

KLIMATIKUS, HIDROLÓGIAI ÉS ANTROPOGÉN HATÁSOK ÉRTELMEZÉSE FOLYÓ- ÉS ÁLLÓVIZEINK JÉGVISZONYAINAK ÉVSZÁZADOS VÁLTOZÁSÁBAN

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

KÉSZÍTETTE:
Takács Katalin

TÉMAVEZETŐ:

Dr. Nagy Balázs PhD, egyetemi docens

KONZULENS:

Dr. Kern Zoltán PhD, tudományos munkatárs

DOKTORI ISKOLA:

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar,
Földtudományi Doktori Iskola

VEZETŐJE:

Dr. Nemes-Nagy József DSc, egyetemi tanár

DOKTORI PROGRAM:

Földrajz-Meteorológia program

VEZETŐJE:

Dr. Szabó Mária DSc, egyetemi tanár

KUTATÓHELY:

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földrajz- és
Földtudományi Intézet, Természetföldrajzi Tanszék
Magyar Tudományos Akadémia, Agrártudományi Kutatóközpont,
Talajtani és Agrokémiai Intézet

Budapest, 2016

1. Bevezetés, célkitűzések

A hideg és a mérsékelt övezet folyóit és tavait gyakran borítja valamilyen formában jég a téli időszak során (Beltaos és Prowse 2009), így van ez a Kárpát-medencében is. A jég megjelenése, tartóssága szoros kapcsolatban áll a téli időjárási viszonyokkal, jól követi a hőmérséklet alakulását, így érzékeny indikátora az éghajlat változékonyságának (Prowse et al. 2007). Hamar felismerték, hogy a klímakutatás számára nagy lehetőség rejlik a hosszútávra visszatekintő történeti jégmegfigyelések elemzésében (Williams 1970), hiszen akár a műszeres megfigyelések előtti idők éghajlati változékonyságáról is szolgáltathatnak adatot (Korhonen 2006).

Napjainkban számos nemzetközi publikáció számol be arról, hogy az édesvízi jég megjelenésének és beállásának időpontja egyre későbbre, míg a felszakadásának és az eltűnésének időpontja egyre korábbra tolódik, ezzel együtt pedig az állójege és a jeges időszak is rövidül (Magnuson et al. 2000, Smith 2000, Hodgkins et al. 2002, Duguay et al. 2006). A jégjárás változás okai alapvetően a hőmérsékleti viszonyok változásában keresendők, a melegebb klíma és a gyakoribb enyhébb telek hatására a jégjelenségek gyakorisága csökken (EEA 2012). A jégjárást azonban nemcsak az éghajlati tényezők, hanem a meder morfológiai tulajdonságai és az antropogén beavatkozások (Brimley és Freeman 1997), – mint a folyószabályozás, vízerő hasznosítás vagy vízszennyezés – is befolyásolják. Ezek a hatások felerősíthetik vagy el is takarhatják a természetes trendeket a jégjárás változásban, ezért nem szabad őket figyelmen kívül hagyni az ilyen jellegű kutatásoknál (Takács et al. 2013).

A fentiek tükrében a dolgozat fő célkitűzései a következők:

1. Milyen változások zajlottak le a Kárpát-medence folyó- és állóvizeinek jégjárásában az elmúlt közel 150 évben?
2. Hogyan illeszkednek ezek a változások a lokális, a regionális vagy a globális szinten kimutatott eredményekhez?
3. A jégjárás-változás természetes okainak vizsgálata, milyen kapcsolat található a jégjárás és a téli hőmérséklet alakulása között?
4. Befolyásolták-e az emberi beavatkozások a vizsgált víztestek jégjárását, és kimutatható-e hatásuk?

5. A jégjárás adatok, történeti feljegyzések alkalmasak-e a műszeres megfigyelések előtti időszakok téli hőmérsékleti viszonyainak becslésére, hőmérsékleti rekonstrukcióra régiókban?

