
HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY



A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG LAPJA • 99. ÉVF. 1. SZÁM • 2019
HUNGARIAN JOURNAL OF HYDROLOGY • VOL 99. NO 1. • 2019





Hidrológiai Közlöny

A Magyar Hidrológiai Társaság lapja
Megjelenik háromhavonként

Főszerkesztő:

Fehér János

Szakszerkesztők:

Ács Éva
Konecsny Károly
Nagy László

Szerkesztőbizottság elnöke:

Szöllősi-Nagy András

Szerkesztőbizottság tagjai:

Ács Éva, Baranyai Gábor, Bezdán Mária, Bíró Péter, Bíró Tibor, Bogárdi János, Csörnyei Géza, Engi Zsuzsanna, Fehér János, Fejér László, Fekete Balázs, Gampel Tamás, Gayer József, Hajnal Géza, Ijjas István, Istvánovics Vera, Józsa János, Kling Zoltán, Konecsny Károly, Kovács Sándor, Major Veronika, Melicz Zoltán, Nagy László, Rákosi Judit, Rátky István, Román Pál, Szabó János Adolf, Szilágyi Ferenc, Szilágyi József, Szlávik Lajos, Szolgay János, Szűcs Péter, Tamás János, Vekerdy Zoltán

Kiadó:

Magyar Hidrológiai Társaság
1091 Budapest, Üllői út 25. IV. em.
Tel: +36-(1)-201-7655
Fax: +36-(1)-202-7244
Email: titkarsag@hidrologia.hu
Honlap: www.hidrologia.hu
A Kiadó képviselője: Szlávik Lajos, a Magyar Hidrológiai Társaság elnöke

Hirdetés:

Gampel Tamás, a Magyar Hidrológiai Társaság főtájtára
1091 Budapest, Üllői út 25. IV. em.
Telefon: (1)-201-7655 Fax: (1)-202-7244 Email: fotitkar@hidrologia.hu

Indexed in:

Appl. Mech.; Rew. Chem.; Abstr.
Fluidex; Geotechn. Abstr.; Meteor /
Geostrophys. Abstr. Sei.; Water Res.
Abstr.

Index: 25374
HU ISSN 0018-1323

Tartalomjegyzék

SZAKCIKKEK

Ijjas István: Lehet-e integrált vízgazdálkodás intézményi integráció nélkül?	3
Lovas Attila és Nagy László: Az árvízvédelem küldetése	12
Kozák Péter: Szemelvények a vízgyűjtő-gazdálkodás magyarországi történetéből	21
Bolla Bence: Az erdei vízforgalom vizsgálata hagyományos és modern módszerek segítségével homokhátsági erdőkben	28
Gulácsi András és Kovács Ferenc: Radaralapú vizesélőhely-monitoring Sentinel-1 adatokkal	38
Koleszár Gergő, Fedor Noémi, Szabó Sándor: Limitáló tényezők a szubmerz és emerz hínárnövények versenyében	48
Nagy László: A Panama-csatorna új zsilipjei	53

TÖRTÉNELMI PILLANATKÉP

Fejér László és Kiss József Mihály: 100 éve történt – A Tanácsköztársaság tiszai árvize	63
---	----

NEKROLÓG

Vörös Ferenc – Szlávik Lajos és Fejér László megemlékezése .	68
Dr. Kovács Gábor – Szlávik Lajos, Kozák Péter és Fejér László megemlékezése	69
Takács Lajos – Szlávik Lajos, Bak Sándor és Fejér László megemlékezése	70

KÖNYVISMERTETÉS

Dobos Irma és Scheuer Gyula: Tanulmányok a hazai és külföldi hidrodinamikai rendszerekről	71
---	----



Hungarian Journal of Hydrology

Journal of the Hungarian Hydrological Society
Published quarterly

Editor-in-Chief:

János FEHÉR

Assistant Editors:

Éva ÁCS
Károly KONECSNY
László NAGY

Editorial Board Chairman:

András SZÖLLŐSI-NAGY

Editorial Board Members:

Éva ÁCS, Gábor BARANYAI, Mária BEZDÁN,
Péter BÍRÓ, Tibor BÍRÓ, János BOGÁRDI, Géza
CSÖRNYEI, Zsuzsanna ENGI, János FEHÉR,
László FEJÉR, Balázs FEKETE, Tamás GAMPEL,
József GAYER, Géza HAJNAL, István IJJAS,
Vera ISTVÁNOVICS, János JÓZSA, Zoltán KLING,
Károly KONECSNY, Sándor KOVÁCS, Veronika
MAJOR, Zoltán MELICZ, László NAGY, Judit
RÁKOSI, István RÁTKY, Pál ROMÁN, János
Adolf SZABÓ, Ferenc SZILÁGYI, József
SZILÁGYI, Lajos SZLÁVIK, János SZOLGAY,
Péter SZÜCS, János TAMÁS, Zoltán VEKERDY

Publisher:

Hungarian Hydrological Society
H-1091 Budapest, Üllői út 25., Hungary
Tel: +36-(1)-201-7655; Fax: +36-(1)-202-7244;
Email: titkarsag@hidrologia.hu
Web: www.hidrologia.hu
Represented by: Lajos SZLÁVIK, President
of the Hungarian Hydrological Society
Email: titkarsag@hidrologia.hu

Advertising:

Tamás GAMPEL, Secretary General of the
Hungarian Hydrological Society
H-1091 Budapest, Üllői út 25., Hungary
Phone: +36-(1)-201-7655. Fax: +36-(1)-202-7244
Email: fotitkar@hidrologia.hu

Indexed in:

Appl. Mech.; Rew. Chem.; Abstr. Flu-
idex; Geotechn. Abstr.; Meteor / Geo-
astrophys. Abstr. Sei.; Water Res. Abstr.

Index: 25374

HU ISSN 0018-1323

Contents

SCIENTIFIC PAPERS

- István IJJAS: Do we need institutional integration for IWRM? .. 3
- Attila LOVAS and László NAGY: Mission of the flood
control 12
- Péter KOZÁK: Excerpts from the history of river basin
management in Hungary 21
- Bence BOLLA: Surveying of the hydrological balance with
traditional and modern methods in sand ridge forest stands . 28
- András GULÁCSI and Ferenc KOVÁCS: Radar-based
wetland monitoring with Sentinel-1 data 38
- Gergő KOLESZÁR, Noémi FEDOR, Sándor SZABÓ:
Limiting factors in the competition of submerged and
emergent plants 48
- László NAGY: New locks on the Panama Canal 53

HISTORICAL SNAPSHOT

- László FEJÉR and József Mihály KISS: 100 years ago –
The flood of the Council Republic 63

OBITUARY

- Ferenc VÖRÖS – Commemoration by Lajos Szlávik and
László Fejér 68
- Dr. Gábor KOVÁTS – Commemoration by Lajos Szlávik,
Péter Kozák and László Fejér 69
- Lajos TAKÁCS – Commemoration by Lajos Szlávik, Sándor
Bak and László Fejér 70

BOOK REVIEW

- Irma DOBOS and Gyula SCHEUER: Studies on
hydrodynamic systems in Hungary and abroad 71

Radaralapú vizesélőhely-monitoring Sentinel-1 adatokkal

Gulácsi András*, Kovács Ferenc*

*SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem u. 2-6. (E-mail: guland@protonmail.com; kovacs@geo.u-szeged.hu)

Kivonat

A Duna-Tisza közti szikes tavak, vizes élőhelyek rendkívül szélsőséges vízellátottságú területek, melyek érzékenyek az éghajlatváltozás által indukált szárazodással szemben, ugyanis ezek nagyrészt a lehulló csapadékból kapnak vízutánpótlást. A legtöbb passzív műholdas szenzor a felhőborítás és az alacsonyabb időfelbontás miatt nem alkalmas vizesélőhely monitoringra. Most már hozzáférünk a Sentinel-1 műholdak C-sávú szintetikus apertúra radarjának (C-SAR) felvételeihez, amelyek ingyenes, közepes térbeli felbontású (10 m), nagy időbeli felbontású (6 nap) és a felhőborítástól független adatokat szolgáltatnak. A tanulmányban a Felső-Kiskunsági tavak területén (13 000 ha) vizsgáltuk a vizes élőhely jellegét alapvetően meghatározó felszíni vízborítás változásait 2014 októberétől 2018 novemberéig. Kidolgoztunk egy módszert a vízborítás detektálására, ami a radarképek automatikus osztályozásán alapszik. Az adatok feldolgozására a Google Earth Engine felhőplatformot használtuk, amit a műholdképek és egyéb földi megfigyelési adatok feldolgozására hoztak létre. Az osztályozáshoz a wekaKMeans-nek nevezett eljárást használtuk. A verifikáció során összevetettük az eredményül kapott vízborításokat más műholdas érzékelők – Landsat 8 és Sentinel-2 – adataiból számolt, módosított normalizált differenciált vízindex (MNDWI, Modified Normalized Difference Water Index) alapján meghatározott vízborításokkal. Az MNDWI alapján történő lehatárolás küszöbértékes osztályozással történt. A küszöbértékeket vevő működési karakterisztika (Receiver Operator Characteristics, ROC) eljárás segítségével kaptuk meg. Két teljesen különböző módszerrel és hullámhossz-tartományokon (radar/wekaKmeans, MNDWI/ROC) jól egybevágó eredményeket kaptunk, közepesen magas Spearman-féle korrelációs együtthatókkal ($\rho = 0,57-0,79$).

