

# Egy erdő és parlagterület vízforgalmának összehasonlítása

Móricz Norbert<sup>1</sup>, Mátyás Csaba<sup>1</sup>, Berki Imre<sup>1</sup>, Rasztoivits Ervin<sup>1</sup>, Vekerdy Zoltán<sup>2</sup>, Gribovski Zoltán<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Nyugat-Magyarországi Egyetem, Környezet-és Földtudományi Intézet, 9400. Sopron, Bajcsy Zs. u. 4., Hungary.

<sup>2</sup>Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), University of Twente, Enschede, Netherlands

<sup>3</sup>Nyugat-Magyarországi Egyetem, Geomatikai, Erdőfeltárési és Vízgazdálkodási Intézet, 9400. Sopron, Bajcsy Zs. u. 4.,

## Kivonat:

A síkvidéki erdők vízháztartásra (talajvíz-készletekre) gyakorolt hatása nagy vitát váltott ki az elmúlt évtizedek során az erdészetben és vízügyben dolgozó szakemberek között. A síkvidéki erdők talajvíz-fogyasztásának megítélésében fellelhető ellentmondás tisztázására a komplex vízforgalmi modellezés módszere a legalkalmasabb. A jelen cikk célja tisztázni a talajvíz-függő erdők – változó időjárási viszonyok közötti – vízforgalomban betöltött szerepét. A vizsgálathoz két sekély talajvízű mintaterület, egy kocsányos tölgyes és egy parlagterület vízforgalmi komponenseit hasonlítottuk össze terepi méréssel kombinált 1-D-s vízforgalmi modellezés segítségével. A két, eltérő vegetáció forma talajvíz-fogyasztásában jelentkező eltéréseket külön is részletesen elemeztük. Az eredmények szerint a becsült evapotranspiráció a tölgyesben mintegy 30%-kal volt magasabb a parlagterületen becsülnél. Ugyanakkor a tölgyes talajvíz-fogyasztása mintegy háromszorosa volt a parlag fogyasztásának.

## Kulcsszavak:

vízforgalom, tölgyes, parlag, talajvíz fogyasztás.

### 1. Bevezetés

Növekvő érdeklődés jellemzi napjainkban a felszín-borítás és a talajvízkészletek kapcsolatát, különösen a várható klímaváltozás fényében. A felszínborítás jelentős mértékben befolyásolja az intercepciós veszteséget, a talajvíz-utánpótlódást és a párolgást egyaránt, emiatt már hosszú ideje megkülönböztetett figyelmet szentelnek vizsgálatának.

Az erdősítés vízforgalomra gyakorolt hatását vizsgáló tanulmányok általában a talajvíz-utánpótlódás csökkenéséről számoltak be a nagyobb transzspiráció és intercepciós veszteség eredményeként (pl. Bosch és Hewlett 1982). A páros vízgyűjtő kísérletek eredményei azonban csak a változás irányában egyeztek, a mértékében viszont nem (Andressian 2004).

Eltérő felszínborítások pontbeli vízmérleg kutatásai nagyrészt az erdők nagyobb párologtatását mutatták (Gácsi 2000; Ladekarl et al 2005; Nachabe et al 2005), ugyanakkor néhány vizsgálat nem mutatott ki jelentős különbséget a

vízfelhasználás terén (Járó és Sitkey 1995; Roberts és Rosier 2005).

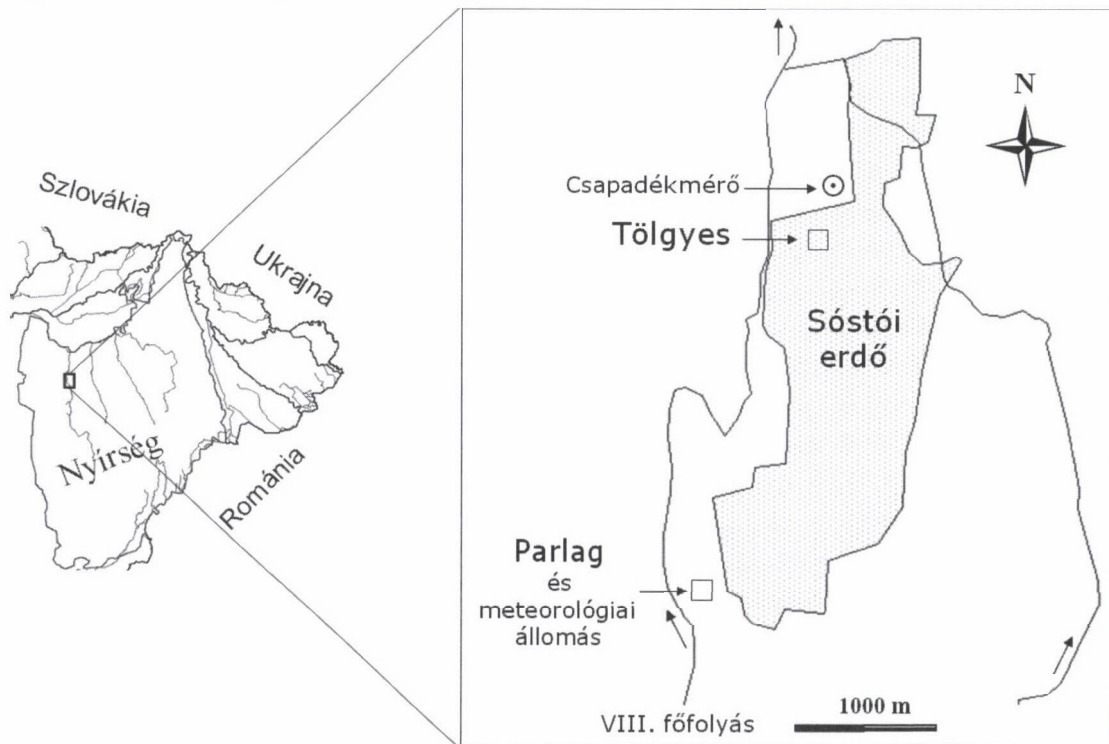
Az irodalomban tapasztalt ellentmondás és vita (pl. Pálfi 1993) motivált bennünk arra, hogy egy terepi méréssel összekötött vizsgálatot végezzünk. Mivel a párolgás és a talajvíz-utánpótlódás egyaránt nehezen mérhető közvetlenül, így egy numerikus modellt alkalmaztunk a vízmérleg összetevőinek becsléséhez, melyet talajnedvesség és talajvízszint méréssel kalibráltunk.

A kutatás célja tehát egy kocsányos tölgyes és egy parlag vízmérlegének összehasonlítása egy numerikus modell (Hydrus 1-D) alkalmazásával, különös tekintettel a két felszínborítás talajvízfogyasztására.

### 2. Anyag és módszer

#### 2.1 Mintaterületek

A mintaterületek Nyíregyházától északra, a sóstói erdő környezetében találhatóak (1. ábra).



1. Ábra: A tölgyes és parlag mintaterület elhelyezkedése

A terület klímája kontinentális, az átlagos éves csapadékmennyiség mintegy 524 mm, a januári és júliusi átlagos középhőmérséklet  $-2,4$  illetve  $20,5^{\circ}\text{C}$ . A terület potenciális vegetációja kocsányos tölgyes, napjainkban az erdőfoltokat

nagyrészt mezőgazdasági területek veszik körül. Mindkét mintaterület a helyi talajvíz áramlási rendszer feláramlási övezetében helyezkedik el, így folyamatos talajvíz-utánpótlással jellemezhető. A felszín lejtése egyik mintaterületen

sem számottevő, felszíni lefolyást nem tapasztaltunk. A VIII. sz. főfolyás mintegy 300 m-re található a mintaterületektől, így a vizsgálatot számottevő mértékben nem befolyásolta.

