Budapesti Corvinus Egyetem

INTENZÍV CSERESZNYEÜLTETVÉNY VÍZFELVÉTEL DINAMIKÁJÁNAK MEGHATÁROZÁSA NEDVÁRAM MÉRÉSEK ALAPJÁN

Doktori (PhD) értekezés

JUHÁSZ ÁGOTA

Budapest

2012

A doktori iskola megnevezése:	Kertészettudományi Doktori Iskola
tudományága:	Növénytermesztési és kertészeti tudományok
vezetője:	Dr. Tóth Magdolna egyetemi tanár, DSc, tanszékvezető Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Gyümölcstermő Növények Tanszék
témavezető:	Dr. Tőkei László egyetemi docens, CSc, tanszékvezető Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés védési eljárásra bocsátható.

.....	.....
Az Iskolavezető jóváhagyása	A témavezető jóváhagyása

A Budapesti Corvinus Egyetem Élettudományi Területi Doktori Tanács 2012. március 6.-i határozatában a nyilvános vita lefolytatására az alábbi bíráló Bizottságot jelölte ki:

BÍRÁLÓ BIZOTTSÁG:

Elnöke:
Dr. Tóth Magdolna, DSc, BCE

Tagjai:

Dr. Bartholy Judit, DSc, ELTE

Dr. Bisztray György, DSC, BCE

Dr. Dunkel Zoltán, PhD, OMSZ

Dr. Felföldi József, DSc, BCE

Opponensek:

Dr. Lakatos László, PhD, DE

Dr. Simon Gergely, PhD, BCE

Titkár:

Dr. Honfi Péter, PhD, BCE

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS 7

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS 9

2. 1. A növények vízszállítása 9

2. 2. A nedváramlás mérés irodalma 14

2. 3. A növények nedváramának mérésére használatos módszerek 18

2. 3. 1. A szár hőegyensúlyának mérésén alapuló eljárás (stem heat balance method) 19

2. 3. 2. A hőimpulzus eljárás (heat-pulse method) 21

2. 3. 3. A radiális hőáram mérés, vagy hődisszipációs eljárás (heat dissipation method) 23

2. 3. 4. A szár szektor hőegyensúly eljárás (trunk section balance method) 24

2. 4. Párolgás 25

2. 4. 1. A párolgás folyamata, mérése és becslése 25

2. 4. 2. A párolgásszámítás fejlődésének áttekintése 28

2. 4. 3. Két és háromforrásos párolgásbecslő modellek 31

2. 4. 4. SVAT modellek 32

2. 4. 5. Haszonnövény koefficiens (K_c) 33

2. 5. Cseresznyeültetvények öntözésének jelentősége Magyarországon 36

3. CÉLKITŰZÉSEK 40

4. ANYAG ÉS MÓDSZER 41

4. 1. A kísérleti helyszín 41

4. 2. A kísérleti ültetvény 41

4. 2. 1. A vizsgált fák fajtája és alanyai 42

4. 3. Mérési metodika, mérési eszközök 44

4. 3. 1. Nedváramlás mérése 44

4. 3. 2. Meteorológiai paraméterek mérése 48

4. 3. 2. 1. A kísérleti terület mérési időszakra vonatkozó meteorológiai adatai 48

4. 4. Számítási módszerek 54

4. 4. 1. Haszonnövény transzspirációs koefficiens (K_{cb}) 54

4. 4. 2. Tényleges evapotranszspiráció 55

4. 4. 2. 1. Növényi transzspiráció 55

5. EREDMÉNYEK 60
5. 1. Cseresznyefák egyedi és ültetvényszintű vízfogyasztásának becslése nedváramlás mérésekre alapozva 60
5. 1. 1. A cseresznyefák különböző hónapokban mutatott vízfogyasztásának becslése 2008-ben 61
5. 1. 2. A cseresznyefák különböző hónapokban mutatott vízfogyasztásának becslése 2009-ben 65
5. 1. 3. A cseresznyefák különböző hónapokban mutatott vízfogyasztásának becslése 2010-ben 70
5. 1. 4. A cseresznyefák különböző hónapokban mutatott vízfogyasztásának becslése 2011-ben 71
5. 2. Cseresznyefák vízfelvételének üteme nappal és éjszaka 75
5. 2. 1. Napi nedváramlási karakterisztika 75
5. 2. 2. Az éjszakai nedváramlás jelentősége 78
5. 2. 2. 1. Az éjszakai nedváramlási karakterisztika 79
5. 2. 2. 2. Az éjszakai nedváramlás mértéke 79
5. 2. 3. Vízfogyasztás mértéke az egyes napszakokban 81
5. 2. 4. Nedváramlás és a környezeti tényezők kapcsolata 83
5. 3. Haszonnövény transzspirációs koefficiens (K_{cb}) 88
5. 4. Mért és modellezett párologtatás 92
5. 4. 1. A mérések és a számítások összevetése 92
5. 4. 2. Korona tetejezése, zöldmetszés 101
5. 4. 3. Érzékenységi vizsgálat 103
6. EREDMÉNYEK MEGVITATÁSA, KÖVETKEZTETÉSEK 105
6. 1. Cseresznyefák egyedi vízfogyasztása 105
6. 2. Cseresznyefák ültetvényszintű vízfogyasztása 106
6. 3. A cseresznyefák nedváramlásának karakterisztikája 109
6. 3. 1. Nappali nedváramlás üteme 109
6. 3. 2. Éjszakai nedváramlás 110
6. 4. A nedváramlás és a környezeti tényezők 112
6. 5. Intenzív cseresznyeültetvényre vonatkozó haszonnövény transzspirációs koefficiens 115
6. 6. Mérés és modellezés 116
6. 6. 1. Modell érzékenységi vizsgálat 117

6. 6. 2. A korona tetejezés hatása 118
6. 7. Gyakorlati hasznosítás a termesztésben 118
6. 7. 1. Továbblépési lehetőségek 119
6. 8. Új tudományos eredmények 120
7. ÖSSZEFOGLALÁS 122
8. SUMMARY 126
9. IRODALOMJEGYZÉK 130
10. MELLÉKLETEK 148
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS 160

Jelölések és rövidítések jegyzéke

K_c	haszonnövény koefficiens (crop coefficient)
K_{cb}	haszonnövény transzspirációs koefficiens (crop basal coefficient)
K_e	haszonnövény koefficiens evaporációs része (evaporation coefficient)
LA	levélfelület (m^2)
LAI	levélfelületi index
PET	potenciális evapotranszsiráció ($mm \cdot m^{-2}$)
r_{st}	sztómaellenállás ($s \cdot m^{-1}$)
r_{stmin}	minimális sztómaellenállás ($s \cdot m^{-1}$)
SF	nedváramlás (sap-flow)
SW modell	Shuttleworth–Wallace modell
TET	tényleges evapotranszspiráció ($mm \cdot m^{-2}$)
VPD	levegő vízgőztelítettségi hiánya (mbar) (vapour pressure deficit)
WS_2	Két méter magasan mért átlagos szélsebesség ($m \cdot s^{-1}$)
$\lambda \cdot E$	látens hőáram ($W \cdot m^{-2}$)

1. BEVEZETÉS

Az utóbbi esztendőkben a világon szinte mindenütt csökkent az öntözésre használható víz mennyisége és elérhetősége részben a területileg igen változékonyan fellépő szárazság és aszály, részben pedig az ipari, mezőgazdasági és lakossági vízszükségletek versengése miatt. Egyes számítások szerint a mezőgazdaság vízigénye az emberiség által használt vízmennyiség 50–60%-át teszi ki. Számos fontos termesztési terület szembesül jelentős csapadékmennyiség csökkenéssel, hiánnyal, vagy a globális klímaváltozással összefüggésbe hozható extrém esőzésekkel, vagy épp a hóolvadásból származó komoly áradásokkal, vagyis térben és időben gyakorta egyenlőtlen eloszlású, a vízháztartást meghatározó természeti jelenségekkel. Ilyen körülmények között a vízfelhasználás optimalizálására, a megfelelő mennyiségű és minőségű termés biztosítására pontos, átgondolt öntözővíz-gazdálkodásra van szükség. Az Egyesült Nemzetek Szervezetének egyik ún. vezérelve a „Blue Revolution" is a gazdaságos és hatékony vízgazdálkodásra – 'more crop per drop of water' (Annan 2010) – összpontosít. Ezen célok eléréséhez kulcsinformáció egy-egy ültetvény, tényleges vízfogyasztásának ismerete.

A víz fontos ökológiai faktor, meghatározó eleme az éghajlatnak és a mikroklímának. A megfelelő mennyiségű víz és tápanyagellátás fontos tényezője az optimális növekedésnek és a sikeres gyümölcstermesztésnek. Az Európai Unióban a gyümölcsösök (mintegy 2,5 millió ha, www.eurostat.eu) jelentős részben a dél-európai régiókban helyezkednek el, ahol nem kielégítő mennyiségű és eloszlású a csapadék. Az ültetvényeknek ma is jelentős részét, mintegy 29%-át évente legalább egyszer öntözik, s ez az arány a szélsőséges csapadékeloszlás és szárazság gyakoriságának növekedésével várhatóan tovább emelkedik. Magyarországon 2011-ben az összes megöntözött mezőgazdasági terület 79000 ha volt, melyből a legnagyobb arányt a szántóterületek öntözése (76,1%) foglalta el. Ezt követték a gyümölcsösök ~7%-kal, 5582 ha-os területtel, ezzel az utóbb említett művelési ág 44%-a részesült vízpótlásban (AKI 2011).

Sok termesztő nem csak a magasabb és jobb minőségű hozam miatt juttat ki öntözővizet, hanem hogy ültetvényét megóvja az aszálytól is. Az öntözőberendezések ökológiailag és financiálisan is gazdaságos, ugyanakkor hatékony üzemeltetéséhez, a vízkijuttatás pontos megtervezéséhez a növényzet pillanatnyi vízellátottságának ismerete kulcsfontosságú információ.

Nedváramlás kísérleti és ültetvény szintű párolgási modellezésünkhöz a cseresznyét választottuk, mivel a faj intenzív ültetvényeinek telepítése iránt növekszik az érdeklődés, s a teljes vegetációs időszakban bekövetkező vízfogyasztásáról, vízigényéről és annak időbeli eloszlásáról kevés információval rendelkezünk. A cseresznye kiválasztását egyéb tényezők is indokolják. A cseresznye (*Prunus avium* L.) közepesen vízigényes (G. Tóth 2001), a középhegységi lombos

erdők növénye, az erdészeti szakirodalomban a jó vízellátású termőhelyek jelzőnövényeként tartják számon. Ennek ellenére a cseresznyeültetvények öntözése korábban nem volt jellemző. Az öntözés igénye azonban egyre inkább jelentkezik azokban az intenzív ültetvényekben, amelyeket az utóbbi időszakban telepítettek, mivel termesztésünk a világpiacon ma már csak a megfelelő méretű (28–32 mm átmérő) cseresznyével maradhat versenyképes. Másrészt az intenzív ültetvényekben telepített nagyobb egyedszám (1000–3000 fa·ha^{-1}), a sorelrendezés, a korona alakítás és a levélfelület optimális szinten tartása további kérdéseket vetnek fel az ilyen ültetvények öntözési igényének meghatározásánál. 2011-ben Magyarországon a 232 ha cseresznyést öntöztek 328000 m^3 vízzel (AKI 2011).

A globális felmelegedés kapcsán a gyümölcstermesztés kritikus pontjává válhat hazánkban is a szárazabb vegetációs időszakból adódó elégtelen vízellátottság, valamint a megnövekedett öntözési költségek. Ez teszi fontossá, hogy minél pontosabb ismeretekre tegyünk szert a cseresznyefák vízigényét illetően, különösen az intenzív ültetvények esetében.

Kutatásom célkitűzéseit a téma hazai és nemzetközi irodalmának tanulmányozása, a szakterületen folyó kutatásokat áttekintése, a kevésbé feltárt területek feltérképezése után fogalmaztam meg, és a 2. fejezetet (*Irodalmi áttekintés*) követően a 3. fejezetben tüntettem fel.

A kutatást a GVOP-3-2-1-2004-04-0134/3.0 / „Vízfelhasználás meghatározása gyümölcsösben” pályázat , valamint a TÁMOP-4.2.1.B-09/1/KMR-2010-0005/ „Fenntartható fejlődés – Élhető régió – Élhető települési táj” projekt finanszírozta.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A növényállomány vízigénye annak a vízmennyiségnek a nagyságát fejezi ki, amely ahhoz kell, hogy a növények optimálisan fejlődjenek az adott konkrét viszonyok között, és ehhez a fejlődéshez ne a víz legyen a korlátozó tényező (Petrasovits 1989). A növényállomány vízigénye térben és időben nagyon összetett. Statikus oldala tulajdonképpen a bioszféra kívánatos víztelítettségi állapotát fejezi ki, dinamikus része pedig az a vízmennyiség, ami folyamatosan szükséges ahhoz, hogy a kívánt állapotot tartósan fenntartsuk. A növényállomány vízfogyasztása az egész tenyészidőszak alatti optimális vízellátás esetén azonos a dinamikus vízigénnyel. A természetes vízkészlet ésszerű kihasználása csak úgy lehetséges, ha akkor és olyan mennyiségben van jelen, ahogyan azt a növénytermesztés megkívánja.

2. 1. Növények vízszállítása

A víz megléte az élőlények alapvető életfeltétele. Olyan funkciókat lát el a növény életében, melyre más anyag nem képes. Számos vegyület oldószere. A gyökérsejtekbe jutó ionok mozgásának közege és szállítóeszköze. A legkülönbözőbb tápelemek, ionok vizes oldat formájában jutnak el az egyes szervekbe, a felhasználási és beépülési helyükre. A víz létrehozza a protoplazma duzzadt állapotát, hozzájárul a növények szilárdításában fontos turgor fenntartásában. Szerepet játszik a növényi test hőháztartásának alakításában (Pethő 1993) Bizonyos hőmérséklet felett az anyagcsere kritikus mértékben felgyorsul. Ekkor a légzés – mely energiafelhasználással jár – több szárazanyag lebontódást eredményez, mint az ugyanannyi idő alatt bekövetkező szárazanyagképződés. A víz párologtatása hűti a növényi szöveteket, elkerülve a nagyon magas hőmérsékletet. A fotoszintézis elengedhetetlen kelléke. A víz tartós hiánya vagy túlzott bősége hatalmas károkat okozhat a növénytermesztésben. Amennyiben a termesztésben a növények nem kapják meg folyamatosan és kellő mennyiségben a vizet, életfolyamataik vontatottakká válnak, a termés mennyisége csökken, minősége romlik. A termesztés eredményessége az ökológiai tényezők, a vízgazdálkodási beavatkozások és a termesztéstechnológiai beavatkozások kölcsönhatásának az eredője (Petrasovits 1988). A vízhiány káros hatásának mértéke függ a növényi életszakasztól, az alkalmazott művelési technikától, a növény fejlettségi és egészségügyi állapotától. A növény a szükséges mennyiségű vizet a környezetből szerzi be, nagyobb részét a talajból, kisebb részét a légkörből fedezi. Ez utóbbi közeg inkább a növényi párologtatás ütemét szabályozó külső tényezőként viselkedik, nem pedig közvetlen vízforrásként.

A termesztésben a növényi szervezet vízforgalmi zavaraival akkor találkozunk a leggyakrabban, amikor az aktív vízfelvevő gyökérzóna talajának víztartalma olyan mértékben csökken, hogy az egyes növényi szervekhez nem jut el a szükséges mennyiségű víz a kívánt ütemben. A növény vízellátottságának hiányosságait ez esetben a talajnedvesség olyan alacsony szintje okozza, amikor már nem képes felvenni a gyökérzet a megkötött vizet, az a talajaszály (Vermes 1997).
Légköri aszályról beszélünk, amikor a párologtató növényi szerv körüli levegő nagyfokú telítési hiánnyal bír, és ez eredményezi a gyökérzet vízszállító kapacitása és a transzspiráció intenzitása közötti egyensúly megbomlását és a vízhiány káros következményeit.
Amikor a vízfelvevő gyökérzóna körül igen alacsony a talajhőmérséklet – kora tavasszal – ugyanakkor a levegő telítettségi hiánya magas, a vízleadás üteme nagyobb lehet, mint a gyökérzet vízfelvételének üteme, ez a fiziológiai aszály. Az aszály a tartós és a korlátozott vízhiány révén korlátozza a növények biológiai potenciáljának az érvényesülését (Vermes 1997).
A növények vízforgalma rendkívül komplex élettani folyamat. A növényi szervezetbe a víz rendszerint a gyökéren keresztül jut be, és legtöbbször a leveleken keresztül gáz halmazállapotban, a transzspiráció folyamata révén távozik (előfordul cseppfolyós kiválasztás is: guttáció, könnyezés) (Cseh 2007). A vizet felvevő és leadó növényi szervek nagy távolságokban helyezkednek el egymástól, így köztük nagy mértékű víztranszportnak kell megvalósulnia.
A tápanyagok és a víz szállítása a növényi szervezetben szállítószövet-rendszerrel megy végbe. A teljes szöveti és szervi differenciálódást, így a szállítószövet-rendszer létrejöttét is a növényeknek a vízből a szárazföldre jutása segítette elő. A hajtásos növények esetében a víznek el kell jutnia a levelekbe ill. a test minden élő sejtjébe. Ezzel egy időben a levelek fotoszintetikus asszimilációs működésével készített szerves tápanyagokat is továbbítani kell az élő sejtekhez és a raktározó szervekhez. Ezen összetett tápanyagszállítást végző sejteknek és szöveteknek az összessége a szállítószövet-rendszer, mely a növényi test legváltozatosabb szövetelemeiből épül fel.
A szállítószövet-rendszer sejtjei a legkisebb ellenállást nyújtva, a szállítás irányába megnyúltak, végfalaik, a nagyobb érintkező felület biztosítása miatt ferdén állnak. A végfalak vagy gödörkésen vastagodottak (ez teszi lehetővé a diffúziós anyagáramlást), vagy perforáltak, esetlegesen teljesen felszívódnak. A kettős feladatot ellátó szövetrendszer két részre osztható: a vizet szállító és fásodott falú sejtes elemekből felépülő farészre vagy xilémre (xylem, xylon = fa), és az asszimilátumokat szállító és a cellulóz falú sejtes elemekből álló háncsrészre vagy floémre (phloem, phloios = héj, kéreg). Az aktív vízszállító xilém rész nagyon vékony, gyakorlatilag pár sejtsor vastag (Raschi et al. 1995, Granier et al. 1996, Béres et al. 1998), amely érzékeny az embolizációra, kavitációra. A hidroaktív zónában a szállítás bonyolult

háromdimenziós hálózatban történik a legkisebb hidraulikus ellenállás irányában. Ebben a rendszerben a hidraulikus ellenállást számos tényező befolyásolhatja, mint pl. a hőmérséklet, a szállított nedv iontartalma, mechanikai sérülés. A kavitáció során az embolizált edények körül radiális vízpotenciál gradiens alakul ki, amely lehetővé teszi, hogy a szomszédos edényekből, szövetekből víz áramoljon a levegő tömítette edényekbe. A xilém szerkezete évről-évre módosul a kifejlődő új évgyűrűk következtében. A szállítóelemek ritkán fordulnak elő egyenként, rendszerint csoportosulva kötegeket alkotnak. A szállítósejtek kötegeit nevezzük szállítónyaláboknak vagy edénynyaláboknak (Szalay 2004). A szállítónyalábok a növény tengelyében többnyire hosszanti irányban állnak, de egymással is kapcsolatot létesítenek. A levélnövekedéssel egybekapcsolva, amikor a lemez kezd kialakulni, a szállító faelemek és háncselemek a levélben is – úgy, mint a szárban – differenciálódnak. A hordozóelemek a levélben is kötegeket, nyalábokat alkotnak. A levelekben a nyalábrendszer a levél erezete. A nyalábok összeköttetése lehetőséget nyújt a növényi testet átjáró összefüggő szállítórendszer meglétére.

A víz továbbításáért felelős xilém sejtes elemei a vízszállító sejtek vagy tracheidák, a vízszállító csövek, vagy tracheák, a faparenchimasejtek, a bélsugár-parenchima és szilárdító farostok (Pethő 1993). A tracheidák hosszúra nyúlt, hengeres vagy szögletes keresztmetszetű, meredeken ferde és gödörkézett végfalú, oldalfalain spirális, gyűrűs, hálózatos gödörkés, vizet szállító elhalt sejtek. A trachea és a tracheidastruktúra lehetővé teszi a gyors vízszállítást. Fás növényekben 16–45 $m \cdot h^{-1}$ értékeket mértek 100–200 μm sugarú xilém elemeknél (Cseh 2007). A vízszállító csövek egymás fölött elhelyezkedő tracheatagokból épülnek fel. Harántfalaik perforáltak vagy teljesen felszívódtak. A tracheákban zavartalanul áramolhat a nedv, ezért sokkal jobb szállítók, mint a tracheidák. A bélsugármezőben való trachea-elrendeződés alapján megkülönböztetünk gyűrűs pórusú és szórt pórusú fákat. A faparenchima-sejtek a xilém élő, plazmatartalmú elemei, amelyek a tápanyagok szállításában, és raktározásában vesznek részt. A cseresznyében a faparenchimák különösebb rend nélkül helyezkednek el az évgyűrűmezők szállítóelemei között (szétszórt apotracheális parenchima (Haraszty 1979). A farostok hosszúra nyúlt, vastag falú, szűk üregű elhalt fásodott falú sejtek.

A víz mozgása

A víz mozgását a gyökér szöveteiben több tényező irányítja. Abban az esetben, ha a vízmozgás elsődleges energiaforrása a gyökerek anyagcseréje, aktív vízfelvételről beszélünk. A passzív vízmozgás – mely az esetek többségében mennyiségileg jelentősebb, mint az aktív – vezérlője a vízpotenciál-különbség (Cseh 2007) a talaj-növény-légkör rendszerben. A víz mozgásának a fő

mozgatórugója egy fizikai folyamat, a lombkorona transzspirációja, „szívóereje”. (Természetesen a fő anyagcsere-folyamatok ennek szabályozásában is részt vesznek.)

A növényi testben a víz számos (táp)anyagot szállít oldott formában (nedv). A nedváramlás, együttesen jelenti a nedv rendezetlen hőmozgáson alapuló diffúzióját, ill. a határozott irányú tömegáramlást is, ami például a xilémben történik, kutatómunkánk során ezt az áramot mértük. Ellenállásnak nevezhető minden olyan tényező, mely nehezíti a víz mozgását.

A víz mozgásának fő törvénye a fizikából ismeretes Ohm-törvény ismeretében:

$$J = \frac{\Delta\psi}{\Sigma},$$

ahol J a vízáramlás erőssége, $\Delta\Psi$ a vízpotenciál-különbség, Σ a vízforgalmi ellenállások összege.

A víz „munkavégző képességét”, azaz a vízpotenciált (vízgőznyomás arányos a víz munkavégző képességével) befolyásolja a kis molekulájú anyagok és oldott ionok jelenléte (ozmotikus potenciál, Ψ_s), a kolloidok, kapillárisok és egyéb felszínek vízmegkötése (mátrixpotenciál, Ψ_m), ill. a pozitív vagy negatív hidrosztatikai nyomás (nyomáspotenciál, Ψ_p). Ezek együttesen adják a rendszer eredő vízpotenciálját (vízpotenciál, Ψ), mely negatív előjelű nyomási egységekben (bar, mbar) adható meg:

$$\psi = \psi_s + \psi_m + \psi_p.$$

Passzív vízmozgás akkor lehetséges, ha két érintkező rendszer (pl. növényi test–légkör) vízpotenciálja eltér egymástól (Pethő 1993). Ha a környezet vízpotenciálja negatívabb, mint a növényi sejteké, akkor a növény vizet veszít. A növények és az őket körülölelő légrétegek vízpotenciáljai kiegyenlítődésre törekszenek.

A levegő nedvességtartalmának és hőmérsékletének ismeretében, a levegő vízpotenciálja az alábbi képlet alapján számítható:

$$\psi_{lev} = \frac{R \cdot T}{v_w} \cdot \ln\left(\frac{f}{100}\right),$$

ahol R a gázállandó, T a léghőmérséklet (°C), v_w a nedves levegő térfogata ($g \cdot m^{-3}$), f a relatív nedvesség (%).

A növények jellegzetes víz és ásványi tápanyagfelvevő szerve a gyökér. Mint külső tényező, a talaj hőmérséklete, vízgazdálkodása és levegőtartalma is befolyásolja a folyamatot. A talajok víztartalma két részre oszlik. A kötött vizet (kémiailag, higroszkóposan, biológiailag) a növények nem képesek felvenni, számukra hozzáférhetetlen. Az ún. szabad vizet – mely a talaj pórusterében, a hézagokban helyezkedik el – fel tudják szívni a gyökerek. A talaj vízháztartása ezen hézagok nagyságától és mennyiségétől nagyban függ. Az, hogy a gyökérzet egyes részei milyen szerepet játszanak az aktív és passzív vízfelvételben komplikált kérdés. Az aktív ionfelvétel jellemző a gyökércsúcsra, annak is inkább a korábban kialakult szakaszára. Ezzel szemben a passzív vízfelvétel zónája az elsődleges szöveti szerkezetű gyökerekben, a gyökérszőrös szakasszal esik egybe. Ez a zóna vízszállító elemekkel jól ellátott. Ha a transzspiráció erős, vagy a talaj vízpotenciálja alacsony, a legintenzívebb vízfelvétel eltolódhat a gyökér alapi része, vagyis a szár felé (Szalay 2004).

A vízpotenciálok különbsége önmagában csak a vízáramlás irányát szabja meg, az áramlás erőssége azonban függ az ellenállásoktól is. Minél nagyobb az ellenállás, annál nagyobb potenciálkülönbségnek kell lennie, hogy a víz keresztülmehessen rajta. A talaj és a mezofillum között kicsi az ellenállás a vízáramlással szemben. A víznek a cseppfolyós áramlása a levélmezofillum sejtjeinek faláig tart. Innen gőz formájában halad tovább diffúzióval, vagy konvekcióval. A gőzzé alakulás nagy ellenállással egyenértékű. Igen nagy ellenállást jelenthet a sztómák viselkedése. Az epidermisz folytonosságát a gázcserenyílások szakítják meg. Két zárósejt egymás felé forduló hasi fala egy hasadásos nyílást, a légrést hagyja szabadon, mely alatt a bőrszöveten belül légudvar alakul ki, mely befelé intercelluláris járatrendszerben folytatódik. A sztómák a sejtközi járatrendszer – ahová a vízmolekulák a levélsejtekből távoznak – felszíni kivezető nyílásaként szolgálnak. A fotoszintetikus szervesanyag építés, a CO_2 felvétel és a párologtatás szabályozása miatt nélkülözhetetlen funkciót töltenek be a növényi testben. A sztómák tehát a párologtatás fő szervei. A vízmolekulák a légrésen át távoznak a légkörbe a vízgőzzel telített intercellulárisokból. A zárósejtek a különleges felépítésüknek köszönhetően a légrést tágítani vagy szűkíteni tudják, s ezzel képesek a transzspirációt fokozni vagy csökkenteni. A légrés zárása és nyitása részben a zárósejtek vízzel való telítettségének a függvénye.

A növény föld alatti részében a vízáram sok ágból gyűlik össze, a talaj feletti részben pedig erőteljesen szerteágazik. Minden egyes ág, levél, levélér, sejt, a sejtek fala és plazmája külön elágazás. Kirchoff elektromágnességtani törvényére gondolva, itt is érvényes, hogy az elágazásokban folyó áramok erőssége fordítottan arányos az egyes elágazások ellenállásával.

A víz nagy távolságra történő szállításának útjai a már említett tracheák és tracheidák. A kapilláriscsövek vízvezető képessége átmérőjük negyedik hatványával arányos (Hagen–

Poiseuille-törvény). A törvény érvényes a vízszállító elemekre, így a különböző fajok vízszállításának legnagyobb mérhető sebessége kapcsolatot mutat szállítóelemeik szélességével. Magyarországon a tölgyek tracheái a legszélesebbek, a vízáram sebessége bennük akár 40 $m \cdot óra^{-1}$ is lehet (Haraszty 1979). A keskeny tracheájú hársban, bükkben, korai juharban maximum néhány méter az óránként felfelé mozgó víz sebessége. Ezen adatoknál azonban nem vették figyelembe a működőképes szállítóelemek számát, reálisabb képet ad, ha egységnyi keresztmetszet vízvezető képességét mérjük (Végvári et al. 2008).

Mint ismeretes a növény az átmeneti vízhiányra a különböző életszakaszokban eltérő módon és mértékben reagál. A gyümölcstermesztésben is nélkülözhetetlen ismerni azokat az időszakokat, amikor a tartós vízhiány visszafordíthatatlan, terméscsökkentő károkat okozhat az ültetvényben. Az öntözések során elsősorban ezekben a kritikus periódusokban kell eljuttatni a növényeknek szükséges vizet (Petrasovits és Balogh 1969).

2. 2. A nedváramlás mérés irodalma

A növényi vízvesztést vagy a klímaadatokból számított potenciális evapotranszspiráció és az adott növényre jellemző koefficiens kombinációjából következtetik (Allen et al. 1998a), vagy közvetlenül mérik, amire számos metódus és rendszer, időskála létezik (Wilson et al. 2001).

Hagyományosan az öntözővíz mennyiségének kiszámítását a talajnedvességi és meteorológiai adatokra alapozták. Ezek a módszerek azonban figyelmen kívül hagyják a növények vízhiányra, vagy éppen a túlzott vízellátottságára, túlöntözésére adott válaszát. Nem tükrözik pontosan az aktuális vízállapotot. Nem túl precízek, hiszen nem kalkulálnak a lokális mikrometeorológiai változásokkal, melyek akár az ültetvény különböző részein belül is felléphetnek.

A növényzet által elpárologtatott víz mérésére többféle módszer létezik. Az általunk is használt nedváram mérő eszköznek (Valancogne és Nasr 1989, Ham et al. 1990, Weibel és de Vos 1994, Weibel és Boersua 1995) számos előnye van az egyéb eljárásokkal szemben. A porométeres sztomatikus vezetőképességgel szemben a nedváram mérés kevésbé munkaigényes és nagyobb időbeli felbontást nyújt (Chen és Lenz 1997). A növénykamrák hátránya, hogy az ültetvény nem vizsgálható saját természetes közegében, csak egy megváltoztatott mikroklimatikus térben (González–Altozano et al. 2008, Reicosky 1985). Az izotópos nyomkövetés csak hosszabb periódusok középértékét adja eredményül, a hosszútávú folyamatos mérés pedig nem ajánlott ezen kémiai anyagokkal (Bariac et al. 1994). A humán egészségügyben alkalmazott MRI (Magnetic Resonance Imaging - mágneses rezonancia képalkotás) technika költséges és többnyire helyhez kötött. A liziméteres vizsgálatok (Lenz 1985) csak kisebb méretű fák vízfogyasztás mérését teszik lehetővé.

A vízmérleg számításoknál bizonytalan tényezőt jelent a talajfelszíni és felszín alatti vízelvezetés és vízelfolyás számítása. A mikrometeorológiai eljárások közül a Bowen-hányados (Heilman és Brittin 1989, Gutiérrez és Meinzer 1994, Pruger et al. 1997), és az eddy-kovariancia (Baldocchi et al. 1996, Takagi et al. 2006) módszerek jó időbeli felbontást biztosítanak, ugyanakkor drága, bonyolult felszerelés szükséges hozzájuk, és többnyire csak homogén, sík területen alkalmazhatók. Az aerodinamikai módszerek eszközparkja is költséges és komplex (Perrier és Tuzet 1991). Infravörös gázcsere egység az egyéni levelek transzspirációjának mérésére alkalmas, gyengesége azonban, hogy a teljes lombkoronára történő extrapolálással jelentős felülbecslés léphet fel. A levelek gázcseréjét számos tényező befolyásolja, úgy, mint a levél mikrokörnyezetében fellépő stresszhatások (pl. hőstressz), a gyümölcs súlyterhelése (Flore és Sams 1986) a levél kitettsége (Sams és Flore 1982), a napsugár beesési szöge (Flore és Lakso 1989), a sztómavezetés változása (Schulze 1986). Ezért a készülék továbbfejlesztett változatát, a teljes fát körülvevő gázcserekamrát használják leginkább (Long et al. 1996, Corelli-Grapadelli és Magnanini 1993, Katerji et al. 1994, Miller et al. 1996). Ennek a használata kissé bonyolult és még az egész fát körülölelő kamránál is előfordul a transzspiráció felülbecslése.

A mikrometeorológiai és vízmérleg eljárások becslést adhatnak az evapotranszspirációra, míg a nedváram mérésével kimondottan a növényi transzspiráció mérhető háborítatlan természetes körülmények között. Ennélfogva ezen módszerrel szétválasztható a növény és a talaj párolgása.

A nedváram sebességének mérésével becsülhető a növényi vízfelvétel (Cabibela et al. 1997, Alarcón et al. 2000, Fernandez et al. 2001, Santos et al. 2007, Greven et at. 2009); köztük a gyümölcsösök (Green és Clothier 1988, Green 1993, Valancogne et al. 1993, Alarcon et al. 2005) szántóföldi termények, erdészeti kultúrák (Granier et al. 1996, Köstner et al. 1998, Tournebize és Boistard 1998, Lundblad et al. 2001, Bleby et al. 2004), hidrofiták (Herbst és Kappen 1999, Takagi et al. 2006) természetes vegetációk vízfogyasztása. A ültetvényekből származó mérési adatsorokkal feltárható az állomány párolgási összege. A növekedési modellek kitűnően pontosíthatók a vízfogyasztási, nedváram információkkal. A talaj-növény-légkör rendszerben történő mérések együttesével számos visszacsatolási folyamat szimulálható. A növényélettani kutatásokkal együtt rávilágíthatunk a sztómák nyitódását-záródását irányító „külső” szabályozó folyamatokra. Az állomány különböző rétegeiből származó transzspirációs adatokkal felismerhetővé válnak az egyes szintek hidraulikus vezetési viszonyai, melyek a mikrometeorológiai folyamatokkal együtt változnak. Nem csupán a kertészetben, hanem az erdészetben, a mezőgazdaságban, az ökológiában is fontos adatok nyerhetők a nedváram mérő eszköz használatával. A nedváramlás megfigyelésével a növény egészségi állapota, fiziológiai fejlődése (Ryan et al. 2000, Catovsky et al. 2002) a betegségek terjedése felismerhető (Veperdi

1996), a belső szöveti elhalás időben történő felfedezése segítséget nyújthat a visszafordíthatatlannak tűnő folyamatok megállításában (erdőpusztulás). Az egyes fajok, fajták rezisztenciája, kártevőkkel, rovarokkal szembeni ellenálló képessége is feltárható. A levegőminőség monitorozásával összhangban, a légszennyezettség hatása a fotoszintézis és a respiráció folyamataira közvetetten mérhető a nedváram mérővel. A genetikai módosulások, a feldúsuló szén-dioxid hatása a termények vízfelhasználására is vizsgálható. Fontos információk nyerhetőek a termesztésben alkalmazott kezelésekről, a talajvíz vagy a talajszennyeződés okozta roncsoló hatásokról.

A szezonális és az aktuális időjáráshoz viszonyított vízkövetelés precízen meghatározható a rendszerrel, ezzel az öntözés igényekhez való igazítása javítható (Ginestar et al. 1998a, Fernández et al. 2001, Remorini és Massai 2003).

Ezen széleskörű felhasználások alapján látjuk, hogy a nedváram mérésnek kiemelkedő szerepe van a kertészek, erdészek, mezőgazdák hidrológiai problémáinak megoldásában.

A nedváramlás mérés hazai irodalma

Magyarországon elsősorban erdészek használták a nedváram mérés módszerét az egyes fajok egészségi állapotának feltérképezésére. Fenyvesi et al. (2002) kocsánytalan tölgyek (*Quercus petraea*) egészségi állapotának feltérképezésére többféle nedváramlási módszert is alkalmaztak. Használták a Granier féle hődisszipációs eljárást, valamint a hőimpulzus elven működő eszközt, ill. ^{43}K izotópos nyomkövetéssel dolgoztak. Csejtei et al. (2006), Béres (2008), Béres és Németh (2009) különböző erdészeti fajok vízforgalmát tanulmányozták hasonló módszerekkel (kiegészítve MRI és tomográfiás mérésekkel). Koppán (2006) csertölgyön (*Quercus cerris*) tanulmányozta az elektromos potenciálkülönbség-változás és a xilémben folyó nedváramlás viszonyát.

Kertészeti kultúrákon Tőkei et al. (1992, 1998, 2001ab, 2003, 2005) kutatásai ismertek leginkább a magyar irodalomban. Almafán (*Malus domestica*) és bodzán (*Sambucus nigra*) (Tőkei 1995, 1997) később cseresznyefán (*Prunus avium*) (Tőkei et al. 2003) történtek nedváramlás mérések hőimpulzus eljárás módszerrel. Sipos és Tőkei (1999) bodza (*Sambucus nigra*) vízforgalmi viszonyait tanulmányozták az említett eljárással. Ács et al. (2001) cseresznyeállományok (*Prunus avium*) nedváram-mérését végezték terepi körülmények között. Hrotkó és Tőkei (1999) a nedváram-mérés gyümölcsfa-alanykutatásba történő bevonásáról értekezett.

Juhász et al. (2008abc, 2010ab, 2011ab) cseresznyeegyedeken mérték a különböző alany-nemes kombinációk vízfelhasználását szár-hőegyensúly eljárás alapján működő eszközzel. Lakatos és Bubán (1999) ’Florina’/M26 almafák nedváramlását mérték hődisszipációs módszerrel. Érdemes

megemlítenünk Veperi (1996) munkáját, aki erdőállományok (kocsányos-, kocsánytalan és csertölgy/*Quercus robur, Quercus petraea, Quercus cerris*) egészségi állapotát vizsgálta a hőimpulzus szondához hasonló elven működő, elektromos ellenállás mérésére alkalmas kondícióméterrel. Duplatűs szondát a háncson és a kambiumon keresztül a farészbe szúrva, az egyik tű elektromos impulzusokat bocsát a szállítószövetekbe, az érzékelő tű pedig méri az elektromos ellenállást. A növények elektromos vezetőképessége megváltozik, ha kedvezőtlen környezeti hatások érik, vagy betegség támadja meg őket. Az egészségi állapot romlása hamarabb detektálható a fák belső fiziológiai folyamataiban jelentkező zavarral, minthogy azt még külső, szemmel látható tünet is jelezné. Ha nincs elegendő víz vagy tápanyag, ha biotikus vagy abiotikus stressz éri a fát, akkor a szállítószövetek elektromos ellenállása megváltozik, a szállítás intenzitása csökken. Minél magasabb az elektromos ellenállás értéke, annál gyengébb a fa vitalitása.

Az éjszakai nedváramlás

Bár úgy tűnhet, hogy a sztómák valamilyen szintű nyitottságával a növénynek jelentős ráfordítást (veszteséget) jelent az éjjeli párolgás, ez nem feltétlenül van így.

Általánosan elfogadott tény, hogy a C3 és C4-es növények sztómaszűkítéssel minimalizálják párolgási vízveszteségüket éjszaka, amikor nincs lehetőség a fotoszintézisre. A gázcsere mérések alapján ismert, hogy néhány faj jelentős mértékű sztómavezetésre és transzspirációra képes az éjjeli órákban (Wieser és Havranek 1993, Matyssek et al. 1995, Assaf és Zieslin 1996, Donovan et al. 1999, Lasceáve et al. 1997). Az éjjeli transzspiráció többek között a levél és légkör közötti vezérlő gradiensektől (pl. telítési hiány) függ (Caird et al. 2007).

A cseresznyefákon végzett éjszakai nedváram mérési tapasztalatainkról a 5. 2. 2 fejezetben írunk.

Az éjszakai párologtatásnak komoly fiziológiai haszna lehet, például a tápanyag felvételében. Az éjjelbe nyúló transzspiráció növeli a gyökérzet teljes napi vízáramát, mely a megfelelő NO_3^- ellátás miatt fontos (Nye és Tinker 1977, McDonald et al. 2002). Másik jelentősége, hogy a nappali 'stresszes' időszakban a xilémben jelentkező kavitáció az éjjeli hidraulikus vezetést következtében megszűnhet (Cseh 2007). Zwieniecki et al. (2001) vízzel és ionos oldattal öntözött növénynél, a xilém vízvezetésében gyors és visszafordítható változást tapasztalt, és a hidraulikus vezetés akkor volt a legnagyobb, amikor az öntözésre felhasznált oldat iontartalma leginkább megközelítette a növényben keringő nedv összetételét. Ebből arra következetett, hogy a növény 'öngyógyítást' végez megfelelő ionszabályozó vízáramoltatással, és ez megköveteli a sötét (éjjeli) órákban is a folyamatos párologtatást. Az éjjeli nedváramlás azoknál a növények is

fontos lehet, melyek magas koncentrációban halmozzák az ionokat és az oldott anyagokat, az éjjeli párologtatás segítségével viszont megakadályozzák a túl magas nappali levél turgort (Donovan et al. 1999, 2001).

Több kutató mind természetes, mind szabályozott körülmények között a hajnali órákat megelőzően a sztómanyitódásról számol be (Schwabe 1952, Muchow et al. 1980, Lasceve et al. 1997, Leymarie et al. 1998, Bucci et al. 2004, Dodd et al. 2005, Howard és Donovan 2007). Az lúdfűnél (*Arabidopsis thaliana)* például az átlagos minimális vízvezetés 0,117 $mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ lassan emelkedik 0,161 $mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$-re a kora hajnali órákra, és eléri a 38%-os növekedést (Lasceve et al. 1997).

Az éjszakai minimális mértékű nedváramlási értékek érzékelése, regisztrálása a nedváramlás mérés kényes pontja. Nem mindegyik eljárási móddal működő készülék képes megkülönböztetni a nagyon alacsony áramlási értékeket a teljesen szünetelő (zérus) áramlástól (low flow-no flow) (Becker 1998). A legpontosabb szenzorok 0,015 $l \cdot s^{-1}$ nedváramot képesek érzékelni (Vértessy et al. 1997). A hőimpulzus eljárással (2. 3. 2. fejezet) működő eszközt főként nappali vízfelvétel monitorozására használták (Edwards és Warwick 1984, Green és Clothier 1988, Olbrich 1991, Dunn és Connor 1993, Hatton et al. 1995, Vértessy et al. 1997). Más eljárás használatával azonban számos tanulmány született az éjszakai nedváramlás megfigyelésére is (Muchow et al. 1980, Benyon 1999). A szár-hőegyensúly metódus alapján működő mérőeszközünkkel lehetőség nyílt az éjszakai nedváramlás tanulmányozására (5. 2. 2. fejezet).

2. 3. A növények nedváramának mérésére használatos módszerek

A növényi nedváramlás megfigyelésére számos módszer ismert, mint például a hőimpulzus eljárás (Huber 1932, Cohen et al. 1981, Green és McNaughton 1997), „szár-hőegyensúly” eljáráson (Sakuratini 1981, Ozier–Lafontain és Tournebize 1993) alapuló mérések. Ezen mérésekkel nyomon követhető a fák vízfogyasztásának dinamikája (Green et al. 1989, Moreno et al. 1996). Számos tanulmány született a mérési technikák összehasonlításáról, azok érzékenységéről, vízfogyasztást alul vagy felülbecslő voltukról (Swanson 1994, Smith és Allen 1996, Braun 1997, González–Altozano et al. 2008). A hőimpulzus eljárás során tulajdonképpen a nedvvel együtt áramló hőt használják az áramlás nyomkövetésére (Cohen et al. 1988, Olbrich 1991, Hatton et al. 1995). A vízfelvétel és a szállítóedénybe injektált hő terjedési sebességének meghatározásával és vizsgálatával kapcsolatban sok publikáció született (Swanson és Whitfield 1981, Teskey és Sheriff 1996). A következőkben röviden vázolom a négyféle nedváram mérési technikát, kezdve az általunk használt szár-hőegyensúly eljárással.

2. 3. 1. A szár hőegyensúlyának mérésén alapuló eljárás (stem heat balance method)

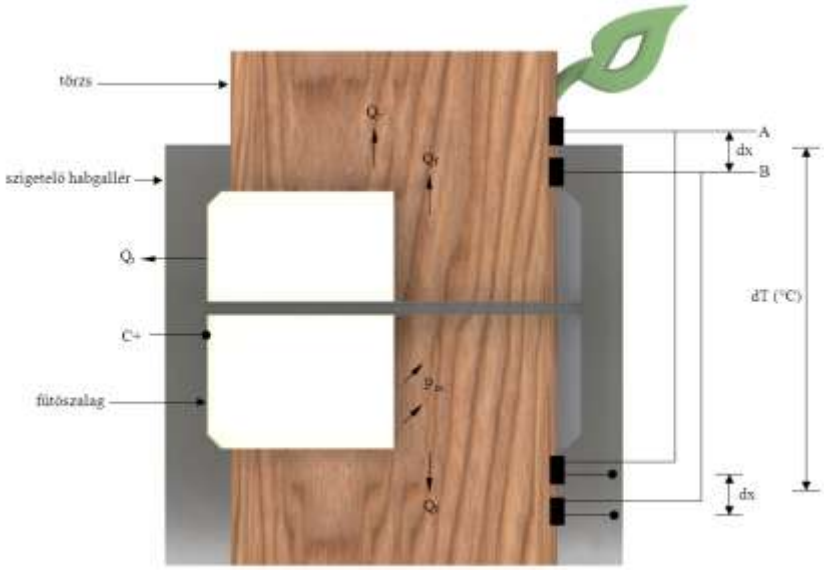
Világszerte számos tudományos kutatóintézet járult hozzá ahhoz, hogy kifejlesszék a hő szárban való áramlásának mérési technológiáját. A hőimpulzus „gyorsaság” közelítéssel Huber (1932) foglalkozott először. Később további törekvések születtek a metódus alkalmazására és javítására (Vieweg és Ziegler 1960, Cermák et al. 1973). A szár hőegyensúlyán alapuló teóriát (SHB = stem heat balance) az 1970-es évektől használják, helyességét Sakuratani (1981, 1984), Baker-Van Bavel (1987), Steinberg et al. (1990) igazolták. A HPV (heat pulse velocity-hőimpulzus) mérési elvvel ellentétben az SHB előnye, hogy nem igényel kalibrációt (mivel a nedvesség-fluxust közvetlenül az energia-egyensúlyból és a nedvesség-áram által szállított hőmennyiségből határozza meg), nem okoz károsodást a vizsgálandó növényben.

Ozier–Lafontain és Tournebize (1993) cukornádon (*Saccharum officinarum*) mértek az SHB elvén működő eszközzel. Az SHB méréseket egyszerű végrehajtani, pontosítani. Előnyei: széles szárátmérő tartományban használható akár lágyszárúak, akár fásszárúak esetén (2–150 mm), a növényre ártalmatlan (melegítő hatása a mérés ideje alatt maximum 1–5 °C), a növény méreteihez jól igazodik, alacsony energiaszükségletű.

Egy-egy mérőgallér tartalmaz termoelemeket, hőtárolót, fűtőszálat, habszigetelőt, és egy a külső hőhatásoktól védő pajzsot. Az elektronikát körülölelő lágy habgallér kizárja a nedvességet, és mérsékli a környezeti kilengések hatásait, melyek az energia egyensúly drasztikus változásából származhatnak. Az egységet legalább a műszer magasságának megfelelő hossztengely szerinti, ágaktól, dudoroktól, érdességtől megtisztított szárra kell helyezni. Az időjárási-pajzsot a külső alkalmazásokra és a sugárzásvédelemre használják.

Az elektromos érzékelő három kimeneti csatornával rendelkezik szenzoronként (1. ábra). A szenzor méri a növényi nedvesség által szállított hőmennyiséget, ebből számítja ki a valós idejű nedvességáramot ($g \cdot s^{-1}$). Kettő érzékelő méri a szár vertikális irányú hőszállítását és a hőmérséklet-különbséget a fűtőszalag alatt és fölött, egy a sugárirányú hőfluxust, egy pedig a szár energiaibevételét. Ezen adatok birtokában történik a nedvesség áramának számítása ($kg \cdot h^{-1}$, $gramm \cdot h^{-1}$, $g \cdot nap^{-1}$).

A szár hőegyensúlyának fenntartása miatt, a műszernek biztosan kell állnia és állandó energiát kell kapnia a fűtőszalagtól, mely az általa körülvett törzsfelület teljes kerületét melegíti. A nedv tömegárama a fűtött és a fűtetlen törzsszakaszok hőfluxusának mérlegéből nyerhető.



1. ábra A szár hőegyensúly eljárás elvén működő eszköz sematikus képe

A szár energiaegyenlete:

$$P_{in} = Q_r + Q_v + Q_f (W),$$

ahol P_{in} a szár fűtőszáltól kapott hőmennyisége, a Q_r a sugárirányú hőveszteség, a Q_v a vertikális hőveszteség,a maradék hő pedig a Q_f, vagyis a mozgó nedváram hőfelvétele.

P_{in} a fűtő elektromos ellenállásából és a rákapcsolt feszültségből számítható.

Q_v értékét a fűtőszalagtól fölfelé és lefelé kialakuló (a fűtött és fűtetlen szárrész) hőmérsékleti gradiensből számítják ki az egydimenziós hőáramra alkalmazott Fourier-törvény segítségével:

$$Q_v = A_{st} \cdot K_{st} \cdot \left(\frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{x}\right),$$

ahol A_{st} a szár fűtött részének keresztmetszet-területe, K_{st} a törzs hővezető képessége, ΔT_a a vertikális hőmérsékleti gradiens a fűtőszalag felső részén, ΔT_b a vertikális hőmérsékleti gradiens a fűtőszalag alsó részén, x pedig a két hőelem csatlakozó távolsága.

Q_r a radiális hőmérsékleti gradiensből számítható az alábbi egyenlet szerint:

$$Q_r = K_{sh} \cdot \Delta T_r,$$

ahol K_{sh} a fűtőszalag szigetelőburkolatának hatásos hővezető képessége, ΔT_r pedig a radiális hőmérsékleti gradiens.

Q_f kiszámítása után a nedvesség áramlása (F) egységnyi időre vonatkoztatva.

$$F = \frac{P_{in} - Q_v - Q_r}{c_p \cdot dT},$$

ahol c_p (4,186 $J \cdot g^{-1} \cdot °C^{-1}$) a víz hőkapacitása, dT a szárban áramló nedvesség hőmérsékletváltozása.

2. 3. 2. A hőimpulzus eljárás (heat-pulse method)

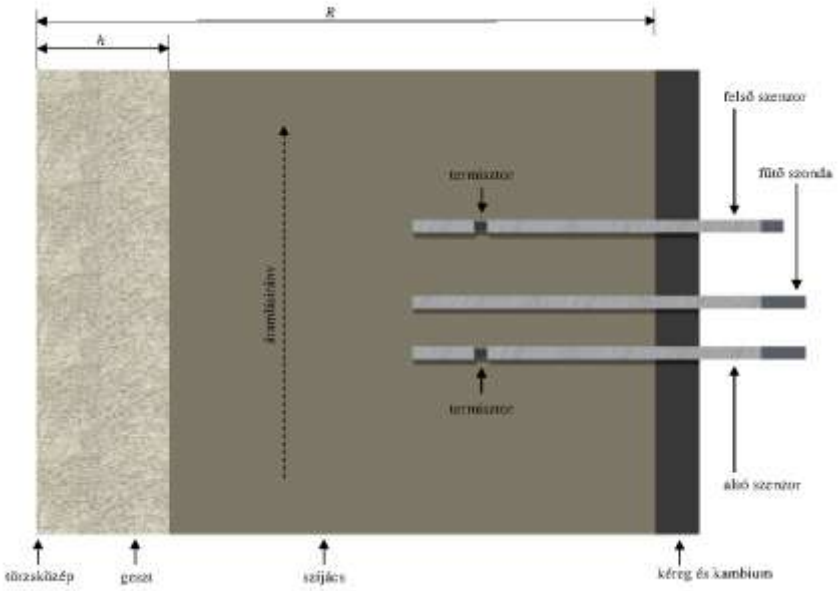
Ezzel a módszerrel csak elég széles szíjáccsal rendelkező, de nem túl vastag fák nedvárama mérhető (Hatton et al. 1990), mivel az eljárás legkényesebb pontja a fűtő és érzékelő szondák szárba fúrási mélysége. Ezen eljárás során a szárban mozgó nedv szállította rövid hőimpulzus sebességét mérik. A fűtő és érzékelő szondákat a szíjácsba fúrt lyukakba kell helyezni (2. ábra). Hátránya, hogy károsíthatja a szöveteket, ill. a vízszállító elemekben a vízoszlop megszakadhat, ami megnöveli az ellenállást, akadályozza a vízforgalmat. A gázembólia egyik oka lehet a szállítórendszer sérülése, ilyenkor a seben át levegő kerül a sérült szállítószövetbe és megroppan a vízoszlop folytonossága (González–Altozano et al. 2008).

Minden hőimpulzus szonda tartalmaz egy fűtőelemet és két érzékelőt. A fűtő szonda rövid hőimpulzusokat bocsát ki meghatározott ismétlődéssel, a szenzorok pedig folyamatosan mérik a nedvárammal együtt mozgó impulzusok sebességét. Az érzékelő szondákat különböző távolságra helyezik el a fűtő szondától a fatestben található rostokon át bekövetkező hőveszteség kompenzációja miatt. A felső szondát rendszerint távolabbra rögzítik, mint az alsót. A hőimpulzus kibocsátás miatt így először az alsó szondán lesz nagyobb a hőmérséklet. Az áramló nedv hőtranszportja következtében a felső szenzor hőmérséklete bizonyos idő (t) után megegyezik az alsó szenzoréval.

A hőimpulzus sebessége:

$$v_h = \frac{x_a - x_b}{2 \cdot t},$$

ahol x_a a felső hőérzékelő szenzor és a fűtő szenzor közötti távolság, míg x_b az alsó hőérzékelő és a fűtő szenzor közötti távolság. Marshall (1958) azonban kimutatta, hogy a hő kisebb sebességgel áramlik a törzsben, mint a nedv, vagyis a hőimpulzus sebessége nem azonosítható a nedváram sebességével. Ennek oka az áramló nedv és a xilém szövetek közötti hőcsere. Marshall kidolgozott egy olyan finomított módszert, mely figyelembe veszi a faanyag hőszállítási kritériumait (ezt az egyenletrendszert itt nem közöljük).



2. ábra A hőimpulzus eljárás mérési elrendezése (Smith és Allen 1996 nyomán)

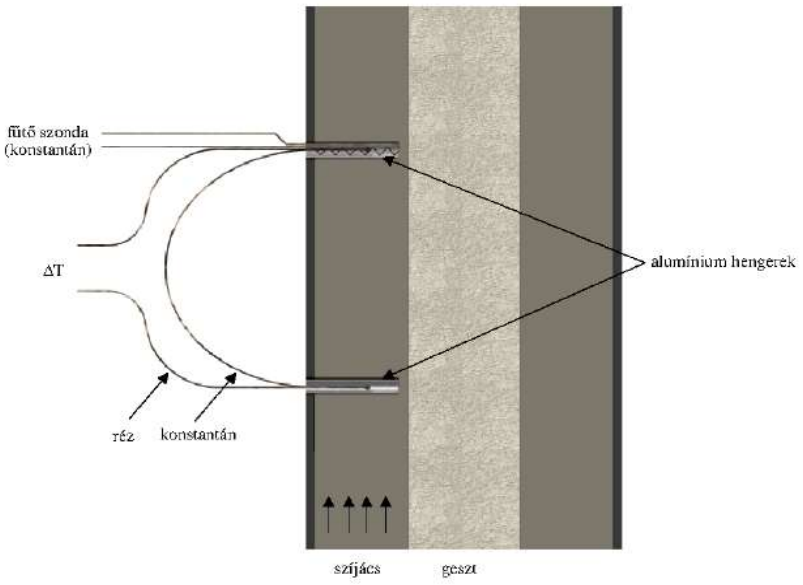
A szíjács mérete, és a szondák behelyezési mélysége jelentősen befolyásolja a nedváram mérés pontosságát (Miller et al. 1980, Cohen et al. 1981). A törzs égtáji irányultságára vonatkozó tájolás nagyon fontos a mérés tervezésénél (Miller et al. 1980, Cabibel et al. 1997).

Fernández et al. (2001) és González–Altozano et al. (2008) olajfák (*Olea europaea*) (vízstressz állapotát mérték ezzel az eljárással.

Összességében elmondható, hogy a HPM azoknál a fajoknál használható leginkább a transzspiráció mérésére, melyeknél a szíjács hőmérsékletileg homogénnek tekinthető (Hall et al. 1998) (gyűrűs likacsú fák: fehér akác (*Robinia pseudoacacia*), kocsányos tölgy (*Quercus robur*), magas kőris (*Fraxinus excelsior*), mezei szil (*Ulmus minor*), szórt likacsú fák: bükk (*Fagus sylvatica*), mezei juhar (*Acer campestre*), közönséges nyír (*Betula pendula*), melyeknél a szállító edények közel helyezkednek el egymáshoz). Azon fajoknál, ahol a szállítóedények közötti kötőszövet vastagsága 0,4 mm-nél kisebb (Swanson és Whitfield 1981) a HPM módszerrel mért nedváram érték gyakorta alulbecsült.

2. 3. 3. A radiális hőáram mérés, vagy hődisszipációs eljárás (heat dissipation method)

A radiális nedváramlás mérő (Granier 1985) két darab szondát tartalmaz. Az egyik állandó teljesítménnyel fűtött. A másik (referencia) szonda nem fűtött, úgymond fahőmérsékleten marad. Mindegyik szonda tartalmaz egy réz-konstantán hőelemet. A rendszer a két szonda közötti hőmérséklet különbséget méri, amit a nedváramlás sűrűség bizonyíthatóan befolyásol.



3. ábra A radiális hőáram mérés elrendezése (Smith és Allen 1996 nyomán)

A mért adatok felhasználásával a fanedváramlás sűrűsége:

$$v = \frac{1}{\alpha(K)^{1/\beta}},$$

ahol $K = \left[\left(\frac{\Delta T_{max}}{\Delta T(x)}\right) - 1\right]$ fa-nedváramlási index,

ΔT_{max} a maximális hőmérsékletkülönbség és $\Delta T(x)$ a két szonda közötti hőmérsékletkülönbség α és β fára vonatkozó nedváramlási indexek, tapasztalati mérések alapján.

A nedváramlás pedig ($m^3 \cdot s^{-1}$)

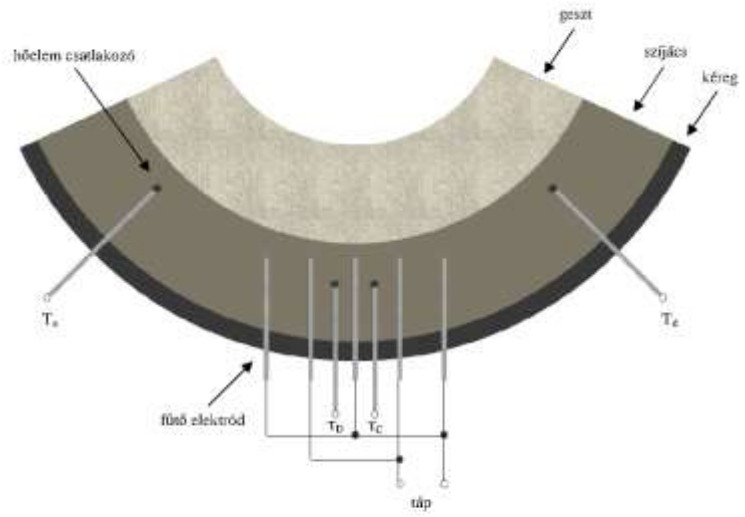
$$F = v \cdot SA,$$

ahol *SA* a szíjács keresztmetszete a fűtött szonda magasságában.

