

Soproni Egyetem
Erdőmérnöki Kar

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**A növényzet vízkörforgalomra gyakorolt hatása a
klímaváltozás tükrében**

Herceg András

Sopron
2017

Doktori iskola

Kitaibel Pál Környezettudományi
Doktori Iskola

Program:

Biokörnyezet-tudomány (K1)

Vezető:

Prof. Dr. Albert Levente

Témavezető:

Prof. Dr. Gribovszki Zoltán

Tudományos háttér, célkitűzés

A jelenleg is zajló klímaváltozás globális hőmérsékletemelkedéssel jellemezhető (3,7 °C – 4,8 °C növekedés a 21. század végére, 1850-1900 közötti időszakhoz viszonyítva) (IPCC, 2014). A klímaváltozás legjelentősebb hatása a vízkörforgalmat érinti, amely a csapadékmintázat és az evapotranszpirációs folyamatok megváltoztatásán keresztül érvényesül (Sun et al., 2011, Szilágyi és Józsa, 2008). A csapadék mennyiségében és eloszlásában feltételezett változások, és a folyamatosan emelkedő hőmérsékletek hatására a növényzetre jelentősebb vízfelhasználás lehet jellemző. A fokozott vízfelhasználás a talajnedvességet, a talajvizet és a vízkörforgalmat összességében érintően is változásokat okozhat.

Globálisan, a kontinensekre hulló csapadék 62%-a elpárolog, és mindazonáltal az evapotranszspiráció a Déli-sarkvidéket leszámítva minden földrészen meghaladja a lefolyást (Dingman, 2002). A Kárpát-medencében ez az arány: 90% párolgás, 10% lefolyás (Kovács, 2011). Következésképpen a párolgás fontos szerepet játszik a szárazföldi növényzet számára elérhető víz tekintetében, és ezért a növényzet eloszlását és a növényi produktivitás mértékét is befolyásolja (Vörösmarty et al., 1998). A párolgás a lefolyásra is hatást gyakorol, és a mezőgazdaság számára elérhető vízkészlet szempontjából is kulcsszerepet játszik. A világ élelemellátásának nagy része öntözött termőföldekhez kapcsolódik, tehát a hatékony öntözés megtervezése is megköveteli a transzspiráció behatóbb ismeretét (Dingman, 2002).

Habár az evapotranszspiráció a hidrológiai ciklus egyik főkomponense, még nem kellően ismert (Wilson és Brown, 1992). Ennek megfelelően a párolgás számszerűsítése és modellezése kiemelkedő fontosságú, különösen a klímaváltozás-előrejelzések szempontjából, vagyis a további, elsősorban regionális szintű kutatások folytatása indokolt.

A disszertáció fő célja felfedni a klímaváltozás vízkörforgalomra gyakorolt hatásait az agrár és az erdészeti szektorban, tekintettel a Kárpát-medence specifikus éghajlati adottságaira. A fő cél elérése érdekében a legfontosabb feladatok a következők:

- Egy robosztus (kevés bemeneti paramétert igénylő) vízmérleg modell előállítása.

- Az alapmodell kalibrálása és validálása mért aktuális evapotranszpiráció adatokkal, a kiválasztott három különböző felszínborítású területre, amelyek a Kárpát-medence nyugati részén találhatóak.
- A kalibrált és validált vízmérleg-modell segítségével a vízmérleg párolgás és talajnedvesség komponenseinek előrejelzése a 21. századra, felhasználva 4 korrigált regionális klímamodell csapadék és hőmérséklet adatait.
- Különböző szárazság stressz indexek meghatározása a klímaváltozás növényzetre gyakorolt hatásainak számszerűsítéséhez.
- Megnövelt gyökérmélység hatásainak vizsgálata.

Alkalmazott módszerek

Három különböző felszínborítású kutatási terület került kijelölésre, amelyek a Kárpát-medence nyugati részén helyezkednek el. Egy erdős terület (Sopron közelében), egy vegyes növényzetű parcella (Mosonmagyaróvár határában), és egy mezőgazdasági terület (az úgynevezett Marchfeld Bécs mellett).