Az erdei mintaterület a Sóstói-erdő északi részén található kocsányos tölgyesben, míg a parlagterületi mérés a Westsík-féle tartamkísérlet közvetlen szomszédságában található területen történt. A mintaterületek kiválasztásánál fontos szempont volt, hogy a mintaterületek a talaj fizikai jellege és a talajvíz dinamika tekintetében megfelelően képviseljék a szűkebb környezet jellemzőit.

A tölgyes mintaterület egy a múlt évszázad 50-es éveiben természetesen úton felújított tölgyes, ahol megtalálható a kocsányos tölgyön (*Quercus robur*) kívül a hegyi juhar (*Acer Pseudoplatanus*) és az akác (*Robinia Pseudoacacia*) is. A kocsányos tölgyek magassága eléri a 20-25 métert, az állomány sűrűsége 270 törzs/ha. A parlag mintaterület megközelítőleg három kilométerre található a tölgyes mintaterülettől délnyugati irányban, mely egy kétéves szántóparlag, melyet a vegetációs időszakban gyomnövényzet borított.

A vertikális gyökéreloszlást azonos térfogatú talajminták vételének segítségével határoztuk meg. A vízfelvételért felelős finomgyökerek (átmérő <2 mm) mintavételezése öt különböző mélységből történt, rétegenként ötszörös ismétlésben.

A levélfelület index (LAI) maximális értékét a következő módszerrel határoztuk meg. Az összes lehullott leveleket 5 reprezentatív helyről gyűjtöttük össze 1-1 m<sup>2</sup>-ről, majd a felület és a levelek száraztömege közötti összefüggés alapján számítottuk a levélfelületet. A szezonális változását MODIS felvételek segítségével becsültük.

A mintaterületek talajprofiljának jellemzéséhez szemeloszlási és víztartó képesség görbéket használtunk. A víztartó képesség függvényeket a talajprofil 6 szintjére (10,30,50,70,90 és 120 cm), háromszoros ismétlésben, bolygatatlan talajminták segítségével határoztuk meg, melyhez a TALAJTANonc 1.0 (Fodor és Rajkai 2005) és a RETC (Retention Curve) (van Genuchten et al. 1991) programot használtuk.

## 2.2 Mérés a mintaterületeken

### 2.2.1 Meteorológiai mérések

A meteorológiai jellemzőket (globálsugárzás, léghőmérséklet, relatív nedvesség, szélesség, csapadék) a parlag mintaterületen két méteres magasságban órás felbontással mértük. A parlag területen mért szélesség szolgált alapul az erdő esetén a referencia magasságra történő átszámításhoz (Federer et al 2003). A csapadék nagy térbeli változossága miatt a csapadékot az erdtől 500 méterre is mértük szintén egy automata mérővel. A csapadék intercepciót nem volt lehetőségünk mérni.

### 2.2.2 A talajnedvesség mérése

A talajnedvességet mindkét mintaterületen 4 szintben (10,30,50,70 cm) mértük. A méréshez a Decagon cég (Decagon Devices, Pullman, USA) által gyártott ECH<sub>2</sub>O szenzorokat alkalmaztuk. A szenzorok a talajnedvességet 15 percenként mérték, melyeket egy hozzájuk kapcsolt adatgyűjtő tárolt el. A mérés pontosságát két alkalommal gravimetriás módszerrel ellenőriztük.

### 2.2.3 A talajvízszint mérése

2007 tavaszán mindkét helyen egy-egy talajvízkutat létesítettünk. A talajvízszintet a Dataqua DA-S-LRB 118 szondával monitoroztuk 1 mm-es pontossággal. A parlag mintaterületen a 2007-2008. év téli időszakában a mérőeszköz meghibásodása miatt szünetelt a folyamatos mérés. A folya-

matos mérés mellett kétheti gyakorisággal manuális vízszint-mérés is történt.

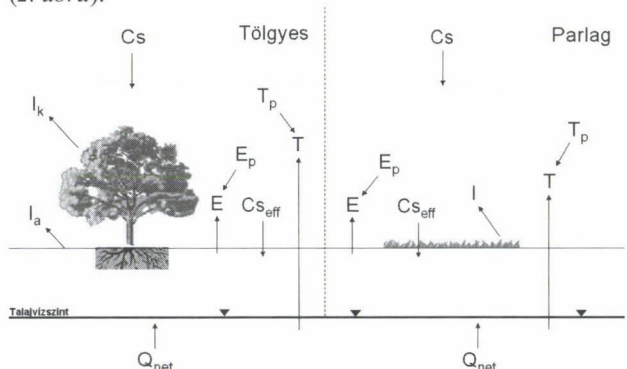
## 2.3 Numerikus modell

### 2.3.1 A modell felépítése

A vízmérleg összetevőit a Hydrus 1-D (Simunek et al 2005) modell segítségével becsültük. A Hydrus egy Windows alapú modellezési környezet a talajnedvesség elemzésére különböző telítettségi viszonyok között. A modellről részletes információ található a következő internetcímen: <http://www.pc-progress.com/en/Default.aspx?HYDRUS1D>.

A Hydrus 1-D modell alapja egy változó telítettségű talajprofil, melyben a vertikális irányú nedvesség áramlása modellezhető. A talajprofil mélységét a modellben mindkét mintaterületen három méterben határoztuk meg, melyet hét talajrétegre osztottunk a mintavételezett talajrétegeknek megfelelően (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm, 80-100 cm, 100-120 cm és 120-300 cm). A modell a hidraulikus számításokat 200 horizontális rétegre becsülte a talajprofilban, nagyobb sűrűséggel a talajfelszínhez közelebb eső részen. A modell szimulációk során mind a bemeneti, mind pedig az eredmény adatokat napi időlépcsőben kezeltük.

A modell bemeneti adatai magába foglalják a talajba jutó csapadék mennyiségét ( $Cs_{eff}$ ), mely a szabadtéri csapadék ( $Cs$ ) és az intercepció veszteség (tölgyes mintaterületen  $I_k + I_a$ , parlag mintaterületen  $I$ ) különbsége. A potenciális transzspiráció ( $T_p$ ) és talajfelszín evaporáció ( $E_p$ ) értékekből a modell az elérhető nedvesség és a talaj hidraulikus paramétereinek segítségével számol aktuális értékeket ( $T$ , illetve  $E$ ). Végül az alsó határfeltételen a talajszelvényhez a háttérből történő nettó talajvíz-utánpótlódást ( $Q_{net}$ ) lehet megadni (2. ábra).



2. ábra: A numerikus modell vízforgalmi összetevői ( $Cs$ : szabadtéri csapadék,  $Cs_{eff}$ : hatékony csapadék,  $I$ : intercepció veszteség,  $I_k$ : korona intercepció veszteség,  $I_a$ : avar intercepció veszteség,  $T_p$ : potenciális transzspiráció,  $T$ : aktuális transzspiráció,  $E_p$ : potenciális talajfelszín evaporáció,  $E$ : aktuális talajfelszín evaporáció,  $Q_{net}$ : nettó talajvíz-utánpótlódás)

### 2.3.2 Hatékony csapadék

A hatékony csapadék számításához a tölgyes esetén becsültük a korona és avarintercepció értékét. A korona-intercepciót a Gash (1979) modell alkalmazásával számítottuk. E modell a csapadékeseményeket diszkrét eseményeknek feltételezi, amelyek között elegendő idő áll rendelkezésre az állomány teljes száradásához. A modell állományi jellemzőket (közvetlen áteső csapadék aránya, állomány tározási kapacitása, törzsi lefolyás aránya) valamint csapadék és párolgás intenzitás adatokat használ adott csapadékesemény intercepció veszteségének meghatározására. Az állományi paramétereket helyszíni megfigyelés és irodalmi adatok a-

lapján becsültük, míg a csapadék és párolgás átlagos értékeit órás adatokból származtattuk. Az avar intercepciós veszteségét a modell kalibrációja során állítottuk be.

