

GIS-alapú vizsgálat a Duna–Tisza közti homokhátság szárazodásának témakörében

című doktori értekezés tézisei

Készítette:

Kohán Balázs

Témavezető:

Dr. Papp Sándor CSc, nyugalmazott egyetemi docens

Konzulensek:

Dr. Biró Marianna PhD, tudományos segédmunkatárs

Szalai József, vízkészlet-gazdálkodási referens

Doktori Iskola:

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar

Földtudományi Doktori Iskola

Vezetője: Dr. Nemes-Nagy József DSc, egyetemi tanár

Doktori Program:

Földrajz-Meteorológia Doktori Program

Vezetője: Dr. Szabó Mária DSc, egyetemi tanár

Kutatóhely:

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földrajz- és

Földtudományi Intézet, Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék (ELTE TTK FFI KTF)

Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar Természetföldrajzi

és Geoinformatikai Tanszék (DE TTK TGT)

Budapest, 2014

A disszertáció célkitűzései és kutatási kérdései

Az Alföld egyik kiemelt és problematikus térségével foglalkozó kutatás célja az volt, hogy gyakorlatban hasznosítható módon segítse az elmúlt évtizedekben bekövetkezett jelentős természeti és mezőgazdasági károk mérséklését. Az alapvető probléma a magasabban elhelyezkedő hátsági területeken a talajvízszint-csökkenés miatt kialakult permanens vízhiány. A dolgozat célkitűzései és kutatási kérdései ezért a talajvízszint-csökkenés témaköréhez kapcsolódnak.

A kutatásom során az alábbi kérdésekre kerestem a választ:

1. Az elmúlt több mint 30 év során a témával foglalkozó kutatók milyen módszerekkel értékelték, illetve milyen háttértényezőkkel hozták összefüggésbe a talajvízszint csökkenését?
2. A talajvízszint-észlelőhálózat alkalmas-e arra, hogy a pontszerű mérések alapján a talajvízfelszint megfelelő pontossággal becsülni lehessen?
3. Hogyan lehetne optimalizálni a jelenlegi hálózatot?
4. A talajvízszint-észlelőhálózat adatai alapján milyen geomorfológiai összefüggések nyomonkövethetők?
5. A sűrűbben mintavételezett domborzat segítségével, co-krigelés használatával milyen mértékben lehet javítani a talajvízszint becslésének pontosságát?
6. A domborzati adatok felhasználásával készített becslés alapján mekkora vízhiány halmozódott fel a Kiskunsági-homokhát területén a vizsgált időszakban?
7. A korábbi kutatások által megnevezett háttértényezők: időjárás, vízkitermelés, erdőtelepítés, vízrendezés, stb. milyen mértékben lehettek hatással a talajvízszint csökkenésére?
8. A 7. pontban felsorolt tényezők jövőbeli változása esetén milyen talajvízszintek várhatók?
9. Az eredmények alapján milyen gyakorlati megoldások lehetségesek a vízhiány mérséklésére?

Anyag és módszer

A talajvízszint-változások vizsgálatához a Duna–Tisza közti homokhátság területén illetékes négy vízügyi igazgatóság kezelésében lévő talajvízszint-észlelőhálózat kútjainak különböző hosszúságú idősora állt rendelkezésre. Ahhoz, hogy a pontszerű mérések eredményeit az egész területre ki lehessen terjeszteni, fontos vizsgálni az alapadatok minőségét és térbeli összefüggéseit.

A dolgozat első részében a geostatistika és a térinformatika eszközeit felhasználva a talajvízszintet nem mint idősort, hanem annak egy-egy időpontban meglévő értékeinek térbeli összefüggéseit vizsgáltam abból a célból, hogy (1) a kapott eredmények alapján elemezzem és segítségükkel recalibráljam a talajvízszint-észlelő kúthálózat térbeli struktúráját. A monitoringhálózat egy adott időpillanatban egy mintarealizációt valósít meg. A mintával szembeni legfontosabb követelmény, hogy tükrözze a statisztikai sokaság összes lényeges tulajdonságát, és lehetővé tegye a mintaterület ismeretlen z értékű, x, y koordinátájú pontjában a vizsgált z paraméter értékének megfelelő pontosságú becslését (Kovács J & Kovácsné_Székely 2006a, 2006b). Követelmény, hogy mindezt a megfigyelési rendszer úgy teljesítse, hogy működtetése az előbbi feltételek mellett minél gazdaságosabb legyen. Könnyen belátható, hogy minél nagyobb a z paraméter h távolságon belül bekövetkező változékonysága, annál sűrűbb mintavételezés szükséges. A változékonyság leírására számos függvény alkalmas. Ebben a dolgozatban a térstatistika alapfüggvényéből, a variogramból származtatott félvariogram-függvény sajátosságai közül a hatástávolságot használom fel a mintavételezés gyakoriságának becslésére (Kovács J *et al.* 2005).

