

VITARÓVAT

Erdők hatása a talaj és altalaj sóforgalmára, valamint a talajvíz szintjére

¹SZABÓ András, ¹KISS Klaudia, ²GRIBOVSZKI Zoltán és ¹TÓTH Tibor

¹MTA Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézet, Budapest és
²Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet, Sopron

Bevezetés

Magyarország egyik földhasználattal kapcsolatos célkitűzése az erdőterületek arányának növelése, mely törekvésünk az Európai Unió támogatását is élvezzi (FVM 88/2007.). Ennek megfelelően az elkövetkezendő 30 évben mintegy 700 ezer ha erdő telepítését tervezik (ANDRASEVITS et al., 2005). Ezek általában olyan kedvezőtlen adottságú területeken valósulnak meg, ahol a szántóföldi termesztés nem biztosít megfelelő jövedelmezőséget. FÜHRER és JÁRÓ (2005) elemzése szerint az országos átlagnál kisebb erdősültségű Nagyalföld központi szerepet kap a jövőbeni erdőtelepítésekben. Igaz ez nemcsak azért, mert nagyobb potenciális erdőtelepítésre alkalmas területtel rendelkezik (kb. 400 ezer ha gazdaságtalan szántó), hanem azért is, mert az erdő talajvédelmi és tájszerkezet-javító szerepe itt jut érvényre a legjobban.

Az Alföldön jellemzően ilyen gazdaságtalan mezőgazdasági művelésű területek azok, ahol a nagy sótartalmú talajvíz sekélyen helyezkedik el.

Ezek a területek a fás szárú vegetáció telepítése jelentős változásokat eredményez a talaj víz- és sóforgalmában egyaránt (HEUPERMAN, 1999; VERTESSY et al., 2000), és ez a talajvízszint süllyedéséhez (MAJOR et al., 1991) és a talaj sókoncentrációjának növekedéséhez vezethet (JOBÁGY & JACKSON, 2004; ENGEL et al., 2005; JACKSON et al., 2005). Bizonyított, hogy a fák sófelhalmozódást idéznek elő olyan területeken, amelyek alatt sekélyen húzódó sós talajvíz található és a vízmérleg negatív (BAZYKINA, 2000; NOSETTO et al., 2007, 2008): akár 15–30-szoros sókoncentrációt is eredményezhetnek az erdőállományok alatt található talajvízben, a gyepterületek alatt mért értékekhez képest (JOBÁGY & JACKSON, 2007). Ez már olyan mértékű sófelhalmozódást jelent, ami gátolhatja a telepített erdőállomány növekedését, illetve ki is pusztíthatja azt. MAGYAR (1961) szerint csak a jobb minőségű (I. és II. osztályú) szikeseken tervezhetünk erdősítést sikerrel. III. osztályú vagy ennél rosszabb szikes talajon (0,25 összes sótartalom és 0,10 szódataralom felett) már olyan rosszak a fizikai tulajdonságok és az altalaj annyira lúgos, hogy ezeken fásítással komoly eredményt elérni nem lehet. A TURVY (1954) által kialakított erdészeti sziktalajosztályozás tovább megy és a 'SIGMOND (1923)-féle általános szikes talajosztályokat az altalajra is

Postai cím: SZABÓ ANDRÁS, MTA Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézet, 1021 Budapest, Herman Ottó út 15. *E-mail:* andras.szabo@rissac.hu

vonatkoztatja, a gyökérfejlődést akadályozó kritikus réteg kezdeti mélységét is feltünteti, ugyanakkor megjelöli a STEFANOVITS (1963)-féle sziktípust, valamint megadja a talaj fizikai féleségét is. Az előbbieken alapján ez az osztályozás, a szikes talajt, mint kémiai és fizikai egységet minősíti, az általános szikes talajosztályozást, az erdők igényeit jobban figyelembe véve, kiegészítve. Az erdészeti rendszer is statikusnak tekinti viszont a talajadottságokat, és nem veszi figyelembe az erdők sófelhalmozódás mértékére és mélységére vonatkozó módosító hatását.

Ezért rendkívül fontos a fenti folyamatok pontosabb ismerete annak érdekében, hogy az újonnan telepített erdők ne okozzanak a talaj termékenységét károsan befolyásoló folyamatokat, és így ne okozzanak gazdasági károkat – a várt eredmények helyett – hosszútávon.

Jelen dolgozat célja felvázolni az erdőtelepítéskor jelentkező hatásokat és az egyes tényezők szerepét a folyamatokban, a nemzetközi releváns szakirodalom segítségével.

Hipotézis

Hipotézisünket egy korábbi argentin–magyar közös, hasonló témakörben végzett kutatássorozat eredményeire alapozzuk, és a későbbiekben bemutatott tényezők is ezen munkák alapján kerültek kiválasztásra (NOSETTO et al., 2007, 2008).

Általános modellünk szerint erdőtelepítés után, a vegetációs periódus alatt az erdőállomány párolgása (mind a transzspirációs, mind az intercepciós) általában nagyobb, mint a szomszédos gyepterületeké, a megnövekedett levél- és lombfelület, illetve a nagyobb gyökerezési mélység miatt (KELLIHER et al., 1993; CALDER, 1998; JACKSON, 1999; SCHENK & JACKSON, 2002; NOSETTO et al., 2005). Különösen igaz ez a jellemzően ún. erdős-sztyep klímájú Nagyalföld esetében, ahol pusztán a csapadékmennyiség nem is lenne elegendő az erdő vízigényének kielégítésére (IJÁSZ, 1938; MAGYAR, 1961), így a fák a fokozott párologtatáshoz szükséges vizet csak a talajvízből pótolhatják. Ha tehát a talajviszonyok lehetővé teszik a gyökérszét lejutását, ill. a szikes területeken a fák gyökerei át tudják törni a kritikus talajrétegeket, s így le tudnak hatolni a talajvízig, akkor a jövőjük biztosítottnak tekinthető.

JÁRÓ (1981) az erdőállományok évi vízfelhasználását a szervesanyag-produkcióval összefüggésben határozta meg. Termőhelyi csoportonként összehasonlítva a főbb állománytípusokat, megállapítható volt, hogy a párás klímában tenyészők (bükkös, lucos) vízfelhasználása kisebb, mint a száraz termőhelyeken (kocsányos tölgyes, hazai nyáras) élőké (JÁRÓ, 1981). Az előbbieken alapján a száraz, alföldi klímában általában nagyobb az erdő transzspirációs vízfelhasználása, tehát vízigénye is. Az is megállapítható viszont az adatok alapján, hogy vannak olyan fafajok (pl. erdei, fekete fenyő és akác), amelyek a száraz alföldi klímában nagyon alacsony vízfelhasználással rendelkeznek.