2. Módszerek

A jégjelenségek időbeli változásának vizsgálatát a Kárpát-medencén belül, néhány kiválasztott megfigyelő állomás adatai alapján végeztem el, melyek a Duna és a Rába magyarországi szakaszán (Komárom, Nagymaros, Budapest, Mohács, illetve Szentgotthárd, Körmend, Ragyogóhid, Árpás, Győr), a Dráva alsó szakaszán (Őrtilos, Barcs, Drávaszabolcs, Eszék) és a Balatonnál (Siófok) fekszenek.

A változásvizsgálat alapvetően lineáris regresszióval történt, így a változás mértéke a regressziós egyenes meredeksége alapján számítható. A trend szignifikanciájának ellenőrzése t-teszttel történt. A változás mértékét végül minden esetben százéves átlagban (nap/100 év) fejeztem ki. A trendszámítás ellenőrzésére Mann-Kendall trend tesztet (Mann 1945, Kendall 1975) is futtattam, amely egy nem paraméteres, monoton trend észlelésére kifejlesztett módszer és nem érzékeny az adathiányra (Futter 2003), ez esetben a változás mértéke Sen (1968) alapján számítható. A trendek időbeli változását pedig LOWESS (locally weighted scatterplot smoothing; Cleveland 1979) függvény illesztésével értékeltem.

A jégviszonyok és a léghőmérséklet (havi és többhavi hőmérsékleti átlagok) közötti összefüggés vizsgálata korreláció analízissel történt, mivel lineáris regresszióval jól jellemezhető a kapcsolat a jégjelenségek és a hőmérsékleti viszonyok között (Williams et al. 2004, George 2007). Az eredmények szignifikanciáját ez esetben is t-teszttel ellenőriztem.

Az antropogén beavatkozások jégjárásra gyakorolt hatásának kimutatása alapvetően kétféle módszerrel történhet. Az egyik módszer azon alapul, hogy természetes állapotban a folyók és tavak jégviszonyait alapvetően a hőmérsékletjárás határozza meg, ezért a jégjelenségek és a téli hőmérsékleti viszonyok között szoros kapcsolat található. Az emberi beavatkozások megzavarják a hőmérséklet és a jégviszonyok együtt járásának harmóniáját, tehát csökken a korrelációs együttható értéke. Így a teljes

adatsoron végigvezetett mozgó ablakkal vizsgálható a korrelációs kapcsolat szorosságának időbeli változása. Jelen munkában ehhez az eljáráshoz 31 éves időablakot alkalmaztam. A másik módszer akkor alkalmazható, amennyiben egy lényeges beavatkozás történt az adott folyószakaszon (pl. egy duzzasztó gát létesítése). Ez esetben a beavatkozás előtti és utáni időszak jégjárásának összehasonlításával vizsgálható az emberi hatás. Ahhoz, hogy az esetleges hőmérsékleti változások hatását ennél az elemzésnél kizárjuk, mind a beavatkozás előtti és utáni időszakból is azonos hőmérsékletű telek kiválasztása szükséges (Takács et al. 2013).

A jégmegfigyelési adatokon alapuló léghőmérsékleti rekonstrukcióra a szakirodalom alapján több lehetőség is rendelkezésre áll. Ezek közül a lineáris regressziós módszert alkalmaztam (Palecki és Barry 1986, Livingstone 1997, Mundelsee 2012), amely a jégjelenségek és a léghőmérsékleti paraméterek között fennálló lineáris kapcsolat alapján végzi a becslést. A lineáris regressziós modell kalibrálása az 1780–1875-ös időszak adatai alapján történt, kizárva az emberi beavatkozással terhelt időszakot.