Kulcsszavak

Sentinel-1, radar, Google Earth Engine, vizes élőhelyek, belvíz, Homokhátság, klaszterelemzés.

Radar-based wetland monitoring with Sentinel-1 data

Abstract

Saline lakes and wetlands on the Danube-Tisza Interfluvium have large temporal fluctuations in water supply and are vulnerable to the climate change induced aridification, since they are recharged by precipitation only. Most passive satellite sensors are unsuitable for continuous wetland monitoring because of cloud cover and low temporal resolution. Now, we have access to Sentinel-1 C-band synthetic aperture radar (C-SAR) data which are free, cloud-independent, have moderate geometric (10 m) and high temporal (6 days) resolutions. In the study, we examined surface water cover changes from October, 2014 to November, 2018 in the Felső-Kiskunság lakes region (13,000 ha). We developed a method for water cover detection that is based on automatic classification of radar data. For data processing, we used the Google Earth Engine cloud platform which is created for the processing and analysis of satellite imagery and other environmental data in planetary scale. We applied the so-called wekaKMeans clustering algorithm for our data. As verification, we compared our results with water coverage calculated from modified normalized difference water index (MNDWI) derived from Landsat 8 and Sentinel-2 surface reflectance images. We used a threshold-based binary classifier on MNDWI data. The threshold limit for water cover was found by using the Receiver Operator Characteristics (ROC) method. By using two completely distinct methods operating in distinct wavelength ranges (radar/wekaKmeans, MNDWI/ROC), we yielded good matching results with moderately high Spearman's correlation coefficients ($\rho = 0.57-0.79$).

Keywords

Sentinel-1, radar, Google Earth Engine, wetlands, inland excess water, Homokhátság, cluster analysis.

BEVEZETÉS

Az éghajlatváltozás által indukált szárazodás a Duna-Tisza közén nagy hatással lehet az élővilág, a természetvédelem számára nagy értékkel bíró szikes tavainak, vizes élőhelyeinek szélsőséges vízellátottságára. Az elmúlt évtizedekben jellemző trendszerű folyamatok és egyre gyakoribb szélsőségek mellett a klímamodellek az aszályok növekvő gyakoriságát és erősségét prognosztizálják a Kárpát-medencében (*Mezősi és társai, 2016*). A hazai folyószabályozások és lecsapolások után a megmaradt vizes élőhelyek nem, vagy csak alig kapnak vízutánpótlást a folyókból, így a lehulló csapadékból táplálkozhatnak csupán. A csapadék éves eloszlásának változása, illetve különösképpen a tavaszi csapadékmennyiség szignifikáns csökkenése és a hőmérséklet-emelkedéssel járó fokozottabb párolgás a nyáron negatív hatással van a vízmérlegre (*Dawson és társai 2003, Erwin 2009*).

A tanulmány célja egy módszer kidolgozása a felszíni vízborítás minél részletesebb és minél nagyobb időfelbontású megfigyelésére a Sentinel-1 műhold C-SAR (C sávú szintetikus apertúra) radar felvételeinek segítségével. Ezzel minden eddiginél részletesebb betekintést kaphatunk a vizes élőhelyek vízborításában bekövetkező változásokba. Az így nyert vízborítási adatok segítségével képesek leszünk nyomon követni az időjárás által kiváltott, illetve az éghajlatváltozáshoz kötődő változásokat, ami a természetvédelmi tervezésben fontos információkat szolgáltat. Ezelőtt sajnos nem voltak elérhetők ingyenes, nagy időbeli (6 nap) és közepes (10-30 m) térbeli felbontású radarfelvételek, csupán a passzív műholdak multispektrális felvételei álltak rendelkezésünkre, amelyek kevésbé alkalmasak a monitoringra – főként a légköri zavaró hatások (aeroszol, felhőborítás, felhőárnyék) miatt –, így csupán hiányos idő-

sorok nyerhetők a felvételekből, mert a vízháztartás szempontjából fontos tavaszi időben sokszor felhős az ég. A radarok esetén azonban a mikrohullámok akadály nélkül áthatolnak még a vastag felhőzetben is.

A radarfelvételek feldolgozása a magas számítási igény és a sok feldolgozási lépés miatt nagyon hosszadalmas lenne. A 2010-es évektől színre lépett a felhő alapú számítástechnika, amelyet az egyre növekvő mennyiségű digitális adat („big data”) feldolgozásának a szüksége hívta életre. A felhő alapú szolgáltatások (cloud computing) a hálózaton keresztül érhetőek el. A szolgáltatásokat nem egy dedikált hardvereszközön üzemeltetik, hanem a szolgáltató eszközein elosztva, a szolgáltatás üzemeltetési részleteit a felhasználótól elrejtve. A szoftver és a kapcsolódó adatok központilag vannak tárolva (egy internet felhőben, esetünkben a Google szerverein), ugyanakkor a felhasználói hozzáférések egy vékony kliensen keresztül zajlanak. A Google Earth Engine egy ilyen felhő alapú platform, amit a műholdképek és egyéb földi megfigyelési adatok feldolgozására hoztak létre (Gorelick és társai 2017). Hozzáférést nyújt a Google képi adataihoz és biztosítja számítási teljesítményt és azokat a funkciókat, amik a képek feldolgozásához szükségesek. A JavaScript és a Python programozási nyelveken érhető el a Google Earth Engine API-ja (application programming interface, alkalmazás-programozási felület – ezen keresztül férünk hozzá az internet felhőhöz szkriptek futtatásával). Mi a webböngészőből elérhető JavaScript API-t használtuk.

A vizsgált vizes élőhely és vízháztartási kérdései

A Homokhátságban a talajvízszintek 1956-60-as kiinduló állapothoz képest az 1990-es évek közepéig átlagosan 2,5-3 métert süllyedtek (VITUKI 2006). A vízszintsüllyedés okainak keresésére és modellezésére számtalan tudományos kutatás folyt és folyik jelenleg is hazánkban (Rakonczai és Fehér 2015).

Szilágyi és Vörösmarty (1993) szerint az 1960. évi állapotból kiindulva az 1961-1987 között tapasztalható talajvízszint-süllyedést 70%-ban a rétegvíz-kitermelés, 15%-ban a kedvezőtlen időjárás és 15%-ban az erdőterületek növekedése okozta. Pálfai (1994) szerint: időjárás (csapadék és párolgás) – 50%; rétegvíz-kitermelés – 25%; talajvíz-kitermelés – 6%; területhasználatban bekövetkezett változások – 10%; vízrendezésben bekövetkezett változások – 7%; és egyéb tényezők (pl. szénhidrogén-bányászat, stb.) – 2%. Pálfai (2010) viszont az emberi és a természetes tényezők talajvízszint-süllyedésben játszott szerepét már rendre 1/3, illetve 2/3 részre teszi. Kohán (2014) szerint az 1970-es évek végéig elsősorban a klíma határozta meg a talajvízszintet, de 1980 után már a nem időjárási okok is jelentősen közrejátszottak a süllyedésben: szerinte a természetes tényezőkön felül az erdőtelepítések 53 cm-rel, a vízkitermelés pedig 70 cm-rel járulhatott hozzá az átlagos talajvízszint csökkenéséhez 1981-2010 között.

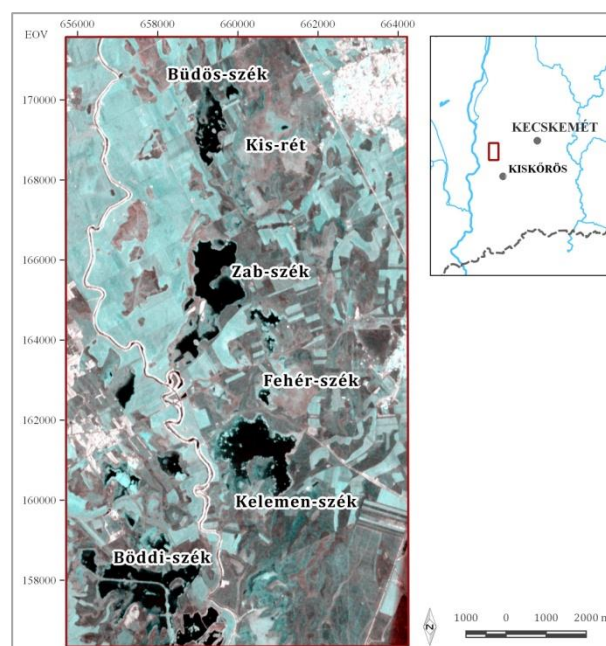
Duna-Tisza közén tapasztalható talajvízszint-süllyedés hátterében fő tényezőként a tavaszi csapadékhiány áll (Völgyesi 2006, Szanyi és Kovács B. 2009, Rakonczai 2013). Völgyesi I. (2006) a MODFLOW áramlásmodellező szoftver segítségével modellezte a Homokhátság vízháztartását és arra az eredményre jutott, hogy a talajvízszintek csökkenésében a legerősebb tényező az időjárás. A

magas térszínű területeken körülbelül 80 %-os súlyú. Körülbelül 13 %-os súllyal befolyásolják a magas térszínű területek talajvízszintjét az erdők. 5 % alatti szerepük van a belvízcsatornáknak. A víztermelés utolsó 10 évben történt változása pedig 2 %-nál is kisebb hatású.

