talajok különböző típusai, altípusai és változatai.

## 1. táblázat

Összefüggés a talajok térszíni elhelyezkedése, a talajtípus, a talajvízszint átlagos terep alatti mélysége és a talajvíz kémiai összetétele között a Dunavölgyben

(1) Talajtípus	(2) Tenger- szint feletti magasság, m	(3) A talajvíz terep alatti átlagos mélysége, m	(4) A talajvíz sótart- alma, g/l	(5) A talajvíz kémiai összetétele (víztípus)
a) Nyers öntés	94–97	2–2,5	0,3–0,5	Ca–HCO <sub>3</sub>
b) Réti csernozjom	97–100	3–4	1,0–2,0	Na(Ca)– HCO <sub>3</sub> (Cl)
c) Réti öntés, réti talaj	95–97	2–3	1,0–2,0	Na–HCO <sub>3</sub>
d) Szoloncsák-szolonyec	94–95	1–2	2,0–5,0	Na–HCO <sub>3</sub>
e) Karbonátos szolonyec				
f) Szoloncsák	93–94	0,5–1,2	5,0–10,0	Na–HCO <sub>3</sub>

### Szikesedési folyamatok a Kárpát-medencében

A sófelhalmozódási folyamatok eredményeképpen az érintett talajokban jelentős nátriumsókészlet halmozódott fel, s mivel a sók döntő hányadát NaHCO<sub>3</sub> és Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – tehát lúgusan hidrolizáló nátriumsók – alkotják, a talaj erősen lúgos kémhatású folyadékfázisában a Ca<sup>2+</sup>- és Mg<sup>2+</sup>-ionok csak egészen jelentéktelen mennyiségben szerepelnek. A nátriumsók uralkodóvá, sőt egyeduralkodóvá válása a talaj sókészletében a talaj folyadékfázisa és szilárd fázisa között fennálló ionegyensúly törvényszerűségeinek megfelelően a talaj adszorpciós komplexusának fokozatos Na<sup>+</sup>-telítődéséhez, *szolonyeceseedéshez* vezet: mélyben, gyengén, közepesen és erősen szolonyeces talajok, réti és sztyeppesedő réti szolonyecok egyaránt kialakultak (SZABOLCS, 1989; VÁRALLYAY, 1993, 1998).

Ugyancsak sok helyen következett be az emberi tevékenység hatására a szikes talajok degradációja, *szologyosodása* is.

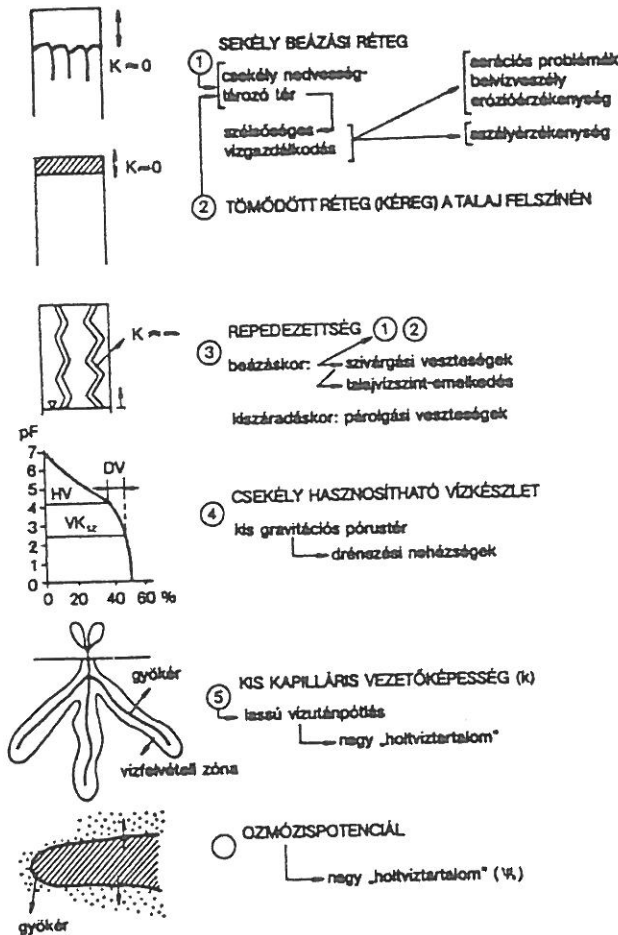
### Szikes talajok kedvezőtlen fizikai–vízgazdálkodási tulajdonságai, szélsőséges vízháztartása