3. Eredmények és következtetések

1. Változások a Kárpát-medence folyó- és állóvizeinek jégjárásában

A rendelkezésre álló, egyes esetekben közel 150 éves adatsorok alapján a dolgozatban vizsgált folyók (Duna, Dráva, Rába) és a Balaton hosszú távú jégjárásában változás mutatható ki. **Tézis 1: A vizsgált területen, az azonos éghajlati körülmények ellenére azonos irányú, de mégis eltérő mértékű trendek mutathatók ki a vizsgált folyószakaszok és a Balaton jégviszonyaiban:**

- Tézis 1/a: Jégmegjelenés dátuma: szignifikánsan későbbre tolódott, a változás mértéke a Duna és Dráva esetében 2–3-szor gyorsabb (20–30 nap/100 év és 16–27 nap/100 év), mint a Rábánál (4–12 nap/100 év) vagy a Balatonon (11 nap/100 év), ebből azt a következtetést lehet levonni, hogy a vizsgált területen a nagyobb vízhozamú folyók esetében gyorsabb a változás.
- Tézis 1/b: Beállás dátuma: mindegyik vizsgált víztest esetében későbbre tolódott (5–14 nap/100 év), de a változás nem szignifikáns,

és ez esetben nincs jelentős különbség a vizsgált folyók és a Balaton esetében tapasztalt trendekben.

- Tézis 1/c: Felszakadás dátuma: a folyók vonatkozásában korábbra tolódott, de a változás csak a Rába esetében szignifikáns, ahol a trend 1,5–2-szer nagyobb (13–27 nap/100 év), mint a Dunára (9–11 nap/100 év) vagy a Drávára (3–19 nap/100 év) vonatkozóan, tehát a kisebb vízhozamhoz kapcsolódik gyorsabb változás. A Balatonon gyakorlatilag nem mutatható ki változás az állójég felszakadásának időpontjában.
- Tézis 1/d: Jégeltűnés dátuma: minden vizsgált víztest esetében szignifikánsan korábbra tolódott. A trend nagyságára vonatkozóan csak enyhe különbség van. A nagyobb vízhozamú Dunán és Dráván kissé gyorsabb a jégeltűnés időpontjának korábbra csúszása (16–24 nap/100 év és 12–26 nap/100 év), a kisebb vízhozamú Rábához (10–16 nap/100 év) képest. A Balatonon fele olyan gyors a változás (8 nap/100 év), mint a folyók esetében.
- Tézis 1/e: Állójeges időszak hossza: a folyók mindegyike csökkenő trendet mutat, de ez a változás csak a Rába esetében szignifikáns. Az állójeges időszak rövidülése a Rábán a leggyorsabb (14–21 nap/100 év) a Dunához (7–15 nap/100 év) és a Drávához (9–21 nap/100 év) képest. Tehát nagyobb vízhozamú folyón kissé lassabb az állójeges napok számának csökkenése. A Balatonon gyakorlatilag nem változott az állójeges időszak hossza.
- Tézis 1/f: Jeges időszak hossza: szignifikánsan csökkenő trend tapasztalható minden vizsgált víztest esetében. A Dunán és a Dráván kissé gyorsabb a csökkenés (21–37 nap/100 év és 21–50 nap/100 év), mint a Rábán (19–30 nap/100 év), tehát nagyobb vízhozamhoz gyorsabb csökkenés kapcsolódik a jeges napok számára vonatkozóan. A folyókhoz képest a Balatonon 3–4-szer lassabb a változás (8 nap/100 év).

2. A jégjárás változás kontinentális és globális trendje

Az északi félgömb folyóinak és tavainak jégjárás-változásáról a nemzetközi szakirodalomban számos eredmény érhető el. **Tézis 2: A vizsgált víztestek jégjárás-változásának iránya egybevág az északi félgömb folyóin és tavain tapasztalható változásokkal, azonban a változás mértéke egyes esetekben eltér az átlagostól:**