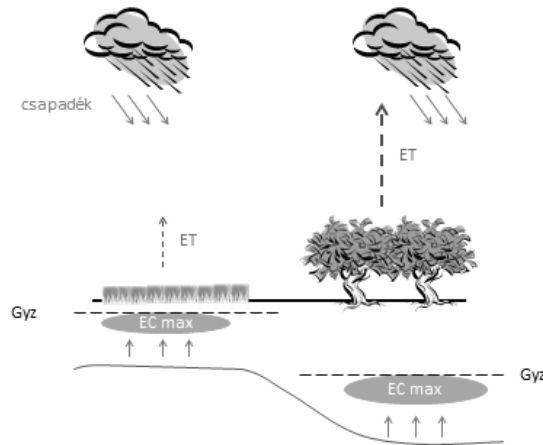
A különböző földhasználati változatok vízfelhasználásának összehasonlítására jó példát adnak MÓRICZ és munkatársai (2009) Nyírségben végzett vizsgálatait, amelyek szerint a vizsgált 2007–2009 időszakban egy kocsányos tölgyes erdőterület evapotranszspirációja (785 mm) kb. 30%-kal volt nagyobb, mint a közelben fekvő parlagé (623 mm). A különböző földhasználati változatok talajvíz-felhasználása között pedig közel háromszoros volt a különbség (erdő: 243 mm, parlag: 85 mm).

MAGYAR (1929) csemetéken végzett gyökérfeltárást Püspökladány környékén, szikes talajokon. Vizsgálatait alapján megállapította, hogy a kevésbé szikes talajon a fa-

csemeték általában 3 év alatt érték el a 3,5 m-es mélységben található talajvizet, de egyes fajok (pl. mezei szil) gyökérzete már 2 év alatt is 5,15 m-nél mélyebbre jutott le. A szikesség mértékének erősödésével a gyökérzet talajvizig való lejutásának ideje 4–5 évre tolódott ki és csak bizonyos fajok (pl. kocsányos tölgy, cser, szil, vadvörte) érték el a talajvizet. Szélsőségesen szikes talajban pedig csak a tamariska és az ezüstfa, és esetlegesen a kocsányos tölgy gyökere érhet el a talajvizet. Vizsgálatai alapján összegzőképpen megállapította, hogy a Nagyalföldön kedvező talajviszonyok között szinte minden fafaj mély gyökérzetet fejleszt, hogy a talajvizet elérhesse, míg erősen szikes agyagon még az általában mély gyökérzetűnek ismert kocsányos tölgy vertikális gyökere sem hatol le mélyre. A gyökerezési mélységre és a talajvízből való vízfelvétel mélységére vonatkozóan egy nyugat-ausztrál példa (Collie régió) említhető szélsőséges példaként. A vizsgált negatív vízmérlegű területen a mély gyökérzettel rendelkező Eukalip-tusz fák (főként *Eucalyptus marginata*) képesek a több 10 m mélységben lévő talajvízből (akár 35 m-es mélységből) is jelentős mennyiségű transzspirációs vízfelvételre (CARBON et al., 1980; SIVAPALAN et al., 1996).

Az erdők alatt a talajvízszint (ha az elérhető mélységben van a fás növényzet számára) általában egész évben mélyebben helyezkedik el, mint a gyepek alatt (PANKOTAI & RÁCZ, 1975), de a különbség a vegetációs időszakban nagyobb (IJÁSZ, 1939). JOBBÁGY és JACKSON (2007) adatai szerint ez a különbség jelentős, akár 75 cm-rel mélyebb talajvízszintet is jelenthet. SZODFRIDT és FARAGÓ (1968) Duna–Tisza közén végzett vizsgálatai szerint felszín közeli talajvízű területen az erdő általában 50–60 cm-es talajvízszint-süllyedést eredményez, a lágyszárú felszínborításhoz képest. Megjegyzik viszont, hogy 2,5 m-nél mélyebb talajvízállás (az általában legmagasabb áprilisi talajvízállásra vonatkoztatva) esetében csak egy záródás nélküli gyeptársulás tud megtelepedni természetes körülmények között az adott területen. MAJOR (2002) szerint egy Kiskunságban található 2–2,5 km széles, főként fenyőkből álló, erdőtömb alatt a talajvíz szintje maximálisan 0,8–1,1 m-rel mélyebben helyezkedik el, mint az erdőn kívüli területeken. Az általa vizsgált fenyőkből (jellemzően erdei és fekete fenyő) álló erdőréssz, mérések alapján számított, tényleges évi párolgásának (transzspiráció, intercepció együttesen) értéke az erdő 15–20 éves korától kezdődően meghaladta az évi csapadék-összeget. A jelenséget azzal magyarázta, hogy a vizsgált síkvidéki, nem nagy kiterjedésű erdő oldalirányból, oldalirányú szivárgással pótolja az esetlegesen hiányzó csapadékot. SZODFRIDT (1990) ugyanakkor leszögezi, hogy nem általánosítható az erdők talajvízhez kötődő kapcsolata, hanem az csak fafajoktól és korosztályoktól függően ítéhető meg helyesen, és nem felel meg erre a célra az erdők összevont területű értékelése. SZODFRIDT (1990) és GÖBÖLÖS (2002) felhívja a figyelmet az egyes fafajok vízigénye közötti különbségre és kiemeli, hogy az erdei és fekete fenyő erdők víz- és talajigénye lényegesen szerényebb, mint a lombos (pl. nyár) állományoké. Megállapítja, hogy a vizsgálati területként kijelölt Kiskunságban a sekély gyökérzetű fenyők és akácok meghatározó része nem áll kapcsolatban sem a talajvízzel, sem annak kapilláris zónájával, míg a nemes nyárok és a kocsányos tölgy a talajvíznek közvetlen megcsapolói, ill. fogyasztói. GÖBÖLÖS (2002) szerint „Ma nem áll rendelkezésre olyan egyértelmű kutatási eredmény sem az erdészeti, sem a társtudományok területén, amely bizonyítaná az erdők negatív hatását a talajvíz-süllyedés kapcsán. Téves az a módszer, amely az erdők elterjedését és a talajvíz süllyedését jelző térképek egymásra helyezéséből azt a következtetést vonja le, hogy a talajvíz-süllyedésért az erdők felelősek. Az természetesen igaz, hogy egy adott térség vízháztartásában az erdő, mint fogyasztó jelentős tényező.”

A sófelhalmozódás maximuma gyepek alatt sekélyebben, míg a mélyebben álló talajvízszinteknek megfelelően a telepített erdő alatt mélyebben helyezkedik el. (NOSETTO és munkatársai (2007) 2,2-szeres sótartalmat mértek a szelvények felső 1,5 m-es szintjében gyepterületeken, az erdők hasonló szintjéhez képest.) (1. ábra).



