

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**A szennyvízcsatorna-hálózat kiépítését
követő talajvízminőség-változások
vizsgálata egy kelet-magyarországi
település példáján**

Mester Tamás

Témavezető: Dr. habil. Szabó György



DEBRECENI EGYETEM

Földtudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2020.

1. BEVEZETÉS

Magyarországon az ivóvízhálózat kiépítésével párhuzamosan nem történt meg a szennyvízcsatorna-hálózat és a szennyvíztisztító telepek kiépítése, így a háztartásokban keletkező kommunális szennyvíz különböző, a háztartások udvarán kialakított szigeteléssel nem rendelkező létesítményekben (emésztők, szikkasztók, aknák) történő tárolása széles körben elterjedt gyakorlattá vált (*Burucs, 1987, Mester et al., 2019*). E pontszerű szennyezőforrásokból kiáramló szennyvíz a települések talajvízkészletének erőteljes leromlását eredményezte (*Heatwole – McCray, 2007; Nemčić-Jurec et al., 2017; Mester et al., 2020*).

A felszín alatti vizek állapotának romlása azonban nem csupán Magyarországon következett be, hanem globális problémaként jelentkezik, amely így a környezettel kapcsolatos kutatások fókuszpontjába került (*Azzellino et al., 2019*). Számos tanulmány bizonyítja, hogy az ipari és mezőgazdasági tevékenység mellett az egyik legjelentősebb szennyezőforrás a kommunális szennyvíz, amelynek kezelése és tisztítása a fejlődő és a fejlett országok esetében is gyakran megoldatlan (*Machiwal – Jha 2015; Richards, 2016; Adimalla et al., 2020*).

Magyarország az Európai Unióhoz történő csatlakozásával ratifikálta a 2000/60/EK Víz Keretirányelvet és a Települési Szennyvíz Tisztításáról szóló 91/271/EGK irányelvet, melynek megfelelően a 2000 lakosegyenérték (LE) feletti szennyezőanyag terheléssel rendelkező településeink szennyvízcsatorna-hálózatának kiépítése jelenleg is zajlik. Az utóbbi évtizedben, hazánkban igen komoly előrelépés történt a települési szennyvizek gyűjtésével és tisztításával kapcsolatban. A vízhálózatba és a csatornahálózatba bekapcsolt lakások arányának különbsége a 2000-es 41,1%-ról 2018-ra 13,3%-ra csökkent (*KSH, 2020*).

A megvalósuló beruházások eredményeképp jelentősen lecsökken a talajvízrendszerbe jutó kommunális szennyvíz mennyisége, melynek hatása az egész települési környezetre kiterjed. Mivel a szennyvízcsatorna-hálózat kiépítése a települések számára igen komoly anyagi terhet jelent, így jogosan merülhet fel a kérdés, hogy milyen haszna van ezeknek a beruházásoknak? Valóban megoldja-e a problémákat, s ha igen, milyen gyorsan következnek be a kívánt pozitív irányú változások? Ahhoz, hogy a változások mértékét, intenzitását és a várható tisztulási folyamatok időtartamát pontosan meg tudjuk határozni, elengedhetetlen a hosszú távú talajvízmonitoring, mely során beruházások előtti alapállapot felmérése is szükséges.

Doktori értekezésünkben egy alföldi közepetelepülés, Bárán példáján vizsgáltuk a szennyvízcsatorna-hálózat kiépítésének a talajvíz minőségére gyakorolt hatását, értékeltük a vízminőségben bekövetkező változásokat. A településen 2011 óta végzünk rendszeres vízminőség vizsgálatokat, melyek a település csatornahálózatának 2014-ben történő kiépítését követően is folytatódtak, jelenleg is zajlanak. Az egy évtizede zajló talajvízmonitoring pedig lehetőséget biztosít egy komplex, összehasonlító kutatás elvégzésére, mely nem csupán fontos hozzáadott értéket képviselhet a hazai és nemzetközi szakirodalomban egyaránt, hanem gazdasági jelentőséggel is bír.

2. HIPOTÉZISEK, CÉLKITŰZÉSEK

A kutatás legfontosabb célkitűzése, hogy megállapítsa a szennyvízcsatorna-hálózat kiépítését követő talajvízminőség változások dinamikáját, ezáltal pontos képet alkosson a lejátszódó tisztulási folyamatokról. A kutatás megkezdésekor a következő hipotéziseket állítottuk fel:

1. A több évtizede zajló szennyvízkiáramlás és más pontszerű szennyezőforrások hatására a település talajvízkészlete erősen elszennyeződött.
2. A szennyvízcsatorna-hálózat kiépítést követően, a talajvíz minősége a településen szignifikánsan javulni fog.
3. A talajvíz áramlási iránya alapvetően meghatározza a talajvíz szennyezettségének térbeli alakulását. Azok a településrészek a legszennyezettebbek, amelyek felé a többi településrész felől a talajvíz áramlik.
4. A talajvízbe jutó szennyezések a településen kívüli területekre is eljutottak, jelenleg is kimutathatók.
5. A szennyeződések vertikális terjedésének következtében a mélyebb rétegek is elszennyeződtek.
6. A szigetetlen szennyvízcsatornából kiáramló szennyvíz a talajvízáramlás irányát és a talajvíz minőségét lokálisan jelentősen befolyásolja.
7. Az akna környezetében 5 évvel a szennyvízkiáramlás megszűnését követően, kimutatható pozitív irányú változások következnek be a talajvíz minőségében.

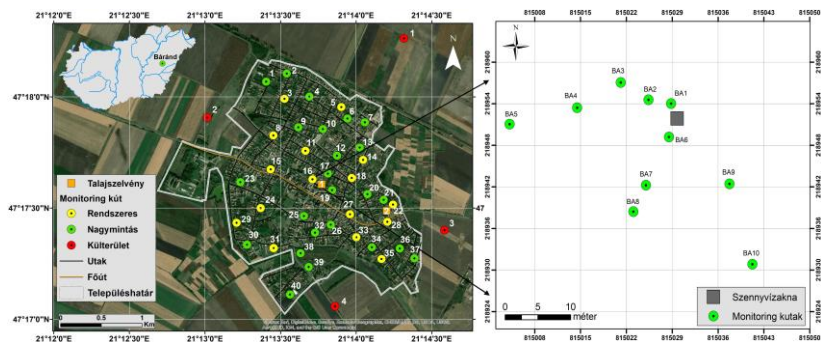
A hipotéziseink igazolása, vagy megcáfolása érdekében az alábbi célkitűzéseket fogalmaztuk meg:

1. Rendszeres (havi/évszakos/nyári), a csatornázás előtti (2011-2014) és azt követő (2015-2019) időszakban is zajló vízmintavételezés a településen található, vizsgálatba vont talajvízkutakból, a vízminőségváltozások dinamikájának minél pontosabb meghatározása érdekében.
2. Monitoring kutak kialakítása a településen kívül és e kutak vízminőségének vizsgálata a szennyezés horizontális terjedésének megállapítása érdekében.
3. A településre jellemző talajtípusok meghatározása, fúrásszelvények magmintáinak talajfizikai és talajkémiai jellemzése.
4. A település talajvízkészletének komplex geokémiai jellemzése.
5. A különböző szennyezők közötti geokémiai kapcsolatok, valamint a szennyezettség tér- és időbeli viszonyaiban bekövetkező változások feltárása különböző térinformatikai és multivariációs statisztikai módszerekkel.
6. A talajvízszintben bekövetkező változások vizsgálata.
7. A pontszerű szennyezőforrásként megjelenő szigetetlen szennyvízcsatorna környezetre gyakorolt hatásának feltárása érdekében 2012-ben egy szennyvízcsatorna környezetében monitoring kutak kialakítása és az akna környezetre gyakorolt hatásának részletes vizsgálata.
8. A szerves nitrogénformák dinamikájának vizsgálata az akna közelében.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálatba vont településen, Bárádon 2011 novemberében kezdtük el a talajvízminőség vizsgálatokat. A kutatás első fázisában egy éven át tartó, havi rendszerességgel talajvízminőség vizsgálatokat végeztünk. 2013 óta évszakos mintavételezés történik. Rendszeres vízmintavétel 16 db ásott talajvízkútból történik, a nyári mintavételezések alkalmával az ásott kutak számát 40 db-ra bővítettük, a szennyezettség minél pontosabb térbeli meghatározása érdekében. Az ásott talajvízkutak kijelölésekor a település egyenletes lefedésére törekedtünk (**1. ábra**). Emellett a vizsgálatokba bevontunk egy 32 méter és egy 102 méter mélységű fűrt kutat is. A vízmintavétel során a kutak felső 1 méteres vízoszlopát mintáztuk meg.

Mivel a település környezetében a kommunális szennyvíz jelenti a legfontosabb szennyezőforrást, így kutatásunkat 2012-ben kiterjesztettük egy, a település központi részén elhelyezkedő szigeteletlen szennyvízakra vizsgálatára is, mely során az akna körül 10 db monitoring kutat létesítettünk (**1. ábra**). A monitoring kutakból évszakos vízmintavételezés történt az MSZ ISO 21464:1998 szabvány szerint háromszoros kúttérfogatnyi víz kitermelését követően. A monitoring kutak fűrasszelvényeiből 20 cm-ként talajmintát gyűjtöttünk be. A vízmintavétel időpontjában terepen meghatároztuk a vízminta elektromos vezetőképességét (EC), hőmérsékletét, oldott oxigéntartalmát (DO), valamint a redoxpotenciált (ORP); emellett dokumentáltuk a nyugalmi talajvízszint mélységét. Mivel a település 2000 lakosegyenértéket meghaladó szennyvízkibocsátással rendelkezik, így a vonatkozó jogszabályoknak megfelelően 2014-ben kiépült a szennyvízelvezető csatornahálózat.



1. ábra. A monitoring kutak elhelyezkedése Bárádon és a szennyvízakra környezetében.

A begyűjtött vízminták ammónium-ion (NH_4^+), nitrit-ion (NO_2^-), nitrát-ion (NO_3^-), ortofoszfát-ion (PO_4^{3-}), valamint szervesanyag (KOI_{ps}) tartalmát az Egységes Vízvizsgáló Módszerek alapján határoztuk meg a Debreceni Egyetem Földtudományi Intézetének Komplex Laboratóriumában (Literáthy, 1973). A vízminták nátrium-ion (Na^+) tartalmát PERKIN ELMER 300 típusú atomabszorpciós

készülékkel mértük. A klorid-ion (Cl^-) a szulfát-ion (SO_4^{2-}), a p- és m-lúgosság ($\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$) meghatározására 2017-től került sor (Lüeráthy, 1973). A víz- és talajminták mikro- (Al, Ba, Cu, Fe, Mn, Pb, Sr, Zn) és makroelem (Na, K, Ca, Mg) tartalmának meghatározását a NovoLab-ban, Agilent Technologies MP-AES 4200 típusú készülékével végeztük el. Az eredményeket a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet vonatkozó határértékei alapján értékeltük.

A talajtani vizsgálatok során a talajtextúrát Köhn-féle ülepítéssel módszerrel határoztuk meg (Müller *et al.*, 2009), a pH értékét (MSZ-08-0206/2-1978), CaCO_3 tartalmát (MSZ-08-0206/2-1978), humusztartalmát (MSZ-02-210-1977) nitrát és foszfát tartalmát (MSZ 20135:1999). A településen létesített talajszelvények (*I. ábra*) osztályba sorolását a WRB 2015 diagnosztikai rendszer alapján végeztük el. A talaj kicserélhető ammónium tartalmát FIAstar 5000 Analyzer segítségével az ISO 11732 eljárás (2005) szerint határoztuk meg. A talajban fixált ammónium-ion mennyiségének meghatározását Silva – Bremmer (1966) módszerével, Beuters – Scherer (2012) módosítása szerint végeztük el.