ADAT ÉS MÓDSZER

A mintaterület

A mintaterületünk, az 1. ábrán látható Felső-Kiskunsági tavak, a Duna negyedkori árterületén helyezkedik el, amit egyrészt a hátság területén beszivárgó vizek feláramlási területeként, másrészt pedig a Kárpát-medence regionális áramlási rendszerébe illetve a mélységi vizek feláramlási zónák egyikének ismerünk (Erdélyi 1975, Tóth és Almási 2001, Mádlné és társai 2005, Szalai és társai 2010). Bár létezik gravitációs talajvízáramlás a magasabb hátsági területek felől a Duna-menti síkság felé, de ennek szerepe a Felső-Kiskunsági tavak vízellátásában másodlagos, elhanyagolható. Simon (2010) szerint a magasabb rendű áramlási rendszerek, a túlnyomásos és gravitációs rendszerek vizei közvetlenül nem csapolódnak meg a Kelemen-széknél és annak környezetében. Mennyiségileg nem befolyásolják a tó vízmérlegét, ugyanis a tó körül egy zárt áramlási cella található. A tavak vízmérlegét a lehullott csapadék és az evapotranszpiráció befolyásolja a mintaterületünkön. Valószínűsíthető, hogy a homokhátsági talajvízsüllyedés számottevő hatása nincsen a Felső-Kiskunsági tavak vízellátottságára, így a klimatikus hatások és az időjárás szerepe meghatározó.



1. ábra. A mintaterület a Felső-Kiskunsági tavak (Háttérkép: Sentinel-1 2014-2018 kompozitkép, RGB: VH/VV/VV)
Figure 1. The study area is the Felső-Kiskunság lakes (Background image: Sentinel-1 2014-2018 composite, RGB: VH/VV/VV)

Sentinel-1 radarfelvételezés és a vízborítás érzékelése

Igaz, hogy a radarfelvételezést a felhők nem befolyásolják, de az aktív távérzékelés nem teljesen független az időjárástól. A legsúlyosabb problémát a szél jelenti,

ugyanis a szélesség és a felszín érdessége között kapcsolat áll fenn: a szél hatására a vízfelszínen hullámok alakulnak ki, amelyek növelik a vízfelszín érdességét, nagyobb visszaverődést eredményezve a szenzor felé (Aldorf és társai 2007). Így a vízfelszín detektálásához ezt a problémát kezelni kell, ugyanis a szél a radarképen „elmoshat” bizonyos vízfelszíni elemeket (a vízfelszínre nagyon alacsony visszaverődés jellemző a mikrohullámú tartományban és ezt növeli meg a szél).

Más felszínek (pl. aszfalt, beton) is hasonló érdességgel bírnak, mint a vízfelszíné, ezért ezek is összetéveszthetők a nagyon hasonló vagy teljesen azonos visszaverődési értékek miatt. Bár e felületek kizárása („kimaszkolása”) könnyedén megoldható.

A C-sávú radarok (5 GHz frekvencia vagy 5 cm hullámhossz körül) a lágyszárú növényzettel borított vizes élőhelyeknél, míg az alacsonyabb frekvenciák (P-, L-sáv) az erdőborítás alatti elárasztás detektálására használhatók (Hess és társai 1990). Ennek az oka, hogy – az L és a P sávval ellentétben – a C-sávban a radar által kibocsátott mikrohullámú sugarak a lombzatról verődnek vissza, mivel a hullámhossz összemérhető a levelek méretével (Engman 1996, Lang és Kasischke 2008).

A felszíni vízborítás elkülönítésében a felszín érdessége játszik szerepet. Minél érdesebb a felszín, annál nagyobb a visszaverődés a radarantenna felé, és annál fényesebb jelenségként látszódik a felvételen. A vízfelszín a többi felszíntípushoz képest nagyon alacsony érdességgel bír, más szóval nagyon sima. A sima felületekről, a ferde megvilágítás miatt kevés energia szóródik vissza, a radarképek a szenzortól elfele irányba verődnek tovább, így nagyon sötét objektumokként tűnnek fel a képeken, így erős kontraszttal különül el a vízborítás. A vízborítást a tapasztalatok szerint -17-18 dB (decibel) vagy kisebb visszaverődési értékek jellemzik.

A vízborítás érzékelésére az azonos polarizáltságú (HH, VV) adatok alkalmasabbak. Legalkalmasabb a HH-polarizáció, de a VV szintén megfelelő választás (Kasischke és társai 1997, Bourgeau-Chavez és társai 2010). Bár azt is érdemes itt hozzátenni, hogy a kereszt-polarizált sávok is fontos információkat hordoznak, különösen, ha a felszínborítást akarjuk térképezni (Baghdadi és társai 2010), mert a különböző felszíntípusokat más visszaverődés jellemez a VV és a VH polarizáltságú sávokban.

Két poláris pályán keringő műholdon (a 2014 áprilisa óta üzemelő Sentinel 1A, és a 2016 áprilisa óta operáló Sentinel 1B) található oldalra pártázó C-SAR berendezés szolgáltatja az adatokat. A radar mind horizontálisan (H), mind pedig vertikálisan (V) polarizált mikrohullámokat bocsát ki, illetve fogad. A fő felvételezési mód az ún. Interferometrikus Szélessáv mód (Interferometric Wide Swath), ami egy 250 km-es sávban történő felvételezést jelent. Geometriai felbontás: 20 m * 22 m, amit 10 m-re mintáznak át. A szárazföld felett VH és VV polarizáltságú sávokban készül a műholdkép. A vetületi rendszer WGS84. Az időfelbontás 6 nap (Torres és társai 2012). A Level-1 Ground Range Detected (GRD) adatokat használtuk.

Az adatok feldolgozása a Google Earth Engine-nel

Az Earth Engine adatbázisa már előfeldolgozott radarképeket tartalmaz. Az alábbi előfeldolgozási lépéseket végezték el a Sentinel-1 Toolbox szoftver implementációja alapján (Google Earth Engine Team 2015):

1. Pályaadatokkal való korrekció;
2. Háttérzaj eltávolítása (a kép szélein látható sötét sávok érvénytelen adatokkal);
3. Radiometrikus kalibráció: visszaverődés intenzitásértékeinek (ún. szigma értékek, σ^0) számítása a szenzoros kalibrációs paraméterek alapján;
4. Domborzati korrekció: az adatok felszíni tartományba (GRD, Ground Range Detected) konvertálása az SRTM DEM alapján;
5. A mértékegység nélküli visszaverődési együttható (σ^0) dB-be konvertálása ($10 \cdot \log_{10} \sigma^0$);
6. Az értékek leszorítása az 1. és a 99. percentilis értékére, 16 bitbe kvantálás.

A további feldolgozási lépéseket nekünk kellett elvégezni a Google Earth Engine-ben. Először is normalizálni kell a visszaverődési értékeket a mikrohullámok beesési szögével, az ún. koszinusz korrekció segítségével (Ulaby és társai 1982). Ez nélkülözhetetlen lépés, ugyanis a kicsi beesési szögek nagyobb visszaverődést, míg a nagyobb szögek kisebb visszaverődést eredményeznek. A beesési szögekből származó eltérések nem csak egy képen belül jelentkeznek, hanem különböző szenzorok esetén, valamint eltérő felvételezési geometriák, más műholdpályák esetén is (emelkedő és süllyedő pályák). Ez nagy beesési szög varianciát okoz a különböző időben készült felvételekben. A normalizáció nélkül ezek nem hasonlíthatók össze (Weiß 2018).

Másodszor: A szeles időben készült radarképeket ki kellett zárunk a vizsgálatból, hogy kiküszöböljük a szél általi felszíni érdesség hatásokat (Elyouncha és társai 2015). A 12 m/s feletti szélességű területeket kizártuk. Erre a célra rendelkezésre álltak a „CFSV2: NCEP Climate Forecast System Version 2, 6-Hourly Products” 20 km felbontású klimatológiai adatok (Saha és társai 2011), melyekből kinyerhetjük a szélességet (a „v” és az „u” komponensek felhasználásával). A szélesség-adatok a felszín felett 10 méterre vonatkoznak.