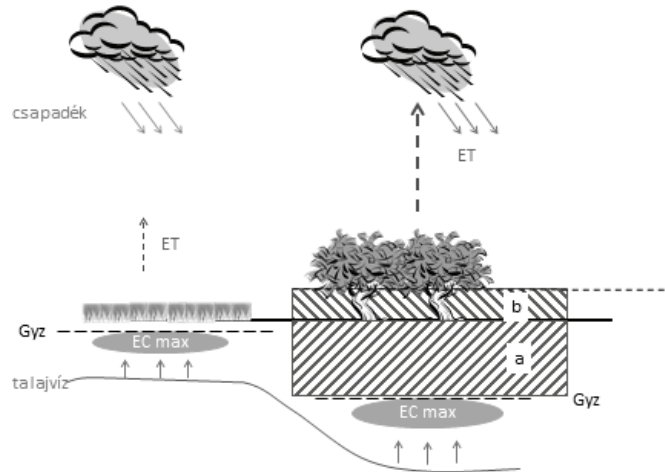
1. ábra

A víz- és sómozgás különbségei fás és füves vegetáció esetén [JOB BAGY és JACKSON (2004) után, módosítva]. A csapadék a két vegetáció területén azonos. *Megjegyzés:* Gyz: a gyökérszóna alsó határa, ET: evapotranspiráció, EC max: a maximális sófelhalmozódás helye

Pozitív vízmérleg esetén a talajban lefelé történő vízmozgás kilúgzási folyamatokhoz vezet. A folyamat erősségét mérsékli az erdőállomány intercepciós hatása, illetve a gyökérjáratokban és a gyökerek mentén a víz gyorsan lefolyik a teljes talajszelvény kilúgzása helyett. A talajvíz mélysége természetesen meghatározza a kilúgzás maximális mélységét.

Negatív vízmérleg esetén felfelé történő vízmozgás alakul ki. Füves vegetációjú területeken a kapilláris vízemelést a talajnedvesség és a só felfelé mozgása kíséri. Fás vegetáció alatt az erdők mikroklímája páradúsabb, ami csökkenti a talaj közvetlen párolgását (evaporáció), így a talaj felszíni rétege lassabban szárad ki. Emellett a talajvíz mélyebben helyezkedik el, és azt, valamint a talajnedvességet a fák gyökerei hasznosítják, ezzel relatív szárazságot okozva a mélyebb talajrétegekben. Ezen okok miatt a felfelé történő víz- és sómozgás a talajszelvény gyökérszóna alsó határa feletti részében korlátozott mértékű.

Hipotézisünk szerint tehát az erdő a talajfelszíntől a gyökérszóna aljáig egy olyan zónát (2. ábra, a) hoz létre, melyben a víz és ezáltal a só mozgása mind lefelé, mind felfelé kisebb intenzitású, mint a gyökérszóna alsó határánál mélyebben fekvő rétegekben, de a gyökérszóna (és az említett zóna) alsó határán negatív vízmérleg esetén határozott sófelhalmozódás jelentkezik. A lombkorona alsó határától a talajfelszínig – a lombkorona intercepciós és leárnyékoló hatása miatt – szintén kialakul egy kiegyensúlyozottabb mikroklímával jellemezhető zóna, ami (2. ábra, b) rövidtávon mérsékli a klimatikus változások talajra gyakorolt hatását.

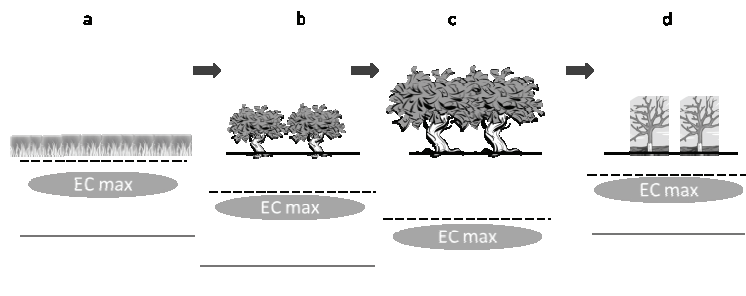


2. ábra

A hipotézis szerint kialakuló zónák elhelyezkedése. *Megjegyzés:* Gyz: a gyökérszóna alsó határa, ET: evapotranspiráció, EC max: a maximális sófelhalmozódás helye, a, b: magyarázat a szövegben

A leírt zónák a fás vegetáció esetleges kipusztulása, vagy egy művelési ág váltás után értelemszerűen eltűnnek, és beáll a gyepes vegetációra jellemző, telepítés előtti egyensúlyi állapot (3. ábra, d).

Ezek alapján a sófelhalmozódás mértéke és mélysége szabályozható erdőtelepítéssel, de csak abban az esetben, ha a felhalmozódási réteg sótartalma hosszútávon sem gátolja az erdőállomány növekedését. Ez függ egyrészt a telepített fafajtól (annak sótűrő képességétől, és gyökérmélységétől), illetve az adott terület abiotikus jellemzőitől (talajvíz mélység, ingadozás, sótartalom, fizikai talajféleség).



3. ábra

A sófelhalmozódás és a növényzet változásának kapcsolata: a) eredeti gyep; b) telepített erdő (növekedésben); c) beállt telepített erdő; d) elpusztult/megrítült telepített erdő

A sófelhalmozódást befolyásoló tényezők

A telepített erdők alatti sófelhalmozódást befolyásoló legfontosabb tényezők a következők:

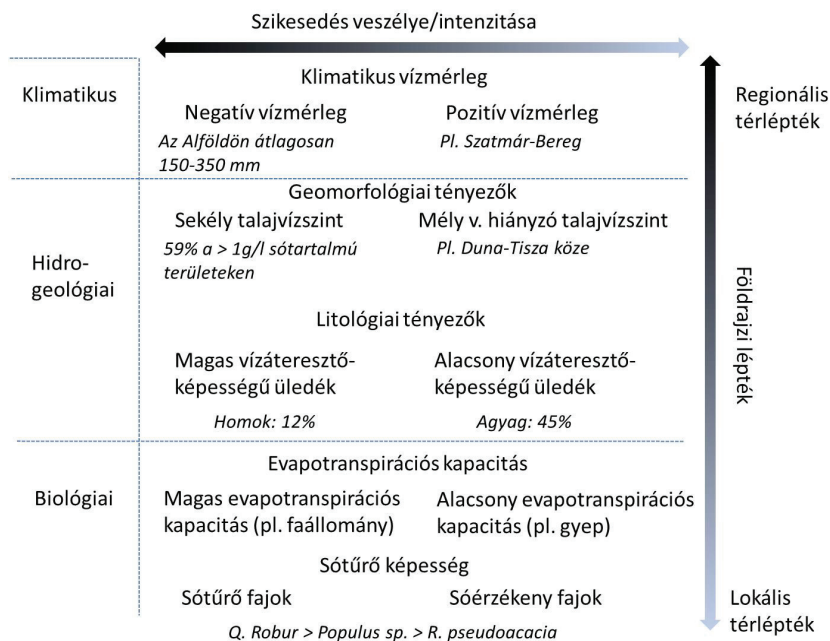
- klimatológiai tényezők: a lokális vízmérleget alapvetően meghatározó csapadék és párolgás;
- biológiai tényezők: fafaj, kor;
- talajtani és hidrogeológiai tényezők: a talajvíz mélysége és ingadozása, a talajvíz és a talaj sótartalma, a fizikai talajfésülés, valamint a pórusviszonyok.