- Tézis 2/a: Jégmegjelenés dátuma: a trendek mértéke az átlagoshoz közeli, kivéve a Duna (Mohács) és a Dráva (Eszék) esetében, ahol az átlagosnál 1,5–2-szer gyorsabb a jégmegjelenés dátumának későbbre tolódása.
- Tézis 2/b: Beállás dátuma: a változás mértéke az átlagoshoz közeli egy kivétellel, a Duna (Mohács) esetében az átlagoshoz képest közel kétszer gyorsabb a beállás dátumának későbbre tolódása.
- Tézis 2/c: Felszakadás dátuma: a trendek mértéke az átlagoshoz közeli, kivéve a Duna (Budapest) esetében, ahol 3-szor lassabb a felszakadás dátumának korábbra tolódása az átlagoshoz képest, a Balatonon pedig enyhe későbbre tolódás mutatható ki.
- Tézis 2/d: Jégtűnés dátuma: a változás mértéke az átlagosnál kissé lassabb, kivéve a Duna (Mohács) esetében, ahol egy kissé gyorsabb az átlagosnál a jégtűnés korábbra tolódása.
- Tézis 2/e: Állójeges időszak hossza: minden esetben az átlagosnál lassabban csökken.
- Tézis 2/f: Jeges időszak hossza: a változás mértéke az átlagoshoz közeli egy kivétellel, a Duna (Mohács) esetében az átlagoshoz képest kissé gyorsabb a jeges időszak rövidülése.

Tézis 3: A jégjárás-változás trendje és a víztestek földrajzi helyzete, illetve a hidromorfológiai tulajdonságai kapcsolatban állnak:

- Tézis 3/a: Földrajzi szélesség: minél magasabb földrajzi szélességen fekszik az adott víztest, annál lassabbak a változások. A jégmegjelenés későbbre tolódása és a jeges napok számának csökkenésére vonatkozóan a folyók és Európa esetén szignifikáns a kapcsolat a földrajzi szélességgel. Ázsia esetében azonban a beállás dátumának későbbre csúszására és az állójeges napok számának

csökkenésére vonatkozóan mutatható ki a szélességgel szignifikáns kapcsolat.

- Tézis 3/b: Földrajzi hosszúság: minél keletebbre, minél kontinentálisabb helyzetben található a víztest, annál lassabbak a változások. A felszakadás korábbra tolódása a tavak, míg a jeges napok számának csökkenése a folyók és Európa esetében mutat a földrajzi hosszúsággal szignifikáns kapcsolatot. Ázsiára vonatkozóan a beállítás dátumának későbbre csúszása és az állójeges napok számának csökkenése esetében szignifikáns a kapcsolat a hosszúsággal összevetve.
- Tézis 3/c: Tavak tengerszint feletti magassága: minél magasabban fekszik a víztest, annál gyorsabbak a változások a jégjárásban. Szignifikáns kapcsolat e tekintetben az állójég felszakadásának egyre korábbra csúszásának trendjével kapcsolatban mutatható ki.
- Tézis 3/d: Tavak vízfelszínének nagysága: minél nagyobb a tó vízfelülete, annál lassabb a változás a jégjárásban. Az állójeges időszak hosszának csökkenésére nézve Európában szignifikáns a kapcsolat a vízfelszín nagyságával.
- Tézis 3/e: Folyók vízhozama: minél nagyobb a folyó vízhozama, annál lassabbak a jégjárásban bekövetkező változások. Szignifikáns kapcsolat az állójeges napok számának csökkenése esetén mutatható ki a vízhozammal kapcsolatban.

3. A jégjárás változás és a léghőmérséklet kapcsolata

Az édesvízi jégviszonyokat alapvetően a léghőmérsékleti viszonyok irányítják. Az egyes jégjelenségek és a léghőmérséklet között különböző erősségű, de szignifikáns kapcsolat mutatható ki. A vízfolyások esetében nemcsak az észlelés környezetében, hanem a megfigyelő állomástól folyásirányban feljebb eső folyószakasz környezetének léghőmérsékleti viszonyai is meghatározók. **Tézis 4: A vizsgált víztestek jégjárása és a léghőmérséklet között, a doktori kutatás eredményei alapján, a Közép-Duna-völgy hidrológiai és éghajlati viszonyai mellett a következő statisztikailag szignifikáns kapcsolat mutatható ki:**