A parlag mintaterület esetén a csapadékesemények közbeni párolgás nem bír nagy jelentőséggel, így ez esetben elegendő volt egy napi csapadékon alapuló módszer alkalmazása (Von Hoyningen-Hüne 1983). A napi intercepciós veszteséget a napi csapadék, a levélfelületi index és a talaj fedettségi arány felhasználásával becsültük.

### 2.3.3. Transzspiráció és talajfelszín evaporáció

A potenciális transzspiráció a nedvesség stressz nélküli párologtatás nagyságát fejezi ki, melynek napi értékeit a Penman-Monteith egyenlet segítségével számoltuk (Monteith 1965):

$$T_p = \frac{\Delta(K - L) - \rho_a c_a C_{at} VPD}{\rho_w \lambda_v [\Delta + \gamma(1 + C_{at} / C_{can})]}$$

ahol  $T_p$  a potenciális transzspiráció (mm/nap),  $K$  a nettó rövidhullámú sugárzás ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{nap}$ ),  $L$  a nettó hosszuhullámú sugárzás ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{nap}$ )  $\Delta$  a telített páranomogram görbéjének iránytangense ( $\text{kPa}/^\circ\text{C}$ ),  $\gamma$  a psychrometrikus állandó ( $\text{kPa}/^\circ\text{C}$ ),  $VPD$  a telítési hiány ( $\text{kPa}$ ),  $\rho_a$  a levegő sűrűsége ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $c_a$  a nedves levegő fajhője ( $\text{kJ}/\text{kg}/^\circ\text{C}$ ),  $\lambda_v$  a párolgáshő ( $\text{MJ}/\text{kg}$ ),  $\rho_w$  a levegő fajhője,  $C_{at}$  az aerodinamikai vezetőképesség ( $\text{m}/\text{s}$ ) és  $C_{can}$  a növényi felület páravezető képessége ( $\text{m}/\text{s}$ ). Utóbbit a levélfelület (LAI) és a levél vezetőképesség ( $C_{leaf}$ ,  $\text{m}/\text{s}$ ) szorzatával kaptuk. A levél vezetőképesség számításához Jarvis (1976) módszerét alkalmaztuk:

$$C_{leaf} = g_{lmin} + f_T f_D f_R f_W f_C (g_{lmax} - g_{lmin})$$

ahol  $g_{lmin}$  a minimális levél-vezetőképesség ( $\text{m}/\text{s}$ ),  $g_{lmax}$  a maximális levél-vezetőképesség ( $\text{m}/\text{s}$ ),  $f_T, f_D, f_R, f_W, f_C$  függvények (dimenzió nélküli), melyek a hőmérséklet, a páranomogram deficit, a globálsugárzás, a nedvesség stressz és a légköri szén-dioxid hatását fejezik ki a sztóma működésére. A maximális levél vezetőképesség értéke a tölgyes mintaterületen 6,3, a parlag mintaterületen pedig 7,0 volt (Federer et al 2003). A potenciális transzspirációt a vegetáció számára rendelkezésre álló talajnedvesség nem befolyásolja, emiatt  $f_W=1$ . A légköri szén-dioxid koncentráció emelkedése okozta hatással nem foglalkoztunk, így  $f_C=1$ .

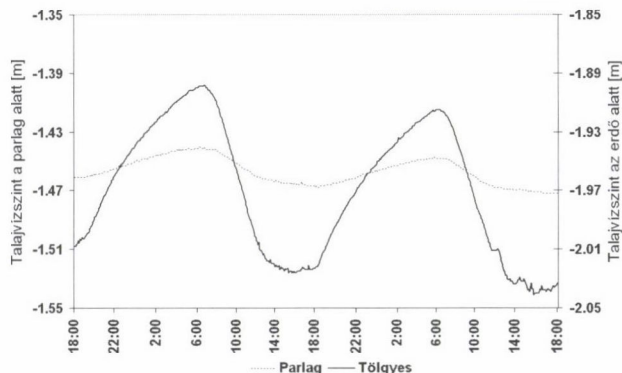
Az aktuális transzspirációt (T) a Hydrus 1-D modell minden olyan modellrétegre számolta, ahol a normalizált gyökérsűrűség nulla feletti volt. A modellezés során a van Genuchten (1987) által javasolt S-alakú függvényt (víztartó képességi görbék) használtuk.

A potenciális talajfelszín evaporáció ( $E_p$ ) nagyságát a talaj felszínén elérhető energia és az avarfelszín párazáró hatása együttesen határozza meg. A számításhoz a transzspirációhoz hasonlóan a Penman-Monteith modellt alkalmaztuk (Monteith 1965). A talajfelszínén elérhető nettó sugárzást a Beer-Lambert függvény, a talajfelszín ellenállását pedig felszíni jellemzők és irodalmi adatok alapján becsültük.

Az aktuális talajfelszín párolgást a Hydrus 1-D modell a legfelső talajréteg aktuális talajnedvesség tartalmának és hidraulikus vezetőképességének függvényében számolta.

### 2.3.4 Nettó talajvíz-utánpótlódás

A vegetációs időszak csapadékmentes időzakaiban egy határozott napi ingadozás látható a felszínközeli talajvizekben (White 1932; Gribovszki et al. 2009). A jelenség oka legtöbbször a vegetáció transzspirációja (3. ábra).



3. ábra: A talajvíz napi ingadozása a tölgyes és parlag mintaterületen 2007. június 27 és június 29 között

A nettó talajvíz-utánpótlódás nem állandó a nap folyamán, hanem változik a napi szinten viszonylag állandó háttér nyomásszint és a napi ingadozást mutató talajvízfelszín között kialakuló változó hidraulikus gradiens függvényében (Gribovszki et al 2008). A nettó talajvíz-utánpótlódás számítására ( $Q_{net}$ ) a Gribovszki et al. (2008) által kifejlesztett módszer empirikus változatát használtuk, amely karakterisztikus pontokat használ fel a következőképpen. A  $Q_{net}$  napi minimális értékét a hajnali órákban éri el, így ekkor ezt a talajvízszint hajnali órákban tapasztalható átlagos differenciális változásából, azt a fajlagos hozam ( $S_y$ ) értékével megszorozva, számítottuk. A  $Q_{net}$  napi maximális értékét a kora délutáni órákban éri el, így számításához a talajvízszint legnagyobb differenciális változását használtuk fel, az  $S_y$  értékével megszorozva:

$$Q_{net} = S_y \frac{dh}{dt}$$

A napi maximális és minimális nettó talajvíz-utánpótlódási értékét ezután a napi minimális és maximális talajvízszintek időpontjaiba helyeztük, mivel a  $Q_{net}$  maximuma a minimális talajvízszintnél, minimuma pedig a maximális talajvízszintnél jelentkezik. A maximális és minimális utánpótlódások közötti időszakokat spline interpolációval sürítettük be, hogy a félórás számítási időlépcsőnek megfelelő adatsűrűséget kapjunk. A napi talajvíz-utánpótlódást a félórás értékek összegzésével kaptuk.

Az azonnal rendelkezésre álló fajlagos hozam értékét Loheide II. et al (2005) által publikált háromszög diagram segítségével, a talajszövet alapján becsültük előzetesen. Az  $S_y$  értéke 0,03 és 0,1 között változott a tölgyes mintaterületen és 0,03 és 0,12 között a parlag mintaterületen. A végleges értékeket a modell kalibrálása során állapítottuk meg.

A legfontosabb vízforgalmi paraméterek értékei a következő táblázatban láthatóak (1. táblázat).