A különböző tényezők együttes hatása adott területen

A sófelhalmozódás folyamatára ható különböző tényezők kombinációit a 4. ábra foglalja össze [NOSETTO et al. (2008) alapján kiegészítve az Alföldre jellemző viszonyokkal].

Az ábra az egyes tényezők kombinációinak hatását mutatja be.

Regionális szinten a klimatikus vízmérleg gyakorlatilag a teljes Alföldön a teljes sófelhalmozódás irányába hat. Szintén a sófelhalmozódás lehetőségét növeli a sekély talajvízszint: ez a terület 77%-án 1–4 méter közé esik. Külön kiemelendő, hogy az alföldi terület 59%-ában a sekély talajvízszint $1\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ feletti talajvíz sótartalommal párosul, mely természetesen tovább növeli a sófelhalmozódás, s jellemzően a szikesedés közvetlen veszélyét (TÓTH et al., 2001).



4. ábra

A sófelhalmozódásra ható tényezők kapcsolata különböző léptékekben

A lokális szint felé haladva a tényezők hatása jóval összetettebb.

A vízáteresztő képesség – és az azt meghatározó fizikai talajféleség és porozitás-viszonyok – szintén alapvetően befolyásolja egy adott terület sófelhalmozódásra való hajlamát. Ez a tényező hazánkban igen erős térbeli variabilitást mutat, és fontos korlátozó tényező lehet. További vizsgálatának szükségességét VÁRALLYAY (2002) is javasolta.

TÓTH és munkatársai (2001) szerint az Alföld területének 45%-án agyag, 13%-án iszap, 12%-án homok, 30%-án váltakozó iszap-, homok- és agyagrétegek találhatóak a talajfelszíntől számított felső 10 m-ben.

A biológiai tényezők kombinációja és hatása még inkább lokálisan, egy-egy kisebb foltra érvényes. Az általános modellben leírtakból is látszik, hogy egy adott terület víz- és sóforgalmát alapvetően meghatározza az azt borító növényzet típusa (fás vagy füves vegetáció és azok minősége), az egyes előforduló fajok sótűrő képessége pedig az esetleges sófelhalmozódás hatásait tekintve rendkívül fontos.

Összefoglalva megállapíthatjuk: ha célunk egy adott területen lezajló sómozgás, illetve a sómozgás hatásainak vizsgálata, akkor figyelembe kell vennünk a felsorolt fontosabb tényezők mindegyikét.

Klimatikus tényezők

A klimatológiai tényezők közül a legjelentősebb a csapadék, a párolgás (ET), illetve ezek egymáshoz viszonyított aránya, azaz az adott terület lokális vízmérlege. Alföldünkön $150\text{--}350\text{ mm}\cdot\text{év}^{-1}$ negatív vízmérleggel kell számolnunk, a vízhiány növekedési üteme $0,4\text{--}0,5\text{ mm}\cdot\text{év}^{-1}$ (KOVÁCS, 2002).

Az erdőtelepítés a lehulló csapadék mennyiségét alapvetően nem módosítja, mert annak van ugyan némi csapadékszaporító hatása, ez azonban csak 3–4%. Bizonyított tény azonban, hogy a talajharmat-képződést hátráltatja (IJÁSZ, 1938), ami a vízháztartás bevételi oldalát csökkenti.

A lehullott csapadék egy része beszivárog, másik része elpárolog (síkidéken a lefolyás szerepe alárendelt). Az erdők a talajba való beszivárgást előnyösen befolyásolják. Ez a beszivárgás-módosító hatás közvetlenül és közvetetten egyaránt megnyilvánul: hosszú, vastag gyökereikkel repedéseket hoznak létre a talajban, ezáltal növelik a talaj vízáteresztő képességét, illetve módosítják a talaj szerkezetét (IJÁSZ, 1938). Így a beszivárgás a különleges morzsás szerkezetű és gazdag pórusrendszerrel rendelkező bolygatatlan erdőtalajon, amelynek makropórusosságát még a korhadó gyökerek is növelik, szinte korlátlan (PANKOTAI & RÁCZ, 1975).

Az erdőknek a legnagyobb hatása a vízmérleg elemei közül a párolgásra van. A lombkorona a csapadék jelentős részét (nagy átlagban egynegyedét (IJÁSZ, 1938)) felfogja és elpárologtatja. Ez az erdők okozta intercepciós veszteség, amely jellemzően nagyobb, mint a mezőgazdasági kultúráké. Az erdő teljes intercepciója korona- és avarintercepcióra tagolható. A koronaintercepció a következő jellemzők szerint, tág határok között váltakozik,

- az erdő kora és szerkezete (idős állományok intercepciója nagyobb, mint a fiatalabbaké),
- az erdő fafajösszetétele (a fenyő több csapadékot tart vissza, mint a lombos fafaj (KUCSARA, 1998)),

- az erdő záródása, sűrűsége és színtezettsége (a többszintű erdő intercepciója nagyobb, mint az egyszintűé) (FÜHRER, 1992), valamint
 - a csapadék milyensége
- szerint.

Általánosságban elmondhatjuk, hogy az intercepció (itt koronaintercepció) mennyiségét az erdőállomány levélfelületi indexe (LAI) befolyásolja a legjelentősebb mértékben (MÓRICZ et al., 2009). JÁRÓ (1980) az Alföld peremén elhelyezkedő gödöllői kultúrerdei ökoszisztémákban végzett intercepciós vizsgálatokat. Adatai szerint (csak az Alföldön is jellemző fajok intercepcióját kiemelve): a tölgyesek (bár itt csertölgyet és nem kocsányos tölgyet vizsgált, ami az Alföldre inkább jellemző) intercepciója a vizsgált állományok közül viszonylag kicsi, átlagosan az éves csapadék 30%-a alatt marad. A tölgyeseknél még kisebb csapadék-visszatartású az olasz nyáras. A nemes nyárasokban elvégzett gyérités a csapadék-visszatartás jelentős csökkenését okozta, de egy év után a záródás helyreállt és a csapadék-visszatartás ismét elérte az eredeti (25–28%-os) szintet. A laza lombzatú akácok 30%-os csapadék-visszatartása megegyezik a lombállományok átlagával, ami nem várt érték. Nem elhanyagolható mértékű az erdőtalajon található avarintercepció sem, amelyet az észak-amerikai szakirodalom az éves csapadék közel 5%-ában ad meg (HELVEY & PATRIC, 1965). Magyarországi mérések szerint az avarintercepció értéke 9 és 14 % között változik (FÜHRER, 1992).

A fák talajvízszintig nyúló gyökérzete elősegíti a talajnedvességből és talajvízből történő párolgást, ami már rövidebb távon is a talajvízszint süllyedését eredményezheti. GAFNI és ZOHAR (2007) izraeli mintaterületen végzett vizsgálatai alapján azonban előfordulhat az is, hogy a csapadék (és az öntözés) mennyiségét a fák vízfelvétele nem képes megfelelően ellensúlyozni és a nagy mennyiségű csapadék a fa gyökerei mentén intenzívebb beszivárgást eredményez és a sók folyamatos kimosását okozza a talaj felső rétegéből. Ezen folyamatok erősen helyspecifikusak, függnnek a vizsgált terület hidraulikus és talajfizikai paramétereitől, valamint a vizsgált fafajtól (IJÁSZ, 1938). A fafajok közötti vízfelvételben jelentkező relatív különbséget a klimatikus tényezők önmagukban nem befolyásolják (MAHMOOD et al., 2001).