Thornthwaite-típusú havi időlépcsős modell leírása

Egy Thornthwaite típusú havi időléptékű vízmérleg-modell került felhasználásra 'R' szoftver segítségével (*R Core Team*, 2012). Az erdős terület és a vegyes parcella esetén a rendelkezésre álló idősor a 2000-2008 közötti, míg a mezőgazdasági terület esetén a 2004-2011-es időszakot fedte le. Bemeneti paraméterekként a havi átlaghőmérséklet (T_M) [°C] és az átlagos havi csapadékmennyiség (P_M) [mm] került felhasználásra.

A modellépítés első fő lépése a hőmérséklet alapú potenciális párolgás (PET) meghatározása volt, *Hamon* (1963) nyomán.

$$PET_H = 29,8 \cdot D \frac{e_m^*}{T_m + 273,2} \quad (1)$$

Ahol: D: naphossz [óra]; T_M : havi átlaghőmérséklet [°C]; e_m^* : telítési páranymás [kPa].

A következő lépés egy feltétel megadása volt:

$$H_a: P_M \geq PET_M \quad (2)$$

$$\text{akkor: } ET_M = PET_M \text{ és } SOIL_{M-1} = \min \{[(P_M - ET_M) + SOIL_{M-1}], SOIL_{MAX}\} \quad (3)$$

Ahol: PET_M [mm] a kalibrált havi potenciális párolgás. Ennek meghatározása a kalibráció része. ET_M [mm]: havi aktuális párolgás; $SOIL_M$ [mm]: átlagos havi talajnedvesség, amely a vegetáció számára hasznosítható talajnedvességet jelenti (nem a teljes fizikailag elérhető talajnedvességet). Utóbbi két paraméter képezi a disszertáció kimeneti paramétereit.

Az első $SOIL_{M-1}$ értéke $SOIL_{MAX}$ -ra lett beállítva. Tekintettel arra, hogy a modellezés nyugalmi időszakban kezdődött, ezért a maximális tárcapacitás feltételezése (vízzel telített talaj) helytálló. A kalibrálás előtti kezdeti gyökérmélység 1 méter volt.

$$SOIL_{MAX} = (\theta_{fc} - \theta_{pwp}) * z_{rz} \quad (4)$$

Ahol: θ_{fc} : szántóföldi vízkapacitás [dimenziómentes]; θ_{pwp} : hervadáspont [dimenziómentes]; z_{rz} : gyökérmélység (gyökérszóna vertikális kiterjedése) [mm].

A raktározott talajnedvesség, a párolgás számára szolgál készletként. Ennek megfelelően, ha a csapadék kisebb, mint a (kalibrált) potenciális evapotranszpiráció az adott hónapban:

$$P_M < PET_M \quad (5)$$

$$\text{akkor: } ET_M = P_M + SOIL_{M-1} - SOIL_M = P_M + \Delta SOIL \quad (6)$$

$$\Delta SOIL = SOIL_{M-1} - SOIL_M = SOIL_{M-1} * \left(1 - \exp \left(-\frac{PET_M - P_M}{SOIL_{MAX}} \right) \right) \quad (7)$$

ahol: $\Delta SOIL$: talajnedvesség változás [mm].

Modell kalibráció és validáció

A kalibrációhoz és validációhoz távérzékelési módszerekkel előállított, azaz valós méréseken alapuló aktuális párolgás térképeket (ET_{CREMAP}) használtam fel az erdős terület és a vegyes parcella esetén, míg egy gyepborítású liziméter aktuális evapotranszpiráció adatait (ET_{LYS}) a mezőgazdasági terület esetén (*Szilágyi et al., 2011; Nolz et al., 2016*).

Az erdős terület és a vegyes parcella esetén a teljes idősor első felét (2000-2005) a modell kalibrálására, míg a második felét (2006-2008) a modell validálására használtam. A mezőgazdasági terület esetén az eltérő idősort a következő két intervallumra bontottam fel: 2004-2008 és 2009-2011.

A kalibrációs adatbázis további két részre bontható: potenciális párolgás és aktuális párolgás kalibrációja.

Modell megbízhatóságának értékelése

A modell megbízhatóságának értékelésére az R^2 és a Nash-Sutcliffe koefficienseket (R_{NS}^2) alkalmaztam.