Figyelembe kell venni nedváramlás becslésnél, hogy milyen hosszú a szonda és milyen vastag a szíjács. Lu (1997) szerint a módszer előnye, hogy nem kell kalibrálni a mérőeszközt, ezzel szemben Smith és Allen (1996) azt állították, hogy minden egyes fajhoz szükséges a kalibrálás a mérés megkezdése előtt. A módszer előnye, hogy alacsony költségigényű, könnyű a rendszer telepítése, viszont a HPM metódushoz hasonlóan a szonda szíjácsba helyezése károsíthatja a szöveteket.

2. 3. 4. A szár-szektor hőegyensúly eljárás (trunk section balance method)

Ezen eljárás lényege hasonló az SHB-hez, miszerint a nedváramlás sebességét a fűtött szövet hőegyensúlyából származtatják. Az öntözés automatizálásának fejlesztésére Nadezhdina és Cermák (1997) folytatott kutatásokat, ezen mérési eljárásra alapozva. Bár ahogy a módszer neve elárulja, itt csak a szár egy szektorát fűtik nem a teljes törzsfelszínt. Vagyis a teljes szárra extrapolálni kell a mért adatokat.



4. ábra A szár-szektor hőegyensúly eljárás sematikus képe (Smith és Allen 1996 nyomán)

A szár fűtését öt darab, azonos hosszúsága egymástól azonos távolságra a szárba fúrt lemezelektródokkal oldják meg. A négy darab hőelemet úgy helyezik el, hogy kettő közülük a belső szegmens közepén, kettő pedig a külső elektródoktól messzebb helyezkedik el. A nyolc

hőelem sorba van kötve, a két hőelemsor közötti függőleges távolságon keresztül mérik a hőmérséklet emelkedését a fűtött szektorban. Ezt a ΔT hőmérsékletemelkedést használják fel a fűtött szektor két középső szegmensén keresztüli nedváramlás sebességének kiszámításához.
A törzsszegmens hőegyensúlya:

$$P = Q_r + Q_v + Q_f + Q_i,$$

ahol Q_r a radiális hőveszteség, Q_v a vertikális hőveszteség, Q_f a konvekciós hőveszteség a mozgó nedváramban, Q_i az oldalirányú hőveszteség. Ez utóbbiból határozzák meg a nedv tömegáramát.

$$K \cdot \Delta T = Q_v + Q_r,$$

ahol K a hővezetési együttható.

A nedváramlás a következőképpen számítható:

$$F = \frac{Q_f}{c \cdot \Delta T},$$

ahol c a nedv specifikus hőkapacitása. Az egész fára becsült nedváram értéket úgy kapják, hogy megszorozzák a középső szegmens szélességének és a teljes törzskerületnek az arányával.

2. 4. Párolgás

2. 4. 1. A párolgás folyamata, mérése és becslése

A növények vízgőzleadását párologtatásnak vagy transzspirációnak nevezzük. Ez élettani úton szabályozható fizikai folyamat, vagyis környezeti tényezők hatására módosuló, de biológiai törvényszerűség következtében kialakuló jelenség. A növény vízforgalmában a transzspiráció a fő energetikai mozgató. Intenzitását az időegység alatt egységnyi levélfelületről elpárologtatott vízmennyiség fejezi ki. Az evaporáció a szabad vízfelszínek, vagy a növényzet nélküli talaj párolgását jelenti (a légkör vízelvonó képessége is jellemezhető vele). Az evapotranszspiráció, vagyis a földfelszíni párolgás a talaj és a rajta lévő növényállomány együttes vízleadása (Szász és Tőkei 1997). Megkülönböztetünk potenciális (*PET*) és tényleges evapotranszspirációt (*TET*). A potenciális evapotranszspiráció mellett a víz korlátlan mennyiségben rendelkezésre áll a növényállománynak és a talajfelszínnek, ill. a termőrétegnek (Szász 1995), az adott területen lehetséges (maximális) páraleadást jelenti (Vermes 1997). Azonban a valóságban, természetes

körülmények között a párolgás változó mértékét szűkös vagy hiányzó vízkészletek befolyásolják, ezt nevezik tényleges evapotranszspirációnak.

A tényleges párolgást meghatározó alapvető tényezők: az elpárologtatható vízmennyiség, a párolgásra fordítható energia nagysága, a növényzet vízszállító képessége (Szász 1999). A *TET* függ a biológiai és termesztési feltételektől is, a különböző növényfajok és fajták tulajdonságaitól, életszakaszától, egészségügyi állapotától, valamint a növényi test morfológiai tulajdonságaitól.

A *TET* értéke szükségszerűen kisebb, mint a *PET*-é, hisz azt a vízmennyiséget fejezi ki, ami a tényleges talajnedvesség és növényfejlettség mellett a talaj és a növény felületéről együttesen elpárolog.

A transzspiráció fő szervei a gázcserenyílások. A fotoszintézishez nélkülözhetetlen CO_2 is a sztómák légrésein át jut a növénybe. Az asszimiláció és a vízforgalom bizonyos tekintetben egymást gátoló folyamatai rendkívül komplexek (pl. ha túlságosan alacsony a vízpotenciál a növényben, akkor az sztómazárással korlátozza a vízvesztést, ezzel egyidejűleg azonban gátolja a CO_2 bejutást, vagyis csökkentheti az asszimilációt).

A transzspirációnak a hőháztartás szabályozásában is szerepe van. A párologtatás energiaigényes folyamat, az energiát a párologtató felület a környezetétől vonja el, vagyis a vízgőzt veszítő felület lehűl.

A transzspiráció két fő típusa a sztomatikus és a kutikuláris párologtatás. Az előbbiről már volt szó korábban. A kutikuláris transzspiráció a kutikula vízvesztése, mely élettani úton sokkal kevésbé szabályozható, mint a sztomatikus.

Meider és Mansfield (1965) és Ritchie (1974) szerint a sztómák általában naplementekor záródnak. Ha záródnak a sztómák, akkor az éjszakai vízleadás a kutikulákon keresztül megy végbe. Vannak azonban olyan fajok, melyeknél a napnyugta utáni transzspiráció is a gázcserenyílásokon keresztül valósul meg, vagyis nyitott sztómák mellett (Muchow et al. 1980). Meg kell jegyezni, hogy az éjszakai nedváramlás következménye nem mindig a transzspiráció által bekövetkező vízvesztés pótlása, ugyanis a nedvszállítás célja a nappal kiürülő növényi víztartályok éjszakai újratöltése is lehet (Benyon 1999).

A sztómák a külső környezeti ingerekre és a növényi hormonváltozásokra rövidebb-hosszabb reakcióidővel reagálnak. Számos tanulmány foglalkozik a légcserenyílások – többek között a gyökérzónától a levélzetig a nedvvel együtt szállított – hormonokra, mint kémiai üzenetekre adott válaszával (Davies és Zhang 1991, Whitehead 1998). A talaj hozzáférhető víztartalmának csökkenésével a gyökérben nagy mennyiségű abszciszin sav (ABS) keletkezik, mely a sztómák záródását – ezzel a párologtatás általi vízveszteség csökkentését – eredményezi (Leowenstein és

Pallardi 1998, Ezzhaouani et al. 2007, Jacobsen et al. 2009). A gyökérnövekedésnek kedvező talajnedvességi állapotok ezzel szemben olyan kémiai üzeneteket indukálhatnak a növényben, melyek a légcserenyílások záródását akadályozzák. Incoll és Jewer (1987) arról számoltak be, hogy a citokinin szint növekedése stimulálja a sztómák nyitódását, még naplemente után a sötét napszakban is.

A párologtatás a fő mozgatója a növényi testben folyó vízáramlásnak (passzív vízszállítás). A transzspiráció erősségét is meghatározza a talaj-növény-légkör rendszer ellenállásainak nagysága. A vízgőzt veszítő sejtfalak kapillárisai nagy erővel kötik meg a vizet. A csövecskékből a párolgás során eltávozó víz pótlódik: a felületi feszültség megakadályozza a felületnövelő hatást, alsóbb szervekből újabb vízmennyiséget szív a kapillárisokba. Elmondható, hogy a transzspiráció a felületi feszültség révén a teljes vízszállító rendszerben szívást, azaz negatív nyomást hoz létre. Ez a negatív nyomás legyőzi a talaj és a növény vízforgalmi ellenállásait.

A párolgás mérése és becslése

Egy jól megtervezett öntözési program keretein belül az adott termesztési terület párolgásának ismerete megfelelő eszköz lehet a rendelkezésre álló vízforrások hatékonyabb kihasználásához. A párolgás pontos becslése alapvető kritériuma az ültetvények hosszútávú vízigényének becsléséhez, a vízfelhasználás vegetációs időszakot átölelő ütemének ismeretéhez, az öntözési infrastruktúra kiépítésének és fenntartásának költségtervezéséhez. Vizsgálható vele a megváltozott földhasználat helyi vízháztartásra gyakorolt hatása, a vízháztartásban bekövetkező változások követése.

Az evapotranszspiráció az ökoszisztéma vízmérlegének alapvető komponense, fontos szerepet játszik a szárazföldi ökoszisztéma termelésének vezérlésében (Law et al. 2002). Magyarország éghajlata átmenetet képez a száraz és a nedves éghajlatú területek között (Péczely 1979). Országunkat az éghajlat megváltozása érzékenyen érintheti mind a mezőgazdasági, kertészeti, és a természetes ökoszisztémák vonatkozásában (Antal 2003). A tényleges evapotranszspiráció (*TET*) számítására széles körben alkalmazott eljárás a referencia potenciális evapotranszspiráció (PET_o) haszonnövény koefficienssel (K_c) vett szorzata. Itt PET_o jelenti korlátlan vízellátású füves terület, vagy ún. alfalfa-referencia (meghatározott magasságú, albedójú és felszíni ellenállású) felület párolgását. A Penman–Monteith féle összefüggés általánosan elfogadott a potenciális párolgás számítására (Allen et al. 1998). A K_c alapvetően a tényleges és a potenciális evapotranszspiráció aránya, ahol a tényleges részt meghatározhatjuk méréssel vagy számítással, mint pl. liziméteres mérés, vízháztartási mérleg, energiaháztartási mérleg számítása, eddy-kovariancia módszer, légköri izotópos eljárás, Bowen-hányados mérés, távérzékelési módszerek.

Például az izotópos eljárás során azt használják ki, hogy az evaporációból származó vízgőz, ill. a növények által párologtatott vízgőz eltérő izotópos jelekkel bír, így megkülönböztethető, hogy mennyi származik növényi párolgásból és mennyi a talajpárolgásból. A talajból kipárolgó víz nehéz izotópoktól (^{2}H, ^{18}O) kevésbé terhelt vagy akár mentes, míg a növényi transzspirációból származó vízgőz nehéz izotóp tartalma nagyobb (Flanagan et al. 1991, Wang és Yakir 2000). A Bowen-hányados a szenzibilis és a látens hő arányaként definiálható (Bowen 1926), és a szenzibilis és a látens hőáram vertikális gradiensének méréséből számítható. Chávez et al. (2009) öntözött gyapotmezőn (*Gossypium hirsutum*) végzett kísérlet alapján leírták az eddy-kovariancia módszer *TET* becslő pontosságát. A módszer ellenőrzése végett nagy pontosságú lizimétert is alkalmaztak a párolgás mérésére. Megmutatták azt is, hogy az *TET*-t az energiaegyensúly egyenlet maradéktagjaként meghatározni nem túl pontos eljárás. Williams et al. (2004) Marokkóban olajfaültetvényben (*Olea europaea*) mértek eddy-kovarianciás módszerrel, nedváram mérővel, valamint izotópos módszerrel. Eredményeik szerint a területi párolgás csaknem 100%-a közvetlenül az öntözés utáni transzspirációból származott, míg öt nappal a mesterséges vízkijuttatás után (természetes csapadékhullás nem volt) a növényi párolgás 69–86%-ot tett ki. Az evaporáció szoros kapcsolatot mutatott a telítési hiánnyal, a transzspirációnál nem tapasztaltak olyan erős korrelációt az említett paraméterrel. Anda (1999) kukorica (*Zea mays*) vízfogyasztását Thornthwaite-féle kompenzációs evapotranszspirométerrel mérte. A talaj és a növényzet együttes párolgását pedig maradéktagként számította a vízháztartási mérleg komponenseinek figyelembevételével (Antal 1968). Citrusültetvények (*Citrus aurantium L.*) vízszükségletét a talaj vízmérlegének elemzésével vizsgálták (Bielorai 1982), vagy meteorológiai módszerrel kombinálva (Kalma és Stanhill 1969), míg egy egyedülálló fa evapotranszspirációját liziméterrel tanulmányozták (Green és Moreshet 1979, Du Plessis 1985). Ezen vizsgálatok során a tényleges transzspirációt hosszabb időszakokra (hét vagy hónap) számították. Az öntözésfejlesztés szempontjából azonban alapvető kérdés a fák rövid időre (nap) számított reakcióinak meghatározása.

Az elmúlt két-három évtized műszerfejlesztései, a távérzékelés, az informatika, az adatbázis kezelés fejlődése lehetővé tették, hogy az evapotranszspirációról, a párolgás – mikroklíma összefüggéseiről mélyítsük tudásunkat. Fontos, hogy ezen információk a gyakorlatba is átültethetőek legyenek, azaz eljussanak a termesztőkhöz, öntözés-tervező szakemberekhez.

2. 4. 2. A párolgásszámítás fejlődésének áttekintése

A párolgás a hidrológiai ciklus alapeleme, melyet a legnehezebb mérni. A világ népességének növekedése – mely 2011. október 31-ével elérte a 7 milliárd főt (www.nationalgeographic.com).

Ezzel együtt az emberiség „táplálása”, a vízforrások szűkülő mivolta, a földhasználat megváltozása, ill. a globális klímaváltozás mind rávilágítanak az említett hidrológiai elem elengedhetetlen fontosságú, pontos ismeretére. A legtöbb termésbecslő modellben a párolgás döntő jelentőségű paraméter. Sivakumar és Wallace (1991) rávilágítottak, hogy nem csak a teljes evapotranszspirációt kell ismernünk, hanem annak részkomponenseit, vagyis az evaporáció és a transzspiráció mennyiségét is. Ahol elegendő és elérhető a vízforrás, ott öntözéssel lényegesen növelhető a termésmennyiség. A klímaváltozás folyamatainak megértéséhez is előtérbe kerül a területi párolgás pontos ismerete. Számos modellben (pl. GCMs-general circulation modell) szimulálták a vegetáció területi csökkenésének (pl. erdőirtás) hatásait (Sellers et al. 1986, Shukla et al. 1990, Dickinson és Shaik 1998). Ezen modellek rendkívül érzékenyek a felszínborítottságra ill. a tájhasználat megváltozására.

Az első párolgásszámítási modellek mérsékelt övi viszonyokra készültek (Thornthwaite 1944, Posza és Stollár 1983, Mintz és Walker 1993). Először a potenciális evapotranszspirációt számították, melyből aztán bizonyos faktorok segítségével a tényleges evapotranszspirációt származtatták. Később a tényleges evapotranszspiráció számításánál alapul vették a vízgőz szállítódását befolyásoló ellenállásokat. Elterjedtek a teljes tenyészterületet borító vegetációval számoló, felszíni ellenállás-modellek (Monteith 1965).

A párolgáshoz szükséges energiát elsősorban a napból érkező sugárzási energia biztosítja.

$$\lambda \cdot E = R_n - G - H,$$

ahol $\lambda \cdot E$ a látens hőáram ($W \cdot m^{-2}$), R_n a nettó sugárzás ($W \cdot m^{-2}$), G a talajhőáram ($W \cdot m^{-2}$), H pedig a szenzibilis hőáram ($W \cdot m^{-2}$). Az egyenlet tartalmazhatja még a fotoszintézisre fordítódó energiamennyiséget, ill. a növényzet által tárolt hőmennyiséget, melyek elhanyagolhatóak (Stewart és Thom 1973). A látens hőáramot Fick’s törvénye rögzíti:

$$\lambda \cdot E = -\frac{\varrho \cdot c_p}{\gamma} \cdot K_v \cdot \frac{\partial e}{\partial Z},$$

ahol c_p a levegő állandó nyomáson vett fajhője ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$), ρ a levegő sűrűsége ($kg \cdot m^{-3}$), γ pszichrometrikus állandó ($hPa \cdot K^{-1}$), K_v a vízgőz szállítási koefficiens, $\partial e/\partial Z$ a vertikális vízgőz gradiens.

A szenzibilis hőáram egyenlete a következő:

$$H = -\varrho \cdot c_p \cdot K_H \cdot \frac{\partial T}{\partial Z},$$

ahol K_H a hőszállítási koefficiens, $\partial T/\partial Z$ a vertikális hőmérsékleti gradiens.

Monteith (1965) indítványozta a sztómaellenállás bevezetését, mivel növényi transzspirációnál figyelembe kell venni a gázcserenyílások szerepét.

$$\lambda \cdot E = \frac{\varrho \cdot c_p}{\gamma} \cdot \frac{[e_s(T_0) - e]}{r_a + r_s},$$

ahol e_s a sztómaközti tér telítési gőznyomása (hPa), T_o (°C) a levélfelületi hőmérséklet, e a légköri gőznyomás, r_a ($s \cdot m^{-1}$) az aerodinamikai ellenállás, r_s ($s \cdot m^{-1}$) pedig a sztómaellenállást jelöli. Az egyszerűsítés kedvéért Monteith (1965) a telítési gőznyomás változására az alábbi formulát vezette be:

$$\Delta = \frac{[e_s(T_0) - e_s(T)]}{T_0 - T},$$

ahol T (°C) a referenciaszinten mért hőmérséklet.

A Penman–Monteith féle ún. ’nagy levél’(’big-leaf’) modellel (melyben tulajdonképpen a teljes tenyészerület vegetációval való borítottságát feltételezik) tehát:

$$\lambda \cdot E = \frac{\Delta \cdot (\mathrm{R_n} - G) + \rho \cdot c_p \cdot \frac{[e_s(T) - e]}{r_a}}{\Delta + \gamma \cdot (1 + \frac{r_s}{r_a})},$$

A legegyszerűbb párolgásbecslő metódusok csupán a jó vízellátottságú területekre alkalmazhatóak (De Bruin 1983, McNaughton és Spriggs 1986). A Pristley és Taylor (1972) formula jól használható mérséklet és trópusi területeken, azonban arid és szemiarid zónában alulbecsli a mért párolgási értékeket.

A ’nagy levél’ modellt Shuttleworth és Wallace (1985) terjesztették ki, melyben az aktuális területi párolgás a transzspiráció ($PM_{transzspiráció}$) az evaporáció ($PM_{evaporáció}$) összegéből adódik:

$$ET_{akt} = PM_{transzspiráció} + PM_{evaporáció}$$

2. 4. 3. Két és háromforrásos párolgásbecslő modellek

A két és háromforrásos párolgásbecslő modellek többnyire a Shuttleworth és Wallace (1985) (SW) és a Dolman (1993) féle közelítések kombinációján alapulnak. Az előbbi a növényzet egységes eloszlását feltételezi a tenyészterületre, míg az utóbbi elkülöníti a megfelelő borítottsági arány szerint a talaj és növényi párolgást. Emellett figyelembe veszi a növényi transzspirációt, a sorközi talajevaporációt, és a sorbani párolgást (Dolman 1993, Blyth 1995, Brenner és Incoll 1997, Blyth et al. 1999, Domingo et al. 1999)

Az elmúlt évtizedben a SW modellt széles körben alkalmazták a tényleges evapotranszspiráció becslésére (Gardiol et al. 2003, Kato et al. 2004, Fisher et al. 2005, Zhou et al. 2006). Ezen modellben a borítottsági aránnyal súlyozva szerepel a talajevaporáció és a növényi transzspiráció.

Ortega–Farais et al. (2007) az általunk is használt Shuttleworth–Wallace (SW) féle modellt alkalmazták öntözött szőlőültetvények (*Vitis vinifera*) látens hőáramának becslésére. Összevetették az eddy-kovarianciás mérésből származó, valamint a SW modell által számított eredményeket. Ezek alapján leírták, hogy a modell száraz légköri körülmények között adja a legnagyobb eltérést a mérésekhez képest. Az elvégett vizsgálataik szerint a *LAI*-ra (levélfelületi index) és az átlagos sztómaellenállásra a legérzékenyebb a modell, míg az aerodinamikai ellenállás változtatása nem mutatott lényeges hatást a végeredményre. Anadranistakis et al. (2000) és Kato et al. (2004) is kétszintes SW modellt alkalmaztak szántóföldi kultúrák (cirok (*Sorghum vulgare Pers.*), kukorica (*Zea mays*), búza (*Triticum genus*), gyapot (*Gossypium hirsutum*) párolgásbecslésére. Szemiarid területeken Stannard (1993), szubarktikus régióban pedig Lafleur és Rouse (1990) alkalmazták sikerrel az SW modellt órás szintű látens hőáram becslésre.

Brenner és Incoll (1997) által fejlesztett háromforrásos modell sikerrel alkalmazható a fragmentált állományszerkezetű (sorra és sorközre tagolódó, pl. szőlő) ültetvények tényleges evapotranszspirációjának becsléséhez (Domingo et al. 1999, Were et al. 2008).

Poblete–Echeverría és Ortega–Farias (2009) háromszintes modellel (CM-Clumped modell) becsülték öntözött szőlőültetvény (*Vitis vinifera*) evapotranszspirációját. A teljes területi párolgást a sorközi evaporáció, az állomány transzspirációja, valamint a tőkesor alatti terület párolgásának összegeként számították. A kalkulációt eddy-kovariancia méréssel validálták. A legnagyobb különbség (~10%) a mért és számított értékek között, a csapadékos ill. ködös idő utáni derült napokon adódott, ekkor ugyanis a modell alulbecsli a mért párolgás intenzitást.

2. 4. 4. SVAT modellek

Az ún. SVAT modellek (surface-vegetation-air-transfer) (Braud et al. 1995, Dickinson et al. 1998, Boulet et al. 2000) alkalmasak lehetnek a csapadékos időszakot követő látens hőáram vizsgálatára, vagy a párolgás becslésének nagyobb skálán történő kiterjesztésére. Hazánkban Dunkel et al. (1989, 1991), Ács és Hantel (1998), Ács (2002, 2003, 2005), Ács et al. (2001), Ács és Szász (2002), Drucza és Ács (2004) foglalkoztak SVAT modellekkel azok alkalmazásaival, érzékenységi vizsgálataival. Az első táblázatban a használatban legelterjedtebb modellcsaládokat tüntettük fel.

1.táblázat A gyakorlatban leginkább használt modellcsaládok (Wallace 1995)

Modell	Bemenő adatszükséglet	Kimenő eredmény
Szimulációs modellek (*SWATR: Feddes et al. ENWATBAL: Lascano et al.*)	- a növényzet fiziológiai válaszainak almodellje - az állomány kicserélődési folyamatainak, és struktúrájának adatai - talajtulajdonságok adatai - meteorológiai adatok	aktuális evapotranszspiráció
Egyszintes állománymodellek (*zárt állományokra:Penman–Montheit; nyílt állományokra: Shuttleworth–Wallace*)	-felszíni ellenállás almodell -állománystruktúra adatok -meteorológiai adatok	aktuális evapotranszspiráció
Energiamérleg modell (*Penman*)	- napi meteorológiai adatok (hőmérséklet, nettó sugárzás, szélsebesség, légnedvesség)	potenciális evapotranszspiráció
Sugárzási modell (*Priestley–Taylor*)	- napi meteorológiai adatok (hőmérséklet, globálsugárzás)	potenciális evapotranszspiráció
Hőmérsékleti modell (*Blaney–Criddle*)	- napi meteorológiai adatok (hőmérséklet)	potenciális evapotranszspiráció
Légnedvességi modell (*Dalton*)	-napi meteorológiai adatok (hőmérséklet, szélsebesség, légnedvesség)	potenciális evapotranszspiráció

Magyarországon számos potenciális és tényleges evapotranszspirációs mérés és számítás történt főként szántóföldi kultúrák vízigényének és vízfogyasztásának feltérképezésére (Dunay et al. 1968, Antal és Kozmáné 1980, Posza és Stollár 1983, Varga-Haszonits és Harnos 1988, Dunkel et al. 1990, 1991, Dunkel és Vadász 1993, Szász 1995, 1999, Dunkel és Szenyán 2000, Dunkel 1995, 2000).

2. 4. 5. Haszonnövény koefficiens (K_c)

A meteorológiai mérések és öntözőrendszerek automatizálásával a gyümölcsültetvények öntözésének tervezését gyakorta az evapotranszspiráció klimatikus adatokból történő becslésére alapozzák. Ezen klímaparamétereken alapuló formulák legkényesebb pontja a haszonnövény koefficiensek kezelése, melyeket empirikus módon határoznak meg (Doorenbos és Pruitt 1977), és ezek változékonyságát a környezeti tényezők és a növekedés különbözőségei okozzák (Jagtap és Jones 1989). Egy megalapozott öntözési rendszerrel ellátott, kifejlett csaknem teljes növényborítottsággal rendelkező ültetvényben, a haszonnövény koefficiens főleg a talaj vízkészletének és a fiziológiai állapot vagy szezonális hatások által befolyásolt sztómavezető képességnek a függvénye (Pruitt et al. 1972, Hanks 1985). Sok esetben a precíz vízkijuttatás és az energiatakarékos öntözés a talaj vízkapacitásának ill. a növény vízigényének pontos ismerete hiányában nem valósul meg (Nagy et al. 2010).

A haszonnövény koefficiens (K_c) a tényleges (*TET*) és a potenciális evapotranszspiráció (*PET*) hányadosaként definiálható. Amikor külön növényállományra, valamint a talajra vonatkozó mutatók segítségével akarjuk leírni akkor a K_c a K_{cb} és a K_e összegének átlagaként áll elő:

$$K_c = \overline{K_{cb} + K_e},$$

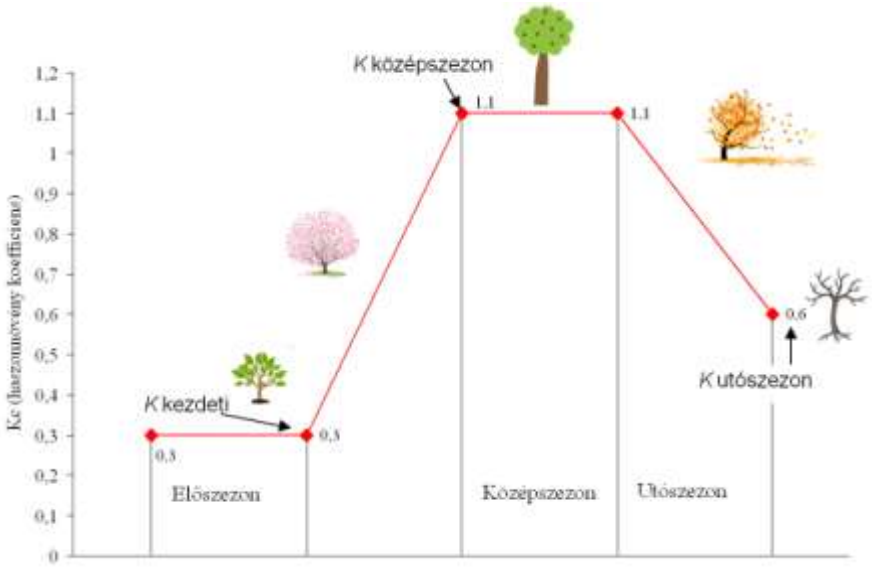
ahol K_{cb} (crop basal coefficient) a haszonnövény transzspirációs/növényi koefficiens, K_e haszonnövény koefficiens talajra vonatkozó mutatóját jelenti.

Ma főként K_c a teljes állományra vonatkozó haszonnövény koefficiens elterjedt jelölése.

Míg a *PET* és a K_c meghatározása viszonylag egyszerű utat biztosít a különböző klimatikus viszonyok között termesztett kultúrák vízigényének becsléséhez, ezen közelítés legnagyobb bizonytalansága, hogy számos, az irodalmakban megjelenő K_c érték gyakran nem helyi körülményekre (művelési mód, támrendszer, az ültetvény általános állapota) adaptált. A FAO 56 (Allen et al. 1998) kiadványban közölt K_c értékek – melyeket alapvetően adott klimatikus viszonyokra, talajtípusra és fenológiai menet alapján kalkuláltak – és a méréssel kapott K_c értékek között, akár 40%-os különbség is jelentkezhet (Rana és Katerij 2008). Ezen kiadvány mégis széles körben használt forrásnak számít a haszonnövény koefficiens és a tényleges evapotranszspiráció megadására.

A haszonnövény koefficiens 0,3–1,2 között alakul a növény fejlettségi állapotától függően. A FAO 24 és FAO 56-os öntözési és vízgazdálkodási kiadása – melyben rendszerint kezdeti, közép és utószezonra határozzák meg a K_c-t (5. ábra) – szerint füvesített sorközű cseresznyére (*Prunus*

avium) a kezdeti szezonban 0,5, a kifejlett állapotban (középszezon) 1,2 és a kései (utó) szezonban 0,95-ös K_c a jellemző (Pruitt 1986, Allen et al. 1998). Az 5. ábrán látott menet az ún. K_c görbe, ahol az elő-és középszezon közötti részt tekintik a virágzási fázisnak, az intenzív zöldtömeg növekedésnek, és gyümölcsfejlődésnek. A középszezont gyakorlatilag a termés érésével és a teljes levélfelület kialakulásával azonosítható. Míg az utószezon az, amikor nincs további zöldtömeg növekedés termőgallyképződés, a szakasz zárása pedig a levélhullás időszaka.



5. ábra Haszonnövény koefficiens görbe általános lefutása (saját szerkesztés – Allen et al. (1998) nyomán)

Az *TET/PET* arány nagyban függ a talaj-növény-légkör rendszer helyi, nemlineáris jellegű összefüggéseitől, valamint az alkalmazott öntözési eljárás mikroklímát befolyásoló hatásától. Ez a kapcsolat főként a kapásnövényeknél, gyümölcsösök esetében, szőlőültetvényeknél lehet fontos, melyek olykor nagy sortávval, fragmentált állományszerkezettel jellemezhetők, a tenyészterületen megjelenő talaj - és növényborítottság aránya pedig igen eltérő lehet (Smith et al. 1995, Reynold et al. 2000, Hutley et al. 2001, Ferretti et al. 2003). A K_c-ben megjelenő nagy változékonyság megerősíti, hogy szükségszerű lokális körülményekre haszonnövény koefficienst számítani (Conceicao et al. 2008).

Az adott helyre, adott növényzetre meghatározott K_c azért is fontos, mert a terület vízfogyasztását alapvetően meghatározza a növények és a talajfelszín által abszorbeált energiamennyiség. Az elnyelt energiamennyiség nagysága többek között függ az állomány fejlettségi állapotától, a levélfelület nagyságától, a talajkarakterisztikától, a növényzettel borított

felszín fizikai jellemzőitől. A gyümölcs és szőlőültetvények növényzettel való borítottsága gyakorta nem egységes az alkalmazott művelési rendszerek különbözősége miatt.

A *TET* becslése a vegetáció nem ritkán heterogén eloszlása miatt bonyolult lehet. Erről a problémáról főleg a csapadékos időszakot követő számításokban számolnak be, amikor a látens hőfluxus megnövekszik, és a talaj és állomány ellenállása gyorsan változik (Huxman et al. 2004). A teljes evapotranszspiráció ill. a haszonnövény koefficiens részekre bontása azért is fontos, hogy megértsük a biotikus és az abiotikus tényezőknek a párolgás vezérlésére gyakorolt hatását.

Ezen esetekben a tényleges evapotranszspiráció pontosítására a K_c becslésnél figyelembe kell venni az állomány magasságát, a talaj és a növényzet tenyészterületre eső arányát.

A Penman–Monteith közelítés két- ill. háromforrásos modellje jól alkalmazható a *TET* számításához. A kétforrásos modellek figyelembe veszik a növényi transzspirációt és a sorközi talaj evaporációt, míg a három-forrásosak a termesztett állomány alatti terület evaporációját is külön taglalják, vagyis a tényleges evapotranszspirációt ezen tényezők összegeként kalkulálják, súlyozva azzal a faktortényezővel mely a haszonnövény borítottsági arányát adja meg.

Az *TET* és a K_c térbeli és időbeli változékonyságának kimutatására a műholdas mérések alapján számított energia-egyensúly módszerek is használatosak. A távérzékelési adatok származhatnak földbázisú vagy űrbázisú megfigyelőrendszerekből, és használatosak a felszínhőmérséklet, a reflektancia és a vegetációs index ismerete alapján párolgásszámításra. Ezen *TET* becslő technológiákkal lehetőség nyílik a párolgás rutinszerű térképes felmérésére, főként regionális skálán, vízgyűjtő területeken. A távérzékelés működőképes eszköznek bizonyulhat az evapotranszspiráció térbeli eloszlásának részletes feltárására, és az elérhető vízforrások észszerű kihasználásának tervezéséhez (Dunkel 2000).

Számos tanulmányban mutatnak rá, hogy mennyire fontos, hogy helyi viszonylatban tanulmányozzuk a haszonnövény koefficiens alakulását.

Jia et al. (2009) bahiafűre (*Paspalum notatum*) vonatkozó K_c-t adtak meg jó vízellátottságú ill. nedves területekre. Három és fél évig mérték eddy-kovariancia módszerrel a tenyészterület párolgását, a hiányos adatsort Bowen-hányados méréssel egészítették ki. A tanulmány rámutat a bahia haszonnövény koefficiensének havi szintű változására, és kiemeli, hogy van különbség a különböző helyszíneken alkalmazott művelési rendszerektől függően.

Allen és Pereira (2009) viszonylag egyszerű közelítéssel becslik a K_c értéket, kimondottan a vegetáció fizikai mivoltára alapozva. Az eljárást kidolgozták az alap és az átlagos haszonnövény koefficiensre, természetes vegetációra és gyümölcsösökre, a talaj és a növényzet párolgásának összegeként számolva. Ez az általánosított metódus azonban még mindig nem helyettesítheti egy

meghatározott termőhelyről származó méréssorral történő becslést. Ez különösen gyümölcsösöknél fontos, hiszen ezen ültetvények tenyészterülete, telepítési sűrűsége, levélfelületi indexe, érési ideje fajtánként változó.

2. 5. Cseresznyeültetvények öntözésének jelentősége Magyarországon

Nedváramlás kísérleti és ültetvény szintű párolgási modellezésünkhöz a cseresznyét (*Prunus avium*) választottuk, mivel a faj intenzív ültetvényeinek telepítése iránt növekszik az érdeklődés (Szabó et al. 2011), s a teljes vegetációs időszakban bekövetkező vízfogyasztásáról, vízigényéről és annak időbeli eloszlásáról kevés információval bírunk. A globális felmelegedés kapcsán (Bartholy et al. 2003, 2004, 2005, 2007) a gyümölcstermesztés kritikus pontjává válhat a szárazabb vegetációs időszakból adódó elégtelen vízellátottság, valamint a megnövekedett öntözési költségek. Hazánkban az évi csapadék mennyisége és eloszlása is kedvezőtlenebbé vált az elmúlt ötven évben (Lakatos et al. 2005). A lehulló csapadékmennyiség a Kárpát-medencében és elsősorban annak alföldi régióiban valószínűsíthetően tovább csökken (Bartholy et al. 2008, Várallyay 2008). Ez teszi fontossá, hogy minél pontosabb ismeretekre tegyünk szert a cseresznyefák vízigényét illetően, különösen az intenzív ültetvények esetében. Egyre növekvő jelentősége ellenére (Hrotkó et al. 2009) nincs elegendő információnk az új alany-nemes kombinációk vízfelhasználásáról, melynek ismerete a gazdaságos öntözés alapfeltétele lenne, különösen a magyarországi, száraz termőhelyekre.

Ami a hazai cseresznyetermesztést illeti, az elmúlt évtizedben jelentős csökkenésnek lehetünk tanúi. Az árugyümölcsösök területe 2010-ben 1000 ha körül volt, az összes termés 6000–7000 t (KSH 2010). A Központi Statisztikai Hivatal adatai alapján cseresznyéből alig több mint 6000 tonna termett 2010-ben, amely a 2000–2004-es évek átlagának csak 50%-a, bár meg kell jegyeznünk, hogy 2010 extrém csapadékos évjárat volt a magyar mezőgazdasági és kertészeti termesztésben. A legtöbb cseresznyét Fejér megyében termelték (1150 tonna), ezt követte Heves megye 842 tonna betakarított mennyiséggel (KSH 2010).

Ma a magyar cseresznyeültetvények közel negyede Pest megyében található. Jelentős ültetvényfelületek vannak a Duna-Tisza közén Bács-Kiskun, a Tiszántúlon Jász-Nagykun-Szolnok megyében, valamint a Dunántúlon Fejér, északon Borsod-Abaúj-Zemplén megyében (KSH 2010). Ezeken a területeken az éves csapadékmennyiség 50 év átlagában alatta marad az intenzív ültetvényeken optimálisnak tartott 750–1000 mm-nek.

A régebbi szakirodalom úgy tartotta, hogy a cseresznye nem tartozik a vízigényes fajok közé (Hilkenbäumer 1964). A hazai gyakorlat szerint a magyarországi csapadékviszonyok (évi 500–600 mm — szélsőséges évektől eltekintve) elegendőek a cseresznye termesztéséhez (Kállay

2003). Ezzel szemben Hanson és Proebsting (1996) 750–1000 mm-re becsüli a cseresznyeültetvények éves vízigényét. Dehghanisanij et al. (2007) szemiarid területre 876 mm-es öntözést juttatott ki cseresznyeállományra (100%-os evaporáció alapján), ugyanakkor a tényleges evapotranszspirációnak 1007 mm-t számolt.

A cseresznyének vízigény szempontjából három kritikus, fejlődési stádiumhoz köthető időszaka van: virágzás, gyümölcsérés, termőrész differenciálódás. Az elsőként említett fenológiai menet alatt hullott nagy mennyiségű csapadék termékenyülési problémákat idézhet elő, ilyenkor ugyanis a pollen a nagy ozmotikus potenciáljának megfelelően sok vizet vesz fel, és megrepedhet (Pethő 1993). A második szakaszban – a termések színeződésétől a teljes érettségig eltelt időszak – lehulló csapadékmennyiség a gyümölcs minőségét súlyosan károsíthatja a megnövekedett gyökérnyomás, és a bőrszöveten át felvett víz miatt a gyümölcs megrepedhet (Sekse et al. 2005, Simon 2006, 2009). A harmadik érzékeny fenológiai menet a termőrészek differenciálódásának időszaka (július vége).

Az intenzív termesztési technológiával egyre inkább előtérbe kerülő növekedést mérséklő alanyokon a fák érzékenyebbek, gyakran mutatnak vízhiányos tüneteket a hazai cseresznye- és meggytermesztésben standardnak számító Cema sajmeggy alanyhoz képest (Hrotkó 1999, Bujdosó 2004, Bujdosó et al. 2004, Franken–Bembenek 2010).

Burak és Senih (2010) a különböző öntözési kezelések hatásait vizsgálták különös tekintettel az evapotranszspirációra és a vegetatív növekedésre ’0900-Ziraat’/GiSelA 5. (törpealanyú) két és három éves cseresznyefákon, Törökország észak-nyugati (mérsékelt) területén. A térállás 5,0x2,5 méteres volt. Az egyes kezelésekben, az öntözővíz mennyiséget ’A’ típusú káddal mért vízveszteség alapján számolták négy kategória szerint (a káddal mért vízveszteség 50%-os, 75%-os, 100%-os (kontroll), 125%-os vízpótló öntözéssel). Az első vizsgálati esztendő 99,9 mm természetes csapadéka (június-október) mellett a kontroll alapján további 475 mm vizet juttattak ki (100%-os vízpótlás), és 518 mm-es tényleges evapotranszspirációval számolt. A második vizsgálati évben (három éves állomány) 134 mm eső (május-szeptember) mellé 552 mm-t öntöztek, és 599 mm-nyi tényleges párolgást becsült.

Az alany-nemes kombinációk helyes megválasztásának jelentősége a cseresznyefák vízellátásában

Az alanynak az oltvány vízfelvételére és vízszállítására gyakorolt hatása kritikus pontja lehet a termesztésnek. A mérsékelt vízfogyasztású, ugyanakkor a fának az optimális fejlődést és termésmennyiséget és minőséget biztosító alany kiválasztása kulcspontja lehet az intenzív gyümölcstermesztésnek (Hrotkó 2003, Szabó et al. 2011).

Az alanyok jelentős fiziológiai hatással bírnak az oltvány víz és tápanyagfelvételére ill. szállítására (Fassio et al. 2009), jelentősen befolyásolják a növényi produktivitást a vízháztartáson keresztül (Giulivo et al. 1985, Olien és Lakso 1986, Klamkowski és Treder 2002). A különböző alanyok vízszállító rendszerének anatómiai felépítése hatással lehet a fa hidraulikus vezetésére (Tyree és Zimmerman 2002, Tombesi et al. 2010). Rieger és Litvin (1999) jelentős szerepet tulajdonítanak a cortexnek a hidraulikus vezetőképességet befolyásoló voltára. Kimutatták, hogy a szélesebb cortexvel rendelkező fajok hidraulikus vezetőképessége kisebb.

Az alany és a nemes rész eltérő szöveti felépítése miatt az oltási helyen megváltozhat az edények szállítókapacitása, mely negatív hatással van a nedvtranszportra (Reyes–Santamaria et al. 2002).

Solari et al. (2006) írása szerint az őszibarackfánál (*Prunus persica*) az alanyok a vegetatív növekedésre egyértelműen a vízháztartáson, növényi vízgazdálkodáson keresztül gyakorolnak hatást. Középerős alanyokra oltott őszibarackfáknál alacsonyabb hidraulikus vezetést mért, mint az erős alanyúra oltottakon. Clearwater et al. (2004) középerős alanyra oltott kivifákon (*Actinidia deliciosa*) alacsonyabb nedváramlási értékeket regisztrált, mint erős alanyra oltottakon. Olien és Lakso (1986) a törpítő alanyon álló almafák (*Prunus domestica*) alacsony hidraulikus vezetéséről számol be.

Atkinson et al. (2001) almánál (*Prunus domestica*) megmutatta, hogy az oltási hely, az ott bekövetkező morfológiai és anatómiai változásoknak köszönhetően, hatással van a növényi vízfelhasználásra. Az oltási pontban diszkontinuitás (szakadási zóna) alakulhat ki, mely jelentős ellenállással bír a nedvtranszportra nézve. Az oltási helyen bekövetkező hidraulikus korlátozás hirtelen vízhiányt indukálhat a nemes részben (Massai és Gucci 1997). Beakbane és Thomson (1939) almaalanyokon végzett anatómiai kutatásai alapján a törpe alanyú fák kevesebb és kisebb átmérőjű xilém szállítóedénnyel rendelkeznek, mint az erős növekedésűek.

A különböző alanyon álló almafák nedváramlásbeli különbségei a gyökérkarakterisztika, xilém anatómia eltérő voltából adódnak (Steudle et al. 1987, Hussein és McFarland 1994). Hasonlóakat ír Syvertsen (1981) citrusféléknél (*Citrus Limon*), miszerint a különböző alanyokra oltott fák vízfelvételében és vízszállításában megmutatkozó különbség a különböző mennyiségű és eloszlású gyökérzet miatt van.

A növekedést mérséklő alanyok a rájuk szemzett cseresznye- és meggyfajták növekedési erélyét egymástól eltérő mértékben mérséklik. Barlow és Smith (1978) megfigyelték, hogy a növekedést mérséklő almaalanyokra szemzett nagylevelű almafajták kislevelűekké váltak, mert az alany gyökerei ezzel a mechanizmussal csökkentette transzspirációját. A növekedést mérséklő alanyokra szemzett fajták fenofázisaiban is eltérések mutatkoznak. A törpítő alanyokra szemzett cseresznye- és meggyfajták virágzási és érési ideje között legszembetűnőbb az eltérés. Lichev és

Lankes (2003) valamint Blazkova és Hlusickova (2004) adatai szerint a növekedést mérséklő alanyokra szemzett cseresznyefajták virágzási ideje néhány nappal később kezdődött a kontroll kombinációkhoz képest, Pfannenstiel és Schulte (2000) valamint Stehr (2003) viszont korábbi virágnyílást figyelt meg.

Az alanyhatást legjobban a terméshozamindex (a törzskeresztmetszet egységnyi felületére eső termésmennyiség) mutatja meg. E mutatószám alapján a GiSelA 5 alanyra szemzett cseresznyefajtákon mutatkozik leginkább az alanyhatás (Stehr 1998).

A növekedést mérséklő cseresznye- és meggyalanyokra szemzett gyümölcsfajták a termesztésben standardnak tekinthető alanyokhoz képest hamarabb elöregszenek. Telepítés utáni 12–15. nyaras korban egyre szembetűnőbbek az elöregedés jelei; a koronában egyre kevesebb oldalelágazás található, nagy a felkopaszodott részek aránya, a gyümölcsméret évről-évre csökken. A növekedést mérséklő alanyokra szemzett cseresznye-és meggyfajták korai öregedése miatt az intenzív ültetvények élettartama a „hagyományos” ültetvényekéhez képest rövidebb (Franken–Bembenek 1995, Simon 1999).

3. CÉLKITŰZÉSEK

A szakirodalom tanulmányozása után az alábbi célokat fogalmaztuk meg kutatásunkhoz:

- Feladatként fogalmazódott meg annak a meghatározása, hogy mennyi a korai érésű intenzív körülmények között nevelt cseresznyefák vízfelvétele a vegetációs időszakban, havi szinten, ill. a gyümölcsérés előtt és után.

- Célunk modellszámítások segítségével meghatározni, hogy az intenzív művelésű, sűrű ültetésű cseresznye egységnyi területére eső növényállománynak milyen mértékű a vízfogyasztása.

- Vizsgálni kívánjuk a nedváramlás nappali és éjszakai karakterisztikáját, ill. a napszaki vízfogyasztás mértékét és az éjszakai vízfogyasztás jelentőségét.

- Célunk a haszonnövény transzspirációs koefficiens vegetációs időszakon belüli alakulásának megadása hazai körülmények között, intenzív művelésű, karcsúorsó koronaformával nevelt, korai érésű cseresznyeültetvényre.

- A vízigényt meghatározó tényezők pontosabb megismerése érdekében tanulmányozni szükséges a cseresznyefák nedváramlása és a meteorológiai paraméterek között fennálló kapcsolatrendszert.

- A mért nedváramlás és egy kétforrásos párolgási modell transzspirációs részének összehasonítása, valamint a modell különböző meteorológiai körülmények között mutatott viselkedése szintén feladatként fogalmazódott meg.

- A modellezés kapcsán szándékunkban áll érzékenységi vizsgálat elvégzése, különös tekintettel a bemenő növényi paraméterekre.

- Célul tűztük ki a cseresznyefák nedváramlásának a nyári zöldmetszésre ill. koronatetejezésre adott válaszreakciójának tanulmányozását.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4. 1. A kísérleti helyszín

Kutatómunkánk során méréseinket a Budapesti Corvinus Egyetem Kertészettudományi Kar Soroksári Kísérleti Üzem és Tangazdaságában végeztük. A kísérleti helyszín a Duna mentén helyezkedik el Budapesttől délre, 15 km-re (É.sz.: 47°22', K.h.:19°09, tszfm.:103 m). A talajok nagy része a Duna meszes homokhordalékán képződött. Könnyű, homokos talajszerkezet jellemzi 2,2–3,0%-os mésztartalommal, 7,6–7,8-as pH és 24-es Arany-féle kötöttségi számmal (K_A), alacsony humusztartalommal (0,8–1%) (A részletes talajtulajdonságokat az 1. melléklet tartalmazza).

Soroksár földrajzi elhelyezkedéséből adódóan az alföldi klímaterület jegyeit viseli. Magas besugárzási érték (napsütéses órák száma: 2079 óra·év^{-1}), kicsiny éves csapadékösszeg, a léghőmérséklet napi és évi ingadozása jellemzi. Az éves átlaghőmérséklet 11,3 °C. Homoktalaja révén a talajmenti fagy az átmeneti évszakokban veszélyt jelenthet a termesztett kultúrákra. Az éves csapadékmennyiség országos viszonylatban csekélynek mondható (550 mm·év^{-1}), ehhez kedvezőtlen vonásként társul jelentős időbeli változékonysága. Az uralkodó szélirány északnyugati, éves átlagos szélsebesség 2,5 m·s^{-1} (Tőkei 1989).

4. 2. A kísérleti ültetvény

Nedváramlás mérésekhez a vizsgált egyedeket egy 2004-es telepítésű cseresznyetáblából választottuk ki. A gyümölcsös adatait a 2. táblázat tartalmazza.

Az ültetvényben integrált növényvédelmi eljárást alkalmaznak; márciusban rezes lemosópermetezéssel védekeznek a gombás betegségek megelőzése végett (Champion 5 WP, 77%-os rézhidroxid hatóanyagtartalommal). A blumeriellás levélfoltosság (*Blumeriella jaapii*) elkerülésére a lehullott leveleket, a moniliás betegség *(Monilia laxa)* megelőzése miatt a gyümölcsmúmiákat összeszedik, elszállítják. 2009-ben a cseresznyelégy ellen áprilisban kétszer, májusban pedig négyszer történt vegyszeres védekezés (felváltva: Calypso 480 SC-t (480 g·l^{-1} tiakloprid hatóanyag) és a Carate Zeon 5 CS-t (50 g·l^{-1} lambda cihalotrin hatóanyag).

A tápanyag-utánpótlás nitrogént, foszfort, káliumot, magnéziumot és cinket tartalmazó műtrágyákkal valósult meg. Ezen kívül ammónium-nitrátot, szuperfoszfátot, és káliumszulfátot is juttattak a tenyészterületre.

2. táblázat A kísérleti ültetvény fontosabb adatai

Ültetvény területe	1,0 ha
Sortávolság	4,0 m
Tőtávolság	2,0 m
Tenyészterület	8,0 m^2
Sorok tájolása	É-D
Sorköz	füvesített
Egyedszám	1250 $fa \cdot ha^{-1}$
Fajta	'Rita' (IV-5/62)
A vizsgált fák alanyai	Korponay, Érdi V., GiSelA 6, Vadcseresznye
Koronaforma	Alsó vázkaros karcsúorsó
Telepítés éve	2004 tavasz (egyéves suhángként)
Termőrefordulás éve	2006
Öntözés	lombkorona alatti csepegtető

A félintenzív és intenzív ültetvényhez, hazai körülményekre ajánlott koronalakítási formák: felsőrügyes orsó (Brunner 1982, 1990), módosított Brunner-orsó (Simon et al. 1998) és karcsúorsó koronaforma (Simon 1999) közül a kísérleti parcella fáinak alakítása az utóbbival történt. A karcsúorsó korona alapszerkezetére (Hrotkó 2001, Hrotkó et al. 2007) törekedve a kialakítás során figyelembe vették a sudár dominanciájának megtartását, a termőgallyazat folyamatos megújítását.

A fák 2009-ben érték el végleges magasságukat, ekkor 3,5 méteres magasságban a koronákat letetejezték, ezzel számításaink szerint a lombkorona felülete 12%-kal csökkent.

4. 2. 1. A vizsgált fák fajtája és alanyai

A cseresznyetermesztésben két komponensből, alanyból és nemesből álló oltványokat telepítenek, melyek tulajdonságai a komponensek kölcsönhatásainak eredményeképpen érvényesülnek (Hrotkó 1999). Az alanyok befolyásolják a fák vegetatív teljesítményét, a fenológiai fázisok alakulását, a generatív teljesítményt, a gyümölcs minőségét, az öko- és patorezisztenciát, a betegségekkel szembeni ellenálló képességet. A termesztés számára kiemelkedően fontos az alanyoknak a nemes fajták virágzási, termékenyülési és terméshozási tulajdonságaira gyakorolt hatása is. A gyümölcsminőséget az alany közvetlenül és közvetve is befolyásolhatja. A nemes fajta hatással lehet a fák gyökérzetének méretére, habitusára, hidegtűrésére és növekedésére (Hrotkó 1999). A termesztéstechnológia megválasztása során fontos az alanyok növekedési erélyre gyakorolt hatásának szem előtt tartása. A csonthéjas

alanyokat növekedésük alapján négy csoportba sorolhatjuk (törpe, féltörpe, középerős, erős) (Hrotkó 2003). A különböző növekedési erélyű alanyok eltérő hatást gyakorolnak a cseresznyefák hajtásrendszerére és ezen keresztül a fánkénti levélborítottságra, az egyedi levélfelületre, valamint a specifikus levéltömegre. Az alanyok hatással vannak a nemes leveleinek sztómakonduktivitására, a párologtatására és a fotoszintézis intenzitására (Gyeviki 2011).

Munkánk során a vizsgált egyedeket úgy választottuk ki, hogy azok képviseljék a kísérleti ültetvényben lévő különböző növekedésű alanyú fákat, s így lehetőséget adjanak vízforgalmi sajátosságaik megfigyelésére, tanulmányozására.

A vizsgálatokban négy különböző alanyon álló (3. táblázat) azonos fajtájú fák szerepeltek. A vizsgált fák törzsadatait az 2. melléklet tartalmazza. A tanulmányozásra kiválasztott fák között erős növekedésű Érdi V., középerős Korponay sajmeggy magoncalanyra oltott ’Rita’, valamint középerős Vadcseresznye és törpe növekedésű GiSelA 6-ra oltott ’Rita’ egyedek voltak.

A**’Rita’** (IV-5/62) extra minőségű, korai cseresznyefajtánk, mely egy mesterséges hibrid (’Trusenszkaja 2’ x ’H-2’). 2004-ben kapott állami elismerést, 2006-ban elnyerte az Innovációs Nagydíjat (www.innovacio.hu). Magyarország legkorábban érő cseresznyefajtája, húsos, nagy gyümölcsű. Évjárattól függően már május 20-a körül érett sötétbordó gyümölcs szüretelhető. Gyümölcse kedvező körülmények között a 30 mm átmérőt is eléri, alakja széles tompa kúp, a hasi oldalon kissé lapított, a hátoldalon jellegzetes kidudorodással. Húsa középkemény-kemény, magja középnagy. Íze kellemesen édes-savanykás. Túlkötődésre és az érés idején bekövetkező tartós esőben repedésre hajlamos (Simon 2006). Fája középerős növekedésű, vesszői vörösek, kissé ívesen hajlók (Apostol 2003).

3. táblázat A kutatómunka során vizsgált alanyok jellemzői

Alanyok	Főbb jellemzők
Érdi V.	id. Zatykó Ferenc által szelektált klón magoncai
Korponay (Sajmeggy V./20)	Sebők Imréné által szelektált öntermékeny sajmeggy magoncai középerős növekedésű, a magtermő klón állami minősítést kapott 2009-ben
Vadcseresznye (*Cerasus avium* L. Mönch) ’C2493’	A ceglédi kutatóintézetben szelektált magtermő klón, cseresznyefajták kiváló kompatibilitású alanya
GiSelA 6	Fajhibrid klónalany, *Prunus cerasus* (Franken–Benbenek 2004, 2005, 2010) féltörpe növekedésű

4. 3. Mérési metodika, mérési eszközök

4. 3. 1. Nedváramlás mérése

A xilém (szállítócsövecskék, melyekben a víz és vízoldékony ásványi anyagok szállítása történik a gyökértől a növény többi részéhez) nedváramlásának meghatározására a „Dynamax Flow 32" szár-hőegyensúly metodikával működő nedváramlás mérő eszközt (Dynamax Inc., Houston, TX, USA) használtuk (6. ábra). A módszer előnye, hogy a növény nedváramlását háborítatlan, természetes környezetében tudtuk mérni.

6. ábra A Dynamax nedvárammérő eszköz szenzora és vezérlőegysége

A kísérleti terület megválasztása és előkészítése, a vezetéktelepítés, az áramellátás folyamatos biztosítása, a berendezés megrongálását, lopását megakadályozandó intézkedések, a védelem kiépítése, a sorközi gépmozgás, az ültetvénykezelő munkálatok figyelembevétele miatt komoly megfontolásokat igényelt. A fák kiválasztásánál a kutatási cél mellett a műszernek való megfeleltetést is szem előtt kellett tartani.

A fák törzsátmérőjének (2. és 3. melléklet) megfelelően az első évben az 50 mm-es, míg 2009-ben és 2010-ben a 70 mm-es, 2011-ben a 70 és a 100 mm-es átmérőjű szenzorokat használtuk. Minden esztendőben a műszerrel maximálisan lehetséges nyolc szenzorral, azaz nyolc egyeden

kezdtük meg a mérést. Azonban bizonyos időszakokban nem minden szenzor gyűjtött sikeresen adatokat. Azon napokat kizártuk a vizsgálatokból, amikor négy szenzornál kevesebb működött.

Az elektromosan fűthető fémszálakkal behálózott szalagot (7. ábra) az ágaktól és érdességtől megtisztított szár köré, a megfelelő érintkezés végett résmentesen rögzítettük, majd gondosan szigeteltük, hogy az egyes környezeti hatásokat kizárjunk (szennyeződés, sorközi művelés során szálló por, permetszer, kezelőszer, stb.).

7. ábra A nedváram mérő habszigetelt szenzora

A használati kézikönyv (Dynamax, 1990) szerint a szenzort sima, sérüléstől, mély barázdától mentes, dörzspapírral óvatosan megtisztított fatörzsön kell elhelyezni. Megjegyezzük, hogy a dörzsölésre, mint mechanikai sérelemre a fa nedvedzéssel, mézgásodással válaszolt, ami jelentősen megnehezítette a tökéletes kontaktus meglétét a szenzor és a szár között. Ezért a törzs simára dörzsölését csak a próbaüzemben alkalmaztuk, később törekedtünk a minél simább törzsű fa kiválasztására.

Ültetvényben történő vizsgálatkor nem szabad eltekinteni attól sem, hogy a faegyed transzspirációjára hatással van a konkurens szomszédos egyedekkel való versengés, az egyed gyökérzetének fejlettsége, a talaj vízkapacitása és heterogenitása.

A törzsön történő – csapadékból vagy harmatból származó – vízlefolyás kiküszöbölésére, a fűtőszalag alá jutás megelőzésére, kalapszerű műanyag ’ernyőt’ alkalmaztunk (8. ábra), szigetelő habbal rögzítve. Még a bőre szabott ’ernyő’ esetén is előfordult, hogy a törzs intenzív

duzzadásakor az esővédő tányér belevágott, úgymond belenőtt a törzsbe (9. ábra). Ezen sérülések elkerülése végett a későbbiekben műanyag fóliával szigeteltük felülről a mandzsettákat.

8. ábra Lefolyásvédő ’kalappal’ellátott mandzsetták

9. ábra A lefolyás ellen védő „kalap” sérülései

A szenzort körülölelő lágy habgallér a külső hőmérsékleti hatásoktól való védelem és a szár hőegyensúlyának fenntartása miatt szükséges, a fényvisszaverő fólia pedig sugárzás-visszaverő szerepet tölt be.