Mivel a lokális vízmérleg a szikesedés folyamatának egyik meghatározó tényezője, viszont annak input (csapadék) oldala nem, illetve minimálisan változtatható meg, ezért a szakirodalom is főként csak annak közvetett – általában a talajvíz szintjén keresztül mutatkozó – hatását vizsgálja.

Biológiai tényezők

A talaj fizikai és kémiai tulajdonságai mellett (FÜHRER et al., 2011) a telepített állomány faja és kora együttesen határozza meg a gyökérmélységet, a növekedési erélyt (vagyis adott idő alatti növekedés mértékét) (CROW, 2005), a sótűrő képességet (UMES, 2004) és ezáltal a vízfelvételt és annak sófelhalmozódásra gyakorolt hatását (BAZYKINA, 2000).

A sótűrő képesség ott kap nagyobb szerepet, ahol a talajvíz sótartalma nagy: 2000 mg·l⁻¹-nél nagyobb talajvíz-sótartalom esetén az adott fafaj sótűrő képessége határozza meg elsődlegesen az erdőállomány növekedési képességét (SILBERSTEIN et al., 1999).

A három hazai alföldi telepítésre leggyakrabban hasznosított fa sótűrő képessége: *Quercus robur*: 19, *Populus sp.*: 10 és *Robinia pseudoacacia* 8–10 dS·m⁻¹.

Ezek közül a *Quercus robur* rendelkezik a legnagyobb sótűrő képességgel. Ugyanakkor az *Eucalyptus camaldulensis* sótűrő képessége ennek nagyjából duplája ($35 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$) (HOUSE et al., 1998; SPENNEMANN & MARCAR, 1999). Ezért érthető, hogy a releváns nemzetközi szakirodalom főként ez utóbbival foglalkozik, mint a szikesedéssel érintett területekre telepíthető fajjal.

A hazai telepítések esetében a következőket kell átgondolni:

BOTVAY (1954) szerint az erdőtelepítések sikere elsősorban a talajok vízgazdálkodásán múlik. Mivel az Alföld klímája erdő tartós fennmaradásához nem szolgáltat elegendő csapadékot, a hiányt a fák az altalajvízből kell, hogy pótolják. Az, hogy a gyökérzőna eléri-e a talajvízszintet, illetve elviseli-e a hosszabb elárasztást, minden esetben kulcskérdés az erdőállomány fennmaradása szempontjából. A kocsányos tölgy mélyre nyúló karógyökerei miatt a szárazabb talajt is elviseli. Az akác a levegőtlen, túl nedves talajt nem viseli el, de vertikális gyökereivel a mélyebb (5–6 m) talajvizet is eléri. A sekély (0–2 m) talajvizet leginkább a fehér nyár szereti, erős horizontális gyökérszete valamennyi fajunk között a legmesszebbre nyúló (MAGYAR, 1960).

PANKOTAI és RÁCZ (1975) szerint a 4–5 m alatti talajvizet az erdő alig hasznosítja. Az erdő számára a legkedvezőbb talajvízszint 2 m körül van. Az általunk vizsgált fajok talajvízigényére vonatkozóan a következő alapvetések tehetők:

- a felszínhez 1 m-nél közelebb fekvő talajvízszintet kíván a fehér nyár,
- 1 m körüli talajvízszintet igényel a kocsányos tölgy,
- nem igényel talajvizet az akác.

(Az erdőben a hidrológiai viszonyok értékelése az áprilisi talajvízállásra (általában a legmagasabb) vonatkozik, így valószínűleg – bár az idézett irodalom nem tér ki rá – a fenti adatok is erre a mértékadó időszakra vonatkoznak az éven belül.)

A talajvíz mélysége mellett a talaj kötöttségétől függ, hogy a talajvízből történő növényi vízfelvétel megvalósulhat-e. Az akác érzékeny a fizikai talajféleségre és a talajszerkezetre, sem a nehéz agyagot, sem a durva homokot nem kedveli. A fehér nyár a kötött agyagos talajokat nem viseli el, míg a kocsányos tölgy a mély – ugyanakkor tápanyagban gazdag – talajokon fejlődik jól. A gyökérzet kialakulása nemcsak faj-, hanem sokkal inkább talajfüggő. A három vizsgált faj közül leginkább a *Quercus robur*ban van meg a mély gyökérzet kialakítására irányuló képesség, erősen szikes agyagba azonban még a tölgy vertikális gyökere is alig hatol le (MAGYAR, 1929) [(*Quercus robur* gyökérmélysége I., II. a. és II. b. osztályú szikesen rendre 161, 95 és 55 cm – MAGYAR (1961)], míg laza, nem szikes vályogtalajban minden fafaj (még a sekélyebb gyökérszete ismert *Populus alba* is) rövid idő alatt mély gyökérzetet fejleszt és eléri a talajvizet (MAGYAR, 1961). Az akác a mélyebb szintek szódataralmára növekedéscsökkenéssel reagál (JÁRÓ, 1953), még jó vízgazdálkodású mezőségi talajon is (MAGYAR, 1960). A gyökérmélység tehát alapvetően függ a talaj fizikai féleségétől és egyéb talajtulajdonságoktól (szárazság, sótartalom, kötöttség stb.), valamint a talajvíz mélységétől is. Mivel ezek térbeli heterogenitásuk mellett időszakosan is változnak, a gyökérmélység-talajtulajdonságok kapcsolatáról csak utóbbiak szezonális dinamikájának ismeretében kaphatunk kielégítő eredményeket (KÖRMÖCZI, 1983).

Állomány szinten vizsgálva a gyökérzet sűrűsége, annak vízfelvétele (és ebből adódóan evapotranszpirációja) nemcsak az egyedek fajától és korától, hanem azok sűrűségétől is függ.

Talajtani és hidrogeológiai tényezők

A talajvíz mélysége és ingadozása. – A talajvíz mélysége és annak változása alapvetően határozza meg az erdőállomány vízfelvétele mértékét az adott időszakban, ezért egy adott szintnél nagyobb mélysége hosszú távon – vízhiányt okozva – gátat szabhat az állomány növekedésének. Ezt támasztja alá BOGINO és JOBBÁGY (2011), akik *Prosopis caldenia* állományban vizsgálták a csapadék, az állomány tengerszint feletti magassága, és annak élettartama közötti összefüggéseket. Megállapították, hogy e tényezők a talajvízszint és gyökérszóna egymáshoz viszonyított mélységén keresztül hatnak. Szélsőséges esetekben az állomány kiszáradhat, illetve a gyakori vízborítottság miatt kipusztulhat, míg optimális esetben a talajvíz az állomány számára folyamatos, megfelelő szintű vízellátást biztosít. Az Alföldön a talajvíz felszín alatti mélysége az erdőállományok számára megfelelő. [Regionálisan a Duna–Tisza köze 2–3 m-es talajvíztükre kedvezőbb, mint a Tiszántúl (4–6 m) (IJÁSZ, 1939); a talajvizet a facsemeték jellemzően 3–4 év után érik el (MAGYAR, 1961).]