Előrejelzés

Az ET_M , $SOIL_M$ és $SOIL_{M,10\text{Percentile}}$ (a paraméter itt a talajnedvesség adatok 10. percentilis értéke alá eső minimum értékek átlagát jelenti) paraméterek jövőbeni alakulásához a bemeneti paramétereket a szegmentált regresszióból származó egyenletek, a kalibrált $SOIL_{MAX}$ értékek, valamint a regionális klímamodellekből származó T_M és P_M adatok jelentették. Az éghajlati modellek esetén a vizsgálati területekhez legközelebb eső koordináta adatai kerültek felhasználásra. Az alapul vett adatbázis a FORESEE, amely napi meteorológiai adatokat min/max hőmérsékleteket és csapadékot tartalmaz a 2015-2100-as időszakra (IPCC SRES A1B üvegházgáz kibocsátási forgatókönyv), valamint mért adatokat az 1951-2009-es időszakra (Dobor et. al., 2014).

Szárazság stressz

A szárazság stressz várható mértékét a relatív hasznosítható víz (REW) és talajnedvesség deficit (SWD) segítségével határoztam meg. A REW esetén akkor feltételezhető szárazság stressz, ha annak értékei az 50%-os határ alá esnek, míg az SWD esetén, az 50%-os határ fölé eső értékek jelentik a stresszt, mivel ez a paraméter deficitet fejez ki (Granier et al., 1999).

Gyökérmélység beállítása a mezőgazdasági terület esetén

A gyökérmélységének vonatkozásában két különböző modellfuttatást végeztem el a mezőgazdasági terület esetén. Az első, a statikus gyökérmélység, amely a liziméter szerkezetéhez igazodik. A második azon a feltételezésen alapszik, hogy a

növényzet a szárazság stresszhez úgy alkalmazkodik, hogy a fizikailag lehetséges legnagyobbra fejleszti a gyökérmélységét, amely egyúttal a talaj nagyobb tározókapacitásának feltárását is jelenti. Tekintettel arra, hogy a mezőgazdasági területen 1,4 méter mélységig a talaj textúrája homokos vályog, viszont alatta kis víztartó-képességű kavicsréteg van, ezért a gyökérmélység a második futtatás esetén 1,4 méterre lett beállítva.

A két modellfuttatáshoz kapcsolódóan meghatároztam a potenciális szárazság stressz értékét a $PET-SOIL_M$ képlet segítségével. A képletből adódóan a pozitív értékek jelentik a potenciális szárazság stressz.

Eredmények

Egy regionális célra optimalizált Thornthwaite típusú, havi időlépcsős vízmérleg-modell került kifejlesztésre, mint módszertani eredmény. A modell lehetővé teszi a talajnedvesség tározótér, és a gyökérmélység meghatározását, ugyanakkor bemeneti paraméterigénye csekély (havi hőmérséklet és csapadék).

A három vizsgálati területet, a potenciális (PET_H) és az aktuális párolgás (ET_M) kalibrációja szempontjából összehasonlítva elmondható, hogy minden esetben szignifikáns korrelációt sikerült létrehozni a $PET_{CREMAP/LYS}$ (mért párolgásértékek jó vízellátottságú hónapok esetén) és PET_H , valamint az $ET_{CREMAP/LYS}$ és ET_M között. Ez 0,85 feletti R^2 és R_{NS}^2 értékeket jelent minden esetben.

A validáció során, a modellezett ET_M értékek szignifikáns egyezést mutattak a mért adatokkal (ET_{LYS}/ET_{CREMAP}) összevetve. Minden kutatási területen 0,85 vagy afeletti értéket mutatottak az R_{NS}^2 értékei, így minden modell pontosnak tekinthető.

Az újrakalibrálás után a $SOIL_{MAX}$ értékei a következők voltak: 502,4 mm (erdős terület); 276,9 (vegyes parcella) és 142,4 mm (mezőgazdasági terület), míg a gyökérmélységek: 4,5 m (erdőterület), 2,5 m (vegyes parcella); 0,9 m (mezőgazdasági terület). Az erdős terület esetén a jelentősen nagyobb $SOIL_{MAX}$ oka a közel 100%-os erdőborítottság, mely nagyobb talajnedvesség tározótérrel is jelent. A mezőgazdasági terület esetén a második futtatásakor kapott $SOIL_{MAX}$ értéke 233,4 mm, amely a maximális (1,4 m-es) gyökérmélység segítségével lett meghatározva.

A négy regionális klímamoddellen alapuló előrejelzés rámutatott, hogy az ET_M értékek növekedése várható a 21. században mindhárom kutatási területen, amely konkrétan stagnálást jelent a század első felében, de határozott növekedést a század második felében. A legnagyobb növekedési ráta az erdős terület esetén várható +9% (+4,6 mm · hónap⁻¹), ez a mezőgazdasági területén +8% (+3,3 mm · hónap⁻¹), és +6%; (+2,7 mm · hónap⁻¹) a vegyes parcellán.