A település és a vizsgált szennyvízakra környezetének domborzatmodelljeinek elkészítéséhez, valamint a talajvízszintek abszolút magasságának meghatározásához a Trimble S9 GPS-eszközzel végzett helyszíni mérések eredményeit használtuk fel.

Az eredmények geovizualizációját ArcGIS szoftverrel, a szennyeződések térbeli alakulását krigeléses interpolációval Surfer 12 szoftverrel, a térbeli földtani modelleket Rockworks 14 szoftverrel készítettük el. A talajvíz anion-kation összetételét Piper diagramon és szemilogaritmikus Schöeller-Berkaloff diagramok alapján értékeltük. A vizek öntözésre való alkalmasságát a Wilcox-diagram alapján osztályoztuk.

A szennyezettség fokát három vízminőség index alapján is értékeltük: 1. Kanadai Környezetvédelmi Tanács vízminőség indexe (CCME_{WQI}), 2. Rapant (1995) által kidolgozott szennyezettségi index (C_d – Degree of Contamination), 3. Brown és munkatársai (1972) által kidolgozott vízminőség állapot értékelés (WQS – Water Quality Status). A szennyezettségi indexek kiszámítása során a 8 paramétert (pH, EC, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , KOI_{ps} , Na^+) vettünk figyelembe, melyek tartalmazzák a kommunális szennyvizek legjellemzőbb szennyezőit.

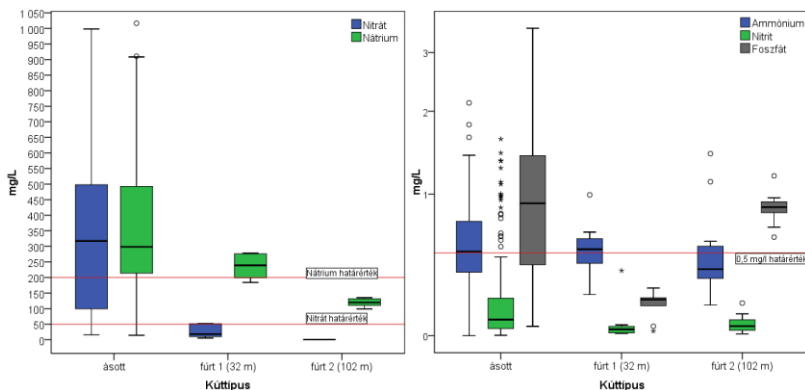
Az adatsorok statisztikai feldolgozását, valamint az eredmények ábrázolását IBM SPSS 22 szoftverrel végeztük el. Az alapstatisztikai értékek kiszámítása mellett vizsgáltuk az adatsorok normalitását. A változók közötti kapcsolat erősségének meghatározása érdekében Spearman-féle rangkorrelációs vizsgálatokat végeztünk. Főkomponens analízist végeztünk a változók komponensekbe történő rendezése, valamint a geokémiai háttér folyamatok pontosabb feltárása érdekében. Hierarchikus és kétlépcsős klaszteranalízist végeztünk annak érdekében, hogy a hasonló jellemzőkkel bíró talajvízkutakat elkülönítsük egymástól. A csatornázás előtti és utáni állapot elkülöníthetőségének meghatározása érdekében diszkriminancia analízist végeztünk.

4. EREDMÉNYEK

1. TÉZIS

Megállapítottuk, hogy a település talajvízkészletét a szigeteletlen szennyvízvezeték kiáramló nagy mennyiségű szennyvíz az elmúlt évtizedek során erősen elszennyezte. A vizsgálatba vont talajvízkutak szinte mindegyikében jelentős mértékű határérték átlépéseket mutattunk ki.

Számításaink szerint a településen keletkező kommunális szennyvíz 40-50%-a szivárgott el a szigeteletlen szennyvízvezeték talajvízbe, amely éves szinten 50.000-60.000 m³ nyers szennyvízterhelést jelentett. Az évtizedek óta zajló szennyezés következtében a település talajvízkészlete erősen elszennyeződött. A vizsgált vízkémiai paraméterek átlagértékei a nitrit-ion és a pH átlagértékeit (0,23 mg/l és 7,76 pH) kivéve meghaladták a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet felszín alatti vizekre vonatkozó határértékeit (2. ábra).



2. ábra. A nitrát és a nátrium (a), valamint az ammónium, nitrit és ortofoszfát (b) koncentrációk alakulása a kúttípusok függvényében a csatornázás előtti időszakban.

Az NH_4^+ jelenléte a vizek szervesanyag-tartalmának bomlását jelzi, amely közvetve a szennyvízterhelésre, friss szennyeződésre utal. A csatornázás előtti mintavételezések során minden talajvízkút esetében kimutatható volt az antropogén hatás. Az NH_4^+ koncentrációk átlaga (0,61 mg/l) és a felső kvartilis értéke (0,78 mg/l) meghaladta a szennyezettségi határértéket (0,5 mg/l). A kutak túlnyomó többségében a határértéket (50 mg/l) többszörösen meghaladó NO_3^- koncentrációkat mértünk. Az alsó kvartilis értéke (94,6 mg/l) több mint kétszeresen, átlagértéke (319,9 mg/l) több mint hatszorosan, a felső kvartilis értéke (493,2 mg/l) közel tízszeresen haladta meg a vonatkozó határértéket. A PO_4^{3-} koncentrációk alakulása szintén a talajvíz erőteljes szennyeződését mutatja. A csatornázás előtti mérések 72,2%-ban a vonatkozó 0,5 mg/l szennyezettségi határérték feletti koncentrációt mutattunk ki. A vizsgált talajvíz

kutakban az összion-tartalom a kutak döntő részében túllépte, vagy jelentősen meghaladta a 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ határértéket. Az adatsorok átlagértéke 3637 $\mu\text{S}/\text{cm}$ volt, a felső kvartilis értéke pedig 4395 $\mu\text{S}/\text{cm}$ volt. A Na^+ koncentráció átlagértéke közel kétszeresen haladta meg a határértéket (200 mg/l). A koncentrációk térbeli alakulásában mutatkozó jelentős különbségek arra engednek következtetni, hogy a talajtani tényezők mellett a koncentrációkat a kommunális szennyvizek jellemzően magas nátrium tartalma nagymértékben befolyásolta. A KOI_{ps} szennyezettséget jelző határértékét (4,5 mg/l) meghaladó koncentrációt a kutak 71%-ban mértünk.

Az arzén koncentrációja a kutak döntő többségében ugyan nem lépte át a határértéket, megemelkedett koncentrációk azt jelzik, hogy az arzén a település magas arzénkoncentrációjú rétegvizéből a szennyvízzel jutott a talajvízbe.

Mivel a lakosság a talajvizet öntözésre is használja, így annak szikesítő hatását is értékeljük. A $\text{Na}\%$ -EC értékek alapján kutak 50%-a egyáltalán nem alkalmas öntözési célokra, csupán a kutak 18%-a került a „jó”, vagy „kiváló” kategóriába.

A vizsgálatokba vont 32 m és 102 m mély fúrt kutak vízkémiai paraméterei alapján megállapítottuk, hogy a szennyeződés már elérte a 32 méteres mélységet, melyet a megemelkedett nitrát koncentrációk igazolnak.

2. TÉZIS

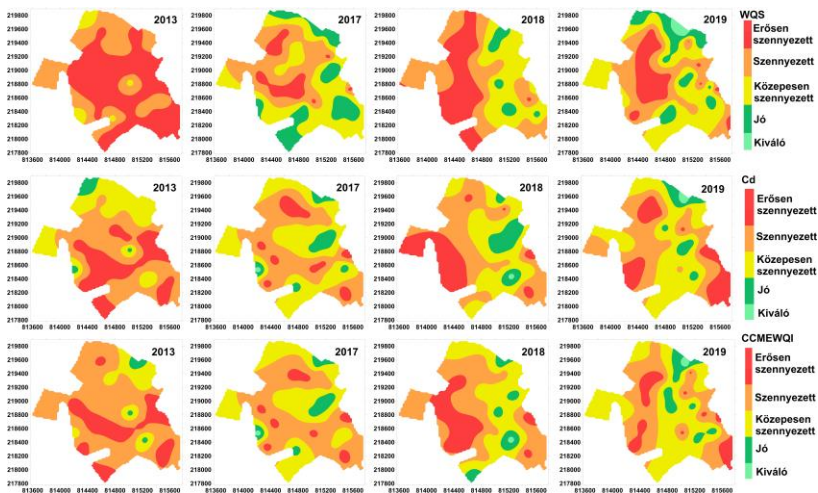
Jelentős mértékű, pozitív irányú változásokat mutattunk ki a talajvíz minőségében a csatornázást követő öt éves időszakban multivariációs statisztikai módszerek, valamint különböző vízminőségi indexek alkalmazásával.

A csatornahálózat kiépítését megelőző (2011-2014) és az azt követő időszak (2015-2019) adatait különböző térinformatikai és statisztikai módszerekkel megvizsgálva jelentős mértékű, pozitív irányú változásokat mutattunk ki a talajvíz minőségében. Vizsgálataink a szervesetlen szennyezőanyagok (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-}) koncentrációinak egyértelmű csökkenését mutatták ki.

Bár az NH_4^+ koncentrációk átlagértékei a csatornázást követő minden vizsgált évben a határérték felett alakultak, ugyanakkor folyamatosan csökkenő tendencia figyelhető meg. Míg a 2013-as nagymintás mintavétel során a kutak 17,5%-ban mértünk 1 mg/l fölötti koncentrációt, addig 2019-ben csupán 5%-ban. A NO_2^- koncentrációk is kimutatható mértékben csökkentek, a 2013-as 0,416 mg/l átlagértékről 2019-re 0,308 mg/l-re. A NO_3^- koncentrációjának csökkenése szintén a szennyezőanyag utánpótlás jelentős részének megszűnését jelzi, hiszen az átlagérték 187,8 mg/l-ről (2013) 2018-ra 109,8 mg/l értékre csökkent. Az alsó kvartilis értéke a csatornázást követő időszak minden nagymintás mintavételezése során határérték alatt alakult. A PO_4^{3-} koncentrációjának 2019-es átlagértéke 60%-os csökkenést mutatott a 2013-as referenciaévhez képest, így a szennyezettségi határérték (0,5 mg/l) szintjére csökkent. 2019-ben a kutak 32,5%-ban mértünk határérték feletti koncentrációt szemben a 2013-as 65%-al. A csatornázást követő 5. évben a referencia évhez képest megnőtt a település azon területeinek aránya, ahol az EC értéke határérték (2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) alatt alakult.

Diszkriminancia analízissel kimutattuk, hogy a csatornázás előtti és utáni állapot a vizsgált vízkémiai paraméterek alapján 86,9%-os valószínűséggel meghatározható. Ennek alapján kijelenthető, hogy a csatornahálózat kiépítése a talajvízkutak minőségében markáns, pozitív irányú változásokat eredményezett.

A szennyezettség fokának tér- és időbeli alakulásának értékelésére három különböző vízminőség indexet használtunk (3. ábra). A csatornázás előtti 2013-as mintavétel esetében mindhárom index esetében az 1-2 (kiváló-jó) kategóriába csupán néhány vízminta került. A település talajvízkészletének erőteljes elszennyeződését jól mutatja, hogy a 4-5 (szennyezett-erősen szennyezett) kategóriákba a WQS alapján a vízminták 90%-a, a C_d alapján a kutak 70%, míg a $CCME_{wqi}$ alapján a kutak 80%-a került. 2019-ben, 5 évvel a csatornázást követően jelentős változások figyelhetők meg. Mindhárom index esetében jelentősen lecsökkent az erősen szennyezett kategóriába tartozó kutak száma, míg a 2-3 (jó-elfogadható) kategóriába tartozó minták száma megemelkedett: a WQS esetében 4-ről 20-ra, a C_d esetében 12-ről 18-ra, míg a $CCME_{wqi}$ esetében 8-ről 19-re nőtt a kutak száma a referencia évhez képest.