A vizsgált fafajok közül az akác a levegősebb, mélyebb talajvízü területeket kedveli; a fehér nyár a hosszabb elárasztásokat is károsodás nélkül viseli el, a telepítés sikeressége azonban nemcsak a talajviszonyoktól, hanem a mikroklímától (kitettség) is jelentősen függ.

A talajvíz mozgása és kémiai összetétele pedig meghatározója a szelvényben előforduló só mennyiségének, minőségének és mozgásának (JOBBÁGY & JACKSON, 2007; MAHMOOD et al., 2001; SAPANOV, 2000).

Ezek alapján három hipotetikus esetet vázolhatunk fel hazai viszonyokra:

– A sekélyen és folyamatosan a gyökérszónában mozgó (0–2 m) talajvízszint a növény vízfelvétele biztosítani képes. A gyökérszóna szívóhatása folyamatos felfelé történő vízmozgást eredményez, ami hosszú távon további sófelhalmozódást okoz a talajszelvényben. Ha a talajvízszint viszonylag stabil, a gyökér közelében a talajoldat betöményedik, ám környezetével dinamikus egyensúlyban van, így a sók oldott állapotban maradnak, és azok koncentrációja stabilizálódik.

– A gyökérszónánál stabilan mélyebb talajvíz esetén az erdőállomány vízfelvétele és evapotranszpirációja kisebb, ezáltal a talajbeli sófelhalmozódás is lassabb, illetve adott idő alatt kisebb mértékű lesz. Ebből következik, hogy ha a gyökérszóna alsó és a talajvízszint felső határának távolsága nő, a jelentős mértékű sófelhalmozódás veszélye csökken.

– Ingadozó talajvízszint esetén a gyökérszóna aljáig, vagy azon felül emelkedő talajvízzel annak sótartalma is felemelkedik. Ezen túl a kapilláris vízemelés is növeli a talaj víztartalmát [IJÁSZ (1939) szerint a maximális víztartalom nem is közvetlenül a talajvíz felett van, hanem a maximális vízemelés magasságának 12–23%-ában] és elősegíti a sók felfelé történő elmozgását. Amint a talajvíz ismét egy bizonyos szint alá süllyed, az alulról történő vízutánpótlás megszűnik. Ekkor a felszíntől a párolgás, a gyökérszónában pedig a fák vízfelvétele miatt a talajnedvesség csökkenni kezd. Ezzel párhuzamosan a korábban feljutó sótartalom koncentrációja megnő. A káros mértékű sófelhalmozódás valószínűsége tehát ebben az esetben nagy.

A talajvíz szintjét befolyásolja továbbá a telepített erdő kiterjedése. A GEORGE és munkatársai (1999) által bemutatott összefüggés szerint a fásított terület 10%-os növekedése 0,4 m-es talajvízszint-csökkenést eredményez. Ehhez kapcsolódóan, ha a víz-

gált terület 30%-ánál kisebb az erdősített terület aránya, annak hatása a talajvíz szintjére relatíve csekély, és főként lokális.

A talajvíz sótartalma. – A talajvíz sótartalma szintén az erdőállomány növekedését gátló tényezővé válhat. Hogy ez mikor következik be, az a sótartalom nagyságának és a fajok só-, nátrium- és szódaturó-képességének függvénye.

AKRAM és LIAGHAT (2010) megállapítása szerint a só koncentrációjának növekedése a növényzet transzspirációjának csökkenését eredményezi az ozmotikus viszonyok megváltozása miatt. Ennek következménye, hogy a nagy sótartalmú ($> 6000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) talajvízre telepített erdőállomány alatt a talajvízszint a fák növekvő vízfelvételevel kezdetben süllyed. A nagy sótartalom miatt a fák növekedése és vízfelvétele is lassul, így a talajvízszint ismét megemelkedik (SILBERSTEIN et al., 1999). Ezzel egybevág THORBURN (1997) elmélete, miszerint a telepített erdő hatékonyabban csökkenti a talajvíz szintjét olyan területeken, ahol annak sótartalma kisebb.

A talajvíz sókoncentrációja mellett a só minősége is fontos tényező. A lúgosan hidrolizáló nátriumsók (pl. szóda) öt-tízszere károsabbak a növényzetre (TÓTH et al., 1972), mint a semleges kémhatásúak. Alföldünkön jelentős százalékban fordulnak elő szikes talajok. Ezek nagy nátrium- és hidrokarbonát-tartalma, erősen lúgos pH-ja kedvezőtlen hidrológiai és talajfizikai tulajdonságokat eredményeznek, amelyek az erdősítést gátolják. A szolonyec talajokban a növényi vízfelvétel korlátozott, mert a talajkolloidokhoz való erős kötődése miatt a talajnedvesség jelentős hányadát a gyökerek nem tudják felvenni. Egyes szikeseket a nagy sótöménység mellett a gyökerek számára áthatolhatatlan kemény meszes szintek is fásításra alkalmatlanná teszik.

A talaj szemcseösszetétele. – A talaj szemcseösszetétele, illetve az annak jellemzésére használt fizikai féséség kategóriája a szakirodalomban általában a vizsgált területek leírásában szerepel, de annak hatását a talaj víz- és sóforgalmára – fontossága ellenére – általában figyelmen kívül hagyták, annak ellenére, hogy ezen tényező fontossága nem vitatható.

Általánosságban leírhatjuk, hogy a talaj fizikai fésésége befolyásolja a talajban történő szivárgás sebességét, illetve a talajvízből történő kapilláris emelés mértékét, ezáltal limitáló/korlátozó hatással lehet az erdőállomány vízfelvételére. VÁRALLYAY (1981) szerint nagy agyagtartalmú talajokban a növényi vízellátásban a sekély beázási réteg, a felszíni tömődött kéreg, a repedezettség, valamint a csekély hasznosítható vízkészlet (nagy holtvíztartalom) és a kis kapilláris vezetőképesség is korlátozó tényezők.

A rétegzettségnek is jelentős szerepe lehet. A sófelhalmozódás szempontjából legveszélyesebb kombináció az, amelynél homokos alsó szint felett agyagos réteget találunk, mert ebben az esetben a homokos réteg kapilláris emelése, illetve a talajvízmozgás eredményeként gyorsan felfelé mozduló sók az agyagos réteg alsó részében felhalmozódnak. Száradás esetén – az agyag kapilláris tulajdonságai miatt – ez a felfelé történő elmozdulás az agyagos rétegben is folytatódik, miközben a felülről időszakosan történő kilúgzás (szintén az agyag kapilláris tulajdonságai miatt) korlátozott (VÁRALLYAY, 2003).