A szenzorokat a talajtól 40-50 cm-es magasságban helyeztük a letisztított törzsre. (Az alsó vázkarok miatt nem tehettük feljebb.) Így vált lehetővé, hogy a szenzorok felettük levő teljes lombkorona párologtatását szolgáló nedváramlást mérték. A talajközeli markáns hőmérséklet-ingadozás hatásának mérséklésére alulról is szigeteltük a rendszert.

A nedváramlás mérőt mind a négy vizsgálati esztendőben (2008, 2009, 2010, 2011) április 10-től augusztus 31-ig működtettük, azonban meg kell jegyeznünk, hogy az előre nem látható technikai és üzemi problémák miatt (villámcsapás, vadrongálás: nyulak, őzek elrágták a vezetéket, lopási kísérlet vezetékvágással, beázás, gombásodás, mézgásodás…) az adatnyerés nem volt folytonos. Így 2008-ból összesen 43, 2009-ből 43, 2010-ből 12, 2011-ből 76 sikeres mintavételi napunk származott (4. táblázat).

A mérés egy percenként, a regisztrálás 15 perces átlagolással történt Campbell CR 1000-es (Campbell Scientific Inc., USA) adatrögzítővel. A törzs hővezető képességére a 0,42 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ értéket állítottuk be a kézikönyv fás szárúakra megadott javaslata alapján (Dynamax 1990). A rendszer megbízható működéséhez a folyamatos hálózati tápellátás biztosított volt.

A nedváramlási adatok feldolgozásához a PASW 18 statisztikai programot használtuk. Egytényezős varianciaanalízist és lineáris regressziós analízist alkalmaztunk a nedváramlás vizsgálatára és a meteorológiai paraméterek közötti összefüggések kimutatására.

4. táblázat Az alkalmazott alany-nemes kombinációk az egyes mérési időszakokban

Kísérleti fázis	Sorszám	Dátum	Kísérleti alanyok
I. 2008 (összesen 43 nap)	1.	2008.05.04-08.	Érdi V., Korponay
	2.	2008.05.25-30.	Érdi V., Korponay
	3.	2008.06.14-18.	Érdi V., Korponay
	4.	2008.06.27-30.	Érdi V., Korponay
	5.	2008.07.22-28.	Érdi V., Korponay, Vadcseresznye, GiSelA 6.
	6.	2008.08.11-13.	Érdi V., Korponay, Vadcseresznye, GiSelA 6.
	7.	2008.08.22-28.	Érdi V., Korponay, Vadcseresznye, GiSelA 6.
II. 2009 (összesen 43 nap)	1.	2009.05.09-13.	Korponay, Vadcseresznye, GiSelA 6
	2.	2009.06.05-18.	Érdi V., Korponay, GiSelA 6
	3.	2009.07.04-08.	Érdi V., Korponay, Vadcseresznye, GiSelA 6.
	4.	2009.07.24-29.	Érdi V., Korponay, Vadcseresznye, GiSelA 6.

	5.	2009.08.04-10.	Érdi V., Korponay, Vadcseresznye, GiSelA 6.
	6.	2009.08.14-19.	Korponay, GiSelA 6, Vadcseresznye
	7.	2009.08.24-28.	GiSelA 6
III. 2010 (összesen 12 nap)	1.	2010.06.28-30.	GiSelA 6, Korponay, Vadcseresznye
	2	2010.07.03-13.	GiSelA 6, Korponay, Vadcseresznye
IV. 2011 (összesen 76 nap)	1.	2011. 05.19-06.02.	GiSelA 6, Érdi V.
	2.	2011.06.28-30.	GiSelA 6, Érdi V.
	3.	2011.07.06-25.	GiSelA 6, Érdi V.
	4.	2011.08.02-08.31.	GiSelA 6, Érdi V.

4. 3. 2. Meteorológiai paraméterek mérése

Nedváram mérő eszközünk mellett meteorológiai állomást (10.b ábra) üzemeltettünk a kísérlet helyszínén. Ennek segítségével mértük a léghőmérsékletet és a relatív nedvességet két méteres magasságban Vaisala HMP35 típusú műszerrel. Elisea (2002) szerint a fiatal cseresznyefák mikroszórófejes öntözés mellett 40–50 cm-es mélységben fejlesztik a legsűrűbb gyökérzetüket. 2008. június 25-től a talajnedvességi monitorozására a Campbell CS616 eszközt használtuk 30 cm-es és 60 cm-es mélységben (10.a ábra).

Csapadékra vonatkozó információkat a Rovartani Tanszék gondozásában lévő, a kísérleti ültetvényünktől kb. 500 méterre, egy almaültetvényben felállított meteorológiai állomás adataiból nyertük (www.fieldclimate.com). A globálsugárzási adatok a Soroksártól körülbelül 10 km távolságra lévő, az Országos Meteorológiai Szolgálat pestszentlőrinci állomásáról származnak (OMSZ 2008, 2009, 2010, 2011). A szélsebesség mérése a Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék által 2006-tól kezdődően működtetett soroksári meteorológiai állomáson (www.uni-corvinus.hu/~talajesviz) történt 10 méteres magasságban. A hiánypótló széladatokat az Országos Meteorológiai Szolgálattól kaptuk.

4. 3. 2. 1. A kísérleti terület mérési időszakra vonatkozó meteorológiai adatai

A következőkben röviden áttekintjük a vizsgálat helyszínére és időszakára vonatkozó időjárási jellemzőket. Ezúttal az egyes évek meteorológiai jellegű összehasonlítása nem célunk.

a b

10. ábra Talajnedvesség mérő elhelyezése 60 cm-es mélységre (a) Meteorológiai mérőeszközökkel kibővített nedváram-mérő állomás (b)

A csapadék térben és időben legváltozékonyabb meteorológiai elem, rendkívül erős lokális kilengései lehetnek. Az elmúlt évek magyarországi mérései is ezt támasztják alá. Meteorológusok a 2010-es esztendőt például a „Rendkívüli csapadékok évének" nevezik, hiszen éves szinten országosan a sokéves csapadékösszeg 169%-a hullott le (www.met.hu). Az éghajlati modellek szerint a nagy csapadékok gyakorisága növekszik hazánkban (OMSZ 2010). Nemegyszer 24 óra leforgása alatt egyhavi csapadékmennyiség is lehullhat. 2011. július 30-án, Hajdú-Bihar megyében, Földesen megdőlt az erre a napra érvényes 24 órás rekord, 112,6 mm eső esett egyetlen nap leforgása alatt.

A kertészeti termesztésben fontos, hogy a vegetációs időszakot megelőző hónapok csapadékösszegéről is tájékozódjunk, hiszen ennek mennyisége éppoly fontos – a talajban történő vízraktározás és a később hónapok vízgazdálkodása miatt –, mint a tenyészidőszakban hullott csapadékmennyiség. Szász (1993) rámutat, hogy a téli időszakban csökkent csapadékmennyiség rontja a talaj vízkészlet gazdálkodását, ami különösen a humuszban szegény homoktalajokon okoz víz-és tápanyagfelvételi problémákat.

Az 5. táblázat adataiból világosan látszik, hogy a vizsgált években – kivéve 2011 – a késő téli, kora tavaszi csapadékmennyiség meghaladta a sokéves átlagot. 2011-ben a májust megelőző öt hónapban a szokásos összegnek kevesebb, mint fele hullott le. Ebből már következtethető, hogy már a tenyészidőszak korai szakaszában szükséges lehet a vízpótlás, még úgy is, hogy a további

hónapok csapadékösszege is az átlagosnak megfelelően alakult, igaz időbeli eloszlása rendkívül szélsőséges volt, augusztusban csupán 2,2 mm eső esett a kísérlet helyszínén.

Az egyes években a májustól augusztusig terjedő időszakban bőséges csapadékmennyiség hullott – 2009-ben is csupán 6%-kal maradt el az időszakra vonatkozó átlagtól –, az esőzés gyakorisága, valamint az egyszerre lehulló csapadékmennyiség azonban meglehetősen változékonyan alakult (6. táblázat). Ennek figyelembevételével vízpótló öntözés történt a kísérleti táblán.

A teljes kísérleti periódust tekintve 2008-ban és 2010-ben az ültevény nem kapott öntözéses vízpótlást. 2009-ben és 2011-ben a 4. mellékletben szereplő csepegtető öntözéssel kijuttatott vízmennyiségben részesült a vizsgált cseresznyetábla.

5. táblázat A mérési időszakot megelőző és a mérési időszak csapadékösszegei (a kísérleti területen) az adott időszakra vonatkozó átlagos csapadékösszegek (bázisidőszak: 1971–2000, Pestszentlőrinc) százalékos arányában

Időszak (mérést megelőző)	Csapadékösszeg (mm)/az időszakra vonatkoztatott átlagos csapadékösszegek százalékában (%)
2007. december – 2008. április	191/112
2008. december – 2009. április	185/109
2009. december – 2010. április	218/128
2010. december – 2011. április	66/38
Időszak (mérési)	
2008. május – augusztus	331/148
2009. május – augusztus	207/94
2010. május – augusztus	476/215
2011. május – augusztus	220/99

6. táblázat A mérési hónapokban a kísérleti területen mért hőmérsékleti átlagértékek (minimum, maximum, közép); havi csapadékösszegek (kísérleti területen) a havi átlagos csapadékösszegek (bázisidőszak: 1971–2000, Pestszentlőrinc) százalékos arányában, havi átlagos relatív nedvességtartam; a havi sugárzási összeg

Időszak	Havi átlagos hőmérsékleti értékek (°C)			Csapadékösszeg (mm)/a havi átlagos csapadékösszegek százalékában (%)	Relatív nedvesség (%)	Globálsugárzás ($MJ \cdot m^{-2}$)
	T_{min}	T_k	T_{max}			
2008						
Május	7,6	14,8	21,7	42/77	70	672
Június	12,3	18,7	25,3	106/168	74	660
Július	12,7	18,9	25,4	141/272	72	647
Augusztus	11,0	18,8	26,3	41/84	68	665

2009						
Május	6,9	15,0	21,7	20/37	63	648
Június	10,2	16,6	23,0	117/186	74	606
Július	12,3	20,1	27,7	44/84	67	759
Augusztus	12,2	19,7	27,0	26/50	68	586
2010						
Május	8,4	13,7	12,6	166/302	83	491
Június	11,7	17,6	23,3	168/267	79	584
Július	13,8	20,7	27,3	60/115	75	668
Augusztus	11,7	18,3	24,9	82/160	80	571
2011						
Május	6,0	14,1	21,8	48/87	70	687
Június	11,3	18,2	24,6	76/121	73	632
Július	12,0	18,5	24,9	93/180	74	599
Augusztus	11,3	19,7	27,8	2/4	70	645

2008-as kísérleti időszak időjárása

2008 májusa Soroksáron kissé hűvösebb volt a sokévi átlagnál, ugyanakkor a globálsugárzás havi összege a júniusi hónapénak felelt meg. A havi átlaghőmérséklet 6,8 °C-kal elmaradt az ilyenkor szokásostól. Május legmelegebb napján 29,3 °C volt a napi maximumhőmérséklet. A csapadék normál mennyiségének 77%-a hullott le. A havi átlagos légnedvesség minimálisan meghaladta, az ilyenkor szokásos értéket. 2008 júniusában a középhőmérséklet 18,7 °C-nak adódott, ami normálérték körülinek mondható, a hónap azonban jóval csapadékosabb volt az átlagosnál. Tizenkettő csapadékmentes nap volt, három nap 10 mm-et meghaladó esővel, június 18-án 38,2 mm esett. A relatív nedvesség kissé magasabb volt, mint a júniusra jellemző. A harminc napos sugárzási összeg 660 $MJ \cdot m^{-2}$ volt.

2008 júliusa az átlagnál kissé melegebbnek és rendkívül csapadékosnak mondható, majdnem háromszorosa hullott az ilyenkor szokásos mennyiségnek. Az átlaghőmérséklet 1,9 °C-kal volt magasabb az átlagnál. Tizenkét nyári napot ($T_{max} \geq 25°C$) és három hőségnapot ($T_{max} \geq 30°C$) jegyeztünk fel júliusban Soroksáron. Négy napon fordult elő 20 mm-t meghaladó csapadékmennyiség. A relatív nedvesség átlagosan 72%-os volt a hónapban. A globálsugárzás összege nem érte el a havi átlagot.

2008 augusztusa az átlagnál hűvösebb és csapadékban szegényebb volt. A középhőmérséklet 18,9 °C-nak adódott. Öt hőségnapot is regisztráltunk. A havi csapadékösszeg 41,4 mm volt, ami

négy napon esett le. A globálsugárzás magasabb volt az augusztusi átlagos összegnél. A relatív légnedvességtartam 68%-os volt.

2009-es kísérleti időszak időjárása

2009 májusa a középhőmérséklete tekintve átlag alatti volt Soroksáron, és nem bővelkedett az égi áldásban. A havi csapadékösszeg alig haladta meg az ilyenkor szokásos mennyiség egyharmadát. Május 3–13-a , valamint 15–26-a között nem esett eső. A globálsugárzás havi összege 648 $MJ \cdot m^{-2}$, a légnedvesség átlaga 63% volt.

2009 júniusát átlag alatti hőmérsékletű, csapadékos hónapként jegyezzük Soroksáron. 16,6 °C-os középhőmérsékletet regisztráltunk. A csapadék a kísérleti területen majdnem kétszerese volt az ilyenkor szokásos mennyiségnek. Több napon is előfordult lokálisan nagy mennyiségű eső, felhőszakadás, jégeső, zivatar kíséretében. 74%-os volt a havi átlagos relatív nedvesség és 606 $MJ \cdot m^{-2}$ a sugárzási összeg.

2009 júliusa átlagos hőmérsékletű és csapadékban szegényebb hónap volt. A havi csapadékösszeg 43,8 mm-rel az országos átlaghoz hasonlóan alakult. Július 3-án 20,8 mm eső hullott, július18-án az ország felett átvonult hidegfrontot pedig 14,4 mm csapadék kísérte. A globálsugárzás összege (759 $MJ \cdot m^{-2}$) átlag felett alakult.

2009 augusztusa átlagos hőmérsékletű, csapadékban szegény hónap volt. Az abszolút maximumot 33,2 °C, az abszolút minimumot 4,8 °C-nak mértük. A nyolcadik havi szokásos csapadékmennyiségnek fele hullott csupán a hónapban. Kiemelkedően nagy napi csapadékösszeg nem fordult elő. A sugárzás és relatív nedvességtartam is átlagosnak mondható.

2010-es kísérleti időszak időjárása

A 2010-es rendkívül esős tenyészidőszakot már megelőzte egy átlagon felüli csapadékmennyiséggel rendelkező szakasz. Mind a négy vizsgálati hónapban meghaladta a havi átlagokat a lehullott eső mennyisége. Májusban háromszor, júniusban több mint két és félszer, augusztusban másfélszer annyi eső esett, mint a szokásos havi mennyiségek. Júliusban is 15%-kal a normálértéken felül alakult a csapadékmennyiség.

2010 májusa az átlagosnál hűvösebb és extrém mértékben csapadékos volt. A középhőmérséklet 13,7 °C-nak adódott. Májusban sem nyári napot, sem hőségnapot nem jegyeztünk fel. Mindkét adat elmarad a sokévi átlagtól. Az ötödik hónapban csupán hat csapadékmentes nap volt. A hónapban leesett rengeteg eső elsősorban a Zsófia ciklon átvonulásához köthető. Zsófia május 15–18. között 68,8 mm csapadékot hozott Soroksárra. A levegő relatív nedvességtartalma magas volt, átlagosan 83%. A globálsugárzás mértéke jóval alulmaradt az ilyenkor megszokottnál.

2010 júniusa az ilyenkor szokásosnál kissé hűvösebb volt, a havi középhőmérséklet 17,6 °C volt. A nyári napok száma nyolc volt a szokásos tizenöttel szemben; a hőségnapok száma négy volt szemben a szokásos három nappal. 20 mm-t meghaladó napi csapadékot öt napon regisztráltunk. A havi összeg 267%-a volt a havi normálértéknek. A 24 órás maximum (32 mm) június 18-án esett Soroksáron. A havi átlagos relatív nedvességtartam meghaladta az ilyenkor szokásos értéket. A globálsugárzás 584 $MJ \cdot m^{-2}$ volt a hónapban.

2010 július középhőmérséklete átlagos volt (20,7 °C). Július 10. és 23. között a középhőmérséklet rendre meghaladta az 1971–2000-es átlagértéket. Ebben a hónapban országosan tizenkettő nyári, és tizenkettő hőségnapot regisztráltak a huszonegy nyári és nyolc hőségnapos sokéves átlaggal szemben. Ez a hónap is bőséges volt esőben, és a relatív nedvességtartam 75%-os volt.

2010 augusztusa az átlagosnál hűvösebb volt. Tizenhét nyári nap volt, ugyanakkor hőségnapot nem jegyeztünk fel. Folytatódott a csapadékos időjárás. Három egészen jól elkülöníthető csapadékos szakaszt észlelhettünk. Az első ilyen időszak augusztus 3-tól 6-ig tartott, átmeneti szünet után augusztus 12. és 16. között ismét sok csapadék hullott. Ezt egy hosszabb száraz periódus követte, aminek csúcspontján (20. és 23. között) országszerte nem volt csapadék. A hónap végén (27-én, 28-án, 30-án és 31-én) ismét csapadékosra fordult az idő. A relatív nedvesség havi átlaga szintén magas, 80%-os volt.

2011-es kísérleti időszak időjárása

2011 május hűvösebb volt az átlagosnál. A havi középhőmérséklet 14,1 °C volt. Kilenc nyári napot mértünk. A hónap első és utolsó napja között mintegy 7,9 °C-ot emelkedett a napi középhőmérséklet átlagban, de a melegedés nem volt egyenletes, hidegfrontok átvonulása több ízben megtörte azt. A leghűvösebb nap 6-a volt, amikor az átlaghőmérséklet csupán 7,2 °C volt Soroksáron. A hónap elején tapasztalt hűvös periódusban több napon (5-én, 6-án, 7-én) alakult ki talajmenti fagy (rendre a napi minimumok a fent említett napokon: -1,7 °C; -2,7 °C; -2,2 °C). A hónap második felében az értékek javarészt átlag felettiek voltak, a legmelegebb nap 24-e volt 29,5 °C-os átlaghőmérséklettel. Május szárazabb volt a szokásosnál, az e hónapban szokványos csapadékmennyiségnek 87%-a hullott le. A relatív légnedvesség 70%-os, a globálsugárzási összeg az átlagnál több volt.

2011 júniusban a középhőmérséklet a sokéves átlagnak megfelelően alakult, 18,1 °C volt. tizennégy nyári napot és egy hőségnapot jegyeztünk Soroksáron ebben a hónapban. A hónap bővelkedett csapadékban, tizennégy esős napot regisztráltunk. Június 2-án 28,8 mm eső hullott. A relatív nedvességtartam magasabb volt az ilyenkor megszokottnál.

2011 júliusa hűvösebb és csapadékosabb volt a megszokottnál. A havi középhőmérséklet 10%-kal alulmaradt az átlagtól, a csapadékösszeg viszont 80%-os többletet mutatott. Július 10-e forró nap volt, július 7, 8, 9, 11, 13, 14, 17, 19-én a napi maximum hőmérsékletek meghaladták a 30 °C-ot Soroksáron, azaz hőségnapok voltak. Július 20-át követően hűvösebb periódus következett. Július 25-én például a napi középhőmérséklet csak 13,8 °C volt. 18-ától kezdve kettő nap kivételével, minden nap mértünk csapadékot. Teljes havi összeg majdnem kétszerese volt az ilyenkor szokásosnak. Július 24-án 25,8 mm eső esett.

A nyolcadik hónap extrém száraznak mutatkozott az ország jelentős területén, így Soroksáron is, ahol csupán 2,2 mm csapadékot mértünk. Ehhez társult a 14 nyári nap és a 8 hőségnap, ami különösen nagy légköri aszályt eredményezett.

4. 4. Számítási módszerek

4. 4. 1. Haszonnövény transzspirációs koefficiens (K_{cb})

Hazai körülményekre, cseresznyeültetvényekre vonatkoztatott haszonnövény koefficiens értékeket még nem dokumentáltak. Tanulmányunkban a mért nedváramlási adatok, valamint a módosított Penman–Monteith féle egyenlettel (Allen et al. 1998) számított potenciális evapotranszspiráció hányadosaként a mérési napokra kiszámítjuk azt a haszonnövény transzspirációs indexet (crop basal coefficient), amely kimondottan hazai környezetre adaptált 4,0x2,0 méteres térállású karcsúorsó koronaformával nevelt cseresznyeültetvényekre (Hrotkó et al. 2007), a vegetációs időszak egyes hónapjaira tájékoztatást ad arról, hogy az ültetvény egészéről történő lehetséges párolgás mekkora hányadát képezi csupán a fák vízigénye. Az itt definiált haszonnövény transzspirációs koefficiens az általunk, a nedváram-mérővel rögzített növényi transzspiráció (*SF*) és az ültetvényszintű számított potenciális evapotranszspiráció (*PET*) hányadosa:

$$K_{cb} = \frac{SF}{PET},$$

ahol a *PET*-et a módosított Penman–Monteith egyenlettel számítottuk (Allen et al. 1998):

$$PET = \frac{0{,}408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot [u_2 \cdot (e_s - e)]}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0{,}34 \cdot u_2)},$$

ahol *PET* a potenciális evapotranszpiráció (mm·nap^{-1}), Δ a telítési gőznyomás változása (kPa·K^{-1}), R_n nettó sugárzás (W·m^{-2}), *G* a talajhőáram (W·m^{-2}), *γ* pszichrometrikus állandó (hPa·K^{-1}), *T* a kettő méteren mért átlagos napi léghőmérséklet (°C), u_2 a kettő méteren mért átlagos napi szélsebesség (m·s^{-1}), e_s(T) a levegő telítési gőznyomása (mbar), e_r a levegő tényleges gőznyomása (mbar).

(Meg kell jegyeznünk, hogy a nedváram mérővel mért értékek nem közvetlenül a párolgást fejezik ki, hiszen a törzsön átáramoltatott nedv egy része beépül a növényi testbe, tehát nem feltétlenül a mért értékek teljes mennyisége távozik vízgőz formájában a növényi szöveteken át. A K_{cb} számításakor ezt a differenciát elhanyagoljuk).

4. 4. 2. Tényleges evapotranszspiráció

A kétforrásos modellek számításba veszik a növényi transzspirációt és a sorközi talaj evaporációt, vagyis az tényleges evapotranszspirációt ezen tényezők összegeként kalkulálják, súlyozva azzal a faktortényezővel (f_x – ahol *x* Érdi V., Korponay, Vadcseresznye, GiSelA 6 –(5. melléklet), amely kifejezi a talaj és a növényzet tenyészterületre eső borítottsági arányát. Az általunk használt Shuttlewort–Wallace - féle kétforrásos modell elkülöníti a megfelelő borítottsági arány szerint a talaj és növényi párolgást. A teljes területi párolgást (*TET*) a kettő összegeként kezeli:

$$TET = \frac{f_x}{100} \cdot \lambda \cdot E_{veg} + (1 - \frac{f_x}{100}) \cdot \lambda \cdot E_{soil},$$

ahol $\lambda \cdot E_{veg}$ a növényi párolgás, $\lambda \cdot E_{soil}$ talajevaporáció.

A modell bemenő adatai a légköri határfeltételek, és a talaj és növény paraméterek. Az 5. mellékletben feltüntettük a modellben használt állandók értékeit.

4. 4. 2. 1. Növényi transzspiráció

A növényi transzspiráció számítása az alábbi egyenlettel történt:

$$\lambda \cdot E_{veg} = \frac{\Delta \cdot R_n^{veg} + \rho \cdot c_p \cdot \frac{\delta e_r}{r_a^{veg}}}{\Delta + \gamma \cdot (1 + \frac{r_c}{r_a^{veg}})},$$

ahol $\lambda \cdot E$ a látens hőáram (W·m^{-2}), R_n^{veg} a vegetációra eső nettó sugárzás (W·m^{-2}), c_p a levegő állandó nyomáson vett fajhője (J·kg^{-1}·K^{-1}), *ρ* a levegő sűrűsége 20 °C-on (kg·m^{-3}), *γ*

pszichrometrikus állandó (hPa·K^{-1}), δe_r az állomány feletti telítési hiány (mbar), Δ a telítési gőznyomás változása, $r_{a,veg}$ a növényzet feletti aerodinamikai ellenállás (s·m^{-1}), r_c az állomány ellenállás (s·m^{-1}).

A telítési gőznyomás változását kifejezhetjük:

$$\Delta = \Delta(T) = \frac{\lambda \cdot e_s(T)}{R_{vap} \cdot T^2},$$

ahol λ a víz párolgáshője (J·kg^{-1}), $e_s(T)$ a levegő telítési gőznyomása (mbar), R_{vap} a vízgőz gázállandója (J·kg^{-1}·K^{-1}), T léghőmérséklet (°C).

$$\delta e_r = e_s(T) - e_r,$$

ahol e_r a levegő tényleges gőznyomása (mbar), e_s pedig

$$e_s = 6.112 \cdot \exp\left(\frac{17.67 \cdot T}{T + 243.5}\right).$$

A nettó sugárzás kalkulációja:

$$R_n^{veg} = S \cdot (1 - \alpha_{veg}) + (R_a - \sigma \cdot T^4) \cdot \varepsilon$$

ahol S globálsugárzás (W·m^{-2}), α_{veg} az állomány albedója, R_a a légköri visszasugárzás (W·m^{-2}), σ Stefan-Boltzmann állandó (W·m^{-2}·K^{-4}), ε emisszivitás.

Az ellenállások parametrizálása:

Az aerodinamikai ellenállást (r_a^{veg} (m·s^{-1})) a következőképpen számítottuk (neutrális esetre):

$$r_a^{veg} = r_{al}^{veg} + r_{at}^{veg},$$

ahol r_{al}^{veg} az aerodinamikai ellenállás lamináris,

$$r_{al}^{veg} = \frac{5}{u^*} + 6 \cdot u^{*\left(-\frac{2}{3}\right)}$$

r_{at} pedig a turbulens része,

$$r_{at}^{veg} = \frac{0,74}{k \cdot u^*} log \frac{D_{sterm}^{veg}}{z_0},$$

ahol u^* a súrlódási sebesség (m·s^{-1}), k a Kármán állandó, z_o az állomány érdességi magassága (m), D_{stherm} a súrlódási rétegvastagság (m).

$$D_{stherm}^{veg} = z_{stherm} - d$$

ahol z_{stherm} a hőmérsékletmérés referenciaszintje (m), d pedig a kiszorítási rétegvastagság (m).

A momentum átvitelre vonatkozó érdességi paramétert (z_o (m)) és a kiszorítási rétegvastagságot (d(m)) a növényzet magasságából (H_{veg}(m)) Brutsaert (1982) után számítottuk:

$$z_o = 0.136 \cdot H_{veg},$$

$$d = 0.667 \cdot H_{veg},$$

$$u^* = \frac{k \cdot u_r}{ln \frac{D_{rdyn}^{veg}}{z_0} - \Psi_m},$$

ahol u_r a referenciaszintre vonatkoztatott szélsebesség (m·s^{-1}), D_{rdyn}^{veg} a súrlódási rétegvastagság (m), Ψ_m momentumra vonatkozó stabilitási tényező(m)

$$D_{rdyn}^{veg} = z_{rdyn} - d,$$

ahol z_{rdyn} a szélsebességmérés referenciaszintje (m)

A felszíni ellenállás számítása:

$$r_c = \frac{1}{\frac{1}{r_{cut}} + \frac{1}{r_{st}}} + \frac{1}{r_{soil}},$$

ahol r_{cut} a kutikuláris ellenállás (s·m^{-1}), r_{st} a sztómaellenállás (s·m^{-1}), r_{soil} a talajellenállás (s·m^{-1}) (Dolman 1993):

$$r_{soil} = 3.5 \cdot \left(\frac{\theta}{\theta_s}\right)^{-2.3},$$

ahol Θ a talajnedvességtartam (m^3·m^{-3}), a Θ_s a telítési talajnedvességtartalom (m^3·m^{-3})

A növényzet felszíni ellenállását (r_{st}) Jarvis (1976) képletével számítottuk:

$$r_{st} = \frac{r_{stmin} \cdot F_{ad}}{LAI \cdot GLF \cdot F_{ma}},$$

ahol r_{stmin}, a minimális sztómaellenállás (s·m^{-1}), F_{ad} a sztómaműködés légköri tényezőktől való függését fejezi ki, F_{ma} a vízellátottság sztómaműködést befolyásoló hatását fejezi ki (értéke 0 és 1 között van), *LAI* a levélfelületi index, *GLF* a zöld és teljes levélfelület aránya (értéke 0 és 1 közé esik).

A légköri kényszereket kifejező hatásfüggvényt a sztómaműködés globálsugárzástól való függését kifejező egyenlettel (F_{vr}), a sztómaműködés légnedvességtől való hatásfüggvényével (F_{ah},) és a sztómaműködés hőmérséklettől való hatásfüggvényével számítjuk (F_{at}) (Ács et al. 2000a):

$$F_{ad} = \frac{F_{vr}}{F_{ah} \cdot F_{at}}.$$

A rövidhullámú sugárzás hatásfüggvénye:

$$F_{vr} = \frac{S_{vis} + K_{rl}}{S_{vis}},$$

ahol K_{rl} sugárzási állandó (W·m^{-2}). S_{vis} az abszorbeált látható sugárzás (W·m^{-2}):

$$S_{vis} = 0.5 \cdot S \cdot (1 - \alpha_{veg}),$$

ahol α_{veg} a vegetáció albedója a globálsugárzás (*S*) látható tartományában.

A légnedvességtől függő tag:

$$F_{ah} = 1 - c_v \cdot [e_s(T) - e_r]$$

A hőmérséklettől függő tag pedig:

$$F_{at} = 1 - c_T \cdot (T_0 - T_r)^2$$

,ahol c_v, és c_t a sztómaműködést szabályozó növényspecifikus állandók, T_o optimális hőmérséklet (°C), T_r levélfelületi hőmérséklet (°C).

A vízellátottságát kifejező függvény F_{ma} értékét a Theta parametrizációval (Ács 2003) számítottuk

$$F_{ma} = \begin{cases} 1, & \text{ha } \Theta_f \leq \Theta \\ \dfrac{\Theta - \Theta_w}{\Theta_f - \Theta_w} & , ha\ \Theta_w < \theta < \Theta_f \\ 0, & \text{ha } \theta \leq \theta_w \end{cases}$$

ahol Θ_w és Θ_f a hervadásponthoz ill. a szabadföldi vízkapacitáshoz tartozó talajnedvességtartalmak ($m^3 \cdot m^{-3}$), Θ az aktuális talajnedvességtartalom ($m^3 \cdot m^{-3}$).

5. EREDMÉNYEK

5. 1. Cseresznyefák egyedi és ültetvényszintű vízfogyasztásának becslése nedváramlás mérésekre alapozva

2008, 2009, 2010, és 2011-ben a terepi mérések a teljes szezonban folytak, használható nedváram mérési adat a 4. táblázatban feltüntetett napokról származik, – május, június, július és augusztus hónapokra, megosztva. Nedváram mérő készülékünk percenként mért, negyed órás átlagolással rögzítette az adatokat, azaz napi szinten 96 értékből álló adatsorral számolhatunk.

Feladatként fogalmazódott meg annak a kiderítése, hogy mennyi a cseresznyefa egyedek vízfogyasztása az egyes napokon, havi szinten, fenológiai menetekhez köthetően, ill. érés előtt és után?

Ahhoz, hogy a cseresznyefák által, 24 óra alatt elpárologtatott víz mennyiségét számszerűsítsük, a napi nedváramlási görbe alatti területet integráltuk, az egyes egyedekről nyert nedváram görbékből átlaggörbét készítettünk, majd a kapott $l \cdot nap^{-1}$ fogyasztási értéket a kísérletünket jellemző tenyészterületre (8,0 m^2) vonatkoztattuk.

A termesztőknek segítségül szolgálhat, ha becslést adunk az intenzív ültetvény havi szintű vízfogyasztására. Ezért a különböző hónapok egyes napjain a nedváram mérővel mért, és egységnyi területre értendő értékeket átlagoltuk, majd hónapra vonatkoztattuk. Természetesen ez nagyságrendi becslést jelent. A későbbiekben a meteorológiai adatok és a mért nedváramlási értékek ismeretéből kalkulálva, bemutatunk olyan számítási egyenleteket (napszakos bontásban), mellyel az aktuális időjárási paraméterekhez igazodóan lehet a vízfogyasztást becsülni. Meg kell említeni, hogy a 12., 14. és 17. ábrán szereplő havi összegek a cseresznyefák párologtatás értékére vonatkoznak, és azt feltételezik, hogy a fák teljesen homogénen borítják a rendelkezésükre álló tenyészterületet. Vagyis például nem számoltunk ez esetben, a borítottsági aránnyal, ill. a sorközi párologtatás mértékével, ezért a tenyészterületre vonatkoztatott lombkorona vetületének ismeretében számításokat végeztünk a fás kultúra párologtatására vonatkozóan, ezeket az 6.6. fejezetben ismertetjük. A környezettel való kapcsolatrendszer feltárására, első lépésben páros t-próbás vizsgálatot végeztünk keresve, hogy a köztudottan párolgást befolyásoló meteorológiai paraméterek elkülönítése révén adódik-e különbség a napi transzspirációs értékekben. Ezek alapján minden mérési szezonban különválogattuk a nyári ($T_{max} \geq 25$ °C) és nem nyári ($T_{max} < 25$ °C), a szeles ($WS_2 \geq 2$ $m \cdot s^{-1}$) és nem szeles ($WS_2 < 2$ $m \cdot s^{-1}$), a napos ($S \geq 200$ $W \cdot m^{-2}$) és borult ($S < 200$ $W \cdot m^{-2}$), a légköri száraz ($VPD \geq 7$ mbar) és nem légköri száraz napokat ($VPD < 7$ mbar). A párolgást segítő körülmények figyelembevételével megnéztünk néhány lehetséges kombinációt, így a nyári és szeles nap ($T_{max} \geq 25$ °C és $WS_2 \geq 2$ $m \cdot s^{-1}$), napos és

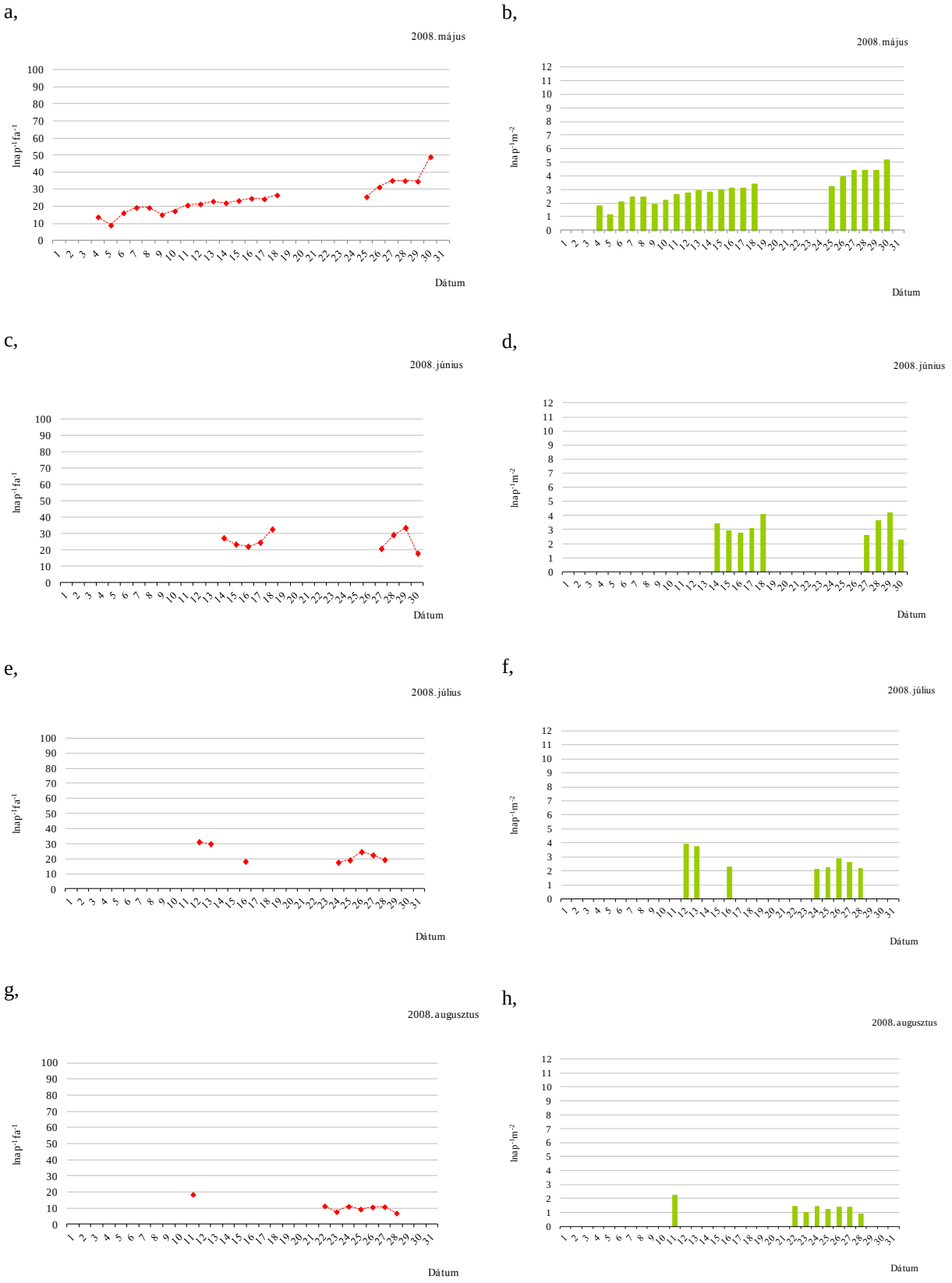
szeles ($S \geq 200$ W·m^{-2} és $WS_2 \geq 2$ m·s^{-1}), napos és légköri száraz ($S \geq 200$ W·m^{-2} és $VPD \geq 7$ mbar), napos és légköri száraz és szeles ($S \geq 200$ W·m^{-2} és $VPD \geq 7$ mbar és $WS_2 \geq 2$ m·s^{-1}) napokra vonatkozó párolgási értékeket. A szeles napoknál nem a szokványos, éghajlati értelemben vett szeles napot értelmezem (azaz amikor tíz méteres magasságban a maximális szélsebesség meghaladja a 10 m·s^{-1}-et), hanem a cseresznyeültetvényben történt mérések miatt, a két méteres magasságban 2 m·s^{-1}-ot elérő vagy meghaladó szélsebességű napokat vettem figyelembe az adatok kiértékelése során. (Megjegyezzük, hogy a kombinációkban csak az egyik oldalról támasztottunk határozott kritériumokat, vagyis, ahol kiválogattuk, hogy nyári és szeles egy nap, ott az ebből kimaradt napoknak nem szabtunk kitételt, azaz a többi nap még lehetett például szeles, de nem nyári.) Ahol nem volt a statisztikai elemzéshez elegendő, a kritériumnak megfelelő napok száma, azzal tovább nem számoltunk.

A 8. mellékletben feltüntettük az ezen kritériumoknak megfelelő napok számát a kísérleti fázisokban.

5. 1. 1. A cseresznyefák különböző hónapokban mutatott vízfogyasztásának becslése 2008-ban

A 11. ábrán a 2008-as esztendőre vonatkozó, napi egyedszintű vízfogyasztási értékeket, valamint a tenyészterületre becsült napi párolgási értékeket mutatjuk be, hónapos bontásban. A 11. ábrán a 2008-as hónapokra kalkulált, egységnyi tenyészterületre vonatkozó vízfogyasztást és a lehullott csapadékot, a különböző hónapok közötti vízfelhasználási százalékos megoszlási arányt, valamint az összegzett vízfogyasztást kívánjuk érzékeltetni. (Az 6. melléklet számszerűen tartalmazza a 11. ábrán megjelenített értékeket).

2008-ban a legnagyobb egyedszintű vízfelvételi értékek a korai érésű ’Rita’ cseresznyefajta szedése előtti napokon születtek. A gyümölcs táplálásának „csúcsidőszaka” május utolsó dekádjában volt. Május 26-tól minden nap eléri vagy meghaladja az ültetvény vízfelvétele a 4 mm·m^{-2}-t (11.b ábra). Az intenzív növekedésre, a gyümölcs nagyságának és tömegének gyarapítására, a zöldtömeg növekedésének elősegítésére veszik fel a legnagyobb mennyiségű vizet a fák. A cseresznyefák egyedszintű vízfogyasztása a május eleji 10–20 literről 30–35 literre nő fokozatosan a hónap végére (11.a ábra). Míg június harmadik dekádjában 20–30 literes a fák vízfogyasztása, augusztusra 9–12 literes napi vízáramot tapasztaltunk csupán. Az átlagos egyedszintű vízfelvétel 24,2; 23,6; 22,8; 10,9 liter rendre májustól augusztusig a négy éves fákon, havonta (11.a, c, e, g ábra).



11. ábra Cseresznyefa egyedek napi szintű vízfogyasztása ($l \cdot nap^{-1} \cdot fa^{-1}$) nedváram mérések alapján május (a), június (c), július (e), augusztus (g) hónapokra 2008-ban. Az intenzív cseresznyeültetvény egységnyi területére becsült párolgás mértéke ($l \cdot nap^{-1} \cdot m^{-2}$) nedváram mérések alapján 2008. május (b), június (d), július (f), augusztus (h) hónapokra 2008-ban.

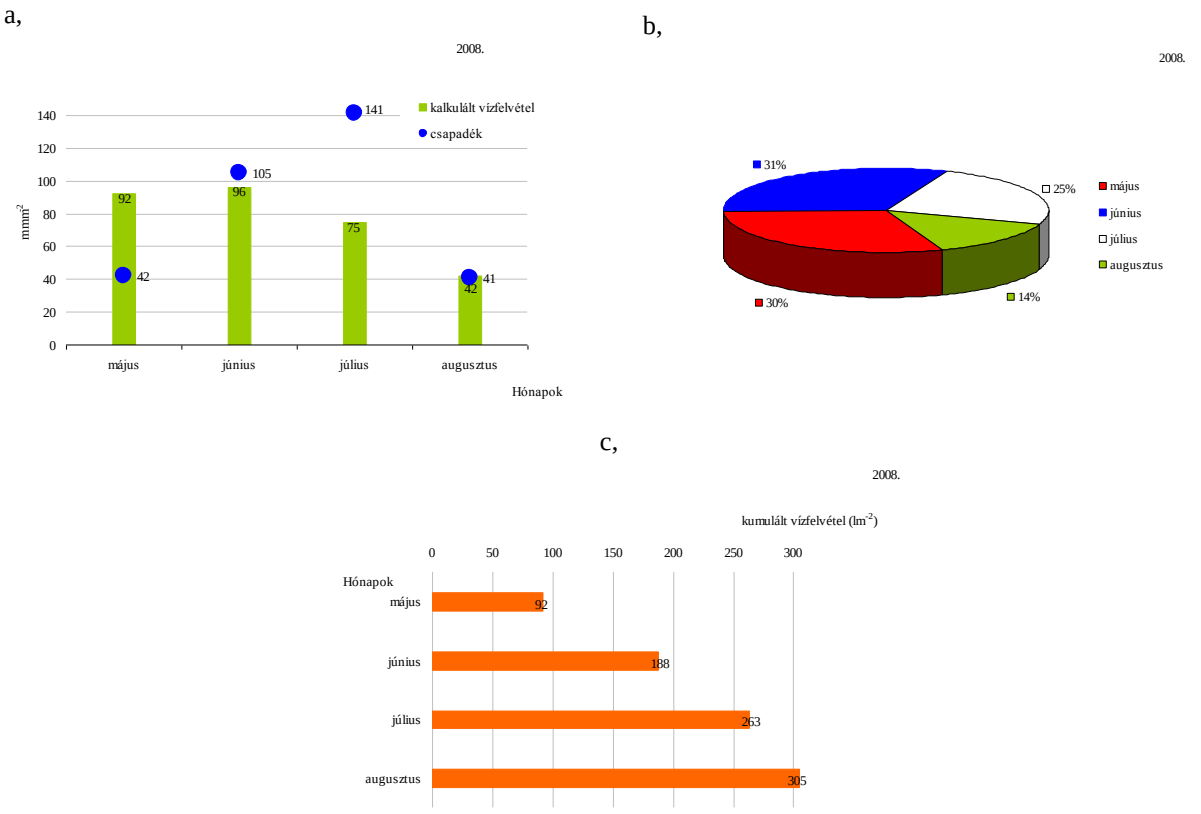
Az adatok pontosabb elemzéséhez a PASW 18 statisztikai programot hívtuk segítségül. Megnéztük, hogy a különböző hónapokban, szignifikánsan változik-e az egységnyi tenyészterület párolgási üteme. A nullhipotézis az volt, hogy nincs különbség a változó mintasorában a hónapok között. 2008-ra a hónapok páronkénti összehasonlítását 7. mellékletben, a 2008, 2009, 2011-re vonatkozó Duncan teszt eredményeit a 7. táblázatban mutatjuk be.

7. táblázat A teljes minta havonkénti többtényezős varianciaanalízise; Duncan teszt (P=0,05.), vizsgált változó: egységnyi tenyészterület párolgása nullhipotézis: várható értékek megegyeznek

	2008	2009	2011
Május	1,794 b	1,586 c	6,908c
Június	1,664 b	0,972 a	-
Július	1,112 a	1,373 b	4,232b
Augusztus	0,924 a	1,098 a	5,564a

Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség, a különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek (csak éven belüli vizsgálatra vonatkozóan, évek között nem történt analízis).

A 11.b ábra szerinti közel azonos május–júniusi vízigény, és a csökkent júliusi–augusztusi vízszükségletet alátámasztja a statisztikai elemzés, miszerint a hetedik és nyolcadik havi vízfogyasztás szignifikánsan különbözik, alulmarad a május–júniusi vízfelvételekhez képest 2008-ban (7. táblázat). A május és június vízfogyasztási értékei nem térnek el jelentősen egymástól (7. táblázat, 7. melléklet), azonban egyértelműen magasabb a vízfogyasztás májusban is és júniusban is, mint júliusban és augusztusban. A legkisebb vízfogyasztási értékek a nyolcadik hónapban jelentkeztek, ezt követte július hónap vízfogyasztása. Vagyis ahogy a napi maximumoknál láthatjuk, a májusi nagy párolgásösszegek a teljes hónapra, ill. a vizsgált időszak egészére is igazak. Júliusra és augusztusra egyértelműen lecsökken a felvett víz mennyisége. Ha visszaidézzük a téli és nyári csapadékról tájékoztató adatokat (6. táblázat), azt láthatjuk, hogy májusban a havi csapadékösszeg csupán 77%-a volt az ilyenkor szokásosnak. Miután az ültetvény vízpótló öntözést nem kapott, feltételezhetjük, hogy a korábbi hónapokban lehullott 190 mm-nyi csapadék – melynek egy része a talajban raktározódott – biztosíthatta a felmerülő többlet vízigényt. Ki kell emelni, hogy július extrémnek mondható, majdnem háromszoros csapadékmennyisége (141 mm) ellenére az ültetvény nem igényelte a rendelkezésre álló vízmennyiséget (12.a ábra).



12. ábra Az intenzív cseresznyeültetvény egységnyi területére – nedváram mérések alapján – becsült havi párolgási értékek (mm·m^{-2}) valamint a havi csapadék és öntözés adatok 2008-ban (a). A vízfelvétel mértékének százalékos megoszlása –a kísérleti időszakban – a különböző hónapok között 2008-ban (b). A számított vízfelvétel hónapról hónapra összegzett értékei az intenzív cseresznyeültetvény egységnyi területére vonatkoztatva (l·m^{-2}) (c).

A becsült havi összegekből kiderül (12.a ábra), hogy a hatodik hónaptól augusztusig a havi vízigény csökkenő tendenciát mutat, átlagosan négyzetméterre, hónapra vonatkoztatva rendre: 92 mm, 96 mm, 75 mm, 42 mm. Míg májusban elviekben a havi csapadékösszeg (42,4 mm) nem fedezi a fák vízfogyasztását, addig júniusban és júliusban a bőséges csapadékellátás ellenére sem használja fel a rendelkezésre álló vízmennyiséget az ültetvény. A négy kísérleti hóra vonatkozóan 30%, 31%, 25% és 14%-os a megoszlás (12. ábra). A vizsgált négy hónapra számított kumulált párolgási összeg 305 mm·m^{-2} (12.c ábra).

2008 párolgási értékei a meteorológiai kritériumok szerint

A minimális és maximális vízfogyasztású napokon figyelembe kell vennünk a növény aktuális vegetációs stádiumát, valamint az uralkodó időjárási körülményeket. 2008-ban az egységnyi területre kalkulált maximális fogyasztás május 30-án (5,1 mm·nap^{-1}·m^{-2}), a minimális augusztus 23-án (0,9 mm·nap^{-1}·m^{-2}) volt. 2008-ban a május utolsó előtti napján az időjárási körülmények rendkívül kedvezőek voltak az intenzív párologtatásra. 2008. május 30-a nyári és szeles napnak számított (T_{max}>25°C, WS_2>2 m·s^{-1}), és a globálsugárzás napi átlaga, magas 305 (W·m^{-2}) volt, a

légköri páraéhséget pedig az 56%-os relatív nedvességtartam is érzékelteti. A gyümölcs érését közvetlenül követő napok után, május végén a nedváramlás még mindig intenzív. A legalacsonyabb vízfogyasztású napok egyikén, augusztus 23-án, hidegfront érte el hazánkat. Egész nap felhős égbolt volt és esett az eső (19,2 mm), a napi középhőmérséklet nem érte el a 19 °C-ot. A lombozat ekkorra már egészen kifejlődött.

Páronként t-próbával összehasonlítottuk a különböző meteorológiai kritériumoknak megfelelő napokon fellépő párolgási értékeket (8. táblázat). A nullhipotézis az volt, hogy a minták várható értéke megegyezik. A szignifikanciaszintek tanulmányozása után kiderült, hogy 2008-ban csupán a globálsugárzás, az a tényező, ami jelentősen befolyásolja a párologtatást. A 200 $W \cdot m^{-2}$-nél nagyobb sugárzási összegű napokon (napos nap) a fák párologtatása nagyobb volt, mint a 200 $W \cdot m^{-2}$-nél kisebb sugárzású, borult napokon. A nyári, szeles, a nyári és szeles, valamint a napos és szeles napok és a hozzájuk tartozó esetpároknál nem találtunk markáns eltérést.

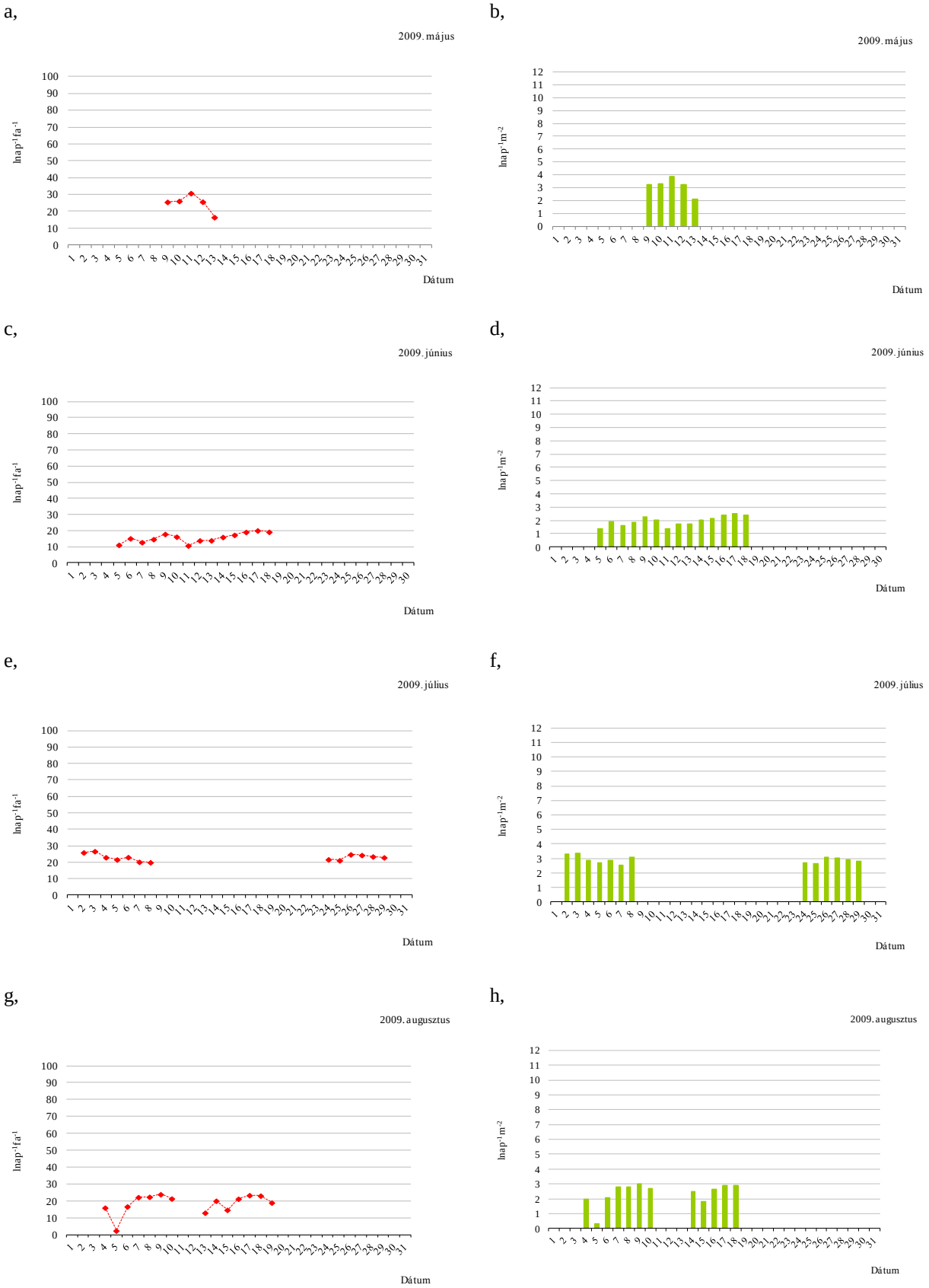
8. táblázat A páros t-próba eredményei 2008-ra (P=0,05), vizsgált változó: transzspiráció, nullhipotézis: várható értékek megegyeznek

Párok	Átlag	Variancia	Std. hiba	t	df	Sig.
$T_{max} \geq 25$ °C-$T_{max} < 25$ °C	0,218	1,180	0,208	1,049	31	0,302
$WS_2 \geq 2$ $m \cdot s^{-1}$-$WS_2 < 2$ $m \cdot s^{-1}$	0,080	1,259	0,268	0,300	21	0,767
$S \geq 200$ $W \cdot m^{-2}$-$S < 200$ $W \cdot m^{-2}$	0,514	1,025	0,209	2,459	23	0,022
$T_{max} \geq 25$ $m \cdot s^{-1}$ és $WS_2 \geq 2$ $m \cdot s^{-1}$-*	-0,361	1,045	0,279	-1,294	13	0,218
$S \geq 200$ $W \cdot m^{-2}$ és $WS_2 \geq 2$ ms^{-1} *	0,240	1,135	0,267	0,900	17	0,381

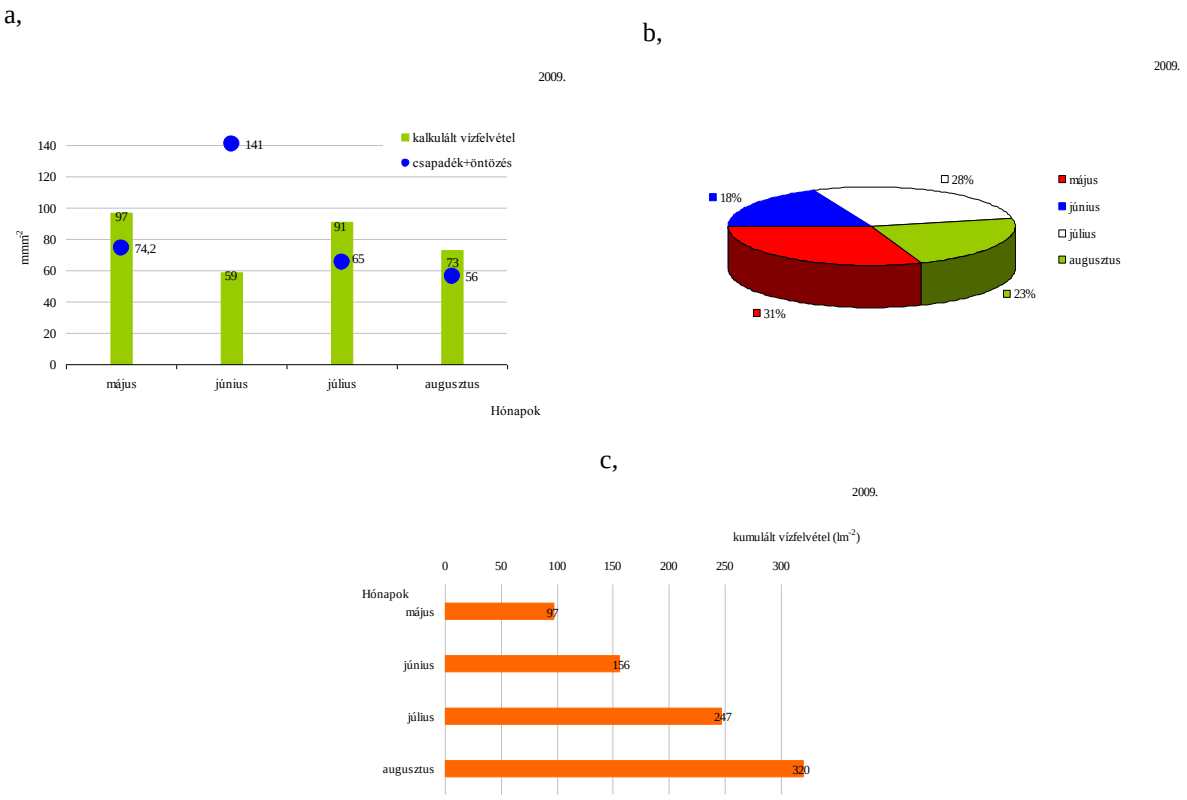
- A kombinációkban csak az egyik oldalról támasztottunk határozott kritériumokat, vagyis ahol kiválogattuk, hogy nyári és szeles egy nap, ott az ebből kimaradt napoknak nem szabtunk kitételt

5. 1. 2. A cseresznyefák különböző hónapokban mutatott vízfogyasztásának becslése 2009-ben

A 13. ábrán a 2009-es évben mért napi faegyed szintű vízfogyasztási értékeket, valamint a tenyészterületre becsült 24 órás párolgási értékeket mutatjuk be, hónapos bontásban.