3. ábra. A szennyezettségi indexek alakulása a csatornázást megelőző (2013) és azt követő években (2017, 2018, 2019).

3. TÉZIS

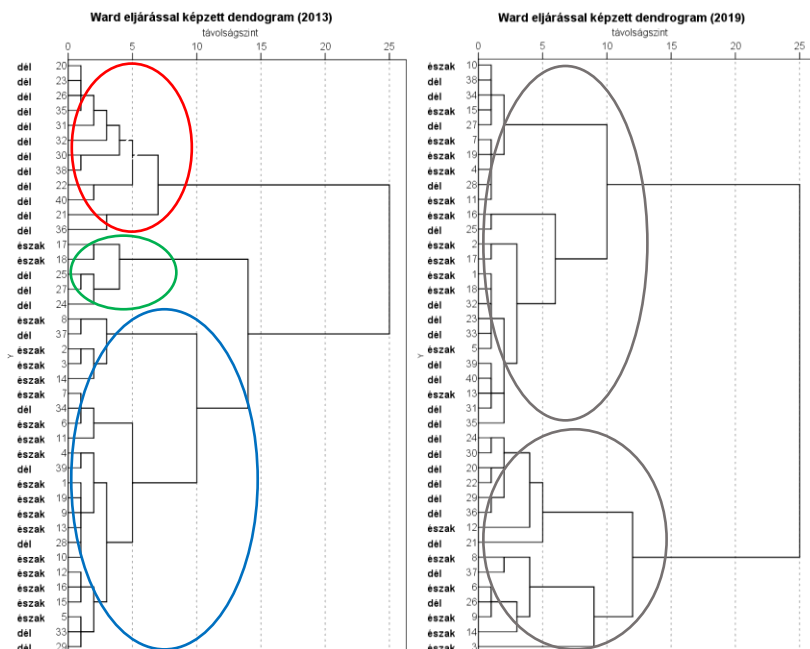
A szennyezettség fokának térbeli alakulásában a csatornázás előtti időszakban egyértelmű különbséget mutattunk ki. A lokális talajvízáramlás irányában a település északi területei felől déli irányban nőtt a szennyezettség mértéke. A markáns É–D irányú különbség a csatornázást követő időszakban megszűnt.

A csatornázás előtti időszakban a település belterületén a szennyezettség fokában egyértelmű térbeli különbségeket mutattunk ki. Megállapítottuk, hogy a

szennyezettség foka a lokális talajvízáramlás irányában növekszik, mely a legtöbb általunk vizsgált paraméter esetében kimutatható volt (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , EC). A horizontális hidraulikus gradiens a település déli határán található Eszterő-csatorna irányába mutat, mely a terület megcsapolási zónájának tekinthető.

A csatornázás előtti időszakban a NO_3^- koncentrációk a település D-i területein mutattak igen jelentős mértékű szennyeződést. A település É-i része kevésbé volt szennyezett, ugyanakkor a terület túlnyomó részén itt is a határértéket meghaladó koncentrációkat mértünk. A déli elhelyezkedésű kutak NO_3^- átlagértéke 455 mg/l, míg az északi elhelyezkedésű kutak átlagértéke 166 mg/l volt. A talajvízkutak EC értékeiben szintén jelentős eltérések voltak kimutathatók. Míg a déli elhelyezkedésű kutak EC átlagértéke 4414 $\mu\text{S}/\text{cm}$, addig az északi elhelyezkedésű kutak átlagértéke 2688 $\mu\text{S}/\text{cm}$ volt. Az 1 mg/l értéknél magasabb NH_4^+ koncentrációval rendelkező kutak 87%-a a déli területeken helyezkedett el. A 0,2 mg/l-nél alacsonyabb NO_2^- koncentrációval rendelkező kutak 62%-a a település északi részén helyezkedett el.

Hierarchikus klaszteranalízissel 2013-as eredmények alapján egyértelműen lehatároltuk egy kizárólag déli elhelyezkedésű, 12 kútból álló klasztert (4. ábra).



4. ábra. A mintavételi pontok elhelyezkedése alapján készült Ward-dendrogram a csatornázás előtt (2013) és a csatornázás után (2019).

A másik domináns klaszter 74%-ban északi fekvésű kutakat tartalmazott, emellett kialakult egy harmadik klaszter, melynek 5 kútja a település középső részén fekszik (17, 18, 24, 25, 27). A csatornázást követő 5. évben a szennyezettség mértékének csökkenésével megszűnt ez az egyértelmű különbség a kutak között, a két kialakult klaszterben közel azonos arányban szerepeltek északi és déli elhelyezkedésű kutak.

Az északi és déli elhelyezkedésű csoportba sorolt kutak adatait főkomponens analízisnek vetettük alá, mely alapján az északi és déli elhelyezkedésű kutak közti különbség egyértelműen kirajzolódott.

4. TÉZIS

Kimutattuk, hogy a szennyvízkiáramlás és a csatornázás a talajvíz szintjére igen jelentős hatást gyakorolt. A csatornázást követő években a megszűnő szennyvízkiáramlás miatt a település talajvíz szintje átlagosan 1,8 méterrel csökkent, emellett a belső területek és a déli megcsapolási zóna nyugalmi vízszintjei közti különbség megnőtt.

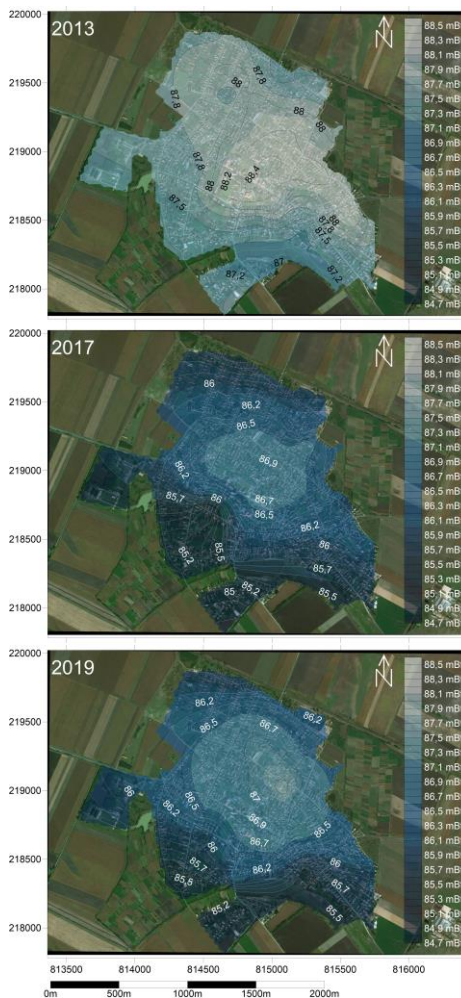
A talajvízszint csatornázást követő időszakban bekövetkező változásait a nyári, nagymintás mintavételezések során mért vízszintek alapján értékeltük. A csatornázást megelőző 2013-as évben a talajvízszint tengerszint feletti magassága 88,51 mBf és 86,98 mBf között alakult. A talajvíz szintje a település belső részein húzódott legmagasabban, míg a legmélyebb vízállás a település déli területein volt mérhető.

A csatornázást követő időszakban a megszűnő szennyvízkiáramlás következtében jelentős változások figyelhetők meg. A talajvíz szintjében erőteljes süllyedés következett be (5. *ábra*). A csatornázást követő időszakban bekövetkező vízszintsökkenés átlagos mértéke 1,5-2 méter volt, amely nem magyarázható a csapadékviz viszonyokban bekövetkező változásokkal, a vízszintsökkenés oka egyértelműen a szennyvízkiáramlás megszűnésére vezethető vissza.

A csatornázás előtti/utáni állapot és a talajvízszint között ($r=-0.812$) szignifikáns, erős negatív korrelációs kapcsolatot mutattunk ki. Wilcoxon teszttel igazoltuk, hogy a három év adataiban mutatkozó különbségek mögött egyértelmű háttér folyamat (csatornázás) áll. Diszkriminancia analízissel megállapítottuk, hogy a vízszint adatok alapján 94,2%-os pontossággal meghatározható, hogy az adott vízszint adat a csatornázás előtti, vagy azt követő időszakból származik.

Megállapítottuk, hogy az alacsony és magas vízszintek közötti különbségek a csatornázást követő időszakban emelkedtek. Míg 2013-ban a minimum és maximum vízszint között 1,53 méter volt a különbség, addig ez 2017-re 2,29 méterre nőtt, 2019-ben 2,15 méter volt. A jelenség azzal magyarázható, hogy a háztartásokban kiáramló szennyvíz a település vízszintjét kiegyenlítettebbé tette. A déli, alacsony talajvízszinttel rendelkező területein a szennyvízkiáramlás miatt fellépő duzzasztó hatás még erőteljesebben jelentkezett, mint a magasabban vízállású területeken.

A csatornázás következtében lecsökkenő talajvízszint negatív hatása fák kiszáradásában, lakóházak süllyedésében, házfalak megrepedésében kezd megmutatkozni.



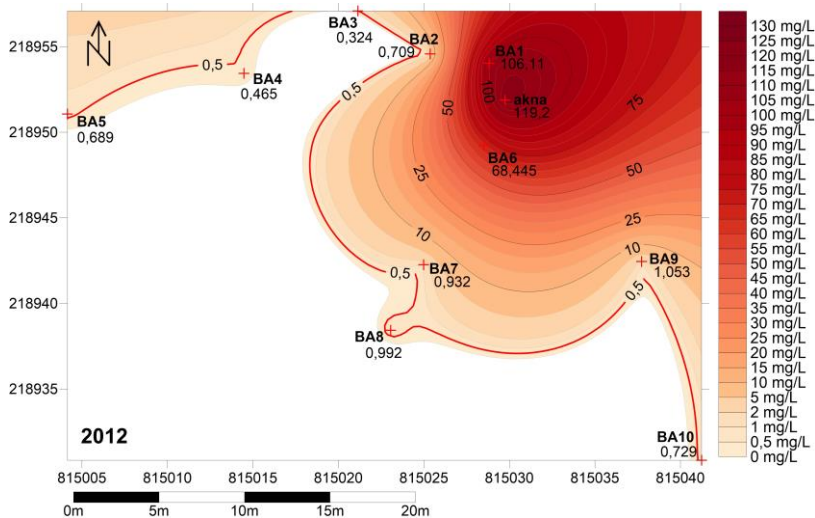
5. ábra. A talajvízszint (mBf) alakulása a csatornázás előtt (2013) és azt követően (2017, 2019).

5. TÉZIS

Megállapítottuk, hogy a vizsgált szigetetlen szennyvízknából kiáramló szennyvíz lokális talajvízdomot alakít ki, valamint jelentősen módosítja a talajvíz minőségét. Az akna közvetlen környezetében a vizsgált vízkémiai paraméterek nyers szennyvizekre jellemző értékeket mutattak.

A vizsgált háztartás vízfogyasztási és szennyvízszállítási adatai alapján megállapítottuk, hogy a szennyvízakra működési fázisában naponta átlagosan 220 liter szennyvíz áramlott ki, ami a terület lokális vízarámlási viszonyait egyértelműen meghatározta. A szennyvízkiáramlás következtében kialakult talajvízdóm magassága meghaladta az 1,1 métert, ami egy síkvidéki területen, 25 méter távolságon belül rendkívül nagy eltérés. A vízintadatok alapján megállapítottuk, hogy a szennyvízkiáramlás déli irányban a legintenzívebb.