Összefoglalás

Magyarországon az erdőterületek jelentős növekedésére lehet számítani a jövőben. A 2009-es Nemzeti Erdőstratégia által erdősítésre ajánlott területek azok, melyeken az egyéb mezőgazdasági tevékenység nem jövedelmező, e területek pedig átfedést mutatnak azon területekkel, melyek alatt sekély, sós talajvizek találhatóak. Célunk az erdősített területeken végbemenő, a talajvíz mélységére és a sófelhalmozódásra ható folyamatok és tényezők áttekintése, valamint egy hipotézis felvázolása a nemzetközi szakirodalomra támaszkodva.

Hipotézisünk szerint a növényzet egyértelműen képes befolyásolni az adott terület sóforgalmát, ugyanakkor az erdő hatása erősen függ az adott terület egyéb (klimatológiai, hidrológiai, pedológiai, biológiai) tényezőitől.

A telepített erdők alatti talajban lezajló víz- és sómozgás folyamatait sokan, sokféle szempont figyelembevételével vizsgálták, ezek az eredmények alátámasztották az általunk felvázolt hipotézist.

Ismert, hogy a fásított területeken jelentős mértékben megváltozik a talajok vízforgalma. Ennek a változásnak hosszútávú hatását azonban a klíma–növényzet–talaj rendszer minden fontosabb eleme együttesen befolyásolja.

Bár a szakirodalom jól lefedi az egyes részfolyamatokat, és mélyrehatóan elemzi az egyes tényezők kapcsolatát, nincs olyan vizsgálat, mely az összes fontos tényezőt vizsgálva komplex módon tárgyalná a kérdést. Elmondható tehát, hogy a telepített erdők sófelhalmozódást és talajvízszint-csökkenést okozó szerepe világszerte további vizsgálatokat igényel.

Hazánk esetében ez fokozottan igaz, hisz bár a témakörben megjelent publikációk rávilágítanak általánosan elfogadott összefüggésekre, a vizsgált faj(ok), illetve az eltérő klíma miatt, ezek nem szolgálnak közvetlenül hasznosítható eredményekkel számunkra.

Tekintettel a bevezetőben leírt, a hazai földhasználatban megfigyelhető változásokra, mindenképpen szükséges, hogy a témakörben átfogó kutatások induljanak Magyarországon, annak érdekében, hogy a jövőben elkerülhetőek legyenek a közleményünkben bemutatott folyamatok kellő ismeretének hiányából fakadó esetleges természeti és gazdasági károk.

Jelen munka az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok NN79835 számú pályázatának („Sekély talajvízű területen telepített ültetvények által a talajban és altalajban okozott sófelhalmozódás statisztikai és hidrológiai modellezése”) és az MTA Bolyai ösztöndíjának támogatásával valósult meg.

Irodalom

- AKRAM, S. & LIAGHAT, H., 2010. Performance of biodrainage systems in arid and semiarid areas with salt accumulation in soils. 9th International Drainage Symposium 2010, Quebec City, QC; 13–16 June 2010. Code 84841.
- ANDRASEVITS, Z., BUZÁS, GY. & SCHIBERNA, E., 2005. Current afforestation practice and expected trends on family farms in West Hungary. *Journal of Central European Agriculture*. **5**. 297–302.

- BAZYKINA, G. S., 2000. Ecological assessment of meadow-chestnut soils of the solonchic complex ameliorated by means of afforestation in nonirrigated conditions in the Northern Caspian Region. *Pochvovedenie*. (11) 1340–1348.
- BOGINO, S. M. & JOBBÁGY, E. G., 2011. Climate and groundwater effects on the establishment, growth and death of *Prosopis caldenia* trees in the Pampas (Argentina). *Forest Ecology and Management*. **262**. 1766–1774.
- BOTVAY K., 1954. Talajtan. Erdőmérnöki Főiskola jegyzetei. Sopron.
- CALDER, I. R., 1998. Water use by forests, limits and controls. *Tree Physiol.* **18**. 625–631.
- CARBON, B. A. et al., 1980. The distribution of root length, and the limits to flow of soil water to roots in a dry sclerophyll forest. *Forest Sci.* **4**. 656–664.
- CROW, P., 2005. The influence of soils and species on tree rooting depth. Forestry Commission Information Note. November 2005. 8.
- ENGEL, V. et al., 2005. Hydrological consequences of Eucalyptus afforestation in the Argentine Pampas. *Water Resour. Res.* **41**. W10409. doi:10.1029/2004WR003761.
- FÜHRER E., 1992. Intercepció meghatározása bükk, kocsánytalan tölgy és lucfenyő erdőben. *Vízügyi Közlemények*. **74**. (3) 281–294.
- FÜHRER E. & JÁRÓ Z., 2005. Az erdővagyon bővítése a mezőgazdaságilag gazdaságosan nem hasznosított földterületek beerdősítésével. In: Erdő-fa hasznosítás Magyarországon. (Szerk.: MOLNÁR S.) 130–136. NyME FMK. Sopron.
- FÜHRER E. et al., 2011. Gyökérvizsgálatok bükkös, gyertyános-kocsányos tölgyes és cseres faállományban. *Agrokémia és Talajtan*. **60**. 103–118.
- FVM 88/2007. (VIII. 17.) Az Európai Mezőgazdasági Vidékfejlesztési Alapból a mezőgazdasági területek erdősítéséhez nyújtandó támogatás igénybevételének részletes szabályairól.
- GAFNI, A. & ZOHAR, Y., 2007. Hydrological and salinity impacts of a bio-drainage strategy application in the Yizre'el Valley, Israel. *Hydrological Processes*. **21**. 2164–2173.
- GEORGE, R. J. et al., 1999. Interactions between trees and groundwaters in recharge and discharge areas – A survey of Western Australian sites. *Agricultural Water Management*. **39**. 91–113.
- GÖBÖLÖS A., 2002. A „vízhiányos” erdőgazdálkodás kérdései a Duna–Tisza közti homokháton. *Hidrológiai Közöny*. **82**. (6) 324–326.
- HELVEY, J. D. & PATRIC, J. H., 1965. Canopy and litter interception of rainfall by hardwoods of eastern United States. *Water Resources Research*. **1**. 193–206.
- HEUPERMAN, A., 1999. Hydraulic gradient reversal by trees in shallow water table areas and repercussions for the sustainability of tree-growing systems. *Agricultural Water Management*. **39**. 153–167.
- HOUSE, S. et al., 1998. Selecting trees for the rehabilitation of saline sites in south-east Queensland. Technical Paper 52. Department of Primary Industry Queensland. Gympie, Qld.
- IJJÁSZ E., 1938. Az erdő szerepe a természet vízháztartásában. *Hidrológiai Közöny*. **18**. 416–445.
- IJJÁSZ E., 1939. A fatenyészet és az altalajvíz, különös tekintettel a nagyalföldi viszonyokra. *Erdészeti Kísérletek*. **42**. 1–107.
- JACKSON, R. B., 1999. The importance of root distributions for hydrology, biogeochemistry and ecosystem functioning, In: Integrating Hydrology, Ecosystem Dynamics and Biogeochemistry in Complex Landscapes. (Eds.: TENHUNEN, J. D. & KABAT, P.) 219–240. John Wiley. Hoboken, N. J.
- JACKSON, R. B. et al., 2005. Trading water for carbon with biological carbon sequestration. *Science*. **310**. 1944–1947.
- JÁRÓ Z., 1953. A hullámtérfásítás talajadottságai. *Az Erdő*. **1**. 80–84.
- JÁRÓ Z., 1980. Intercepció a gödöllői kultúrerdei ökoszisztémában. *Erdészeti Kutatások*. **73**. 7–17.
- JÁRÓ Z., 1981. A hazai erdők vízfogyasztása. *Agrártudományi közlemények*. **40**. 353–356.
- JOBBÁGY, E. G. & JACKSON, R. B., 2004. Groundwater use and salinization with grassland afforestation. *Global Change Biol.* **10**. 1299–1312.