A dolgozat második részében az ArcGIS térinformatikai szoftvercsomag részeként elérhető Geostatistical Analyst segítségével a Duna–Tisza közti homokhátság egyik kistáján, a Kiskunsági-homokháton működő kúthálózat talajvízszintadatainak és a terület digitális domborzatmodelljének felhasználásával az 1980-as évek eleje óta kialakult vízhiány becsléséhez (2) co-krigeléssel talajvízszint-felületeket interpoláltam. A co-krigelés olyan matematikai eljárás, amely lehetővé teszi, hogy valamely tulajdonság pontbeli becslését egy másik tulajdonságnak a becslésbe történő bevonásával javítsuk.

A dolgozat harmadik részében a célom, hogy a rendelkezésemre álló térinformatikai adatok alapján, (3) többváltozós lineáris regresszió felhasználásával a választott kutatási területen modellezem a talajvízszint csökkenését 1961-2010 között, és értékeljem az egyes tényezők szerepét, valamint előrejelzést készítek a talajvízszint várható változásaira vonatkozóan.

Eredmények és következtetések

Az értekezés fontosabb megállapításait a bevezetésben feltett kérdések megválaszolásával ismertetem.

1. Az elmúlt több mint 30 év során a témával foglalkozó kutatók milyen módszerekkel értékelték, illetve milyen háttértényezőkkel hozták összefüggésbe a talajvízszint csökkenését?

A munkám során feldolgozott szakirodalmi adatok alapján elmondható, hogy a talajvízszint süllyedésének témakörével számos kutató foglalkozott. A kutatási eredmények a Duna–Tisza közének vízgazdálkodási problémáit jól ismerő, de különböző tudományterületeken jártas szakemberek tollából származnak, ebből fakadóan a probléma megközelítése és a kutatás módszertana is rendkívül sokféle. A tapasztalati megfigyelésektől a sokváltozós adatelemző módszereken alapuló szimulációs modellekig bezárólag rengeteg eszköz szerepel a palettán.

Már a kutatás korai szakaszában, az 1990-es évek elején megnevezték (Pálfai 1990) azokat a természetes és antropogén tényezőket, amelyek a probléma hátterében állhatnak. Ezek a következők: csapadékhiány és a felmelegedés miatt növekvő párolgás (időjárás), az erdők területének növekedéséből adódó évi tényleges párolgásnövekedés (erdők), a túlzott vízkivétel (vízkitermelés), vízrendezések, szénhidrogén-bányászat hatása (egyéb). Jellemzően a kutatók nagy része egy-egy tényező hatásával foglalkozott részletesen, a háttértényezők szerepének számszerűsített értékelésére csak kevesen vállalkoztak. Alapvetően három olyan modellszámítás látott napvilágot, ahol legalább három tényező esetében a szerzők százalékban megadták ezek arányait (1. táblázat).

Kutató(k)	Időjárás	Vízki-termelés		Erdők	Vízrendezés	Egyéb
		Talajvíz	Rétegvíz			
Pálfai 1990, 1995	50% *	6%	25%	10%	7%	2%
Szilágyi & Vörösmarty 1993	15%	n.a.	70%	15%	n.a.	n.a.
Völgyesi 2006	80%	n.a.	2%	13%	5%	n.a.