A jelentős mennyiségű szennyvízkiáramlás következtében az aknához legközelebb eső kutak vizsgált vízkémiai paraméterei jelentősen eltérnek az aknától távolabb lévő monitoring kutak vízkémiai paramétereitől. Az akna működési fázisában (2014-ig) az aknától 1 méter távolságban lévő monitoring kutakban 20-50 mg/l szervesanyag tartalmat mértünk, mely az aknától távolodva csökkenő értékeket mutatott, ugyanakkor minden kútban meghaladta a vonatkozó 4,5 mg/l határértéket, mutatva a teljes mintaterület elszennyeződését. Az akna közvetlen környezetében a nyers szennyvizekre jellemző, 90 mg/l fölötti NH_4^+ koncentrációkat mértünk (**6. ábra**). Az aknától távolodva javultak a nitrifikáció kialakulásának feltételei, így az NH_4^+ koncentráció rohamosan csökkent, az aknától 15-20 méteres távolságban a 0,5 mg/l-es szennyezettségi határérték közeli szintre.



6. ábra. Az NH_4^+ koncentráció térbeli alakulása az akna környezetében 2012-ben.

A NO_3^- koncentrációjának térbeli változása ezzel ellentétes képet mutatott. A koncentrációk az akna közeli 1-3 mg/l értékről az aknától távolodva – a nitrifikáció feltételeinek javulásával párhuzamosan – emelkedtek jelentősen meghaladva az 50 mg/l-es szennyezettségi határértéket. A PO_4^{3-} koncentrációja az aknától 1 méter

távolságban lévő monitoring kutakban 3-6 mg/l között alakult az akna működési fázisában, mely a távolabbi kutakban alacsonyabb értéket mutatott, ugyanakkor a mintaterület jelentős részén meghaladta a vonatkozó 0,5 mg/l határértéket. Az akna 1 méteres körzetében rendkívül magas, 7000 µg/l feletti Fe koncentrációt mértünk, amely a kiáramló szennyvíz magas Fe tartalmával magyarázható. A távolabbi kutak átlagos Fe koncentrációja 312 µg/l volt.

A statisztikai vizsgálatok is jelentős különbségeket mutattak az aknától való távolság függvényében. Az 1. és 2. főkomponens többváltozós terében az aknához közel (1m távolság) és az aknától távolabb elhelyezkedő (>1m) kutak egyértelműen elkülönültek egymástól. Diszkriminancia analízissel 96,5% pontossággal meghatározható, hogy az adott minta a vízkémiai paramétereinek alapján melyik kategóriába tartozik. Hierarchikus klaszterelemzés során a legszennyezettebb BA1/6/7 kutak egy csoportot alkottak, míg a legalacsonyabb szennyezettséggel rendelkező, aknától legtávolabbra elhelyezkedő BA5 kút a többi monitoring kúttól egyértelműen elkülönült. Kétlépcsős klaszter analízissel megállapítottuk, hogy a klaszterek kialakításakor kiemelkedő súllyal szerepelt az NH_4^+ .

6. TÉZIS

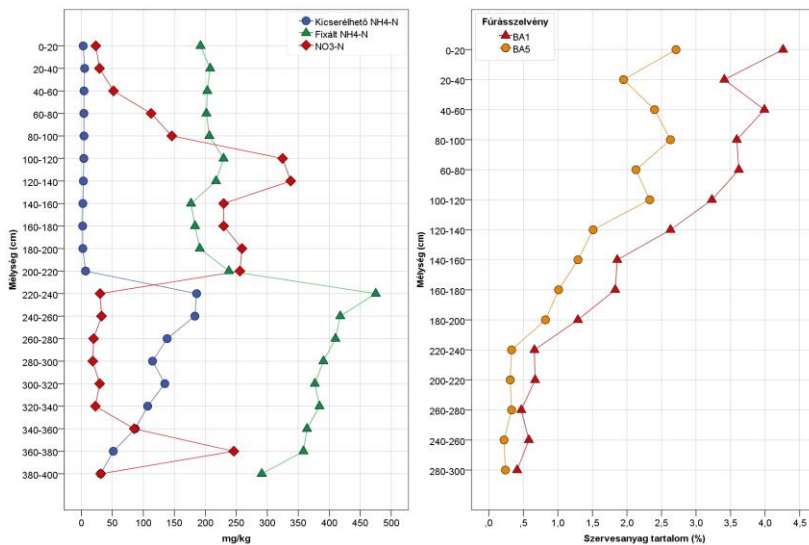
A szennyvízkiáramlás megszűnését követő 5 éves időszakban az akna környezetében a szennyezettség fokának csökkenését mutattuk ki, amely ennek ellenére továbbra is jelentős mértékű. Megállapítottuk, hogy a tisztulási folyamatokat a talajban felhalmozódó szervesanyagok bomlása, a talajban fixált ammónium-ion mennyisége, valamint a telített és telítetlen zóna dinamikája jelentősen befolyásolja.

Az akna felszámolását követő időszakban (2014-2019) jelentős változásokat mutattunk ki. A szennyvízkiáramlás megszűnését követően megszűnt az akna környezetében kialakult talajvízdóm, a monitoring kutakban mért vízszintkülönbség néhány (3-12) cm-re csökkent. Ezzel megváltozott a talajvízáramlás iránya is. A korábban az aknából sugárirányba áramló talajvíz áramlási iránya a településen kimutatott irányba módosult.

A vizsgált vízkémiai paraméterekben történő változások egyértelműen a szennyvízkiáramlás megszűnése utáni pozitív irányú változásokat mutatják. A szervesanyag tartalom ugyan csökkent az akna közelében lévő kutakban, de továbbra is igen magas, 35-70 mg/l értékeket mértünk, mely arra enged következtetni, hogy az akna környezetében a kiáramló szennyvízből jelentős mennyiségű szervesanyag halmozódott fel, mely továbbra is utánpótlást biztosít. Ezt bizonyítja, hogy az aknától 1 méter távolságban lévő fűræsszelvény szervesanyag tartalma duplája az aknától 25 méter távolságban lévő fűræsszelvény szervesanyag tartalmához képest (7. *ábra*).

2014-ben a megszűnő szennyvízkiáramlás az aknától 1 méter távolságban lévő monitoring kutakban azonnal csökkenő NH_4^+ koncentrációkat eredményezett, azonban 5 évvel a szennyezőanyag utánpótlás megszűnését követően, továbbra is a szennyezettségi határértéket (0,5 mg/l) sokszorosán meghaladó (35-57 mg/l) koncentrációkat mértünk. Az igen magas koncentráció azt feltételezi, hogy a talajvízrendszerbe továbbra is nagy mennyiségű NH_4^+ jut. Ennek bizonyítása

érdekében az aknától 1 méter távolságban kialakított 4 méter mély monitoring kút esetében meghatároztuk a talaj kicserélhető és fixált $\text{NH}_4\text{-N}$, valamint $\text{NO}_3\text{-N}$ tartalmát 20 cm-ként (7. ábra). Méréseink alapján a kicserélhető és fixált $\text{NH}_4\text{-N}$ jelentős mértékű akkumulációját mutattuk ki a 220-400 cm-es zónában (>400 mg/kg). Mivel a talaj és a talajvíz NH_4^+ tartalma között dinamikus egyensúly áll fenn, a talajvíz csökkenő NH_4^+ tartalmával párhuzamosan a fixált NH_4^+ ismét oldatba kerül, így biztosítva a továbbra is magas koncentrációkat.



7. ábra. A talaj kicserélhető és fixált $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ (BA6), valamint szervesanyag tartalmának (BA1, BA5) alakulása a fűrészszelvényekben.

A fűrészszelvény telítetlen 100-140 cm-es zónájában a NO_3^- jelentős mértékű akkumulációját mutattuk ki, amely a csatornázás előtt a telített zónához tartozott. A csatornázást után lecsökkenő vízszint következtében beindulhatott a nitrifikáció, melynek forrását a korábban megkötött kicserélhető és fixált NH_4^+ képezte. Vizsgálataink rámutattak arra, hogy a talajban megkötött NH_4^+ mennyisége, valamint a telített és a telítetlen zóna dinamikája döntően befolyásolja a talajvízben lejátszódó tisztulási és nitrifikációs folyamatokat.

A csatornázást követő időszakban a talajvíz NO_3^- koncentrációjában is jelentős változások mutathatók ki. Míg 2013-ban az akna környezetében 1-3 mg/l értékeket mértünk, addig az akna felszámolását követő időszakban az oxidatív feltételek javulásával párhuzamosan a koncentrációk a határérték sokszorosára emelkedtek. A PO_4^{3-} koncentrációja az akna környezetében jelentősen csökkent, ugyanakkor a terület jelentős részén továbbra is meghaladja a határértéket.

Diszkriminancia analízissel 71,3%-os valószínűséggel határozható meg, hogy az adott minta vízkémiai paraméterei alapján a csatornázás előtti vagy azt követő időszakból származik. A relatív alacsony érték azt tükrözi, hogy ugyan történtek pozitív irányú változások a vízminőséget illetően, ugyanakkor a terület 5 évvel a szennyvízkiáramlás megszűnése után továbbra is komoly szennyezettséget mutat.

7. TÉZIS

Feltártuk a szigeteletlen szennyvízakra környezetének nitrogénháztartásában lejátszódó folyamatokat. Az akna felszámolását követően a talajvíz nitrogénháztartása az oxidált szerves nitrogénformák irányába tolódott el, mely a tisztulási folyamatok beindulását indikálja.

A 3D-s krigeléses interpolációval elkészített szerves nitrogénformákra vonatkozó modellek alapján a modellezett zónában meghatároztuk azok térbeli eloszlását, valamint mennyiségüket. A csatornázás előtti (2013) és csatornázás utáni (2016) időpontokra Rockworks szoftverrel a 3 méter mély modellezett zónában lehatárolt víztérfokatok alapján meghatároztuk a szerves nitrogénformák mennyiségét, valamint az $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ g-ban kifejezett értékét. Megállapítottuk, hogy a modellezett zónában a szennyvízakra használaton kívül helyezése után másfél évvel, több mint kétszeresére, 19533 g-ról 46940 g-ra nőtt a szerves nitrogénformákban jelenlévő nitrogén mennyisége (**I. táblázat**).

Az $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ egymáshoz viszonyított aránya a vizek tisztulási folyamata szempontjából igen fontos mutató együttes. A szerves nitrogénformák arányaiban is jelentős változást tapasztaltunk. Az NH_4^+ aránya 70%-ról 10 % alá csökkent. Az oxidáltabb formák közül a NO_2^- arányában nem történt számottevő változás, ami annak köszönhető, hogy a NO_2^- oxigén jelenlétében hamar tovább oxidálódik nitráttá. Míg 2013-ban a szerves nitrogénformák 29%-a volt a nitrát, addig 2016-ra ez az érték közel 90%-ra nőtt (37. táblázat), ennek alapján megállapítható, hogy a nitrogén oxidáltsági foka 2016-ra jelentősen emelkedett. Ez alapján kijelenthetjük, hogy a területen a tisztulási folyamatok elkezdődtek, ugyanakkor eredményeink rávilágítanak arra, hogy a környezetbe kerülő szennyezőanyagok számos átalakuláson esnek át, és hosszú ideig a rendszerben maradnak.