A vízdoldható Na-sók felhalmozódása, a Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>–NaHCO<sub>3</sub> típusú sótartalom miatti erősen lúgos kémhatás, valamint a talaj adszorpciós komplexumának erős Na<sup>+</sup>-telítettsége – különösen a Kárpát-medence legmélyebb fekvésű része, a Tiszai Alföld nehéz mechanikai összetételű, nagy duzzadó agyagásványtartalμού talajain – azt eredményezi, hogy az ilyen körülmények között kialakult szikes talajok *fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságai igen kedvezőtlenek*. Jellemzi ezt a: rossz talajszerkezet; kedvezőtlen porozitásviszonyok; erős duz-

zadás–zsugorodás, repedezés; kis víznyelő-, vízáteresztő-, vízvezető képesség; nagy holtvíztartalom és kis hasznosítható vízkészlet; mindkét irányban szélsőséges vízháztartás: egyaránt nagy belvízvesztély és aszályérzékenység; az agro-technikai műveletek elvégzésére alkalmas optimális talajnedvesség állapot rövid időtartama („perc-talajok”).

A Kárpát-medencei szikes talajok kedvezőtlen vízgazdálkodásának tényezőit foglaltuk össze vázlatosan az 5. ábrán (VÁRALLYAY, 1980, 1988, 1997 1998).

A talaj felszínén kialakuló (nagy Na-só-tartalmú, szárazon keményre cementálódó, nedvesen szappanszerűen kenődő) kéreg, vagy a csak vékony A-szinttel fedett (nagy agyagtartalmú, nátriummal erősen telített, tömődött, gyakorlatilag vízátnemeresztő) B-szint nemcsak a gyökérfejlődést akadályozza, hanem a csapadék vagy öntözővíz talajba szivárgását, a talaj mélyebb átnedvesedését is. A



5. ábra

A növény vízellátását korlátozó talajtani tényezők nagy agyagtartalmú talajokban

kis talajnedvesség-tározótér nedves időszakban gyorsan telítődik: aerációs problémákat, agrotechnikai nehézségeket, sőt *belvizet* (lejtős területen eróziót) eredményezve. Száraz időszakban ugyanakkor csak rövid időre biztosítja a növény vízellátását, s okozza a talaj fokozott *aszályérzékenységét* (VÁRALLYAY, 1981, 1988, 1994).

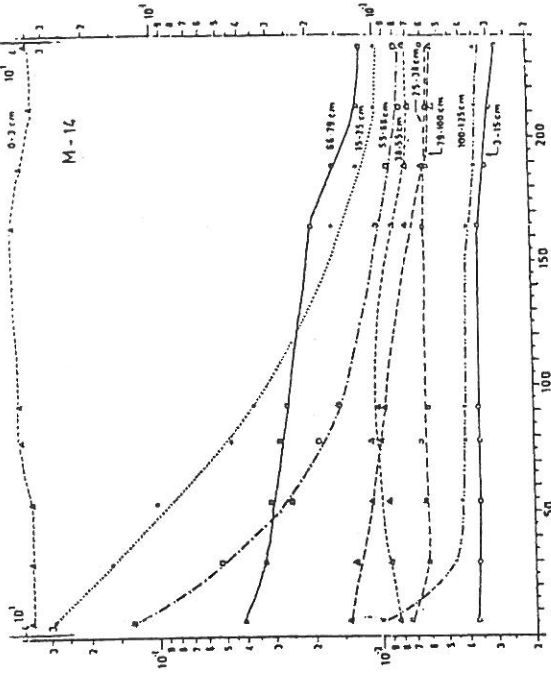
A nehéz mechanikai összetételű szikes talajok esetében további problémát, a növény zavartalan vízellátását akadályozó/korlátozó tényezőt jelent a talaj *duzzadása–zsugorodása, repedezése*. Száraz időben a repedezett talaj mélyen kiszárad (→ párolgási veszteségek). Száraz időszakot követően a nyitott repedéseken keresztül jelentős mennyiségű víz juthat a talaj mélyebb rétegeibe, sőt a talajvízbe – a repedezett talajréteg egészének átnedvesítése, beáztatása *nélkül*. Ez szeszélyes csapadékeloszlású éghajlati viszonyaink között érzékeny (nem, nem mindig, vagy csak nehezen és költségesen pótolható) szívárgási veszteségeket jelent. A fokozott talajvíztáplálás ugyanakkor (különösen az Alföld sík, csekély horizontális talajvízmozgású területein) talajvízszint-emelkedést eredményez, ami szélsőséges esetben a gyökérszóna, illetve a művelt réteg túlnedvesedését okozhatja, nagy sótartalmú talajvíz esetén pedig másodlagos szikesedéshez vezethet.