** Pálfai későbbi munkájában (Pálfai 2010) az időjárási és az antropogén tényezők hatásának arányát kétharmad-egyharmadra módosította, de ezen belül az antropogén hatások arányát nem részletezi.*

1. táblázat: Az egyes befolyásoló tényezők aránya a három modell szerint

A talajvízszint süllyedésének tényét mindhárom modell alátámasztotta, azonban a fentebb felsorolt tényezők között eltérő arányokat becsültek. A vizsgálatok alapját minden esetben a Duna–Tisza köze területén illetékes négy vízügyi igazgatóság kezelésében lévő talajvízszint-észlelőhálózat mérései adták, de a terület lehatárolásában, a befolyásoló tényezők hatásának értékeléséhez felhasznált alapadatokban és az elemzés módszertanában eltérések tapasztalhatók. Általánosságban elmondható, hogy az 1990-es évek végétől a szárazodással kapcsolatos kutatások fókuszába a klímaváltozás került. Saját eredményeik mellett – elsősorban a Völgyesi-féle (2006) modellre hivatkozva – a kutatók manapság 80-90%-ban a klímaváltozás hatásait tartják a talajvízszint-süllyedés legfőbb okának (Ladányi *et al.* 2009, Ladányi 2010, Rakoncai 2011, 2013, Szanyi & Kovács B 2009).

A modellek nagyon érzékenyek a mintaterület lehatárolására, a felhasznált alapadatokra és azok pontosságára. Az elkészült modellek ebben a tekintetben pedig nagyon különbözőek, így nehéz megítélni, hogy melyik eredmény áll legközelebb a valósághoz. A probléma gyakorlati megoldásának szempontjából azonban nagyon fontos alapkérdés, hogy természetes folyamattal állunk szemben, vagy az emberi hatások káros következményeivel. Mivel a Duna–Tisza közén a vízhiány problémája elsősorban a magasabb térszíneket érinti és ezeket is különböző mértékben, arra a következtetésre jutottam, hogy a háttértényezők hatását lokálisan kell becsülni ahhoz, hogy a legmegfelelőbb beavatkozási módot kiválaszthassuk.

2. A talajvízszint-észlelőhálózat alkalmas-e arra, hogy a pontszerű mérések alapján a talajvízfelszín megfelelő pontossággal becsülni lehessen?

A talajvízszint-csökkenés mértékének meghatározására a legkézenfekvőbb módszer az észlelőkutak idősorának vizsgálata. Az ilyen típusú vizsgálatok azonban csak azokra a pontokra, illetve azok bizonytalan területű közvetlen környezetére érvényesek, ahol a mérés történt. A modellvizsgálatok, számítások (pl. vízhiány becslése), térbeli műveletek nagyrésze azonban szükségessé teszi a pontszerű mérések térbeli kiterjesztését (inter-, ill. extrapolációját).

A kérdés eldöntésének érdekében a Duna–Tisza közén működő talajvízszint-észlelőhálózat 321 kútjának adatsorát felhasználva a talajvíz térbeli struktúráját irány menti empirikus félvariogramok segítségével vizsgáltam. A rendelkezésemre álló harminc éves idősorból kiválasztott hatvan mintarealizáció alapján levezetett variogramok anizotrópiát és többküszöbű struktúrát mutattak. A variogramok alapján becsülhető legkisebb szignifikáns hatástávolság ÉK-DNy-i irányban jelenik meg és körülbelül 5 km, míg a rá merőleges DK-ÉNy-i irányban körülbelül 11,67 km. A hatástávolságok ismeretében megszerkeszthető hatásterületek ÉNy-DK irányban megnyúlt ellipszisek. A vizsgált időszakban az egyes időpontokban mérési adattal

rendelkező észlelőkutak síkkoordinátáinak felhasználásával elhelyeztem a meghatározott hatásterületeket (ellipsziseket) azért, hogy feltárjam, hogy különböző múltbeli időpontokban mennyire volt ideális a hátság kúthálózata a kellő pontosságú becslés szempontjából. Arra a következtetésre jutottam, hogy az 1990-es évek második felét megelőzően nem volt teljes a lefedettség, sok adathiányos terület volt, elsősorban a legnagyobb talajvízszint-süllyedést mutató hátsági térszíneken, ugyanakkor voltak túlreprezentált területek is.