I. táblázat. A szerves formákban jelenlévő N mennyisége (g) 2013-ban és 2016-ban a modellezett zónában.

	2013		2016	
$\text{NH}_4\text{-N}$ mennyisége (g)	13765,8	70,48 %	4634,3	9,87 %
$\text{NO}_2\text{-N}$ mennyisége (g)	175,8	0,9 %	361,7	0,77 %
$\text{NO}_3\text{-N}$ mennyisége (g)	5591.1	28,62 %	41943,9	89,36 %
Összesen:	19532,7	100 %	46939,9	100 %

Felhasznált Irodalom

- Adimalla, N., Qian, H., & Tiwari, D. M. (2020). Groundwater chemistry, distribution and potential health risk appraisal of nitrate enriched groundwater: A case study from the semi-urban region of South India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 207, 111277.
- Azzellino, A., Colombo, L., Lombi, S., Marchesi, V., Piana, A., Andrea, M., & Alberti, L. (2019). Groundwater diffuse pollution in functional urban areas: The need to define anthropogenic diffuse pollution background levels. *Science of The Total Environment*, 656, 1207-1222.
- Beuters, P., & Scherer, H. W. (2012). Modification of the standard method for determination of non-exchangeable NH₄-N in soil. *Plant, Soil and Environment*, 58(12), 557-560.
- Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & Tozer, R. G. (1970). A water quality index - do we dare.
- Burucs K. (1987). Vízszennyezés Magyarországon 1949-1980. *História*, 18-21 p.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) (2001). Canadian Water Quality Index 1.0 Technical report and user's manual. Canadian Environmental Quality Guidelines Water Quality Index Technical Subcommittee. Gatineau, QC, Canada.
- Heatwole, K. K., & McCray, J. E. (2007). Modeling potential vadose-zone transport of nitrogen from onsite wastewater systems at the development scale. *Journal of Contaminant Hydrology*, 91(1-2), 184-201.
- ISO 11732:2005. Water quality – Determination of ammonium nitrogen – Method by flow analysis (CFA and FIA) and spectrometric detection.
- KSH. (2020). Közműöllő, december 31. (2000–). online: http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_zrk006b.html?down=581
- Literáthy P. (1973) Egységes vizvizsgáló módszerek I. Kémiai módszerek, 1. kötet, Vizgazdálkodási Tudományos Kutatóintézet IV. Vízminőségi és Víztechnológiai Főosztálya, 233 p.
- Machival, D., & Jha, M. K. (2015). Identifying sources of groundwater contamination in a hard-rock aquifer system using multivariate statistical analyses and GIS-based geostatistical modeling techniques. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 4, 80-110.
- Mester, T., Balla, D., Karancsi, G., Bessenyei, É., & Szabó, G. (2019). Effects of nitrogen loading from domestic wastewater on groundwater quality. *Water SA*, 45(3), 349-358.
- Mester, T., Balla, D., & Szabó, G. (2020). Assessment of Groundwater Quality Changes in the Rural Environment of the Hungarian Great Plain Based on Selected Water Quality Indicators. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231(11), 1-14.
- MSZ-08-0210:1977. A talaj szerves szén tartalmának meghatározása.
- MSZ-08-0206-2:1978. A talaj egyes kémiai tulajdonságainak vizsgálata. Laboratóriumi vizsgálatok (pH-érték, szódában kifejezett fenolfalein lúgosság, vízben oldható összes só, hidrolitos és kicserélődési aciditás).
- MSZ ISO 21464:1998. Mintavétel felszín alatti vizekből.
- MSZ 20135:1999. A talaj oldható tápelemtartalmának meghatározása.
- Müller, H. W., Dohrmann, R., Klosa, D., Rehder, S., & Eckelmann, W. (2009). Comparison of two procedures for particle-size analysis: Köhn pipette and X-ray granulometry. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(2), 172-179.
- Nemčić-Jurec, J., Singh, S. K., Jazbec, A., Gautam, S. K., & Kovač, I. (2017). Hydrochemical investigations of groundwater quality for drinking and irrigational purposes: two case studies of Koprivnica-Križevci County (Croatia) and district Allahabad (India). *Sustainable Water Resources Management*, 1-2.
- Rapant, S., Vrana, K., & Bodis, D. (1995). Geochemical atlas of Slovak Republic. Bratislava, Groundwater, Geofond, 1.
- Richards, S., Paterson, E., Withers, P. J., & Stutter, M. (2016). Septic tank discharges as multi-pollutant hotspots in catchments. *Science of the Total Environment*, 542, 854-863.
- Silva, J.A., Bremner, J.M., 1966. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 5. Fixed ammonium. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 30, 587-594.



Nyilvántartási szám: DEENK/355/2020.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Mester Tamás
Doktori Iskola: Földtudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10053420

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű könyvrészletek (1)

1. **Mester, T., Balla, D. Z., Szabó, G.:** A talajvíz szervetlen nitrogéntartalmában bekövetkező változások vizsgálata egy szigeteletlen szennyvízakra környezetben.
In: Tájak működése és arculata. Szerk.: Fazekas István, Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 213-217, 2019. ISBN: 9789637064395

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

2. **Mester, T., Cavalli, D., Balla, D. Z., Szabó, G.:** A talaj fixált ammónium-ion tartalmának hatása a talajvíz tisztulási folyamataira a szennyezőforrás felszámolását követően települési környezetben.
Agrokém. Talajt. 69 (1-2), 55-71, 2020. ISSN: 0002-1873.
DOI: <https://doi.org/10.1556/0088.2020.00065>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (9)

3. **Mester, T., Balla, D. Z., Szabó, G.:** Application of the cmce water quality index for assessment of groundwater contamination in the rural environment of the Great Hungarian Plain.
Jour. of Soi. and Wat. Conser. 19 (2), 202-207, 2020. ISSN: 0022-457X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5958/2455-7145.2020.00027.2>
4. **Mester, T., Balla, D. Z., Szabó, G.:** Assessment of Groundwater Quality Changes in the Rural Environment of the Hungarian Great Plain Based on Selected Water Quality Indicators.
Water Air Soil Pollut. 231 (11), 1-14, 2020. ISSN: 0049-6979.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-020-04910-6>
IF: 1.9 (2019)
5. Balla, D. Z., Bodroginé Zichar, M., Tóth, R., Kiss, E., Karancsi, G., **Mester, T.:** Geovisualization Techniques of Spatial Environmental Data Using Different Visualization Tools
Appl. Sci.-Basel. 10 (19), 1-14, 2020. ISSN: 2076-3417.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/app10196701>
IF: 2.474 (2019)





6. Mester, T., Balla, D. Z., Karancsi, G., Bessenyei, É., Szabó, G.: Effects of nitrogen loading from domestic wastewater on groundwater quality.
Water SA. 45 (3), 349-358, 2019. ISSN: 0378-4738.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17159/wsa/2019.v45.i3.6731>
IF: 1.094
7. Mester, T., Balla, D. Z., Szabó, G.: Assessment of changes in the Water Quality Index following the establishment of a sewage system.
J. Mater. Environ. Sci. 9 (11), 3067-3074, 2018. ISSN: 2028-2508.
8. Mester, T., Balla, D. Z., Kiss, E., Szabó, G.: Evaluation of groundwater quality changes following the establishment of a sewage network.
Egypt. J. Soil Sci. 58 (4), 457-462, 2018. E-ISSN: 2357-0369.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21608/ejss.2019.6421.1227>
9. Mester, T., Balla, D. Z., Szabó, G.: Evaluation of the cleaning process of groundwater following the establishment of a sewage system.
IOP Conf. Ser. Earth and Environ. Sci. 191, 1-6, 2018. ISSN: 1755-1307.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/191/1/012009>
10. Mester, T., Szabó, G., Karancsi, G., Balla, D. Z.: Groundwater contamination from uninsulated sewage tanks in an eastern Hungarian settlement. Utánközlés másodközlés,
Eur. Water. 58 (2), 267-271, 2017. ISSN: 1105-7580.
11. Mester, T., Szabó, G., Bessenyei, É., Karancsi, G., Barkóczy, N., Balla, D. Z.: The effects of uninsulated sewage tanks on groundwater. A case study in an eastern Hungarian settlement.
J. Water Land Dev. 33 (4-6), 123-129, 2017. ISSN: 1429-7426.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1515/jwld-2017-0027>

Magyar nyelvű konferencia közlemények (6)

12. Mester, T., Balla, D. Z., Szabó, G.: A talajvíz szervesen nitrogénformáinak változása a szennyvízcsatorna-hálózat kiépítését követően.
In: Innovációs kihívások a XXI. században : LXI. Georgikon Napok konferenciakötete. Szerk.: Pintér Gábor, Csányi Szilvia, Zsiborács Henrik, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 242-249, 2019. ISBN: 9789633961308
13. Mester, T., Balla, D. Z., Szabó, G.: A szennyvízcsatorna hálózat kiépítését követő talajvízminőség változások értékelése.
In: Földrajzi Tanulmányok 2018 : IX. Magyar Földrajzi Konferencia. Szerk.: Fazekas István, Kiss Emöke, Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 183-186, 2018. ISBN: 9789635088973
14. Mester, T., Balla, D. Z., Kiss, E., Szabó, G.: A talajvíz nitrát tartalmának összehasonlító vizsgálata a szennyvízcsatorna-hálózat kiépítését követően.
In: Arcra vagy háttal a jövőnek? : 60 éves a Georgikon Napok Konferencia. Szerk.: Csányi Szilvia, Pannon Egyetem, Keszthely, 247-251, 2018. ISBN: 9789639639928





15. **Mester, T., Balla, D. Z., Botos, Á., Karancsi, G., Szabó, G.:** Lakossági szennyvízknákból kiáramló szennyvíz talajvízre gyakorolt hatásának vizsgálata.
In: LIX. Georgikon Napok Nemzetközi Tudományos Konferencia 2017. szeptember 28-29., PE Georgikon Kar, Keszthely. Szerk.: Nagy Zita Barbara, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 343-349, 2017. ISBN: 9789639639898
16. **Mester, T., Szabó, G., Balla, D. Z., Karancsi, G., Szabó, G., Tóth, C. A.:** Egy nem zárt rendszerű szennyvízakra talajvízszintre gyakorolt hatásának vizsgálata.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VII. : Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás. Szerk.: Balázs Boglárka, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 311-317, 2016. ISBN: 9789633185704
17. **Mester, T., Szabó, G.:** A talajvíz kutak nitrát szennyezettségének vizsgálata Bárádon.
In: A környezettudatos települések felé : III. Települési Környezet Konferencia. Szerk.: Fazekas István, Szabó Valéria, Meridián Alapítvány, Debrecen, 274-280, 2012. ISBN: 9789630852944

Idegen nyelvű konferencia közlemények (2)

18. **Mester, T., Szabó, G., Karancsi, G., Balla, D. Z.:** Groundwater contamination from uninsulated sewage tanks in an eastern Hungarian settlement.
In: Proceedings of the 10th World Congress of EWRA 'Panta Rhei', 5-9 July 2017, Athens, Greece. Eds.: George Tsakiris, Vassilios A. Tsihrintzis, Harris Vangelis, Dimitris Tigkas, European Water Resources Association, Athens, 1305-1309, 2017.
19. **Mester, T., Szabó, G.:** Nitrate contamination in the groundwater wells of an Eastern Hungarian settlement.
In: International Conference on Environmental Science and Technology - Conference CD. Digital Proceeding Of THE ICOEST'2013. Ed.: Cappadocia C. Ozdemir, S. Şahinkaya, E. Kalıpcı, M. K. Oden, [s.n.], [s.l.], 1-16, 2013.

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (3)

20. **Mester, T., Balla, D. Z., Szabó, G.:** A szennyvízcsatorna hálózat kiépítését követő talajvízminőség változások.
In: IX. Magyar Földrajzi Konferencia előadásainak és posztereinek összefoglalói. Szerk.: Fazekas István, Kiss Emőke, Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 78, 2018. ISBN: 9789635088966
21. **Mester, T., Balla, D. Z., Botos, Á., Karancsi, G., Szabó, G.:** Egy lakossági szennyvízknákból kiáramló szennyvíz talajvízre gyakorolt hatásának vizsgálata.
In: LIX. Georgikon Napok : Kivonat-kötet. Szerk.: Nagy Zita Barbara, Pannon Egyetem, Georgikon Kar, Keszthely, 122, 2017. ISBN: 9789639639881





22. **Mester, T.**: Talajvíz kutak szennyezettségének vizsgálata Bárándon.

In: XXXI. OTDK Országos Tudományos Diákköri Konferencia Fizika Földtudományok és Matematika Szekciójának Kivonatkötelete : Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Természettudományi Kar & Építőmérnöki Kar, 2013. április 18-20. Szerk.: Erdei Gábor, BME, Budapest, 233, 2013.