- Tézis 4/a: Jégmegjelenés: a november-decemberi, illetve decembéri középhőmérséklettel mutat közepes erősségű ($r=0,4-0,6$) kapcsolatot. A folyók esetében a jégmegjelenést az észlelési szakasztól folyásirányban felfelé eső szakasz környezetének léghőmérsékleti viszonyai befolyásolják.
- Tézis 4/b: Beállítás: szintén a november-decemberi, illetve a decembéri középhőmérséklettel mutatható ki közepes erősségű kapcsolat ($r=0,5-0,7$), ez kissé szorosabb, mint a jégmegjelenés esetében. A folyók beállítását az észlelés környezetében mérhető léghőmérsékleti viszonyok befolyásolják legnagyobb mértékben.
- Tézis 4/c: Felszakadás: a január-februári, a februári és a január-február-márciusi átlaghőmérsékletekkel áll közepes erősségű vagy szoros kapcsolatban ($r=-0,6- -0,8$). A felszakadást egyes esetekben a helyi léghőmérsékleti viszonyok, de nagyobbrészt a megfigyelt szakasztól folyásirányban feljebb eső területek léghőmérséklete határozza meg.
- Tézis 4/d: Jégeltűnés: a január-februári, a január-február-márciusi és a február-márciusi átlaghőmérsékletekkel van közepes erősségű ($r=-0,6- -0,7$) kapcsolatban. A jégeltűnés időpontját a folyóknál a megfigyelési szelvénynél folyásirányban feljebb eső terület léghőmérséklet-járása határozza meg.
- Tézis 4/e: Állójeges időszak hossza: szoros kapcsolatban ($r=-0,7- -0,8$) áll a januári, január-februári, illetve téli középhőmérséklettel. A folyókon észlelhető állójeges napok számát elsősorban a helyi léghőmérsékleti viszonyok, de egyes esetekben a folyásirányban feljebb eső területek léghőmérséklete határozza meg.
- Tézis 4/f: Jeges időszak hossza: szoros kapcsolatban ($r=-0,7- -0,9$) áll a téli középhőmérséklettel. Ahogy a jégmegjelenés és a jégeltűnés időpontját is az észlelési szakasztól feljebb eső területek léghőmérséklet-járása határozza meg, ugyanígy a jeges napok számának szempontjából is az a mérvadó.

4. Az emberi beavatkozások hatása a jégjárásra

Az édesvízi jégviszonyokat az éghajlati jellemzőkön kívül számos antropogén hatás is befolyásolhatja, megbontva a jég és a léghő között fennálló természetes kapcsolat erősségét, időbeli stabilitását. Az emberi beavatkozások felerősíthetik vagy eltakarhatják a jégjárásban bekövetkező természetes trendeket, attól függően, hogy a természetes hatásokkal azonos vagy ellenkező irányban befolyásolják a jégviszonyokat. **Tézis 5: A vizsgált folyók mindegyike esetében kimutathatók a jégviszonyokat leggyakrabban befolyásoló emberi beavatkozások – mint a folyószabályozás és csatornázás, vízerőhasznosítás, illetve a vízszennyezés – kisebb, vagy nagyobb mértékű hatása.** Tézisemet alátámasztó eredményeim:

- Folyószabályozás: a Duna budapesti szakaszának jégjelenségeit vizsgálva megállapítható, hogy a folyószabályozás előtti időszakhoz képest, a szabályozási munkálatok elvégzése utáni időszakban csökkent a jégmegjelenés és a beállítás gyakorisága és tartóssága.
- Vízerő-hasznosítás: a Rábán épült két törpevízerőmű (Körmend és Nick) jégjárásra gyakorolt hatását elemezve megállapítható, hogy a duzzasztás feletti folyószakaszon nőtt a jégmegjelenés és a beállítás tartóssága és gyakorisága az erőmű létesítését megelőző időszakhoz képest. A duzzasztás alatti szakaszon fekvő megfigyelő állomások környezetében pedig az erőmű építése óta csökkent a jégmegjelenés és állójég kialakulás gyakorisága és tartóssága. A Dráván is hasonló változások tapasztalhatók a jégjárásban, ugyanis az erőmű létesítését követően, a duzzasztás alatti folyószakaszon a jégjelenségek és a léghő hosszú távú kapcsolata alapján hosszabb jeles időszaknak kellett volna előfordulnia, mint amilyen a valóságban bekövetkezett, vagyis csökkent a jégjelenségek tartóssága.
- vízminőség-változás: a Duna budapesti szakaszánál kimutatható, hogy a vízminőség-változás hatására azonos tartósságú jégjelenség kialakulásához hidegebb léghőmérséklet szükséges. Tehát a jégjelenségek tartóssága csökkent, ahhoz az időszakhoz viszonyítva, amikor még kevésbé volt szennyezett a Duna vize.