A $SOIL_M$ tekintetében az ET_M értékekkel szemben nagyobb különbségek tapasztalhatók. Az erdős terület rendelkezik a legnagyobb értékekkel, míg a mezőgazdasági terület a legkisebekkel. Csökkenés várható az erdős terület (-6%; -22,8 mm) és a vegyes parcella (-8%; -16,0 mm) esetén, viszont növekedés a mezőgazdasági területen (+13%; 8.4 mm).

A 10%-os percentilis minimum értékek a talajnedvességre vonatkoztatva ($SOIL_{M-10Percentile}$) kulcs információt szolgáltatnak a szárazság stresszre. $SOIL_{M-10Percentile}$ értékeinek tekintetében növekedés várható a 21. század végére, az erdős területen (+11%; +26,3 mm), viszont jelentős csökkenés a vegyes parcella (-29%; -31,8 mm) és a mezőgazdasági terület (-42%; -3,7 mm) esetében. A legutóbbinál az értékek a nullához közelítenek, amely a kicsi gyökérmélységből és éppen ezért a kis tározókapacitásból következik.

A párolgás, 21. századra vetített havi dinamikája szempontjából az értékek növekedése, különösen a nyári (vegetációs időszak) hónapokban, figyelhető meg. A nyári hónapokban a mezőgazdasági terület rendelkezik éves átlagban a legmagasabb ET_M értékekkel, de a havi csúcsok tekintetében az erdős területen a legmagasabb a párolgás. Az erdős területre kapott magasabb értékek oka az erdei vegetáció magasabb levélfelületi indexe, amely jelentősebb párologtató felületet biztosít. A maximumok számszerűen a következők: 115 mm · hónap⁻¹ (erdős terület); 105 mm · hónap⁻¹ (vegyes parcella); 100 mm · hónap⁻¹ (mezőgazdasági terület).

Az éves értékeléshez hasonlóan a $SOIL_M$ szezonális dinamikájában még jelentősebbek a kutatási területek közötti eltérések. Legmagasabb értékekkel és szezonális fluktuációval az erdős terület, míg legkisebvel a mezőgazdasági terület rendelkezik. A $SOIL_M$ szezonális értékeiben mindazonáltal értékcsökkenés tapasztalható a 21. század végére, amely elsősorban a vegetációs időszakot sújtja.

Az előzőekben leírtakból következik, hogy a szárazság stressz valószínűsége feltételezhetően növekszik a 21. század vége felé (2070/2100-as vizsgálati periódus), amely főleg a nyarat érinti. Ehhez kapcsolódóan a REW és a SWD értékek kerültek meghatározásra. A REW esetén csökkenő tendencia (romlás) mutatható ki az erdős területen (83%-ról 78%-ra), és a vegyes parcella esetén (78%-ról 71%-ra). Ez konkrétan 79 hónapot jelent az erdősterület, míg 104 hónapot a kevert parcella esetén, a 360 hónapból (30 év). A számadatokból tehát világosan látszik, hogy a REW ebben a két esetben nem esik a kritikus 50%-os határ alá. Ezzel szemben a mezőgazdasági területen viszont csökken a szárazság stresszes hónapok száma, de a REW értékek az 50%-os határ alatt maradnak (42%-ról 46%-ra (194 hónap)). Az SWD paraméter esetén, a pozitív értékek jelentik a szárazság stresszt, így ott – szemben a REW értékekkel –, az emelkedés nagyobb deficitet (stresszt) jelent. Ennek folyamán kijelenthető, hogy az erdős terület (9%; 34 hónap) és a vegyes parcella (24%; 91 hónap) esetén sem jelentős a szárazság stresszes hónapok száma a 21. század végére (2070/2100-as vizsgálati periódus). A mezőgazdasági terület esetén, az SWD tekintetében ugyan 58%-on való stagnálás tapasztalható a 21. század folyamán, de túllépi a kritikus 50%-os határt, ez 215 hónapot jelent a 350-ből. Mivel a vizsgált REW és SWD értékek nem fejezik ki a szárazság stressz szezonális alakulását, így további vizsgálat szükséges, amely a leírtak alapján a mezőgazdasági terület esetében indokolt.