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (4)

23. **Mester, T.**, Balla, D. Z., Szabó, G.: Application of CCME Water Quality index for assessment of groundwater contamination in rural environment of the Great Hungarian Plain.
In: International Conference on Soil and Water Resources Management for Climate Smart Agriculture, Global Food and Livelihood Security. Ed.: Suraj Bhan, Sanjay Arora, Soil Conservation Society of India, New Delhi, 62, 2019.
24. **Mester, T.**, Balla, D. Z., Szabó, G.: Changes in inorganic nitrogen forms of groundwater following the construction of the sewage network.
In: Innovation challenges in the 21st century : LXI. Georgikon Napok International Scientific Conference : abstract volume. Eds.: Gábor Pintér, Szilvia Csányi, Henrik Zsiborács, University of Pannonia Georgikon Faculty, Keszthely, 68, 2019. ISBN: 9789633961292
25. **Mester, T.**, Balla, D. Z., Kiss, E., Szabó, G.: Comparative investigations of nitrate levels in groundwater after the construction of the sewage network.
In: Arccal vagy háttal a jövőnek? : LX. Georgikon Napok, Pannon Egyetem, Keszthely, 102, 2018. ISBN: 9789639639911
26. **Mester, T.**, Balla, D. Z., Kiss, E., Szabó, G.: Evaluation of changes in groundwater quality following the establishment of a sewage network.
In: The 13th International Conference of Egyptian Soil Science Society (ESSS) "Management of Water and Soil Resources under Global Climate Changes". Ed.: Omar El-Hady, Egyptian Soil Science Society, Dokki, Giza, 19, 2018.

További közlemények

Magyar nyelvű könyvrészletek (2)

27. Bánóczki, K., Balla, D. Z., **Mester, T.**, Csorba, P.: A Debrecen környéki tájértékek állapotellenőrzése és módszertani kérdései.
In: Tájak működése és arculata. Szerk.: Fazekas István, Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 447-452, 2019. ISBN: 9789637064395





28. Fazekas, I., Szabó, G., Patkós, C., Radics, Z., Csorba, P., Tóth, T., Kovács, E., **Mester, T.**, Szabó, L.: A lakosság megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos ismereteinek vizsgálata eltérő adottságú.
In: Környezet és Energetika : Hatékony termelés, tudatos felhasználás. Szerk.: Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 141-146, 2016. ISBN: 9789637064364

Idegen nyelvű, külföldi könyvrészletek (1)

29. Novák, T., **Mester, T.**, Balla, D. Z., Szabó, G.: Culti-sequence of village garden soils on the Great Hungarian Plain.
In: Soil sequences atlas II.. Ed.: Marcin Świtoniak, Przemyslaw Charzyński, Machina Druku, Toruń, 127-137, 2018. ISBN: 9788394929770

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

30. Novák, T., Balla, D. Z., Rásó, J., Botos, Á., **Mester, T.**: A NAIK ERTI Püspökladányi Állomás talajainak taxonómiai helyzete WRB 2015 szerint.
Talajvédelem. Kisz., 189-197, 2017. ISSN: 1216-9560.
31. **Mester, T.**, Balla, D. Z., Botos, Á., Szabó, G., Sándor, G., Novák, T.: Az antropogén hatások mértékének és jelentőségének értékelése WRB irányelvek alapján tiszántúli kertek talajában.
Talajvédelem. Kisz., 179-187, 2017. ISSN: 1216-9560.

Magyar nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

32. Szabó, G., Fazekas, I., Patkós, C., Radics, Z., Csorba, P., Tóth, T., Kovács, E., **Mester, T.**, Szabó, L.: Investigation of public attitude towards renewable energy sources using word association method in Hungarian settlements = A megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos lakossági attitűd vizsgálata szóasszociációs módszerrel magyarországi településeken.
JATES. 8 (1), 6-24, 2018. E-ISSN: 2560-5429.
DOI: <http://dx.doi.org/10.24368/jates.v8i1.25>

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

33. Balla, D. Z., Bodroginé Zichar, M., Kozics, A., **Mester, T.**, Mikita, T., Incze, J., Novák, T.: A GIS tool to express soil naturalness grades and geovisualization of results on Tokaj Nagy-Hill.
Acta Polytech. Hung. 16 (6), 191-205, 2019. ISSN: 1785-8860.
IF: 1.219

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (6)

34. Szabó, G., Fazekas, I., Radics, Z., Csorba, P., Patkós, C., Kovács, E., Tóth, T., **Mester, T.**, Szabó, L.: Assessing the Public Knowledge Structure Towards Renewable Energy Sources in Hungary.
Int. J. Renewable Ener. Res. 10 (3), 1476-1486, 2020. E-ISSN: 1309-0127.





35. Balla, D. Z., Novák, T., Kiss, E., **Mester, T.**, Bodroginé Zichar, M.: Classification and geovisualization process of soil data using a web-based spatial information system. *Open Agriculture*. 5 (1), 638-655, 2020. ISSN: 2391-9531.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1515/opag-2020-0054>
36. **Mester, T.**, Csákberényi-Nagy, G., Türk, G., Lázár, I., Tóth, T.: Development of a new hybrid aquaponic system for increasing chilli production efficiency. *J. Appl. Horticult.* 21 (2), 151-156, 2019. ISSN: 0972-1045.
37. Kiss, E., Balla, D. Z., **Mester, T.**, Fazekas, I.: Implementation of climate change strategies in Hungary. *Egypt. J. Soil Sci.* 58 (4), 443-455, 2018. EISSN: 2357-0369.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21608/ejss.2018.6362.1224>
38. Balla, D. Z., **Mester, T.**, Márta, L., Molnár, D., Barkóczi, N., Bodroginé Zichar, M., Botos, Á., Novák, T.: Effects of land use changes on soil properties based on reamulated soil profiles. *Acta Univ. Sapientiae. Agric. Environ.* 9 (1), 70-81, 2017. ISSN: 2065-748X.
39. Szabó, G., Bessenyei, É., Hajnal, A., Csige, I., Szabó, G., Tóth, C. A., Posta, J., **Mester, T.**: The Use of Sodium to Calibrate the Transport Modeling of Water Pollution in Sandy Formations Around an Uninsulated Sewage Disposal Site. *Water Air Soil Pollut.* 227 (2), 1-13, 2016. ISSN: 0049-6979.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-015-2742-6>
IF: 1.702

Magyar nyelvű konferencia közlemények (8)

40. Balla, D. Z., Karancsi, G., Kiss, E., **Mester, T.**, Bodroginé Zichar, M.: Validációs algoritmusok implementálása egy web-alapú Talajinformációs rendszerben.
In: Innovációs kihívások a XXI. században : LXI. Georgikon Napok konferenciakötete. Szerk.: Pintér Gábor, Csányi Szilvia, Zsiborács Henrik, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 9-13, 2019. ISBN: 9789633961308
41. Kiss, E., Balla, D. Z., **Mester, T.**, Fazekas, I.: A hazai hulladékgazdálkodás eredményei 2004-2016 között.
In: LX. Georgikon Napok Nemzetközi Tudományos Konferencia : Arcra vagy hátra a jövőnek? : 60 éves a Georgikon Napok Konferencia. Szerk.: Csányi Szilvia, Pannon Egyetem, Keszthely, 168-172, 2018. ISBN: 9789639639928
42. Szabó, G., Fazekas, I., Patkós, C., Radics, Z., Csorba, P., Tóth, T., Kovács, E., **Mester, T.**, Szabó, L.: A lakosság megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos ismereteinek vizsgálata hajdúbihar megyei és heves megyei településeken.
In: Földrajzi tanulmányok. Szerk.: Fazekas István, Kiss Emőke, Lázár István, MTA DTB, Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 133-139, 2018. ISBN: 9789635088973





43. Botos, Á., **Mester, T.**, Balla, D. Z., Novák, T.: Erdőtelepítések hatása talajok egyes tulajdonságaira.
In: LIX. Georgikon Napok Nemzetközi Tudományos Konferencia 2017. szeptember 28-29., PE Georgikon Kar, Keszthely. Szerk.: Nagy Zita Barbara, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 65-71, 2017. ISBN: 9789639639898
44. Balla, D. Z., **Mester, T.**, Botos, Á., Bodroginé Zichar, M., Szabó, G., Novák, T.: Kertként hasznosított területek kiterjedése és változásai Magyarországon felszínborítási adatok alapján.
In: Interdiszciplináris táj kutatás a XXI. században : a VII. Magyar Tájékológiai Konferencia tanulmányai. Szerk.: Blanka Viktória, Ladányi Zsuzsanna, Szegedi Tudományegyetem Földrajzi és Földtudományi Intézet, Szeged, 47-52, 2017. ISBN: 9789633065426
45. Botos, Á., Tóth, C. A., Balla, D. Z., **Mester, T.**, Novák, T.: Művelésből kivont tiszántúli kunhalmok talajának változásai.
In: Interdiszciplináris táj kutatás a XXI. században : a VII. Magyar Tájékológiai Konferencia tanulmányai. Szerk.: Blanka Viktória, Ladányi Zsuzsanna, Szegedi Tudományegyetem Földrajzi és Földtudományi Intézet, Szeged, 61-69, 2017. ISBN: 9789633065426
46. Balla, D. Z., Makai, K., Karancsi, G., **Mester, T.**, Botos, Á., Bodroginé Zichar, M., Novák, T.: Talajszelvények modellezése és WRB szerinti értékelése egy alföldi mintaterületen.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VIII.: Térinformatikai konferencia és szakkiallítás. Szerk.: Balázs Boglárka, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 21-28, 2017. ISBN: 9789633186381
47. Szabó, G., Bessenyei, É., Hajnal, A., Csige, I., **Mester, T.**: A szennyezésterjedés modellezése egy kelet-magyarországi szennyvízleürítő példáján.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VII. : Térinformatikai Konferencia és Szakkiallítás. Szerk.: Balázs Boglárka, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 439-446, 2016.

Idegen nyelvű konferencia közlemények (3)

48. Balla, D. Z., Bodroginé Zichar, M., Kiss, E., Karancsi, G., **Mester, T.**: Analytic Web Tool for Calculating and Geovisualizing Water Quality Based on Different Indices.
In: GEOIT4W-2020: Proceedings of the 4th Edition of International Conference on Geo-IT and Water Resources 2020, Geo-IT and Water Resources 2020 / Scientific Association for Water Information System - SAWIS, Association for Computing Machinery, New York, 1-5, 2020. ISBN: 9781450375788
49. **Mester, T.**, Szabó, G., Balla, D. Z.: Assessment of the Effects of an Unrecultivated Sewage Disposal Site on Groundwater.
In: GEOIT4W-2020: Proceedings of the 4th Edition of International Conference on Geo-IT and Water Resources 2020, Geo-IT and Water Resources 2020 / Scientific Association for Water Information System - SAWIS, Association for Computing Machinery, New York, 1-5, 2020. ISBN: 9781450375788



50. Balla, D. Z., **Mester, T.**, Botos, Á., Novák, T., Bodroginé Zichar, M., Rásó, J., Karika, A.:
Possibilities of spatial data visualization with web technologies for cognitive interpretation.
In: 8th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications: CogInfoCom 2017 :
Proceedings : September 11-14, 2017 Debrecen, Hungary, IEEE Computer Society,
Piscataway, 17-20, 2017. ISBN: 9781538612644

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (5)

51. Bánóczy, K., Balla, D. Z., **Mester, T.**, Csorba, P.: A Debrecen környéki tájértékek
állapotellenőrzése és módszertani kérdései.
In: VIII. Magyar Tájékológiai Konferencia: Összefoglalók. Szerk.: Fazekas István, Lázár
István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Kisvárd, 101, 2019. ISBN: 9789635089154
52. Balla, D. Z., Kozics, A., Molnár, D., **Mester, T.**, Kiss, E., Bodroginé Zichar, M., Mikita, T., Incze,
J., Novák, T.: A talajok antropogén átalakíthatóságának automatizált becslése és webes
publikálása felszínborítási adatok és WRB irányelvek szerinti diagnosztika alapján a tokaji
Nagy-hegy példáján.
In: IX. Magyar Földrajzi Konferencia előadásainak és posztereinek összefoglalói. Szerk.:
Fazekas István, Kiss Emőke, Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság,
Debrecen, 126, 2018. ISBN: 9789635088966
53. Botos, Á., **Mester, T.**, Balla, D. Z., Novák, T.: Erdőtelepítések hatása talajok egyes
tulajdonságaira.
In: LIX. Georgikon Napok : Kivonat-kötet. Szerk.: Nagy Zita Barbara, Pannon Egyetem,
Georgikon Kar, Keszthely, 62, 2017. ISBN: 9789639639881
54. **Mester, T.**, Sándor, G., Botos, Á., Balla, D. Z., Szabó, G., Novák, T.: Az antropogén hatások
mértékének és jelentőségének értékelése WRB irányelvek alapján tisztántúli kertes talajaiban.
In: Talajtani Vándorgyűlés: Az előadások és a poszterek összefoglalója / kész. Sándor Zsolt,
Szász Gizella, Magyar Talajtani Társaság, Debrecen, 26, 2016.
55. Balla, D. Z., Rásó, J., Botos, Á., **Mester, T.**, Novák, T.: Az ERTI Püspökladányi állomás talajainak
taxonómiai helyzete WRB szerint.
In: Talajtani Vándorgyűlés : Az előadások és a poszterek összefoglalója / kész. Sándor Zsolt,
Szász Gizella, Magyar Talajtani Társaság, Debrecen, 25, 2016.