1. táblázat: A legfontosabb vízforgalmi paraméterek értékei

Paraméterek	Tölgyes	Parl
Maximális LAI	3.9 $\text{m}^2/\text{m}^2$	4.8 $\text{m}^2/\text{m}^2$
Szabad átesési arány	0.14	-
Állomány tározási kapacitása	1.17 mm	1.1 mm
Avar tározási kapacitása	0.5 mm	-
Gyökérmélység	1.5 m	0.8 m
Referencia magasság	20.1	2.2 m
Albedó	0.12	0.2
Maximális levélvezető képesség	6.3 $\text{mm}/\text{s}$	7 $\text{mm}/\text{s}$
Érdességi magasság	0.9 m	0.026 m
Nullponttelődési magasság	15.12 m	0.11 m
Érdességi koefficiens	0.5	0.5

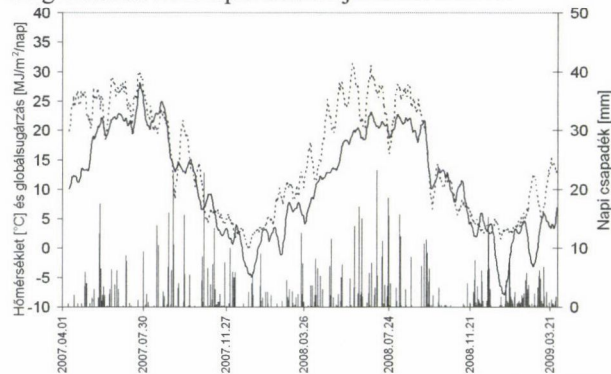
### 2.4 A Hydrus 1-D modell jóságának tesztelése

A modell jóságának ellenőrzése céljából a szimulált talajnedvesség és talajvíz idősorokat összevettem a megfigyelt értékekkel mindkét mintaterületen. Az alkalmazott mutatók a következők voltak: meghatározottsági együttható ( $R^2$ ), az átlagos négyzetes gyök eltérés (RMSE=Root Mean Square Error) és a Nash–Sutcliffe modell hatékonysági jellemző.

### 3. Eredmények

#### 3.1 Meteorológiai viszonyok

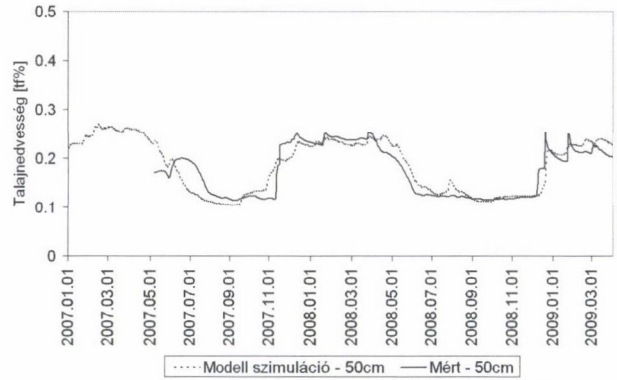
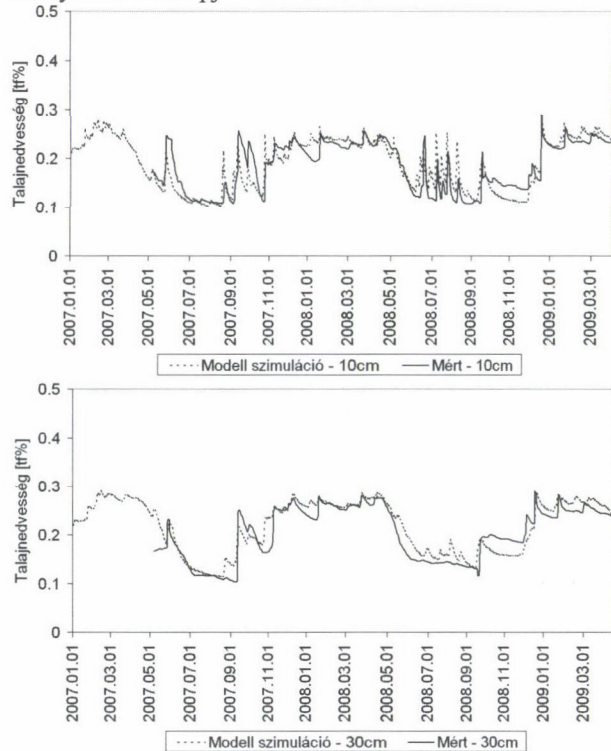
A vizsgált időszakban rövidebb periódusoktól eltekintve átlagosnál melegebb időjárás volt jellemző. A 2007-es vegetációs időszak (áprilistól szeptemberig) szokatlanul száraz volt, mindössze 260,9 mm csapadékkal, ugyanakkor a 2008-as vegetációs időszakban 401,4 mm csapadék esett (4. ábra). A tölgyes közelében és a parlagon mért csapadékösszegek között nem tapasztaltunk jelentős eltérést.



4. ábra: A csapadék (oszlopok), a napi középhőmérséklet (vonal) és a globálisugárzás alakulása (szaggatott vonal)

#### 3.2 Hydrus modellek kalibrálása

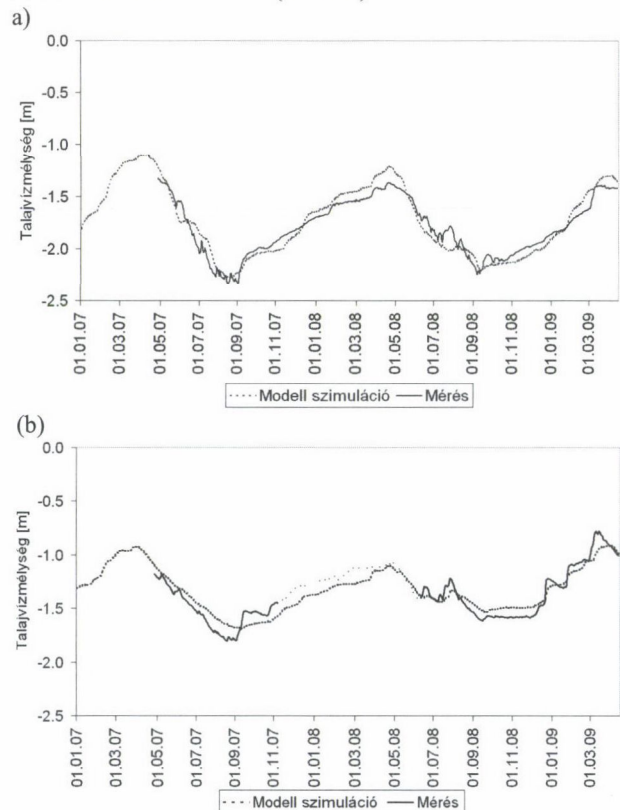
A modelleket a mért talajnedvesség és talajvízszintek segítségével kalibráltuk (5. ábra). A modell által szimulált talajnedvesség értékeket a talajnedvesség szenzorok pontos elhelyezkedése alapján számítottuk.



5. ábra: A mért és szimulált talajnedvesség a tölgyes mintaterületen

A talajnedvesség mérések és modell szimulációk általában jól egyeztek mind a száraz 2007., mind a csapadékos 2008. évben. Nagyobb eltérés mutatkozott 2008. nyarán, amikor is a modell a nagyobb nyári záporok eredményeként a talajnedvesség megnövekedésével számolt a mélyebb talajrétegekben is. A valóságban azonban a nyári csapadékok után intenzív párolgás jelentkezett, amit a modell a napi átlagok alkalmazása miatt nem vett figyelembe. A téli időszak nagyobb eltéréseit a talajfagy okozta, mely főként a parlag mintaterületen volt szembevetendő.