3. *Hogyan lehetne optimalizálni a jelenlegi hálózatot?*

A többküszöbű, irány menti empirikus félvariogramok alapján meghatározott hatásterület és a 4.4.1. fejezetben részletezett kutatási hálózat kapcsolata alapján az ArcGIS for Desktop szoftvercsomag nyújtotta lehetőségek segítségével megszerkesztettem a Kiskunsági homokvidék befoglaló poligonjára az ideális (minimális darabszámmal megvalósítható) kúthálózatot EOVS vetületi rendszerben. Arra a következtetésre jutottam, hogy azokat a mezo léptékű folyamatokat, amelyeket a jelenlegi hálózattal megfigyelhetünk, nagyjából fele ennyi ideálisan elhelyezett észlelőkúttal is meg lehetne figyelni. Ugyanakkor a lokális léptékű folyamatok megfigyelése céljából a problémás régiókban érdemes lenne sűríteni a mintavételi helyeket.

4. *A talajvízszint-észlelőhálózat adatai alapján milyen geomorfológiai összefüggések nyomozhatók?*

A korábban említett többküszöbű struktúra, különböző léptékű geomorfológiai egységekhez kötődik. Véleményem szerint a felismerhető legnagyobb 20 és 30 km körüli hatástávolságokkal és ÉÉK–DDNy irányú anizotrópiával jellemezhető (regionális) struktúrában a hátság legmagasabb részeit összekötő „tengely” iránya látható, a hatástávolságban pedig a hordalékkúp méreteihez igazodó változékonyság jelenik meg. A félvariogramokon azonosítható legkisebb hatástávolságok nagyon kevés pontpár alapján rajzolódtak ki, ezért azt a második küszöbnél, 5 és 11,67 km-ben határoztam meg. Ebben az esetben anizotrópia azonban már ÉNy–DK irányú, ami a területen jellemző mezoformák hossz tengelyéhez (Kiss T & Tornóvánszki 2006) és méretéhez igazodik. A talajvízszint és a felszín tengerszint feletti magassága között a területen nagyon erős korrelációs kapcsolat jellemzi ($R > 0,9$). Változékonyság

domborzatú térszínen a talajvízszint is nagyobb változékonyságot mutat, így a talajvízszint pontosabb becslésének érdekében a felszín domborzatát érdemes figyelembe venni.

5. *A sűrűbben mintavételezett domborzat segítségével, co-krigelés használatával milyen mértékben lehet javítani a talajvízszint becslésének pontosságát?*

Akár egymástól néhány kilométerre elhelyezkedő szomszédos kutak mérési adatait összehasonlítva is esetenként igen nagy eltérések tapasztalhatók. A különbségek abból fakadnak, hogy a kutak környezetének földtani felépítése, orográfiai helyzete, felszínborítási típusa, a befolyásoló antropogén hatások típusa, mennyisége, intenzitása és a felsorolt tényezők kölcsönhatása nagyon eltérő lehet (Kovács J *et al.* 2004). A becslést nagymértékben pontosítja, ha a módosító tényezőket figyelembe tudjuk venni az eljárás során. A felsorolt tényezők közül az orográfiai helyzet figyelembevétele viszonylag egyszerűen megoldható, ha az interpolációhoz felhasználjuk a terület digitális domborzatmodelljét. A vizsgálat során elvégzett keresztvalidációk alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a co-krigelés használatával a mintaterület nagy részén lehet javítani a becslés pontosságát, de azokban az esetekben, amikor a talajvízszint nem követi a felszíni domborzatot (pl. a hátság meredekebb peremi területein) ez a módszer is nagyobb hibával becsül.

6. *A domborzati adatok felhasználásával készített becslés alapján mekkora vízhiány halmozódott fel a Kiskunsági-homokhát területén a vizsgált időszakban?*

A kistájra jellemző porozitásértékek súlyozott átlagával (43,90%) számolva 1981-hez viszonyítva 2010-ben körülbelül 0,4904 km³ víz hiányzott a Kiskunsági-homokhát területéről. Ezt a mennyiséget elosztva a kistáj területével 400 mm-t kaptam eredményül, ami a vizsgált időszakban 13,33 mm év⁻¹-es csökkenést jelent. A co-krigeléssel számított 1981-es és 2010-es talajvízfelszínnek különbsége alapján egyértelműen megállapítható, hogy a kistáj nagyobbik részén talajvízszint-csökkenés következett be. Annak ellenére, hogy a 2010-es évben az elmúlt harminc év átlagához viszonyítva 80%-kal több, 950 mm csapadék hullott, a hátsági térszíneken szinte mindenhol alacsonyabban volt a talajvízszint az 1981-es értékhez képest.