Szikes talajokban a *növény vízfelvétele*t három tényező akadályozhatja:

- a) a nagy sótartalom miatti ozmózis potenciál;
- b) a nagy agyagtartalom, duzzadó agyagásvány-tartalom és  $\text{Na}^+$ -telítettség miatti nagy vízmegkötő képesség, nagy holtvíztartalom, és ennek következménye a kis hasznosítható vízkészlet;
- c) a talaj kis transzport koeficiensei (diffúzió sebesség, kapilláris vezetőképesség), ami miatt a talajnedvesség csak lassan jut el a nedves talajtól a gyökérfelületig, annál is inkább, mivel a növény vízfelvétele miatt a gyökerek mentén kialakuló viszonylag száraz, ún. „vízfelvételi zónán” keresztül a vízmozgás különösen lelassul, és ha nem képes a növény transzspirációs veszteségeit pótolni, ugyanúgy vízellátási zavarokat (lankadás, hervadás, pusztulás) okoz, mint az energetikai okok miatti nagy holtvíztartalom.

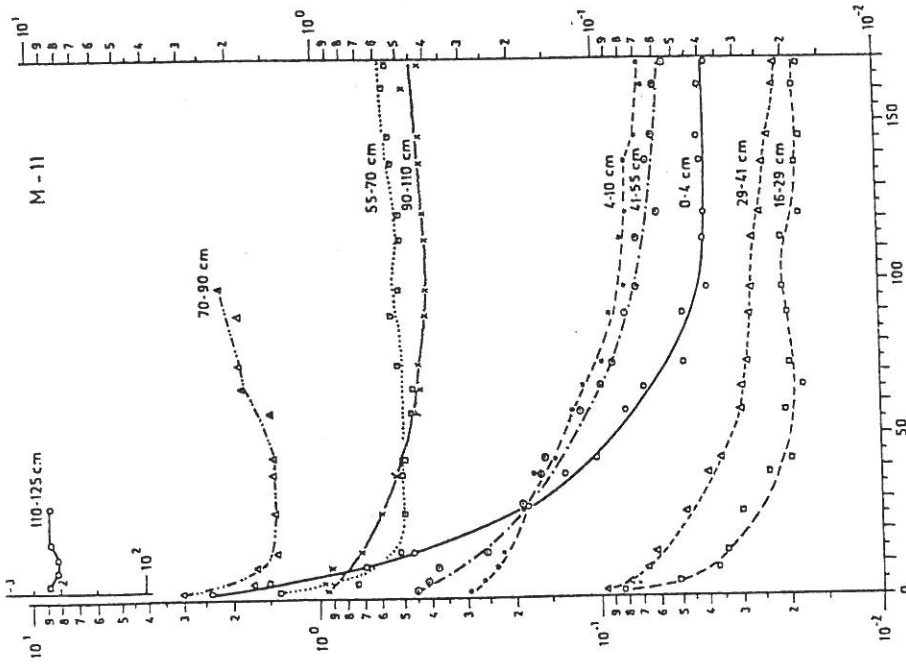
A szikes talajok kedvezőtlen vízgazdálkodási tulajdonságainak jellemzésére három ábrát mutatunk be. A 6. ábrán egy dunavölgyi szoloncsák és egy hortobágyi kérges réti szolonyec hidraulikus vezetőképességének (K-érték) időbeni változását ábrázoltuk. Az ábrákról szemléletesen kitűnik, hogy a K-értékek időben változnak, többnyire csökkennek. A K-csökkenés három alapesete különböztethető meg (VÁRALLYAY, 1972):