A következő lépés volt a tükresztűrés (speckle filtering), amire az általánosan használt Finomított Lee szűrőt (Lee 1980 és 1981) alkalmaztuk, amihez rendelkezésre állt egy kész szkript a Google Earth Engine-ben (Yommy és társai 2015). Ezzel jelentősen lecsökkenthetjük a radarképeken megfigyelhető, a sugárforrás által kibocsátott és a visszaverődő radarképek között fellépő interferencia okozta szemcsés zajt.

Az utolsó lépés a vizsgált időszakra vonatkozó átlagképek számítása volt. Havi léptékben vizsgálódunk, de természetesen lehet más időszakra is átlagolni. Ez a lépés kiküszöböli az egyszeri felvételezéssel jelentkező hibákat. Külön készítettünk átlagképet az emelkedő pályán (tehát amikor a műhold az Egyenlítő felől halad a sarkok felé) és a süllyedő pályán (északról délre) készült felvételekből. Tehát ugyanarra a hónapra 2 különböző átlagkép készül,

mindegyik átlagosan 4-5 szélsőséges időben készült felvételtől készült. Ha csak egy megfelelő felvételünk volt, akkor azt az egy képet használtuk az átlagképek helyett.

A korrigált adatok automatikus osztályozása és a statisztikák számítása

Az úgynevezett wekaKMeans klaszterezési algoritmust használtuk, ami egy továbbfejlesztett kmeans típusú kemény osztályozás (Arthur és Vassilvitskii 2007). Az osztályközepektől való eltéréseken alapul, csakúgy, mint az ISODATA algoritmus. A wekaKMeans a kezdeti osztályközepeket véletlenszerű mintákból számítja. Távolság függvénynek az euklideszi távolságot használtunk. A kiemelt klaszterek számát 15-re állítottuk és a VV és a VH sávot is felhasználtam az osztályozásnál.

A tapasztalatok szerint a -17-18 dB körüli vagy alacsonyabb klaszterközéppel rendelkező osztályok vízborítást jeleznek. Szélsőséges időben alacsonyabb, szeles időben magasabb értékek jellemzőek. Az eredményeket a felhasználónak kell értelmeznie. Ez a lépés nem automatizálható.

Miután meghatározásra kerültek a nyílt vízborítást jelző osztályok, újraosztályoztuk az osztályozott képet az alábbiak szerint:

- vízborítás: 1
- nincs vízborítás: 0

Az utolsó lépésként pedig az újraosztályozott kép alapján kiszámítottuk a nyílt vízzel borított terület nagyságát.

A statisztikai elemzéseket (lineáris regresszió, korrelációs számítás) és a diagramokat az R szoftver segítségével készítettük el. A statisztikai kapcsolatok kiértékelésekor Pearson-féle (R-érték) és Spearman-féle (ρ -érték) korrelációkat számoltunk, valamint szignifikancia tesztet is végeztünk.

A verifikációhoz a Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) és a Sentinel-2 MultiSpectral Instrument (MSI) légkör teteji reflektancia értékekből számolt vízindexet használtunk (Gulácsi 2017). Csak felhőmentes képeket használtunk. A különböző szenzorok összehasonlítása igazolja az eredményeket. A Landsat adatok geometriai felbontása 30, míg a Sentinel-2 adatoké 20 méter. A normalizált differenciált vízindexek (MNDWI, Modified Normalized Difference Water Index) gyakran használatosak a felszíni vízborítás detektálására (McFeeters 1996, Xu 2006, Li és társai 2013, van Leeuwen és társai 2017). Xu (2006) szerinti vízindex a legpontosabb: $MNDWI = (G - MIR) / (G + MIR)$, ahol G a látható zöld hullámhossz-tartomány műholdkép sávja, MIR (middle infrared): ez a középső infravörös sáv (központi hullámhossz: 2,1 μ m).

A vízindex értékeket az úgynevezett „vevő működési karakterisztika” (Receiver Operator Characteristics, ROC) módszer segítségével osztályoztuk (Gulácsi 2017). Ez egy küszöbértékes eljárás, melynek lényege, hogy a különböző küszöbértékek esetén megvizsgáljuk, hogy egy bináris osztályozónak mekkora az igaz pozitív aránya (tehát amikor helyesen vízborítást jelez az osztályozó) és a hamis pozitív aránya (téves vízborítás detektálás). Mi azt az osztályozót (és a hozzá tartozó küszöbértéket) keressük, aminél az igaz pozitív aránya a lehető legmagasabb, míg a hamis

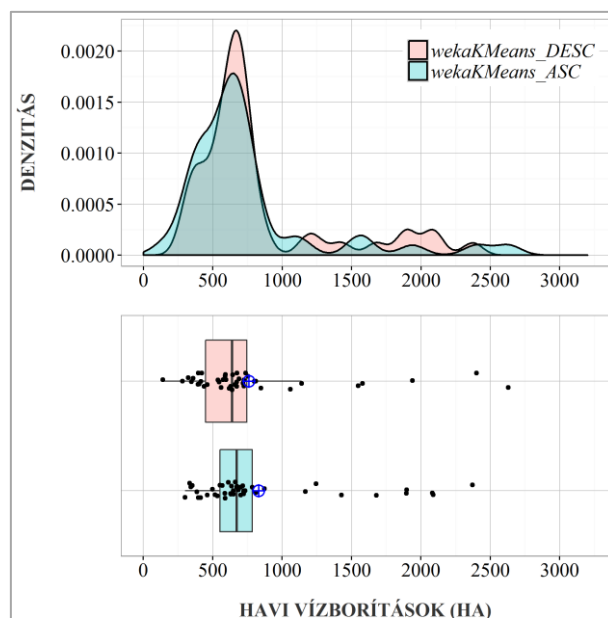
pozitív arány a legkisebb. Ehhez referenciaként felhasználtam két időpontban egy-egy elérhető Pléiades és WorldView-3 nagy felbontású műholdképet (a Google Earth adatbázisából). A Landsat 8 esetén a 0,625 vagy nagyobb, míg a Sentinel-2 esetén 0,57 vagy nagyobb indexértékek jeleznek vízborítást. Ez alapján osztályoztuk a képeket és megkaptuk a vízborításokat.

EREDMÉNYEK

Havi vízborítások számítása

A nagy természetes változékonyság miatt kihívást jelent a felszíni vízborítás gyakoriságában és tartósságában bekövetkező változások kimutatása. Néhány az átlagosnál nedvesebb évben felélednek az egykori medermaradványok és feltöltődnek a tavak, azonban a legtöbb évben ezek nagy része, a nagy tavakat leszámítva, teljesen szárazon marad.

A vízborítások havonkénti számításakor külön ábrázoltuk a csak emelkedő és a csak süllyedő pályán készült felvételek szerinti eredményeket (2. ábra). A havi vízborítás értékek 50%-a az 500-1000 ha közötti tartományban mozog. Ha 1000 ha-ig tekintjük az értékeket, tehát nem vesszük figyelembe a kiugró értékeket, akkor ránézésre viszonylag normál eloszlású a minta, többé-kevésbé haranggörbét ír le. A tél végi, vagy tavaszi vízborítási csúcsok kiugró értékei miatt nagy a különbség a medián és az átlag érték között. Az éves minimum borítások az augusztus-október közötti időszakban jelentkeznek. A tavaszi maximum és a nyár végi minimum borításértékek között többszörös a különbség.



2. ábra. A havi vízborítások sűrűségfüggvénye (fent) és az adatok ábrázolása dobozdiagramon (lent)