A szimulált talajvízszint változások többé-kevésbé jól követték a mért értékeket (6. ábra).



6. ábra: A mért és szimulált talajvízszintek a tölgyes (a) és parlag (b) mintaterületen

Az alkalmazott modell-hatékonysági mutatók eredményét mutatja a 2. táblázat.

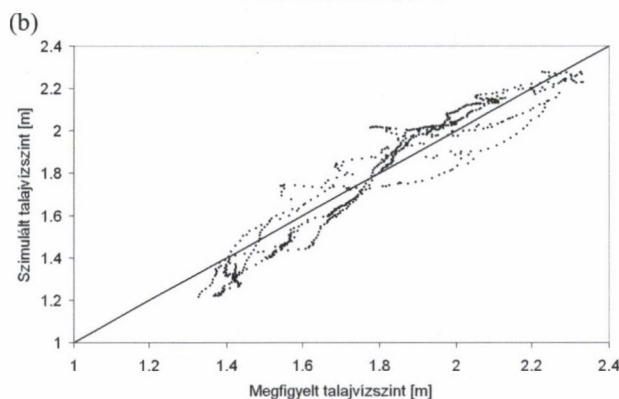
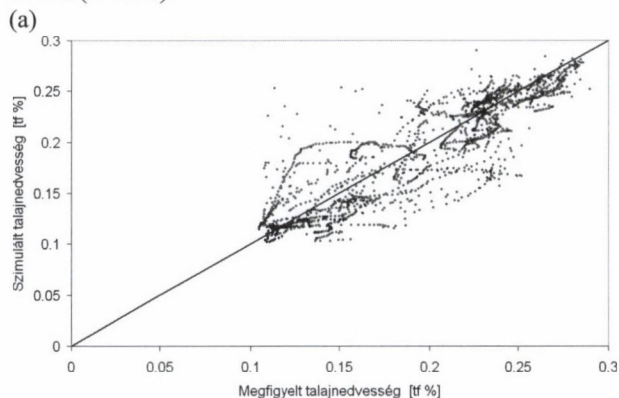
2. táblázat: A különböző modell hatékonysági mutatók eredményei

Tölgyes	$R^{2a}$	RMSE <sup>b</sup>	ME <sup>c</sup>	Parlag	$R^{2a}$	RMSE <sup>b</sup>	ME <sup>c</sup>
Talajnedvesség (10cm)	0.72	14.91	0.69	Talajnedvesség (10cm)	0.57	16.01	0.47
Talajnedvesség (30cm)	0.83	11.95	0.79	Talajnedvesség (30cm)	0.66	10.83	0.47
Talajnedvesség (50cm)	0.78	13.52	0.76	Talajnedvesség (70cm)	0.82	9.83	0.78
Talajvízszint	0.92	5.03	0.88	Talajvízszint	0.88	5.11	0.87

<sup>a</sup>  $R^2$ : meghatározottsági együttható <sup>b</sup> RMSE: átlagos négyzetes gyök eltérés (%-ban kifejezve)

<sup>c</sup> ME: Nash-Sutcliffe modell hatékonysági mutató

A megfigyelt és szimulált talajnedvesség és talajvízszintek közötti eltéréseket napi szinten is megvizsgáltuk. Nem találtunk szisztematikus eltérést a szimulált és mért értékek között (7. ábra).



7. ábra: A megfigyelt és szimulált talajnedvességek (a) és talajvízszintek (b) összehasonlítása a tölgyes mintaterületen

A modell kalibráció elsődlegesen a vegetáció tározási kapacitásának és a talaj hidraulikus paramétereinek módosításával történt, miközben az átlagos négyzetes gyök eltérést minimalizáltuk. A tölgyes mintaterület intercepció veszteségét nagymértékben meghatározta az állomány tározási kapacitása. Először a vegetációs időszakon kívüli intercepció veszteséget kalibráltuk, melynek során a törzsek és ágak együttes kapacitásának 0,5 mm-es értékét elfogadtuk (Larcher 1994). Ezután az avar tározási képességét a kezdeti 1,26 mm-ről 0,5 mm-re csökkentettük a kalibráció során. A lombkorona (levél és ágrendszer) tározási kapacitása a maximális levélfelület idején 1,17 mm lett, mely jó egyezést mutatott az irodalomban fellelhető értékekkel. Andre et al

(2008) egy tölgyes állomány (3,8 LAI) tározási kapacitását 1,19 mm-nek becsülték. Rutter et al (1975) és Dolman (1987) tölgyes állományok 0,8 mm-es tározási kapacitásáról számoltak be. A parlag mintaterületen a szimulált talajnedvesség legjobb illeszkedését a mért értékekre a vegetációs időszakban 1,1 mm-es, a vegetációs időszakon kívül pedig 0,5 mm-es tározási kapacitás mellett mutatta.

A telített hidraulikus vezetőképesség ( $K_s$ ) kalibrációja során egyrészt a Rawls et al (1998) megközelítés segítségével becsült vezetőképességeket módosítottam, másrészt pedig a talajvíz zónájában utánpótlódás mérés eredményeire támaszkodtunk. A tölgyes mintaterületen a kalibrált  $K_s$  értékek a gyökérszónában  $0,9 \times 10^3$  mm/nap és  $2,9 \times 10^3$  mm/nap között változtak, míg 1,5 méternél mélyebben  $1,4 \times 10^2$  mm/nap körüli értékek voltak jellemzők. A parlag mintaterületen a jellemző  $K_s$  értékek a gyökérszónában  $1,5 \times 10^2$  mm/nap és  $1,1 \times 10^3$  között változtak, míg a gyökérszóna alatt  $0,8 \times 10^2$  mm/nap körül volt a jellemző érték.

Az azonnal hozzáférhető fajlagos hozam értékét ( $S_y$ ) a talajvíz-utánpótlódás meghatározásához használtuk. Az  $S_y$  értékét kalibrálással állítottuk be, mivel értéke jelentősen befolyásolta a talajvíz-utánpótlódás nagyságát. A kalibráció során a talajvízszintek jobb illeszkedését, a Loheide II. et al (2005) által megadott ábra, talajszövet függvényében meghatározott tartományának alsóbb részén található, alacsonyabb  $S_y$  értékekkel sikerült elérni, így a kalibrált  $S_y$  érték 0,032 lett a tölgyes és 0,029 a parlag mintaterületen.

### 3.3 Vízforgalmi eredmények

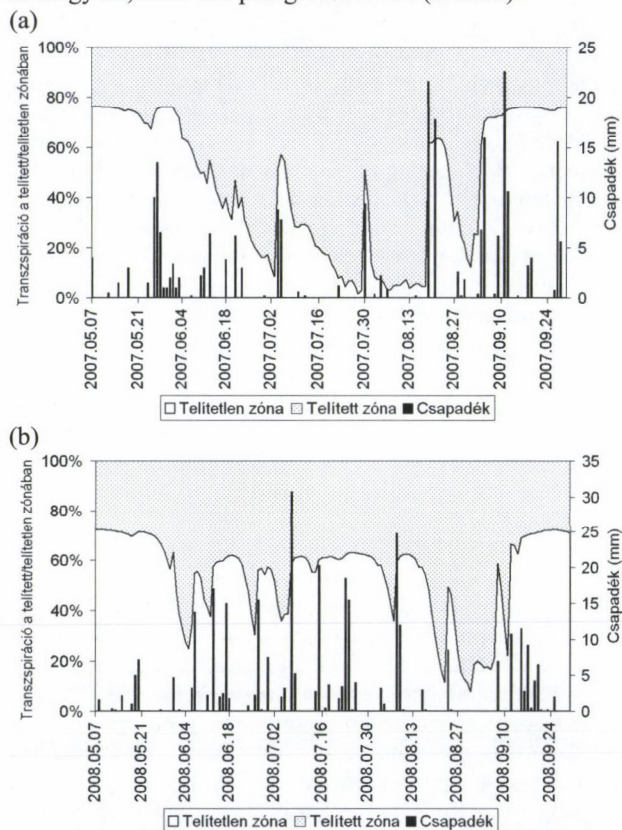
A tölgyes mintaterületen a teljes intercepció veszteség a csapadék 34,6% volt, melyből 27,0% volt a korona és 7,6% az avar intercepció, mely jó egyezést mutatott más intercepció kutatási eredményekkel (Führer 1994). A parlagterületen az intercepció veszteség kevesebb, mintegy 16,9%-a volt a szabadtéri csapadéknak. A tölgyesben az intercepció párolgás a csapadékesemények közben és alatt jelentősen növelte, míg a parlagon a felszín tározási kapacitása korlátozta az intercepció veszteséget.