13. ábra Cseresznyefa egyedek napi szintű vízfogyasztása ($l \cdot nap^{-1} \cdot fa^{-1}$) nedváram mérések alapján május (a), június (c), július (e), augusztus (g) hónapokra 2009-ben. Az intenzív cseresznyeültetvény egységnyi területére becsült párolgás mértéke ($l \cdot nap^{-1} \cdot m^{-2}$) nedváram mérések alapján május (b), június (d), július (f), augusztus (h) hónapokra 2009-ben.



14. ábra Az intenzív cseresznyeültetvény egységnyi területére – nedváram mérések alapján – becsült havi párolgási értékek (mm·m^{-2}) valamint a havi csapadék és öntözés adatok 2009-ben (a). A vízfelvétel mértékének százalékos megoszlása –a kísérleti időszakban – a különböző hónapok között 2009-ben (b). A számított vízfelvétel hónapról hónapra összegzett értékei az intenzív cseresznyeültetvény egységnyi területére vonatkoztatva (l·m^{-2}).

A 14. ábrán a 2009-es hónapokra kalkulált, egységnyi tenyészterületre vonatkozó vízfogyasztást és a lehullott csapadékot és öntözővíz mennyiség együttes összegét, a különböző hónapok közötti vízfelhasználási megoszlási arányt, valamint a kumulált vízfogyasztást közöljük. (Az 9. melléklet számszerűen tartalmazza a 13. ábrán megjelenített értékeket.)

A 2009-ben az előző esztendőhöz hasonlóan a legnagyobb egyedszintű vízfelvételi értékeket májusban, a gyümölcs fejlődési szakaszában mértük. Május első felében mért öt napból négyen 3 mm-t meghaladó a területegységre vonatkozó párolgás (13.b ábra). A cseresznyék nagyságának és tömegének gyarapítása miatt a hónap végére a napi párolgási értékek feltehetően meghaladják a 4 mm·m^{-2}-t. Júniusban a vizsgált napokon egyenletesen 10 és 20 liter között alakul a cseresznyefák egyedi vízfogyasztása. Júliusra intenzívebbé válik a nedváramlás mértéke, a májusi 25 l·nap^{-1}-es átlagot megközelítő 23 l·nap^{-1}-os értékeket mértünk, vélhetően a maximális levélfelület képzésének időszaka miatt a növény zöldtömeg képződéséhez szükséges a megemelkedett felvett vízmennyiség. Augusztusban 2–3 mm·m^{-2}-es párologtatást kalkuláltunk. Az átlagos egyedszintű vízfelvétel 25,0; 15,6; 23,0; 18,5 liter rendre májustól augusztusig, havonta (13.a, c, e, g ábra).

Ez esetben is vizsgáltuk, hogy a különböző hónapokban, szignifikánsan változik-e az egységnyi tenyészterület párolgási üteme. A nullhipotézis az volt, hogy nincs különbség a változó mintasorában a hónapok között. 2009-re a hónapok páronkénti összehasonlítását a 10. mellékletben, a Duncan teszt eredményeit a 7. táblázatban mutatjuk be.

Ezek alapján 2009 májusában a vízfelvétel mértéke minden egyéb vizsgált hónap vízfogyasztását jelentősen felülmúlja. Júniusban és augusztus a fogyasztás mértéke nem tér el jelentősen egymástól, viszont az ötödik és a hetedik hónapban tapasztaltnál szignifikánsan kisebbek az értékek. A fogyasztás mértéke júniusban a legkisebb, a májusi maximumot a július hónap követi (14.a ábra). A májusi maximumnál meg kell ismét említeni azt a tényt, hogy 2009-ben az utolsó tavaszi hónapban csupán az ilyenkor szokványos csapadékmennyiségnek 37%-a hullott le, vagyis a talajban raktározott téli csapadékmennyiségnek (185,0 mm) ismét jelentős szerepe lehetett a gyümölcsnevelés szakaszában szükséges vízmennyiség biztosítására, még a májusi öntözéses vízpótlás (48 mm – 4. melléklet) mellett is. Júniusi minimális vízfogyasztást részben magyarázhatja a párolgás számára kedvezőtlen, az átlagosnál hűvösebb időjárás, amikor a havi globálsugárzás összege (606 $MJ \cdot m^{-2}$) is alacsonyabb volt az ilyenkor szokásosnál (670 $MJ \cdot m^{-2}$), valamint a szüret utáni „fenntartó” időszak volta miatt. 2009. június 17-én letetejezés történt a vizsgálati ültetvényben. A fákat 3,5 méteres magasságban lemetszették, ez számításaink szerint körülbelül 12%-os lombkorona veszteséget eredményezett (bővebben a 6. 6. 2. fejezetben vizsgáljuk a tetejezés hatását).

Nedváram mérésekre alapozott becslésünk (14.a ábra) szerint 97,0 mm, 59,0 mm, 91,0 mm,73,0 mm átlagosan egy négyzetméterre a vizsgált hónapok területi párolgása. Míg májusban elviekben a havi csapadékösszeg és az öntözés együtt is épp, hogy fedezi a fák vízfogyasztását, addig júniusban és júliusban a bőséges csapadékellátás ellenére sem használja fel a rendelkezésre álló vízmennyiséget az ültetvény. A négy vizsgált hónapra vonatkozóan 31%, 18%, 28% és 23%-os a megoszlás (14.b ábra). A vizsgált négy hónapra számított kumulált párolgási összeg 320 $mm \cdot m^{-2}$ (14.c ábra).

2009 párolgási értékei a meteorológiai kritériumok szerint

2009. augusztus 5-én minimális párologtatási értékeket tapasztaltunk (0,3 $mm \cdot m^{-2}$), ezen a napon szinte végig esett, a lehullott csapadékmennyiség kis híján elérte a 10 mm-t, a levegő relatív nedvességtartama az előző napi 66%-ról 90%-ra nőtt, ezek már olyan időjárási tényezők, amelyek egyértelműen kedvezőtlenek párolgási szempontból. A mérési napjaink közül, a maximális párologtatás (3,8 $mm \cdot m^{-2}$) május 11-én következett be. Ezen a napon a telítési hiány 7 mbar feletti volt, a globálsugárzás átlaga elérte a 300 $W \cdot m^{-2}$-t, továbbá a nap 27,7 °C-os

maximummal nyári napnak minősült. Ezek tökéletesen kedvező külső fizikai feltételek az intenzív párologtatásnak. Ahogy a 2008-as adatsorra, úgy 2009-re is páronként t-próbával összehasonlítottuk a különböző meteorológiai elvárásoknak megfelelő napokon fellépő transzspirációs értékeket. A nullhipotézis az volt, hogy a minták várható értéke megegyezik. A szignifikancia szintek tanulmányozása után kiderült, hogy a maximális hőmérséklet, a telítési hiány és a globálsugárzás bizonyos szintjeit mellett a párologtatási értékek jelentősen eltérnek. A kombinációknál az utóbbi kettő paraméter együttes teljesülésénél, vagyis napos és nagy telítési hiányú napokon is jelentős eltérés van (9. táblázat).

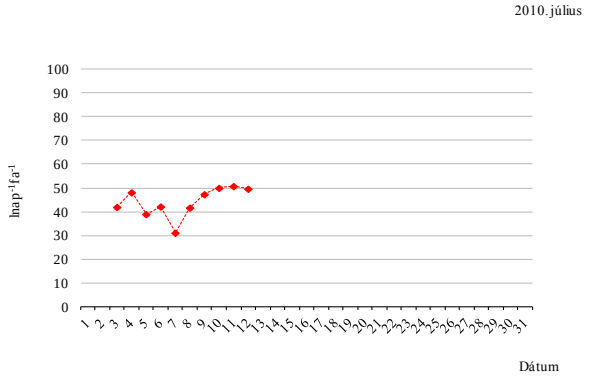
9. táblázat A páros t-próba eredményei 2009-ra (P=0,05.), vizsgált változó: transzspiráció, nullhipotézis: várható értékek megegyeznek

Párok	Átlag	Variancia	Std. hiba	t	df	Sig.
*T*max≥25 °C-*T*max<25 °C	0,251	0,654	0,097	2,578	44	0,013
WS_2≥2 m·s^{-1}-WS_2<2 m·s^{-1}	0,006	0,577	0,092	0,068	38	0,946
S≥200 W·m^{-2}-*S*<200 W·m^{-2}	0,486	0,648	0,112	4,313	32	0,000
VPD≥7 mbar-*VPD*<7 mbar	0,242	0,547	0,075	3,192	51	0,002
*T*max≥25 m·s^{-1} és WS_2≥2 m·s^{-1}-*	-0,178	0,420	0,116	-1,532	12	0,151
S≥200 W·m^{-2} és WS_2≥2 m·s^{-1} *	0,080	0,627	0,098	0,819	40	0,418
S≥200 W·m^{-2} és WS_2≥2 m·s^{-1} és *VPD*≥7 mbar *	-0,088	0,592	0,135	-0,651	18	0,523
S≥200 W·m^{-2} és *VPD*≥7 mbar *	0,377	0,614	0,078	4,837	61	0,000

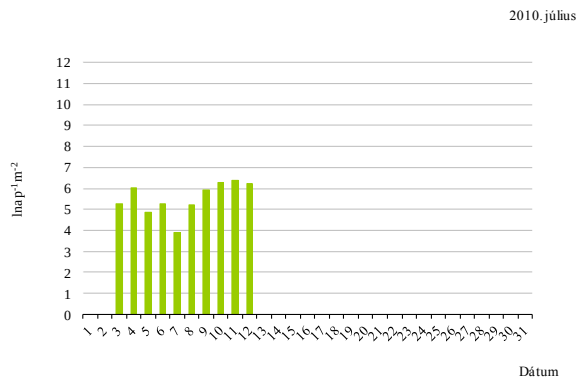
- A kombinációkban csak az egyik oldalról támasztottunk határozott kritériumokat, vagyis, ahol kiválogattuk, hogy nyári és szeles egy nap, ott az ebből kimaradt napoknak nem szabtunk kitételt

5. 1. 3. A cseresznyefák különböző hónapokban mutatott vízfogyasztásának becslése 2010-ben

a,



b,



15. ábra Cseresznyefa egyedek napi szintű vízfogyasztása ($l \cdot nap^{-1} \cdot fa^{-1}$) nedváram mérések alapján 2010 júliusában (a). Az intenzív cseresznyeültetvény egységnyi területére becsült párolgás mértéke ($l \cdot nap^{-1} \cdot m^{-2}$) nedváram mérések alapján 2010 júliusában (b).

2010 az elmúlt 110 év legcsapadékosabb éve volt Magyarországon (www.met.hu). A rendkívüli, nagymennyiségű eső hatására szinte egész évben folyamatos bel- és árvízkészültség volt az országban, jókora károkat okozva a mezőgazdaságban, kertészeti termesztésben. Mind a gyümölcsök, mind a szántóföldi növények esetében terméskiesést tapasztaltak a gazdák. A felázott területek sok helyütt lehetetlenné tették a kertészeti és mezőgazdasági munkálatokat, a gépmozgást, talajművelést, növényvédelmet. Az állandóan nyirkos, nedves légtömeg és párában lévő lombozat kedvező feltételeket nyújtott a gombabetegségek fertőzésének terjedéséhez. A rossz idő miatt nagyságrendekkel kevesebb gyümölcs termett az országban, különösen a szőlő hozama és minősége sínylette meg a sok esőt, sőt az augusztustól tartó, szinte folyamatos csapadékhullás miatt több helyen a szüret is eltolódott (Hajdu és Borbásné 2011).

A cseresznye érésének intenzív szakaszában, május 15–18-a között érkezett a mediterrán eredetű „Zsófia”, majd május 30–június 4-e között az „Angéla” ciklon (Móring et al. 2010, Bozó et al. 2010). A virágzás idején a sok eső gátolta a virágok megtermékenyülését, az éréskor érkező rengeteg víz sok helyütt a gyümölcs repedéséhez vezetett, jelentős minőségi romlást, piaci értékcsökkenést eredményezve. Soroksáron 2010 májusában 166,2 mm júniusban 168,2 mm, júliusban 59,8 mm, augusztusban pedig 81,6 mm csapadék hullott.

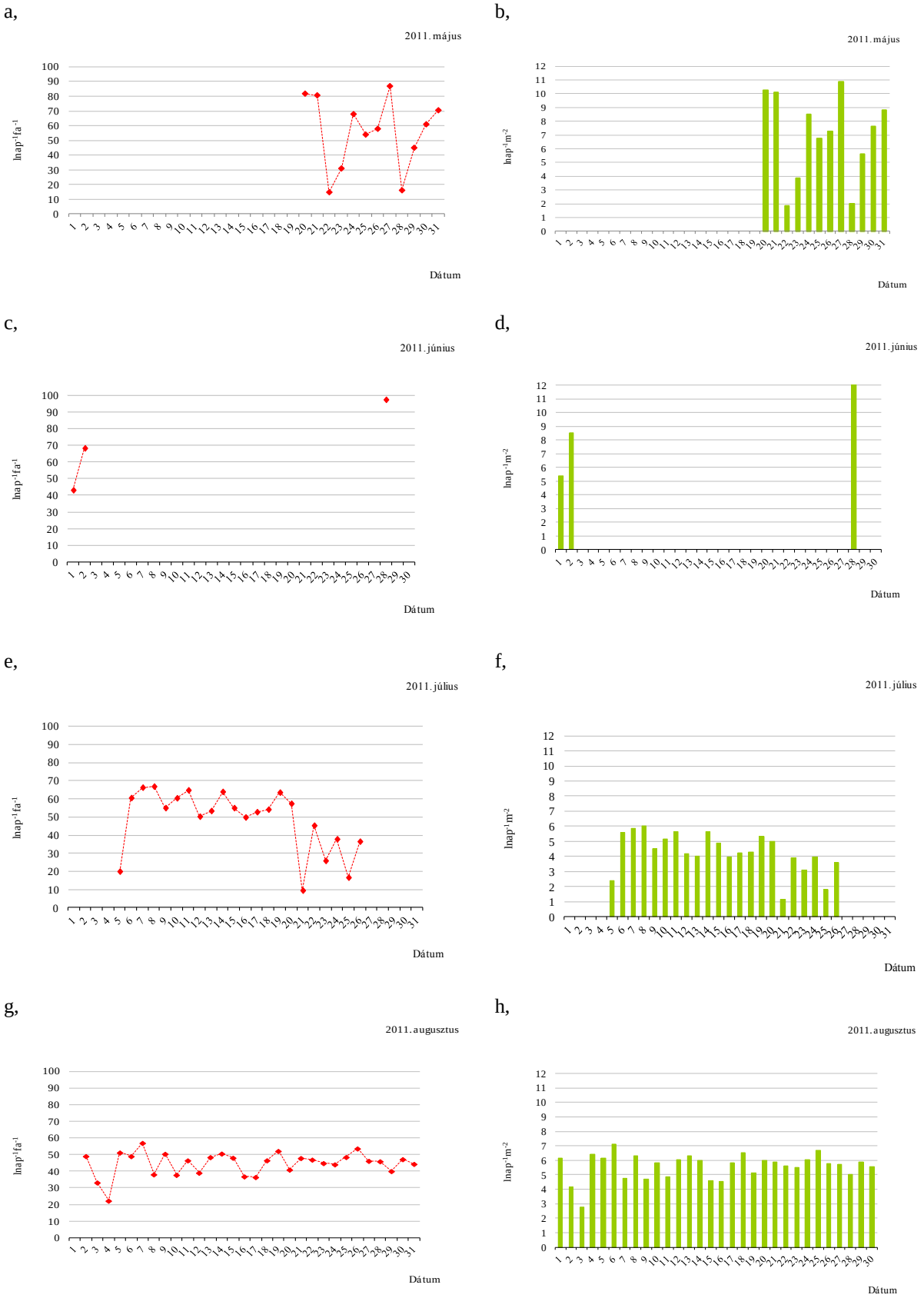
Bár ebben az esztendőben is megkíséreltük a mérést, az rendkívüli vízmennyiség miatt, mérőrendszerünk még a körültekintő szigetelést ellenére is beázott, így csupán 12 mérési napról, júliusból származik feldolgozható nedváramlási adatunk. Elmondhatjuk 2010 július első felében a cseresznyefák egyedi vízfelvétele 31 és 50 liter között mozgott naponta. A területegységre kalkulált párolgási értékek pedig minden nap elérték a 4 $mm \cdot m^{-2}$-t, sőt öt napon meghaladták a 6

$mm \cdot m^{-2}$-t. Ez részben annak köszönhető, hogy gyakorlatilag „korlátlan” mennyiségű víz állt rendelkezésre az ültetvényben, és a légköri viszonyok is kedveztek a párologtatásnak, továbbá a termőgally képződés, és a maximális levélfelület kialakulásának időszakából származnak méréseink. A tíz mért napból három hőségnapnak, további öt nyári napnak minősült. Ha közelítést akarunk mondani a cseresznyeültetvény 2010 júliusi fogyasztására, akkor az 5,5 $mm \cdot m^{-2}$ átlagos napi vízvesztésből kiindulva és tudván, hogy nyári és hőségnapokról származik csupán adatunk 10 napról, vagyis nem szabad minden nap ilyen magas értékekkel számolnunk durván 110 mm párolgást feltételezhetünk négyzetméterenként, a napi párolgási feltételeket azonosnak tekintve. Szükséges megjegyeznünk, hogy ez durva közelítést jelent. A 2010-es esztendőt a szélsőségesen csapadékos időjárásból eredő technikai problémák–adathiány miatt nem taglaljuk tovább.

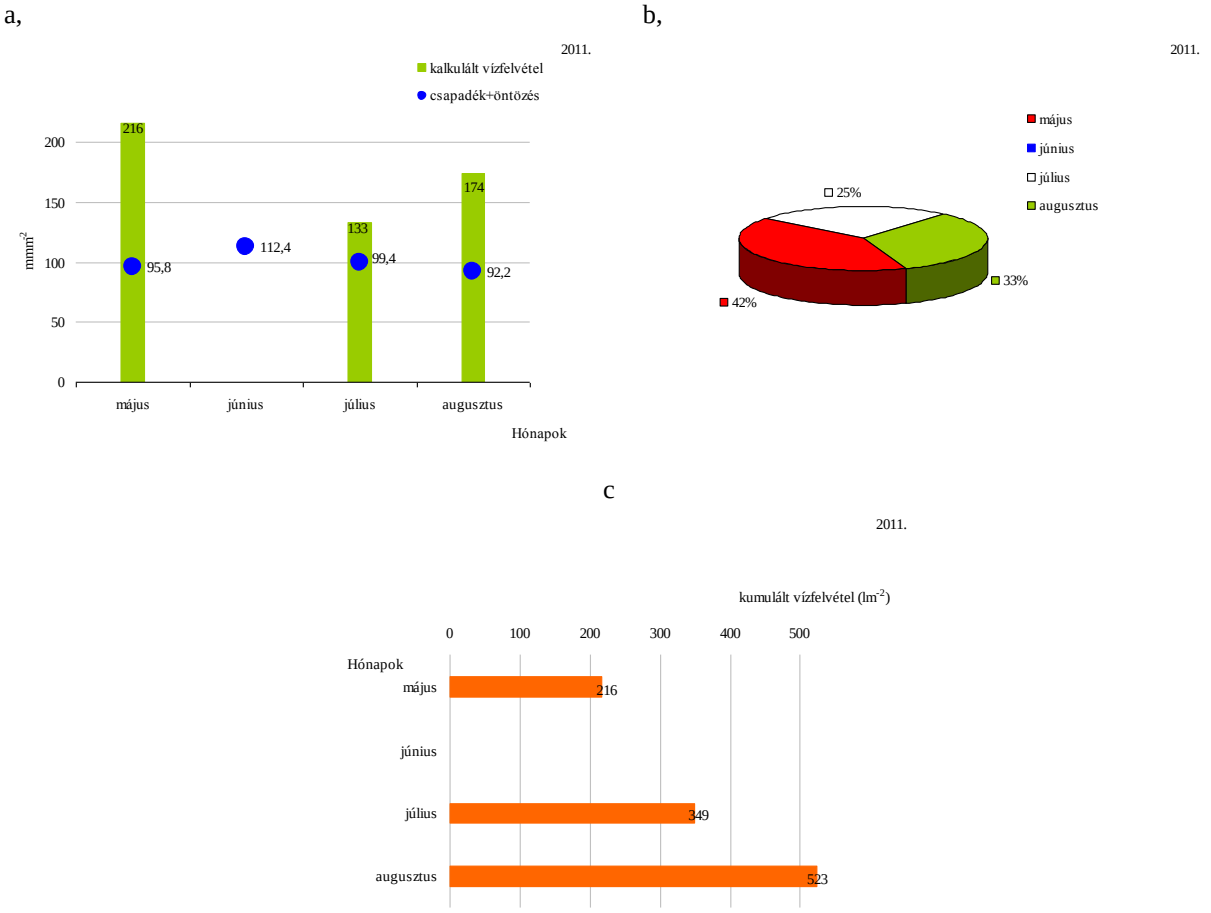
5. 1. 4. A cseresznyefák különböző hónapokban mutatott vízfogyasztásának becslése 2011-ben

A 16. ábrán a 2011-es évben mért napi faegyed szintű vízfogyasztási értékeket, valamint a tenyészterületre becsült 24 órás párolgási értékeket mutatjuk be, hónapos bontásban. A 17. ábrán a 2011-es hónapokra kalkulált, egységnyi tenyészterületre vonatkozó vízfogyasztást és a lehullott csapadékot, a különböző hónapok közötti vízfelhasználási megoszlási arányt, valamint a kumulált vízfogyasztást közöljük. (Az 11. melléklet számszerűen tartalmazza a 16. ábrán megjelenített értékeket.)

A hetedik éves ültetvény májusi vízfogyasztása jelentős volt, a cseresznyefák egyedi vízfelvétele elérte, sőt volt olyan nap, amikor meghaladta a 80 $l \cdot nap^{-1}$-ot (május 20., 27.) (16.a ábra). Az ötödik hónapra, egységnyi területre kalkulált vízfogyasztás 216 mm-nek adódott (15.a, c ábra). A május elején tapasztalt hűvös periódusban talajmenti fagy is kialakult (május 6-án: –2,7 °C). Az ötödik hónapban a melegedés nem volt egyenletes, hidegfrontok átvonulása több ízben megtörte azt. A változékony időjárás a fák vízfelvételi ütemében is megnyilvánul. Míg 27-én 87 liternyi volt az egyedszintű vízfogyasztás, addig például 29-én 45 literes. Az intenzív ültetvény egységnyi területére számított vízfogyasztás több mérési napon is elérte a 6 mm-t (16.b ábra). Május 20., 21., és 27-e is nyári és nagy „páraéhségű” napnak számított, ezt tükrözik a 10 $mm \cdot m^{-2}$-et meghaladó vízveszteségi értékek. Május 27-e délutáni hidegfront átvonulása következtében, másnapra a hőmérséklet 10 °C-ot visszaesett, a lehűlés és 2,8 mm csapadék következtében, rendkívül megnőtt a relatív nedvességtartam, mindez nem kedvezett az intenzív párolgásnak.



16. ábra Cseresznyefa egyedek napi szintű vízfogyasztása ($l \cdot nap^{-1} \cdot fa^{-1}$) nedváram mérések alapján május (a), június (c), július (e), augusztus (g) hónapokra 2011-ben. Az intenzív cseresznyeültetvény egységnyi területére becsült párolgás mértéke ($l \cdot nap^{-1} \cdot m^{-2}$) nedváram mérések alapján május (b), június (d), július (f), augusztus (h) hónapokra 2011-ben.



Megjegyzés: 2011 június hónap adathiány miatt nem közölt, 15.b ábrarész emiatt tájékoztató jellegű

17. ábra Az intenzív cseresznyeültetvény egységnyi területére – nedváram mérések alapján – becsült havi párolgási értékek (mm·m^{-2}) valamint a havi csapadék és öntözés adatok 2011-ben (a). A vízfelvétel mértékének százalékos megoszlása – a kísérleti időszakban – a különböző hónapok között 2011-ben (b). A számított vízfelvétel hónapról hónapra összegzett értékei az intenzív cseresznyeültetvény egységnyi területére vonatkoztatva (l·m^{-2}).

Júniusban csupán három napon született értékelhető nedváramlási adatsor, ezért itt havi szintű becslést nem adunk. Az átlagos egyedszintű vízfelvétel 55,7; n.a.; 48,3; 44,8 liter rendre májustól augusztusig, havonta (16.a, c, e, g ábra).

Július hűvösebb és csapadékosabb volt a megszokottnál, (6. táblázat). Ugyanakkor öt nyári és kilenc hőségnapot számláltunk. A Soroksáron, júliusban lehullott nagymennyiségű csapadék megalapozta a párolgáshoz szükséges, a hónapra átlagosan jellemző 4,2 mm·m^{-2}-es transzspirációs értékeket. Július 5-e és 26-a között négy naptól eltekintve a cseresznyefák fogyasztási értéki 26–66 liter között mozogtak, 20-a után 50 l·nap^{-1}·fa^{-1} szint alá csökkentek (16.e ábra). A nyolcadik hónap rendkívül aszályos volt, tizennyolc nyári és nyolc hőségnappal. Mindössze 2,2 mm természetes csapadék hullott, és bár 90 mm-nyi vízpótló öntözést kapott a kísérleti gyümölcsös, a nagymértékű légköri aszály következtében a hónapra vonatkozó párolgási összeg elérte a 174 mm·m^{-2}-t (17.a ábra).

A 2011-ra a hónapok páronkénti összehasonlítását 12. mellékletben, a Duncan teszt eredményeit a 7. táblázatban mutatjuk be. Ezek alapján 2011 májusában a vízfelvétel mértéke minden egyéb vizsgált hónap vízfogyasztását jelentősen felülmúlja. Júliusban és augusztus fogyasztása is jelentősen eltér egymástól, és az ötödik hónapban tapasztaltnál szignifikánsan kisebbek az értékek. A májusi maximumot, augusztus követi, ez annak köszönhető, hogy 2011-ben az utolsó nyári hónap extrémen aszályos volt, mindössze 2,2 mm csapadék hullott Soroksáron, és a nagy telítési hiányt a csepegtető öntözés sem tudta nagyon mérsékelni, a párolgás egész hónapban rendkívül magas volt.

Az egységnyi területre vonatkozó kalkulált párolgás (16.a ábra) a különböző hónapokra rendre: 216 mm; n.a.; 133 mm; 174 mm. A légköri aszály nagymértékben növeli a párologtatás mértékét. A májusi, júniusi és augusztusi vízpótló öntözés és a júliusi bőséges csapadékot is felhasználják a cseresznyefák. A vizsgált négy hónapra számított kumulált párolgási összeg, június hónap nélkül 523 $mm \cdot m^{-2}$ (17.c ábra).

2011 párolgási értékei a meteorológiai kritériumok szerint

2011-ben az egységnyi területre kalkulált maximális fogyasztás május 27-én (átlagos *LAI* = 4,8) (10,8 $mm \cdot nap^{-1} \cdot m^{-2}$), a minimális július 21-én (1,1 $mm \cdot nap^{-1} \cdot m^{-2}$) volt (*LAI* = 2,3). 2011. május 27-e – a 'Rita' fajta érési időpontja – nyári és légköri aszályos napnak számított ($T_{max} \geq 25$ °C, $VPD \geq 7$ mbar). Július 21-én 5,2, míg az azt megelőző három napon 27,6 mm csapadék hullott; a napi középhőmérséklet pedig 14,1°C volt Soroksáron. Július 19-ét követően intenzív lehűlésnek és kiadós csapadékhullásnak köszönhetően július utolsó dekádjában a vízfogyasztási értékek is érzékelhetően visszaestek.

2011-re is páronként t-próbával összehasonlítottuk a különböző meteorológiai elvárásoknak megfelelő napokon fellépő transzspirációs értékeket (10. táblázat). A szignifikancia szintek tanulmányozása után kiderül, hogy az előző évekhez hasonlóan derült és borult, valamint a nyári és nem nyári a időjárású napok között jelentkezett jelentős párolgásbeli eltérés. Bár 2011 vegetációs időszakában kimondottan sok volt a hőség és a magas telítési hiányú, azaz nagy páraéhségű nap, ezeknél nem észleltünk markáns eltérést, bár ismét megjegyezzük, hogy csak egyik oldalról támasztottunk kritériumokat.

10. táblázat A páros t- próba eredményei 2011-ra (P=0,05), vizsgált változó: transzspiráció, nullhipotézis: várható értékek megegyeznek

Párok	Átlag	Variancia	Std. hiba	t	df	Sig.
*T*max≥25 °C-*T*max<25 °C	5,981	1,185	0,488	2,420	57	0,019
WS_2≥2 m·s^{-1}-WS_2<2 m·s^{-1}	4,900	0,590	0,581	-1,016	57	0,314
S≥200 W·m^{-2}-*S*<200 W·m^{-2}	5,751	2,473	0,632	3,909	56	0,000
VPD≥7 mbar-*VPD*<7 mbar	5,715	0,689	0,504	1,367	57	0,177
S≥200 W·m^{-2} és WS_2 ≥2m·s^{-1} *	4,800	-0,664	0,649	-1,023	57	0,311
*T*max≥30 °C-*T*max<30 °C	5,406	0,126	0,567	0,223	59	0,825
*S*2≥00 W·m^{-2} és *VPD*≥7 mbar *	5,623	0,693	0,511	1,356	57	0,181

- A kombinációkban csak az egyik oldalról támasztottunk határozott kritériumokat, vagyis, ahol kiválogattuk, hogy nyári és szeles egy nap, ott az ebből kimaradt napoknak nem szabtunk kitételt

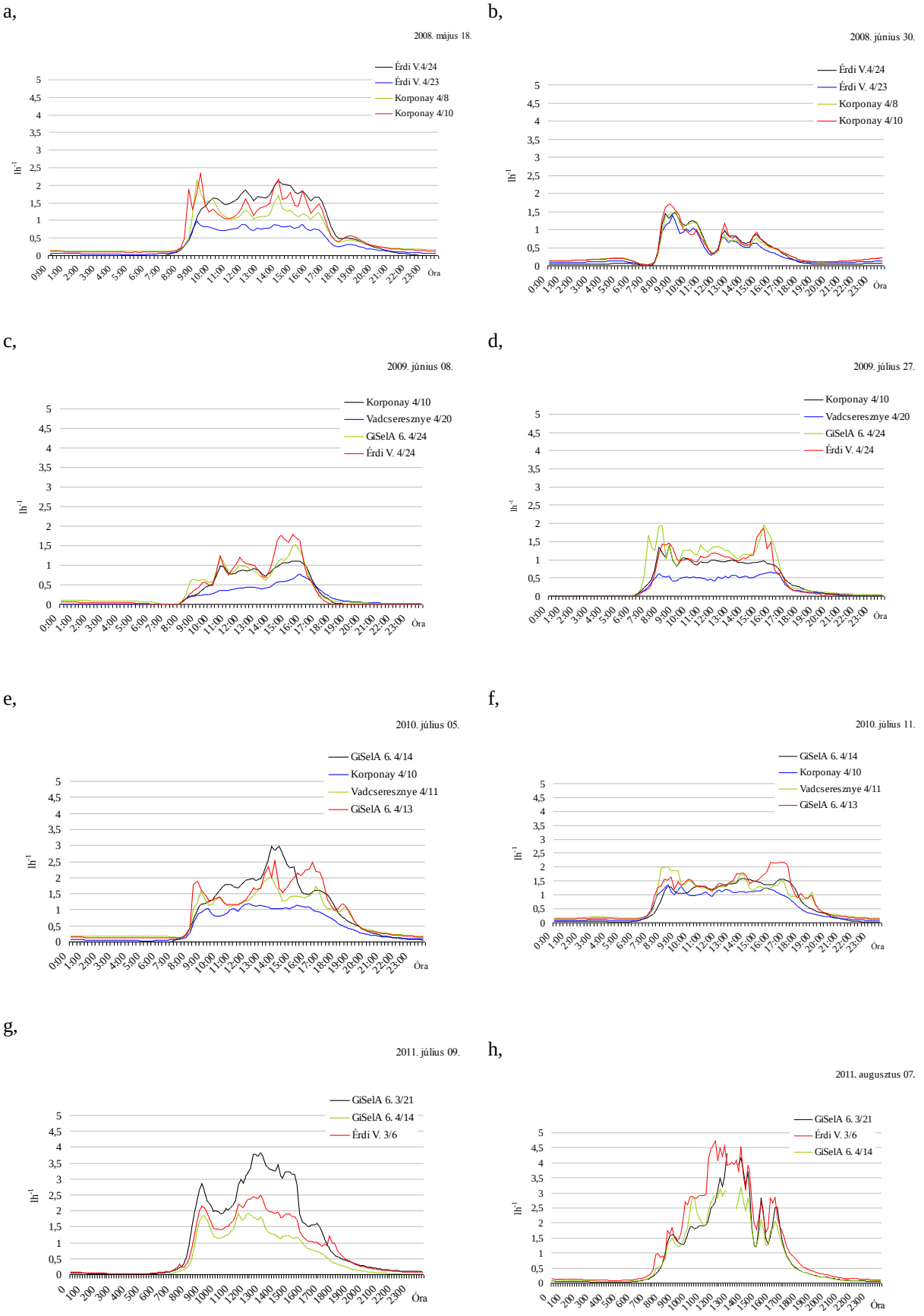
5. 2. Cseresznyefák vízfelvételének üteme nappal és éjszaka

Az intenzív cseresznyeültetvény havi szintű vízfogyasztásának becslése után áttekintést kívánunk adni a fák nedváramlásának napi jellegzetességéről. Ez segítségül szolgálhat az öntözővíz optimális (legjobb növényi hasznosítás) időben történő kijuttatásának tervezéséhez, valamint a légköri viszonyokkal – mint külső vezérlő tényezőkkel – fennálló kapcsolatrendszer alaposabb megismeréséhez.

5. 2. 1. Napi nedváramlási karakterisztika

A nedváramlás 24 órás ütemének szemléltetéséhez minden évből kiválasztottunk két-két jellegzetes napot (18. ábra). Olyan napok bemutatására törekedtünk, melyeken a nedváramlás ritmusa leginkább képviseli az általános meneteket különböző időjárási helyzetekben (gyenge légmozgású-, szeles-, csapadékos-, hőségnap stb.) is. A nedváramlás mérés egy percenként, a regisztrálás 15 perces átlagolással történt. Megjegyezzük, hogy a levelek szöveteiből távozó vízmennyiség – a transzspirációs veszteség – a törzsben mérhető nedváramlást, időben késleltetve ún. fáziseltolódással követi. A gyökerekből ugyanis a víznek a törzs feletti szervekbe el kell jutnia.

Ezúttal a nedváramlás karakterisztikájának követése a célunk, az egyedek összehasonlítása nem.



18. ábra Jellegzetes napi nedváramlási karakterisztika a kiválasztott napokon az egyes esztendőkben: 2008. május 18. (a), 2008. június 30. (b), 2009. június 8. (c), 2009. július 27 (d), 2010. július 5. (e), 2010. július 11. (f), 2011. július 9. (g), 2011. augusztus 7. (f)

2008-as kísérleti fázisból két nyári napot (T_{max}≥25 °C): egy május közepit (18.a ábra) és egy június harmadik dekádjából származót (18.b ábra) választottunk ki. Az előbbi, az intenzív gyümölcsnövekedési időszakba tartozó, csapadékmentes nap volt. Az előtte levő héten mindössze 2,5 mm eső esett a vizsgált területen. Az átlagos globálsugárzási érték 230 W·m^{-2} míg a relatív nedvességtartam 75%-os volt 2008. május 18-án. A légmozgás (WS_2 = 1,1 m·s^{-1}) nem kedvezett különösebben az intenzív párologtatásnak.

A nedváramlás menetét (18.a ábra) tanulmányozva szembetűnő a reggel 8:00 óra körül induló intenzív kezdés. 8:00–10:00 között ezen gyors ütemmel, mindegyik egyednél elérte az áramlás „pillanatnyi" értéke az elsődleges napi csúcsot (2,1–2,3 l·h^{-1}). 10:00 és 14:00 óra között kissé visszaesett (0,8–2,0 l·h^{-1}), kiegyenlítettebbé vált a mértéke. A másodmaximumok 14:00–15:00 között jelentkeztek (1,6–2,1 l·h^{-1}). Az ezt követő délutáni órákban a nedváramlás fokozatosan minimálisra csökkent 22:00 órára.

Az éjszakai nedváramlási karakterisztikát az 5. 2. 2. 1. alfejezetben tárgyaljuk.

2008. június 30-a a párologtatás szempontjából jóval kedvezőtlenebbnek számított, mint az előbb vizsgált nap. Nedves (relatív nedvesség: 83%), fülledt idő jellemezte (T_{max} = 26,9 °C). Szinte egész nap felhős égbolt mellett (globálsugárzás:162 W·m^{-2}) 1,6 mm, jelentéktelen mennyiségűnek számító csapadék hullott. Ennek nagy része a kifejlett lombozat mellett valószínűleg el sem jutott a talajig – egy része intercepciós vízként a koronaszinten párolgott el a levélfelszínről; ezzel is növelve a lombkorona légterének nedvességtartalmát – azonban a 10:00, 12:00 és 15:00-kor bekövetkező csekély esőzés ténye jól tükröződik a törzsön mért nedváramlás ütemén. Ezen időpontokban ugyanis, a légköri nedvességtartalom megugrott, a párologtatásnak nem kedvezve. Így lombkorona által kifejtett „szívóerő" is csökkent, ez tűnik ki a nedváram görbe (18. b ábra) három különböző időpontban megjelenő „öblös" részén. A napi maximumok (1,4–1,6 l·h^{-1}) 8:00–10:00, a másodmaximumok (1,0 l·h^{-1}) 13:00 órakor jelentkeztek. 15:00 után lassú ütemben 19:00 órára a nedváramlás mértéke a nappalihoz képest elenyészővé vált.

2009. június 7-én egy konvektív zivatarcellából 18 mm-nyi csapadék hullott a vizsgált cseresznyetáblára. Június 8-án 80%-os relatív nedvességtartalom és 17,1 °C-os átlaghőmérséklet volt. Átlagosan 277 W·m^{-2}-es globálsugárzási értéket jegyeztünk. Ezen a napon a kora reggeli markáns kezdés elmaradt, a legnagyobb nedváramlást minden egyednél (0,7–1,7 l·h^{-1}) a délutáni felhőtlen égbolt mellett 15:00 és 16:00 között tapasztaltuk (18.c ábra).

2009. július 27-én a 6:00-kor induló gyors ütemű nedváramlás (18.d ábra) 8:00 óra után 1,4–1,9 l·h^{-1}-rel tetőzött, majd délután 15:00–16:00 között ismét maximumot mutatott. A köztes időszakban tapasztalható zavartalan (nagy kilengésektől mentes) nedváramlási menet részben a nyugodt időjárási helyzetnek (egyenletes légköri telítési hiány, felhőmentes nap) és a folyamatos

csepegtető öntözéses vízpótlásnak (4,5 mm) tudható be. 2010-ben a sikeres mérési időszakból kiválasztott két nap egyikén sem esett, viszont a megelőző hónapok extrém magas csapadékösszeggel bírtak (májusban 166,2 mm, júniusban 168,2 mm). 2010. július 5-én a meteorológiai paraméterek alakulása kedvezett az intenzív növényi párologtatásnak, ami a nedváramlási értékekben is megnyilvánul. A maximum hőmérséklet 29,3 °C volt, 2,65 $m \cdot s^{-1}$-os átlagos napi szélsebességgel, 64%-os relatív páratartalommal. A reggeli órák erőteljes áramlása 1,4–1,8 $l \cdot h^{-1}$-s értékeket ért el 8:00-ra, azonban a napi maximumok délután 14:00–17:00 között jelentkeztek, elérve a 3 $l \cdot h^{-1}$ pillanatnyi értéket (18.e ábra).

2010. július 11-én a napi legmagasabb hőmérséklet 23, 8 °C volt, a globálsugárzás 310 $W \cdot m^{-2,}$ és 43%-os a relatív nedvességtartalom. A nedváramlásban a reggel 7:00 órai erőteljes emelkedést kiegyenlített menet követi (1,0–1,6 $l \cdot h^{-1}$) 10:00–15:00 között, a késő délutáni órákra, elhúzódó csökkenő tendencia figyelhető meg (18.f ábra).

2011. július 9-e hőségnapnak (Tmax≥30 °C) minősült, és a megelőző két nap legnagyobb hőmérsékletei szintén meghaladták a 30 °C-ot. A felhőtlen égbolt mellett az átlagos szélsebesség (kettő méter magasan) 1,76 $m \cdot s^{-1}$, a relatív páratartam 64%-os volt. A napi átlagos globálsugárzás 328 $W \cdot m^{-2}$. A reggel 7:00 órai intenzív kezdést 1,8–2,8 literes óránkénti áramlású rövid időszak követi (18.g ábra). A nappal folyamán kisebb visszaesést csupán 10:00–11:00 között regisztráltunk. 11:00-től egészen 16:00-ig – a nagy légköri szárazságnak köszönhetően – különösen magas az egyes cseresznyefák nedváramlási értéke (2,0–3,7 $l \cdot h^{-1}$). 22:00-ra a nedváramlás mértéke 0,06–0,08 $l \cdot h^{-1}$-ra csillapodik.

2011. augusztus 7-én szeles idő volt, az átlagos, két méteren mért szélsebesség 2,5 $m \cdot s^{-1}$, a relatív nedvességtartalom magas, 81%-os volt, a maximumhőmérséklet megközelítette a 30 °C-ot. Eső nem esett aznap. Az előző tíz napban is csupán csak 2,4 mm természetes csapadék érte a cseresznyeültetvényt. A vízgőz elszállítódásának kedvező szeles idő fokozta a fák párologtatási intenzitását, ezzel serkentve a nedváramlás mértékét is. A meredek reggeli kezdés után (7:00-órától) a legmelegebb órákban (11:00–15:00) a 2,0–4,6 $l \cdot h^{-1}$-os értéket is rögzítettünk. 15:00–17:00 között felhőátvonulás zavarta meg a napsütést. Ezt a tényt tükrözheti a délutáni ingadozó nedváramlás, 17:00 órától hanyatlik az áramlás értéke (18.h ábra).

5. 2. 2. Az éjszakai nedváramlás jelentősége

Nappal a fotoszintézis miatt a nyitott állapotú gázcserenyílások elkerülhetetlen velejárója a vízvesztés. Azonban az éjszakai sztómanyitottság a fotoszintézis folyamatának szünetelése miatt nem feltétlenül elvárt jelenség, hiszen ilyenkor csak csökkentett módban, vagy egyáltalán nincs szükség a levél hűtésére. Miután a sötét órákban mégis gyakori az említett jelenség a különböző

fajoknál, felmerül, hogy az éjszakai vízvesztésből miképp profitál vagy éppen szenved veszteséget a növény.

5. 2. 2. 1. Az éjszakai nedváramlási karakterisztika

Számos fajnál nem állandó az éjszakai sztómavezetés értéke, vagyis a nedváramlás üteme sem, ezért vizsgáltuk azt, hogy az éjszaka folyamán milyen karakterisztikát mutat a nedvkeringés.

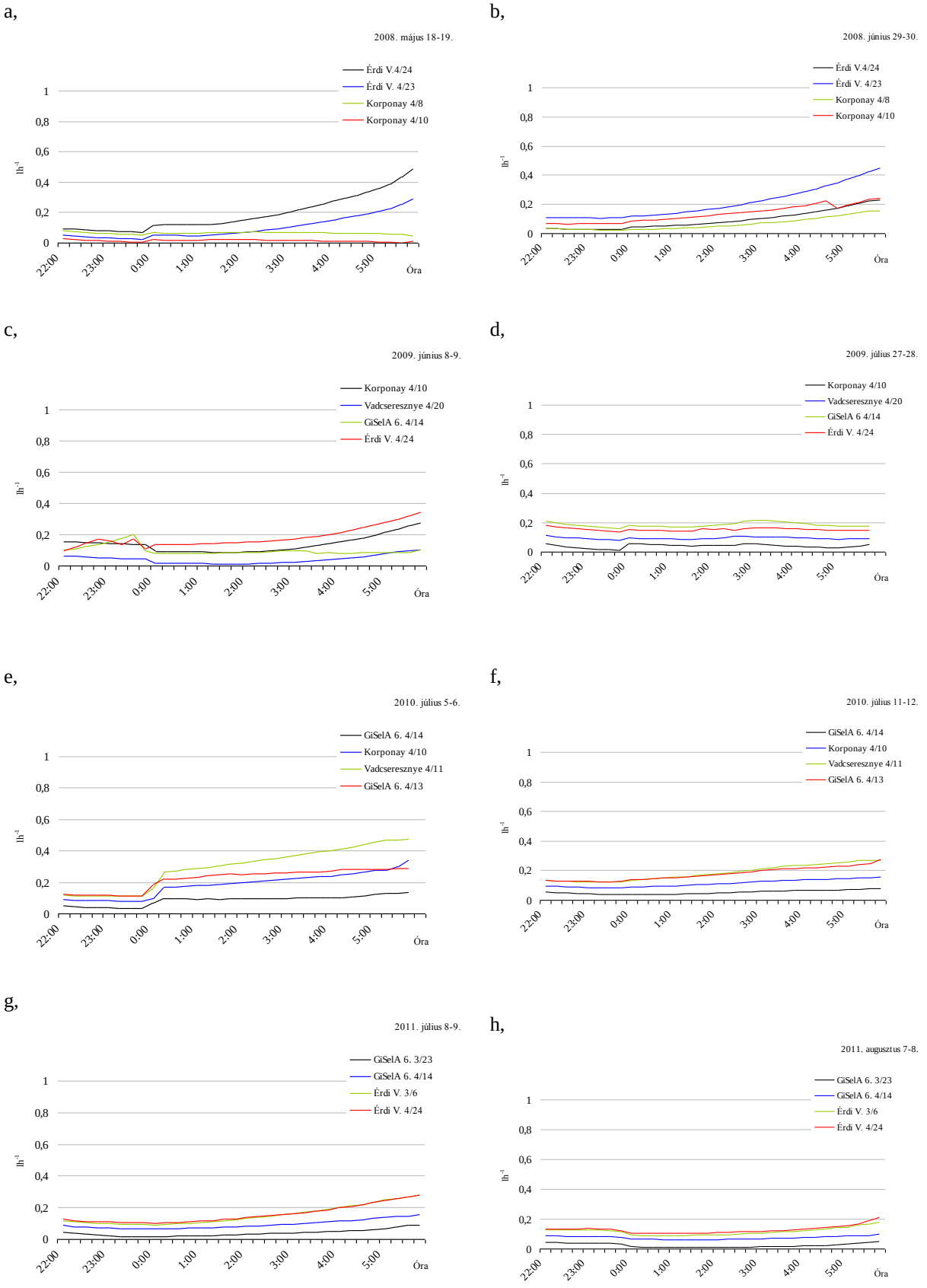
A 5. 2. 1. alfejezetben a nedváramlás napi jellegzetességeit mutattuk be, különböző időjárási körülmények között. A 19. ábra az éjszakai (22:00–6:00) nedváramlás sajátosságait szemlélteti.

Az általunk kiválasztott éjjeli időszakok reprezentálják a cseresznyefáknál a sötét órákban bekövetkező általános nedváramlási ütemet, mely jóval egyöntetűbb képet mutat, mint a nappali menetek (18. ábra). Naplemente után a nedváramlás erőteljesen visszaesik. Hajnali 2:00-ig 0,02–0,1 $l \cdot h^{-1}$, eztán 0,1 $l \cdot h^{-1}$ fölötti értékeket tapasztalunk (19.a, b, f, g ábra). A napkelte után – 5:00 óra körül – intenzív (0,2–0,3 $l \cdot h^{-1}$) emelkedést látunk (19.a, b, c, g ábra). Bizonyos napokon az éjszaka történő nedváramlás mértéke szinte egyenletesen 0,02–0,2 $l \cdot h^{-1}$ között maradt (19.d, h ábra). Egy napon (19.e ábra) mértünk erősebb áramlási ütemet, ekkor éjféltől 0,2 $l \cdot h^{-1}$ feletti értékek jelentkeztek.

Összességében elmondhatjuk, hogy amikor az éjszakai nedváramlás mérőeszközünk számára érzékelhető nagyságú volt, akkor körülbelül éjfélig mértük a minimális értékeket (0,02–0,1 $l \cdot h^{-1}$) majd hajnali 2:00–3:00-tól kezdődően enyhe növekedést tapasztaltunk. A kora hajnali órákban, a napkeltével – a fotoszintézis kezdetével – erősebbé vált az törzsön mért nedváramlás mértéke.

5. 2. 2. 2. Az éjszakai nedváramlás mértéke

Méréseink szerint 2008-ban cseresznyefák egyedenkénti éjjeli vízfogyasztás mértéke 0,1–3,1 l között alakult, így az éjjeli vízfogyasztás átlagosan a teljes napi vízfelvétel 5,2%-a volt (20.a ábra). A legintenzívebb éjszakai vízfelvételű napokon esetünkben ez az érték elérte a 40%-ot is.

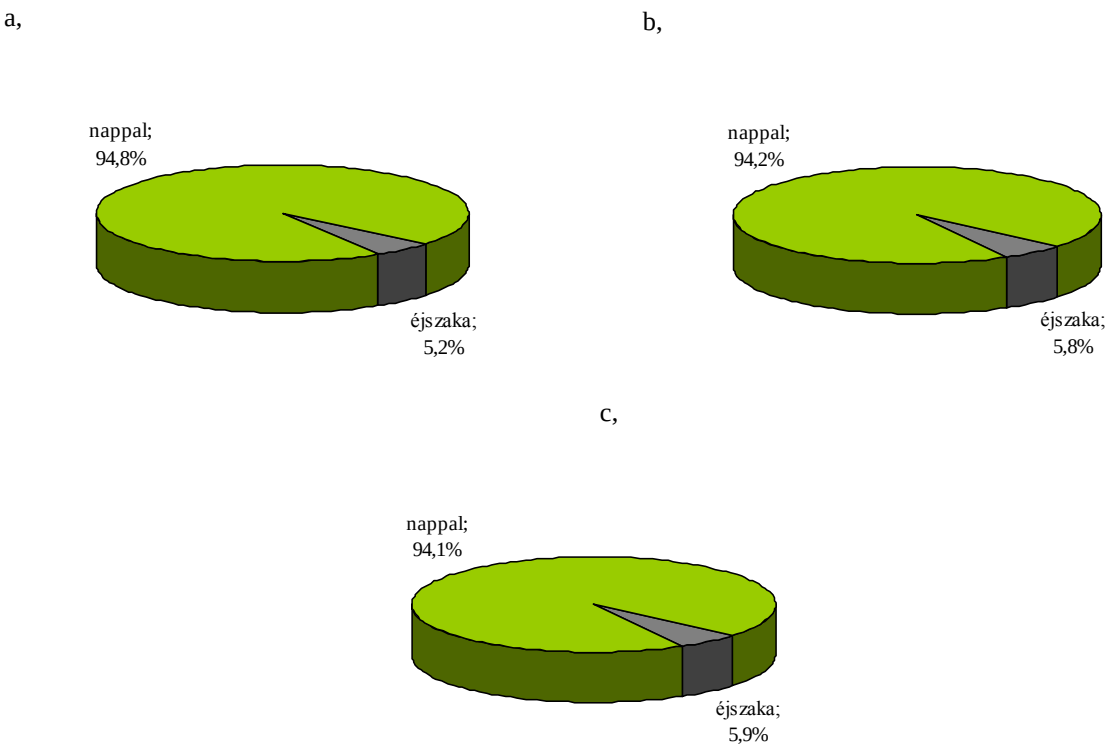


19. ábra Éjszakai nedváramlási menetek a kiválasztott napokon az egyes esztendőkben : 2008. május 18-19. (a), 2008. június 29–30. (b), 2009. június 8–9. (c), 2009. július 27–28. (d), 2010. július 5–6. (e), 2010. július 11–12. (f), 2011. július 8–9. (g), 2011. augusztus 7–8. (f)

Kalkulációnk szerint 2008-ban egy cseresznyefa havonta körülbelül 46 liter vizet mozgatott meg a 22:00-tól 6:00-ig tartó időintervallumban. Ez az érték fánként egy hónapra számítva 2009-ben 53 liter, 2011-ben 88 liter volt.

2009-ban az éjjeli vízfogyasztás átlagosan a teljes napi vízfelvétel 5,8%-a (20.b ábra). 2011-ben is hasonló, 5,9%-os értéket kaptunk (20.c ábra).

2008, 2009, és 2011 kísérleti fázisaiban, méréseink alapján történt becslésünk (négy hónapra) szerint a cseresznyefák éjszaka 15,0–18,0 mm-nyi vizet fogyasztottak egységnyi tenyészterületre vetítve. (Ismét megjegyezzük, hogy a törzsön átáramoltatott összes víz teljes mennyisége nem feltétlenül kerül ki a légkörbe a növényi szövetekből, vagyis nem mind fordítódik párologtatásra, hanem beépülhet a növényi testbe, a napközben kiürült víztartályok feltöltésére koncentrálva.)



20. ábra Nappali és éjszakai vízfogyasztás százalékos megoszlása 2008-ban (a), 2009-ben (b), és 2011-ben (c)

5. 2. 3. Vízfogyasztás mértéke az egyes napszakokban

Az egyes napszakokban történő nedváramlás mértékének tanulmányozásához a napokat három szakaszra különítettük el. Éjszakának minősítettük a 22:00–6:00 óráig tartó időszakot. A nappalt (6:00–22:00) 6:00 és 14:00 óra közötti délelőtti és 14:00–22:00 közötti délutáni szakaszokra bontottuk. Kerestük a választ arra, hogy az éjszakai és nappali valamint, a délelőtti és a délutáni vízfogyasztás mértéke milyen arányban oszlik meg.

Mint már láttuk az 5. 2. 2. 2. alfejezetben, az éjszakai és a nappali nedváramlás mértéke között egyértelműen jelentős a differencia, ezt egyszerű statisztikai kimutatással is alátámasztjuk (11., 12., 13. táblázat). Hasonló mondható el a nappal szakaszairól is, vagyis a délelőtti és a délutáni vízfogyasztás között szignifikáns eltérést tapasztaltunk minden kísérleti fázisban.

11. táblázat Független t próba mutatói a napszaki vízfelvétel vizsgálatára (2008), (P=0,05), vizsgált változó: nedváram, nullhipotézis: várható értékek megegyeznek

Vizsgált minták	t	df	Sig	Közepes eltérés	St. Hiba
Éjjeli vízfogy.-nappal vízfogy.	24,691	188,803	0,000	2,411	0,097
Délelőtti-Délutáni vízfogyasztás	3,713	325,262	0,000	0,276	0,074

12. táblázat Független t próba mutatói a napszaki vízfelvétel vizsgálatára (2009), (P=0,05), vizsgált változó: nedváram, nullhipotézis: várható értékek megegyeznek

Vizsgált minták	t	df	Sig	Közepes eltérés	St. Hiba
Éjjeli vízfogy.-nappal vízfogy.	30,635	169,042	0,000	2,204	0,071
Délelőtti-Délutáni vízfogyasztás	11,108	207,57	0,000	0,727	0,065

13. táblázat Független t próba mutatói a napszaki vízfelvétel vizsgálatára (2011), (P=0,05), vizsgált változó: nedváram, nullhipotézis: várható értékek megegyeznek

Vizsgált minták	t	df	Sig	Közepes eltérés	St. Hiba
Éjjeli vízfogy.-nappal vízfogy.	27,791	176,445	0,000	2.403	0,082
Délelőtti-Délutáni vízfogyasztás	8,233	301,757	0,000	0,521	0,073

2008-ban a nedváramlási adatok alapján a nappali vízfelvételnek átlagosan 54%-a történt a délelőtti szakaszban, a maradék 46%-ot pedig délután vették fel a növények. 2009-ben ez az arány 62%–38%-os volt. 2011-ben pedig 59%–41%.

Míg 2008-ban és 2011-ben az éjszakai vízfogyasztás mértéke nem különbözött egymástól jelentősen az egyes hónapokban (13., 15. melléklet), 2009 júniusában nem csak a nappali, hanem a sötét órák nedváramlása is szignifikánsan alulmaradt a többi hónaphoz képest (14. melléklet).

Összességében az 5. 1. fejezetben tárgyalt napi nedváramlásban a mutatott havi különbségek a főként a nappali szakaszokban (délelőtti és délutáni) jelentkeztek.

2008-ban a délelőtti vízfogyasztásban az augusztusi az, amelyik jelentősen eltér a többi hónaptól, mégpedig negatívan. A délutáni szakaszok tekintetében a vizsgálat kezdeti hónapja (május) mutat kimagasló fogyasztási eredményt. Ezt nyomon követhetjük az 13. mellékletben, ahol a Duncan teszt eredményeit látjuk.

Az éjszakai és a délelőtti vízfogyasztást tanulmányozva 2009-ben június hónap szignifikánsan eltért a többitől (14. melléklet), ahogy a teljes (24 órás) értékekre jellemző volt, itt is kirívóan alacsony éjszakai, és délelőtti párologtatás tapasztalható. A 14:00–22:00 óra közötti fázisban, ezúttal is május mutat kimagasló fogyasztási eredményt.

2011-ben mind 6:00-tól 14:00-ig, mind 14:00-től 22:00-ig májusban tapasztaltunk jelentős különbséget a többi hónaphoz képest (15. melléklet).

5. 2. 4. Nedváramlás és a környezeti tényezők kapcsolata

A nedváramlás ütemének megértéséhez összefüggés vizsgálatot végeztünk a párolgást vezérlő alapvető külső légköri paraméterek (globálsugárzás, hőmérséklet, telítési hiány, szélsebesség) és a mért nedváramlási értékek között. Tanulmányoztuk, hogy a nappal folyamán és az egyes periódusokban a nedváramlásnak mely időjárási paraméterekkel mutatkozik a legszorosabb kapcsolata.

A részletes elemzést ezúttal a 2008. május 4–8, 25–30. közötti időszakra mutatjuk be. A kapcsolatok szorosságának számszerűsítéséhez korrelációelemzést végeztünk. A Pearson-féle korrelációs koefficiensek értékeit a 14. táblázatban tüntettük fel. A teljes nappal nappali és éjszakai felében is a nedváramlás a telítési hiánnyal mutatta a legszorosabb kapcsolatot. Ezen időszakban csupán a 14:00–22:00 közötti intervallumban volt a globálsugárzással szoros az összefüggés.