5. Téli hőmérsékleti rekonstrukció lehetősége jégjárési adatok alapján

A jégjelenségek és a léghőmérséklet statisztikailag szoros és szignifikáns kapcsolatban állnak egymással, amely kapcsolat alapjai egyszerű és közismert fizikai törvényszerűségek. Ezért lehetőség van a jégviszonyokból a léghőmérséklet egyes paramétereinek alakulására következtetni. A dolgozatban a Duna budapesti jégmegfigyelései alapján a következő rekonstrukciós lehetőségek tesztelését végeztem el:

- A beállítás dátuma alapján meghatároztam a decemberi középhőmérsékletet.
- A felszakadás dátumából a január-februári átlaghőmérsékletre következtettem.
- A jégeltűnés dátumából megbecsültem a január-február-márciusi átlaghőmérsékletet.
- Az állójezes napok száma alapján meghatároztam a téli középhőmérsékletet.

Az eredmények biztatóak, hiszen a becsült léghőmérsékletek trendje jól követi a mért hőmérsékletek alakulását, azonban láthatóan van némi hátránya is a módszernek:

- A jégmentes telek esetében a léghőmérsékleti becslés nem ad értékelhető eredményt.
- A dolgozatban bemutatott budapesti jégmegfigyelési adatsor kevés olyan észlelési információt tartalmazott, ami a műszeres léghőmérséklet mérés kezdetét megelőző időszakra vonatkozott.

4. Irodalomjegyzék

- Beltaos, S., Prowse, T.D. 2009: River-ice in a shrinking cryosphere. *Hydrological Processes* 23, 122–144.
- Brimley, W.A., Freeman C.N. 1997: Trends in river ice cover in Atlantic Canada. *The 9th Workshop on River Ice*, 24–26 September 1997, Frederichton, NB, Canada
- Cleveland, W.S. 1979: Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *Journal of the American Statistical Association* 74(368), 829–836.
- Duguay, C.R., Prowse, T.D., Bonsal, B.R., Brown, R.D., Lacroix, M.P., Menard, R.D. 2006: Recent trends in Canadian lake ice cover. *Hydrological Processes* 20, 781–801.