- a) a talaj mechanikai tömörödése (aggregátumok szétiszapolódása, a szerkezet leromlása természeti okok és emberi beavatkozások együttes hatására → kisebb méretű szemcsék és/vagy szemcsehalmazok → kisebb pórustér és kisebb méretű pórusok → kisebb K);
- b) a talaj peptizálódása (sókoncentráció „flokkulációs küszöbérték” alá csökkenése → flokkulátumok diszpergálódása; talaj adszorpciós komplexusának  $\text{Na}^+$ -telítődése → peptizáció; → szemcse- és pórusméret-csökkenés → kisebb K);



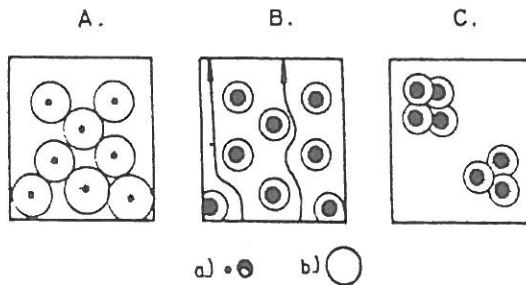
6. ábra

K-értékek időbeni változása a dunavölgyi szoloncsák (M-11) és tisztántúli kérés régi szolonyec (M-14) szelvényének egyes szintjeiben. Függőleges tengely: K = cm/nap. Vízszintes tengely: megfigyelés ideje, óra



c) a talaj  $\text{Na}^+$ -telítődése ( $\rightarrow$  nagyobb hidrátburok  $\rightarrow$  az erősen kötött, így a vízmozgás szempontjából többé-kevésbé szilárd fázisként viselkedő (semi-solid state) immobil víz növekvő hányada  $\rightarrow$  kisebb K).

A két utóbbi jelenség jól megfigyelhető a 6. ábra A. diagramjának a 0–4 cm-es, kezdetben nagy sótartalmú rétegére vonatkozó K-t görbén. A c) eset egyébként látszólag ellentétes a Kozeny–Carman típusú egyenletekkel, hisz a rendszer a  $\text{Na}^+$ -telítődés során duzzad ( $\rightarrow$  nagyobb térfogat  $\rightarrow$  kisebb térfogattömeg  $\rightarrow$  nagyobb „porozitás”), a hidraulikus vezetőképesség – a folyadékfázis immobil hányadának növekedése miatt – mégsem nő, hanem csökken. Ez azonban magyarázható, hisz növekvő hatóerőgradiens esetén az erősen kötött (immobil)

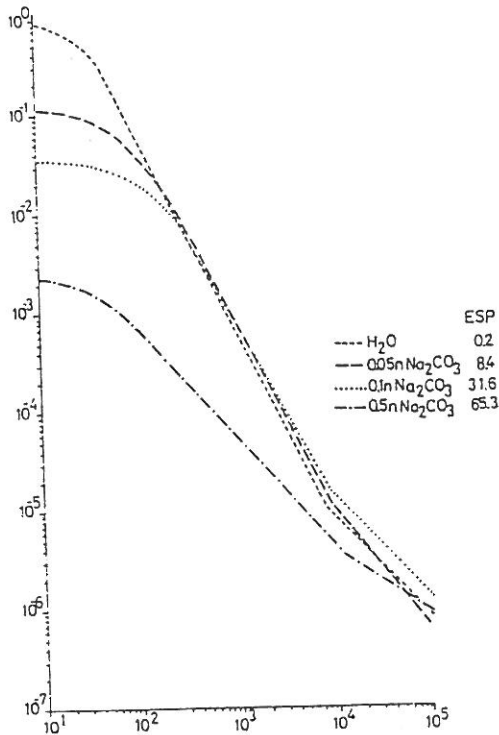


7. ábra

A Darcy-törvénytől és a Kozeny–Carman típusú összefüggésektől eltérő szivárgás-anomáliák vázlatja. A.  $\text{Na}^+$ -telített duzzadó agyag ( $K \approx 0$ ). B.  $\text{Ca}^{2+}$ -telített talaj ( $K$  közepes). C.  $\text{Ca}^{2+}$ -telített szerkezetes talaj ( $K = \text{nagy}$ ). a) talajszemcse (szilárd fázis); b) erősen kötött (immobil „semi-solid-state”) víz a talajszemcsék körül.