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (7)

56. Balla, D. Z., Bodroginé Zichar, M., Tóth, R., Kiss, E., Karancsi, G., Lázár, V., **Barányi, I., Mester,**
T.: Visualization of Water Quality Index using Keyhole Markup Language.
In: A klímaváltozás kihívásai a következő évtizedekben : 62. Georgikon Napok : Előadások
kivonatai, Szent István Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 12, 2020.





57. Balla, D. Z., Karancsi, G., Kiss, E., **Mester, T.**, Bodroginé Zichar, M.: Implementation of validation algorithms into a web-based Soil Information System.
In: Innovation challenges in the 21st century : LXI. Georgikon Napok International Scientific Conference : abstract volume. Eds.: Gábor Pintér, Szilvia Csányi, Henrik Zsiborács, University of Pannonia Georgikon Faculty, Keszthely, 6, 2019. ISBN: 9789633961292
58. Bánóczki, K., Balla, D. Z., **Mester, T.**, Csorba, P.: The assessment of unique natural and landscape features in the outskirts of Debrecen.
In: Innovation challenges in the 21st century : LXI. Georgikon Napok International Scientific Conference : abstract volume. Eds.: Gábor Pintér, Szilvia Csányi, Henrik Zsiborács, University of Pannonia Georgikon Faculty, Keszthely, 11, 2019. ISBN: 9789633961292
59. Kiss, E., Balla, D. Z., **Mester, T.**, Fazekas, I.: Climate change strategies in Hungary.
In: Management of Water and Soil Resources under Global Climate Changes. Ed.: Omar El-Hady, Egyptian Soil Science Society (ESSS), Dokki, Giza, 20, 2018.
60. Balla, D. Z., Novák, T., **Mester, T.**, Kiss, E., Bodroginé Zichar, M.: Evaluation of computer-assisted topography tests in the Geographer MSC program in the University of Debrecen.
In: Arccal vagy háttal a jövőnek? : LX. Georgikon Napok, Pannon Egyetem, Keszthely, 28, 2018. ISBN: 9789639639911
61. Csákberényi-Nagy, G., Tóth, T., Türk, G., **Mester, T.**, Lázár, I.: Increasing the efficiency of aquaponics crop production by applying quail dung.
J. FisheriesSciences.com. 12, 24, 2018. ISSN: 1307-234X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21767/1307-234X-C1-002>
62. Kiss, E., Balla, D. Z., **Mester, T.**, Fazekas, I.: Waste management in Hungary and its legal background.
In: LX. Georgikon Napok Nemzetközi Tudományos Konferencia : Arccal vagy háttal a jövőnek? Szerk.: Nagy Zita Barbara, Pannon Egyetem, Keszthely, 82, 2018. ISBN: 9789639639911

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 8,389

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 5,468

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománytermetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2020.11.20.



**Short thesis for the degree of doctor of
philosophy (PhD)**

**Studying groundwater quality changes after
the construction of sewerage network on the
example of a settlement in East Hungary**

Tamás Mester

Supervisor: Dr. habil. György Szabó



UNIVERSITY OF DEBRECEN

Doctoral School of Earth Sciences

Debrecen, 2020.

1 INTRODUCTION

In parallel with the construction of the drinking water network, the sewerage network and wastewater treatment plants were not established in Hungary, therefore municipal wastewater from households is stored in various installations without insulation in the yard of households (cesspits, soakaways, septic tanks) became a widespread practice (*Burucs, 1987, Mester et al., 2019*). Wastewater flowing out of these point sources resulted in a sharp degradation of the groundwater supply in the municipalities (*Heatwole – McCray, 2007; Nemčić-Jurec et al., 2017; Mester et al., 2020*).

However, the deterioration of groundwater status occurred not only in Hungary, it is a global problem, which has thus become the focal point of environmental research (*Azzellino et al., 2019*). Numerous studies show that, in addition to industrial and agricultural activity, one of the most significant sources of pollution is municipal wastewater, the treatment and cleaning of which is often unresolved in developing and developed countries alike (*Machwal – Jha, 2015; Richards, 2016; Adimalla et al., 2020*).

Hungary ratified the 2000/60/EC Water Framework Directive and Directive 91/271/EEC on urban wastewater treatment by joining the European Union, in accordance with which the establishment of the sewerage network of municipalities with pollutant loads above 2000 inhabitant equivalents (IE) is currently ongoing. Very significant progress has been made in the collection and purification of municipal wastewater in Hungary in the last decade. The difference in the proportion of homes connected to the water and sewerage decreased from 41.1% in 2000 to 13.3% in 2018 (*KSH, 2020*).

As a result of the investments realised, the amount of municipal wastewater entering the groundwater system has been significantly reduced, the effect of which extends to the entire urban environment. Since the construction of a sewerage network is a very heavy financial burden for municipalities, the question may arise as to the benefits of these investments. Does it really solve the problems and, if so, how quickly do the desired positive changes occur? In order to accurately determine the extent, intensity and duration of the expected purification processes, long-term groundwater monitoring is essential, during which a pre-investment baseline assessment is required.

In this doctoral thesis, the impact of the construction of the sewerage network on groundwater quality was studied on the example of Báránd a middle-sized settlement in the Great Hungarian Plain and changes in water quality were assessed. Regular water quality tests have been carried out in the village since 2011, which have continued after the construction of the sewerage network municipality in 2014 and are still ongoing. And groundwater monitoring, which has been going on for a decade, provides an opportunity to carry out a complex, comparative research that can not only bring important value added for both domestic and international literature, but also has economic importance.

2 HYPOTHESES, AIMS

The main objective of the research is to establish the dynamics of groundwater quality changes following the construction of the sewerage network, thereby providing an accurate picture of the purification processes taking place. At the start of the study, the following hypotheses were set:

1. The groundwater supply of the settlement strongly polluted as a result of decades long sewage outflow and the effects of other point-like pollution sources.
2. The quality of groundwater will improve significantly after the construction of a sewerage network in the settlement.
3. The spatial distribution of groundwater contamination is fundamentally determined by the direction of groundwater flow. Those areas of the settlement are the most polluted towards which groundwater flows from other parts of the settlement.
4. Contaminants entering the groundwater were transported to areas outside the settlement and their traces can be detected even today.
5. As a result of the vertical spread of contaminants, deeper zones were also contaminated.
6. Sewage flowing out of the uninsulated septic tank influences locally significantly the direction of groundwater flow and the quality of groundwater as well.
7. In the vicinity of the septic tank, 5 years after the outflow of sewage, positive changes can be detected in the quality of water.

The following aims were set in order to either justify or decline our hypothesis:

1. Regular (monthly/seasonal/summer) sampling in both periods before (2011-2014) and after (2015-2019) the construction of the sewerage network from groundwater wells in the settlement in order to determine the dynamics of water quality change as accurately as possible.
2. Establishment of monitoring wells outside the settlement and studying the quality of water in these wells in order to identify the horizontal spread of the contamination.
3. Identification of the soil types typical for the settlement, description of the core samples of boreholes in terms of physical and chemical soil properties.
4. Complex geochemical description of the groundwater supply of the settlement.
5. Exposition of geochemical relationships among various contaminants and also changes in the contamination in both space and time using different geoinformatic and multivariate statistical methods.
6. Study of the changes in the groundwater level.
7. In order to expose the effects of uninsulated septic tanks as point-like pollution sources on the environment the establishment of monitoring wells in the vicinity of a septic tank in 2012 and the detailed study of the effects of the septic tank on the environment.
8. Study of the dynamics of the inorganic forms of nitrogen in the surroundings of the septic tank.

3 MATERIAL AND METHODS

We started groundwater quality tests in Báránd, the municipality that was involved in the study, in November 2011. In the first phase of the research, monthly groundwater quality tests carried out lasting one year. Seasonal sampling has been taking place since 2013. Regular water sampling is carried out from 16 dug groundwater wells, the number of wells has been extended to 40 during summer sampling in order to determine the contamination as accurately as possible in space. When selecting groundwater wells, we tried to cover the settlement evenly (*Figure I*). We also included two drilled wells with depths of 32 metres 102 metres respectively. In the course of water sampling, the upper 1 metre water column of the wells was sampled.

Since municipal wastewater is the most important source of pollution in the environment of the settlement, our research was expanded in 2012 to study an uninsulated septic tank in the central part of the village, during which we established 10 monitoring wells around the septic tank (*Figure I*). Seasonal water sampling from the monitoring wells was carried out following the extraction of water three times the well volume according to the standard MSZ ISO 21464:1998. Soil samples were taken from the borehole profiles of the monitoring wells by 20 cm. At the time of the water sampling, the electrical conductivity (EC), temperature, dissolved oxygen content (DO) and redox potential (ORP) of the water sample were determined on site; furthermore, the depth of the static groundwater table was also documented. Since the municipality has sewage discharges of more than 2000 inhabitants equivalent, a sewerage system was constructed in 2014 in accordance with the relevant legislation.

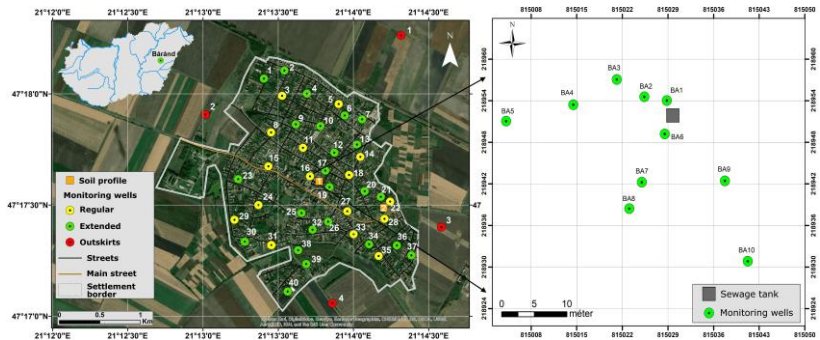


Figure 1. Location of monitoring wells in Báránd and in the vicinity of the sewage tank.