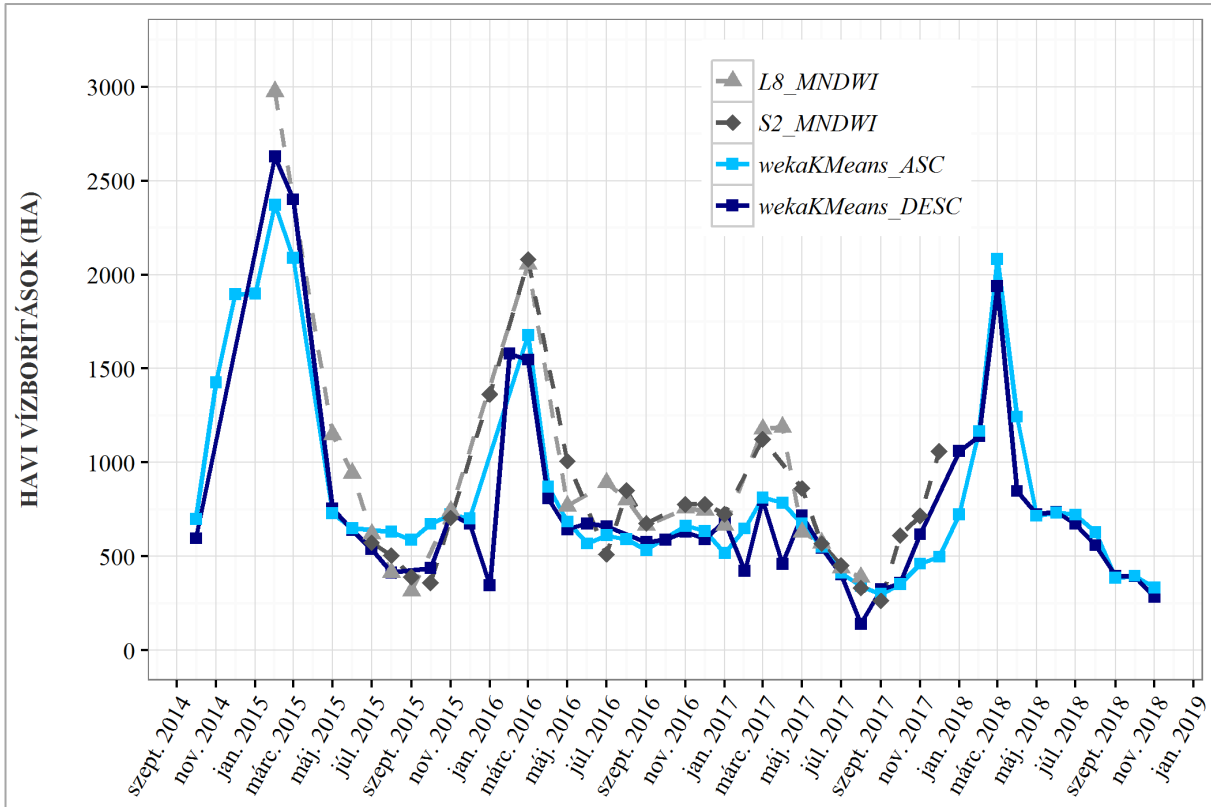
(Megjegyzés: wekaKMeans_DESC – a süllyedő pályán készült képekre végzett wekaKMeans osztályozás alapján nyert vízborítások; wekaKMeans_ASC – hasonló eljárás az emelkedő pályán készült képekre. A kék célkeresztek a számtani átlagokat jelölik.)

Figure 2. Density function (top) and box plot (bottom) of the monthly water coverage

(Note: wekaKMeans_DESC – water coverage yielded from the classification of images captured on descending path; wekaKMeans_ASC – the same procedure for ascending path. The blue cross-hairs represent arithmetic averages.)

2016 és 2017 esetén a tavaszi csúcs kevésbé volt markáns a többi évhez képest. Ami még érdekesség lehet, hogy a nedvesebb években is az 500-1000 ha közötti tartományba esik vissza a felszíni vízborítás, hiába magasabb a tavaszi csúcs. A feltöltődés elmaradásának hatását jól mutatják a 2017. nyári – az adatsor legalacsonyabb – értékei, mivel a 2016. évi alacsony tavaszi maximum értékeket

2017-ben is alacsony tavaszi maximum követte (3. ábra). A vizsgált időszak (2014 októbere és 2018 novembere között) átlagos vízborítása a süllyedő pálya esetén 529 ha (253 db radarfelvétel alapján) és az emelkedő pálya esetén 633 ha-nak adódott (300 db felvétel alapján). Az 1. ábrán a süllyedő pálya átlagképe látható. Az összes feldolgozott radarkép száma 553 db volt.



3. ábra. A havi vízborítások időbeli alakulása 2014 októbere és 2018 augusztusa között a Sentinel-1 (emelkedő és süllyedő pályák), a Sentinel-2 és a Landsat 8 adatok alapján

Figure 3. Monthly Sentinel-1 (both ascending and descending path), Sentinel-2 and Landsat 8 water cover time series between October 2014 and August 2018

A vizsgált időszakban 2015 februárjában volt a legnagyobb a víz kiterjedése: 2628 ha (a süllyedő pálya esetén) (3. és 4. ábra). Ez augusztusra kevesebb, mint 1/6-od részére, 415 ha-ra zsugorodott össze. 2016-ban a csúcs 1579 ha, 2017-ben 800 ha, míg az idén 1938 ha volt. Mindegyik márciusban. A minimum érték 575 ha volt 2016 szeptemberében, 141 ha 2017 augusztusában és 283 ha 2018 novemberében (a decemberi adat még nincs meg). Tehát a 2015-2017 közötti éveket tekintve rendre 6,3-szeres, 2,7-szeres, 5,7-szeres, illetve 6,8-szeres különbség adódik. Ez a szélsőséges változékonyság egybevág a mintaterületen végzett korábbi, Landsat műhold alapú kutatásokkal (Kovács 2009).

Nem mutatható ki statisztikailag szignifikáns különbség az emelkedő és süllyedő pályán készült felvételek alapján számolt havi vízborítások között (Pearson-féle R-érték 0,96), bár ennek ellenére vannak jelentősebb eltérések! Az esetek 24%-ában (8) 15 ha alatti, 56%-ában (19) 50 ha alatti, míg az esetek 44%-ában (15) 100 ha feletti az eltérés. 4 esetben 300 ha-nál nagyobb az eltérés. Például 2015 februárjában és márciusában 257, illetve 312 ha különbség volt a havi vízborítások között emelkedő, illetve süllyedő pálya esetén. Az összes eltérés átlaga: 110 ha. Mivel havi átlagokat képezünk, ezért nem mindegy, hogy a

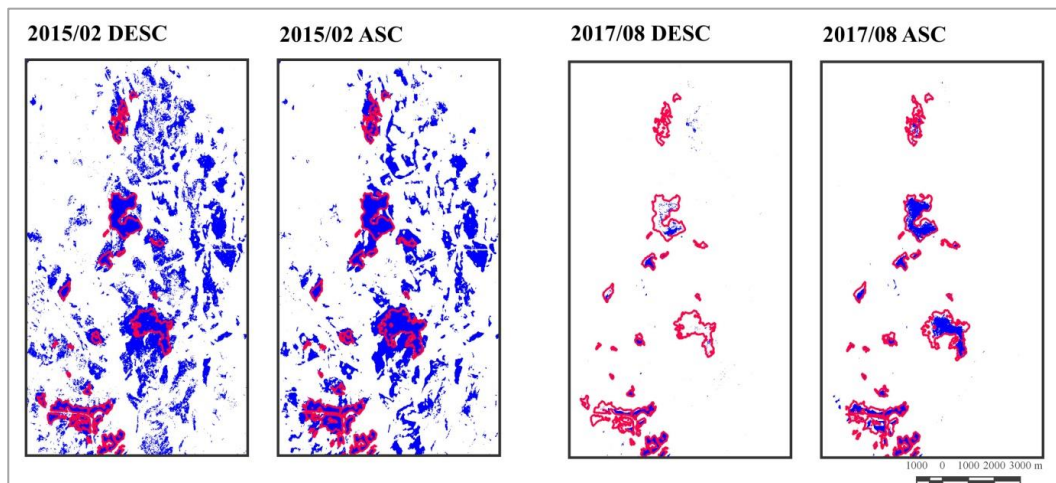
hónap mely részéről vannak felvételeink és mennyi kép állt rendelkezésre, a hónapban mely napokon fújt a szél. A vízborítás még egy hónapon belül is változhat, így az eltérő időben történő felvételezések eltéréseket okozhatnak. Néhány hónapban több adatot ki kellett zárni a szeles idő miatt: a süllyedő pálya esetén ilyen volt 2014 novembere és decembere, 2015, januárja, áprilisa és szeptembere, 2016 augusztusa és 2017 decembere, míg az emelkedő pálya esetében 2015 áprilisa és júliusa, 2016 januárja, februárja és októbere.

Verifikáció az MNDWI vízindex adatokkal

A verifikációhoz az összes elérhető felhőmentes Landsat 8 (21 db) és Sentinel-2 (23 db) műholdképet felhasználtuk. Rendre 21, illetve 23 adatpontunk van, amire lineáris regressziót számoltunk (5. ábra). Statisztikailag szignifikáns kapcsolatokat ($p < 0,001$ és $p < 0,01$ szinteken) tárt fel az elemzés, magas és közepes korrelációkkal. A Sentinel-2 adatokkal való kapcsolat viszont lényegesen gyengébb volt a Landsat 8-hoz képest. A Pearson-féle korrelációk 0,79-0,96 közöttiek, míg a Spearman-féle rangsor alapú korrelációk jelentősen alulmaradnak: 0,57-0,79 (1. táblázat). A nagy befolyású adatpontok a csúcsvízborítás-értékek miatt a minta nem normál eloszlású, ezért a nem-

parametrikus Spearman-féle korreláció a mérvadó, ugyanis az robosztus, nem igényli a normál eloszlást, ami esetünkben egyáltalán nem teljesül. Az eredményekből egyértelmű, hogy valós kapcsolat áll fenn a radar és az MNDWI alapján kapott vízborítások között, ennek ellenére lehetnek nagyobb eltérések a havi vízborításokban,

tehát jelentős bizonytalanság terhelheti az eredményeket. Nem nélkülözhetők a terepi felmérések, drónfelvételek. Sajnos a radar alapú távérzékelés sem mentes a hátrányoktól, bár sokkal teljesebb képet nyerhetünk vele a vizes élőhelyek vízborításbeli változásairól, mint például korábban, a Landsat felvételek alapján.