folyadékfázis egyre nagyobb hányada mobilizálódik, vesz részt a talajoldat vezetésében ( $\rightarrow$  növekvő K), mint ezt a 7. ábra vázlatja illusztrálja (VÁRALLYAY, 1981, 1998).

A 8. ábrán bemutatott kapillaris vezetőképesség-függvények pedig igazolják szemléletesen mérési adatokkal (VÁRALLYAY & MIRONENKO, 1979), hogy vízzel telített, vagy ahhoz közeli (nedves) talajállapotban a talaj hidraulikus, illetve kapillaris vezetőképessége sokkal inkább függ a talaj  $\text{Na}^+$ -telítettségétől, mint kisebb nedvességtartalom (szárazabb talaj) esetén. Ez azt jelenti, hogy szikes talajokban a kapillaris vízmozgás kevésbé akadályozott a  $\text{Na}^+$ -telítettség (ESP) által, mint a kilúgzás (kimosás) esetében fennálló nagyobb nedvességtartalom (illetve víztelítettség) esetén. Ez pedig a szikesedés–sziktelenedés folyamatot teszi – legalábbis időben – „kvázi irreverzibilissé”, s kedvez a „progreszív” szikesedésnek.



8. ábra

Sóoldatok (Na-telítettség) hatása a talaj kapilláris vezetőképességére ( $k = \text{cm}/\text{nap}$ ) a tenzió ( $\psi = \text{cm}$ ) függvényében

A szikes talajok szélsőséges vízgazdálkodása kedvezőtlenül teszi azok levegő- és hőgazdálkodását is. Az erősen lúgos kémhatás, nagy  $\text{Na}^+$ -telítettség, kedvezőtlen víz-, levegő- és hőgazdálkodás természetesen kedvezőtlenül hat a talajban végbemenő mikroorganizmus tevékenységre, mikrobiális folyamatokra. Mindez együtt gyakran okozza a talaj szervesanyag-forgalmának és növényi tápanyagforgalmának kedvezőtlen irányú változásait, csökkentve bizonyos növényi tápanyagok mobilitását, felvehetőségét, akadályozva a növények zavartalan tápanyagfelvételét (1. ábra) (VÁRALLYAY, 1980).

### Összefoglalás, következtetések

A Kárpát-medence egy hidrogeológiai zárt medence, különösen a nyári hónapokban erősen negatív vízmérleggel. Ez okozza a szikes talajok nagy területi kiterjedését a Kárpát-medence mélyebb fekvésű, rossz természetes drénviszonyokkal rendelkező területein. A Kárpát-medence szikes talajainak kiala-

kulásában a felszín alatti vizeknek, elsősorban a felszín közeli (vagy időszakosan felszín közelbe emelkedő) nagy sótartalmú és kedvezőtlen ionösszetételű, pangó talajvizeknek volt megkülönböztetett jelentősége.

A Kárpát-medence vízgyűjtő területén végrehajtott erdőirtások, valamint a természetes gyepterületek egy részének szántóföldi művelésbe vonása, valamint a múlt század közepének hatalmas mértékű folyószabályozási és vízrendezési munkálatai az egész medence vízháztartását és anyagforgalmát megváltoztatták, s így jelentős szerepet játszottak a szikes talajok kialakulásában,  $\text{Na}^+$ -ion forgalmában is.

A vízzoldható Na-sók felhalmozódása, a  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ - $\text{NaHCO}_3$  típusú sótartalom miatti erősen lúgos kémhatás, valamint a talaj adszorpciós komplexumának erős  $\text{Na}^+$ -telítettsége különösen a Kárpát-medence legmélyebb fekvésű részét képező Tiszai Alföld nehéz mechanikai összetételű, nagy duzzadó agyagásvány-tartalmú talajain, azok igen kedvezőtlen fizikai-vízgazdálkodási tulajdonságait, szélsőséges vízháztartását, egyaránt fokozott belvív-veszélyeztettségét és aszályérzékenységet eredményezte.