14. táblázat Pearson féle korrelációs együtthatók (2008. május 4–8.;25–30., P=0,01,*P=0,05 változó: nedváramlás)

	Hőmérséklet	Telítési hiány	Szélsebesség	Globálsugárzás
Délelőtt (6:00-14:00)	0,982	0,984	0,790	0,846
Délután (14:00-22:00)	0,906	0,930	0,683	0,964
Éjszaka (22:00-6:00)	0,870	0,877	0,371*	-0,245
Nappal (6:00-22:00)	0,935	0,939	0,674	0,626
24 órás	0,937	0,957	0,808	0,765

A nedváramlás és a környezeti paraméterek adatsorai közötti kapcsolatrendszer feltárásához regresszióanalízist végeztünk. A függő változó a nedváramlás, mellé független változóként a

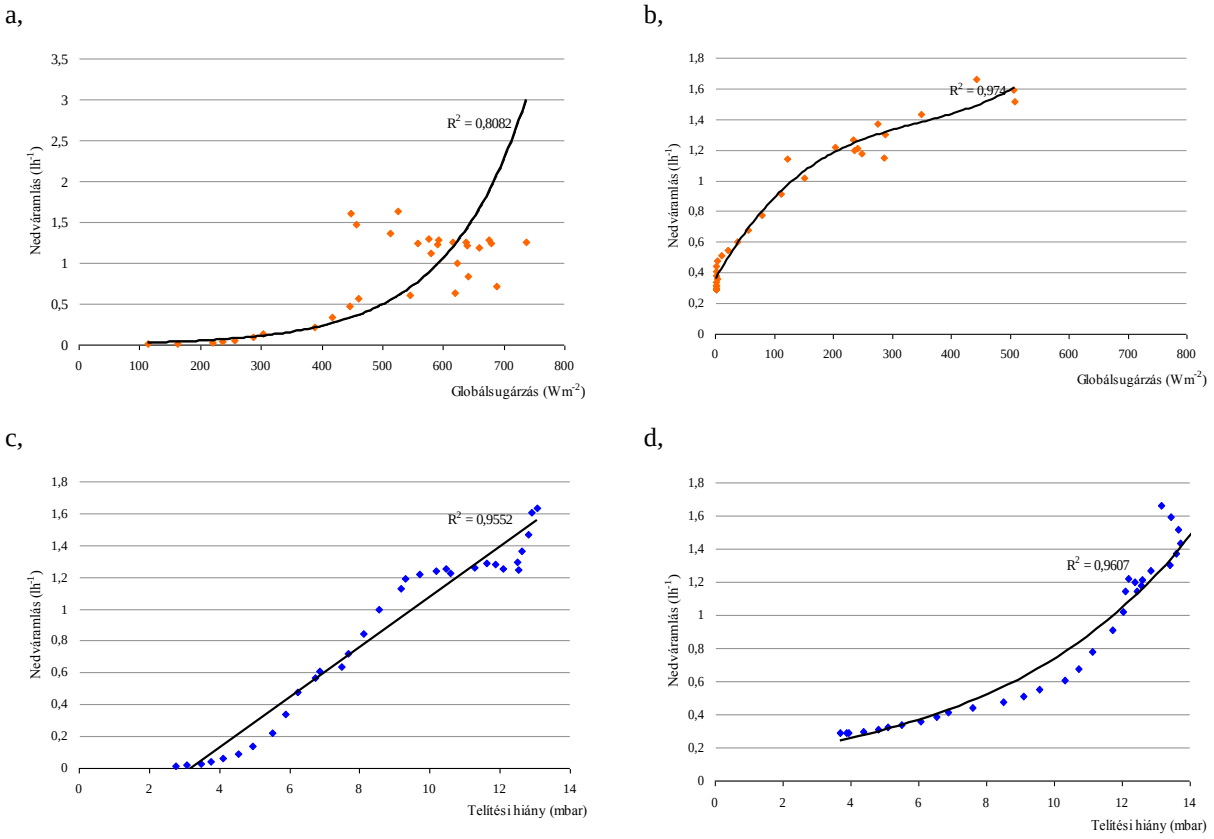
léghőmérséklet, a telítési hiány, a globálsugárzás és a szél került. A modellösszegzést a 15. táblázatban látjuk.

15. táblázat Az egyes napszakok nedváramlásának és a környezeti tényezők kapcsolatának modellösszegzése

Tényező	Modell összegzése					
	R	R^2	Helyesbített R^2	A becslés standard hibája	ANOVA F érték	Sig.
Délelőtt						
Hőmérséklet (*T*)	0,984	0,968	0,967	0,100	909,910	0,000
Egyenlet	Nedváramlás ($l \cdot h^{-1}$) = -2,407+0,190*T* (°C)					
Telítési hiány (*VPD*)	0,982	0,964	0,963	0,106	807,002	0,000
Egyenlet	Nedváramlás ($l \cdot h^{-1}$) = -0,523+0,159*VPD* (mbar)					
Szélsebesség (*WS*)	0,790	0,624	0,611	0,344	49,699	0,000
Egyenlet	Nedváramlás ($l \cdot h^{-1}$) = -4,051+2,108*WS* ($m \cdot s^{-1}$)					
Globálsugárzás	0,850	0,802	0,899	0,448	277,677	0,000
Egyenlet	Nedváramlás ($l \cdot h^{-1}$) = $0{,}007 * \exp^{0{,}008S\ (W \cdot m\text{-}2)}$					
Délután						
Hőmérséklet (*T*)	0,961	0,924	0,921	0,166	364,051	0,000
Egyenlet	Nedváramlás ($l \cdot h^{-1}$) = $0{,}013 * \exp^{0{,}222T\ (°C)}$					
Telítési hiány (*VPD*)	0,976	0,907	0,951	0,130	608,072	0,000
Egyenlet	Nedváramlás ($l \cdot h^{-1}$) = $0{,}152 * \exp^{0.,60VPD\ (mbar)}$					
Szélsebesség (*WS*)	0,772	0,596	0,582	0,381	44,226	0,000
Egyenlet	Nedváramlás ($l \cdot h^{-1}$) = $0{,}036 * \exp^{1{,}250WS\ (m \cdot s\text{-}1)}$					
Globálsugárzás (*S*)	0,993	0,974	0,984	0,059	640,491	0,000
Egyenlet	Nedváramlás ($l \cdot h^{-1}$) = $0{,}000000008171S^3 - 0{,}00001030S^2 + 0{,}005S + 0{,}368$					
Éjszaka						
Hőmérséklet (*T*)	0,893	0,798	0,791	0,718	118,326	0,000
Egyenlet	Nedváramlás (lh^{-1}) = $0{,}0000002376 * \exp^{1{,}092T\ (°C)}$					
Telítési hiány (*VPD*)	0,901	0,812	0,806	0,692	129,905	0,000
Egyenlet	Nedváramlás ($l \cdot h^{-1}$) = $0{,}001 * \exp^{2{,}277VPD\ (mbar)}$					
Szélsebesség (*WS*)	0,371					
Egyenlet	–					
Globálsugárzás (*S*)	–					
Egyenlet	–					
Nappal						
Hőmérséklet (*T*)	0,935	0,874	0,872	0,182	428,884	

Egyenlet	Nedváramlás ($l \cdot h^{-1}$) = -2,203+0,174*T* (°C)					
Telítési hiány (*VPD*)	0,939	0,882	0,880	0,176	463,827	0,000
Egyenlet	Nedváramlás ($l \cdot h^{-1}$) = -0,392+0,136*VPD* (mbar)					
Szélsebesség (*WS*)	0,674	0,454	0,446	0,379	51,624	0,000
Egyenlet	Nedváramlás ($l \cdot h^{-1}$) = -1,867+1,148*WS* ($m \cdot s^{-1}$)					
Globálsugárzás (*S*)	0,626	0,891	0,381	0,400	39,854	0,000
Egyenlet	Nedváramlás ($l \cdot h^{-1}$) = 0,001*S*+0,422					
24 órás						
Hőmérséklet (*T*)	0,937	0,877	0,876	0,197	671,801	0,000
Egyenlet	Nedváramlás($l \cdot h^{-1}$) = 0,127*T*(°C)-1,341					
Telítési hiány (*VPD*)	0,957	0,917	0,916	0,162	1034,677	0,000
Egyenlet	Nedváramlás($l \cdot h^{-1}$) = 0,122*VPD*(mbar)-0,235					
Szélsebesség (*WS*)	0,808	0,654	0,650	0,331	177,302	0,000
Egyenlet	Nedváramlás($l \cdot h^{-1}$) = 1,258*WS*($m \cdot s^{-1}$)-2,164					
Globálsugárzás (*S*)	0,765	0,584	0,580	0,363	132,224	0,000
Egyenlet	Nedváramlás ($l \cdot h^{-1}$) = 0,002*S*+0,218					

A tejes napot (24 óra) és a nappali szakaszt tekintve gyakorlatilag minden paraméterrel lineáris kapcsolatot mutat a cseresznyefák nedváramlása. Egyedül a 14:00–22:00-ig tartó szakaszban számolhatunk be exponenciális összefüggésekről, ill. a globálsugárzással való köbös kapcsolatról (20.b ábra). Naplementekor a sugárzás erőteljes csökkenésével a nedváramlás is zérushoz közelít. Ugyanezek a tényezők délelőtt exponenciális kapcsolatról adnak tanúbizonyságot (20.a ábra). Délelőtt a telítési hiánnyal lineáris (20.c ábra), délután exponenciális kapcsolatot tártunk fel (20.d ábra).



20. ábra A nedváramlás és a globálsugárzás kapcsolata a 6:00-14:00 (a) és a 14:00–20:00 között (b); A nedváramlás és a telítési hiány kapcsolata a 6:00–14:00 (c) és a 14:00–20:00 között (d)

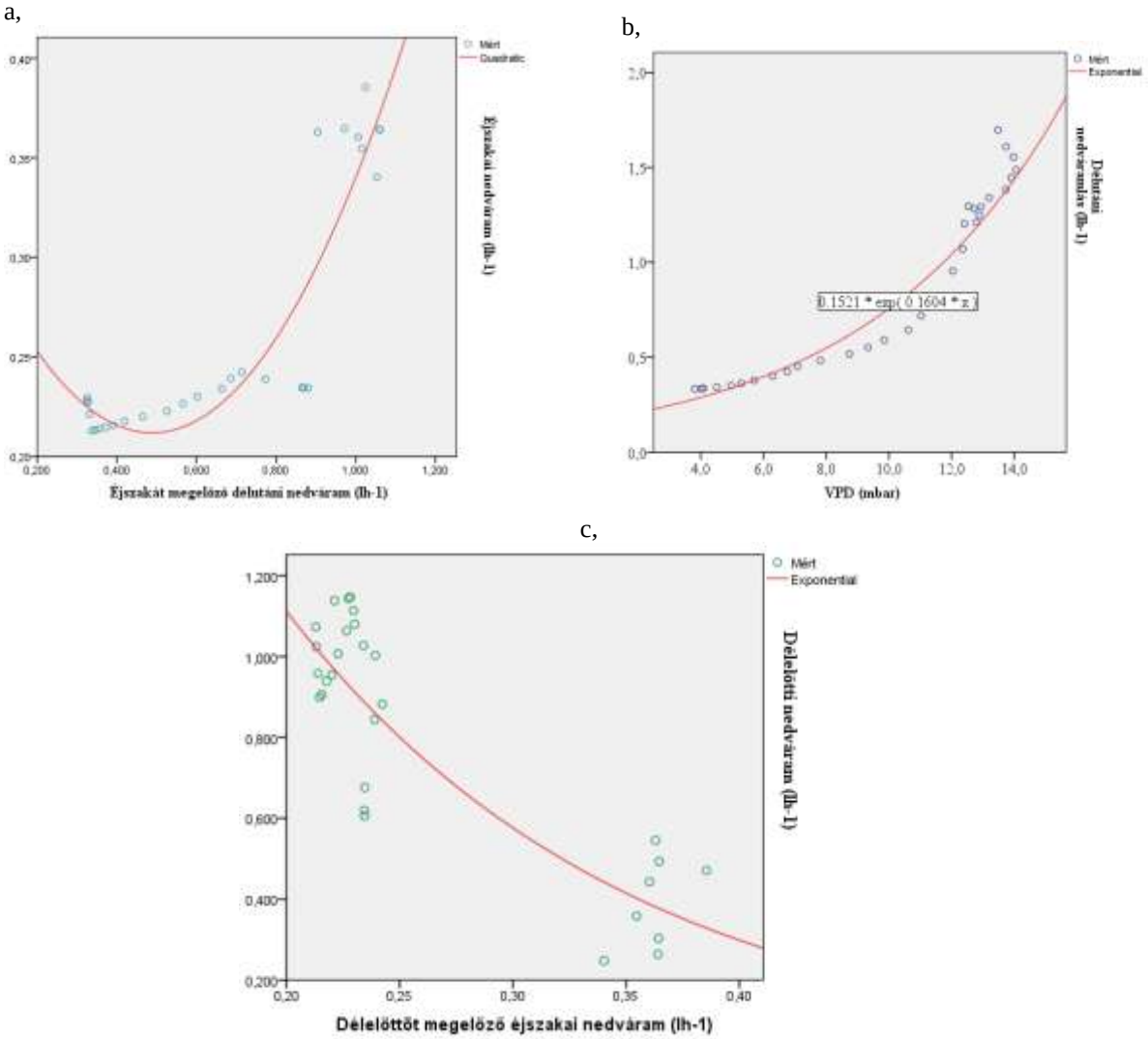
Az éjjeli nedváramlás és telítési hiány kapcsolata

Azok a fajok, amelyek nappal magas VPD mellett nyitva hagyják sztómáikat, csökkentett sztómazáró kapacitással rendelkeznek alacsony éjjeli VPD mellett. Amennyiben éjjel jelentős a transzspiráció, ugyanakkor megfelelő a víz hozzáférhetőség, akkor a félig nyitott sztómáknál a víz ráfordítás/veszteség nem okoz gondot. Az alacsony éjjeli VPD-vel nagyobb sztóma nyitottságot feltételezünk a nappalihoz viszonyítva; ez viszont nagyobb éjjeli vízpotenciált eredményez. Ezzel párhuzamban ismeretes, hogy a vízpotenciál csökkenése magába foglalja a sztómakonduktancia és a transzspiráció csökkenését, a vízvesztés elkerülése végett. Bár ezt a feltételezést a sötétség ténye felülbírálhatja.

Megvizsgáltuk, hogy milyen viszony van a délutáni, és az azt követő éjszakai, valamint, az éjszakai, és az arra következő délelőtti vízfogyasztás között. Eredményeinket a 2009-es kísérleti időszakra mutatjuk be (21. ábra). A regresszióanalízis szoros korrelációt igazolt az éjjeli vízfogyasztás és a megelőző délutáni vízfelvétel, valamint a délelőtti vízfogyasztás és a megelőző éjjeli vízfelvétel között (16. táblázat).

Először az éjjeli vízfogyasztást (mint függő változó) vizsgáltuk meg a megelőző délutáni vízfelvétel kapcsolatában (21.a ábra); majd a vízfelvételt folyamatában vizsgálva, a délelőtti

vízfogyasztást (függő változó) figyeltük meg (21.c ábra) a megelőző éjjeli vízfelvétel (független változó) tekintetében.



21. ábra Napszaki összefüggések 2009-ben: az éjszakai és a megelőző délután időszak nedváramlási összefüggése (a), Az éjszakai nedváramlás és a délutáni telítési hiány összefüggése (b), Az éjszakai és az azt követő délelőtti időszak összefüggése (c)

Eredményeink szerint éjszakai nedváramlás mértékét erőteljesen meghatározza a megelőző nap délutáni nedváramlási rátája, mégpedig négyzetes összefüggésben (16. táblázat).

Megemlítjük, hogy 0,8 $l \cdot h^{-1}$-s küszöbértékig az éjjeli nedváram növekedés (0,25 $l \cdot h^{-1}$-ig) egyenletesebb, mint e felett, ugyanis 0,8 $l \cdot h^{-1}$ felett hirtelen ugrást tapasztalunk, a sötét órák vízfelvételi értékei csaknem duplázódnak.

A délutáni telítési hiány exponenciális összefüggést mutat a nedváramlással (16. táblázat).

Az 21.c ábrából kiderül, hogy éjszaka, amikor a nedváramlás mérsékelt, vagyis nem áramoltat, vagy akár tárol a sötét órákban a növény, akkor a reggeli nedváram meglehetősen intenzív,

feltehetően az éjjel alig töltődő víztartályok pótlását igyekszik ellensúlyozni. Amikor az éjjeli nedvkeringés nagy, akkor a hajnalt követő órákban a transzspiráció nem oly intenzív, hiszen a vízzel való gazdálkodás a töltött tartályokból kiegyenlítettebb lehet.

16. táblázat A délutáni, éjjel, és délelőtti nedváramlás folyamatában vizsgált függőségi viszonyai 2009-ben

Tényező	Modell összegzése					
	R	R^2	Helyesbített R^2	A becslés standard hibája	ANOVA F érték	Sig.
Délután (független)-Éjjeli (függő)	0,922	0,849	0,838	0,025	73,266	0,000
Egyenlet	Éjjeli nedváramlás ($l \cdot h^{-1}$) = 0,491(délutáni nedváramlás[$l \cdot h^{-1}$])^2-0,480(délutáni nedváramlás[$l \cdot h^{-1}$])+0,329					
Éjjeli (független)-Délelőtti (függő)	0,870	0,759	0,750	0,236	85,040	0,000
Egyenlet	Délelőtti nedváramlás(lh^{-1}) = 4,141*exp$^{-6,574\text{éjjeli nedváramlás}[l \cdot h-1]}$					

5. 3. Haszonnövény transzspirációs koefficiens (K_{cb})

Az *TET* és a *PET* hányadosaként meghatározott mennyiség (K_c) tartalmazza a három fő karakterisztikát, amely az adott állományt megkülönbözteti a referenciafelülettől. Ez a három tényező a növényzet magassága (mely befolyásolja az aerodinamikai ellenállást és az érdességet), a növényzet- és a talajellenállás (melyet meghatároz a levélfelület, a talajszerkezet, a levélzet kora és állapota, a sztómaellenállás és talajnedvesség tartalom), valamint az állomány albedója. Így a K_c alapvetően a növényfajjal és a művelésmóddal változik legfőképpen, ezért mindig érdemes helyi körülményekre adaptálni. A K_c haszonnövény koefficiens K_{cb} transzspirációs és K_e talajpárolgásra vonatkozó mutatókra bontható. Miután a nedváramlást mértük, és a potenciális evapotranszspirációt a 4. 4. 1. alfejezetben megadott módon számítottuk, a kettő hányadosaként célunk volt megadni helyi körülményekre, a 4x2 méteres térállású intenzív cseresznye ültetvényre a haszonnövény transzspirációs indexet. A FAO 56 kiadványban általánosan kezdeti, közép és utószezonra adják meg a K_c ill. K_{cb} értékeit cseresznyére kissé csapadékos klímára, 45%-os minimális napi átlagos relatív páratartalommal, átlagosan 2 $m \cdot s^{-1}$-s szélsebességgel, 4 méteres magassággal számítva (17. táblázat).

Májustól augusztusig tartó méréseink azt tették lehetővé, hogy az elő és középszezon közötti időszak – azaz a gyümölcsnövekedéstől a maximális levélfelület kialakulását követő három-négy hétig tartó szakaszra – adjuk meg a K_{cb} értéket.

17. táblázat Cseresznyére vonatkozó teljes ültetvényszintű (talaj+növény) haszonnövény koefficiens (K_c) és transzspirációs (növényi) koefficiens (K_{cb}) értékei (2 m·s^{-1} átlagos szélsebességgel, 45%-os átlagos minimális relatív nedvességtartalommal, csapadékos klímára számítva) (forrás: FAO 56/Allen et al. 1996 nyomán)

	K_c kezdeti	K_c középszezon	K_c utószezon	Maximális famagasság (m)	K_{cb} kezdeti	K_{cb} középszezon	K_{cb} utószezon
Füvesített sorközű állomány	0,50	1,20	0,95	4	0,45	1,15	0,90
Nem füvesített sorközű állomány	0,45	0,95	0,70	4	0,35	0,90	0,65

A 22.a, b és c ábrán a kísérleti esztendőkben az egyes napokra vonatkozó K_{cb} értékeket adjuk meg, feltüntetve a természetes csapadék, és a kijuttatott öntözővíz mennyiséget is. A haszonnövény párologtatásának (melyet ezúttal a mért nedváramlással azonosítottunk) és a tenyészterület lehetséges legnagyobb párologtatásának aránya 2008 májusában 0,47–1,10. A 0,50 körüli értékek közvetlenül a szüretet követő napokban adódtak, vagyis amikor a fák már nem elsősorban a cseresznye gyümölcsnövekedésére fordították a felvett vízmennyiséget, és nem is fogyasztottak annyi vizet. Feltételezésünk szerint tehát a potenciális párolgás fele az evaporáció – ill. a füvesített sorköz párolgása által – valósulhatott meg. Az 1,00 feletti értékek május első dekádjába estek, amikor az intenzív gyümölcsnövekedési időszakban az ültetvény a talajban raktározott, a vegetációs időszakot megelőző téli és tavaszi csapadékmennyiséget felhasználva, a legnagyobb vízmennyiséget fogyasztja. Júniusban a K_{cb} 0,89–1,20 (június második dekádjától), júliusban 1,00–1,20, augusztusban 0,79–1,10-nek adódott (22.a ábra); azaz a hatodik hónap végétől egészen augusztus végéig a fák párologtatása teszi ki az ültetvény területszintű maximálisan lehetséges párologtatásának szinte teljes egészét.

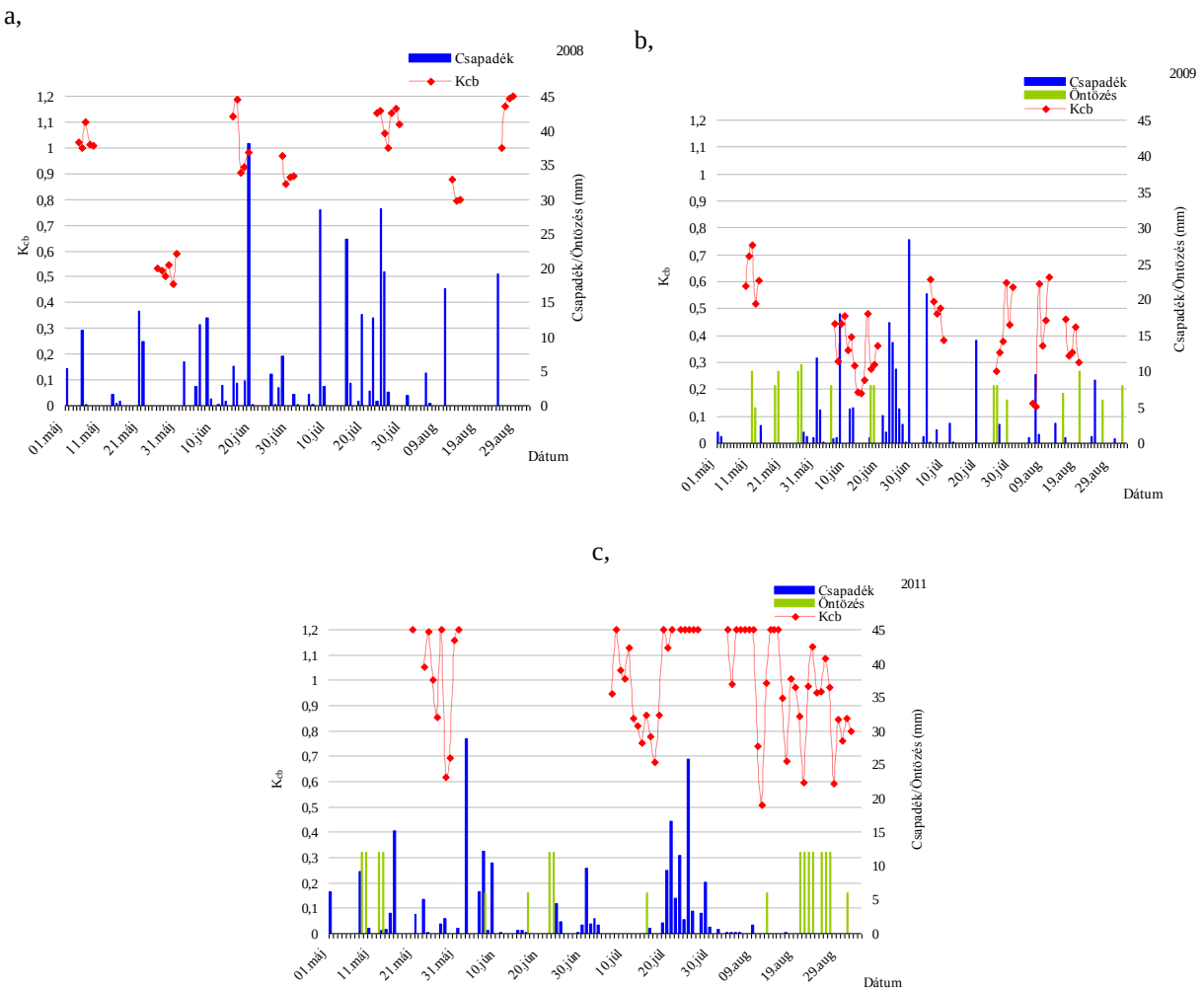
2011 májusában és augusztusban hasonló indexeket láttunk (rendre 0,61–1,20 és 0,50–1,20), mint a 2008-as esztendőben tapasztaltak. 2011 július második dekádjában a szárazság miatt a fák csökkentett párologtatási ütemét a 0,60–0,70-es K_{cb} értékek tükrözik (22.c ábra).

2009-ben a teljes szezonra jellemző légköri szárazság és meleg időszak a haszonnövény transzspirációs koefficiensek értékeiben is megmutatkoztak. Ezen esztendőre májusban, a gyümölcsérési időszakban voltak a legmagasabb K_{cb} értékek: 0,51–0,73. A május utolsó napjaiban bekövetkező gyümölcsszedés után, júniusban a fák párologtatási aránya jelentősen visszaesik, a három vizsgált kísérleti évben legalacsonyabb K_{cb} értékeket kaptuk (0,18–0,44), a potenciális párolgásnak kevesebb, mint a fele a növények általi vízfogyasztás, a másik hányad a

sorközi párolgás, és talajevaporáció eredménye. Július és augusztusban a mutatók értéke kissé nőtt (0,26–0,60; 0,19–0,59), de a májusi csúcsot nem éri el (22.b ábra).

Ahhoz, hogy tisztább és összehasonlíthatóbb képet kapjunk a haszonnövény transzspirációs koefficiens jellemző menetéről intenzív körülmények között nevelt hazai cseresznyeültetvényben, megadtuk dekádos és havi bontásban a három éves időszak átlagos értékeit (23.a és b ábra).

Ezek szerint 0,90 feletti értékek május és július első tíz napjára jellemzőek. Ez a ’Rita’ cseresznyefajta fenofázisával összevetve a májusi gyümölcsnövekedésnek, valamint a július eleji időszakra tehető másodlagos hajtásnövekedésnek és a termőrügyképződésnek a csúcsidőszaka. Az utóbbi már június végén megkezdődik, ezt bizonyítja a hatodik hó utolsó dekádjára tehető 0,9-es érték is (23.a ábra). Az augusztus 20-a utáni magas értékek az ültetvény fenntartó szintű öntözési igényére utalnak (a meteorológiai viszonyok figyelembevételével).

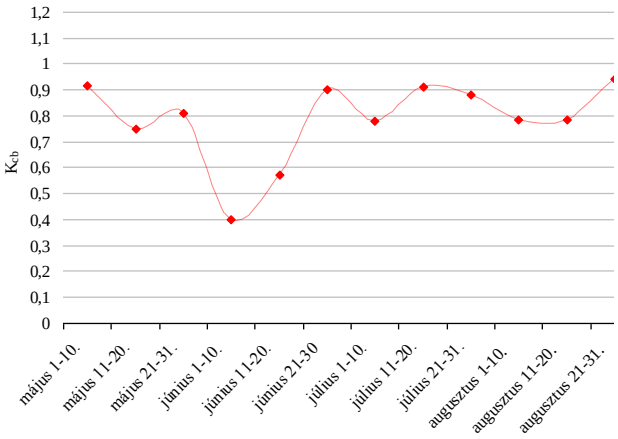


22. ábra A vizsgálati időszakok napi csapadék és öntözővíz mennyisége valamint a számított napi haszonnövény transzspirációs koefficiens (K_{cb}) értékei 2008-ra (a), 2009-re (b), 2011-re (c)

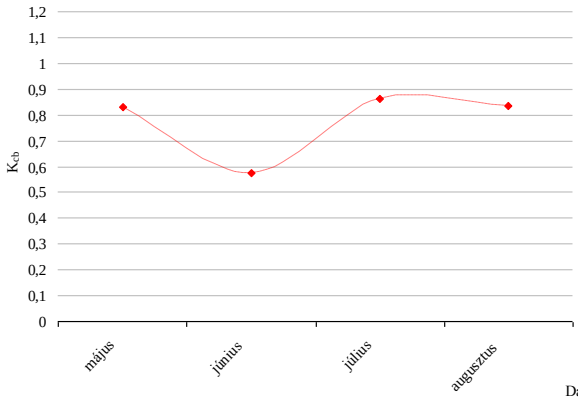
A négy hónap alatt a legkisebb értékeket június első két dekádjában tapasztaltuk (0,39; 0,57). Ez nem véletlen, hiszen a ’Rita’– mint korai, május végi érésű – cseresznyefajta, a gyümölcs szedése után már nem használ vizet a gyümölcs növekedéséhez, az elsődleges hajtásnövekedési időszak lezárul, párologtatása egyértelműen visszaesik.

Ha rátekintünk egy Észak-Amerikában működő hálózat, cseresznyetermesztőknek szóló haszonnövény transzspirációs koefficiens görbéjére (24. ábra), mely tíz napos bontásban adja meg az átlagos menetet, láthatjuk, hogy az általunk tapasztalt júniusi visszaeséstől eltekintve, hasonló középszezonbeli tendencia adódik. Az értékek mérlegelésekor szem előtt kell tartanunk, hogy az ábrán feltüntetett 0,58–1,04 értékek teljes növényi párologtatási koefficiensek (K_c), míg az általunk számolt érték csupán a cseresznyefák transzspirációs (K_{cb}) részét foglalják magukba, ezért mi nyilvánvalóan kisebb értékeket kaptunk (0,39–0,94). A júniusi visszaesés pedig valószínűleg a korai érésű ’Rita’ fajtáknak tudható be, míg a 24. ábrán megadott görbe általánosan vonatkozik cseresznyére. Az ábrán jelöltük, hogy mely időszak alatt történtek hazai méréseink.

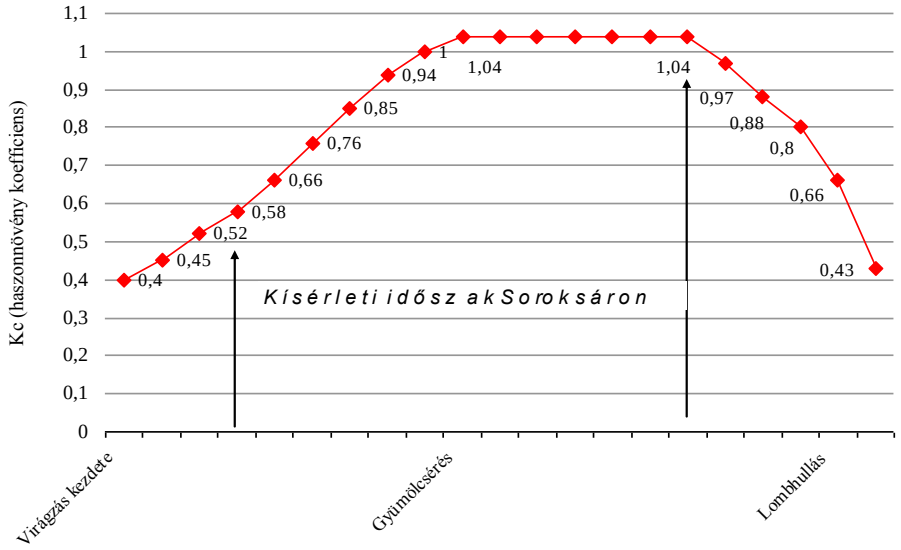
a,



b,



23. ábra Három éves méréssor alapján számított K_{cb} görbe (középszezonbeli menete) dekádos (a) és havi (b) bontásban *(Megjegyzés: 2011 június hiányzik az adatsorból)*



24. ábra Észak-Amerika Kelet-Cascade területén cseresznyére kalkulált haszonnövény koefficiens (K_c) változása a vegetációs időszakban (saját szerkesztés - The Pacific Northwest Cooperative Agricultural Weather Network számításai alapján: http://www.usbr.gov/pn/agrimet/cropcurves/CHRWcc.html)

5. 4. Mért és modellezett párologtatás

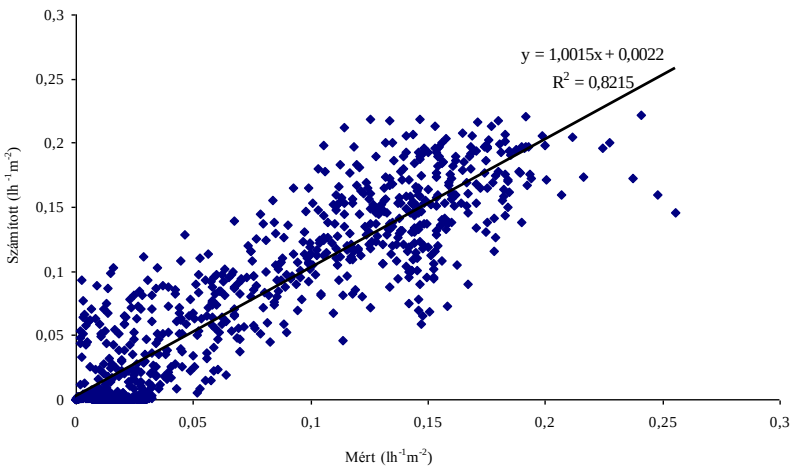
Célunk volt, hogy a cseresznyefák transzspirációját (ezen esetben tehát a nedváram mérővel azonosított értékek, ebben a fejezetben a továbbiakban: *mért transzspiráció*) összevessük, a 4. 4. 2. alfejezetben ismertetett SW modell növényi párologtatási részének kimenő értékeivel. A párologtatás vizsgálatakor, a modellek és a mérések összehasonlítása esetén a nedváram mérővel mért értékeket gyakran azonosítják a növényi transzspirációval.

5. 4. 1. A mérések és a számítások összevetése

Az általunk használt modell bemenő adatai: az aktuális, mért meteorológiai paraméterek (hőmérséklet, telítési hiány, szélsebesség, globálsugárzás, csapadékmennyiség), a mért talajnedvességi értékek, a fákra jellemző mért adatok: levélfelületi index (16. melléklet – Steiner és Hrotkó (2012) adatai alapján), a koronaborítottság aránya adott tenyészterületen (frakció – 5. melléklet, Gyeviki (2011) adatai alapján), a talaj és légkörfizikai állandók (5. melléklet).

2008-ban és 2009-ben 15 perces meteorológiai mérési adatsorunk volt. 2011-ben órás értékek álltak rendelkezésünkre. Ennek megfelelően a két előbbi esztendőben a transzspiráció számítása negyed óránként, 2011-ben pedig hatvan perces futtatásként történt, majd az ellenőrzés végett a napi kalkulációt is elvégeztük mindhárom kísérleti évre.

A 25. ábra alapján kiderül, hogy a 45 mérési nap órás léptékű, szűrt adatsorának összevetésekor a mért és számított értékek jó egyezést mutattak. A statisztikai elemzés (18. táblázat) is arról ad tanúbizonyságot, hogy a mért és számított értékek között nincs szignifikáns különbség.



25. ábra A számított és a mért transzspiráció regressziós egyenese

18. táblázat A páros t-próba eredményei, a vizsgált változó: transzspiráció, nullhipotézis: várható értékek megegyeznek

Variancia	Std. hiba	t	df	Sig.
-0,0041	0,0032	-1,288	2101,51	0,198

A modell által számolt párologtatási értékeket összevetettük a Soroksáron, cseresznyefákon mért transzspirációval. Az eredmények ismertetéséhez minden esztendőből kiválasztottunk két darab három napos intervallumot úgy, hogy lehetőség szerint minden időjárási körülmény hatását elemezhessük. Hőség (2011. július 7., 8., 9.), nyári (2008. június 28–30.), esős (2008. június 15.), borult (2008. június 30.), szeles (2008. június 28.) napokat is bemutatunk, és megnézzük, hogy egyes esetekben, hogyan viselkedett a modell. A bemutatott napokon mért időjárási adatokat a 18. táblázatban tüntettük fel.

Egy ültetvény sugárzási egyenlege meghatározza a mikroklíma elemeit, így az állomány párologtatásának mértékét is. Miután csak a beérkező globálsugárzási adatok álltak rendelkezésünkre, megnéztük, hogy a globálsugárzásból (mért érték) mekkora az a mennyiség, amely a kalkuláció alapján a növényi párologtatásra fordítódhat. Természetesen itt szem előtt tartottuk azt, hogy a növényállományokra eső sugárzást sokféle tényező módosítja, hisz a sugárzási egyenleg bonyolult kölcsönhatások eredményeképpen áll elő. Így a globálsugárzásnak vannak veszteségi tagjai; befolyásolja a növény habitusa, az ültetés sűrűsége (térállás), a talajtulajdonságok, a talajfelszín és a növényzet általi abszorpció, reflexió, transzmisszió.

A kalkulált értékeket 2008-ban és 2009-ben a Korponay alanyú egyedekről származó görbével, 2011-ből a GiSelA 6. alanyon álló egyedekről származó görbével vetettük össze.

Megjegyezzük, hogy 25., 26., 28., 29., 30., 31.b, ábrákon, ahol a globálsugárzási és látens hőáram ($\lambda \cdot E$) értékeket mutatjuk be, a sugárzási értékek egységnyi területre vett értéke miatt a látens hőáramot nem redukáltuk a koronaborítottsági frakcióval, tehát $\lambda \cdot E$ is egységnyi tenyészterületre értendő.

19. táblázat A mért meteorológiai értékek a bemutatott napokon

Dátum	T_{max} (°C)	T_k (°C)	VPD (mbar)	f (%)	S ($W \cdot m^{-2}$)	WS ($m \cdot s^{-1}$)	P (mm)	Ö (mm)
2008. június 15.	17,4	12,6	0,9	85	1,2	155	3,2	0
2008. június 16.	21,2	15,2	1,6	73	1,4	262	0	0
2008. június 17.	24,1	17,2	1,4	78	1,6	254	3,6	0
2008. június 28.	25,3	21,9	1,9	79	343	2,7	0	0
2008. június 29.	28,3	23,0	1,8	71	317	1,6	0	0
2008. június 30.	26,9	20,9	0,7	88	162	1,3	0	0
2009. május 11.	27,7	18,5	7,6	64	197	2,0	0	10
2009. május 12.	20,18	15,9	6,3	65	166	3,0	0	5
2009. május 13.	13,2	10,5	5,0	60	87	2,1	0	0
2009. aug. 6.	25,3	20,7	4,6	80	119	2,0	1,2	0
2009. aug. 7.	27,3	21,3	9,3	63	200	2,6	0	0
2009. aug. 8.	26,3	20,1	10,1	57	199	2,1	0	0
2011. május 24.	28,0	19,4	6,5	71	289	0,9	0,2	0
2011. május 25.	24,4	17,9	7,17	65	268	1,9	0	0
2011. május 26.	24,4	16,2	8,4	54	337	1,6	0	0
2011. július 7.	31,4	20,9	8,9	64	320	1,1	0	0
2011. július 8.	32,1	23,3	10,3	64	313	2,0	0	0
2011. július 9.	34,2	24,5	11,0	64	328	1,3	0	0

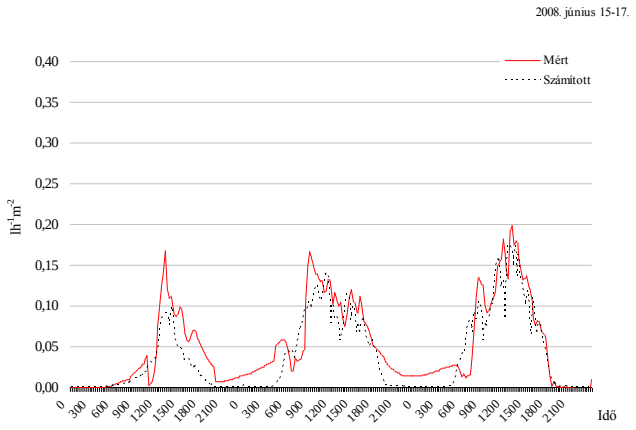
Táblázatban használt jelölések: **T_{max}**–napi maximum hőmérséklet, **T_k**–napi középhőmérséklet, **VPD**–telítési hiány (napi átlag), **f**–relatív nedvesség (napi átlag), **S**–globálsugárzás (napi átlag), **WS**–szélsebesség 2 m-en (napi átlag), **P**–csapadékmennyiség (napi összeg), **Ö**– öntözés (napi összeg)

2008 június 15-én 3,2 mm, az előző napon pedig 5,2 mm eső esett a cseresznyetábla területén. Jobbára felhős, borult időjárás uralkodott, gyenge széllel, 85%-os relatív nedvességtartalommal – mindez a párologtatásnak sem kedvezett. A modell ezt pontosan megmutatta, és az irodalmakkal összhangban az esős napon ill. csapadékos napot követően látványosan alulbecsülte a mért

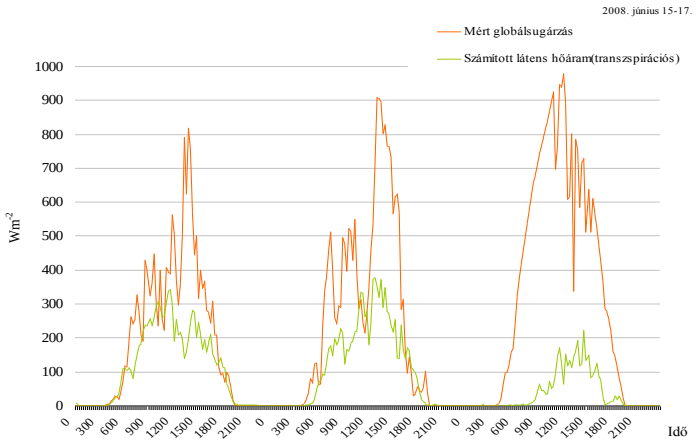
értékeket. A reggeli és a délutáni mért csúcsokat nem rajzolta ki a számítási eredményből készített görbe (25.a ábra). Június 16-án és 17-én – kevésbé felhős ég mellett – az előző naphoz képest minimálisan megnövekedett a telítési hiány. A kalkuláció jobb egyezést ad, mint a borult napon, bár a reggeli csúcsokat nem jelzi. A mérésben mutatkozó napi ingadozások a számított görbe mentén is jól kivehetőek. Meg kell jegyeznünk, hogy a modell, naplemente után – minimális (zérus) globálsugárzásnál – alig érzékelhető éjszakai transzspirációt ad csupán, míg a méréseink nagyobb éjszakai vízvesztésről tanúskodnak.

Az első nap a beérkező globálsugárzás 75%-a; a második vizsgált napon 62%-a; míg június 17-én csupán 11%-a fordítódott a számítások szerint a növényi transzspirációra (25.b ábra). A többi rész a sorközi evaporációra, a levegő melegítésére (szenzibilis hő), a talaj felmelegítésére, valamint a fotoszintézisre használódik.

a,



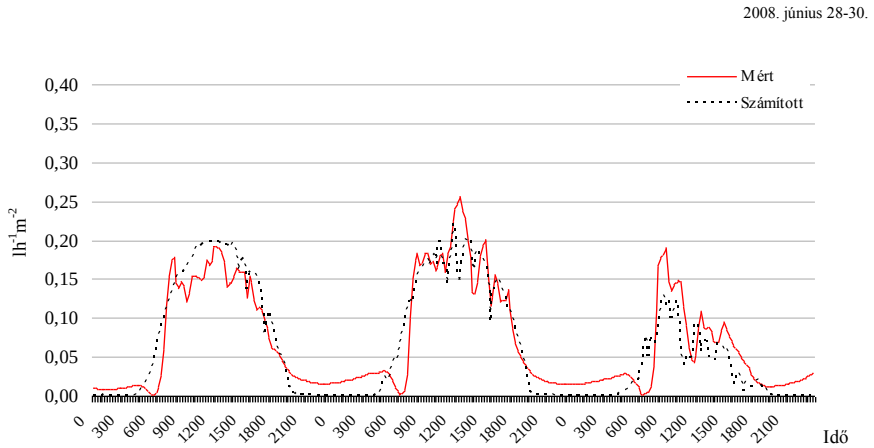
b,



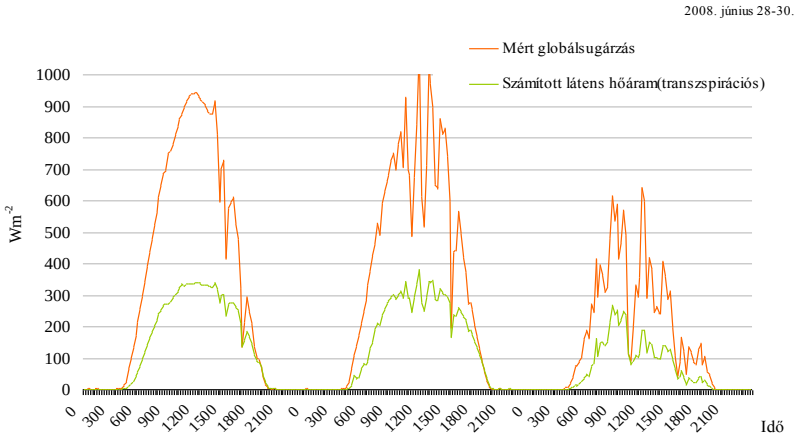
25. ábra A mért és a számított transzspirációs értékek (a), valamint a globálsugárzás és a kalkulált látens hőáram menetei 2008. június 15–17 között (b)

2008. június 28-a szeles, derült, nyári nap volt, az előző 24 órában hullott 7,2 mm csapadék száradását és párologtatását elősegítve (26.a ábra). A modell ezen feltételek között zavartalan párologtatást jelez (amplitúdómentes görbe). 2008. június 29-én a reggeli órák felülbecslése után

szinte tökéletesen követi a mért értékeket. A hatodik hó utolsó napján a borult égbolt, gyenge szél mellett, nagy nedvességtartalmú légtömegben a modell – ahogy június 15-i felhős égnél már láthattuk – ismét alulbecsli a fák vízfelvételét. Alig érzékelhető éjszakai transzspirációt ad csupán, míg a méréseink nagyobb éjszakai vízvesztésről tanúskodnak mindegyik napon. A növényi párologtatásra fordítható globálsugárzási rész ezen a napon ~31%-os (26.b ábra).



a,

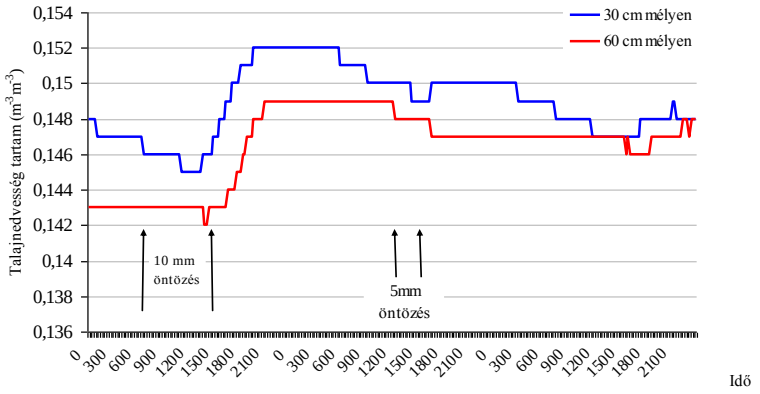


b,

26. ábra A mért és a számított transzspirációs értékek (a), valamint a globálsugárzás és a kalkulált látens hőáram menetei 2008. június 28–30 között (b)

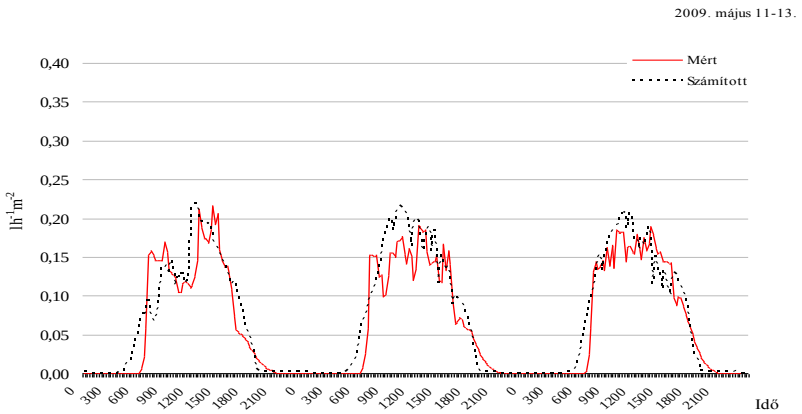
2009. május 11–13. között, három nap leforgása alatt nagyon változékony időt tapasztaltunk. 11-én még 27,7 °C-on tetőzött a napi maximum hőmérséklet, 13-án ez már csupán 13,2 °C volt. Természetes csapadék nem hullott a három napban, azonban a 11-én és 12-én kijuttatott öntözővíz mennyiség kissé mérsékelte a telítési hiányt, ill. ennek a jelenségnek a szeles idő is kedvezett. 11-én még jó egyezést mutat a modell, bár 12-én és 13-án a globálsugárzás átlagos értéke 200 $W \cdot m^{-2}$ alá esett, a 11-én és 12-én történt csepegtető öntözésre bekövetkező talajnedvesség tartalom emelkedést a modell eredmények is jól tükrözik (27. ábra), a becslés mértéke meglehetősen pontos (28.a ábra). Az éjjeli vízveszteséget nem tudta visszaadni a

számításunk. A transzspirációra a teljes beérkező sugárzás ~57%-a fordítódott a három vizsgált napon (28.b ábra).

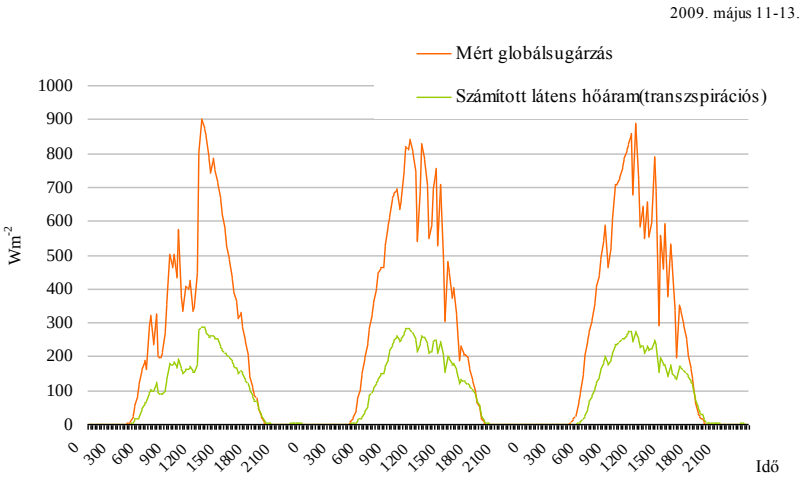


27. ábra A mért talajnedvességi értékek 30 és 60 cm-es mélységben a tenyészterületen 2009. május 11–13 között

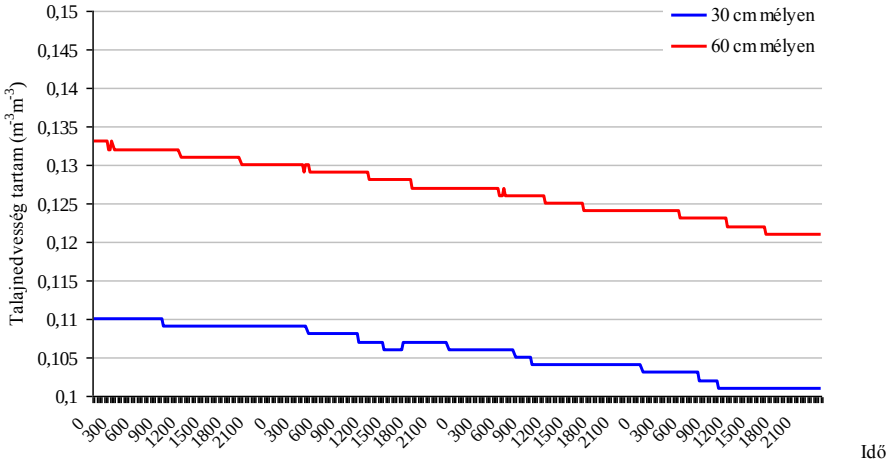
a,



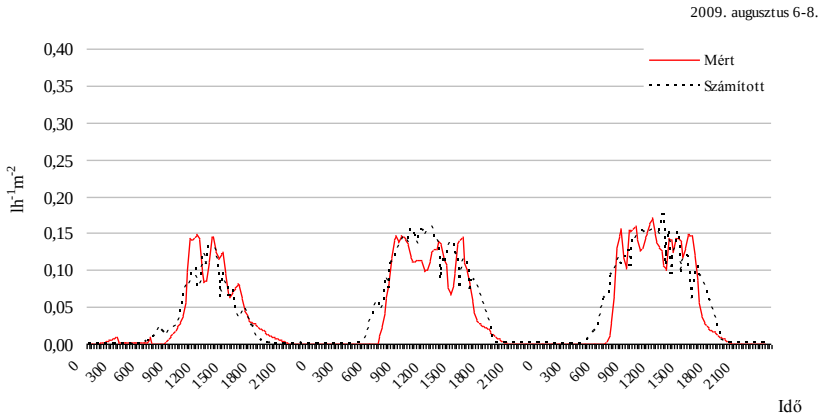
b,



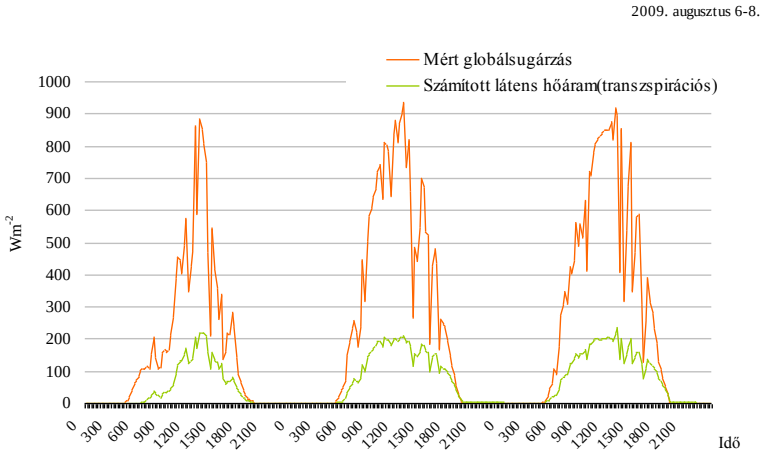
28. ábra A mért és a számított transzspirációs értékek (a), valamint a globálsugárzás és a kalkulált látens hőáram menetei 2009. május 11–13 között (b)



28. ábra A mért talajnedvességi értékek 30 és 60 cm-es mélységben a tenyészterületen 2009. augusztus 5-8 között



a,



b,

29. ábra A mért és a számított transzspirációs értékek (a), valamint a globálsugárzás és a kalkulált látens hőáram menetei 2009. augusztus 6–8 között (b)

2009. augusztus 6-tól 9-ig a párologtatásnak kedvező napok voltak, ami az időjárási feltételeket illeti. Szeles, nyári napokat regisztráltunk napról napra fokozódó telítési hiánnyal. Az első napon a mért értékek enyhén magasabban futnak (29.a ábra), mint a modellezett, ez feltehetően az

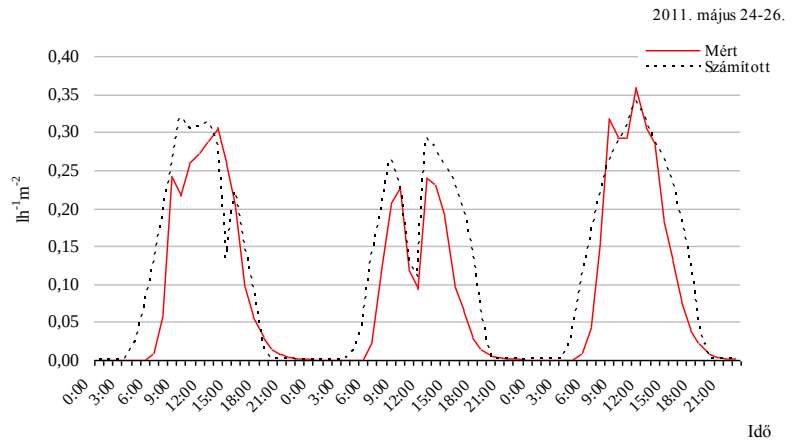
alacsony globálsugárzásnak tudható be. Meg kell jegyeznünk, hogy augusztus 5-án szitáló eső formájában 9,6 mm csapadék hullott az ültetvényre. Azonban a talajnedvességi adatokon jól látszik (28. ábra), hogy az egész nap elhúzódó, szinte porlasztott vízmennyiség a talajt nem nedvesíti be. Vagyis még a jelentősnek tűnő, ám ilyen diszpergált minőségben hulló csapadék csupán a lombkoronák nedvesítésére volt elegendő a maximálisan kifejlett levélfelület mellett.

A augusztus 7-én érzékelhető, hogy míg a délelőtti órák megugrott globálsugárzása, a transzspirációt elviekben növelné, a sztómák feltehetően a vízveszteség elkerülése végett szűkülnek, visszaesést okozva a mért párologtatási menetben. A látens hőáram 31–35%-át biztosíthatta a globálsugárzás ezen napokban (29.b ábra).

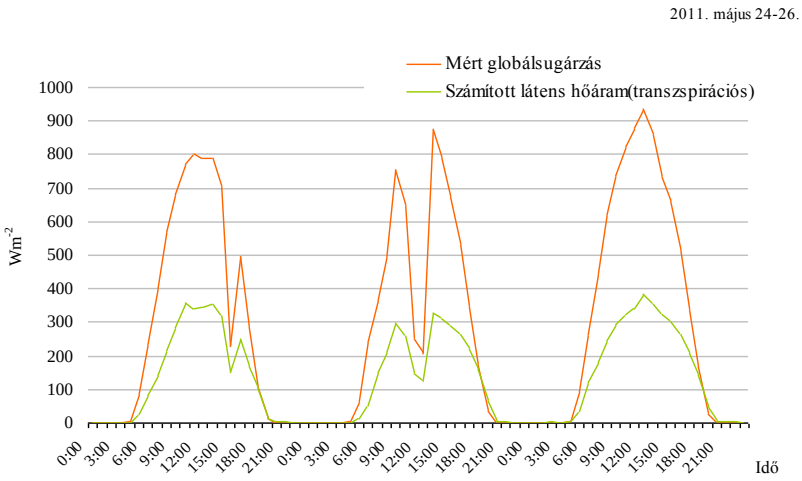
2011-ben órás bontásban jelenítettük meg az összehasonlításkor az értékeket.

2011 május végén a telítési hiány és a magas globálsugárzási összegek is kedveztek az intenzív párologtatásnak, és az éppen szüret előtti időszakban a fák által tanúsított fokozott vízigény is tapasztalható ezekben a napokban. Ez mind a modellel, mind pedig a mért értékekkel követhető (30.a ábra). Május 24-én reggel – lényeges időjárás változást nem okozó – gyenge hidegfront vonult át a Kárpát-medence felett, ez néhány fokkal visszavetette a nappali felmelegedést 25-én és 26-án. Számottevő felhőzetnövekedést lehetett tapasztalni, de csapadékra a fronthoz kapcsolódóan nem kellett számítani. Május 25-én, a felhősödés, miatt visszaesett transzspiráció jól tükröződik a mérésben és a számításban is (30.a ábra).