7. A korábbi kutatások által megnevezett háttértényezők: időjárás, vízkitermelés, erdőtelepítés, vízrendezés, stb. milyen mértékben lehettek hatással a talajvízszint csökkenésére?

A korábbi vizsgálatok ellentmondásai miatt többváltozós regresszióanalízist végeztem annak érdekében, hogy az egyes háttértényezők hatását becsülni tudjam. A mintaterület a Kiskunsági-homokhát keleti részén található, határát a felhasznált tizennégy, hosszú időszorral (1961-2010) rendelkező talajvízkút Thiessen-poligonjai jelölik ki.

A többváltozós regresszióanalízis alapján az alábbi következtetéseket vontam le:

- A korábbi vizsgálatokkal ellentétben (Pálfi 1990), miszerint a talajvízszint alakulásának szempontjából a tárgyévi és a tárgyévet megelőző öt év csapadékát érdemes figyelembe venni, a saját számításaim arra engednek következtetni, hogy elég csak a megelőző két évvel számolni.
- Az 1970-es évek végéig elsősorban a klíma határozta meg a talajvízszintet, 1980 után már a nem időjárási okok is jelentősen közrejátszhattak a süllyedésben.
- Amennyiben az 1980-as évek után is elsősorban a klíma határozta volna meg a talajvízszintet, úgy a számítás eredménye szerint a csapadékosabb években a 60-as évekhez hasonló magas talajvízszinteket kellett volna tapasztalnunk a beáramlási zónában is.
- Az 1960-1980-ig terjedő időszakban, amíg a talajvízszint elérte a csatornák talpszintjét, azok kimutathatóan csökkentették a talajvízszintet, az ezt követő időszakban azonban ez nem kimutatható.
- A backward eliminációs módszerrel kapott eredmény alapján a tárgyévet megelőző két év csapadéka, az erdőterületek változása és a vízkitermelés volumenének változása azok a független változók, amelyek szignifikánsan befolyásolják a talajvízszint változását. Mivel a tárgyévi csapadékot szakmailag nem indokolt a számításból kihagyni, ezért ezzel a tényezővel is számoltam. A felhasznált két modell egyenlete:

$$T_i = 191.0560 - 0.0461 Cs_i - 0.1889 Cs_{i-1} - 0.0876 Cs_{i-2} + 0.0155 E + 0.0469 Vkt$$

és

$$T_i = 159.2386 - 0.1799 C_{s_{i-1}} - 0.0751 C_{s_{i-2}} + 0.0147 E + 0.0569 Vkt$$

ahol

T_i – a talajvíz terep alatti mélysége az i -ik évben (cm)

C_{s_i} – súlyozott csapadékösszeg az i -ik évben (mm)

E – az erdőterületek kiterjedése (ha)

Vkt – az összes szolgáltatott víz mennyisége (1000 m³)

A két modell tesztelése során a mért értékekhez képest az előrejelzett értékek átlagosan kb. 22 cm-rel tértek el.

- Az erdők és a vízkitermelés talajvízszint-csökkentő hatását a klímaadatokból extrapolált vízszintekhez képest becsültem. Az eredmények szerint az erdőtelepítések körülbelül 43%-kal, a vízkitermelés pedig körülbelül 57%-al járulhatott hozzá az éghajlati hatással magyarázható változáson felüli átlagos talajvízszint csökkenéséhez a vizsgált területen 1981-2010 között.

8. A 7. pontban felsorolt tényezők jövőbeli változása esetén milyen talajvízszintek várhatók?

A becslőfüggvényekben szereplő együtthatók alapján a talajvíz felszín alatti mélysége körülbelül 0,015 cm-el nő, ha az erdőterületek nagysága 1 ha-ral növekszik, feltéve, ha az összes többi magyarázóváltozó nagysága változatlan marad. Ha a vízkitermelés volumene 1000 m³-rel növekszik, a talajvíz felszín alatti mélysége nagyjából 0,05 cm-el nő (ha az összes többi magyarázóváltozó nagysága változatlan marad). Tehát például 1000 hektár új erdő telepítése esetén körülbelül 15 cm-rel csökkenne a modell szerint a talajvízszint. Fontos azonban megjegyezni, hogy az eredmények csak a 14 kút által kijelölt hatásterületre érvényesek, és csak abban az esetben helytállóak, ha az adott időintervallumon belül a folyamatot fenntartó tényezők valamint a többi magyarázó változó nagysága nem változik!