A talaj vízháztartás szabályozása (a talaj felszínére jutó csapadék és/vagy öntözővíz talajba szivárgásának és a talajban történő hasznos – növény számára hozzáférhető formában történő – tárolásának elősegítése, talajvízszint szabályozás) ezért az érintett területeken egyben a talaj anyagforgalmának kedvező irányú befolyásolását is jelenti, tehát eredményes környezetvédelmi beavatkozás is (VÁRALLYAY, 1993, 1997).

### Irodalom

- ARANY S., 1956. A szikes talaj és javítása. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- BALLENEGGER R., 1913. A belvízlevezetés, a lecsapolás és az elszikesedés talajtani vonatkozásai. *Vízügyi Közl.* XIII. (2) 28–37.
- DARAB K., 1958. A tiszántúli öntözött réti talajok másodlagos szikesedése. *Agrokémia és Talajtan.* 7. 53–69.
- DARAB K., 1962. Talajgenetikai elvek alkalmazása az Alföld öntözésénél. *OMMI Genetikus Talajtérképek Kiadv. Ser. 1. No. 4.* Budapest.
- HERKE S., 1962. A hidrológiai viszonyok szerepe a Duna–Tisza közti szikesek keletkezésében. *MTA Agrártud. Oszt. Közlem.* 21. 155–178.
- HERKE S., 1964. A belvízrendezés szerepe a szikesek sajátosságainak változásában a Duna–Tisza közén. *Hidr. Közl.* 44. 14–20.
- KOVÁCS GY., 1960. A szikesedés és a talajvízháztartás kapcsolata. *Hidr. Közl.* 40. 131–139.
- ROHRINGER S., 1934. Az ármentesítések, lecsapolások és a szikesek közti összefüggés. In: SAJÓ E. & TRUMMER Á.: Magyar szikesek. 21–34. Földműv. Min. Budapest.
- SAJÓ E. & TRUMMER Á., 1934. Magyar szikesek. Földműv. Min. Budapest.
- \*SIGMOND E., 1923a. A hazai szikesek és megjavítási módjaik. *MTA kiadv.* Budapest.
- \*SIGMOND E., 1923b. A hidrológiai viszonyok szerepe a szikesek képződésében. *Hidr. Közl.* 3. 63–38.