Ezen mintanapokon tapasztalható leginkább, hogy a reggeli és a délutáni órákban a mért transzspiráció felfutása és lecsengése sokkal gyorsabb, meredekebb vonalat követ, mint a modellezett értékek. A látens hőáramra a globálsugárzás ~55%-a használódott fel a május végi napokon (30.b ábra).



a,



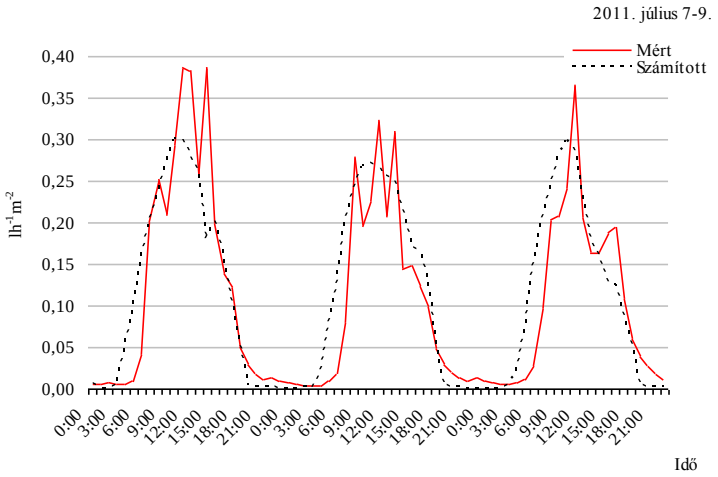
b,

30. ábra A mért és a számított transzspirációs értékek (a), és a globálsugárzás és kalkulált látens hőáram menetei 2011. május 24–26 között (b)

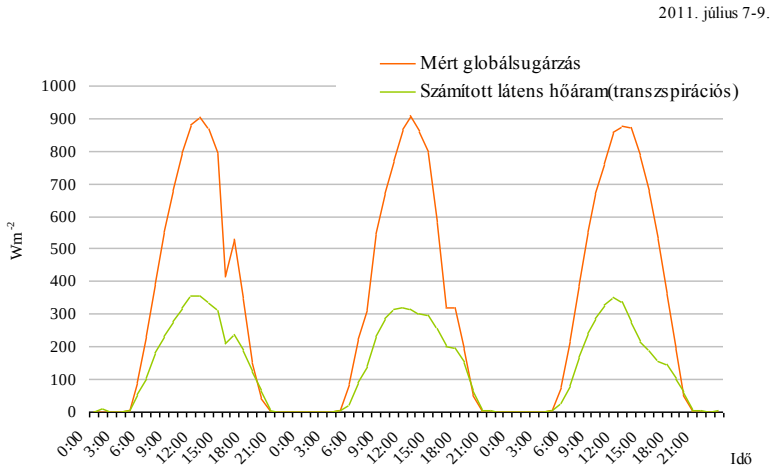
2011. július 7-től 9-ig tartó időszak markáns hőhullámot hozott országszerte, beleértve kísérleti területünket is. Döntően anticiklonális hatások alakították időjárásunkat, dél felől meleg, száraz levegő áramlott a Kárpát-medencébe.

A cseresznyésben a maximum hőmérséklet mindhárom nap meghaladta a 30 °C-ot, az átlagos globásugárzás 320 W·m^{-2} körül mozgott, néhány délutáni cumulustól eltekintve szinte felhőtlen volt az égbolt ezeken a kiválasztott napokon.

A fák transzspirációja rendkívül intenzív volt, a modell is magas értékeket adott, mégis a hőségnapokon alulbecsülte a mért értékeket (31.a ábra). A számítások szerint a hőségnapokon a globálsugárzásból ~50% a fák párologtatásához szükséges energiát biztosította (31.b ábra).



a,



b,

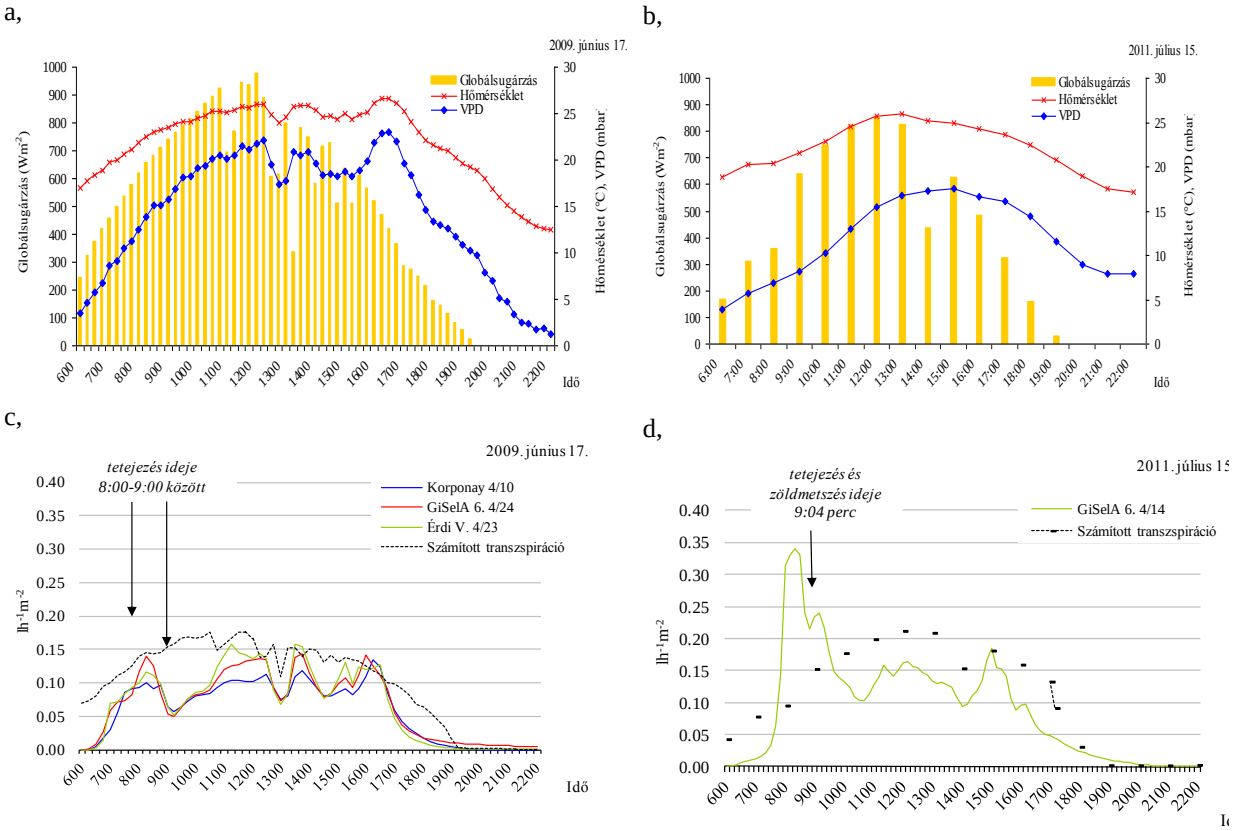
31. ábra A mért és a számított transzspirációs értékek (a), és a globálsugárzás és kalkulált látens hőáram menetei 2011. július 7–9 között (b)

5. 4. 2. Korona tetejezése, zöldmetszés

A 2009. június 17-én és 2011. július 15-én a korona tetejezését végezték. Ez 2009-ben azt jelentette, hogy a tengelyt 3,5 méteres magasságig eltávolították, letetejezték a cseresznyefákat és a túlságosan megerősödött ágakat eltávolították (Magyar 2011). A levélfelület így kb. 12%-kal csökkent. Ez a beavatkozás a tapasztalatok szerint csak rövid időre jelentkezett a nedváramlásban, később azonban nem okozott jelentős vízfogyasztásbeli visszaesést. A két említett napon a kontrollfák hiányában a korábban már tesztelt, és a nedváramlási ütemet jó egyezéssel visszaadó SW modell transzpirációs eredményét használtuk kontrollként. A 32.c ábrán látjuk, hogy 2009-ben a korona tetejezése napján, a reggeli kezdeti magas értékek után, a 8:00 és 9:00 óra között történő metszésnek köszönhetően a nedváramlás kb. tíz perces késéssel visszaesik körülbelül negyed óra hosszan, majd ismét növekvő tendenciát mutat. Az aznapi és az előző nap kijuttatott 8 mm-nyi csepegtető vízpótlás kedvezett a fák intenzív vízfelvételének. A modellezett transzspirációs értékkel összevetve kitűnően látszik a 9:00-11:00 óra között történő

visszazuhanás a mért transzspirációban. A délutáni felhősödés (globálsugárzás visszaesése: 32.a ábra) érzékelhető, mind a nedváramlásban, mind pedig a számított értékben.

2011. július 15-én a zöldmetszést egy fán tudtuk követni, ezen a fán pontosan 9:04 perckor bekövetkező „csonkítás” érdekesen tükröződik a nedváramlásban: 9:15-kor van egy kicsi visszaesés, majd kis kiszögellés után apadás figyelhető meg a mért nedváramlásban (32.d ábra). Az aznap estére előrejelzett gyenge hidegfront felvonuló felhőzete (globálsugárzás visszaesése-32.b ábra) délutánra megérkezett, és kismértékű mondhatni elenyésző (0,6 mm) csapadékhullással járt. Ennek ellenére délután 15:00 tájban egy másodlagos csúcs rajzolódik ki a cseresznyefa nedváramlásában. Az, hogy a metszés csak pillanatnyi nedváramlásbeli apadást okozott feltehetően annak köszönhető, hogy az addig alacsonyabb ágszinteken – árnyékban, nedvesebb mikroklímában lévő kevésbé intenzíven párolgató levelek, szellősebb napsütésnek kitett részre kerültek, és ugyanúgy átvették, illetve pótolták a felsőbb lombkoronaszintek erős párologtató szerepét.



32. ábra Az időjárási tényezők alakulása a korona tetejezésének napján 2009. június 17-én (a) és 2011. július 15-én (b). A korona tetejezésének nedváramlásra gyakorolt hatása és a kalkulált transzspirációs görbe menete 2009. június 17-én (c) és 2011. július 15-én (d)

5. 4. 3. Érzékenységi vizsgálat

A modellek becslésének instabilitása a bemenő adatok és a parametrizációk bizonytalanságából származik elsősorban. A modelleredmények pontosítása és a bemenő adatok bizonytalanságának csökkentése érdekében gyakorta érzékenységi vizsgálatokat végeznek.

Esetünkben a transzspiráció becslését leginkább a növényi (pl. a levélfelületi index, *LAI*) és az ellenállás paraméterek – ez utóbbinál különösen a növények sztóma ellenállása – pontosítása javíthatná.

Mivel a pontos levélfelületi indexet nem mindig ismerjük, megnéztük, hogy annak változtatásával milyen mértékben csökkennek vagy nőnek a kimeneti (transzspirációs) értékek. Kíváncsiak voltunk arra is, hogy a minimális sztómaellenállás (r_{stmin}) – amelyet 69 $s \cdot m^{-1}$-nek (Shuttleworth 1993) vettünk a számítások során – módosítása milyen tendenciával változtatja az eredményeket.

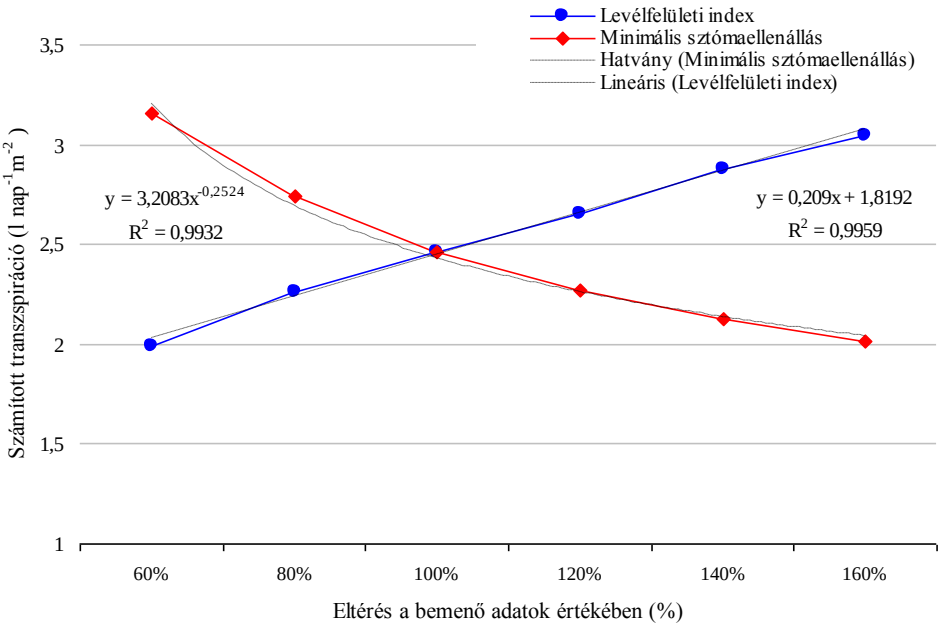
Az érzékenységi vizsgálatot 2009 júliusi napokra futtattuk (Korponay alanyú cseresznyefák transzspirációs görbéivel összevetve), majd az eredményeket átlagoltuk. A Korponay középerős növekedésű alanyok *LAI*-e (2009 júniusi korona tetejezése után) 2009 júliusában 2,3 volt (Gyeviki 2011). Ezt az értéket vettük a tényleges értéknek, vagyis 100%-nak. A minimális sztómavezetésnél a 69 $s \cdot m^{-1}$ volt a 100%-os bemeneti érték. A paramétereket a tényleges érték 60%-a és 160%-a között változtattuk 20%-os lépésenként.

Az eredmények egy konkrét hónap mérési napjainak átlagára, az azt jellemző időjárási helyzetre vonatkoznak (modellfuttatások), mégis jól jellemzik a transzspiráció becslésének függését a növényi állapotoktól a meteorológiai modellben.

Az eredmények szerint (33. ábra) a *LAI* változtatásával pozitív lineáris kapcsolatot mutat a kalkulált transzspirációs érték. A független t-próba azt mutatja, hogy míg a bemenő *LAI* adatok 20%-os növelése vagy csökkentése nem okoz szignifikáns eltérést a végeredményben, a 40%-os pozitív vagy negatív változtatás, ill. a 60%-os kiterjesztés viszont már jelentős differenciát eredményezhet. A korona tetejezése, ill. a zöldmetszés során a lombkorona 12%-os vesztesége tehát nem okozhat a transzspiráció számításában jelentős változást.

A minimális sztómaellenállás változtatásával a kalkulált növényi párologtatás között negatív, hatványfüggvénnyel leírható kapcsolat van. A *LAI*-hoz hasonlóan, itt is azt tapasztaltuk, hogy a 20%-os változás jelentős különbséget nem eredményezett, a 40%-os variancia viszont igen. Gyeviki (2011) 2010 júniusban és augusztusban – az általunk is vizsgált kísérleti cseresznyetáblán – végzett mérései szerint a legkisebb sztómaellenállás 12:00–14:00 óra között következik be. A különböző alanyú cseresznyefákon 66–100 $s \cdot m^{-1}$ közötti minimális r_{st} értékekről ír. A Korponay alanyú fáknál ez 76 $s \cdot m^{-1}$ volt, ami a 69 $s \cdot m^{-1}$ -hez képest ~10%-os

többlet, ez pedig még az érzékenységi vizsgálat szerint nem okoz jelentős visszaesést a kalkulált transzspirációban.



33. ábra A modell levélfelületi indexre és minimális sztómaellenállásra való érzékenysége

6. EREDMÉNYEK MEGVITATÁSA, KÖVETKEZTETÉSEK

6. 1. Cseresznyefák egyedi vízfogyasztása

A gyümölcstermesztő gazdáknak a művelési és öntözési mód megválasztásához és ütemezéséhez értékes információt jelenthet az intenzív ültetvényben nevelt fák egyedszintű és ültetvényszintű vízfogyasztásának becslése.

Munkánk során elsődlegesen a 4,0x2,0-es térállású, karcsúorsó koronaformával nevelt korai érésű, intenzív cseresznyeültetvényben, hazai körülmények között, nedváram mérések során tapasztalt egyedi, továbbá egységnyi területre vonatkoztatott vízfogyasztási értékek vizsgálatára, bemutatására törekedtünk.

A korai érésű 'Rita' fajtájú cseresznyefákon elvégzett méréseink alapján a négy éves fák átlagos egyedszintű napi vízfelvétele 24,2; 23,6; 22,8; 10,9 liter rendre májustól augusztusig havi bontásban 2008-ban. Egy évvel később ezen értékek átlagos alakulása: 25,0; 15,6; 23,0; 18,5 liter rendre májustól augusztusig, havonta.

2010 szélsőségesen csapadékos évében csak júliusból van adatunk, amikor a hat éves cseresznyefák egyedi vízfelvétele 31 és 50 liter között mozgott a következő évi termőgally képződés és a korlátlannak mondható vízelérhetőség mellett.

2011-ben az átlagos egyedszintű vízfelvétel 55,7, n.a.; 48,3; 44,8 liter rendre májustól augusztusig, havonta.

A fent említett értékek havi átlagok, a napi egyedi vízfelvételeket az 6., 9., 11. mellékletben követhetjük nyomon.

Eredményeink nagyságrendileg megegyeznek González–Altozano et al. (2008) öt éves a mi kísérleti táblánkkal azonos intenzitású – azaz 4 méteres sor- és 2 méteres tőtáv – őszibarack állományban (*Prunus persica* Batsch cv Préssec de l'Escola, Rovira alanyon) mért értékeivel. Ők a vízhiányos területen 9–20 $l \cdot nap^{-1} \cdot fa^{-1}$, az öntözött részen 29–49 $l \cdot nap^{-1} \cdot fa^{-1}$ vízfogyasztást regisztráltak.

Az általunk is használt mérőeszköz (SHB rendszerű) segítségével Gutiérrez és Meinzer (1994) 1 éves (*LAI* = 1,4) kávécserjéken (*Coffea robusta*) 1,0 $l \cdot nap^{-1} \cdot egyed^{-1}$ vízfogyasztást regisztrált. Meg kell jegyeznünk, hogy ez a kísérlet fiatal konténeres cserjéken, azaz alapvetően más habitású növényegyedeken folyt, többek között ezért van egy nagyságrendbeli eltérés az általa és az általunk tapasztalt napi vízfelvételben.

A cseresznyefákon végzett vizsgálatok szerint összességében elmondhatjuk, hogy a hónapok tekintetében az összes mintát vizsgálva a vártnak megfelelően jelentős különbségek adódtak,

hiszen a fák zöldtömegének gyarapodása, a gyümölcsnövekedés, a termőgallyak, a levélfelület növekedése is hatással van a vízfelvétel ütemére.

Alapvetően az érési szakaszban, májusban a környezeti körülményektől függetlenül is magas az egyedi vízfogyasztás mértéke. A nyár utolsó két havában viszont többnyire az időjárásnak van a vízfelvételt ill. a párologtatást befolyásoló hatása. A gyümölcs szüretelése (május utolsó napjai) után a felvett vízmennyiség nagy része a következő évi termőgally képződést elősegítő zöldtömeg fenntartására szolgál. A vízfogyasztás mértéke a gyümölcsnevelési időszak elmúltával fokozatosan visszaesik, a fogyasztás mértéke többnyire júniusban a legkisebb.

Feltételezzük, hogy a gyümölcsnövekedés és érés szakaszában (ötödik hónap) tapasztalható megnövekedett vízigény kiszolgálásában, a talajban raktározott téli csapadékmennyiségének jelentős szerepe van. A júniusi minimális egyedszintű vízfogyasztást részben a szüret utáni „fenntartó" időszak volta, kisebb részben a párolgás számára kedvezőtlen időjárás okozhatta ez egyes esztendőkben.

6. 2. Cseresznyefák ültetvényszintű vízfogyasztása

Az öntözővíz kijuttatása és a klimatikus viszonyok figyelembevétele miatt fontos az egységnyi területre kalkulált fogyasztás becslése, melyet munkánk során a mért nedváramlási adatokra támaszkodva végeztünk el.

Napi vízfogyasztás

Minden vizsgálati fázisban kiszámítottuk a napi szintű növényi párologtatás értékét egységnyi tenyészterületre, teljes növényborítottságot feltételezve. A négy kísérleti év mindegyikére elmondható, hogy a párologtatás számára legkedvezőbb napokon a maximális értékek az 5,1–6,5 $mm \cdot nap^{-1} \cdot m^{-2}$-t is elérték, míg a borult, kis telítési hiányú napokon 0,5–1,0 mm-re tehető ez az értéke (6., 9., 11. melléklet). Átlagosan a négy és öt éves cseresznyefákon mért nedváramlásra alapozva az érték 3 $mm \cdot nap^{-1} \cdot m^{-2}$ volt. Hét éves korban a fák tetejezés előtti átlagosan 4,8-as *LAI* értéke mellett ez a mennyiség legtöbbször meghaladta a 4 mm-t, naponta, négyzetméterenként.

Becsült adataink jó egyezést mutatnak a szakirodalomban González–Altozano et al. (2008) által feltüntetett értékekkel. Ők öt éves 4,0x2,0 méteres térállású őszibarack (*Prunus persica*) állományban 3–5 $mm \cdot nap^{-1} \cdot m^{-2}$ vízfelvételről számolnak be átlagosan a nyári időszak egészére.

A magyar irodalom szerint, hazai körülmények között a jó vízellátottságú körteültetvény (*Pyrus communis*) átlagos napi vízfelhasználása 3–5 $mm \cdot m^{-2}$, de meleg napokon a 7 $mm \cdot m^{-2}$-t is elérheti (Papp 2000).

Értékeink Backes és Blanke (2007) eredményeivel is hasonlóságot mutatnak. Nyolc darab négy éves, M9-es alanyra oltott ’Braeburn’ almafán (*LAI* = 4,9 m^2) mérték a nedváramot a szár-hőegyensúly módszerrel. Az egységnyi tenyészterületre vonatkoztatva 0,4–1,0 $mm \cdot nap^{-1} \cdot m^{-2}$ vízfelhasználást kalkuláltak. Kiemeljük azt a fontos tényt, hogy ezen adatokat rövid idejű, expedíciós jellegű mérés során, Németországban, a párolgást nem kimondottan segítő időjárási körülmények között jegyezték, vagyis azokon a borult, kis telítési hiányú napokon, amikor mi is ilyen értéket becsültünk.

Eredményeink megerősítik Burak és Senih (2010) adatait. Ők ’0900-Ziraat’/GiSelA 5. két és három éves cseresznyefákon 5,0x2,5 méteres térállású ültetvényben, Törökország észak-nyugati (mérsékelt éghajlatú) területén mérték a tényleges vízfogyasztást. Az átlagos napi tényleges evapotranszspiráció májusra: 3,6; júniusra 4,4–4,6; júliusra 5,9–6,0; augusztusra 5,2–5,4; szeptemberre 3,1–3,2 $mm \cdot m^{-2}$ -nek adódtak.

Tájékoztatónak megemlítjük, hogy sokan kutatnak a mediterrán régióban öntözött és öntözetlen idősebb olajfákon. Ezekkel kapcsolatosan főként gyökérmérési adatok szerepelnek a külföldi szakirodalomban.

Fernandez et al. (2001) például 29 éves 4,5 méter magas olajfák (*Oliva europea*) gyökérzetében hőimpulzus eljárással mért nedváramlást, melynek adataiból egységnyi tenyészterületre 1,0–1,6 $mm \cdot nap^{-1} \cdot m^{-2}$ értékeket regisztrált. Moreno et al. (1996) olajfák (*Oliva europea*) gyökérzetében mért, tapasztalatai szerint öntözött területen 1,65 $mm \cdot nap^{-1} \cdot m^{-2}$, öntözetlen ültetvényben 0,78 $mm \cdot nap^{-1} \cdot m^{-2}$ volt a párolgás nagysága. Természetesen itt szem előtt kell tartanunk, hogy a mérés a gyökérrendszer egy ágán történt és nem a fa egészét reprezentáló törzsön.

Kumulált vízfogyasztás

2008-ban, négy éves intenzív cseresznyeültetvényre becsült havi összegekből kiderül, hogy a hatodik hónaptól augusztusig a havi vízigény csökkenő tendenciát mutat, négyzetméterre, hónapra vonatkoztatva átlagosan rendre: 92 mm, 96 mm, 75 mm, 42 mm. Egy évvel később, 2009-ben a nedváram mérésekre alapozott becslésünk szerint 97,0 mm, 59,0 mm, 91,0 mm,73,0 mm átlagosan egy négyzetméterre a vizsgált hónapok területi párolgása.

Míg májusban, amikor például a természetes havi csapadékösszeg nem fedezi a fák vízfogyasztását, addig júniusban és júliusban a bőséges csapadékellátás ellenére sem használja fel a rendelkezésre álló vízmennyiséget az ültetvény. Négy és öt éves intenzív (4,0x2,0 méteres) cseresznyeültetvény számított kumulált párolgási összege májustól augusztusig rendre 305 és 320 $mm \cdot m^{-2}$ 2008-ban és 2009-ben.

2011-ben, hét éves ültetvényben, a többnyire száraz vegetációs időszakban a területi párolgás intenzívnek mondható. Az egységnyi területre vonatkozó kalkulált párolgás a különböző hónapokra rendre: 216 mm; n.a.; 133 mm, 174 mm. A légköri aszály nagymértékben növelte a párologtatás mértékét. A vizsgált időszakra számított kumulált párolgási összeg, június hónap nélkül 523 $mm \cdot m^{-2}$.

Összegzésként elmondhatjuk, hogy adataink nagyságrendileg egyeznek Lenz (1985) M9-es alanyú 'Cox Orange', 'Golden Delicious' és 'Gloster' almafákon kapott eredményeivel, mely szerint az éves vízfelhasználás 758–1455 liter között alakult egységnyi tenyészterületre. Hazai viszonylatban úgy tartják, hogy az almának 750–800 mm csapadékra van szüksége (Nyéki és Soltész 2011).

Ha a négy hónapos mérési eredményeinket nézzük, mely szerint a négy és öt éves ültetvényben a vízfogyasztás 305–320 liter között alakul, és a hét éves cseresznyefák három hónapos kalkulált vízfogyasztása 523 literre tehető, akkor a vegetációs időszak egészére 700–800 literes fogyasztással számolhatunk hazai körülmények között, a 4,0x2,0-es térállású korai érésű, intenzív cseresznyeültetvényre.

Ez a kalkulációnk megerősíti Hanson és Proebsting (1996) véleményét is, akik 750–1000 litert számítottak a cseresznyeültetvény (*Prunus avium*) éves vízfogyasztására.

Dehghanisanij et al. (2007) szemiarid területre 876 mm-es öntözést juttatott ki cseresznyeállományra (100%-os evaporáció alapján), ugyanakkor a tényleges evapotranszspirációnak a vegetációs szezonra 1007 mm-t számolt, ami azt figyelembe véve, hogy szemiarid zónában mért, eredményei arányában egyeznek az általunk hazai körülményekre nedváram mérésből kalkuláltakkal.

Burak és Senih (2010) a különböző öntözési kezelések hatásait vizsgálták különös tekintettel az evapotranszspirációra és a vegetatív növekedésre '0900-Ziraat'/GiSelA 5. két és három éves cseresznyefákon Törökország észak-nyugati (mérsékelt) területén. A térállás 5,0x2,5 méteres volt. Az egyes kezelésekben az öntözővíz mennyiséget 'A' típusú káddal mért vízveszteség alapján számolták négy kategória szerint (a káddal mért vízveszteség 50%-os, 75%-os, 100%-os (kontroll), 125%-os vízpótló öntözéssel). Az evapotranszspirációt a vízháztartási egyenlettel becsülték. A potenciális evapotranszspirációt a Penman–Monteith egyenlettel számították. Az első vizsgálati esztendő 99,9 mm természetes csapadéka (június–október) mellett a kontroll alapján további 475 mm vizet juttattak ki (100%-os vízpótlás), és 518 mm-es tényleges evapotranszspirációval számoltak. A második vizsgálati évben (három éves állomány) 134 mm eső (május-szeptember) mellé 552 mm-t öntöztek, és 599 mm-nyi tényleges párologtatást becsültek hat hónapra. Azaz a három éves, ~12 m^2-es tenyészterületű gyümölcsösre hat hónapra

becsült ~600 mm-es tényleges evapotranszspiráció alátámasztja az általunk számolt 8 m^2-es négy ill. öt éves állományunk egységnyi tenyészterületére vonatkoztatott értékeket is.

Nagy et al. (2010) klimatikus, talajtani és termésmennyiségi paraméterek alapján CROPWAT 8.0 öntözési modellt futtatott egy újfehértói körteállományra (*Pyrus communis*) (625 fa·ha^{-1}) tíz éves adatsor alapján, kitérve a 2009-es száraz esztendőre. Ezen számítás alapján átlagosan 230–270 mm-nyi öntözést igényel a körte egy szezonra. 2009-ben azonban a nagy légköri szárazság miatt 355,4 mm vízpótló öntözéssel kalkuláltak a természetes csapadékhullás mellett.

Érdemes megemlítenünk egy héjas és egy csonthéjas faj vízigényét a nagyságrendi elhelyezés végett. Goldhamer és Viveros (1999) (100%-os evaporáció alapján kijuttatott öntözővíz mellett) például 833 mm-es evapotranszspirációról számol be május és október között mandulára (*Prunus dulcis*).

Abrisqueta et al. (2001) három éves kísérlet alapján kajszibarackra (*Prunus armeniaca*) 551 mm-es (a mért evaporáció 76%-a) átlagos szezonális vízpótlásról számol be kissé csapadékos területen.

6. 3. A cseresznyefák nedváramlásának karakterisztikája

6. 3. 1. Nappali nedváramlás üteme

A nedváramlás napi karakterisztikájának ismerete fontos lehet az öntözővíz kijuttatása szempontjából, vagyis használható információ lehet, ha tudjuk, hogy a fák a nap mely részében, milyen ütemben veszik fel a számukra rendelkezésre álló/öntözéssel biztosított vízmennyiséget.

Általánosan, ha a cseresznyefák nappali nedváramlási görbéjét tanulmányozzuk, szembetűnő a reggel 8:00 óra körül induló intenzív kezdés. A napfelkelte után kb. két órával ugrik meg látványosan a vízfelvétel mértéke. Ez tökéletesen egybevág Gyeviki (2011) intenzív cseresznyésben (*Prunus avium*) mért adataival, miszerint a 6:00–8:00 közötti időszakban a legkisebb a sztómavezetés a nappal folyamán, és csak eztán kezdik meg az aktív gázcsere funkciót a fák.

A 8:00–10:00 között gyors ütemmel az áramlás „pillanatnyi” értéke eléri a másodlagos vagy sok esetben akár a napi csúcsot (~2,1–4,3 $l \cdot h^{-1}$) is. 10:00 és 13:30 óra között legtöbbször kissé visszaesik, kiegyenlítettebbé válik a párolgás mértéke. A napi maximumok vagy másodmaximumok leggyakrabban a legnagyobb napmagasság és napi maximum hőmérséklet elérésekor, 14:00–16:00 között jelentkeztek (1,6–3,1 $l \cdot h^{-1}$). Ez a magas telítési hiánnyal és a globálsugárzással mutatott szoros kapcsolat miatt alakul így. A késő délutáni óráktól a nedváramlás fokozatosan minimálisra csökkent kb. 22:00 órára.

Körülbelül fele-fele arányban tapasztaltuk, hogy vagy délelőtt, vagy délután következik be az elsődleges ill. a napi másodlagos maximum a nedváramlásban.

Összességében elmondható, hogy a cseresznyefákon mért napi nedváramlási ütem hasonlóan alakult Tőkei (1997) bodzán végzett méréseihez: miszerint sok esetben a legnagyobb mértékű áramlás, a legmagasabb hőmérsékletű órákban, – 14:00–16:00 között – tapasztalható.

Ezzel szemben Gutiérrez és Meinzer (1994) egy és négy éves kávécserjék (*Coffea robusta*) SHB módszerrel mért nedváramlási ütemében a csúcsokat kora reggel és kora délután tapasztalták.

González–Altozano et al. (2008) öt éves őszibarack (*Prunus persica*) állományban végrehajtott mérései alapján, a nedváramlás napi jellegzetessége közel olyan képet mutat, mint az általunk megfigyelt menetek. Az intenzív vízfelvétel reggel 6:00-kor indul és 20:00–22:00-ra cseng le. A barackfák esetében a napi csúcsfogyasztás 13:00 óra körül következett be.

Ferrara és Flore (2003) egy éves konténeres almafákon (M7-es alanyon álló ’Redcort’, és Mark alanyra oltott ’Empire’ fajta) végezték kísérleteiket, üvegházban, szabályozott meteorológiai körülmények között. A napi karakterisztika – a cseresznyefákon is gyakorta tapasztalt – rendkívül erőteljes napkelte utáni nedváramlásbeli növekedést mutatott, azonban esetükben a napi csúcs 11:00–12:00 között következett be. Ez feltehetően részben a szabályozott meteorológiai körülményeknek tudható be.

Fassio et al. (2009) árnyékolt üvegházban, ellenőrzött meteorológiai körülmények között két éves konténeres avokádófákat (*Persea americana*) vizsgált. A kutatásunkban megfigyelt cseresznyefákhoz hasonlóan, az avokádó nedváramlása is intenzív reggeli indulással, 14:00 óra körüli napi tetőzéssel és 20:00-ra bekövetkező lecsillapodással napi haranggörbe menetet mutatott. Az avokádónál a nedváramlási értékek 0,5–0,9 $l \cdot h^{-1}$ között ingadoztak. Méréseink szerint a korai érésű cseresznyefák órás áramlási értékei 0,4–5,0 $l \cdot h^{-1} \cdot fa^{-1}$ között mozogtak (18. ábra), ez megfelel Green et al. (1996) 14 éves almafákon (*Malus domestica* Borkh., ’Splendour’) érzékelt 1,0–5,0 $l \cdot h^{-1} \cdot fa^{-1}$ közötti nedváramlási adatainak.

A cseresznyefákéhoz hasonló nedváramlásbeli karakterisztikát tapasztalt fűznél (*Salix alba*) Cermák et al. (1984), gyapotnál (*Gossypium hirsutum*) Fuchs et al. (1987) és Peterson et al. (1992), erdei fenyőnél (*Pinus sylvestris*) Granier et al. (1990), körténél (*Pyrus communis*) Caspari et al. (1993), lucfenyőnél **(***Picea abies)* Cienciala et al (1994).

6. 3. 2. Az éjszakai nedváramlás

Az éjszakai nedváramlás üteme

Az SHB módszerrel lehetőségünk nyílt a legtöbbször éjszaka is folytatódó nedváramlást mérni. Green et al. (1989) kivin (*Actinidia deliciosa*) végzett mérései is azt bizonyítják, hogy az esti

órákban folytatódik a nedváramlás. Ez részben betudható a párologtatásnak kedvező időjárási körülményeknek – vagyis például szeles napon, meleg és az állományt környező nagy „páraéhségű” légtömeg esetén –, másrészt a napközben kiürült belső víztartályok újratöltésére szolgáló fiziológiai folyamat miatt.

Összességében elmondhatjuk, hogy amikor az éjszakai nedváramlás mérőeszközünk számára érzékelhető nagyságú volt, akkor körülbelül éjfélig mértük a minimális értékeket (0,02–0,10 $l \cdot h^{-1}$) majd hajnali 2:00–3:00-tól kezdődően enyhe növekedést tapasztaltunk (19. ábra). A kora hajnali órákban, a napkeltével – a fotoszintézis kezdetével – erősebbé vált a törzsön mért nedváramlás mértéke. Benyon (1999) négy éves 3,0x2,5 méteres sor és tőtávolsággal ültetett eukaliptuszfák éjszakai mérései során (21:00–05:00) azt tapasztalta, hogy napnyugta után két-három óra hosszára megszűnt a nedváramlás, ezt követően az éjszakai csúcsok a mi eredményeinkhez hasonlóan 02:00–03:00 között adódtak. Evans et al. (1986) cseresznyefán végzett mérései szerint a nedváramlás naplemente után egy órával megszűnt és napfelkelte után egy órával indult meg ismét. Noha néhány alkalommal mi is tapasztaltunk zérus nedváramlást éjfél előtt, véleményünk szerint ez a „low flow-no flow” mérési érzékenység miatt lehetett csupán.

Az éjszakai nedváramlás mértéke

Irodalmak szerint (Benyon 1999, Bucci et al. 2004, Daley és Philips 2006, Scholz et al. 2007) az éjjeli nedváramlás alapján becsült transzspiráció jellemzően 5-15%-a a nappalinak, sőt akár elérheti a 30%-ot is.

Méréseink szerint 2008-ban, 2009-ben és 2011-ben az éjjeli vízfogyasztás átlagosan a teljes napi vízfelvétel rendre 5,2, 5,8 és 5,9%-a volt (20. ábra), vagyis inkább az alsó határérték körül mozgott. A legintenzívebb éjszakai vízfelvételű napokon ez az érték ritkán elérte a 40%-ot is. A cseresznyefák egyedenkénti éjjeli vízfogyasztás mértéke 0,01–5,2 l között alakult. Ez az eredmény nem ellentmondásos González–Altozano et al. (2008) méréseivel, aki öt éves 2 méteres tőtávval és 4 méteres sortávval ültetett őszibarack állományban (*Prunus persica*) 0,03 literes átlagos éjjeli óránkénti nedváramot regisztráltak fánként.

Szintén jó az egyezés Green et al. (1989) tíz éves (’Red Delicious’) almafákon tizenöt napon keresztül, nyári időszakban végzett méréseivel, miszerint az éjszakai vízfogyasztás 0,3–5,3 $l \cdot fa^{-1}$, ez a teljes napi vízfelvétel 6%-a volt.

Ugyancsak Green et al. (1989) vették górcső alá hét éves kivifák (*Actinidia deliciosa*) nedváramlását hőimpulzus eljárás módszerrel. Mérésük szerint a kivi éjszakai vízfelvétele fánként 1,4–19,2 l között alakult, ami a 24 órás vízfogyasztásának 19%-át tette ki.

Backes és Blanke (2007) által végzett kísérletek kissé mérsékeltebb éjszakai fogyasztásról tanúskodnak, mint az általunk tapasztaltak. Nyolc darab négy éves M9-es alanyra oltott 'Braeburn' almafán (*LA* = 4,9 m^2) mérték a nedváramot a szár-hőegyensúly módszerrel. Az éj folyamán egy-egy almafa által megmozgatott nedváram: 0,07–0,18 $l \cdot fa^{-1}$ volt, ami körülbelül 3–4 %-a 24 órás fogyasztásnak.

Hazánkban Lakatos és Bubán (1999) kutatása ismert. Ők M26-os alanyon álló Florina almafák nedváramlását mérték hődisszipációs módszerrel. 1998 vegetációs időszaka alatt a 6-83% között változott az éjszakai (2000 lux alatti megvilágítottság) vízfogyasztás aránya a nappali vízfogyasztáshoz képes.

Kalkulációnk szerint 2008-ban egy cseresznyefa havonta körülbelül 46 liter vizet mozgatott meg a 22:00-tól 6:00-ig tartó időintervallumban. Ez az érték fánként egy hónapra számítva 2009-ben 53 liter, 2011-ben 88 liter volt.

2008, 2009, és 2011 vizsgálati fázisaiban, méréseink alapján történt becslésünk (négy hónapra) szerint a cseresznyefák éjszaka 15,0–18,0 mm-nyi vizet fogyasztottak egységnyi tenyészterületre vetítve.

Benyon (1999) eukaliptuszfákon végzett kísérletei szerint nyolc hónapnyi mérési időszak alatt az éjjeli átlagos vízáram egységnyi tenyészterületre 0,1 $l \cdot h^{-1}$-nak felelt meg.

Napszaki vízfogyasztás

Az egyes napszakokban történő nedváramlás mértékére nem találtunk irodalmat.

A délelőtti, délutáni időszak vízfogyasztásának tanulmányozásához a napokat három szakaszra különítettük el. Az éjszakának minősítettük a 22:00–6:00 óráig tartó időszakot. A nappalt (6:00–22:00), 6:00 és 14:00 óra közötti délelőtti és 14:00–22:00 közötti délutáni szakaszokra bontottuk.

2008-ban a nedváramlási adatok alapján a nappali vízfelvételnek átlagosan 54%-a történt a délelőtti szakaszban, a maradék 46%-ot pedig délután vették fel a növények. 2009-ben ez az arány 62%–38%-os volt. 2011-ben pedig 59%–41%.

6. 4. A nedváramlás és a környezeti tényezők

A nedváramlás és a környezeti tényezők kapcsolatának szorossága

Munkánk során megvizsgáltuk, hogy az egyes napszakokban a nedváramlásnak mely időjárási paraméterekkel (hőmérséklet, globálsugárzás, telítési hiány, szélsebesség) mutatkozik a legszorosabb kapcsolata.

Vizsgálataink szerint a legtöbb napon, a nedváramlás és a levegő telítési hiánya között áll fenn a legszorosabb kapcsolat (15. táblázat). Ez nem véletlen, hiszen ismert, hogy a párologtatást – így a nedváramlás „húzóerejét” – külsőleg legfőképpen a levélzet körüli páratelítettség szabályozza.
Lösch and Tenhunen (1981) tapasztalatai is azt a tényt domborítják ki, hogy a sztómák viselkedése a VPD-re érzékenyebb, jobban mint a belső vízállapotra. A magas VPD-re adott sztómareakció és transzspirációs válasz a belső vízvesztés miatti elsődleges védelmi reakciója a növényeknek (Mansfield és Davies 1982, Davies 1986). A sztómazáródást követő nagyon alacsony vízpotenciál a vízveszteség elleni védelmi vonal második lépése (Davies 1986). Elmondható, hogy a fáknak szabadföldön sokkal hatékonyabb, a belső vízhiány megakadályozására fennálló működési stratégiája, ami elsődlegesen a gázcserenyílás mozgását irányítja (sztómák záródása).
Bizonyos napokon – főként amikor a globálsugárzás napi átlaga meghaladta a 200 $W \cdot m^{-2}$-t – globálsugárzás és a nedváramlás szintén erős összefüggést mutatott. Természetesen, ha a teljes napi (24 órás) nedváramlást vesszük figyelembe, akkor a sugárzással való kapcsolat szorosságát nyilvánvalóan csökkenti, hogy az éjszakai órákban nincs napsugárzás.
Munkánkkal megerősítést nyert több külföldi szerző tapasztalata: Backes és Blanke (2007) négy éves M9-es alanyra oltott ’Braeburn’ almafákon (LA = 4,9 m^2) végzett meteorológiai elemek és a nedváramlás összefüggését vizsgálta. A legjobb korreláció a telítési hiánnyal adódott. Ugyanakkor véleményük szerint a globálsugárzás kevésbé befolyásolta a vízfelvételt.
Noitsakis és Nastis (1995) 1994 május végétől októberig tanulmányozták a vízpotenciál (chamber pressure method), a sztómavezetés és a transzspiráció (steady state porometer) változását különböző intenzitású cseresznyeültetvényekben Észak–Görögországban. Méréseik szerint a sztómák nyitódása a VPD növekedésével mutatta a legszorosabb összefüggést.
González–Altozano et al. (2008) őszibarackfákon (*Prunus persica*) mért adatai alapján a globálsugárzás és a nedváramlás között a regressziós koefficiens 0,74 volt.

A nedváramlás és a környezeti tényezők kapcsolatának jellege

A teljes napot (24 óra) és a nappali szakaszt tekintve gyakorlatilag minden paraméterrel lineáris kapcsolatot mutat a cseresznyefák nedváramlása. Egyedül a 14:00–22:00-ig tartó szakaszban számolhatunk be exponenciális összefüggésekről, ill. a globálsugárzással való köbös kapcsolatról. Naplementekor a sugárzás erőteljes csökkenésével a nedváramlás is zérushoz közelít. Ugyanezek a tényezők délelőtt exponenciális kapcsolatról adnak tanúbizonyságot. Délelőtt a telítési hiánnyal lineáris, délután exponenciális kapcsolatot tártunk fel (20. ábra).

Tőkei (1997) úgy találta, hogy a globálsugárzás és a nedváramlás között exponenciális kapcsolat áll fenn. A bodza (*Sambucus nigra*) párologtatása a 400–700 $W \cdot m^{-2}$ közötti globálsugárzási értékek között változott a legérzékenyebben, míg 0–400 $W \cdot m^{-2}$ globálsugárzásnál alig volt érzékelhető változás. Úgy tapasztalta, hogy az órás nedváramlási értékek az adott óra középhőmérsékletével szorosabb összefüggést mutattak, mint a megelőző óráéval. A nedváramlás mértéke lineárisan nőtt a hőmérséklettel, egészen 25–26 °C-ig. A telítési hiánnyal való összevetéskor kapta a legszorosabb korrelációt (lineáris). Összességében megállapította, hogy a mérési szakaszban a bodza vízforgalmát elsősorban a légköri feltételek kormányozták.

Az éjszakai nedváramlás és a környezeti tényezők

Az éjszakai VPD és az éjszakai vízfelhasználás közötti pozitív kapcsolatról azonban számos tanulmány beszámol (Hogg és Hurdle 1997, Benyon 1999, Oren et al. 2001). Megvizsgáltuk, hogy milyen viszony van a cseresznyefák délutáni és az azt követő éjszakai, valamint az éjszakai és az arra következő délelőtti vízfogyasztás között (21. ábra).

Az éjjeli VPD és éjszakai nedváramlás között szoros exponenciális összefüggést tapasztaltunk szemben Hogg és Hurdle (1997) észleléseivel, akik a két említett elem lineáris függőségéről számolnak be a sötét órákra vonatkozóan.

Eredményeink szerint az éjszakai nedváramlás mértékét erőteljesen meghatározza a megelőző nap délutáni nedváramlási rátája, mégpedig négyzetes összefüggésben (16. táblázat). Mind a fajták mind az élőhelyek között az éjszakai alacsony, vagy akár hiányzó vízvezetés és párolgás a korábbi nappal alacsony értékeivel van összefüggésben, vagyis alátámasztják azt a hipotézist, hogy az éjjeli sztómanyitódás és transzspirációs vízvesztés magasabb, ha a növénynek az éjt megelőző világos órákban magasabb a párologtató képessége, valamint nagyobb a víz hozzáférhetősége.

Eredményünk egybevág Caird et al. (2007) állításával, miszerint a magasabb nappali sztómavezetéssel és transzspirációval rendelkező növények éjszakai vezetése és transzspirációja is nagyobb, ugyanakkor a csökkent vízhozzáférhetőség megakadályozza a vizsgált fajokat a potenciális éjszakai transzspirációjuk kifejezésében.

A délutáni telítési hiány exponenciális összefüggést mutat a nedváramlással (16. táblázat), mindezt összevetve a 21.b ábrán bemutatott eredményekkel, megerősíthetjük a Kavanagh et al. (2007) által is tapasztaltakat, miszerint természetes környezetben a nappali magas VPD a magasabb éjjeli transzspirációval mutat szoros viszonyt.

6. 5. Intenzív cseresznyeültetvényre vonatkozó haszonnövény transzspirációs koefficiens

Mint ismeretes a növény az átmeneti vízhiányra a különböző életszakaszokban eltérő módon és mértékben reagál. A gyümölcstermesztésben is nélkülözhetetlen ismerni azokat az időszakokat, amikor a tartós vízhiány visszafordíthatatlan, terméscsökkentő károkat okozhat az ültetvényben.

A FAO 56 kiadványban általánosan kezdeti, közép és utószezonra adják meg a K_c ill. K_{cb} értékeit cseresznyére kissé csapadékos klímára, 45%-os minimális napi átlagos relatív páratartalommal, átlagosan 2 $m \cdot s^{-1}$-os szélsebességgel, 4 méteres magassággal számolva (17. táblázat).

Munkánk során célunk volt hazai körülményekre intenzív művelési módú, korai érésű cseresznyeültetvény haszonnövény transzspirációs indexét meghatározni.

Májustól augusztusig tartó méréseink azt tették lehetővé, hogy az elő és középszezon közötti időszaktól kezdve (5. ábra) – azaz a gyümölcsnövekedéstől a maximális levélfelület kialakulását követő három-négy hétig tartó szakaszra – adjuk meg a K_{cb} értékeket.

Összességében májustól augusztusig – azaz a középszezont megelőző időszaktól a középszezon végéig – tíz napos bontásban 0,40–0,90 közötti K_{cb} értékeket becsültünk. Ha figyelembe vesszük, hogy mi csak a haszonnövényi párologtatásra jutó részt vizsgáltuk (K_{cb}), akkor Fereres és Goldhamer (1990) a maximális középszezonbeli haszonnövény koefficiens (K_c) 0,95–1,00 közötti cseresznyére (*Prunus avium*) (gyom és fűmentes sorköz esetén) megadott értékeivel jó egyezést kaptunk.

Allen et al. (1998) szerint jó vízellátottságú, területen almára (*Malus domestica*), körtére (*Pyrus communis*) és cseresznyére (*Prunus avium*) középszezonra ezt az értéket szintén 0,9–1,15 közé teszi.

Vizsgálataink szerint havi bontásban a K_{cb} 0,57–0,87 között alakult (májustól augusztusig rendre: 0,83; 0,57; 0,87; 0,83 – 23.b ábra), ami megerősíti Burak és Senih (2010) által cseresznye (*Prunus avium*) haszonnövény koefficiensére (K_c) májusra: 0,79, júniusra: 0,81–0,86, júliusra 1,02–1,09, augusztusra 1,04–1,08, szeptemberre 0,92–0,95, októberre 0,69-es megadott értékeit.

Hasonlóképpen González–Altozano et al. (2008) őszibarackfákon (*Prunus persica*) mért adatai, akik kimondottan K_{cb} értéket közöltek (0,58–0,72). Intrigliolo (2009) szőlőn (*Vitis vinifera*) végzett kísérlete a teljes vegetációs szezonból 0,49-es K_{cb} átlagértékkel számol.

Evans et al. (1986) áprilistól októberig 0,4; 0,6; 0,85; 1,00; 1,00; 0,95; 0,7 -es haszonnövény koefficienseket (K_c) adnak meg hagyományos művelésű (9,0x4,5 méter) cseresznyeültetvényre (*Prunus avium*).

Méréseink és számításaink szerint a májusi magas transzspirációs koefficiens értékek azt jelentik, hogy az öntözések során elsősorban ezen kritikus periódusban, a gyümölcsnövekedési

fázisban kell biztosítani a növényeknek szükséges vizet. Az ezt követő hónapokban a fenntartó jellegű öntözés javasolt az időjárási körülmények figyelembevételével.

6. 6. Mérés és modellezés

Edwards és Warwick (1984), Hatton et al. (1990), Moreno et al. (1996) és Green et al. (2003) szerint a nedváram mérő rendszerrel megbízhatóan becsülhető a növényi transzspiráció. Yunusa et al. (2000) szőlőben (*Vitis vinifera*) végzett kísérletei szintén ezt igazolják.

Cseresznyeültetvényben végzett kísérleteink egyik célja az volt, hogy a kétforrásos SW modell transzspirációs részének eredményeit összevessük az általunk cseresznyefákon mért nedváramlási értékekkel.

Összességében a SW modellel becsült transzspiráció és a nedváram mérővel mért értékek jó egyezést mutattak (25. ábra). A napi időjárási körülmények által befolyásolt mért transzspirációs értékek változó ütemét jól visszaadta, bár megjegyezzük, hogy mind esős, borult időben (vagy ha a megelőző nap csapadékos volt), mind pedig hőségnapokon a modell minimálisan, de alulbecsülte a transzspiráció értékeket, szemben Soegaard és Boegh (1995) beszámolójával. Az említett szerzők kölesen (*Panicum miliaceum*) mértek az általunk is használt nedváram mérő eszköz kisebb, lágyszárúakra tervezett szenzorával; ezen mérésekből becsülték a növényi párologtatást, majd összevetették az SW modellel kalkulált transzspirációval. Eredményeik szerint a modell 0,5 mm-rel felülbecsülte a mért értékeket.

Tapasztalataink viszont megerősítik Poblete–Echeverría és Ortega–Farias (2009) leírásait. Ők szőlőültetvények (*Vitis vinifera*) párologtatását mérték és modellezték. A legnagyobb különbségről (~10%) a mért és számított értékek között, a csapadékos ill. ködös idő utáni derült napokon számoltak be, ekkor ugyanis a modell alulbecsülte a mért párolgás intenzitást.

Megjegyezzük, hogy egy-egy napon az átlagoshoz képest jóval nagyobb eltérések is jelentkeztek a mért és modellezett párologtatás között. E tapasztalt eltérések oka az, hogy a mérések adott fákra vonatkoznak, ahol sajátos hatások is alakítják a transzspiráció menetét, míg a modellszámítást egységnyi területre végeztük.

Ami a napi karakterisztikát illeti, mért és kalkulált értékek között a legnagyobb eltérés a kora reggeli és a késő délutáni órákban adódott. A mérés és a modellezett eredmények között 10–30 perces fáziseltolódást tapasztaltunk, a gyökerekből ugyanis a víznek a törzs feletti szervekbe el kell jutnia. Megfigyelésünk egyezik Tőkei (1997) fekete bodzán (*Sambucus nigra*) tapasztalt eredményeivel, mely szerint a törzsben mérhető nedváramlást a párolgás 30 perces késéssel követi. Green és McNaughton (1997) az almafákon (*Malus domestica*) mért nedváramlás és a számított transzspiráció között 10–30 perces fáziskését észlelt.

Fernandez et al. (2008) olajfán (*Olea europaea*), szőlőn (*Vitis vinifera*), almán (*Malus domestica*) és körtén (*Pyrus communis*) végeztek kísérleteket. A nedváramlást mindig hőimpulzus eljárás alapján mérték. A modellezés SW-vel történt. Míg almánál adta a mért és számított párolgási érték a legjobb egyezést, addig olajfáknál reggel felül, a nap többi részében enyhén alulbecsült a modell. A körténél szintén azt tapasztalta, hogy a mért nedváram értékek reggelente úgymond késnek a modell adta eredményekhez képest.

Becslésünk szerint az ültetvényre érkező globálsugárzásból – különböző időjárási körülmények között – 11%–86% fordítódik a növényi transzspirációra (átlagosan 45%), a többi rész a füvesített sorköz párologtatását, a talaj melegítését és szenzibilis hőáram fenntartását szolgálja. Itt szükséges azonban megemlítenünk, hogy a globálsugárzás veszteséget szenved – abszorpció, reflexió, transzmisszió révén – amíg az állományra érkezik. Miután a nettó sugárzás mérésére nem volt módunk, csak a globálsugárzás növényi párologtatásra felhasznált látens hőáram részesedését vizsgáltuk.

Sauer et al. (2007) kissé magasabb értékeket publikál: A kutatók szójabab (*Glycine max*) transzspirációját mérték különböző levélfelületi fázisokban nedvárammérővel, és mellette a *TET*-et eddy-kovariancia módszerrel. A sugárzási tényezőket szintén rögzítették. Pristley–Taylor formulával a növényi párologtatást számították, amit összevetettek a nedváram mérővel mért (és azonosított) transzspirácóval. Ezek szerint az ültetvényre eső energia (R_n-G) 78%-a a *TET*-re használódik, ebből is 65% a transzspirációra fordítódik kicsi levélfelületnél. Maximális *LAI*-nál a 83–97% elérhető energiából (R_n) – ami a *TET*-re fordítódik – 88–92% csak a növényzet használja fel a párologtatásra (T). Mindez megerősíti a levélfelület jelentőségét a transzspiráció alakulásában.

6. 6. 1. Modell érzékenységi vizsgálat

A modellek becslésének instabilitása a bemenő adatok és a parametrizációk bizonytalanságából származik elsősorban. Megvizsgáltuk, hogy az általunk használt modell bemenő adati közül a levélfelületi index és a minimális sztómaellenállás növelése vagy csökkentése milyen változást eredményez a kimenő transzspirációs adatokban.

Az eredmények szerint (33. ábra) a *LAI* változtatásával pozitív lineáris kapcsolatot mutat a kalkulált transzspirációs érték. Míg a bemenő *LAI* adatok 20%-os növelése vagy csökkentése nem okoz szignifikáns eltérést a végeredményben, a 40%-os pozitív vagy negatív változtatás ill. a 60%-os kiterjesztés viszont már jelentős differenciát eredményezhet.

A minimális sztómaellenállás változtatásával a kalkulált növényi párologtatás negatív, hatványfüggvénnyel leírható kapcsolatot mutat. A *LAI*-hoz hasonlóan itt is azt tapasztaltuk, hogy

a 20%-os változás jelentős különbséget nem eredményezett, a 40%-os variancia viszont igen. Ortega–Farias et al. (2007) az általunk is használt Shuttleworth–Wallace (SW) féle modellt alkalmazták öntözött szőlőültetvények (*Vitis vinifera*) látens hőáramának becslésére. Összevetették az eddy-kovarianciás mérésből származó, valamint a SW modell által számított eredményeket. Ezek alapján leírták, hogy a modell száraz légköri körülmények között adja a legnagyobb eltérést a mérésekhez képest. Az elvégett vizsgálataik szerint a *LAI*-ra és az átlagos sztómaellenállásra a legérzékenyebb a modell, míg az aerodinamikai ellenállás változtatása nem mutatott lényeges hatást a végeredményre.

6. 6. 2. A korona tetejezés hatása

A 2009. június 17-én és 2011. július 15-én a korona tetejezése történt a fákon. Ez 2009-ben azt jelentette, hogy a tengelyt 3,5 méteres magasságig eltávolították, letetejezték a cseresznyefákat és a túlságosan megerősödött ágakat eltávolították. Kíváncsiak voltunk, hogy ez a beavatkozás, milyen hatással van a fák nedváramlására. A két említett napon a kontrollfák hiányában a korábban már tesztelt, és a nedváramlási ütemet jó egyezéssel visszaadó SW modell transzpirációs eredményét használtuk kontrollként.

Méréseink szerint a metszés csak pillanatnyi (órán belüli) nedváramlásbeli apadást okozott (32. ábra). Ez csak úgy képzelhető el, hogy az addig alacsonyabb ágszinteken ill. árnyékban, nedvesebb mikroklímában lévő kevésbé intenzíven párologató levelek, szellősebb, napsütésnek kitett részre kerültek, és átvették, ill. pótolták a felsőbb lombkoronaszintek erős párologtató szerepét. A korona tetejezésével kapcsolatos nedváramlásra vonatkozó vizsgálatokat nem ismerünk.

6. 7. Gyakorlati hasznosítás a termesztésben

Az intenzív gyümölcsösök öntözőrendszerekkel való ellátottságából adódóan a termesztésben fontos követelmény a racionális vízkijuttatás. Ez azt jelenti, hogy ott, akkor és annyi vizet kell kiadagolni, amennyire a termesztett növényeknek az adott körülmények között éppen szüksége van. A gyümölcsösökben a vízkészlet szabályozása kézzel fogható gazdasági jelentőséggel bír. Ezért fontosak kutatási eredményeink, melyek hozzásegíthetnek az intenzív művelésmódú cseresznye ültetvényekben az öntözés fejlesztését célzó törekvésekhez, a növényi vízfelhasználás és a vízpótlás összehangolásához. Miután pontosan megismertük a cseresznyefák vízfelvételének dinamikáját, a nedváramlás ütemét, optimalizálhatjuk a vízkijuttatás folyamatát. Eredményeink alapján a cseresznyeültetvények öntözése legfontosabb a gyümölcs növekedésének és érésének

időszakában, amikor fák vízfelhasználása a legnagyobb. Ezt követően a fák vízfelhasználása csökken, majd egy mérsékeltebb szintre áll be.