- JOBÁGY, E. G. & JACKSON, R. B., 2007. Groundwater and soil chemical changes under phreatophytic tree plantations. *Journal of Geophysical Research*. **112**. G02013, doi:10.1029/2006JG000246
- KELLIHER, F. M., LEUNING R. & SCHULZE, E. D., 1993. Evaporation and canopy characteristics of coniferous forests and grasslands. *Oecologia*. **95**. 153–163.
- KOVÁCS F., 2002. A szárazodás folyamatának vizsgálati lehetőségei a Duna–Tisza közén. In: *Földrajzos Doktoranduszok VII. Országos Konferenciája*. (Szerk.: FARKAS GY. & ZÁBRÁDI ZS.) 1–10. ELTE TTK Földrajzi Tanszékcsoport. Budapest.
- KÖRMÖCZI, L., 1983. Correlations between the zonation of sandy grasslands and the physico-chemical condition of their soil in Bugac. *Acta Biologica Szegediensis*. **29**. 117–127.
- KUCSARA M., 1998. Az erdő csapadékviszonyainak vizsgálata. *Vízügyi Közlemények*. **80**. (3) 456–475.
- MAGYAR P., 1929. Az alföldfásítás elméleti és gyakorlati kérdéseiből. Rádiós gazdasági előadások. 2. évf. B sorozat. 6.
- MAGYAR P., 1960. Alföldfásítás I. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- MAGYAR P., 1961. Alföldfásítás II. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- MAHMOOD, K. et al., 2001. Groundwater uptake and sustainability of farm plantations on saline sites in Punjab province, Pakistan. *Agricultural Water Management*. **48**. 1–20.
- MAJOR G., MAJOR P. & VARGAY Z., 1991. A Duna–Tisza közti hátság lefolyási viszonyainak hatása a talajvízszint változására. *Vízügyi Közlemények*. **73**. 142–152.
- MAJOR P., 2002. Síkvidéki erdők hatása a vízháztartásra. *Hidrológiai Közöny*. **82**. (6) 319–324.
- MÓRICZ N., GÁLOS B. & GRIBOVSKIZKI Z., 2009. Az erdők intercepciójának mérési és modellezési lehetőségei. *Hidrológiai Közöny*. **89**. (4) 35–45.
- NOSETTO, M. D., ESTEBAN, E. G. & PARUELO, J. M., 2005. Land use change and water losses. The case of grassland afforestation across a soil textural gradient in central Argentina. *Global Change Biol*. **11**. 1101–1117.
- NOSETTO, M. D. et al., 2007. The effects of tree establishment on water and salt dynamics in naturally salt-affected grasslands. *Oecologia*. **152**. 695–705.
- NOSETTO, M. D. et al., 2008. Regional patterns and controls of ecosystem salinization with grassland afforestation along a rainfall gradient. *Global Biogeochemical Cycles*. **22**. doi:10.1029/2007GB003000
- PANKOTAI G. & RÁCZ J., 1975. Erdészeti vízgazdálkodástan. Egyetemi jegyzet. Sopron.
- SAPANOV, M. K., 2000. Water uptake by trees on different soils in the northern Caspian region, *Eurasian Soil Sci*. **33**. 1157–1165.
- SCHENK, H. J. & JACKSON, R. B., 2002. The global biogeography of roots. *Ecol. Monogr*. **72**. 311–328.
- SIGMOND E., 1923. Hazai szikések és megjavítási módjaik. MTA. Budapest.
- SILBERSTEIN, R. P. et al., 1999. Modelling the effects of soil moisture and solute conditions on long-term tree growth and water use. A case study from the Shepparton irrigation area, Australia. *Agricultural Water Management*. **39**. 283–315.
- SIVAPALAN, M., RUPRECHT, J. & VINEY, N., 1996. Water and salt balance modelling to predict the effects of land-use changes in forested catchments: 1. Small catchment water balance model. *Hydrol. Process*. **10**. 391–411.
- SPENNEMANN, D. & MARCAR, N. E., 1999. Urban and heritage landscapes. Under the saline threat. *J. Aust. Assoc. Natl. Resour. Manag.* **2**. 14–17.
- STEFANOVITS P., 1963. Magyarország talajai. Akadémiai Kiadó. Budapest
- SZODFRIDT I., 1990. Hozzászólás Major Pál és Neppel Ferenc: „A Duna–Tisza közti talajvízszint süllyedése” című cikkéhez *Vízügyi Közlemények*. **72**. (3) 287–291.
- SZODFRIDT I. & FARAGÓ S., 1968. Talajvíz és vegetáció kapcsolata a Duna–Tisza köze homokterületén. *Bot. Közlem.* **55**. (1) 69–75.

- THORBURN, P. J., 1997. Land management impacts on evaporation from shallow, saline water tables. In: Sub-surface Hydrological Responses to Land Cover and Land Use Changes. (Ed.: TANIGUCHI, M.) 21–34. Kluwer. Boston.
- TÓTH B. et al., 1972. Szikesek fásítása. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- TÓTH, T. et al., 2001. Use of digitalized hydrogeological maps for evaluation of salt-affected soils of large areas. *Arid Land Research and Management*. **15**. 329–346.
- TURY E., 1954. A szikes talajok erdészeti osztályozása. *Erdészeti Kutatások*. **4**. 3–12.
- UMES (University of Minnesota Extension Service). 2004. Protecting Trees & Shrubs Against Winter Damage. Advocate. Winter 2004
- VÁRALLYAY, GY., 1981. Extreme moisture regime as the main limiting factor of the fertility of salt affected soils. *Agrokémia és Talajtan*. **30**. 73–96.
- VÁRALLYAY, GY., 2002. Environmental stresses induced by salinity/alkalinity in the Carpathian Basin (Central Europe). *Agrokémia és Talajtan*. **51**. 233–242.
- VÁRALLYAY GY., 2003. A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai. Egyetemi jegyzet. Budapest–Gödöllő.
- VERTESSY, R. et al., 2000. Sustainable Hardwood Production in Shallow Water Table Areas. Publication No. 00-163. Rural Ind. Res. and Dev. Corporation. Barton, Australia.

Érkezett: 2012. március 7.