- SOMOGYI S., 1965. A szikesek elterjedésének időbeli változásai Magyarországon. Földrajzi Közlemények. 13. 41-56.
- SZABOLCS I., 1961. A vízrendezések és öntözések hatása a tiszántúli talajképződési folyamatokra. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- SZABOLCS I., 1989. Salt-Affected Soils. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, USA.
- SZABOLCS I. & VÁRALLYAY, GY., 1980. Problems of soil salinity in watersheds. Acta Agronomica. 30. 249-266.
- SZABOLCS I., DARAB K. & VÁRALLYAY GY., 1968. A tiszai öntözőrendszerek és a Magyar Alföld talajainak termékenysége. I. Az öntözés talajtani lehetőségei és feltételei Szolnok, Hajdú-Bihar, Békés és Csongrád megyék területén. Agro-kémia és Talajtan. 17. 453-464.
- SZABOLCS I., DARAB K. & VÁRALLYAY GY., 1969a. A tiszai öntözőrendszerek és a Magyar Alföld talajainak termékenysége. II. A talajvíz „kritikus” mélysége a kiskörei öntözőrendszer által érintett területen. Agro-kémia és Talajtan. 18. 211-220.
- SZABOLCS I., DARAB K. & VÁRALLYAY GY., 1969b. A tiszai öntözőrendszerek és a Magyar Alföld talajainak termékenysége. III. Az öntözés lehetőségeit és feltételeit ábrázoló 1:25 000 léptékű térképek készítésének módszerei. Agro-kémia és Talajtan. 18. 221-234.
- SZABOLCS I., DARAB K. & VÁRALLYAY, GY., 1969c. Methods for the prognosis of salinization and alkalization due to irrigation in the Hungarian Plain. Agro-kémia és Talajtan. 18. Suppl. 351-376.
- VÁRALLYAY GY., 1967. A dunavölgyi talajok sófelhalmozódási folyamatai. Agro-kémia és Talajtan. 16. 327-356.
- VÁRALLYAY, GY., 1968. Salt accumulation processes in the Hungarian Danube Valley. Trans. 9th Int. Congr. Soil Sci. 1. 371-380.
- VÁRALLYAY GY., 1972. A Magyar Alföld szikes talajainak hidraulikus vezetőképessége. Agro-kémia és Talajtan. 21. 57-88.
- VÁRALLYAY, GY., 1974. Hydrophysical aspects of salinization from the groundwater. Agro-kémia és Talajtan. 23. Suppl. 29-44.
- VÁRALLYAY, GY., 1980. Agro-ecological potential and its limitation by salinity and alkalinity. Intern. Symp. Salt-Affected Soils, Karnal, India. 476-486.
- VÁRALLYAY, GY., 1981. Extreme moisture regime as the main limiting factor of the fertility of salt affected soils. Agro-kémia és Talajtan. 30. Suppl. 73-96.
- VÁRALLYAY, GY., 1988. Physical-hydrophysical limitations in solonetz soils. Proc. Symp. on Solonetz Soils, 15-20 June, 1988, Osijek. 202-213.
- VÁRALLYAY GY., 1993. A talajfejlődés főbb sajátosságai a Magyar Alföldön. Hidrológiai Közöny. 73. (1) 24-27.
- VÁRALLYAY, G., 1994. Climate change, soil salinity and alkalinity. In: Soil Response to Climate Change. (Eds. ROUNSEVELL, M. D. A. & LOVELAND, P. J.) NATO ASI Series. Ser. I. Vol. 23. 39-54. Springer-Verlag. Heidelberg,
- VÁRALLYAY, G., 1997. Salinity/alkalinity as limiting factors of soil productivity in the Carpathian Basin. Proc. Trans-National Meeting „Salinity as a factor for agricultural productivity in the Mediterranean Basin”, Naples, March 24-25, 1997. 23-41. INRC-ONR-CIHEAM. Naples, Italy.
- VÁRALLYAY, G., 1997. Physical/hydrophysical limitations in salt affected soils in the Carpathian Basin. In: Abstracts Volume, Int. Symp. on Sustainable Management of Salt Affected Soils in the Arid Ecosystem. Cairo, 22-26 Sept., 1997. 139-141.

- VÁRALLYAY, GY. & MIRONENKO, E. V., 1979. Soil-water relationships in saline and alkali conditions. *Agrokémia és Talajtan.* **28.** Suppl. 33–82.
- VÁRALLYAY, GY. & RAJKAI, K., 1989. Model for the estimation of water (and solute) transport from the groundwater to overlying soil horizons. *Agrokémia és Talajtan.* **38.** 641–656.

*Érkezett: 1999. március 21.*

## Salinization/Alkalization/Sodification Processes in the Carpathian Basin

G. VÁRALLYAY

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry (RISSAC) of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest

### Summary

In the lowland part of the hydrogeologically closed Carpathian Basin the negative water balance (500–550 mm mean annual precipitation versus a 750–800 mm yearly potential evaporation) is equilibrated by surface runoff, seepage and groundwater flow from the whole extensive Carpathian Basin surface and subsurface water catchment area to the poorly drained low-lying territories. This leads to the accumulation of soluble weathering products of a large watershed within a relatively small area: in the Danube and Tisza Plain. During its flow the filtrating water percolates through various soils and geological deposits and by dissolving part of their soluble components its salt content gradually increases. These slightly saline subsurface waters of the Ca and/or Na bicarbonate type (depending on the geochemical character of the various geological deposits in the water catchment area) accumulate in the large „stagnant” groundwater basin of the Carpathian Lowland. These groundwaters are the main actual and potential salt sources of the area.