A vízfelvételeért felelős gyökerek mindkét mintaterületen elérték a talajvíz kapillaris zónáját a teljes vizsgált időszak alatt, így az aktuális párolgotatás a potenciális transzspirációhoz hasonlóan alakult. A modell szerint a tölgyes mintaterület teljes transzspirációja a vizsgált időszakban mintegy másfélszerese volt a parlag mintaterület becslésnek.

Az irodalomban fellelhető tanulmányok különböző talajvíz-szinteket jelöltek meg a potenciális transzspiráció mélységét illetően, mely nagymértékben a helyi jellemzők függvénye (gyökérmélység, talaj fizikai félesége). Gazal et al (2006) vizsgálata szerint egy nyaras transzspirációja 1,8

m talajvíz mélységig a potenciálissal megegyező volt, ugyanakkor a 3 méternél mélyebb talajvízszintnél a transzspiráció már csak fele volt a lehetségesnek. A talajvizet folytonosan elérő és fogyasztó vegetáció transzspirációja csak kis mértékben reagált a talajnedvesség változásaira (Oren és Pataki 2001).

A mintaterületek talajvíz-fogyasztását a szimulált talajnedvesség-profil alapján határoztam meg. A telített és telítetlen zóna határának megállapításához az adott talajréteg szántóföldi vízkapacitás értékét használtam, melyben egy időben a kapilláris zóna tartózkodott. A Hydrus modell szimulációk alapján 2007 vegetációs időszakában a tölgyes mintaterület talajvíz fogyasztása a teljes transzspirációnak mintegy 66, 2008-ban pedig 50%-a volt (8. ábra).

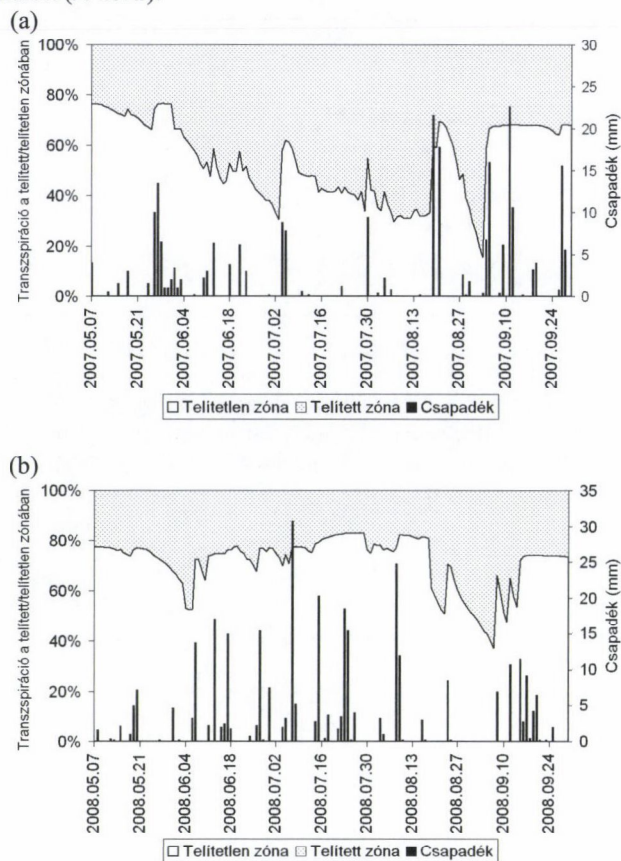


**8. ábra: A telített és telítetlen zóna vízfelvételi aránya és a csapadék változása a tölgyes mintaterületen 2007 (a) és 2008 (b) vegetációs időszakában**

A vízfelvétel változása 2007 vegetációs időszakában a nyáron fellépő aszály hatását mutatta. A nyár elejéig a telítetlen rétegek szerepe jelentős volt a párolgási igény kielégítésében, majd a nyár folyamán a rövid csapadékos periódusoktól eltekintve jelentősen visszaesett. A telített zóna aránya a teljes vízfelvételből a nyár száraz időszakában elérte a 90 %-ot is.

A csapadékos időjárás következtében a transzspiráció 2008-ban eltérő képet mutatott. A telítetlen zóna egész nyáron jelentős vízkivétellel volt jellemezhető, aránya 50-60 % körül mozgott a tölgyes mintaterületen. A mélyebb rétegekből történő vízkivétel a vegetációs időszak elején csak a rövid csapadégmentes időszakokban volt jellemző, majd augusztus folyamán jelentősen megnövekedett.

A parlag mintaterület aktuális transzspirációjának időbeni megoszlása a tölgyes mintaterülethez hasonló képet mutatott (9. ábra).



**9. ábra: A telített és telítetlen zóna vízfelvételi aránya és a csapadék változása a parlag mintaterületen 2007 (a) és 2008 (b) vegetációs időszakában**

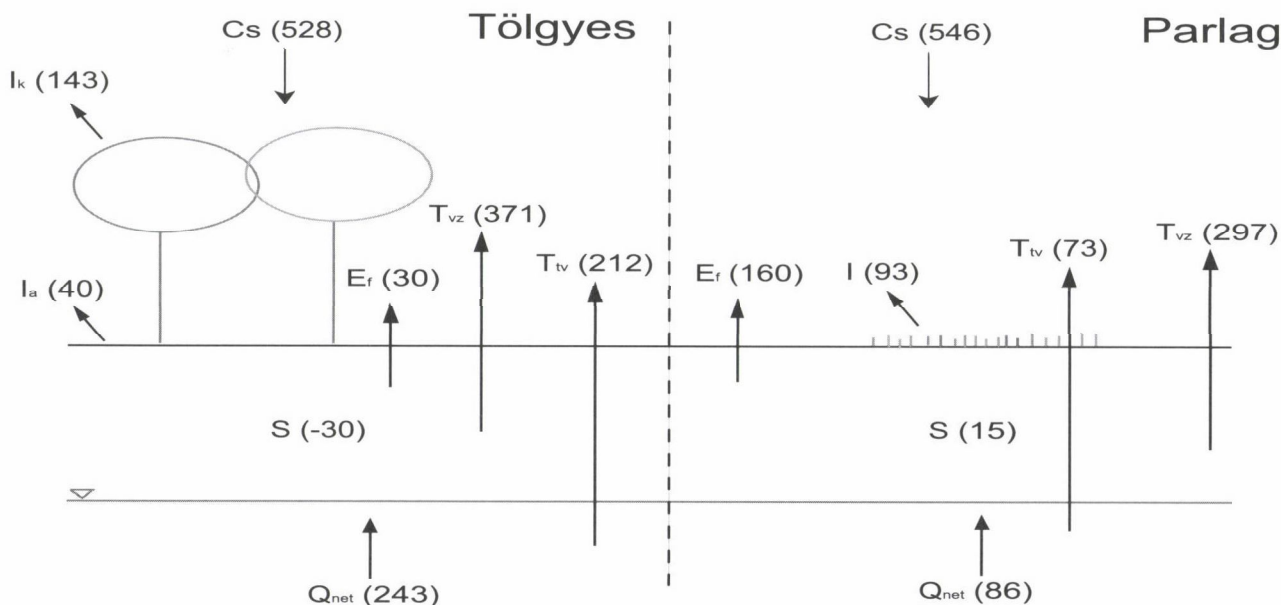
A talajvíz-fogyasztás a teljes transzspiráció 38 %-a volt a 2007. év vegetációs időszakában, míg 2008-ban csak 25 %

Összegezve, 2007-ben a nyári aszály következtében az erdő és gyepek egyaránt jelentős mértékben támaszkodott a mélyebb talajrétegek nedvességtartalékaira, így a talajvíz-készletre is, addig 2008-ban a csapadékos időjárás következtében a talajvíz párolgási vesztesége jelentősen visszaesett.