9. Az eredmények alapján milyen gyakorlati megoldások lehetségesek a vízhiány mérséklésére?

Mivel a természetes tényezőkre, elsősorban a csapadék mennyiségére nincs ráhatásunk, így véleményem szerint a szélsőséges klímához alkalmazkodva az antropogén tényezők változtatásán keresztül kell mérsékelni a vízhiányt. Ennek fontos

eszköze az illegális vízkivételek megszüntetése és a legális kivételek optimalizálása (pl. vízviszaforgatással, modern, víztakarékos öntözési technikák alkalmazásával, tisztított szennyvizek felhasználásával), a vizek gyors levezetése helyett a vizek helyben tartása és szikkasztása (tározók létesítésével, a meglévő csatornák műtárgyainak fejlesztésével), a kisebb vízigényű, természeti viszonyokhoz jobban alkalmazkodó tájgazdálkodás elterjesztése, és ahol gazdaságosan kiépíthető és hosszú távon fenntartható, lokális vízpótlórendszerek létesítése. A legfontosabb szempont tehát az, hogy a probléma megoldására olyan koncepciót kell kidolgozni, ami az időjárási szélsőségekhez alkalmazkodva hosszú távon tudja biztosítani a térségben élő lakosság és az ott működő ipar és mezőgazdaság optimális vízigényét.

Felhasznált irodalom

- Kiss, T. & Tornyánszki, É., 2006, Futóhomok területek geomorfológiai vizsgálata a Duna–Tisza közén, in *III Magyar Földrajzi Konferencia Tudományos Közleményei*, CD. MTA FKI, Budapest.
- Kovács, J., Márkus, L. & Halupka, G., 2004, Dynamic Factor Analysis for Quantifying Aquifer Vulnerability, *Acta Geologica Hungarica* 47(1), 1-17.
- Kovács, J., Reskóné Nagy, M. & Kovácsné Székely, I., 2005, Mintavételezés gyakoriságának vizsgálata tér–statisztikai függvénnyel a Velencei-tó példáján, *Hidrológiai Közöny* 85(6), 68-71.
- Kovács, J. & Kovácsné Székely, I., 2006a, A minta értelmezési problémái: elmélet és gyakorlat, *Földtani Közöny* 136, 139-146.
- Kovács, J. & Kovácsné Székely, I., 2006b, 'A földtani adatok adatelemzésének nehézségei', in M., Veress (ed.), *Karsztféjlődés XI. Konferencia*, Berzsenyi Dániel Főiskola Természetföldrajzi Tanszék. Szombathely, pp. 25-35.
- Ladányi, Zs., Rakonczai, J., Kovács F., Geiger, J. & Deák, J. Á., 2009, The effect of recent climatic change on The effect of recent climatic change on the Great Hungarian Plain. *Cereal Research Communications* 37, suppl. ser. 1, 477-480.
- Ladányi, Zs., 2010, *Tájváltozások értékelése a Duna–Tisza közti homokhátság egy környezet- és klímaérzékeny kistáján, az Illancson*, PhD értekezés, SZTE Környezettudományi Doktori Iskola, SZTE, Szeged.
- Pálfai, I. (ed.), 1990, *Alapozó szakvélemények a Duna – Tisza közti vízrendezések hatásvizsgálatához*, VITUKI, Budapest.
- Pálfai, I. 1995, A Duna–Tisza közti hátság vízgazdálkodási problémái és megoldásuklehetséges útjai, *Vízügyi Közlemények* 76(1-2), 144-164.
- Pálfai, I. 2010, A Duna–Tisza közti hátság vízháztartási sajátosságai, *Hidrológiai Közöny*, 90(1), 40-44.