The possibility of salt accumulation in the soil from the groundwater is determined by the dominant vertical direction of water flow and solute transport through the soil profile above the water table. A four-step model has been developed for the quantification of the water and solute transport in stratified soil profiles above a fluctuating water table and has been successfully applied for the determination of the „*optimum depth (regime)*” (guaranteeing the optimum water supply of plants from good quality groundwater) and the „*critical depth (regime)*” (preventing unfavourable salt accumulation in the soil from poor-quality, saline groundwater) of the groundwater table and for the prediction of secondary salinization/alkalization processes.

In the poorly-drained low-lying areas the capillary flow transports high amounts of water soluble salts from the shallow, „stagnant” groundwater, with high salt concentration and unfavourable Na-CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> type ion composition, to the overlying soil horizons. Due to the strongly alkaline soil solution, the Ca and Mg salts (mostly carbonates and bicarbonates) are not soluble and Na<sup>+</sup> has become absolutely predominant in the migrating soil solution, which leads to high ESP even at relatively low salt concentration. High Na<sup>+</sup> saturation in heavy-textured soils with a high amount of expanding clay minerals results in the unfavourable physical-hydrophysical properties and extreme moisture regime of these soils, which are their main ecological constraints and the factors limiting their fertility, productivity and agricultural utility.

Based on a comprehensive analysis of these phenomena an appropriate system has been elaborated for efficient salinity/alkalinity control, including the prevention or reduction of their unfavourable ecological/economic consequences.

*Table 1.* Relationship between relief, soil type, average depth of water table and chemical composition of the groundwater in the Hungarian Danube Plain. (1) Soil type. a) Alluvial soils; b) Meadow chernozem; c) Meadow soils; d) Solonchak-solonetz; e) Solonetz; f) Solonchak. (2) Height above sea level, m. (3) Average depth of the water table, m. (4) Salt content of the groundwater, g/l. (5) Salt composition of the groundwater.

*Fig. 1.* The main factors of salinity and alkalinity in soils and their influence on the ecological potential.

*Fig. 2.* Schematic diagram of salt accumulation processes in the Carpathian Basin (on the example of the Hungarian Danube Valley) I. a) Height above sea level, m, b) Transdanubian loess plateau, c) Danube, d) Danube Valley, e) Sand plateau between the rivers Danube and Tisza, f) Basin periphery, g) Mountainous district. 1. Limestone; 2. Rhyolite, andesite; 3. Rhyolite and andesite tuff; 4. Impermeable pannon clay; 5. Pleistocene-Holocene Danube alluvium; fluvatile gravel, sand, sandy silt; 6. Clay lens; 7. Loess; 8. Pleistocene clay. The direction of the arrows indicates the direction of water movement, their width represents the flow rate, the chemical symbols show the ion composition of subsurface waters.

*Fig. 3.* Salt accumulation in the Hungarian Danube Valley. a) Soil surface; b) critical depth of the water table; c) actual level of the water table; d) hydrostatic pressure; e) leaching (meadow and meadow alluvial soils); f) salt accumulation near the surface (solonchak-solonetz soils); g) intense salt accumulation on the surface (solonchak soils); h) height above sea level; i) changes in the chemical composition of the water during concentration; j) chemical composition of the soil solution; k) sequence of salt precipitation; l) carbonate accumulation horizon. The arrows indicate the direction of water and salt movements. The width of the white arrows is proportionate to the intensity of the water flow, while that of the black arrows is proportionate to the salt content of the water.

*Fig. 4.* Distribution of salts according to their solubility in the profiles of solonchak-solonetz (1 and 2), solonchak (3) and meadow solonetz (4) soils.

*Fig. 5.* Limited water supply to plants in salt affected soils with a high clay content

*Fig. 6.* Permeability curves for the horizons of a solonchak (A) and a shallow solonetz (B) soil from the Hungarian Plain.

*Fig. 7.* Schematic diagram of non-Darcian and non-Kozeny-Carman flow behaviour. A.  $\text{Na}^+$ -saturated swelling clay. B.  $\text{Ca}^{2+}$ -saturated normal soil. C.  $\text{Ca}^{2+}$ -saturated aggregated soil. a) Solid particles; b) Strongly bound („semi-solid state”) water around solid particles.

*Fig. 8.* Relationship between capillary conductivity ( $k = \text{cm/day}$ ) and suction ( $\psi = \text{cm}$ ) in a clay loam under the influence of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  solutions with various concentrations.