A május végi érésű cseresznye vízfelvétel karakterisztikájának vizsgálati módszertana más korai érésű csonthéjasok (kajszibarack, meggy) vízigényének tanulmányozásánál, az öntözésszabályozás tervezésénél is hasznosítható. Megállapítottuk, hogy a Shuttleworth–Wallace modell transzspirációs része alapvetően alkalmas az intenzív cseresznyeültetvények párolgási veszteségének becslésére, és kontrollként is használható, például a nyári zöldmetszések nedváramlásra kifejtett hatásának ellenőrzéséhez.

6. 7. 1. Továbblépési lehetőségek

A kutatás jövőbeni folytatásakor fontosnak tartjuk, hogy amennyiben elegendő szenzor áll rendelkezésre, a későbbiekben elvégezzük a különböző növekedési erélyű cseresznyealanyú fák összehasonlító vizsgálatát.

Más gyümölcsfajok pontos vízfelvételének a feltárása is majdani céljaink közé tartozik. Miután a nedváramlásnak a környezeti változók közül a globálsugárzással, a telítési hiánnyal, és a hőmérséklettel is szoros kapcsolata mutatkozott, létrehozható egy olyan mutató, mely összesíti ezen változók együttes szerepét, és komplex módon, ugyanakkor a meteorológiai adatok ismeretében rutinszerűen használható indexet jelenthet a nedváramlás becslésére. Az elkövetkezendőkben ennek az indexnek a kidolgozását tervezzük.

6. 8. Új tudományos eredmények

A vizsgálatok eredményeként a kutatás során felvetődött kérdésekre választ kaptam. A 3. fejezetben kitűzött célok mindegyike egészében teljesült. Új tudományos eredményeimet az alábbiakban fogalmazom meg:

1. Meghatároztam a korai érésű ’Rita’ fajtájú, intenzív művelésmódú, 4,0x2,0 méteres térállású, karcsúorsó koronaformával nevelt cseresznyefák egyed és ültetvényszintű vízfelvételét a gyümölcsnövekedési szakasztól, a következő évi termőgallyképződés lezárultáig (májustól augusztusig). A nedváramlás mérések szerint a négy és öt éves fák átlagos egyedszintű napi vízfelvétele 10 és 40 liter között alakult, a hét esztendős egyedeké 40 és 60 liter közötti volt. Négy és öt éves ültetvényben, négy hónapra (májustól augusztusig) a növényi vízfogyasztás 305–320 mm közé tehető négyzetméterenként, a hét éves cseresznyefák három hónapos kalkulált vízfogyasztását pedig 523 $mm \cdot m^{-2}$-re becsültem.

2. Feltártam négy, öt és hét éves korai érésű ’Rita’ fajtájú karcsúorsó koronaformával nevelt cseresznyefák napi vízfelvételi jellegzetességeit; a nappali és az éjszakai vízfogyasztási ütemét, mértékét, szabályszerűségeit. Meghatároztam az éjszakai és nappali, valamint a délelőtti és a délutáni vízfogyasztás mértékének megoszlását. Ezek alapján elmondható, hogy a délelőtti (6:00 és 14:00) szakasz vízfogyasztási mértéke többnyire meghaladta (5–10%-kal) a délutáni vízfelvételt. Az éjjeli vízfogyasztás átlagosan a teljes napi vízfelvétel 5,6%-a volt. Rávilágítottam a cseresznyefák éjszakai vízfogyasztásának jelentőségére, annak telítési hiánnyal való szoros függőségi viszonyára a megelőző és a következő napszak vonatkozásában.

3. A nedváramlás mérés és a potenciális evapotranszspiráció számítás eredményeképp meghatároztam helyi viszonyokra a 4,0x2,0-es térállású intenzív ültetvényben nevelt korai érésű ’Rita’ cseresznyefajta K_{cb} értékeit dekádos bontásban, a gyümölcsnövekedéstől a maximális levélfelület kialakulását követő három-négy hétig tartó időszakra. A K_{cb} értékek 0,40–0,90 közöttinek adódtak.

4. Meghatároztam a cseresznyefák nedváramlása és a meteorológiai paraméterek közötti statisztikai kapcsolatot, és vizsgáltam a kapcsolat jellegét is az egyes napszakokban. Ezek alapján megállapítottam, hogy teljes napot (24 óra) és a nappali szakaszt tekintve a globálsugárzással, a hőmérséklettel és a telítési hiánnyal a cseresznyefák nedváramlása lineáris kapcsolatot mutat. A délutáni szakaszban (14:00–22:00) a hőmérséklettel exponenciális, a globálsugárzással köbös kapcsolat mutatkozott. Ugyanezek a tényezők délelőtt (6:00–14:00) exponenciális kapcsolatot mutattak. Délelőtt a telítési hiánnyal lineáris, délután exponenciális kapcsolatot tártam fel. Eredményeim szerint az éjszakai nedváramlás mértékét erőteljesen meghatározza a megelőző nap délutáni nedváramlási rátája, mégpedig négyzetes összefüggésben.

5. Összehasonlítottam a cseresznyefákon mért nedváramlás (mint azonosított növényi transzspiráció) és a Shuttleworth–Wallace modell transzspirációs számítási eredményeit. Megállapítottam, hogy – bár a modell borult, esős napokon és nagy telítési hiányú, a párolgásnak kedvező napokon kissé alulbecsül – alapvetően alkalmas az intenzív cseresznyeültetvények párolgási veszteségének becslésére.
   Elvégeztem a modell érzékenységi vizsgálatát: megfigyeltem és összevetettem a kimeneti (transzspirációs) értékeket a bemenő értékek (levélfelületi index és a minimális sztómaellenállás) változtatásával. Eredményeim szerint a modell érzékenységi határa 20%-nál nagyobb *LAI* és minimális sztómaellenállási különbségeknél van; 40–60%-os változtatásnál már szignifikáns különbséget kaptam.

6. Megállapítottam, hogy a fák tetejezése és a nyári zöldmetszés a nedváramlásban mindössze negyed óráig érzékelhető megtorpanást, visszaesést eredményez, ezután a nedváramlás üteme a metszés előtti állapotok szerint folytatódik. Ehhez a vizsgálathoz kontrollként a Shuttleworth–Wallace modell transzspirációs számítási részét használtam, miután a teszteredmények azt igazolták, hogy a modell kimenő adatai jó egyezést (R^2=0,82) mutattak a nedváramlási értékekkel.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A korlátozott mennyiségben rendelkezésre álló víz vízkészletek, a csapadékhullás nagy térbeli és időbeli változékonysága következtében fellépő extrém hidrológiai események növekvő gyakorisága, a kedvezőtlen hidrofizikai talajtulajdonságok egyre inkább megkövetelik a hatékony mezőgazdasági vízhasznosítást. A globális klímamodellek egyre szárazabb körülményeket jeleznek előre a mediterrán régióban, hazánkban pedig a szélsőségesebb időjárási események gyakoriságának növekedését valószínűsítik, ezért a minél jobb vízhasznosítás elérése kulcskérdése a mezőgazdasági ezen belül a kertészeti kutatásoknak. Ehhez elengedhetetlen a növények pontos vízfelhasználásának ismerete.

A nedváramlás mérés kísérleti alanyaként és ültetvény szintű párolgási modellezésünkhöz a cseresznyét választottuk, mivel a faj intenzív ültetvényeinek telepítése iránt növekszik az érdeklődés, s hazai viszonyok között a teljes vegetációs időszakban bekövetkező vízfogyasztásáról, vízigényéről és annak időbeli eloszlásáról nem áll rendelkezésünkre elegendő ismeret.

Munkánk során elsődlegesen megfogalmazott célkitűzésünk az volt, hogy egyedi, fatörzsön mért nedváramlási adatokra támaszkodva megvizsgáljuk, hogy hogyan változik a vízfelvétel mértéke intenzív módon művelt, sűrű ültetésű cseresznyeültetvényben. Számításokat végeztünk a fák és az ültetvény egészének vízfogyasztására vonatkozóan, a vegetációs időszak bizonyos hónapjaira és az egyes fenológiai menetekre.

Célunk volt, hogy a nedváramlás változásának és jellegzetességeinek, napszaki ütemének, karakterisztikájának meghatározása után vizsgáljuk, milyen külső folyamatok, jelenségek befolyásolják a nedváram változásait. Vizsgáltuk, hogy a cseresznyefák nedváramlása milyen viselkedést mutat az éjszakai órákban. Kiszámítottuk, hogy hazai körülmények között hogyan változik a haszonnövény transzspirációs index értéke korai érésű, intenzív cseresznyeültetvényre.

A meteorológiai paraméterek és az egyedi fák nedváramlási sajátosságainak ismeretében ültetvény szintű transzspirációs modell összehasonlító vizsgálatát végeztük, majd a bemenő adatok tekintetében megvizsgáltuk a levélfelületi indexre és a minimális sztómaellenállásra mutatott modell-érzékenységet. Vizsgáltuk a fák zöldmetszésre adott válaszreakcióját a nedváramlás tekintetében.

Méréseinket a Budapesti Corvinus Egyetem Soroksári Kísérleti Üzem és Tangazdaságában végeztük 2008-tól 2011-ig a vegetációs időszakokban. Méréseinkhez korai érésű ’Rita’ fajtájú cseresznyefákat választottunk. A fákat 2004 tavaszán, 4,0x2,0 méteres térállásban telepítették, orsó koronaformával nevelték.

Nedváram méréseink alapján elmondhatjuk, hogy míg a négy és öt éves fák átlagos egyedszintű napi vízfelvétele 10 és 40 liter között alakult, hét esztendős egyedeké 40 és 60 liter közötti volt, ezen értékek nagyságrendileg megegyeznek a szakirodalomban cseresznyére és egyéb csonthéjasokra jegyzett értékekkel.

A hónapok tekintetében az összes mintát vizsgálva a vártnak megfelelően jelentős különbségek adódtak, hiszen a fák zöldtömegének gyarapodása, a gyümölcsnövekedés, a termőgallyak, a levélfelület növekedése is hatással voltak a vízfelvétel ütemére. Megállapítottuk, hogy alapvetően az érési szakaszban, májusban a környezeti körülményektől függetlenül is magas az egyedi vízfogyasztás mértéke. A korai érésű 'Ritánál' júliusban és augusztusban többnyire az időjárásnak van a vízfelvételt, ill. a párologtatást befolyásoló hatása. A gyümölcs szüretelése (május utolsó napjai) után a felvett vízmennyiség nagy része a következő évi termőgally képződést elősegítő zöldtömeg fenntartására szolgál. Feltételezzük, hogy a gyümölcsnövekedés és érés szakaszában (ötödik hónap) tapasztalható megnövekedett vízigény biztosításában a talajban raktározott téli csapadékmennyiségnek jelentős szerepe van.

A négy vizsgált esztendő mindegyikére elmondható, hogy a párologtatás számára legkedvezőbb napokon a növényi transzspiráció egységnyi területre számított maximális értékei az 5,1–6,5 $mm \cdot nap^{-1} \cdot m^{-2}$-t is elérték, míg a borult, kis telítési hiányú napokon 0,5–1,0 mm-re tehető ez az értéke. Átlagosan a négy és öt éves cseresznyefákon mért nedváramlásra alapozva az átlagos érték 3 $mm \cdot nap^{-1} \cdot m^{-2}$ volt. Hét éves korban a fák tetejezés előtti 4,8-es *LAI* érték mellett ez a mennyiség legtöbbször meghaladta a 4 mm-t, naponta, négyzetméterenként. Ezen kalkulációink jó összhangban vannak más szerzők hazai körülmények között mért körteállományra vonatkozó, Németországban almafákra vonatkozó számításaival, továbbá törökországi mérsékelt éghajlatú területeken cseresznyén végzett vizsgálatok eredményeivel.

Négy és öt éves ültetvényben, négy hónapra (májustól augusztusig) a vízfogyasztás 305–320 liter között alakult négyzetméterenként, a hét éves cseresznyefák három hónapos kalkulált vízfogyasztását pedig 523 literre becsültük. Ezen értékek egybevágnak számos külföldi szakirodalomban említett vegetációs időszakbeli vízfogyasztással.

Miután fontosnak tartottuk, hogy a fák a nap mely részében, milyen ütemben veszik fel a számukra rendelkezésre álló vízmennyiséget, tanulmányoztuk a nedváramlási görbéket. Nedváramlás méréseink haranggörbéhez hasonló menetről tanúskodnak. Reggel 8:00 óra körü intenzív kezdést mutat a nedváramlás, míg 8:00 és 10:00 óra között még mindig gyors ütemben emelkedő áramlás eléri a másodlagos vagy sok esetben akár a napi csúcsot. 10:00 és 13:30 óra között legtöbbször kissé visszaesik, majd kiegyenlítetté válik a mértéke. A napi maximumok/másodmaximumok leggyakrabban a legnagyobb napmagasság és napi maximum

hőmérséklet elérésekor (14:00–16:00) jelentkeztek. A késő délutáni órákban a nedváramlás fokozatosan minimálisra csökken kb. 22:00 órára.

Vizsgálataink során kitértünk arra, hogy éjszaka milyen mértékű vízfelvétellel kell számolnunk. Az éjszakai időszakban, amikor a nedváramlás mérőeszközünk számára érzékelhető nagyságú volt, körülbelül éjfélig regisztráltunk minimális értékeket (0,02–0,10 $l \cdot h^{-1}$) majd hajnali 2:00–3:00-tól kezdődően enyhe növekedést tapasztaltunk. A kora hajnali órákban erősebbé vált a törzsön mért nedváramlás mértéke. Ez megegyezik más növények éjszakai nedváramlásbeli viselkedésről szóló külföldi cikkek eredményeivel.

A napszakok vízfogyasztásának tanulmányozásához a napokat három szakaszra különítettük el. Elmondhatjuk, hogy a délelőtti (6:00 és 14:00) szakasz vízfogyasztási mértéke többnyire meghaladta (5–10%-kal) a délutáni vízfelvételt. Az éjjeli vízfogyasztás átlagosan a teljes napi vízfelvétel 5,6%-a volt.

A nedváramlás és a légköri viszonyok – mint külső vezérlő tényezők – között fennálló kapcsolatrendszer megismeréséhez a hőmérséklettel, a globálsugárzással, a telítési hiánnyal és a széllel való kapcsolatot vizsgáltuk. Munkánkkal megerősítést nyert több külföldi szerző tapasztalata, akik szerint a nedváramlás és a telítési hiány között áll fenn a legerősebb korreláció. Ugyanakkor véleményük szerint a globálsugárzás kevésbé befolyásolta a vízfelvételt. A mi tapasztalataink szerint bizonyos napokon – főként, amikor a globálsugárzás napi átlaga meghaladta a 200 $W \cdot m^{-2}$-t – a globálsugárzás és a nedváramlás szintén erős összefüggést mutatott. A teljes napot (24 óra) és a nappali szakaszt tekintve gyakorlatilag minden vizsgált paraméterrel lineáris kapcsolatot mutat a cseresznyefák nedváramlása. Délelőtt a telítési hiánnyal lineáris, délután exponenciális kapcsolatot tártunk fel, 14:00–22:00-ig tartó szakaszban a globálsugárzással való köbös kapcsolatról számolhattunk be. Az éjjeli VPD és az éjszakai nedváramlás között szoros exponenciális összefüggést tapasztaltunk. Eredményeink szerint az éjszakai nedváramlás mértékét erőteljesen meghatározza a megelőző nap délutáni nedváramlási rátája, mégpedig négyzetes összefüggésben. Mind a fajták mind az élőhelyek között az éjszakai alacsony, vagy akár hiányzó vízvezetés és párolgás a korábbi nappal alacsony értékeivel van összefüggésben, vagyis alátámasztják azt a hipotézist, hogy az éjjeli sztómanyitódás és transzspirációs vízvesztés magasabb, ha a növénynek az éjt megelőző világos órákban magasabb a párologtatása, valamint kedvezőbb a víz hozzáférhetősége.

Hazai körülményekre intenzív cseresznyeültetvény haszonnövény transzspirációs indexét még nem adták meg. Méréseink és számításaink segítségével, a középszezont megelőző időszaktól a középszezon végéig – tíz napos bontásban – 0,40–0,90 közötti K_{cb} értékeket becsültünk. A májusi magas transzspirációs koefficiens értékek azt jelentik, hogy az öntözések során

elsősorban ezen kritikus periódusban, a gyümölcsnövekedési fázisban kell biztosítani a növényeknek a szükséges vizet. Az ezt követő hónapokban a fenntartó jellegű öntözés javasolt az időjárási körülmények figyelembevételével.

Cseresznyeültetvényben végzett nedváram mérések és a kétforrásos SW modell transzspirációs részének eredményei jó egyezést mutattak. Megállapítottuk – hogy bár a modell borult, esős napokon és nagy telítési hiányú a párolgásnak kedvező napokon kissé alulbecsül – alapvetően alkalmas az intenzív cseresznyeültetvények párolgási veszteségének becslésére. Az érzékenységi vizsgálat során a bemenő növényi paraméterek változtatásának hatását vizsgáltuk. Összevetettük a modell kimeneti (transzspirációs) értékeit a nedváramlási adatokkal. Az eredmények szerint a *LAI* változtatásával pozitív lineáris kapcsolatot mutat a kalkulált transzspirációs érték. Míg a bemenő *LAI* adatok 20%-os növelése vagy csökkentése nem okoz szignifikáns eltérést a végeredményben, a 40%-os pozitív vagy negatív változtatás ill. a 60%-os kiterjesztés viszont már jelentős differenciát eredményezhet. A minimális sztómaellenállás változtatásával a számított transzspirációs érték és a nedváramlás alapján kalkulált növényi párologtatás között negatív, hatványfüggvénnyel leírható kapcsolatot észleltünk.

A korona tetejezésével kapcsolatos nedváramlásra vonatkozó vizsgálatokat az eddigiekben nem ismertünk. Tapasztalataink szerint a nyári zöldmetszések és a fák tetejezése nem okozott markáns nedváramlásbeli változást.

8. SUMMARY

The efficient use of water in agriculture is more and more emphasized; this is due to several factors including the increased frequency of extreme hydrological events caused by the high spatial and temporal distribution of the precipitation, the limited water availability, and the unfavorable physical properties of the soil.

Progressively dryer conditions are predicted by the global climatic models for the Mediterranean region and the frequency of the extreme wheather events could grow in the Carpatian Basin. Hence it is essential to have more economic and effective water usage in both agriculture and horticulture. A crucial first step is to understand the precise amount of water demanded by the plants.

We have choosen sweet cherry trees in our work as subjects for sap flow measurement and the testing of the transpiration model. The plantation of intensive sweet cherry orchards is more and more popular in Hungary but the temporal distribution of their water uptake and water usage is mostly unknown.

One of the main aims of our research was to investigate the water uptake characteristics of the sweet cherry trees grown in intensive orchards based on individual sap flow measurements. We estimated the water uptake of the whole plantation for four months of the vegetation period and as well as for some phenological phases.

After determining the variation the daily rhythm and characteristics of the sap flow our goal was the analysis of environmental phenomena and progresses which affect the variation of the sap flow. We studied the nocturnal sap flow.

The crop basal coefficient was calculated for early ripening, intensive sweet cherry orchards in Hungarian conditions.

We compared the outputs of transpiration model with the measured sap flow values. The model sensitivity was investigated by the changing of the input leaf area index and minimal stomatal resistance data. Sap flow reaction to the tree's summer pruning was followed.

The investigations were carried out in Soroksár Station of Experimental Farm of Corvinus University of Budapest (Hungary) between 2008 and 2011 during the vegetation periods. The cultivar used, 'Rita', is ripening early, usually between May 22–28. The experimental orchard was planted to 4,0x2,0 m spacing with 1250 trees·ha^{-1} density in the spring of 2004. Trees were trained to Hungarian spindle. The orchard was rain fed, and also received additional irrigation by the drip system.

Based on the sap flow measurements, the daily water uptake of the four and five-year old trees was between 10 and 40 liters, while the seven-year-old trees consumed 40–60 liters per day. This data agrees with some of the other values published for sweet cherry and stone fruit trees. The water uptake varied significantly among the months corresponding to the green mass growing, increasing leaf surface and fruit mass growth's respective periods.

There was increased water consumption by the trees during the ripening period in May independently of the environmental conditions. Weather conditions are more influential on the water uptake and transpiration in July and August. After harvesting (last decade of May) the water uptake of the trees provide for and support the new branching and growth of green mass. The increased water uptake during the fruit growing and ripening period (in May) is apparently at the expense of the soil water reserves.

We calculated the sweet cherry orchard's transpiration reached 5,1-6,5 $mm \cdot m^{-2}$ on sunny and high vapor pressure deficit days while this values were between 0,5-1,0 $mm \cdot m^{-2}$ on cloudy and wet days. The average daily transpiration in intensive orchards was 3 $mm \cdot m^{-2}$ based on the sap flow measurements on four and five-year old cherry trees.

On seven-year-old trees this value exceeded 4 $mm \cdot m^{-2}$ daily most of the time. This calculation agrees with the data from pear orchards under Hungarian conditions, as well as that of apple orchards investigated in Germany, and sweet cherry orchards studied in the temperate zone of Turkey.

Water uptake of four and five-year-old orchards for four months (from May to August) was between 305-320 $mm \cdot m^{-2}$, while for seven-year-old plantations, the uptake was estimated to be 523 $mm \cdot m^{-2}$. This data are again in agreement with the literature concerning the vegetation period.

We investigated the course of diurnal sap flow. In the morning around 8:00 a.m. the sap flow begins increasing; this becomes quite quick and intensive until it reaches a (primary or second daily) maximum sometime between 8:00-10:00 a.m. This is usually followed by a depression between 10:00 and 13:00. The daily (prime or) second maximum is reached between 14:00-16:00. Compared to the very intensive morning sap-flow, after 18:00 p.m. the sap flow slowly reduces to a minimal level.

Nocturnal sap flow was detected on sweet cherry trees with typical course. At night minimal sap flow rate was measured till midnight (0,02-0,1 $l \cdot h^{-1}$), at about 2:00-3:00 a.m. the sap flow starts to grow, at dawn (5:00-6:00 a.m.) its rate becomes stronger. This course is more or less similar to that published by other authors.

Three sections of the day were distinguished for the purpose of analyzing the water consumption in each phase. Night-time refers to the period between 22:00-6:00, day-time to 6:00-22:00; this is split between morning (6:00-14:00) and afternoon segments (14:00-22:00). The morning water uptake was 5-10 % more than in the afternoon. The average water uptake during the night was 5,6% of day-time water uptake.

To better understand the connection between the transpiration and the weather conditions, the daily pattern of sapflow was analized in relation of temperature, solar radiation, vapor pressure deficit and wind speed.

The strongest correlation was found between the sap flow and vapor pressure deficit, this fact has been noticed by other authors. Our results suggest that on certain days – when global radiation exceeded 200 $W \cdot m^{-2}$ – the global radiation is the major factor which determine the sap flow.

Taking a day as a whole (24 hours), there is positive linear correlation between sap flow and the above mentioned investigated parameters. In the morning there is linear correlation, while in the afternoon exponential correlation between sap flow and vapor pressure deficit. Sap flow and global radiation shows cubic relation between 14:00-22:00. We found exponential relation between the VPD and sap flow rate at night.

The relation between night–time sap flow and afternoon sap flow just before night was strongly quadratic while that between morning sap flow and night time sap flow just before the morning was strongly exponential. These results were obtained by a regression analysis among the above mentioned variables. According to our results the night time sap flow rate is determined quadraticly by sap flow rate measured in the preceding afternoon. The low level nocturnal sap-flow is in relation with the low level sap flow rate measured earlier in the afternoon. This supports the hypothesis that the higher sap-flow and water availability in the light hours before the night cause higher stomatal opening and sap flow rate during the night.

The crop basal coefficient (K_{cb}) - calculated as the rate of transpiration measured by sap flow and the potential evapotranspiration (by using modified Penman–Monteith equation) was estimated for Hungarian condition for the early ripening intensive sweet cherry orchard. The K_{cb} value was the highest in May (0,9); thus irrigation is essential in this period. In June after the harvest, the K_{cb} value considerably decreased, when most of the evapotranspiration was due to soil evaporation. Our results suggest supporting irrigation after ripening time. The transpiration coefficient (0,7 – 0,9) rose again new shoots started growing after the summer pruning and flower bud differentiation in late July.

Appropriate agreement was found between the two sources clumped evapo-transpiration model's output and between the measured sap flow (as transpiration) data. Although the model underestimates on cloudy and rainy days and on high vapor pressure deficit days it is suitable to quantify the water loss of the intensive sweet cherry orchards.

Sensitivity analysis of the model was made by changing stepwise (by 20%) the input plant parameters such as minimal stomatal resistance and leaf area index. According to our results, varying the leaf area index (input to the model) shows a linear relation with the model's output, and by changing the minimal stomatal resistance the relation is rather a negative power function. The 20% reduction and increase of the above mentioned input did not cause significant deviation but wider fluctuation produced notable variance in the result.

Based on our experiments, the summer pruning of the trees does not cause severe drop in the sap flow.

9. IRODALOMJEGYZÉK

1. Abrisqueta, J.M., Ruiz, A.J., Franco, A., 2001. Water balance of apricot trees. *Agricultural Water Management* 50, pp. 211-227.
2. Ács, F., 2002. On the relationship between transpiration and soil texture. *Időjárás* 106(3-4), pp. 277-290.
3. Ács, F., 2003. A comparative analysis of transpiration and bare soil evaporation. *Boundary-Layer Meteorology* 109(2), pp. 139-162.
4. Ács, F., 2005. On transpiration and soil moisture content sensitivity to soil hydrophysical data. *Boundary-Layer Meteorology* 115(3), pp. 473-497.
5. Ács, F., 2008. A talaj-növény-légkör rendszer meteorológiai alkalmazású modellezése. Budapest: Eötvös Kiadó, 249 p.
6. Ács, F., Hantel, M., 1998. The land-surface flux model PROGSURF. *Global and Planetary Change* 19(1-4), pp. 19-34.
7. Ács, F., Hantel, M., Unegg, J.W., 2000a. Climate Diagnostics with the Budapest-Vienna Land-Surface Model SURFMOD. *Austrian Contribution to the IGBP*. 3, pp. 116. National Committee for the IGBP, Austrian Academy of Sciences, Vienna
8. Ács, F., Horváth, Á., Breuer, H., Rubel, F., 2010. Effect of soil hydraulic parameters on the local convective precipitation. *Meteorologische Zeitschrift* 19(2), pp. 143-153.
9. Ács, F., Szasz, G., 2002. Characteristics of evapotranspiration on the mic- roscale: A comparative analysis. *Theoretical and Applied Climatology* 73(3-4), pp. 189-205.
10. Ács, F., Tőkei, L., Hrotkó, K., Gergete, F., Bulátkó, F., Márfy, J., Vajda, M., Tuba, Z., Náfrádi, B., 2001. A mikroklíma-transpiráció- és nedváramlássebesség kapcsolatrendszere: mérések egy kísérleti cseresznye ültetvényben 2000 nyarán. *Légkör* 46(2), pp. 20-25.
11. AKI., 2011 Tájékoztató jelentés az öntözésről. Budapest: Agrárgazdasági Kutató Intézet Statisztika Osztály
12. Alarcón J.J., Ortuno, M.F., Nicolas, E., Torres, R., Torecillas, A., 2005. Compensation heat-pulse measurements of sap flow for estimating transpiration in young lemon trees. *Biologia Plantarum* 49(4), pp. 527-532.
13. Alarcón, J.J., Domingo, R., Green, S.R., Sánchez-Blanco, M.J., Rodríguez, P., Torrecillas, A., 2000. Sap flow as an indicator of transpiration and the water status of young apricot trees. *Plant and Soil* 227(1-2), pp. 77-85.
14. Allen, R., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998a. Crop evapotranspiration– guidelines for computing crop water requirements. *Irrigation and drainage paper 56*. FAO, Rome, p. 45.
15. Allen, R.G., Pereira, X. S., 2009. Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. *Irrigation Science* 28(1), pp. 17-34.
16. Anadranistakis, M., Liakatas, A., Kerkides, P., Rizos, S., Gavanosis, J., Poulovassilis, A., 2000. Crop water requirement model tested for crops grown in Greece. Agricultural Water Management 45(3), pp. 297-316.
17. Anda, A., 1999. Az állományklímát befolyásoló néhány eljárás mikrometeorológiai elemzése. MTA Doktori értekezés tézisei, Keszthely.
18. Annan, K., 2010. Closing Remarks for the 2010 African Green Revolution Forum, Accra, Ghana, Africa. http://kofiannanfoundation.org/newsroom/speeches/2010/09/kofi-annan-closing-remarks-2010-african-green-revolution-forum

19. Antal E., 1968. Az öntözés előrejelzése meteorológiai adatok alapján. Kandidátusi értekezés, Budapest

20. Antal, E., 2003: A víz légköri körforgalmának hazai kérdőjelei a globális éghajlatváltozás tükrében. In: Glatz F. (szerk.): Anyagáramlások és hatásaik a természetben. Budapest: MTA Társadalomkutató központ, p. 205.

21. Antal, E., Kozmáné Tóth, E., 1980. Klimatológiai módszer a területi párolgás számítására. *Időjárás* 84, pp. 83-92.

22. Apostol, J., 2003. Fontosabb cseresznyefajták ismertetése. Fő árufajták. In: Hrotkó, K. (ed.): Cseresznye és meggy. Budapest: Mezőgazda Kiadó, pp. 47-60.

23. Assaf, G., Zieslin, N., 1996. Night water consumption by rose plants. *Journal of Horticultural Science* 71, pp. 673-678.

24. Atkinson, C., Else, M., Taylor, L., Webster, A., 2001. The rootstocks graft union: a contribution to the hydraulics of the worked fruit trees. *Acta Horticulturae* 557, pp. 117- 122.

25. Backes, M., Blanke, M., 2007. Water Consumption and xylem flux of apple trees. *Acta Horticulturae* 732, pp. 573-578.

26. Baker, J. M., Van Bavel, C.H.M., 1987. Measurement of mass flow of water in the stems of herbaceous plants, *Plant, Cell and Environment* 10(9), pp. 777-782.

27. Baldocchi, D., Valentini, R., Running, S., Oechel, W., Dahlman, R., 1996. Strategies for measuring and modelling carbon dioxide and water vapour fluxes over terrestrial ecosystems. *Global Change Biology* 2, pp. 159-168.

28. Bariac, T., Jamil-Gonzalez, D., Richard, P., Brisson, N., Keterji, N., Béthenod, O., Bertolini, J.-M., 1994. Evapotranspiration réelle et bilans isotopiques de l'eau dans le continuum sol-plante-atmosphére. Ecosystème et changements globaux. les Dossiers de l'Environnement, Dourdan, France.

29. Barlow, Smith, J., 1978. Der Licht im Obstbaum. In: Feucht, W. (ed.), Das Obstgehölz, Ulmer Verlag, Stuttgart. pp. 87-90.

30. Bartholy, J., Pongrácz, R., Gelybó, Gy., 2007. Regional climate change expected in Hungary for 2071-2100. *Applied Ecology and Environmental Research* 5(1), pp. 1-17.

31. Bartholy, J., Pongrácz, R., Gelybó, Gy., 2008. A Kárpát-medencére készült regionális klímaváltozási szcenáriók elemzése. In: Fodor, I., Suvák, A., (eds.), A fenntartható fejlődés és a megújuló természeti erőforrások környezetvédelmi összefüggései a Kárpát-medencében. Pécs: MTA Regionális Kutatások Központja pp. 93-101.

32. Bartholy, J., Pongrácz, R., Matyasovszky, I., Schlanger, V., 2003. Expected regional variations and changes of mean and extreme climatology of Eastern/ Central Europe. In: Combined Preprints CD-ROM of the 83rdAMS Annual Meeting. Paper 4.7 American Meteorological Society, p. 10.

33. Bartholy, J., Pongrácz, R., Matyasovszky, I., Schlanger, V., 2004. A XX. században bekövetkezett és a XXI. századra várható éghajlati tendenciák Magyarország területére. *Agro-21 Füzetek* 33. pp. 1-15.

34. Bartholy, J., Pongrácz, R., Torma, Cs., Hunyady, A., 2005. A regionális éghajlatváltozás modellezése és a PRECIS klímamodell adaptálása. In: Weidinger T. (ed.), 31. Meteorológiai Tudományos Napok. Az éghajlat regionális módosulásának objektív becslését megalapozó klímadinamikai kutatások. Budapest: Országos Meteorológiai Szolgálat, pp. 99-114.

35. Beakbane, A., Thompson, E., 1939. Anatomical studies of stem and roots of hardy fruit trees. II. The internal structure of the roots of some vigorous and some dwarfing apple rootstocks, and the correlation of structure with vigor. *Journal of Pomology and Horticultural Science* 17, pp. 141-149.

36. Becker, P., 1998. Limitations of a compensation heat pulse velocity system at low sap flow: implications for measurements at night and in shaded trees. *Tree Physiology* 18, pp. 177-184.

37. Benyon, R., 1999. Nighttime water use in an irrigated Eucalyptus grandis plantation. *Tree Physiology* 19(13), pp. 853-859.

38. Béres, Cs., 2008. Fafajok víztartalékai, Természet-Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása. 7. Nemzetközi Konferencia, p. 15.

39. Béres, Cs., Fenyvesi, A., Raschi, A., Ridder H.W., 1998. Field experiment on water transportof oak trees measured by computer tomograph and magnetic resonance imaging. *Chemospere* 36(4-5), pp. 925-930.

40. Béres, Cs., Németh, L., 2009. Fafajok összehasonlítása vízforgalmi szempontból. In: Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Kari Tudományos Konferencia Kiadvány. Sopron, pp. 114-119.

41. Bielorai, H., 1982. The effect of partional wetting of the root zone on yield and water use efficiency in a drip and sprinkler irrigated mature grapefruit grove. *Irrigation Science* 3(2), pp. 89-100.

42. Blazkova, J., Hlusickova, I., 2004. First results of new bred clonal sweet cherry rootstocks. *Horticultural Science* 3(31), pp. 48-55.

43. Bleby, T.M., Burgess, S.S.O., Adams, M.A, 2004. A validation, comparison and error anaysis of two heat pulse methods for mesuring sap flow in Eucalyptus marginata seedlings. *Functional Plant Biology* 31(6), pp. 645-658.

44. Blyth, E.M., 1995. Using a simple Svat scheme to describe the effect of scale on aggregation. *Boundary-Layer Meteorology* 72(3), pp. 267-285.

45. Blyth, E.M., Harding, R.J., Essery, R., 1999. A coupled dual source GCM SVAT. *Hydrology and Earth System Sciences* 3, pp. 71-84.

46. Boulet, G., Chehbouni, A., Braud, I., Vauclin, M., Haverkamp, R., Zimmit, C., 2000. A simple water and energy balance model designed for regionalization and remote sensing data utilization. *Agricultural and Forest Meteorology* 105(1-3), pp. 117-132.

47. Bowen, I.S., 1926. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Physical Review* 27(6), pp. 779-787.

48. Bozó, L., Horváth, Á., Zsikla, Á., Hadvári, M., Kovács, A., 2010. Szélsőséges meteorológiai helyzetek 2010. május–júniusban. *„Klíma-21" Füzetek* 63(97), pp. 7-15.

49. Braud, I., Dantas-Antonino, A.C., Vauclin, M., Thony, J.L., Ruelle, P., 1995. A simple soil-plant-atmosphere transfer model (SiSPAT) development and field verification. *Journal of Hydrology* 166(3-4), pp. 213-250.

50. Braun, P., 1997. Sap flow measurements in fruit trees – advantages and shortfalls of currently used systems. *Acta Horticulturae* 449, pp. 267-272.

51. Brenner, A.J., Incoll, L.D., 1997. The effect of clumping and stomatal response on evaporation from sparsely vegetated shrublands. *Agricultural and Forest Meteorology* 84(3), pp. 187-205.

52. Brunner, T. 1990. Kis fákon nagy termés, Gyümölcstermesztés újszerűen. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó, p. 34.

53. Brunner, T., 1982. Törpegyümölcsfa-nevelés. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó, p. 47.

54. Brutsaert, W., 1982. Evaporation into the Atmosphere: Theory, History, and Applications, Kluwer Academic Publishers, p. 299.

55. Bucci, S.J., Scholz, F.G., Goldstein, G., Meinzer, F.C., Hinojosa, J.A., Hoffman, W.A., Franco, A.C., 2004. Processes preventing nocturnal equilibration between leaf and soil water potential in tropical savanna woody species. *Tree Physiology* 24, pp. 1119-1127.

56. Bujdosó, G., 2004. Evaluation of three sweet cherry cultivars and one sour cherry hybrid on dwarfing rootstocks. *Acta Horticulturae* 658(1), pp. 119-123.

57. Bujdosó, G., Hrotkó, K., Stehr, R., 2004. Evaluation of sweet and sour cherry cultivars on German dwarfing rootstocks in Hungary. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* (12), pp. 233-244.

58. Burak, N.C., Senih, Y., 2010. The effects of different irrigation levels on vegetative growth of young dwarf cherry trees in a sub-humid climate. *Pakistan Journal of Botany* 42(5), pp. 3399-3408.

59. Cabibela, B., Isbérieb, C., Horoyan, J., 1997. Flux de sève et alimentation hydrique de cerisiers irrigués ou non en localization. *Agronomie* 17(2), 97-112.

60. Caird, M., James, H., Richards, Donovan L.A., 2007. Nighttime stomatal conductance and transpiration in C3 and C4 plants. *Plant Physiology* 143, pp. 4-10.

61. Caspari, H.W., Behboudian, M.H., Chalmers, D.J., Renquist, A.R., 1993a. Pattern of seasonal water use of Asian pears determined by lysimeters and the heat-pulse technique *Journal of the American Society for Horticultural Science* 118(5), pp. 562-569.

62. Catovsky, S., Holbrook, N.M., Bazzaz, F.A., 2002. Coupling whole – tree transpiration and canopy photosynthesis in coniferious and broad – leaved tree species. *Canadian Journal of Forest Research* 32(2), pp. 295-309.

63. Cermák, J., Deml, J., Penka, M., 1973. A new method of sap flow determination in trees. *Biologia Plantarum* 15(3), pp. 171-178.

64. Cermak, J., Jenik, J., Kucera, J., Zidek, V., 1984. Xylem water flow in a crack willow tree in relation to diurnal changes of environment. *Oecologia* 64, pp. 145-151.

65. Chávez, J.L., Howell, T.A., Copeland, K.S. 2009. Evaluating eddy covariance cotton et measurements in an advective environment with large weighing lysimeters. *Irrigation Science* 28(1), pp. 35-50.

66. Chen, K., Lenz, F., 1997. Effects of training method, shading, and fruiting on water consumption of apple trees. *Gartenbauwissenschaft* 62, pp. 277-285.

67. Cienciala, E., Eckersten, H., Lindroth, A., Hallgren, J.E., 1994. Simulated and measured water uptake by Piceu dies under non-limiting soil water conditions. *Agricultural and Forest Meteorology* 71, pp. 147-164.

68. Clearwater, M., Lowe, R., Hofstee, B., Barclay, C., Mandemaker, A., Blattmann, P., 2004. Hydraulic conductance and rootstock effects in grafted vines of kiwifruit. *Journal of Experimental Botany* 55(401), pp. 1371-1382.

69. Cohen, Y., Fuchs, M., Falkenflug, V., Moreshet, S., 1988. Calibrated heat pulse method for determining water uptake in cotton. *Agronomy Journal* 80(3), pp. 398-402.

70. Cohen, Y., Fuchs, M., Green, G.C. 1981. Improvement of the heat pulse method for determining sap flow in trees. *Plant, Cell and Environment* 4(5), pp. 391-397.

71. Conceicao, N., Paco, T.A., Silva, A.L., Ferreira, M.I., 2008. Crop coefficiens for a pear orchard (*Pyrus Communis L*) obtained using Eddy-covariance. *Acta Horticulturae* 792, pp. 187-192.

72. Corelli-Grapadelli, L., Magnanini, E., 1993. A whole-tree system for gas-echange studies. *HortScience* 28(1), pp. 41-45.

73. Cseh, E,. 2007. Vízforgalom. In: Láng, F., (ed.): Növényélettan, A növényi anyagcsere I. Budapest: ELTE Eötvös Kiadó p. 40.

74. Csejtei, Á., Béres, Cs., Németh, L., 2006. Comparison of sap flow, water status of four trees. 1st European Congress of Conservation Biology "Diversity for Europe", 22-26 August 2006, Eger, Hungary, p. 104.

75. Daley, M.J., Phillips., N.G., 2006. Interspecific variation in nighttime transpiration and stomatal conductance in a mixed New England deciduous forest. *Tree Physiology* 26, pp. 411-419.

76. Davies, W.J., 1986. Transpiration and water balance plants. In: Steward F.C., Sutclzfle, J.F., Dale, J.E. (eds.), Plant physiolofi. Academic Press, pp. 49-154.

77. Davies, W.J., Zhang, J., 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 42(1), pp. 55-76.

78. De Bruin, H.A.R., 1983. A model for the Priestley-Taylor parameter α. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 22(4), pp. 572-578.

79. Dehghanisanij, H., Naseri, A., Anyoji H., Eneji A.E., 2007. Effects of deficit irrigation and fertilizer use on vegetative growth of drip irrigated cherry trees. *Journal of Plant Nutrition* 30, pp. 411-425.

80. Dickinson, R.E., Shaikh, M., 1998. Interactive canopies for a climate model. *Journal of Climate* 11(11), pp. 2823-2836.

81. Dickinson, R.E., Shaikh, M., Bryant, R., Graumlich, L., 1998. Interactive canopies for a climate model. *Journal of Climate* 11, pp. 2823-2836.

82. Dodd, A.N., Salathia, N., Hall, A., Kevei, E., Toth, R., Nagy, F., Hibberd, J.M., Millar, A.J., Webb, A.A.R., 2005. Plant circadian clocks increase photosynthesis, growth, survival, and competitive advantage. *Plant Science* 309, pp. 630-633.

83. Dolman, A.J, 1993. A multiple-source land-surface energy-balance model for use in general-circulation models. *Agricultural and Forest Meteorology* 65(1-2), pp. 21-45.

84. Domingo, F., Villagarcia, L., Brenner, A.J., Puigdefabregas, J., 1999. Evapotranspiration model for semi-arid shrub-lands tested against data from SE Spain. *Agricultural and Forest Meteorology* 95(2), pp. 67-84.

85. Donovan, L.A., Griseá, D.J., West, J.B., Pappert, R.A., Alder, N.N., Richards, J.H., 1999. Predawn disequilibrium between plant and soil water potentials in two cold-desert shrubs. *Oecologia* 120, pp. 209-217.

86. Donovan, L.A., Linton, M.J., Richards, J.H., 2001. Predawn plant water potential does not necessarily equilibrate with soil water potential under well-watered conditions. *Oecologia* 129, pp. 328-335.

87. Doorenbos, J., Pruitt, W.O., 1977. Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper 24, FAO, Rome, Italy.

88. Drucza, M., Ács, F., 2004. Magyarország éghajlata 2050-ben és 2100-ban, különböző hőmérsékleti és csapadék szcenáriók alapján. GEO 2004 Magyar Földtudományi Szakemberek VII. Világtalálkozója, Szeged, 2004. augusztus 28–szeptember 2.

89. Du Plessis, H.M., 1985. Evapotranspiration of citrus as affected by soil water deficit and soil salinity. *Irrigation Science* 6(1), pp. 51-61.

90. Dunay, S., Posza, I., Varga-Haszonits, Z., 1968. Egyszerű módszer a tényleges evapotranszspiráció és a talaj vízkészletének meghatározására. I. A párolgás meteorológiája. *Öntözéses gazdálkodás* 6(2), pp. 39-48.

91. Dunkel, Z., 1995. Területi párolgás meghatározása mezőgazdasági hasznosítású területekre. I. Országos Agrár PhD Konferencia. Debrecen. Összefoglalók 13. p.

92. Dunkel, Z., 2000. The evaluation of evapotranspiration calculation technique based on remote sensing in agrometeorology. EC. Study. COST-STY-97-4018, p. 94.

93. Dunkel, Z., Bozo, P., Szabo, T., Vadasz, V., 1989. Application of thermal infrared remote sensing to the estimation of regional evapotranspiration. *Advances in Space Research* 9(7), 255-258.

94. Dunkel, Z., Pasztor, K., Tiringer, Cs., 1991. Calculation of diurnal variation of surface temperature using simplified energy balance model. *Időjárás* 95(4), pp. 170-177.

95. Dunkel, Z., Stollár, A., Szabó, T., Tiringer, Cs., 1990. A területi párolgás meghatározása Magyarországon. *Időjárás* 94, pp. 149-155.

96. Dunkel, Z., Szenyán, I., 2000. Estimation of areal distribution of evapotranspiration using remotely sensed data during vegetation period in Hungary. *Advances in Space Research* 26(7), pp. 1051-1054.

97. Dunkel, Z., Vadász, V., 1993. Estimation of regional evapotranspiration over Hungary combining standard and satellite data. *Advances in Space Research* 13(5), pp. 275-260.

98. Dunn, G.M., Connor, D. J. 1993. An analysis of sap flow in mountain ash (Eucalyptus regnans) forests of different age. *Tree Physiology* 13, pp. 321-336.

99. Dynamax, 1990. Dynagage TM Installation and Operation Manual Dynamax, Houston, TX, USA p. 94.

100. Edwards, W.R.N., Warwick, N.W.M., 1984. Transpiration from kiwi-fruit vine as estimated by heat pulse technique and Penman- Monteith equation. *N. Z. J. Experimental Agriculture* 27, pp. 537-543.

101. Evans, R.G., Proebsting, E.L., Kroeger, W.M., 1986. Water sensitive valves for monitoring crop water use patterns. *ASAE Technical Paper* 86, p. 2572.

102. Ezzhaouani A, Valancogne C., Pieri P., Amalaki T.,Gaudillére, J.P., 2007. Water economy by Italia grapevines under different irrigation treatments in a mediterranean climate *Journal international des Sciences de la Vigne et du Vin* 41(3), pp. 131-139.

103. Fassio, C., Heath, R., Lu Arpaia, M., Castro, M. 2009. Sap flow in 'Hass' avocado trees on two clonal rootstocks in relation to xylem anatomy. *Scientia Horticulturae* 120(1), pp. 8-13.

104. Fenyvesi, A., Béres, Cs., Raschi, A., Tognetti, R., Ridder, H.-W., 2002. Sap-flow velocities and distribution of wet-wood in trunks of healthy and unhealthy Quercus robur, Quercus petraea and Quercus cerris oak trees in Hungary. *Chemosphere* 36(4-5), pp. 931-936.

105. Fereres, F., Goldhamer, D.A., 1990. Deciduous fruits and nut trees. In: Stewart B.A., Nielsen, D.R., (eds.), Irrigation of agricultural crop. American Society of Agronomy, pp. 987-1017.

106. Fernandez, J.E., Green S.R., Caspari, H.W., Diaz-Espejo, A., Cuevas, M.V., 2008. The use of sap flow measurements for scheduling irrigation in olive, apple and Asian pear trees and in grapevines. *Plant and Soil* 305, pp. 91-104.

107. Fernandez, J.E., Palomo, M.J., Diaz-Espejo, A., Clothier, B.E., Green, S.R., Giron, I.F., Moreno, F., 2001. Heat-pulse measurements of sap flow in olives for automating irrigation: tests, root flow and diagnostics of water stress. *Agricultural Water Management* 51(2), pp. 99-123.

108. Ferrara, G., Flore, J.A., 2003. Comparison between different methods of measuring transpiration in potted apple trees. *Biologia Plantarum* 46(1), pp. 41-47.

109. Ferretti, D.F., Pendall, E., Morgan, J.A., Nelson, J.A., LeCain, D., Mosier, A.R., 2003. Partitioning evapotranspiration fluxes from a Colorado grassland using stable isotopes: seasonal variations and ecosystem implications of elevated atmospheric CO2. *Plant and Soil* 254(2), pp. 291-303.

110. Fisher, J.B., DeBiase, T.A., Qi, Y., Xu, M., Goldstein, A.H., 2005. Evapotranspiration models compared on a Sierra Nevada forest ecosystem. *Environmental Modelling and Software* 20(6), pp. 783-796.

111. Flanagan, L.B., Comstock, J.P., Ehleringer, J.R., 1991. Comparison of modeled and observed environmental influences on the stable oxygen and hydrogen isotope composition of leaf water in Phaseolus vulgaris L. *Plant Physiology* 96(2), pp. 588-596.

112. Flore, J.A., Lakso, A.N., 1989. Environmental and pysiological regulation of photosynthesis in fruit crops. *Horticultural Reviews* 11, pp. 111-146.

113. Flore, J.A., Sams, C.E., 1986. Does photosynthesis limit yield of sour cherry (*Prunus cerasus*) „Montmorency"? In: Lakso, A.N., Lenz, F. (ed.), The regulation of photosynthesis in fruit trees. Special Publication. Geneva, New York: New York State Agricultural Experiment Station, pp. 105-110.

114. Franken-Bembenek, S., 1995. Vergleichende Darstellung der Versuchergebnisse mit Giessener Kirschenunterlagen. *Erwerbs-Obstbau* 5(37), pp. 130-140.

115. Franken-Bembenek, S., 2004. GiSelA 3 (209/1) – A new cherry rootstocks clone of the Giessen series. *Acta Horticulturae* 658(1), pp. 141-143.

116. Franken-Bembenek, S., 2005. GiSelA 5 Rootstock in Germany. *Acta Horticulturae* 667(1) pp. 167-172.

117. Franken-Bembenek, S., 2010. GiSelAs, PIKUs und neue Giessener Klone: Ergebnisse aus europäischen und nordamerikanischen Kirschenunterlagenversuchen. *Erwerbs-Obstbau* 52(1), pp. 17-25.

118. Fuchs, M., Cohen, Y., Moreshet, S., 1987. Determining transpiration from meteorological data and crop characteristics for irrigation management. *Irrigation Science* 8, pp. 91-99.

119. G. Tóth M. 2001. Cseresznye. In: G. Tóth M. (ed.): Gyümölcsészet. (PRIMOM Sz-Sz-B. Megyei Vállalkozásélénkítő Alapítvány Vállalkozói Központ Nyíregyháza

120. Gardiol, J.M., Serio, L.A., Della Maggiora, A.I., 2003. Modelling evapotranspiration of corn (Zea mays) under different plant densities. *Journal of Hydrology* 271(1-4), pp. 188-196.

121. Giulivo, C., Ponchia, G., Gianola, A., Pitacco, A., 1985. Effect of rootstocks on water balance of golden delicious apple trees. *Acta Horticulturae* 171, pp. 399-404.

122. Goldhamer, D.A., Viveros, M., 1999. Effects of preharvest irrigation cutoff durations and postharvest water deprivation on almond tree performance. *Irrigation Science* 19, pp. 125-131.

123. González–Altozano P., Pavel, E.W., Oncins, J.A., Doltra, J., Cohen, M., Paco, T., Massai, R., Castel, J.R., 2008. Comparative assessment of five methods of determining sap flow in peach trees. *Agricultural Water Management* 95, pp. 503-515.

124. Granier, A., 1985. Une nuovelle methode pour la mesure du flux de séve brute dans le tronc des arbres. *Annals des Sciences Forestiéres* 42(2), pp. 193-200.

125. Granier, A., Biron, P., Bréda, N., Pontailler, J.-Y., Saugier, B., 1996. Transpiration of trees and forest stands: short and longterm monitoring using sapflow mthods. *Global Change Biology* 2(3). pp. 265-274.

126. Granier, A., Bobay, V., Gash, J.H., Gelpe, J., Saugier, B., Shuttleworth, W.J., 1990. Vapour flux density and transpiration rate comparisons in a stand of Maritime pine in Les Landes forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 51, pp. 309-319.

127. Green, G. C., Moreshet, S., 1979. An analysis of seasonal water use characteristics of Valencia orange trees in the Sundays River Valley. *Crop Production* 8, pp. 179-83.

128. Green, S. R., 1993. Radiation balance, transpiration and photosynthesis of an isolated tree. *Agricultural and Forest Meteorology* 64(3-4), pp. 201-221.

129. Green, S.R., Clothier, B.E., 1988. Water use of kiwifmit vines and apple trees by the heat-pulse technique. *Journal of Experimental Botany* 39, pp. 115-123.

130. Green, S.R., McNaughton, K.G., Clothier, B.E., 1989. Observations of night-time water use in kiwifruit vines and apple trees. *Agricultural and Forest Meteorology* 48(3-4), pp. 251-261.

131. Green, S.R., McNaughton, K.G., Greer, D.H., McLeod, D.J., 1996. Measurement of the increased PAR and net all-wave radiation absorption by an apple tree caused by applying a reflective ground covering. *Agricultural Forest Meteorology* 76, pp. 163-183.

132. Green, S. R., McNaughton, K.G., 1997. Modelling effective stomatal resistance for calculating transpiration from apple tree. *Agricultural and Forest Meteorology* 83, pp. 1-26.

133. Green, S. R., Clothier, B., Jardine, B., 2003. Theory and practical application of heat pulse to measure sap flow. *Agronomy Journal* 95, pp. 1371-1379.

134. Greven, M., Neal, S., Green, S., Dichio, B., Clothier, B., 2009. The effects of drought on the water use, fruit development and oil yield from young olive trees. *Agricultural Water Management* 96(11), pp. 1525-1531.

135. Gutiérrez, M., V., Meinzer, F.C., 1994. Estimating Water Use and Irrigation Requirements of Coffee in Hawaii. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 119(3), pp. 652-657.

136. Gyeviki, M., 2011. Cseresznye oltványok produktivitásának egyes tényezői. Doktori (PhD) értekezés p. 87.

137. Hajdu, E., Borbásné, S.É., 2011. Természeti katasztrófa szőlőültetvényben 2010-ben, 3. Szőlő és Klíma Konferencia Kiadvány, p. 13.

138. Hall, R.L., Allen, S.J., Rosier, P.T. W., Hopkins, R., 1998. Transpiration from coppiced poplar and willow measured using sap-flow methods. *Agricultural and Forest Meteorology* 90(4), pp. 275-290.

139. Ham, J.M., Heilman, J.L., Lascano, R.J., 1990. Determination of soil water evaporation and transpiration from energy balance and stem flow measurement. *Agricultural and Forest Meteorology* 52, pp. 287-301.

140. Hanks, R. J., 1985. Crop coefficients for transpiration. In: Proceedings of National Conference on Advances in evapotranspiration, Chicago, 16-17 December 1985. St. Joseph: ASAE, pp. 431-438.

141. Hanson, E.J., Proebsting, E.I., 1996. Cherry nutrient requirements and water relations. In: Webster, L., (eds.), Cherries crop physiology, production and uses, CAB International. pp. 243-257.

142. Haraszty, Á., 1979. Növényszervezettan és növényélettan. Budapest: Tankönyvkiadó

143. Hatton, T.J., Catchpole, E.A., Vertessy, R.A., 1990. Integration of sap flow velocity to estimate plant water use. *Tree Physiology* 6, pp. 201-209.

144. Hatton, T.J., Moore S.J., Reece, P.H.. 1995. Estimating stand transpiration in a Eucalyptus populnea woodland with the heat pulse method: measurement errors and sampling strategies. *Tree Physiology* 15(4), pp. 219-227.

145. Heilman, J.L., Brittin, C.L., 1989. Fetch requirements for Bowen ratio measurement of latent and sensible heat fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology* 44(3-4), pp. 261-273.

146. Herbst, M., Kappen, L., 1999. The ratio of transpiration versus evaporation in a reed belt as influenced by weather conditions. *Aquatic Botany* 63(2), pp. 113-125.

147. Hilkenbaumer, F., 1964. Obstbau. Paul Parey in Berlin und Hamburg pp. 45-50.

148. Hogg, E.H., Hurdle, P.A., 1997. Sap flow in trembling aspen: implications for stomatal responses to vapor pressure deficit. *Tree Physiology* 17, pp. 501-509.

149. Howard, A., R., Donovan, L.A., 2007. Helianthus nighttime conductance and transpiration respond to soil water but not nutrient availability. *Plant Physiology* 143, pp. 145-155.

150. Hrotkó, K., 1999. Gyümölcsfaiskola. A gyümölcsfák szaporításának elmélete és gyakorlata. Budapest: Mezőgazda Kiadó. Második bővített és javított kiadás, p. 550.

151. Hrotkó, K., 2001. Módosított Brunner-orsó és karcsúorsó: koronaalakítási és metszési útmutató. Budapest: Szent István Egyetem Kertészettudományi Kar, Gyümölcstermő Növények Tanszék, p. 20.

152. Hrotkó, K., 2003. Cseresznye és meggy. Budapest: Mezőgazda Kiadó, p. 138.

153. Hrotkó, K., Magyar, L., Simon, G., Gyeviki, M., 2007. Development in intensive orchard systems of cherries in Hungary. *International Journal of Horticultural Science* 13(3) pp. 79-86.

154. Hrotkó, K., Magyar, L., Gyeviki, M., 2009. Effect of rootstoks on growth and yield of 'Carmen'® sweet cherry trees. *Bulletin UASVM Horticulture* 66(1), pp. 143-148.

155. Hrotkó K., Tőkei L., 1999. A nedváramlás-mérés korszerű műszeres technikájának alkalmazása a gyümölcsfák alanykutatásában és a doktorképzés fejlesztésében. Zárójelentés. MKM Felsőoktatási Kutatási Programok, MKM K+F 505, Budapest, p. 53.

156. Huber, B., 1932. Beobachtung und Messung pflanzlicher Saftstrome. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft* 50 pp. 89-109.

157. Hussein, I.A., McFarland, M.J., 1994. Rootstocks induced differences in sap flow of ''Granny Smith'' apple. *HortScience* 29(10), pp. 1120-1123.

158. Hutley, L.B., O'Grady, A.P., Eamus, D., 2001. Monsoonal influences on evapotranspiration of savanna vegetation of northern Australia. *Oecologia* 126(3), pp. 434-443.

159. Huxman, T.E., Cable, J.M., Ignace, D.D., Eilts, J.A., English, N.B., Weltzin, J.,Williams, D.G., 2004. Response of whole-ecosystem and component CO_2 and H_2O exchange to an irrigation pulse in a semi-arid grassland: contrasting geomorphic surfaces and native/non-native species communities. *Oecologia* 141, pp. 254-268.

160. Incoll, L.D., Jewer, P.C., 1987. Cytokinins and stomata. In: Zeiger, E., Farquhar, G.D., Cowan, I.R. (eds.): Stomatal Function. Stanford, California: Stanford University Press, pp. 281-292.

161. Intrigliolo, D.S.Ć., Lakso, A.N., Piccioni, Ć.R.M., 2009. 'Riesling' water use in the northeastern United States. *Irrigation Science* 27, pp. 253-262.

162. Jacobsen, S.E., Liu, F., Jensen, C.R., 2009. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). *Scientia Horticulturae* 122(2), pp. 281-287.

163. Jagtap, S.S., Jones, J.W., 1989. Stability of crop coefficients under different climate and irrigation management practices *Irrigation Science* 10(3), pp. 231-244.

164. Jarvis, P.G., 1976: The interpretation of the variations in the leaf water potential and stomatal conductance found in canopies. *Philosophical Transaction of the Royal Society, Biological Sciences* 273, pp. 593-610.

165. Jia, X., Dukes, M. D., Jacobs, J. M., 2009. Bahiagrass crop coefficients from eddy correlation measurements in central Florida. *Irrigation Science* 28(1), pp. 5-15.