A mezőgazdasági terület esetén a kiterjesztett gyökérmélységhez kapcsolódó futtatás került összehasonlításra a kalibrált gyökérmélységhez kapcsolódóval. A két futtatás eredményei alapján elmondható, hogy a 10%-os percentilis minimum értékek ($SOIL_{M_{10}Percentile}$) tekintetében a második, nagyobb talajnedvesség tározótérrel (nagyobb gyökérmélység) rendelkező futtatásnál voltak tapasztalhatóak a nagyobb értékek. A két futtatás közötti átlagos különbség 16 mm. Az ET_M értékei közül a legnagyobbak júniusban jelentkeztek, melyek konkrétan $95-100 \text{ mm} \cdot \text{hónap}^{-1}$ a statikus gyökérmélység (1. futtatás), míg $98-105 \text{ mm} \cdot \text{hónap}^{-1}$ a kiterjesztett gyökérszóna (2. futtatás) esetén. A legkisebb talajnedvesség értékek szeptemberben jelentek meg (1. futtatás: 12,5-25 mm; 2. futtatás: 50-60 mm). A legmagasabb talajnedvességek ellenben márciusban (nyugalmi időszak végén, a téli csapadékok után) tapasztalhatóak (115 mm és 165 mm), melynek oka az alacsony párolgásértékek.

A $PET_H - SOIL_M$ képletével számított potenciális szárazság stressz igazolta, hogy a 21. század végéhez közeledve, egyre nagyobb arányú stressz várható az első futtatás esetében, és elsősorban június és szeptember között jelentkezik (legnagyobb júliusban), amikor magas a párolgás, de alacsony a talajnedvesség. Az emelkedés konkrét értéke 50 mm a 21. század végére. A második futtatás esetében a gyökérmélység növelése révén egyáltalán nem várható potenciális szárazság stressz a 21. század folyamán.

A disszertáció egy nagyobb futó projekt (*Agrár.Klíma.2: VKSZ_12-1-2013-0034*) részét képezi. A projekt egy országos szintű kevés paraméterigényű, a vízmérleg elemeire vonatkozó előrejelző modell fejlesztését célozza meg, mely jövőbeni lehetőségként indokolja a kutatás folytatását és a modell továbbfejlesztését is egyúttal.

Tézisek

1. Egy új, regionális felhasználásra tervezett, egyszerűsített Thornthwaite típusú havi időlépcsős vízmérleg modell került kifejlesztésre, amelynek a kimeneti paraméterei az aktuális párolgás és a talajnedvesség. A modell lokálisan lett kalibrálva, aktuális evapotranszpiráció adatbázis segítségével, három különböző felszínborításra (erdős terület, vegyes parcella, mezőgazdasági terület). [1]

2. A kifejlesztett modell validálva lett mért aktuális párolgás adatokat felhasználva. A modell által számított párolgás értékek egyezést mutattak a mért adatokkal. A nash-sutcliffe modell hatékonysági koefficiens 0,88 volt az erdős terület, 0,89 a kevert parcella és 0,85 a mezőgazdasági terület esetén) [2].

3. 4 korrigált regionális klímamodell adatbázist alapul véve (IPCC SRES A1B kibocsátási forgatókönyv), a klímaváltozás a 21. századra feltételezhető hidrológiai hatásai mindhárom kutatási területen kiértékelésre kerültek. A vizsgálati területeket, a növényzet számára elérhető víz szempontjából összehasonlítva elmondható, hogy a legkedvezőbb eset az erdős területre, míg a legkedvezőtlenebb a mezőgazdasági területre lehet jellemző [2].

- Az aktuális párolgás átlagértékei növekedést mutatnak a 21. század végére (a 2070/2100-as vizsgálati periódust az 1985/2015-ös referencia periódussal összehasonlítva). A növekedés számszerűen 6-9%.

- A talajnedvesség átlagai tekintetében, a 21. század végére enyhe csökkenés mutatható ki az erdős terület (-6%) és a vegyes parcella (-8%) esetén, viszont növekedés a mezőgazdasági területre (+13%).
- A 10%-os percentilis minimum értékei tekintetében, a 21. század végére emelkedés várható az erdős terület (+11%), de számottevő csökkenés a vegyes parcella (-29%) és a mezőgazdasági terület (-42%) esetén.

4. Az aktuális párolgás és a talajnedvesség szezonális változásának alakulása került kiértékelésre a 21. század folyamán, mindhárom kutatási területen [2].