4. ábra. Vízborítás-térképek: a 2015. februári csúcs- és a 2017. augusztusi minimális vízborítások (Megjegyzés: DESC – süllyedő pálya; ASC – emelkedő pálya. Piros vonalakkal jelöltük a legnagyobb vízfelszíneknek/tavaknak a teljes vizsgált időszakra vonatkozó átlagos határát.)

Figure 4. Water cover maps: the peak coverage at February, 2015, and the minimum coverage at August, 2017 (Notes: DESC – descending path; ASC – ascending path. We depicted the average boundary of the largest water patches for the examined period as red lines.)

1. táblázat. A lineáris regresszióhoz tartozó Pearson- és Spearman-féle korrelációs együtthatók
Table 1. Pearson's and Spearman's correlation coefficients for the linear regressions

Statistikai kapcsolatok	Lineáris regresszió	
	Pearson-féle R-érték	Spearman-féle ρ -érték
wekaKMeans_DESC ~ L8_MNDWI	0,95**	0,70**
wekaKMeans_ASC ~ L8_MNDWI	0,96**	0,79**
wekaKMeans_DESC ~ S2_MNDWI	0,79**	0,65*
wekaKMeans_ASC ~ S2_MNDWI	0,85**	0,57*

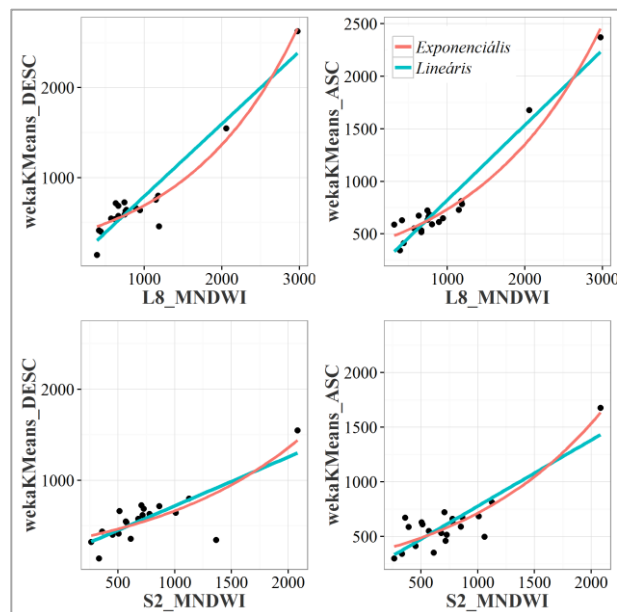
Megjegyzés: * szignifikáns 1%-os szinten, $p < 0,01$.; ** szignifikáns 0,1%-os szinten, $p < 0,001$.

Note: * significant at 1 percent level, $p < 0,01$.; ** significant at 0.1 percent level, $p < 0,001$.

KÖVETKEZTETÉSEK

Nincsen jelentős különbség az emelkedő vagy süllyedő pályán vételezett adatok között, a 3. ábrán a görbék jól együtt mozognak, kivéve néhány hónap esetén, a rossz képminőség miatt. 2017 februárjában, áprilisában és augusztusában a süllyedő pálya esetén, amikor egy hónapra lezuhantak a vízborítás-értékek, majd visszaálltak az emelkedő pálya szintjére. 2017 februárjában a süllyedő pálya esetén 5, míg az emelkedő pálya esetén 10 kép állt rendelkezésre; a szélességek rendre 5,9 és 8,9 m/s voltak. 2017 áprilisában a süllyedő pálya esetén csupán 4, míg az emelkedő pálya esetén 10 kép állt rendelkezésre; a szélességek rendre 10,5 és 5,6 m/s voltak. Ez esetben valószínűsíthető, hogy a szél általi hullámok szerepet játszottak az alacsonyabb vízborítás-értékekben. 2017 augusztusában a süllyedő pálya esetén 6, míg az emelkedő pálya esetén 10 kép állt rendelkezésre;

a szélességek rendre 5,4 és 8,8 m/s voltak. Ezen a képeken nem különül el olyan kontrasztosan a vízborítás és lényegesen szemesebb a kép.



5. ábra. Lineáris regressziók (kék vonal) a radar és a vízindex (referencia) alapján számolt havi vízborítások (ha) között (Megjegyzés: A piros vonal egy exponenciális illesztés, de csak tájékoztató jellegű. L8_MNDWI a Landsat 8 alapján, míg az S2_MNDWI a Sentinel-2 műholdak alapján számolt vízborítást rövidíti.)

Figure 5. Linear regression lines (blue lines) between monthly water coverage (in ha) calculated from the radar and the water index (reference) data

(Note: The red line is an exponential fit, but for informative purposes only. L8_MNDWI and S2_MNDWI are for water cover data derived from Landsat 8 and Sentinel-2 images, respectively.)

A 2016. januári és februári vízborítások között jelentős a különbség. Mindkét hónapban rossz volt a képminőség: januárban 2, míg februárban is csak 3 kép állt rendelkezésre. A szélsősebesség havi átlaga rendre 8,4 és 11,3 m/s volt. Sajnos összehasonlítási alap nincsen az emelkedő pályával, ugyanis a nagy szélsősebesség (> 12 m/s) miatt az emelkedő pálya adatait ki kellett zárni. E két hónap eredményei ezért megbízhatatlanok.

Összességében kijelenthetjük, hogy az emelkedő műholdpálya esetén kicsivel jobbnak mondható az adatminőség a vizsgált területen, ugyanis a legtöbbször több kép áll rendelkezésre havonta, mint a süllyedő pálya esetén.

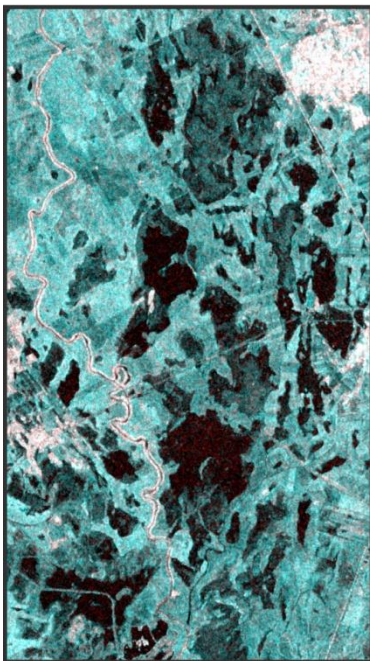
A minimum és maximum borítások az emelkedő pálya esetén is ugyanazokra a hónapokra esnek, viszont az értékekben eltérnek. Ennek oka az eltérő időben készült felvételek, a szél által keltett hullámok miatti rossz képminőség és a felvételek eltérő száma az emelkedő és a süllyedő pályák esetén.

Következtetéseinket alátámasztják a Sentinel-1 SAR és Sentinel-2 optikai adatok integrációs lehetőségét a belvízi elöntés térképezéséhez kötődően vizsgáló hazai kutatócsoportok eredményei (van Leeuwen és társai 2017, Vekery és társai 2018). A radarfelvételezés alapú, stabil időfelbontású értékelést jól kiegészítik a multispektrális osztályozás és a spektrális index információk.

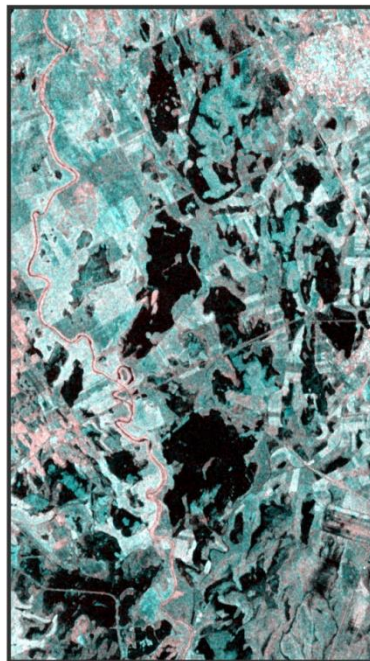
Ezt a következtetést szintén levonhatjuk a saját eredményeinkből, ugyanis egyértelműen látszik, hogy az optikai és a radaradatokból számolt vízborítások jól egybevágnak. Ennek szemléltetésére a 6. ábrán a 2015. februári radarkompozitokat hasonlítottuk össze egy 2015. februári 18-i Landsat 8 hamis színes kompozitképpel. A Landsat 8 képen sötét- és világoskék, esetenként fekete szín jelzi a vízfoltokat, míg a radarnál egyértelműen a fekete szín.