A modell eredmények szerint az aktuális talajfelszín evaporáció az evapotranszpirációnak mintegy 3,7 %-a volt a tölgyes és 25,6 %-a a parlag mintaterületen. A tölgyes mintaterületen az aktuális evaporáció és az avar intercepció összege együtt 11,6 %-át tette ki az evapotranszpirációnak. Az irodalmi források szerint a lombhullató erdők talajfelszínének párolgása a vegetációs időszakban az evapotranszpiráció 8-11 %-a körül jellemző (Moore et al 1996, Wilson et al 2000). A tölgyes mintaterület alacsony evaporáció értékei elsősorban az avarréteg következtében kialakult magas felszíni ellenállásnak volt tulajdonítható.

A parlag mintaterületen a talajfelszínen elérhető nettó sugárzás és így a talajfelszín evaporációs értékek is jóval magasabbak voltak, melynek következtében a felszínközeli talajréteg nedvessége a parlag mintaterületen jóval gyorsabban csökkent a csapadékeseményeket követően.

A teljes időszak Hydrus modellezéssel kapott vízforgalmi értékeit a 10. ábrán mutatjuk be.



10. ábra: A tölgyes és parlag mintaterület vízforgalmi összetevői mm/évben a vizsgált időszakban (2007.04.01-009.03.31), Cs: csapadék,  $I_k$ : korona intercepciós veszteség,  $I_a$ : avar intercepciós veszteség,  $I$ : intercepciós veszteség,  $T_v$ : talajvíz transzspiráció,  $T_{vz}$ : telítetlen zóna transzspiráció,  $E_r$ : talajfelszín evaporáció,  $Q_{net}$ : nettó talajvíz-utánpótlódás,  $S$ : talajvízkészlet változás

A modell eredmények alapján, a tölgyes mintaterületen az evapotranszspiráció (intercepciós veszteség + transzspiráció + talajfelszín evaporáció) mintegy 28 %-kal volt nagyobb, mint a parlagterületen.

Az egyes vízforgalmi komponenseket tekintve az erdő intercepciós vesztesége ( $I_k + I_a$ ) több mint duplája volt a parlagon ( $I$ ) becsültnek. Ellenben a talajfelszín evaporáció ( $E$ ) sokkal nagyobb volt a parlag esetén, mely elsősorban a tölgyes mintaterület avartakarójának kedvező párazáró hatásának tulajdonítható. Ugyanakkor a parlag transzspirációja mindössze ( $T_{vz} + T_v$ ) 2/3-a volt az erdőben ( $T_{vz} + T_v$ ) becsültnek. A tölgyes mintaterület talajvíz-fogyasztása ( $T_v$ ) a modell eredményei szerint közel háromszorosa volt a parlagterületen tapasztaltnak a két éves időszak alatt.

A talajvíz-fluktuáció módszerével meghatározott talajvíz-fogyasztás a Hydrus modellhez hasonló különbséget mutatott a két mintaterület között. A háttér talajvíz-utánpótlódás ( $Q_{net}$ ) magas transzspirációs hozamokat biztosított mindkét mintaterületen.

Mivel a gyökerek mindkét mintaterületen kapcsolatban voltak a talajvízzel a kapillaris zónán keresztül, így természetesen a gyökérszóna alatti szintek nedvessége (és a talajvízszint) is csökkent. Emiatt csak a gyökérszóna nedvességtartalom változása (0-150 cm, illetve 0-80 cm) nem fejezi ki a talaj vízkészlet-változását. A talaj vízkészlet-változása a teljes talajprofilban a kezdeti időponthoz képest nem változott számottevően, a tölgyes mintaterületen 6%-al csökkent, míg a parlagterületen 2%-al emelkedett a két év azonos időszakában.

A két mintaterület közötti arányok a vízforgalmi komponenseket tekintve nem változtak jelentősen a két vegetációs időszak között. A transzspirációbeli, illetve evapotranszspirációbeli különbség némileg csökkent a nedves 2008. évben. Ugyanakkor a talajvíz-fogyasztásban arányaiban nem jelentkezett eltérés a két mintaterület között az eltérő nedvesség-ellátottságú évek között.

A feltöltődési (nyugalmi) időszakok során a tölgyes mintaterületen kissé magasabb intercepciós veszteség volt jellemző. Ennek következtében a talaj vízkészletének feltöl-

tódése a tölgyes mintaterületen kismértékben elmaradt a parlag mintaterületen becsülthöz képest.

#### 4. Következtetések

Egy tölgyes és egy parlag vízforgalmi komponenseit becsültük 2007.04.01 és 2009.04.01 közötti időszakban. A vizsgálati időszak magában foglalt egy száraz és egy csapadékos évet egyaránt. A vízmérleg komponenseket Hydrus modell kalibrálásával számítottuk, a talajnedvesség és talajvízszint illesztésének segítségével. A fontosabb megállapítások a következők:

1. A modell eredmények alapján egy síkvidéki talajvíz-függő tölgyes evapotranszspirációja közel 30 %-kal volt nagyobb a közeli parlagterületen becsült értéknél a vizsgált periódusban.

- A vízforgalmi komponenseket tekintve a parlag intercepciós vesztesége alig fele volt az erdőben becsültnek, mely elsősorban az erdő csapadékesemények közötti nagyobb intercepciós párolgásának tulajdonítható.

- A parlagterület transzspirációja mindössze 2/3-a volt a tölgyes mintaterületen becsültnek.

- A talajfelszín párolgás a tölgyesben mintegy 1/5-e volt a parlagon becsültnek.

2. A tölgyes mintaterület talajvíz-fogyasztása a két határfeltétellel alkalmazott Hydrus 1-D modell eredményei szerint közel háromszorosa volt a parlagterületen tapasztaltnak.

- Az erdőben a talajvíz-fogyasztás a teljes transzspiráció közel 60 %-a, míg a parlag területen mintegy 30 %-a volt.

3. A talajvíz-fogyasztás aránya a teljes transzspirációból lényegesen nagyobb volt a száraz 2007-es vegetációs időszakban, mint a nedves 2008. évben, annak ellenére, hogy a talajvízmélység nagyobb volt 2007-ben mindkét mintaterületen. Az evapotranszspiráció összege viszont csak kissé változott a két vegetációs időszakban.

- A talajvíz-fogyasztás kb. 40 %-kal csökkent a 2008. nedvesebb vegetációs időszakban mindkét mintaterületen.

#### Köszönetnyilvánítás

A kutatást az Erdő-Klíma (NKFP 3B/2002/012), a Jedlik Ármós (NKFP 6-47/2005), a TÁMOP-4.2.2-08/1-2008-0020 és TÁMOP 4.2.2.B-10/1-2010-0018 "Talentum" projektek és az MTA Bolyai ösztöndíja támogatták.