- Az aktuális párolgás 30 éves havi átlag értékei emelkedhetnek a 21. század vége felé, de szignifikáns eltolódás (10-15 mm · hónap⁻¹-os emelkedés), amely a 2070/2100-as vizsgálati periódusban feltételezhető, csak a nyári időszakban, különösen júniusban és júliusban jellemző.
- A talajnedvesség szezonális alakulásáról (30 éves havi átlagok) elmondható, hogy a 21. század végére csökkenő tendencia várható a vegetációs időszakban, ellenben stagnálás a nyugalmi időszakban. A minimum értékek jellemzően szeptemberben jelentkeznek mindhárom kutatási területen. Az éves talajnedvesség fluktuáció (a legmagasabb és a legalacsonyabb talajnedvesség értékkel rendelkező hónapok különbsége) és a talajnedvesség tárhatalom közötti arány a legkisebb az erdős terület esetén (30%), a legmagasabb a mezőgazdasági terület esetén (63%) tapasztalható, a 21. század végén.

5. A szárazság stressz analízis kimutatta, hogy szignifikáns szárazság stressz csak a mezőgazdasági terület esetén várható (aminek igazolásához a relatív hasznosítható víz és a talajvíz deficit paraméterek kerültek felhasználásra) [2].

- A relatív hasznosítható víz szempontjából a 21. századra történő előrejelzés értékei: 78% (erdős terület); 71% (vegyes parcella); 46% (mezőgazdasági terület). Ebből következik, hogy csak a legutolsó esetben jelentkeznek 50%-os határ alá eső értékek.
- A talajvíz deficit esetében, ahol a szárazság stressz az 50% feletti értékek esetén jelentkezik, az előrejelzés a következő értékeket mutatta: 9% (erdős terület); 24% (vegyes parcella); 58% (mezőgazdasági terület).

6. A kiterjesztett gyökérmélység hatásának vizsgálata rámutatott arra, hogy a mezőgazdasági terület vegetációja sikeresen lehet képes alkalmazkodni a vízhiányhoz, ha gyökérmélységét kiterjeszti a fizikailag lehetséges maximumig (1,4 méter). A vizsgálathoz a szerző potenciális stressz analízist alkalmazott, amit a statikus és a kiterjesztett gyökérmélységek szempontjából hasonlított össze.

- A statikus gyökérmélység esetén a szárazság stressz június és szeptember között jelentkezett, és növekedést mutatnak a 21. század végéhez közeledve. Körülbelül 40 mm-ről 60 mm-re emelkednek a szárazság stressz csúcscértékei és értékeltolódás tapasztalható júliusról augusztusra.
- A kiterjesztett gyökérmélység esetén szárazság stressz egyáltalán nem volt kimutatható.

Hivatkozások

- DINGMAN, S. L. (2002): *Physical Hydrology* (2nd edition), Prentice Hall, 646p.
- DOBOR, L., BARCZA, Z., HLÁSNY, T., HAVASI, Á., HORVÁTH, F., ITTZÉS, P., BARTHOLY, J. (2014): Bridging the gap between climate models and impact studies: The FORESEE Database, *Geosci Data J* 2:1-11. doi:10.1002/gdj3.22
- GRANIER, A., BREDÁ, N., BIRON, P., VILLETTE, S., (1999): A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands, *Ecological Modelling* 116 (1999) 269 – 283.
- IPCC (2014): *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp
- KOVÁCS, Á. (2011): Tő- és területi párolgás becslésének pontosítása és magyarországi alkalmazásai. PhD értekezés. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
- NOLZ, R., CEPUDER, P., EITZINGER, J. (2015): Comparison of lysimeter based and calculated ASCE reference evapotranspiration in a subhumid climate, *Theor Appl Climatol* (2016) 124: 315. doi:10.1007/s00704-015-1417-y
- SUN, G. K., ALSTAD, J., CHEN, S., CHEN, C. R., FORD, G., LIN, C., LIU, N., LU, S. G., McNULTY, H., MIAO, A., NOORMETS, J. M., VOSE, B., WILSKE, M., ZEPPEL, Y., ZHANG Z. (2011): A general projective model for estimating monthly ecosystem evapotranspiration. *Ecohydrol.* 4(2): 245-255
- SZILÁGYI, J., JÓZSA, J. (2008a): Klímaváltozás és a víz körforgása, *Magyar tudomány* 2008/6. pp. 698-703
- SZILÁGYI, J., KOVÁCS, A., JÓZSA, J., (2011): A calibration-free evapotranspiration mapping (CREMAP) technique, in *Evaporation*, INTECH, Rijeka, Croatia, ISBN 978-953-307-251-7.
- VÖRÖSMARTY, C.J., FEDERER, C.A., SCHLOSS, A.L. (1998): Potential evaporation functions compared on US watersheds: Possible implications for global-scale water balance and terrestrial ecosystem modeling, *Journal of Hydrology* 207 (1988) 147-169
- WILSON, B.N., BROWN J.W. (1992): Development and evaluation of dimensionless unit hydrograph, *Water Resource Bulletin*: 28: 397-408