Megnéztük, hogy a téli jégborítás mennyire befolyásolja a vízborítás érzékelését. 2017 januárjában fedte jég a tavakat, de mégis szinte megegyezik a két különböző pályán vételezett adatokból számolt vízborítás. Ennek magyarázata, hogy a jég is hasonlóan sima felszín képez, mint a nyugodt víztükör. Azt tapasztaltuk, hogy a radar esetén a téli időszak jégpáncélja nem befolyásolja lényegesen az érzékelés pontosságát. A vízindexek esetén viszont problémát okozhat a vízhez hasonló, magas indexértékeket felvevő hóborítás, ezért ez esetben célszerű elkerülni a havas képek használatát, ahogyan mi is tettünk. A 7. ábrán összehasonlítottuk a radar, a Sentinel-2 és Landsat 8 adatokat a 2017 januárjában, amikor jég- és hóborítás is jellemző volt. Az optikai képek érdekesebbek számunkra. Cián színnel szépen látszódik a hóborítás, a sötétkék árnyalatok a tavak feletti jégborítást jelzik. A Sentinel-2 kép január 8-án készült, míg a Landsat 8 mediánkép január 6-án, 15-én és 22-én készült felvételekből áll össze, ezért tér el a hóborítás kiterjedése.

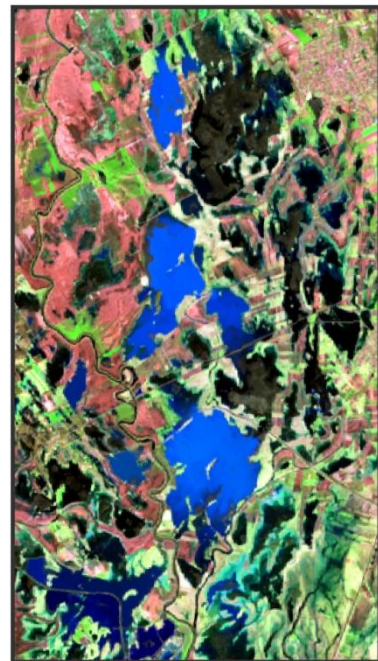
Sentinel-1 DESC
RGB: VH/VV/VV



Sentinel-1 ASC
RGB: VH/VV/VV



Landsat 8
RGB: 7/5/4



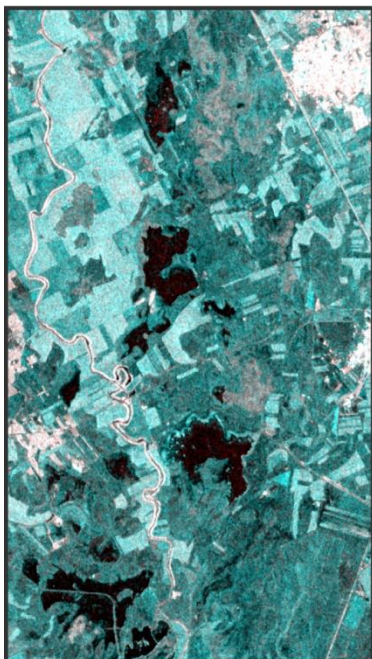
Dátum: 2015/02

1000 0 1000 2000 3000 m

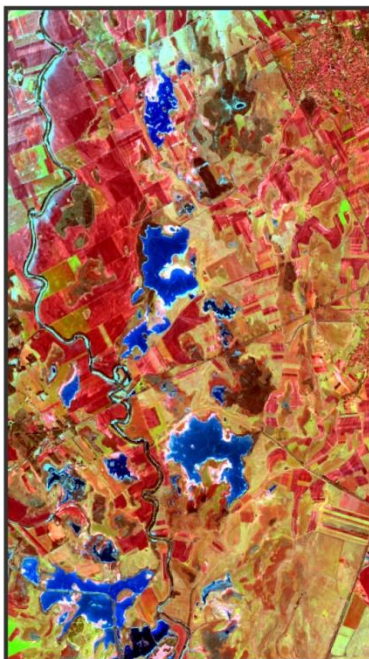
6. ábra. A 2015. februári Sentinel-1 radar és Landsat 8 felszíni reflektancia kompozitok összevetése (Megjegyzés: Az RGB: 7/4/3 a MIR/NIR/látható vörös műholdkép-sávok kombinációját jelenti. MIR (middle-infrared): középső infravörös sáv ($\lambda=2,1 \mu\text{m}$); NIR (near infrared): közeli infravörös sáv ($\lambda=0,8-0,9 \mu\text{m}$).

Figure 6. Comparison of Sentinel-1 radar and Landsat 8 surface reflectance composites in February 2015 (Note: RGB: 7/4/3 means the combination of MIR/NIR/visible red satellite image bands. MIR: middle infrared band at $\lambda=2,1 \mu\text{m}$; NIR: near infrared band at $\lambda=0,8-0,9 \mu\text{m}$)

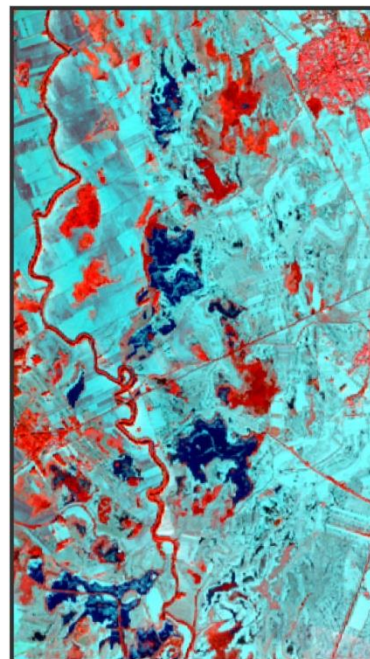
Sentinel-1 DESC
RGB: VH/VV/VV



Sentinel-2
RGB: 12/8/4



Landsat 8
RGB: 7/5/4



Dátum: 2017/01

1000 0 1000 2000 3000 m

7. ábra. A 2017. januári Sentinel-1 radar, Sentinel-2 és Landsat 8 felszíni reflektancia kompozitok összevetése. (Megjegyzés: Az RGB: 7/4/3 és az RGB: 12/8/4 szintén a MIR/NIR/látható vörös műholdkép-sávok kombinációját jelenti. MIR (middle-infrared): középső infravörös sáv ($\lambda=2,1 \mu\text{m}$); NIR (near infrared): közeli infravörös sáv ($\lambda=0,8-0,9 \mu\text{m}$))

Figure 7. Comparison of Sentinel-1 radar, Sentinel-2 and Landsat 8 surface reflectance composites in January 2017 (Note: RGB: 7/4/3 and RGB: 12/8/4 both mean the combination of MIR/NIR/visible red satellite image bands. MIR: middle infrared band at $\lambda=2,1 \mu\text{m}$; NIR: near infrared band at $\lambda=0,8-0,9 \mu\text{m}$)

ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmányban a Sentinel-1 C-SAR radarfelvételek alapján egy olyan távérzékelési módszert dolgoztunk ki, amivel képesek vagyunk a felszíni vízborítás időjárástól többé-kevésbé független érzékelésére, havi léptékben, közepes térbeli felbontással. Az állandó nagy időfelbontású monitoring biztosított. Az eredményeinket a LANDSAT 8 OLI és a SENTINEL-2 MSI műholdképekből számolt vízborításokkal vetettük össze (MNDWI alapján, küszöbértékes osztályozással). Két teljesen különböző módszerrel, és különböző hullámhossz-tartományokon többé-kevésbé egybevágó eredményeket kaptunk, magas és közepes korreláció-értékekkel.

Egy pixel a radarképen 0,01 ha területnek felel meg a valóságban, tehát csak az ennél nagyobb vízfoltok érzékelhetők potenciálisan. A túskezűrés ellenére kis mértékű problémát okoz a radarképekre jellemző szemcsés zaj (tűskék) miatti tévesen víznek osztályozódott, elszórt pixelek jelenléte. A módszerünk további érvényesítésre szorul, amihez a belvizes időszakban készült nagyon nagy felbontású műholdképekre, illetve légi-, vagy drónfelvételekre van szükség, mivel a terepi felmérés ennél a jelenségnél nem kivitelezhető.

A képminőség a szél által keltett hullámok miatt néhány hónapban (pl. 2016 januárja és februárja, 2017 februárja, áprilisa és augusztusa a süllyedő pályák esetén) rossz, ami használhatatlanná teszi ezeket a felvételeket.

A jelenlegi vizes élőhely monitoring továbbfejlesztve belvíz kiértékelést is támogathat. A felhő alapú számítástechnika segítségével tömördek mennyiségű és ingyenes műholdas távérzékelési adatot tudunk már gyorsan és magas fokon automatizáltan feldolgozni. A Google Earth Engine felhőplatform számítási teljesítménye rendelkezésünkre áll, hogy egy vizes élőhely vagy belvíz monitoring rendszert működtessünk, talán a jövőben előremozdíthatná a belvizekkel való gazdálkodás ügyét is. A szkriptek kódját együttműködés keretében szívesen megosztjuk.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az Interreg–IPA Magyarország–Szerbia Határon Átnyúló Együttműködési Program keretében és az Európai Unió társfinanszírozásával (IPA) megvalósuló HUSRB/1602/11/0057 WATERatRISK projekt támogatta.

IRODALOM

Alsdorf D. E., Rodríguez E., Lettenmaier D. P. (2007). Measuring surface water from space. *Reviews of Geophysics* 45(2), 24 p.

Arthur D., Vassilvitskii S. (2007). k-means++: the advantages of careful seeding. In: *Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms*, 1027-1035.