- EEA 2012: Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. European Environmental Agency, Report No. 12/2012, 300 p.
- Futter, M.N. 2003: Patterns and trends in Southern Ontario lake ice phenology. *Environmental Monitoring and Assessment* 88, 431–444.
- George, D.G. 2007: The impact of the North Atlantic Oscillation on the development of ice on Lake Windermere. *Climatic Change* 81, 455–468.
- Hodgkins, G.A., James II, I.C., Huntington, T.G. 2002. Historical changes in lake ice-out dates as indicators of climate change in New England, 1850–2000. *International Journal of Climatology* 22, 1819–1827.
- Kendall, M.G. 1975: Rank correlation methods. 4th edition. Charles Griffin, London, UK.
- Korhonen, J. 2006: Long-term trends in lake ice cover in Finland. *Proceedings of the 18th IAHR International Symposium on Ice*, Sapporo, Japan, 71–78.
- Livingstone, D.M. 1997: Break-up dates of alpine lakes as a proxy data for local and regional mean surface air temperature. *Climatic Change* 37, 407–439.
- Magnuson, J.J., Robertson, D.M., Benson, B.J., Wynne, R.H., Livingstone, D.M., Arai, T., Assel, R.A., Barry, R.G., Card, V., Kuusisto, E., Granin, N.G., Prowse, T.D., Stewart, K.M., Vuglinski, V.S., 2000. Historical trends in lake and river ice cover in the Northern Hemisphere. *Science* 289, 1743–1746.
- Mann, H.B. 1945: Non-parametric test against trend. *Econometrica* 13, 245–259.
- Mundelsee, M. 2012: A proxy record of winter temperatures since 1836 from ice freeze-up/break-up in lake Näsijärvi, Finland. *Climate Dynamics* 38, 1413–1420.
- Palecki, M.A., Barry, R.G. 1986: Freeze-up and break-up of lakes as an index of temperature changes during the transition seasons: a case study for Finland. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 25, 893–902.
- Prowse, T.D., Bonsal, B.R., Duguay, C.R., Lacroix, M.P. 2007. River-ice break-up/freezing-up: a review of climatic drivers, historical trends and future predictions. *Annals of Glaciology* 46, 443–451.
- Sen, P. K. 1968: Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association* 63, 1379–1389.
- Smith, L.C., 2000. Trends in Russian Arctic river-ice formation and breakup, 1917 to 1994. *Physical Geography* 21(1), 46–56.
- Williams, G.P. 1970: A note on the break-up of lakes and rivers as indicator of climate change. *Atmosphere* 8(1), 23–24.
- Williams, G., Layman, K.L., Stefan, H.G. 2004: Dependence of lake ice covers on climatic, geographic and bathymetric variables. *Cold Region Science and Technology* 40, 145–164.

5. A dolgozat témájában megjelent saját publikációk

- Takács, K., Kern, Z., 2015. Multidecadal changes in the river ice regime of Drava River lower course. *Journal of Hydrology* 529, 1890–1900.
- Takács, K., Kern, Z., Nagy, B., 2014. Human impacts on river ice regime in the Carpathian Basin. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 16, EGU2014-981, EGU General Assembly 2014, Vienna, Austria, 27 April–2 May 2014.
- Takács, K., Kern, Z., Nagy, B., 2013. Impacts of anthropogenic effects on river ice regime: Examples from Eastern Central Europe. *Quaternary International* 293, 275–282.
- Takács, K., Nagy, B., 2011. Changes in river ice regime of the River Danube. In: Bálint, G., Domokos, M., (szerk.) XXVth Conference of the Danubian countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management. Budapest, Hungary, 16–17 June 2011. 104. p.
- Takács, K., Nagy, B., 2011. Changes in river ice regime in the Carpathian Basin. *Climate change in the Carpathian-Balkan region during the late Pleistocene and Holocene*, 1st International Workshop, Suceava, Romania, 9–12 June 2011. 47–48.
- Takács, K., Kern, Z., 2010. A jégviszonyok időbeli változása a Dráva alsó szakaszán 1876–2004. In: Kázmér M. (szerk.) *Környezettörténet 2010 Konferencia – Környezeti események a honfoglalástól napjainkig történelmi és természettudományi források tükrében*. Hantken Kiadó, Budapest. 87. p.
- Takács, K. 2010. Tél a tavon – A zsugorodó balatoni jégvilág. *A Földgömb* 12/3. 76–83.
- Takács, K. 2009. Jégjárásváltozás a Dráva alsó szakaszán 1876 óta. In: Kiss T. (szerk.): *Természetföldrajzi folyamatok és formák. – Geográfus Doktoranduszok IX. Országos Konferenciájának Természetföldrajzos Tanulmányai*, Szeged. 66–76.
- Takács, K. 2009. Ha a jég az úr: jeges árvizek a Dunán. *A Földgömb* 27/2. 60–69.
- Takács, K., Kern, Z., Nagy, B., 2008: Changes in river ice freeze-up and break-up dates of Dráva/Drava River over the 20th century. – 1st International Geographical Scientific Colloquium, Mostar–Zagreb–Budapest, Book of Abstracts. 44–45.
- Takács, K., Nagy, B., Kern, Z., 2008: Anthropogenic effects on river ice regime – river regulation, reservoir and water pollution. – 1st International Geographical Scientific Colloquium, Mostar–Zagreb–Budapest, Book of Abstracts. 46.