## Irodalom

- Andre, F. - Jonard, M. - Ponette, Q.: Precipitation water storage capacity in a temperate mixed oak-beech canopy. *Hydrological Processes*, DOI: 10.1002/hyp.7013, 2008.
- Andressian, V.: Waters and forests: from historical controversy to scientific debate, *Journal of Hydrology*, 291: 1-27, 2004.
- Bosch, J.M. - Hewlett, J.D.: A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 55: 3-23, 1982.
- Dolman, A.J.: Summer and winter rainfall interception in an oak forest, predictions with an analytical and a numerical simulation model, *Journal of Hydrology*, 90: 1-9, 1987.
- Federer, C.A. - Vörösmarty, C. - Fekete, B.: Sensitivity of annual evaporation to soil and root properties in two models of contrasting complexity. *Journal of Hydrometeorology*, 4: 1276-1290, 2003.
- Fodor, N.- Rajkai K.: Számítógépes program a talajok fizikai és vízgazdálkodási jellemzőinek egyéb talajjellemzőkből történő számítására (TALAJTANonc 1.0). *Agrokémia és Talajtan*, 54: 25-40, 2005.
- Führer, E.: Csapadékmérések bükkös-, kocsánytalantölgyes és lucfenyves ökoszisztémában. *Erdészeti Kutatások*, 84: 11-35, 1994.
- Gash, J.H.C.: An analytical model of rainfall interception by forests. *Quart. J. R. Met. Soc.* 105: 43-45, 1979.
- Gazal, R.M. - Scott, R.L. - Goodrich, D.C. - Williams, D.G.: Controls on transpiration in a semi-arid riparian cottonwood forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 137: 56-67, 2006.
- Gácsi, Zs.: A talajvízszint észlelés, mint hagyományos, s a vízforgalmi modellezés, mint új módszer alföldi erdeink vízháztartásának vizsgálatában. *Doktori értekezés*, NyME, Sopron, 2000.
- Gribovszki, Z., Kalicz, P., Szilágyi, J., Kucsara, M.: Riparian zone evapotranspiration estimation from diurnal groundwater level fluctuations. *Journal of Hydrology*, 349: 6-17, 2008.
- Gribovszki Z., Kalicz, P., Szilágyi, J.: Napi periódusú változás a hidrológiai jellemzőkben. *Hidrológiai Közöny*, 89/2: 23-37, 2009.
- Jarvis, P.G.: The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B*, 273: 593-610, 1976.
- Járó, Z. - Sitkey, J.: Az erdő és talajvíz kapcsolata. *Erdészeti kutatások*, 85: 35-46, 1995.
- Ladekarl, U.L. - Rasmussen, K.R. - Christensen, S. - Jensen, K.H. - Hansen, B.: Groundwater recharge and evapotranspiration for two natural ecosystems covered with oak and heather. *Journal of Hydrology*, 300: 76-99, 2005.
- Larcher, W.: *Ökophysiologie der Pflanzen*. Stuttgart, 408p, 1994.
- Loheide II., S., Butler, J., Gorelick, S.: Estimation of groundwater consumption by phreatophytes using diurnal water table fluctuations: a saturated-unsaturated flow assessment. *Water Resources Research*, 41 (W07030): 1-14, 2005.
- Monteith, J.L.: Evaporation and the environment. *Symposium of the Society of Experimental Biology*, 19: 1579-1590, 1965.
- Moore, K.E. - Fitzjarrald, D.R. - Sakai, R.K. - Goulden, M.L. - Munger, J.W. - Wofsy, S.C.: Season variation in radiative and turbulent exchange at a deciduous forest in central Massachusetts. *Journal of Applied Meteorology*, 35: 122-134, 1996.
- Nachabe, M. - Shah, N. - Ross, M. - Vomacka, J.: Evapotranspiration of two vegetation covers in a shallow water table environment. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 69: 492-499, 2005.
- Oren, R. - Pataki, D.E.: Transpiration in response to variation in microclimate and soil moisture in southeastern deciduous forests. *Oecologia*, 127: 549-559, 2001.
- Pálfai, I.: Talajvízszint-süllyedés a Duna-Tisza közén. *Vízügyi közlemények*, 4: 431-434, 1993.
- Rawls, W. J., Giménez, D., Grossman, R.: Use of soil texture, bulk density, and the slope of the water retention curve to predict saturated hydraulic conductivity. *Transactions American Society of Agricultural Engineers*, 41 (4): 983-988, 1998.
- Roberts, J. - Rosier, P.: The impact of broadleaved woodland on water resources in lowland UK: I. Soil water changes below beech woodland and grass on chalk sites in Hampshire. *Hydrology and Earth System Sciences*, 9(6): 596-606, 2005.
- Rutter, A.J., Morton, A.J., Robins, P.C.: A predictive model of rainfall interception in forests II. Generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands, *Journal of Applied Ecology*, 12: 367-380, 1975.
- Šimunek, J. - Van Genuchten, M.Th. - Šejna, M.: The Hydrus-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. Version 3.0, HYDRUS Software Series 1, Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, Riverside, CA, 270 pp., 2005.
- van Genuchten, M.Th.: A numerical model for water and solute movement in and below the root zone. Unpublished Research Report, U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, CA, 1987.
- van Genuchten, M.Th., Leij, F. J., Yates, S. R.: The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils, Version 1.0. EPA Report 600/2-91/065, U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, California, 1991.
- von Hoyningen-Hüne, J.: Die Interception des Niederschlags in landwirtschaftl. Beständen. Schriftenreihe des DVWK 57: 1-53, 1983.
- White, W.: A method for estimating ground-water supplies based on discharge by plants and evaporation from soil. US Geol. Survey Water Supply Paper 659-A. United States Government Printing Office, Washington, DC, 1932.
- Wilson K.B. - Hanson P.J. - Baldocchi D.D.: Factors controlling evaporation and energy partitioning beneath a deciduous forest over an annual cycle. *Agricult. and Forest Meteorology*, 102: 83-103, 2000.
- A kézirat beérkezett: 2011. szeptember 17-én*
- MÓRICZ NORBERT PhD., Okl. geográfus, térinformatikus, Nyugat-magyar. Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet-és Földtudományi Int. Akadémikus, egyetemi tanár, Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet-és Földtudományi Intézet
- MÁTYÁS CSABA PhD (agrártudományok), Okl. biológia-földrajz szakos középiskolai tanár, egyetemi docens, talajtani szakmérnök, Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet-és Földtudományi Intézet
- BERKI IMRE Okl. erdőmérnök, Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet-és Földtudományi Intézet
- RASZTOVITS ERVIN Okl. térképész és hidrológus, címzetes egyetemi docens, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), University of Twente, Enschede, Netherlands
- VEKERDY ZOLTÁN PhD (erdészeti és vadgazdálkodási tudományok), PhD (építőmérnöki tudományok), Okl. erdőmérnök, egyetemi szakmérnök, vízepítő, vízkészletfeltárás, vízrajz, egyetemi docens, Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet

## Comparative Water Balance Study of Forest and Fallow Plots

Móricz, N. - Mátyás, Cs. - Berki, I. - Rasztovits, E. - Vekerdy, Z. - Gribovszki, Z.

## Abstract:

A complex water balance modeling was initiated in a drought-threatened lowland environment to clarify the uncertainties concerning the water usage of groundwater-dependent forests. The objective of the research was to estimate and compare water balance components of an oak and a fallow plot, exposed to similar site conditions, by calibrating two one-dimensional Hydrus models. Model simulations described the observed soil moisture and groundwater level sufficiently well. According to the results of the Hydrus model, the estimated ET at the oak stand was approximately 30% higher than at the fallow site during the two-year of the study. In the same period the groundwater consumption was three times higher in the forest than at the fallow site.

## Key words:

water balance, oak, fallow, groundwater consumption.