Saját közlemények jegyzéke

Tudományos publikációk lektorált szakfolyóiratokban

A. Herceg, P. Kalicz, B. Kisfaludi, Z. Gribovszki: (2016): A Monthly-Step Water Balance Model to Evaluate the Hydrological Effects of Climate Change on a Regional Scale for Irrigation Design, Slovak Journal of Civil Engineering, Vol. 24, 2016, No. 4, 27 – 35, DOI: 10.1515/sjce-2016-0019 [1]

P. Csáki, M. M. Szinetár, A. Herceg, P. Kalicz, Z. Gribovszki: (2016): Climate Change Impact on the Water Balance – Case Studies in Hungarian Watersheds, Időjárás (*közlésre leadva*)

A. Herceg, P. Kalicz, B. Kisfaludi, Z. Gribovszki (2016): Egy Thornthwaite típusú vízmérleg modell az éghajlatváltozás hidrológiai hatásainak elemzéséhez, Erdészettudományi közlemények (*közlésre leadva*)

Lektorált konferencia-kiadvány

A. Herceg, B. Kisfaludi (2014): Development of a monthly water balance model for climate change analysis In: Kalicz Péter, Hlavcova Kamila, Kohnova Silvia, Gribovszki Zoltán (szerk.) HydroCarpath-2014, Catchment Processes in Regional Hydrology: Confronting Experiments and Modeling in Carpathian Drainage Basins. Konferencia helye, ideje: Pozsony, Szlovákia, 2014.10.27 (Nyugat-Magyarországi Egyetem) Sopron: Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, 2014. Paper 8. 7 p. (ISBN:978-963-359-036-2)

A. Herceg, P. Kalicz, B. Kisfaludi, Z. Gribovszki (2015): A Thornthwaite-type water balance model for the analysis of hydrological impacts from climate change, In: Zoltán Gribovszki, Kamila Hlavčová, Péter Kalicz, Silvia Kohnová, Gemma Carr (szerk.) HydroCarpath-2015, Catchment processes in regional hydrology: Linking experiments and modelling in Carpathian drainage basins. Konferencia helye, ideje: Bécs, Ausztria, 2015.10.29 (Nyugat-Magyarországi Egyetem) Sopron: Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, 2015. Paper 8. 11 p. (ISBN:978-963-334-268-8)

A. Herceg, P. Kalicz, R. Nolz, Z. Gribovszki (2016): Present and future seasonal water balance of three different surface cover types, In: Zoltán Gribovszki, Kamila Hlavčová, Péter Kalicz, Silvia Kohnová, Gemma Carr (szerk.) HydroCarpath-2016, Catchment Processes in Regional Hydrology: from plot to regional scales – monitoring catchment processes and hydrological modelling, Konferencia helye, ideje: Bécs, Ausztria, 2016.10.27. ISBN 978-963-334-296-1 [2]

Konferenciakötetekben megjelent összefoglalók, poszterek

A. Herceg, P. Kalicz, B. Kisfaludi, Z. Gribovszki (2015): A monthly water balance model for climate change analysis in Hungary, GEOPHYSICAL RESEARCH ABSTRACTS 17: Paper EGU2015-9419. 1 p. (2015) General Assembly. Bécs, Ausztria: 2015.04.12 -2015.04.17. (European Geosciences Union)

A. Herceg, Z. Gribovszki, P. Kalicz (2016): Analysis of plant available water in the context of climate change using Thornthwaite type monthly water balance model GEOPHYSICAL RESEARCH ABSTRACTS 18: Paper EGU2016-14119. 1 p. (2016) Bécs, Ausztria: 2016.04.17 -2016.04.22. (European Geosciences Union)