- Baghdadi N., Bernier, M., Gauthier R., Neeson I. (2010). Evaluation of C-band SAR data for wetlands mapping. *International Journal of Remote Sensing* 22(1), 71-88.
- Bourgeau-Chavez L. L., Kasischke E. S., Brunzell S. M., Mudd J. P., Smith K. B., Frick A. L. (2010). Analysis of space-borne SAR data for wetland mapping in Virginia riparian ecosystems. *International Journal of Remote Sensing* 22(18), 3665-3687.
- Dawson T. P., Berry P. M., Kampa E. (2003). Climate change impacts on freshwater wetland habitats. *Journal for Nature Conservation* 11(1), 25-30.
- Elyouncha A., Neyt X., Stoffelen A., Verspeek J. (2015). Assessment of the corrected CMOD6 GMF using scatterometer data. In: *Proceedings of SPIE 9638, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions*, 11 p.
- Engman E. T. (1996). Remote sensing applications to hydrology: future impact. *Hydrological Sciences Journal* 41(4), 637-647.
- Erdélyi M. (1975). A magyar medence hidrodinamikája. *Hidrológiai Közlöny* 55. évf. 4. szám, pp.147-155.
- Erwin K. L. (2009). Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world. *Wetlands Ecology and Management* 17, 71-84.
- Google Earth Engine Team (2015). Google Earth Engine: A planetary-scale geospatial analysis platform. <https://earthengine.google.com/>
- Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment* 202, 18-27.
- Gulácsi A. (2017). A vizes élőhelyek vízborítottságában bekövetkező változások vizsgálata radarfelvételekkel, a Google Earth Engine használatával. In: *Interdiszciplináris táj kutatás a XXI. században*, V. Blanka, Zs. Ladányi (eds.), Szegedi Tudományegyetem Földrajzi és Földtudományi Intézet, Szeged. pp. 188-199.
- Hess L. L., Melack J. M., Simonett D. S. (1990). Radar detection of flooding beneath the forest canopy: a review. *International Journal of Remote Sensing* 11(7), 1313-1325.
- Kasischke, E. S., Melack J. M., Dobson M. C. (1997). The use of imaging radars for ecological applications—A review. *Remote Sensing of Environment* 59(2), 141-156.
- Kohán B. (2014). GIS-alapú vizsgálat a Duna–Tisza közti homokhátság szárazodásának témakörében. Doktori (Phd) értekezés. ELTE Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék, Budapest. 138 p.
- Kovács F. (2009). Változékonyság értékelése vizes élőhelyeken – műholdképek alapján. *Hidrológiai Közlöny* 89(2), 57-61.
- Lang M. W., Kasischke E. S. (2008). Using C-Band Synthetic Aperture Radar Data to Monitor Forested Wetland Hydrology in Maryland's Coastal Plain, USA. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 46(2), 535-546.
- Lee J. S. (1980). Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 2(2), 165-168.
- Lee J. S. (1981). Refined filtering of image noise using local statistics. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* 15, 380-389.
- Li W., Du Z., Ling F., Zhou D., Wang H., Gui Y., Sun B., Zhang X. (2013). A Comparison of Land Surface Water Mapping Using the Normalized Difference Water Index from TM, ETM+ and ALI. *Remote Sensing* 5(11), 5530-5549.
- Mádlné Szőnyi J., Simon Sz., Tóth J., Pogácsás Gy. (2005). Felszíni és felszín alatti vizek kapcsolata a Duna–Tisza közti Kelemen-szék és Kolon-tó esetében. *Általános Földtani Szemle* 30, 93-110.
- McFeeters S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing* 17(7), 1425–1432.
- Mezősi G., Blanka V., Ladányi Zs., Bata T., Urdea P., Frank A., Meyer B. (2016). Expected mid- and long-term changes in drought hazard for the South-Eastern Carpathian Basin. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 11(2), 355-366.
- Pálfai I. (1994). Összefoglaló tanulmány a Duna-Tisza közti talajvízszint süllyedés okairól és a vízhiányos helyzet javításának lehetőségeiről. A Nagyalföld Alapítvány kötetek 3, Békéscsaba. pp. 111-125.
- Pálfai I. (2010). A Duna-Tisza közti hátság vízháztartási sajátosságai. *Hidrológiai Közlöny* 90. évf. 1. szám, pp. 40-44.
- Rakonczai J. (2013). A klímaváltozás következményei a dél-alföldi tájon. (A természeti földrajz változó szerepe és lehetőségei). Akadémiai doktori értekezés, Budapest. 167 p.
- Rakonczai J., Fehér Zs. (2015). A klímaváltozás szerepe az Alföld talajvízkészleteinek időbeli változásaiban. *Hidrológiai Közlöny*, 95. évf. 1. szám, pp. 1-15.
- Saha S., Moorthi S., Pan H-L., Wu X., Wang, J. et al. (2011). The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bulletin of American Meteorological Society*, 91, 1015-1057.
- Simon, Sz. (2010). Characterization of groundwater and lake interaction in saline environment, at Kelemenszék lake, Danube-Tisza Interfluve, Hungary. PhD dissertation, Manuscript, ELTE Budapest. p.177.
- Szalai J., Kovács J., Kovácsné Székely I. (2011). A Duna – Tisza köze csapadék és talajvízszint-adatainak vizsgálata klaszteranalízissel. In: *Környezeti változások és az Alföld*, J. Rakonczai (ed.), Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba. pp. 111-118.
- Szanyi J., Kovács B. (2009). Egyesített 3D hidrodinamikai modell a felszín alatti vizek használatának fenntartható fejlesztéséhez a magyar-szerb országhatár menti régióban. INTERREG III/A HUSER0602/131.
- Szilágyi J., Vörösmarty Ch. (1993). A Duna–Tisza közti talajvízszint-süllyedések okainak vizsgálata. *Vízügyi Közlemények*, 75. évf. 3. szám, pp. 280-294.

Torres R., Snoeij R., Geudtner D., Bibby D., Davidson M., Attema E., Potin P., Rommen B., Floury N., Brown M., Traver I. N., Deghaye P., Duesmann B., Rosich B., Miranda N., Bruno C., L'Abbate M., Croci R., Pietropaolo A., Huchler M., Rostan F. (2012). GMES Sentinel-1 mission. *Remote Sensing of Environment* 120, 9-24.

Tóth J., Almási I. (2001). Interpretation of observed fluid potential patterns in a deep sedimentary basin under tectonic compression: Hungarian Great Plain, Pannonian basin. *Geofluids* 1,11-36.

Ulaby F. T., Moore R. K., Fung A. K. (1982). *Micro-wave remote sensing: active and passive. Vol. 2, Radar remote sensing and surface scattering and emission theory.* Addison-Wesley Reading, MA, USA.

van Leeuwen B., Tobak Z., Kovács F., Sipos Gy. (2017). Towards a continuous inland excess water flood monitoring system based on remote sensing data. *Journal of Environmental Geography* 10(3-4), 9-15.

Vekerdy Z., Qiu Y., Csorba Á., Czakó-Gál E., van Leeuwen B. (2018). Belvíztérképezés Sentinel-1 és Sentinel-2 képek integrációjával. FÉNY-TÉR-KÉP Konferencia, 2018. november 15-16., Gárdony.

VITUKI (2006). A Duna–Tisza közti hátság hidrometeorológiai, felszíni és felszín alatti vizeinek mennyiségére vonatkozó mérő- és megfigyelőrendszer működtetése és értékelése. Zárójelentés. VITUKI Kht., Hidrológiai Intézet, Budapest.

Völgyesi I. (2006). A Homokhátság felszín alatti víz-háztartása – vízpótlási és vízvisszatartási lehetőségek. <http://volgyesi.uw.hu/dokuk/homokhatsag.pdf>

Weiß T. (2018). Sar-pre-processing Documentation. https://media.readthedocs.org/pdf/multiply-sar-pre-processing/get_to_version_0.4/multiply-sar-pre-processing.pdf

Xu H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing* 27(14), 3025-3033.

Yommy A. S., Liu R., Wu S. (2015). SAR Image Despeckling Using Refined Lee Filter. In: *Conference: 2015 7th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC) 2*, 260-265.

A SZERZŐK



GULÁCSI ANDRÁS doktorandusz a Szegedi Tudományegyetem Földtudományi Doktori Iskolájában. Végzettségét tekintve okleveles környezettudós. Kutatási témája: spektrális indexek alkalmazása az aszályok vizsgálatára a MODIS adatok segítségével, vizes élőhelyek monitoringja a Sentinel-1 C-SAR radarfelvételekkel. Webfejlesztéssel és design-nal is foglalkozik.



KOVÁCS FERENC Ph.D. habil, geográfus és térinformatikus. A Szegedi Tudományegyetem Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék egyetemi adjunktusa. Kutatási területe a klímaváltozás földrajzi hatásainak értékelése, amelynek keretében az 1990-es évek óta foglalkozik a Felső-Kiskunsági tavak megfigyelésével.