166. Juhasz, Á., Tokei, L., Nagy. Z., Hrotkó. K., 2008a. Előzetes adatok a cseresznyefák vízfogyasztásáról. *Kertgazdaság* 40(4), pp. 17-22.

167. Juhasz, Á., Tokei, L., Nagy, Z., Gyeviki, M., Hrotkó, K., 2008b. Measurements on water use of cherry trees. *Bulletin UASVM, Horticulture* 65(1), pp. 237-241.

168. Juhász, Á., Tőkei, L., Nagy, Z., Hrotkó, K., 2008c. Estimating of water consumption of cherry trees. *International Journal of Horticultural Science* 14(4), pp. 15-17.

169. Juhász, Á., Hrotkó, K., Nagy, Z., Tőkei, L., 2010a. Water uptake of cherry trees related to weather conditions. 46th Croatian and 6th International Symposium on Agriculture Conference Proceedings. pp. 1019-1022.

170. Juhász, Á., Nagy, Z., Tőkei, L., Hrotkó, K., 2010b. Cseresznyefák vízfogyasztásának megfigyelése. *Agrár és Vidékfejlesztési Szemle* 5(1), pp. 274-279.

171. Juhász, Á., Hrotkó, K., Tőkei, L., 2011b. Sap flow response of cherry trees to weather condition. Air and Water Components of the Enviroment Conference's Proceedings. pp.76-82.

172. Juhász, Á., Tőkei, L., Halász, K., Juhász, Á., Hrotkó, K., Lukács, N. 2011a. Water availability and water use in high density orchards on different rootstocks in sandy soils, pollution and water resource. In: Columbia University Seminar Proceedings, Volume XL 2010-2011, Environmental Protection of Central Europe and USA, pp. 378-392.

173. Kállay, T., 2003. A cseresznye és a meggy gazdasági jelentősége. A termesztés jelenlegi helyzete. In: Hrotkó, K. (ed.), Cseresznye és meggy. Budapest: Mezőgazda Kiadó, pp. 12-26.

174. Kalma, J.D., Stanhill, G., 1969. Transpiration, evaporation and deep drainage losses from an orange plantation. *Israel Journal of Agricultural Research* 19(1), pp. 11-24.

175. Katerji, N., Daudet, F.A., Carbonneau, A., Ollat, N., 1994. Photosynthesis and transpiration studies with traditionally and lyre-trained vines. *Vitis* 33, pp. 197-203.

176. Kato, T., Kimura, R., Kamichika, M., 2004. Estimation of evapotranspiration, transpiration ratio and water-use efficiency from a sparse canopy using a compartment model. *Agricultural Water Management* 65(3), pp. 173-191.

177. Kavanagh, K., Pangle, L.R., Schotzko, A.D., 2007. Nocturnal transpiration causing disequilibrium between soil and stem predawn water potential in mixed conifer forests of Idaho. *Tree Physiology* 27, pp. 621-629.

178. Klamkowski, K., Treder, W., 2002. Influence of rootstocks on transpiration rate and changes in diameter of an apple tree leader growing under different soil water regimes. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 10, pp. 31-39.

179. Koppán, A., 2006. A fatörzsön kialakuló természetes elektromos potenciál különbség-változások és összefüggésük a xylemnedv-áramlással. Doktori (PhD) értekezés. Sopron: Nyugat-Magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar, 139 p.

180. Köstner, B., Granier, A., Cermák, J., 1998. Sap flow measurements in forest stands: methods and uncertainties. *Annals of Forest Science* 55(1-2), pp. 13-27.

181. Központi Statisztikai Hivatal 2010. http://portal.ksh.hu/pls/ksh/docs/hun/xtabla/amo/tablamo10_12.html

182. Lafleur, P.M., Rouse, W.S., 1990. Applicaction of an energy combination model for evaporation from sparse canopies. *Agricultural and Forest Meteorology* 49, pp. 135-153.

183. Lakatos, L., Szabó, Z., Soltész, M., Nagy, J., Ertsey, I., Racskó, J., Nyéki, J., 2005. A csapadék mennyiségének, típusának és eloszlásának változása a vegetációs és nyugalmi időszakban. *„Agro-21" Füzetek* 45, pp. 53-63.

184. Lakatos, T., Bubán, T., 1999. Night-time water use of apple trees: results of sap flow rate measurements. Acta Horticulturae (537), III International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops, Lisbon, Portugal, 28 June-2 July 1999

185. Lasceáve, G., Leymarie, J., Vavasseur, A., 1997. Alterations in lightinduced stomatal opening in a starch decient mutant of Arabidopsis thaliana L. decient in chloroplast phosphoglucomutase activity. *Plant, Cell and Environment* 20, pp. 350-358.

186. Law, B.E., Falge, E., Gu, L., Baldocchi, D.D., Bakwin, P., Berbigier, P., Davis, K., Dolman, A.J., Falk, M., Fuentes, J.D., Goldstein, A., Granier, A., Grelle, A., Hollinger, D., Janssens, I.A., Jarvis, P., Jensen, N.O., Katul, G., Mahli, Y., Matteucci, G., Meyers, T., Monson, R., Munger,

W., Oechel, W., Olson, R., Pilegaard, K., Paw, U.K.T., Thorgeirsson, H., Valentini, R., Verma, S., Vesala, T., Wilson, K., Wofsy, S., 2002. Environmental controls over carbon dioxide and water vapor exchange of terrestrial vegetation. *Agricultural and Forest Meteorology* 113, pp. 97-120.

187. Lenz, F., 1985. Water consumption of apple trees for high production. *Compact Fruit Tree* 18, pp. 21-26.

188. Leymarie, J., Lasceve, G., Vavasseur, A., 1998. Interaction of stomatal responses to ABA and CO_2 in Arabidopsis thaliana. *Australian Journal of Plant Physiology* 25, pp. 785-791.

189. Lichev, V., Lankes, C., 2003. Erste Ergebnisse von Leistungsprüfungen mit Gisela- und Weiroot-Unterlagen in Bulgarien. *Erwerbs-Obstbau* 45, pp. 157-161.

190. Loewenstein, N.J., Pallardi, S.G., 1998. Drought tolerance, xylem sap abscisic acid and stomatal conductance during soil drying: a comparison of young plants of four temperate deciduous angiosperms. *Tree Physiology* 18(7), pp. 42-430.

191. Long, S.P., Farage, P.K., Garcia, R.L. 1996: Measurement of leaf and canopy photosynthetic CO2 exchange in the field. *Journal of Experimental Botany* 47(11), pp. 1629-1642.

192. Lösch, R., Tenhunen, J.O., 1981. Stomatal responses to humidity phenomenon and mechanisms. In: Jarvis, R., Mansfield, G., (eds.), Stomata Physiology. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 197-162.

193. Lu, P., 1997. A direct method for estimating the avarages sap flux density using a modified Granier measuring system. *Australian Journal of Plant Physiology* 24(5), pp. 701-705.

194. Lundblad, M., Lagergren, F., Lindroth, A., 2001. Evaluation of heat balance and heat dissipation methods for sap flow measurements in pine and spurce. *Annals of Forest Science* 58(6), pp. 625-638.

195. Magyar, L., 2011. Alanykísérletek és a koronaalakítás bemutatása a soroksári kísérleti ültetvényben. Cseresznye és meggy intenzív művelése szakmai tanácskozás és bemutató Soroksár, 2011. június 15.

196. Mansfield, T.A., Davies, W.J., 1982. Stomata and stomatal mechanisms. In: Paleg, L.G., Aspinall, D., (eds.), Ephysiology and biochemistry of drought resistance in plants. Sydney: Academic Press 3, pp. 15-346.

197. Marshall, D.C., 1958. Measurement in sap flow by conifers by heat transport. *Plant Physiology* 33, pp. 385-396.

198. Massai, R., Gucci, R., 1997. Transpiration and water relation in three peach x almond hybrid rootstocks. *Acta Horticulturae* 44, pp. 99-106.

199. Matyssek, R., Gunthardtgoerg, M.S., Maurer, S., Keller, T., 1995. Night-time exposure to ozone reduces whole-plant production in Betula pendula. *Tree Physiology* 15, pp. 159-165.

200. McDonald, E.P., Erickson, J.E., Kruger, E.L., 2002. Can decreased transpiration limit plant nitrogen acquisition in elevated CO_2? *Functional Plant Biology* 29, pp. 1115-1120.

201. McNaughton, K.G., Spriggs, T.W., 1986. A mixed-layer model for regional evaporation. *Boundary-Layer Meteorology* 34(3), pp. 243-262.

202. Meidner, H., Mansfield, T.A., 1965. Stomatal responses to illumination. *Biological Reviews* 40(4), pp. 483-509.

203. Miller, D.P., Howell, G.S., Flore, J.A., 1996. A whole-plant, open, gas-exchange system for measuring net photosynthesis of potted woody plants. *HortScience* 31(6), pp. 944-946.

204. Miller, D.R., Vavrina, C.A., Christensen, T.W., 1980. Measurement of sap flow and transpiratio in ring-porous oaks using a heat pulse velocity technique. *Forest Science* Monograph 22 (Supplement 3), pp. 485-494.

205. Mintz, Y., Walker, G.K., 1993. Global fields of soil moisture and land surface evapotranspiration derived from observed precipitation and surface air temperature American Meteorological Society Revue 32(8), pp. 1305-1334.

206. Monteith, J.L., 1965. Evaporation and environment. In: Fogg, G.E. (ed.), Symposium of the Society for Experimental Biology, The State and Movement of Water in Living Organisms, Vol. 19, New York: Academic Press, pp. 205-234.

207. Moreno, F., Fernandez, E., Clothier, B.E., Green, S.R., 1996. Transpiration and root water uptake by olive trees. *Plant and Soil* 184, pp. 85-96.

208. Móring, A. Lakatos, M., Nagy, A., Németh, Á., 2010 A 2010. május-június időjárás rendkívüliségei éghajlati szempontból. *„Klíma-21" Füzetek* 61(198), pp. 3-14.

209. Muchow, R.C., Ludlow, M.M., Fisher, M.J., Myers, R.J.K., 1980. Stomatal behaviour of kenaf and sorghum in a semiarid tropical environment I. During the night. *Australian Journal of Plant Physiology* 7(5), pp. 609-619.

210. Nadezhdina, N., Cermak, J., 1997. Automatic control unit for irrigation systems based on sensing the plant water status. *Anais do Instituto Superior de Agronomia* 46, pp. 149-157.

211. Nagy, A., Tamás, J., Fórián, T., Nyéki, J., Szabó, Z., 2010. Irrigation modeling in pear orchard. http://gisserver1.date.hu/Int%C3%A9zeti%20munkatarsak/forian/forian_web/Tamas-Nagy_irrigation.pdf

212. Noitsakis, B., Nastis, A., 1995. Seasonal changes of water potential, stomatal conductance and transpiration in the leaf of Cherry-trees grown in shelter. In: Systèmes sylvopastoraux. Pour un environnement, une agriculture et une économie durables = Sylvopastoral systems. Environmental, agricultural and economic sustainability pp. 267-270.

213. Nye, P.H., Tinker, P.B., 1977. Solute movement in the soil root system. Oxford: Blackwell Scientic Publications.

214. Nyéki, J., Soltész, M., 2011. A biológiai alapok szerepe az alamültetvények vízkészlet – gazdálkodásában. In Tamás, J., (ed.), Almaültetvények vízkészlet gazdálkodása. Debreceni Egyetem, AGTC, Kutatási és Fejlesztési Intézet p. 49.

215. Olbrich, B.W., 1991. The verification of the heat pulse velocity technique for estimating sap flow in Eucalyptus grandis. *Canadian Journal of Forest Research* 21, pp. 836-841.

216. Olien, W.C., Lakso, A.N., 1986. Effect of rootstocks on apple (Malus domestica) tree water relations. *Physiologia Plantarum* 67(3), pp. 421-430.

217. Oren, R., Sperry, J.S., Ewers, B.E., Pataki, D.E., Phillips, N., Megonigal, J.P., 2001. Sensitivity of mean canopy stomatal conductance to vapor pressure deficit in flooded Taxodium distichum L. forest: hydraulic and nonhydraulic effects. *Oecologia* 126, pp. 21-29.

218. Országos Meteorológiai Szolgálat 2008. Napijelentések, Havijelentések Kiadvány

219. Országos Meteorológiai Szolgálat 2009. Napijelentések, Havijelentések Kiadvány

220. Országos Meteorológiai Szolgálat 2010. Napijelentések, Havijelentések Kiadvány

221. Országos Meteorológiai Szolgálat 2011. Napijelentések, Havijelentések Kiadvány

222. Ortega–Farias, S., Carrasco, M., Olioso, A., Acevedo, C., Poblete, C., 2007. Latent heat flux over Cabernet Sauvignon vineyard using the Shuttleworth and Wallace model. *Irrigation Science* 25(2), pp. 161-170.

223. Ozier–Lafontaine, H., Tournebize, R., 1993. Mesure des flux de sève par bilan thermique appliquée à l'estimation de la transpiration d'un arbuste (Gliricidia sepium) et d'un peuplement de canne à sucre (Saccharum officinarum). *Cahiers Agricultures* 2(3), pp. 197-206.

224. Papp, J., 2000. A körteültetvények vízgazdákodása és öntözése. In: Göndör, J. (ed.), Körte. Budapest: Mezőgazda Kiadó, pp. 249-255.

225. Péczely, Gy., 1979. Éghajlattan. Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó, p. 336.

226. Perrier, A., Tuzet, A., 1991. Land surface processes: description, theorethical approaches and physical laws underlaying their meaurements. In: Schmugger, T.J., André, J.C. (eds.), Land surface Evaporation Measurement and Parametrization. New York: Springer-Verlag, pp. 145-155.

227. Peterson, K.L., Fuchs, M., Moreshet, S., Cohen, Y., Sinoquet, H., 1992. Computing transpiration of sunlit and shaded cotton foliage under variable water stress. *Agronomy Journal* 84, pp. 91-97.

228. Pethő, M., 1993. Mezőgazdasági növények élettana. Akadémia Kiadó, Budapest.

229. Petrasovits I. 1988. A agrohidrológia főbb kérdései. Akadémiai Kiadó , Budapest.

230. Petrasovits I. 1989. A vízgazdálkodás és a melioráció agronómiai kérdései. Egyetemi jegyzet, GATE, Gödöllő.

231. Petrasovits, I., Balogh, J., 1969. Növénytermesztés és vízgazdálkodás. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

232. Pfannenstiel, W., Schulte, E., 2000. Beobachtungen an Süsskirschenunterlagen. *Obstbau* 9(94), pp. 515-520.

233. Poblete–Echeverri, C., Ortega–Farias, S., 2009. Estimation of actual evapotranspiration for a drip-irrigated Merlot vineyard using a three-source model *Irrigation Science* 28. pp. 65-78.

234. Posza, I., Stollár, A., 1983. A tényleges párolgás számításához használt növénykonstansok értékei többévi mérés alapján. *Időjárás* 87, pp. 107-177.

235. Priestley, C.H.B., Taylor, R.J., 1972. On the assessment of the surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review* 100(2), pp. 81-92.

236. Prueger, J.H., Hatfield J.L., Aese, J.K, Pikul, J.L., 1997. Bowen-ratio comparison with lysimeter evapotranspiration. *Agronomy Journal* 89(5), pp. 730-736.

237. Pruitt, W., Lourence, F. J., Von Oettingen, S., 1972. Water use by crops as affected by climate and plant factors. Californian Agriculture 26(10), pp. 10-14.

238. Pruitt, W.O., 1986. Traditional methods: ’evapotranspiration research priorities for the next decade*’. ASAE Paper* 86(2629), p. 23.

239. Rana, G., Katerji, N., 2008. Direct and indirect methods to simulate the actual evapotranspiration of an irrigated overhead table grape vineyard under Mediterranean conditions. *Hydrological Processes* 22(2), pp. 181-188.

240. Raschi, A., Tognetti, R., Ridder, H.W., Béres, Cs., 1995. Water int he stems of sessile oak, (Quercus petraea) assessed by computer tomography with concurent measurements of sap velocity and ultrasound emission. *Plant, Cell and Environment* 18(5), pp. 545-554.

241. Reicosky, D.C., 1985. Advances in evapotranspiration Measured Using Portable field Chambers advances in evapotranspiration. In: National Conference on Advances in Evapotranspiration, Hyatt Regency Chicago, Chicago, 16-17 December 1985. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, pp. 79-86.

242. Remorini, A., Massai, R., 2003. Comparison of water status indicators of young peach trees. *Irrigation Science* 22(1), pp. 39-49.

243. Reyes–Santamaria, M.I., Terrazas, T., Barrientos–Priego, A.F., Trejo, C., 2002. Xylem conductivity and vulnerability cultivars and races of avocado. *Scientia Horticulturae* 92(2), pp. 97-105.

244. Reynolds, J.F., Kemp, P.R., Tenhunen, J.D., 2000. Effects of long-term rainfall variability on evapotranspiration and soil water distribution in the Chihuahuan desert: a modeling analysis. *Plant Ecology* 150(1-2), pp. 145-159.

245. Rieger, M., Litvin, P., 1999. Root system hydraulic conductivity in species with contrasting root anatomy. *Journal of Experimental Botany* 50(331), pp. 201-209.

246. Ritchie, J.T., 1974. Atmospheric and soil water influences on the plant water balance. *Agricultural Meteorology* 14(1-2), pp. 183-198.

247. Ryan, M.G., Bond, B.J., Law, B.E. Woodruff, D., Cienciala, E., Kucera, J., 2000. Transpiration and whole-tree conductance in ponderosa pine trees of different heights. *Oecologia* 124(4), pp. 553-560.

248. Sakuratini, T., 1981. A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. *Journal of Agricultural Meteorology* 37(1), pp. 9-17.

249. Sakuratini, T., 1984. Improvement of the probe for measuring water flow rate in intact plants with the stem heat balance method. *Journal of Agricultural Meteorology* 40(3), pp. 273-277.

250. Sams, C.E., Flore, J.A., 1982. The influance of age, position, and environmental variables on net photosynthetic rate of sour cherry leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 107(2), pp. 339-344.

251. Santos, F.L., Valverde, P.C., Ramos, A.F., Reis J.L., Castanheira, N.L., 2007. Water use and response of a dry-farmed olive orchard recently converted to irrigation. *Biosystems Engineering* 98(1), pp. 102-114.

252. Sauer, J.S., Singer, J.W., Prueger, J.H., DeSutter, T.M., Hatfield J. L., 2007. Radiation balance and evaporation partitioning in a narrow-row soybean canopy. Agricultural *and Forest Meteorology* 145, pp. 206-214.

253. Scholz, F.G., Bucci, S.J., Goldstein, G., Meinzer, F.C., Franco, A.C., Miralles-Wilhelm, F., 2007. Removal of nutrient limitations by long-term fertilization decreases nocturnal water loss in savanna trees. *Tree Physiology* 24 (7), pp. 551-559.

254. Schulze , E.D., 1986. Whole-plant responses to drought. *Journal of Plant Physiology* 13, pp. 127-141.

255. Schwabe, W.W., 1952. Effects of photoperiodic treatment on stomatal movement. *Nature* 169, pp. 1053-1054.

256. Sekse, L., Bjerke, K.L., Vangdal, E., 2005. Fruit cracking in sweet cherries an intergated approach. *Acta Horticulturae* 667(2), pp. 471-474.

257. Sellers, P. J., Mintz, Y. C., Dalcher, A., 1986. A simple biosphere model (SiB) for use within general circulation models. *Journal of the Atmospheric Sciences* 43(6), pp. 505-531.

258. Shukla, J., Nobre, C., Sellers, P., 1990. Amazon deforestation and climate change. *Science* 247(4948), pp. 1322-1325.

259. Shuttleworth, W.J., 1993. Evaporation. In: Maidment, E.D. (ed.), Handbook of Hydrology. New York: McGraw-Hill Professional, p. 102.

260. Shuttleworth, W.J., Wallace, J.S., 1985. Evaporation from sparse crops-an energy combination theory. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 111(469), pp. 839-855.

261. Simon, G., 1999. A cseresznyetermesztés intenzitásának növelése „módosított Brunner-orsó" koronaformával különböző alanyokon. Doktori értekezés. Budapest: Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem, 80 p.

262. Simon, G. 2006. Review of the rain induced frit cracking of sweet cherries (*Prunus avium L.*) and its causes and the possibilities of prevention. *International Journal of Horticultural Science* 3, pp. 27-35.

263. Simon, G., 2009. Esővíz okozta gyümölcsrepedés mérséklése a meggy esetében. *Agrofórum* 5, pp. 74-75.

264. Simon, G., Hroktó, K., Magyar, L., 1998. Growth relations on sweet cherry modified Brunner spindle trees. Horticulture Scientific Conference, Nitra, 23-24. September, 1998. *Acta Horticuturae et Regiotecturae* 1, pp. 15-16.

265. Sipos, B. Z., Tőkei, L., 1999. A feketebodza vízigénye. *Kertgazdaság* 31(2), pp. 17-23.

266. Sivakumar, M.V.K., Wallace, J.S., 1991. Soil water balance in the Sudano-Sahelian zone: need, relevance and objectives of the workshop.In: Sivakumar M.V.K., Wallace J.S., Renard C. and Giroux C.Soil water balance in the Sudano-Sahelian zone. IAHS Publication 199, Wallingford, pp. 3–10.

267. Smith, D.M., Allen, S.J., 1996. Measurement of sap flow in plant stems. *Journal of Experimental Botany* 47(12), pp. 1833-1844.

268. Smith, S.D., Herr, C.A., Leary, K.L., Piorkowsky, J.M., 1995. Soil-plant water relations in a Mojave desert mixed shrub community: a comparison of three geomorphic surfaces. *Journal of Arid Environments* 29(3), pp. 339-351.

269. Soegaard, H., Boegh, E., 1995. Estimation of evapotranspiration from a millet crop in the Sahel combining sap flow, leaf area index and eddy correlation technique. *Journal of Hydrology* 166, pp. 265-282.

270. Solari, L.L., Johnson, S., Dejong, T.M., 2006. Relationship of water status to vegetative growth and leaf exchange of peach (Prunus persica) trees on different rootstocks. *Tree Physiology* 26(10), pp. 1333-1341.

271. Stannard, D.I., 1993. Comparison of Penman–Monteith, Shuttleworth–Wallace, and modified Priestley–Taylor evapotranspiration models for wildland vegetation in semiarid rangeland. *Water Resources Research* 29(5), pp. 1379-1392.

272. Stehr, R., 1998: First results with dwarfing rootstocks in Northern Germany as part of a National German Rootstock Trial. *Acta Horticulturae* 468(1), pp. 297-306.

273. Stehr, R., 2003. Süßkirschenanbau in Chile. *Mitteilungen des Obstbauversuchsringes des Alten Landes, OVR* 4(58), pp. 130-134.

274. Steinberg, S.L., Van Bavel, C.H.M., McFarland, M.J., 1990. Improved sap flow gauge for woody and herbaceous plants. *Agronomy Journal* 82(4), pp. 851-854.

275. Steiner, M., Hrotkó, K., 2012 TÁMOP Műhelytanulmány (In press).

276. Steudle, E., Oren, R., Schulze, E.D., 1987. Water transport in maize roots. *Plant Physiology* 84(4), pp. 1220-1232.

277. Stewart, J.B., Thorn, A.S. 1973. Energy budgets in pine forest. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 99(419), pp. 154-170.

278. Sun, S.F., 1982. Moisture and heat transport in a soil layer forced by atmospheric conditions. MSc thesis, Department of Civil Enginering, University of Connecticut. pp. 1-25.

279. Swanson, R.H., 1994. Significant historical developments in thermal methods for measuring sap flow in trees. *Agricultural and Forest Meteorology* 72(1-2), pp. 113-132.

280. Swanson, R.H., Whitfield, D.W.A., 1981. A numerical-analysis of heat pulse velocity theory and practice. *Journal of Experimental Botany* 32(1), pp. 221-239.

281. Syvertsen, J.P., 1981. Hydraulic conductivity of four commercial citrus rootstocks. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 106(3), pp. 378-381.

282. Szabó, Z., Farkas, E., Soltész, M., Lakatos, L., Fieszl, Cs., Balázs, G., Gonda, I., Vaszily, B., Nyéki, J. 2011. Intensive sweet cherry productiom in Hungary. Practical aspects. In: Proceedings of the 3rd Conference „Innovation in fruit Growing", Belgrade, pp. 117-132.

283. Szalay J. 2004. Vízgazdálkodás, vízháztartás, vízforgalom és vízszállítás. In: Szalay J. (ed.) A növényi élet feltételei a kertekben. Budapesti Corvinus Egyetem, Kézirat, Budapest

284. Szász, G., 1993. Az időjárás változásának hatása Északkelet Magyarország térségében. In: Inántsy, F. (eds.), Integrált gyümölcstermesztés c. évkönyv. GYDVK Állomás, Újfehértó pp. 114-120.

285. Szász, G., 1995. Főbb termesztett növények természetes vízhasznosulása Magyarországon. OMSZ Éghajlati és Agrometeorológiai Tanulmányok 3. Budapest.

286. Szász, G., 1999. A növényálloműányok szerepe a feszlín és a légkör közzötti kölcsönhatás alakulásábanű. Akadémiai Doktori Értekezés, Debrecen.

287. Szász, G., Tőkei, L. (szerk.), l997. Meteorológia mezőgazdáknak, kertészeknek, erdészeknek. Egyetemi tankönyv. Budapest: Mezőgazda Kiadó, p. 722.

288. Takagai, K., Harazono, Y., Noguchi, S.-I., Miyata, A., Mano, M., Komine, M., 2006. Evaluation of the transpiration rate of lotus using the stem heat-balance method. *Aquatic Botany* 85. pp. 129-136.

289. Teskey, R.O., Sheriff, D.W., 1996. Water use by Pinus radiata trees in a plantation. *Tree Physiology* 16(1-2), pp. 273-279.

290. Thornthwaite, C.W., 1944. Report of the committee on transpiration and evapotranspiration, 1943-1944. *Transactions - American Geophysical Union* 25, pp. 683-693.

291. Tombesi, S., Johnson, R. S., Day, K. R., Dejong, T. M., 2010. Relationships between xylem vessel characteristics, calculated axial hydraulic conductance and size-controlling capacity of peach rootstocks. *Annals of Botany* 105(2), pp. 327-331.

292. Tournebize, R., Boistard, S., 1998. Comparison of two sap flow methods for the estimation of tree transpiration. *Annals of Forest Science* 55(6), pp. 707-713.

293. Tőkei L. 1989. Meteorológiai gyakorlatok. Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem, Kézirat Budapest.

294. Tőkei, L., 1995. Hőimpulzus-szonda alkalmazása almaültetvény transzspirációjának és az időjárási tényezők összefüggésének meghatározására. In: I. Országos Agrár PhD Konferencia és Találkozó, Debrecen, 1995. június 27-28.

295. Tőkei, L., 1997. A bodzán végzett nedváramlásmérések értékelése az időjárási tényezők függvényében. Kutatási jelentés. Budapest: Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem

296. Tőkei, L., Dunkel, Z., Pölös, S., 1992. A növény vízforgalmának vizsgálata a hőimpulzus-módszer alkalmazásával. Lippay János Tudományos Ülésszak. 1992. november 4-5., Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem, Budapest.

297. Tőkei, L., Sipos, B. Z., 1998. A hőimpulzus módszer alkalmazása a fekete bodza vízfelvételének meghatározására. In: Lippay János - Vas Károly Tudományos Ülésszak, Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem, Budapest, 1998 szeptember 16-18.

298. Tőkei, L., Dunkel, Z., Sipos, B.Z., 2001a. The heat pulse method for determining water uptake in elderberry. European Geophysical Society, Geophysical Research Abstracts, 26th General Assembly, Volume 3, 2001, GRA3, 4656.

299. Tőkei, L., Hrotkó, K., Ács, F., Gergete, F., Bulátkó, F., Márfy, J., Vajda, M., Tuba, Z., 2001b. A mikroklíma-transpiráció és a nedváramlássebesség kapcsolatrendszere: mérések egy kísérleti cseresznye ültetvényben 2000 nyarán. *Légkör* 2, pp. 20-25.

300. Tőkei, L., Jung, A., Dunkel, Z., 2003. Egy új közvetlen mérési módszer a cseresznyefák vízfelvételének becslésére. Lippay János - Ormos Imre - Vas Károly Tudományos Ülésszak. 2003. november 6., Budapest.

301. Tőkei, L., Jung, A., Dunkel, Z., 2005. A new method for determining water uptake in elderberry plantation. *Physics and Chemistry of the Earth* 30(1-3), pp. 245-248.

302. Tyree, M.T., Zimmerman, M.H., 2002. Xylem structure and the ascent of sap. Berlin: Springer Verlag, 304 p.

303. Valancogne, C., Nasr, Z., 1989. Measuring sap flow in the stem of small trees by a heat balance method. *HortScience* 24(2), pp. 383-385.

304. Valancogne, C., Ameglio, T., Angelocci, L., Cruziat, P., 1993. Evaluation of transpiration of apple trees and measurement of daily course of water flow within the main branches of walnut trees. In: Borghetti, M., Grace, J., Reschi, A., (eds), Water transport in plants under climatic stress. Cambridge: Cambridge University Press, p. 219.

305. Várallyay, Gy., 2008. A talaj szerepe a csapadék-szélsőségek kedvezőtlen hatásainak mérséklésében. *„Klíma- 21" Füzetek* 55, pp. 57-72.

306. Varga-Haszonits, Z., Harnos, Zs., 1988. Effect of climate variability and drought on wheat maize production. In: Antal, E., Glantz, M.H., (eds.), Identifying and coping with extreme meteorological events. Budapest: Hungarian Meteorological Serrvice, pp. 138-166.

307. Végvári, Gy., Hrotkó, K., Magyar, L., Hajagos, A., Csigai, K., 2008. Histological investigation of cherry rootstocks. *Acta Horticulturae* 795, pp. 339-344.

308. Veperdi, I., 1996. A faállományok kondíciójának (relatív vitalitásának) meghatározása műszeres méréssel című kandidátusi disszertáció összefoglalója, 1996. Budapest: Erdészeti Tudományos Intézet.

309. Vermes L. 1997. Vízgazdálkodás mezőgazdasági, kertész-, tájépítész- és erdőmérnök-hallgatk részére. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.

310. Vertessy, R.A., Hatton, T.J., Reece, P., O'Sullivan S.K., Benyon, R.G., 1997. Estimating stand water use of large mountain ash trees and validation of the sap flow measurement technique. *Tree Physiology* 17, pp. 747-756.

311. Vieweg, G.H., Ziegler, H., 1960. Thermoelektrische registrerium der Geschwindigkeit des transpirationstromes. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft* 73, pp. 221-226.

312. Wallace, J.S., 1995. Calculating evaporation: resistance to factors. *Agricultural and Forest Meteorology* 73(94), pp. 353-366.

313. Wang, X.F., Yakir, D., 2000. Using stable isotopes of water in evaporation studies. *Hydrological Processes* 14(8), pp. 1407-1421.

314. Weibel, F.P., Boersma, K., 1995. An improved stem heat balance method using analogue heat control. *Agricultural and Forest Meteorology* 75, pp. 1991-208.

315. Weibel, F.P., de Vos, J.A., 1994. Transpiration measurements on apple trees with an improved stem heat balance method. *Plant and Soil* 166, pp. 203-219.

316. Were, A., Villagarcia, L., Domingo, F., Moro, M.J., Dolman, A.J., 2008. Aggregating spatial heterogeneity in a bush vegetation patch in semi-arid SE Spain: a multi-layer model versus a single-layer model. *Journal of Hydrology* 349(1-2), pp. 156-167.

317. Whitehead, D., 1998. Regulation of stomatal conductance and transpiration in forest canopies. *Tree Physiology* 18(8-9), pp. 633-644.

318. Wieser, G., Havranek, W.M., 1993. Ozone uptake in the sun and shade crown of spruce quantifying the physiological effects of ozone exposure. *Trees Structure and Function* 7, pp. 227-232.

319. Williams, D.G., Cable, W., Hultine, K., Hoedjes, J.C.B., Yepez, E.A., Simonneaux, V., Er-Raki, S., Boulet, G., de Bruin, H.A.R., Chehbouni, A., Hartogensis, O.K., Timouk, F., 2004. Evapotranspiration components determined by stable isotope, sap flow and eddy covariance techniques. *Agricultural and Forest Meteorolog* 125(3-4), pp. 241-258.

320. Wilson, K.B., Hanson, P.J., Mulholland, P.J., Baldocchi, D.D., Wullschleger, S.D., 2001. A comparison of methods for determining forest evapotranspiration and its components: sap-flow, soil water budget, eddy covariance and catchment water balance. *Agricultural and Forest Meteorology* 106(2). pp. 153-168.

321. Yunusa, I.A., M., Walker, R.R., Loveys, B.R., Blackmore, D.H., 2000. Determination of transpiration in irrigated grapevines: comparison of the heat-pulse technique with gravimetric and micrometeorological methods. *Irrigation Science* 20, pp. 1-8.

322. Zhou, M.C., Ishidaira, H., Hapuarachchi, H.P., Magome, J., Kiem, A.S., Takeuchi, K., 2006. Estimating potential evapotranspiration using Shuttleworth-Wallace model and NOAA-AVHRR NDVI data to feed a distributed hydrological model over the Mekong River basin. *Journal of Hydrology* 327(1-2), pp. 151-173.

323. Zwieniecki, M.A., Melcher, P.J., Holbrook, N.M., 2001. Hydrogel control of xylem hydraulic resistance. *PlantsScience* 291, pp. 1059-1062.

Internetes hivatkozások:

www.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/agri_environmental_indicators/documents/IRENA%20IFS%2010%20-%20Water%20use%20intensity_FINAL.pdf

www.fieldclimate.com

www.innovacio.hu/3b_hu_2006_dijazottak.php

www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evek_idojarasa/

www.nationalgeographic.com

www.portal.ksh.hu/pls/ksh/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_omn009a.html

www.uni-corvinus.hu/~talajesviz

www.usbr.gov/pn/agrimet/cropcurves/CHRWcc.html)

10. MELLÉKLETEK

1. melléklet A kísérleti terület talajának fizikai tulajdonságai, valamint tápanyagtartalmi adatai

	2007			2010			Optimum
Talajmélység (cm)	0–20	20–40	40–60	0–20	20–40	40–60	
pH (KCl)	7,68	7,74	7,77	7,72	7,81	7,87	
Arany-féle kötöttség (K_A)	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	
Összes sótartalom %	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	<0,1
$CaCO_3$ %	2,21	2,62	2,80	2,76	2,94	3,02	>1
Szervesanyag %	0,94	0,88	0,81	1,08	0,94	0,81	0,71-2,0
$NO_2^+NO_3^-N$ ($mg \cdot kg^{-1}$)	2,80	5,29	4,12	7,63	4,38	4,12	
P_2O_5 ($mg \cdot kg^{-1}$)	424,67	339,00	309,33	462,2	403,8	345,8	100
K_2O ($mg \cdot kg^{-1}$)	206,44	137,87	99,40	200,2	167,6	140,5	100
Na ($mg \cdot kg^{-1}$)	31,79	27,14	31,12	51,16	36,54	48,64	<60
Mg ($mg \cdot kg^{-1}$)	70,40	64,83	66,28	68,20	70,68	75,08	
Cu ($mg \cdot kg^{-1}$)	2,69	2,28	1,99	4,94	4,22	4,58	
Zn ($mg \cdot kg^{-1}$)	3,05	2,61	2,19	3,36	3,23	2,81	
Mn ($mg \cdot kg^{-1}$)	54,01	43,17	37,86	79,36	67,50	59,86	
SO_4-S ($mg \cdot kg^{-1}$)	12,25	17,65	19,68	5,84	5,72	6,21	

A talajmintákat az MGSZH Velencei Talajvizsgálati Laboratóriuma vizsgálta

2. melléklet A kísérletben használt egyedek törzsátmérői (mm)

	Törzsátmérő (mm)			
Alany/Sor/tő	2008	2009	2010	2011
GiSelA 6 3/21	27		66	78
GiSelA 6 4/13	24		56	78
GiSelA 6 4/14			53	67
GiSelA 6 4/28	28		62	
Korponay 3/9	48			
Korponay 3/10	40			108
Korponay 4/8	35			
Korponay 4/9				95
Korponay 4/10	37	73	80	95
Korponay 4/25				79
Érdi V. 3/7			93	106
Érdi V. 3/8	49			
Érdi V. 3/11			90	108
Érdi V. 4/22	35			105
Érdi V. 4/23	30	60	70	101
Érdi V. 4/24	43			130
Vadcseresznye 3/23				105
Vadcseresznye 3/24			58	
Vadcseresznye 4/11	25		61	83
Vadcseresznye 4/12	27			95
Vadcseresznye 4/20	37	64		
Vadcseresznye 4/21	27	40		

3. melléklet A nedváram mérő mandzsettáinak méretei (Dynamax 1990. - kézikönyv alapján)

			Használható törzsátmérő		
Mandzsetta	Fűtőszalag	Árnyékoló	Minimum	Megfelelő (mm)	Maximum

	magassága (mm)	magassága (mm)	(mm)		(mm)
SGB50	305	505	45	50	65
SGB70	410	610	65	70	90
SGB100	460	660	100	110	125

4. melléklet Öntözővíz mennyisége 2009-ben és 2011-ben

Dátum	Kijuttatott vízmennyiség ($mm \cdot m^{-2}$)*	Dátum	Kijuttatott vízmennyiség ($mm \cdot m^{-2}$)*
2009		2011	
április 24.	10	május 8.	12
május 11.	10	május.9.	12
május 12.	5	május 12.	12
május 18.	8	május 13.	12
május 19.	10	június 6.	6
május 25.	10	június 16.	6
május 26.	11	június 21.	12
június 4.	8	június 22.	12
június 16.	8	július 14.	6
június 17.	8	augusztus 11.	6
július 23.	8	augusztus 19.	12
július 24.	8	augusztus 20.	12
július 27.	6	augusztus 21.	12
augusztus 13.	7	augusztus 22.	12
augusztus 18.	10	augusztus 24.	12
augusztus 25.	6	augusztus 25.	12
augusztus 31.	8	augusztus 26.	12
szeptember 10.	8	augusztus 30.	6
	112	szeptember 1.	6
		szeptember19.	6
Összesen	112		198

*Csepegtető öntözés 3 $l \cdot h^{-1}$·gombánként ; 2 gomba fánként

5. melléklet A transzspiráció számítása során használt állandók értékei

Jelölés	Megnevezés	Érték	Mértékegység	Forrás
$*b$	Campbell féle porozitási index	3,02	-	Ács et al. 2010
$*\Theta_f$	szabadföldi vízkapacitáshoz tartozó talajnedvességtartalom	0,325	$m^3 \cdot m^{-3}$	Ács et al. 2010
$*\Theta_s$	telítési talajnedvességtartalom	0,507	$m^3 \cdot m^{-3}$	Ács et al. 2010
$*\Theta_w$	hervadásponthoz tartozó talajnedvességtartalom	0,0293	$m^3 \cdot m^{-3}$	Ács et al. 2010
$*\Psi_s$	telítési talajnedvesség potenciál	0,0604	m	Ács et al. 2010
c_1, c_2, c_3	Sun féle állandók	30;3,5;2,3	$s \cdot m^{-1}$,$s \cdot m^{-1}$,-	Sun 1982
c_p	levegő állandó	1400	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	Ács 2008

	nyomáson vett fajhője			
c_t	sztómaműködést szabályozó növényspecifikus állandó	$1{,}6 \cdot 10^{-6}$	K^{-2}	Ács 2008
c_v	sztómaműködést szabályozó növényspecifikus állandó	$2{,}38 \cdot 10^{-2}$	hPa^{-1}	Ács 2008
D_1	talajmélység	0,3	m	mért
D_2	talajmélység	0,6	m	mért
$f_{\text{Érdi V.}}$	koronaborítottság aránya adott tenyészterület ($8m^2$) százalékában	61	%	Gyeviki 2011
$f_{\text{GiSeLA 6}}$	koronaborítottság aránya adott tenyészterület ($8m^2$) százalékában	43	%	Gyeviki 2011
f_{Korponay}	koronaborítottság aránya adott tenyészterület ($8m^2$) százalékában	52	%	Gyeviki 2011
$f_{\text{Vadcseresznye}}$	koronaborítottság aránya adott tenyészterület ($8m^2$) százalékában	41	%	Gyeviki 2011
GLF	zöld és teljes levélfelület aránya	0,9	-	Szász szóbeli közlése alapján
H_{veg}	vegetáció magassága	4	m	mért
k	Von Kármán állandó	0,41	-	Shuttleworth és Wallace 1985
K_{rl}	sugárzási állandó	50	$W \cdot m^{-2}$	Ács 2008
$*K_s$	talaj telítési vízvezető-képesség	$3{,}26 \cdot 10^{-5}$	$m \cdot s^{-1}$	Ács et al. 2010
R_a	légköri visszasugárzás	400	$W \cdot m^{-2}$	OMSZ 2010
r_{cut}	kutikula ellenállás	5000	$s \cdot m^{-1}$	Ács 2008
r_{stmin}	minimális sztómaellenállás	69	$s \cdot m^{-1}$	Shuttleworth 1993
R_{vap}	vízgőz gázállandója	461	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	Ács 2008
T_{opt}	optimális hőmérséklet	25	°C	Ács 2008
z_{rdyn}	szélsebesség mérés referenciaszintje	10	m	mért

z_{rtherm}	hőmérséklet mérés referencia szintje	2	m	mért
z_{0soil}	talajfelszín érdességi magassága	0,01	m	Ács 2008
α_s	száraz talajfelszín albedója	0,15	-	Ács 2008
α_v	füvesített sorközű gyümölcsállomány albedója	0,24	-	Montheit és Unsworth 1990
γ	pszichrometrikus állandó	0,65	$hPa \cdot K^{-1}$	Ács 2008
ε	emisszivitás	1	-	Ács 2008
Θ	aktuális talajnedvesség tartalom		$m^3 \cdot m^{-3}$	mért
λ	víz párolgáshője (20 °C)	$2,5\ 10^6$	$J \cdot kg^{-1}$	Ács 2008
ρ_a	levegő sűrűsége (20 °C)	1,2	$kg \cdot m^{-3}$	Ács 2008
ρ_w	víz sűrűsége (20 °C)	1000	$kg \cdot m^{-3}$	Ács 2008
σ	Stefan- Boltzmann állandó	$5,67\ 10^{-8}$	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$	Ács 2008
Ψ_m	momentumra vonatkozó stabilitás	0	m	Ács et al. 2010

* homoktalajra vonatkozó állandók

6. melléklet Az I. kísérleti fázis (2008) napi vízfelvételi értékei

Dátum	Kalkulált területi párolgás ($mm \cdot nap^{-1} \cdot m^{-2}$)	Napi (mért) egyedszintű vízfelhasználás ($l \cdot nap^{-1} \cdot fa^{-1}$)
2008. május 4.	1,7	13,8
2008. május 5.	1,1	9,0
2008. május 6.	2,0	16,2
2008. május 7.	2,4	19,4
2008. május 8.	2,4	19,3
2008. május 9.	1,9	15,1
2008. május 10.	2,1	17,3
2008. május 11.	2,6	20,7
2008. május 12.	2,6	21,4
2008. május 13.	2,8	23,0
2008. május 14.	2,7	22,1
2008. május 15.	2,9	23,4
2008. május 16.	3,1	24,7

2008. május 17.	3,0	24,4
2008. május 18.	3,3	26,7
2008. május 25.	3,2	25,7
2008. május. 26.	3,9	31,4
2008. május 27.	4,4	35,2
2008. május 28.	4,3	35,1
2008. május 29.	4,3	34,8
2008. május 30.	5,1	49,1
2008. június 14.	3,4	27,1
2008. június 15.	2,9	23,3
2008. június 16.	2,7	22,0
2008. június 17.	3,0	24,4
2008. június 18.	4,0	32,5
2008. június 27.	2,5	20,6
2008. június 28.	3,6	29,1
2008. június 29.	4,1	33,4
2008. június 30.	2,2	17,8
2008. július 12.	3,9	31,1
2008. július 13.	3,7	29,8
2008. július 16.	2,2	18,2
2008. július 24.	2,1	17,5
2008. július 25.	2,2	19,0
2008. július 26.	2,8	24,5
2008. július 27.	2,5	22,4
2008. július 28.	2,1	19,3
2008. augusztus 11.	2,2	18,6
2008. augusztus 22.	1,4	11,4
2008. augusztus 23.	0,9	7,9
2008. augusztus 24.	1,4	11,2
2008. augusztus 25.	1,1	9,5
2008. augusztus 26.	1,3	10,8
2008. augusztus 27.	1,3	11,0
2008. augusztus 28.	0,8	7,0

7. melléklet A hónapok páronkénti összehasonlítása a többtényezős ANOVA alapján 2008-ra. (P=0,05), vizsgált változó: kalkulált területi párolgás, nullhipotézis: várható értékek megegyeznek

Hónapok		Hónapok közötti különbség	St.hiba	Sig.
Május	Június	0,130	0,215	0,550
	Július	0,682	0,232	0,005
	Augusztus	0,880	0,213	0,000
Június	Május	-0,130	0,215	0,550
	Július	0,552	0,242	0,025
	Augusztus	0,751	0,223	0,001
Július	Május	-0,682	0,232	0,005
	Június	-0,552	0,242	0,025
	Augusztus	0,198	0,239	0,410
Augusztus	Május	-0,880	0,213	0,000
	Június	-0,751	0,223	0,001
	Július	-0,198	0,239	0,410

8. melléklet Meteorológiai paraméterek szerinti szétválogatás kritériumai és a napok száma a kísérleti fázisokban

	2008	2009	2011
	előfordulási napok száma a kísérleti fázisokban (nap)		
T_{max}≥25 °C (nyári nap)	19	26	46
T_{max}≥30 °C (hőségnap)	3	4	18
S≥200 W·m^{-2} (napos nap)	29	34	41
WS_2≥2 m·s^{-1} (szeles nap)	11	13	37
VPD≥7 mbar (légköri száraz nap)	-	28	42
S≥200 W·m^{-2} és WS_2≥2 m·s^{-1} (napos és szeles nap)	9	11	26
S≥200 W·m^{-2} és VPD≥7 mbar (napos és légköri száraz nap)	-	25	27
T_{max}≥25 °C és WS_2≥2 m·s^{-1} (nyári és szeles nap)	7	7	7
S≥200 W·m^{-2} és VPD≥7 mbar és WS_2≥2 m·s^{-1} (napos és légköri száraz és szeles nap)	-	8	12

Ahol T_{max} a napi maximális hőmérséklet (°C), S a napi átlagos globálsugárzás (W·m^{-2}), VPD átlagos napi telítési hiány (mbar), WS_2 a 2 méteren mért átlagos napi szélsebesség (m·s^{-1})

9. melléklet A II. kísérleti fázis (2009) napi vízfelvételi értékei

Dátum	Kalkulált területi párolgás ($mm \cdot nap^{-1} \cdot m^{-2}$)	Napi (mért) egyedszintű vízfelhasználás ($l \cdot nap^{-1} \cdot fa^{-1}$)
2009. május 9.	3,2	25,6
2009. május 10.	3,2	26,1
2009. május 11.	3,8	30,8
2009. május 12.	3,2	25,7
2009. május 13.	2,0	16,5
2009. június 5.	1,4	11,2
2009. június 6.	1,9	15,2
2009. június 7.	1,6	12,8
2009. június 8.	1,8	14,7
2009. június 9.	2,2	17,9
2009. június 10.	2,0	16,2
2009. június 11.	1,3	10,8
2009. június 12.	1,7	13,9
2009. június 13.	1,7	14,0
2009. június 14.	2,0	16,0
2009. június 15.	2,1	17,4
2009. június 16.	2,3	19,1
2009. június 17.	2,5	20,1
2009. június 18.	2,4	19,3
2009. július 2.	3,3	26,0
2009. július 3.	3,3	26,7
2009. július 4.	2,8	23,0
2009. július 5.	2,7	21,7
2009. július 6.	2,8	23,1
2009. július 7.	2,5	20,2
2009. július 8.	3,1	20,0
2009. július 24.	2,7	21,7
2009. július 25.	2,6	21,2
2009. július 26.	3,1	24,8
2009. július 27.	3,0	24,4
2009. július 28.	2,9	23,5
2009. július 29.	2,8	23,0
2009. augusztus 4.	2,0	16,0

2009. augusztus 5.		
2009. augusztus 6.	2,0	16,7
2009. augusztus 7.	2,7	22,2
2009. augusztus 8.	2,8	22,4
2009. augusztus 9.	2,9	23,9
2009. augusztus 10.	2,7	21,4
2009. augusztus 13.	1,4	13,0
2009. augusztus 14.	2,5	20,0
2009. augusztus 15.	1,8	14,6
2009. augusztus 16.	2,6	21,2
2009. augusztus 17.	2,9	23,3
2009. augusztus 18.	2,8	23,1
2009. augusztus 19.	2,3	19,0

10. melléklet A hónapok páronkénti összehasonlítása a többtényezős ANOVA alapján 2009-ra. (P=0,05), vizsgált változó: kalkulált területi párolgás, nullhipotézis: várható értékek megegyeznek

Hónapok		Hónapok közötti különbség	St.hiba	Sig.
Május	Június	0,670	0,107	0,000
	Július	0,408	0,109	0,040
	Augusztus	0,506	0,108	0,000
Június	Május	-0,670	0,107	0,000
	Július	-0,462	0,081	0,000
	Augusztus	-0,164	0,080	0,061
Július	Május	-0,408	0,109	0,040
	Június	0,462	0,081	0,000
	Augusztus	0,298	0,083	0,000
Augusztus	Május	-0,506	0,108	0,000
	Június	0,164	0,080	0,061
	Július	-0,298	0,083	0,000

11. melléklet A IV. kísérleti fázis (2011) napi vízfelvételi értékei

Dátum	Kalkulált területi párolgás ($mm \cdot nap^{-1} \cdot m^{-2}$)	Napi (mért) egyedszintű vízfelhasználás ($l \cdot nap^{-1} \cdot fa^{-1}$)
2011. május 20.	10,2	81,5
2011. május 21.	10,0	80,7
2011. május 22.	1,8	14,8
2011. május 23.	3,8	31,0
2011. május 24.	8,4	67,9
2011. május 25.	6,7	54,0

2011. május 26.	7,2	57,9
2011. május 27.	10,8	86,9
2011. május 28.	2,0	16,2
2011. május 29.	5,6	45,0
2011. május 30.	7,6	61,0
2011. május 31.	8,8	70,5
2011. július 5.	2,4	19,9
2011. július 6.	5,5	60,4
2011. július 7.	5,8	66,2
2011. július 8.	6,0	66,7
2011. július 9.	4,4	54,9
2011. július 10.	5,1	60,3
2011. július 11.	5,6	64,7
2011. július 12.	4,1	50,2
2011. július 13.	4,0	53,3
2011. július 14.	5,6	63,8
2011. július 15.	4,9	54,9
2011. július 16.	3,9	49,7
2011. július 17.	4,2	52,6
2011. július 18.	4,2	54,1
2011. július 19.	5,3	63,4
2011. július 20.	4,9	57,3
2011. július 21.	1,1	9,4
2011. július 22.	3,9	45,2
2011. július 23.	3,0	25,8
2011. július 24.	3,9	37,7
2011. július 25.	1,7	16,5
2011. július 26.	3,6	36,4
2011. augusztus 2.	6,1	49,0
2011. augusztus 3.	4,1	33,2
2011. augusztus 4.	2,7	22,2
2011. augusztus 5.	6,4	51,2
2011. augusztus 6.	6,1	49,0
2011. augusztus 7.	7,1	57,0
2011. augusztus 8.	4,7	38,1
2011. augusztus 9.	6,3	50,4
2011. augusztus 10.	4,7	37,8
2011. augusztus 11.	5,8	46,5

2011. augusztus 12.	4,8	39,0
2011. augusztus 13.	6,0	48,8
2011. augusztus 14.	6,3	50,6
2011. augusztus 15.	6,0	48,1
2011. augusztus 16.	4,6	36,8
2011. augusztus 17.	4,5	36,4
2011. augusztus 18.	5,8	46,5
2011. augusztus 19.	6,5	52,1
2011. augusztus 20.	5,1	40,9
2011. augusztus 21.	5,9	47,9
2011. augusztus 22.	5,8	46,9
2011. augusztus 23.	5,6	44,8
2011. augusztus 24.	5,5	44,1
2011. augusztus 25.	6,0	48,5
2011. augusztus 26.	6,7	53,6

12. melléklet A hónapok páronkénti összehasonlítása a többtényezős ANOVA alapján 2011-re. (P=0,05), vizsgált változó: kalkulált területi párolgás, nullhipotézis: várható értékek megegyeznek

Hónapok		Hónapok közötti különbség	St.hiba	Sig.
Május	Június	–	–	–
	Július	3,675	1,061	0,070
	Augusztus	2,809	0,811	0,090
Június	Május	–	–	–
	Július	–	–	–
	Augusztus	–	–	–
Július	Május	-3,675	1,061	0,070
	Június	–	–	–
	Augusztus	1,879	0,400	0,005
Augusztus	Május	-2,809	0,811	0,090
	Június	–	–	–
	Július	-1,879	0,400	0,005

13. melléklet Az egyes alanyoktól származó minták hónapok közötti eltérésének eredményei több többtényezős varianciaanalízise; Duncan teszt (P=0,05), vizsgált változó: nedváram

	Éjjeli	Délelőtti	Délutáni
Május	0,767 a	1,577 b	1,158 b
Június	0,598 a	1,633 b	0,840 a

Július	0,231 a	1,338 b	0,830 a
Augusztus	0,362 a	0,717 a	0,810 a

Megjegyzés: A számok a havi átlagértékeket, Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs különbség, a különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek. A vizsgálat csak egy napszakon belüli nedváram értékekre vonatkozik, vagyis a betűk oszloponként és nem soronként értelmezendők.

14. melléklet Az egyes alanyoktól származó minták hónapok közötti eltérésének eredményei több többtényezős varianciaanalízise (2009); Duncan teszt (P=0,05), vizsgált változó: nedváram

	Éjjeli	Délelőtti	Délutáni
Május	0,339 c	1,740 b	1,263 c
Június	0,217 a	1,151 a	0,662 a
Július	0,308 bc	1,703 b	0,880 b
Augusztus	0,271 c	1,524 b	0,713 ab

Megjegyzés: A számok a havi átlagértékeket, Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs különbség, a különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek. A vizsgálat csak egy napszakon belüli nedváram értékekre vonatkozik, vagyis a betűk oszloponként és nem soronként értelmezendők.

15. melléklet Az egyes alanyoktól származó minták hónapok közötti eltérésének eredményei több többtényezős varianciaanalízise (2011); Duncan teszt (P=0,05.), vizsgált változó: nedváram

	Éjjeli	Délelőtti	Délutáni
Május	0,538 a	1,851 b	1,371 a
Június	-	-	-
Július	0,474 a	1,613 a	0,911 b
Augusztus	0,412 a	1,583 a	0,970 b

Megjegyzés: A számok a havi átlagértékeket, Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs különbség, a különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek. A vizsgálat csak egy napszakon belüli nedváram értékekre vonatkozik, vagyis a betűk oszloponként és nem soronként értelmezendők.

16. melléklet A kísérleti cseresznyeültetvényben az egyes alanyokra a különböző hónapokban mért levélfelületi index (adatforrás: Steiner és Hrotkó (2012))

Év/Hónapok		*LAI*				*Forrás*
		GiSelA 6.	Korponay	Vadcseresznye	Érdi V.	
2008	Május	-	-	-	-	-
	Június	-	-	-	-	-
	Július	1,1	3,7	1,7	3,2	Gyeviki (2011)
	Augusztus	-	-	-	-	-
2009	Május	-	-	-	-	-
	Június	-	-	-	-	-
	Július	0,8	2,3	1,0	-	Gyeviki (2011)

	Augusztus	-	-	-	-	-
2011	Május	3,2	5,4	5,7	5,1	Steiner és Hrotkó (2012)
	Június	5,2	7,5	6,9	7,3	Steiner és Hrotkó (2012)
	Július	2,1	1,8	2,2	3,1	Steiner és Hrotkó (2012)
	Augusztus	3,1	3,7	3,4	4,2	Steiner és Hrotkó (2012)

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet fejezem ki Témavezetőmnek, **dr. Tőkei Lászlónak**, hogy elindított a nedváramlás mérés specifikus szakterületén, a kezdetektől egyengette 'kutatói pályámat'. Észrevételeivel, széleskörű meteorológiai ismereteivel segítette munkámat. Külföldi konferencia részvételeimet, mindig támogatta, ezzel elősegítve szakmai fejlődésemet és a külföldi tapasztalatcseréket. Alaposan, nagy gondossággal áttekintette dolgozatomat.

Köszönöm szépen **Prof. dr. Hrotkó Károly** segítségét, aki időt és energiát nem kímélve számos konzultáció során ötleteivel, javaslataival, önzetlen segítségével és bíztatásával szakmailag és emberileg is mindvégig támogatta munkámat. Köszönöm, hogy a lendületes kutatói együttműködés során bevezetett a kertészeti szemléletű gondolkodásmódba.

Hálás vagyok **Nagy Zoltánnak**, aki maximálisan hozzájárult a dolgozat létrejöttéhez. Rengeteget segített a mérések pontos, precíz műszaki kivitelezésében, fáradhatatlan és lelkes együttműködése sokat jelentett a munka elkészültében. Minden körülmények (időjárási is!) között számíthattam rá. Köszönöm, amiért végig bíztatott, emellett jó hangulatot teremtett a terepi mérésekhez.

Köszönöm a **Budapesti Corvinus Egyetem Soroksári Kísérleti Üzem és Tangazdaság Vezetőjének és Munkatársainak**, hogy mindig biztosították a terepet; bármilyen kéréssel fordulhattam hozzájuk, gyorsan és rugalmasan megoldották a technikai kérdéseket, és nem ismertek akadályt semmiben, rugalmas hozzáállással mindig a megoldást keresték, ezzel hozzájárultak a kísérletek sikerességéhez. Külön köszönöm **dr. Nádosy Ferencnek, Szabó Zsuzsannának, Rácz Szabó Róbertnek, Gyökös Gergőnek** a mindenkori segítséget.

Köszönöm a **Faiskola Csoportos Kollégáknak: dr. Gyeviki Mártának, Szabó Veronikának, Steiner Márknak, Magyar Lajosnak**, hogy a cseresznyeültetvényben végzett levélfelületi és sztómakonduktancia méréseiket megosztották velem, és hogy a vizsgálatokhoz a kísérleti cseresznyetáblát használhattam.

Köszönöm **Sepsi Panna** Kolléganőnek a modellezés során nyújtott segítséget, a bíztatást, az építő együttgondolkodás derűs óráit; **Begyik András**nak, aki külföldi tartózkodásom alatt elindította a terepi méréseket; **Láng Orsolyá**nak és **Galgóczy Zsolt**nak, hogy részt vállaltak a dolgozat szerkesztésében, valamint a Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék minden Munkatársának, hogy elviseltek a mindennapokban.

Igazán köszönöm **Édesanyámnak, Édesapámnak és Bátyámnak**, hogy dolgozatom nyugodt családi légkörben, türelmes és szeretetteljes bíztatás mellett készülhetett el.