A. Herceg, P. Kalicz, B. Kisfaludi (2017): The significance of the interception in a Thornthwaite-type monthly step water balance model in context of the climate change, GEOPHYSICAL RESEARCH ABSTRACTS 19, Paper: EGU2017-12305-2, (2017) EGU General Assembly 2017. Bécs, Ausztria: 2017.04.23 -2017.04.28. (European Geosciences Union)

P. Kalicz, A. Herceg, Z. Gribovszki (2015): Monthly water balance model for climate change analysis in agriculture with R GEOPHYSICAL RESEARCH ABSTRACTS 17: Paper EGU2015-13055. 1 p. (2015), General Assembly. Bécs, Ausztria: 2015.04.12 -2015.04.17. (European Geosciences Union)

P. Kalicz, A. Herceg, Z. Gribovszki (2015): Development of a monthly water balance model for climate change analysis in R, In: Zoltán Gribovszki, Kamila Hlavčová, Péter Kalicz, Silvia Kohnová, Gemma Carr (szerk.) HydroCarpath-2015, Catchment processes in regional hydrology: Linking experiments and modelling in Carpathian drainage basins. Konferencia helye, ideje: Bécs, Ausztria, 2015.10.29 (Nyugat-Magyarországi Egyetem) Sopron: Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, 2015. Paper 11. 1 p. (ISBN:978-963-334-268-8)

P. Kalicz, A. Herceg, B. Kisfaludi, P. Csáki, Z. Gribovszki (2017): Canopy interception variability in changing climate, GEOPHYSICAL RESEARCH ABSTRACTS 19: Paper EGU2017-14894. 1 p. (2017) EGU General Assembly 2017. Bécs, Ausztria: 2017.04.23 -2017.04.28. (European Geosciences Union)

Könyvfejezet

Gribovszki, Z., Csáki, P., Herceg, A. (2014): Földhasználat változás visszacsatolás a klímára, hidrológiára In: Bidló A, Király A, Mátyás Cs (szerk.) Agrárklíma: az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti- és agrárszektorban. Sopron: Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, 2014. pp. 175-179. (ISBN:978-963-334-204-6)

Előadások

Herceg, A., Kalicz, P., Kisfaludi, B., Gribovszki, Z.: Havi vízmérleg alapú modell tesztelése, egy erdőszült kisvízgyűjtőn, a klímaváltozás hidrológiai hatásainak becslésére. Előadás helye: Sopron, Magyar Hidrológiai Társaság, Soproni Területi Szervezet. Előadás ideje: 2015.11.24

A. Herceg, B. Kisfaludi (2014): Development of a monthly water balance model for climate change analysis In: Kalicz Péter, Hlavcova Kamila, Kohnova Silvia, Gribovszi Zoltán (szerk.) HydroCarpath-2014, Catchment Processes in Regional Hydrology: Confronting Experiments and Modeling in Carpathian Drainage Basins. Konferencia helye, ideje: Pozsony, Szlovákia, 2014.10.27 (Nyugat-Magyarországi Egyetem) Sopron: Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, 2014. Paper 8. 7 p. (ISBN:978-963-359-036-2);

A. Herceg, P. Kalicz, B. Kisfaludi, Z. Gribovszki (2015): A Thornthwaite-type water balance model for the analysis of hydrological impacts from climate change, In: Zoltán Gribovszki, Kamila Hlavčová, Péter Kalicz, Silvia Kohnová, Gemma Carr (szerk.) HydroCarpath-2015, Catchment processes in regional hydrology: Linking experiments and modelling in Carpathian drainage basins. Konferencia helye, ideje: Bécs, Ausztria, 2015.10.29 (Nyugat-Magyarországi Egyetem) Sopron: Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, 2015. Paper 8. 11 p. (ISBN:978-963-334-268-8)

A. Herceg, P. Kalicz, R. Nolz, Z. Gribovszki (2016): Present and future seasonal water balance of three different surface cover types, In: Zoltán Gribovszki, Kamila Hlavčová, Péter Kalicz, Silvia Kohnová, Gemma Carr (szerk.) HydroCarpath-2016, Catchment Processes in Regional Hydrology: from plot to regional scales – monitoring catchment processes and hydrological modelling, Konferencia helye, ideje: Bécs, Ausztria, 2016.10.27. ISBN 978-963-334-296-1