- Rakonczai, J., 2011, Az Alföld tájváltozásai és a klímaváltozás, in J., Rakonczai (ed.), *Környezeti változások és az Alföld*, pp. 137-148, Békéscsaba, Nagyalföld Alapítvány.
- Rakonczai, J., 2013, *A klímaváltozás következményei a dél-alföldi tájon (A természeti földrajz változó szerepe és lehetőségei)*. Akadémiai doktori értekezés, p. 74-91, Budapest.
- Szanyi, J. & Kovács, B., 2009: *Egyesített 3D hidrodinamikai modell a felszín alatti vizek használatának fenntartható fejlesztéséhez a magyar-szerb országhatár menti régióban*. Kézirat, INTERREG III/A HUSER0602/131).
- Szilágyi, J. & Vörösmarty, Ch., 1993, A Duna–Tisza közti talajvízszint-süllyedések okainak vizsgálata, *Vízügyi Közlemények*, 75(3).
- Völgyesi, I., 2006, A Homokhátság felszín alatti vízháztartása – vízpótlási és vízvisszatartási lehet ségek. *MHT XXIV. Országos Vándorgyűlés Kiadványa*. Pécs, from <http://volgyesi.uw.hu/dokuk/homokhatsag.pdf>.

A témában megjelent publikációk

- Kohán, B. & Balázs, B., 2014, A talajvízhiány becslése a Kiskunsági-homokháton cokrigeléssel, ArcGIS környezetben, in B., Balázs (ed.), *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában: V. Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás Debrecen*”, konferencia kötet, pp. 165-172, Debrecen, Magyarország, 2014.05.29-2014.05.31.
- Kohán, B. & Szalai, J., 2014, Spatial Analysis of the Shallow Groundwater Level Monitoring Network in the Danube-Tisza Ridge Using Semivariograms, *Hungarian Geographical Bulletin*, Közlésre elfogadva, várható megjelenés: 2014. December.
- Szalai, J., Kohán, B. & Nagy, Gy., 2014, A Duna-Tisza köze talajvízszint-észlelő hálózatának térstatistikai vizsgálata, *A Magyar Hidrológiai Társaság által rendezett XXXII. Országos Vándorgyűlés dolgozata*, CD-kiadvány, Szeged, Magyarország, 2014. 07. 02-04.

A témához, elsősorban a módszertanhoz kapcsolódó publikációk

- Kern, Z., Leuenberger, M. & Kohán, B., 2012, Mapping of stable isotope composition of precipitation over Switzerland, in *The water cycle in a Changing Climate: Observations, Scenarios, Impacts*, konferencia kötet, pp. 69-70, Ascona, Svájc, 2012.09.09-2012.09.14.
- Kern, Z., Leuenberger, M. & Kohán, B., 2012, Steps toward a process based model for the stable oxygen isotope composition of precipitation over Switzerland, in

Mountains Up and Down: 10th Swiss Geoscience Meeting, Bern, Svájc, 2012.11.16-2012.11.17.

- Kern, Z., Kohán, B. & Leuenberger, M., 2014, Precipitation isoscape of high reliefs: Interpolation scheme designed and tested for monthly resolved precipitation oxygen isotope records of an Alpine domain, *Atmospheric Chemistry and Physics* 14(4), pp. 1897-1907.
- Kohán, B., Ádám, E. & Sik, A., 2011, Weben publikált térképek alkalmazása a hallgatók kutatási eredményeinek bemutatásában, in J., Lóki (ed.), *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában: II. Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás Debrecen*, konferencia kötet, pp. 179-184, Debrecen, Magyarország, 2011.05.19-2011.05.20.
- Kohán, B. & Kern, Z., 2012, A felszíni csapadék stabil oxigénizotóp összetételének becslése Magyarországon térinformatikai módszerekkel, in J., Lóki (ed.), *Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában III. - Térinformatikai konferencia és szakkiállítás*, pp. 189-196, konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2012.05.24-2012.05.25, Debrecen, Debreceni Egyetemi Kiadó.
- Kohán, B., Timár, G., & Deák, M., 2014, A review of the SRTM digital elevation model and its application in GPS technology, *Tradecraft Review* 2014/1 pp. 26-37. http://www.kfh.hu/hu/letoltes/szsz/2014_1_spec.pdf.