The ammonium ion (NH_4^+), nitrite ion (NO_2^-), nitrate ion (NO_3^-), orthophosphate ion (PO_4^{3-}) and organic matter (COD) content of the water samples taken were determined on the basis of the Uniform Water Testing Methods in the Complex Laboratory of the Institute of Earth Sciences, University of Debrecen (*Literáthy*,

1973). The sodium ion (Na^+) content of the water samples was measured using a PERKIN ELMER 300 atomic absorption device. Chloride ion (Cl^-) sulphate-ion (SO_4^{2-}), p- and m-alkalinity ($\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$) have been defined from 2017 (Literáthy, 1973). The micro- (Al, Ba, Cu, Fe, Mn, Pb, Sr, Zn) and macro-element (Na, K, Ca, Mg) content of water and soil samples were measured in NovoLab using Agilent Technologies MP-AES 4200 type device. The results were assessed on the basis of the relevant limits of the Joint Regulation KvVM-EüM-FVM No 6/2009 (IV. 14).

In the course of soil analysis, the soil texture was determined based on the Köhn pipette method (Müller *et al.*, 2009), pH value (MSZ-08-0206/2-1978), CaCO_3 content (MSZ-08-0206/2-1978), hummus content (MSZ-02-210-1977) nitrate and phosphate content (MSZ 20135:1999) were measured based on the relevant standards. The classification of soil profiles established in the settlement (**Figure 1**) was carried out on the basis of the WRB 2015 diagnostic system. The exchangeable ammonium content of the soil was determined according to ISO 11732 procedure (2005) using a FIAstar 5000 Analyzer. The determination of the amount of ammonium ion fixed in the soil was carried out based on the method of Silva – Bremmer (1966), modified by Beuters – Scherer (2012).

The results of field measurements with a Trimble S9 GPS device to create digital elevation models for the surroundings of the municipality and the studied septic tank and to determine the absolute height of groundwater levels.

The geo-visualization of the results was performed with ArcGIS software, the spatial distribution of the contaminants with Kriging interpolation using the software Surfer 12, and the spatial geological models were created with the software Rockworks 14. The anion-cation composition of groundwater was evaluated on the basis of Piper diagrams and semi-logarithmic Schöeller-Berkaloff diagrams. The suitability of water for irrigation was classified based on Wilcox diagrams.

The degree of contamination was assessed on the basis of three water quality indices: 1. Water Quality Index of the Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME_{WQI}), 2. Pollution Index (C_d – Degree of Contamination) worked out by Rapant *et al.* (1995), 3. Water Quality Status (WQS) developed by Brown *et al.* (1972). In the calculation of the pollution indices, the 8 parameters (pH, EC, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , COD, Na^+) which contain the most characteristic contaminants of communal wastewaters were taken into account.

The software IBM SPSS 22 was used to perform statistical processing of the data series and to represent the results. In addition to calculating the base statistical values, the normality of the series was examined as well. In order to determine the strength of the relationship between the variables, Spearman's rank correlation tests were performed. Principal component analyses were been performed to organize the variables into components and to better explore geochemical background processes. A hierarchic and two-stage cluster analysis were carried out to separate groundwater wells with similar characteristics from each other. Discriminant analyses were carried out to determine whether conditions before and after the construction of the sewerage network can be separated or not.

4 RESULTS

THESIS 1

It was found that the groundwater supply of the municipality had been heavily polluted by large amounts of wastewater coming out of uninsulated wastewater septic tanks over the past decades. In almost all of the groundwater wells involved in the study, concentrations significantly above the limit values were found.

According to our calculations, 40-50% of the municipal wastewater leaked from uninsulated septic tanks into the groundwater, which meant an annual raw sewage load of 50,000-60,000 m³. As a result of the pollution that has been going on for decades, the groundwater supply of the municipality has become heavily polluted. The mean values of the water chemistry parameters studied, excluding the mean values of NO₂⁻ and pH (0.23 mg/l and 7.76 pH), were significantly higher than the limits set in TVM-EüM-FVM joint decree 6/2009 (IV. 14) for groundwater (**Fig 2**).

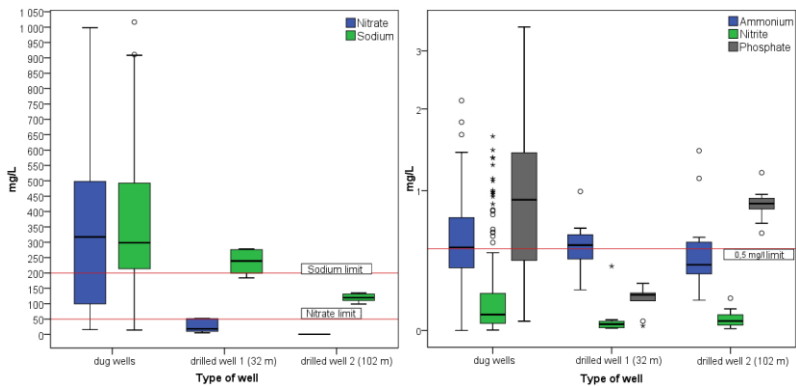


Figure 2. Nitrate and sodium (a), and ammonium, nitrite and orthophosphate (b) concentrations as a function of well types before the establishment of the sewerage network.

The presence of NH₄⁺ indicates the decomposition of the organic matter content of the waters, which indirectly refers to wastewater load and fresh contamination. Anthropogenic effects were detected for all groundwater wells during sampling before the construction of the sewerage network. The mean of NH₄⁺ concentrations (0.61 mg/l) and the upper quartile (0.78 mg/l) exceeded the contamination limit (0.5 mg/l). In the vast majority of the wells, NO₃ concentrations several times above the limit value (50 mg/l) were measured. The lower quartile value (94.6 mg/l) was more than double that of the limit while the upper quartile (493.2 mg/l) was nearly 10 times higher than the limit.

PO₄³⁻ concentrations also show the strong contamination of groundwater. In 72.2% of the measurements before the construction of the sewerage network concentrations above the relevant contamination limit of 0.5 mg/l were found. The

total ion content in the studied groundwater wells exceeded or significantly exceeded the limit of 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in the majority of wells. The mean value of the data series was 3637 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and the upper quartile value was 4395 $\mu\text{S}/\text{cm}$. The mean Na^+ concentration was nearly twice the limit value (200 mg/l). Significant differences in spatial concentration trends suggest that, in addition to soil factors, concentrations were largely influenced by the typically high sodium content of communal wastewaters. Concentrations exceeding the limit value for COD contamination (4.5 mg/l) were measured in 71% of the wells.

Although the concentration of arsenic in the vast majority of the wells did not exceed the limit, increased concentrations indicate that arsenic was transferred to groundwater from the high arsenic concentration deep groundwater of the municipality. Since the population also uses groundwater for irrigation, its effect of making soils alkaline was also assessed. Based on $\text{Na}\%-\text{EC}$ values, 50% of the wells are not suitable for irrigation at all, only 18% of the wells were classified as "good" or "excellent".

Based on the water chemistry parameters of the drilled 32 m and 102 m deep wells involved in the study, it was found that the contamination had already reached a depth of 32 metres, as confirmed by increased nitrate concentrations.

THESIS 2

Significant positive changes in groundwater quality were detected over the five-year period following the construction of the sewerage network using multivariate statistical methods and different water quality indices.

Examining the data series for the period before (2011-2014) and after (2015-2019) the construction of the sewerage network significant positive changes in groundwater quality were shown using various geoinformatic and statistical methods. Our studies showed a clear decrease in the concentrations of inorganic pollutants (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-}). Although the average values of NH_4^+ concentrations continued to be above the limit value in each studied year, a steady decreasing trend can be observed. While concentration over 1 mg/l was measured in 17.5% of the wells in large sample 2013, only such concentrations were measured in only 5% of the wells in 2019. NO_2^- concentrations also decreased to a detectable extent, from an average value of 0.416 mg/l in 2013 to 0.308 mg/l in 2019. The decrease in the concentration of NO_3^- also indicates the loss of a significant part of the contaminant supply, as the average value decreased from 187.8 mg/l (2013) to 109.8 mg/l in 2018. The lower quartile value was below the limit value during each large sampling of the period after the construction of the sewerage network. The average PO_4^{3-} concentration in 2019 decreased by 60% compared to the reference year 2013, reducing it to the level of the contamination limit (0.5 mg/l). In 32.5% of the wells concentrations above the limit were measured in 2019 compared to 65% in 2013. In the 5th year following construction of the sewerage network, the proportion of the areas of the municipality where the EC value was below the limit value (2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) increased compared to the reference year.

Applying discriminant analysis, it can be determined with 89.6% probability whether the sample is from the period prior to or after the establishment of the sewerage network. On this basis, the construction of the sewerage network resulted in marked changes in the quality of groundwater wells.

Three different water quality indices were used to assess the evolution of the degree of contamination over time and space (**Figure 3**). In the case of the sampling in 2013, only a few water samples were grouped into the 1-2 categories (excellent - good) category for all three indices. The strong contamination of the groundwater supply in the municipality is shown by that 90% of water samples in the 4-5 (contaminated - highly polluted) categories according to WQS, 70% of the wells according to C_d , and 80% of the wells according to $CCME_{wqi}$. In 2019, 5 years after the establishment of the sewerage network, significant changes can be observed. For all three indices, the number of wells in the highly polluted category decreased significantly, while the number of samples in categories 2-3 (good - acceptable) increased: from 4 to 20 in the case of WQS, from 12 to 18 for C_d , and from 8 to 19 for $CCME_{wqi}$ compared to the reference year.

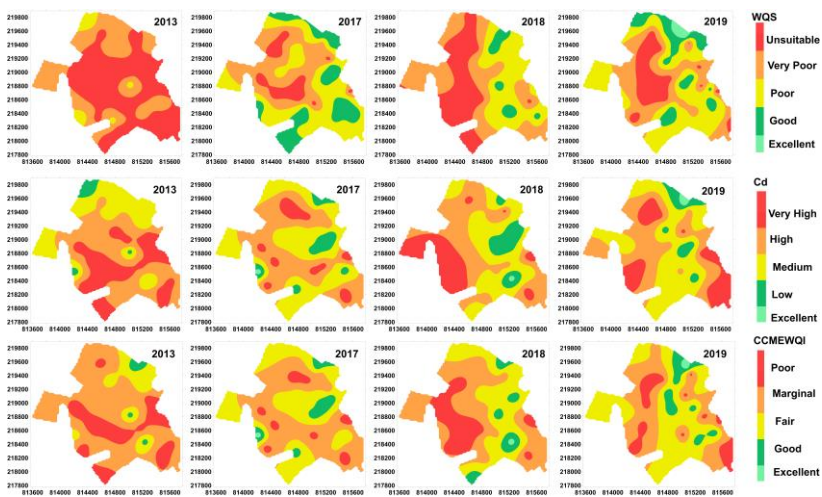


Figure 3. Contamination indices in the years before (2013) and after (2017, 2018, 2019) the construction of the sewerage network.

THESIS 3

In the spatial distribution of the degree of contamination, a clear difference in the period before the construction of the sewerage network was shown. The level of contamination increased in the direction of the local groundwater flow, from the northern areas of the settlement to the south. The marked N-S difference disappeared in the period after the construction of the sewerage network.

In the period before the construction of the sewerage network, clear spatial differences were shown in the degree of contamination in the area of the settlement. The degree of contamination increases in the direction of local groundwater flow, which was detected for most of the parameters studied (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , EC). The horizontal hydraulic gradient slopes toward the Eszteró Canal in the southern vicinity of the settlement, which drains the area.

NO_3^- concentrations before the construction of the sewerage network showed a very significant degree of contamination in the S areas of the municipality. The N part of the settlement was less polluted, but in the vast majority of the area concentrations above the limit were measured. Wells located south had an average NO_3^- value of 455 mg/l, while wells located north had an average value of 166 mg/l. There were also significant differences in the EC values of groundwater wells. While the average EC value of south-located wells was 4414 $\mu\text{S}/\text{cm}$, the average value of north-located wells was 2688 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 87% of the wells with NH_4^+ concentrations higher than 1 mg/l were located in southern areas. 62% of wells with NO_2^- concentrations lower than 0.2 mg/l were in the northern part of the municipality.

Based on the results of 2013, a south-only cluster of 12 wells based on hierarchical cluster analysis was clearly defined (**Figure 4**).

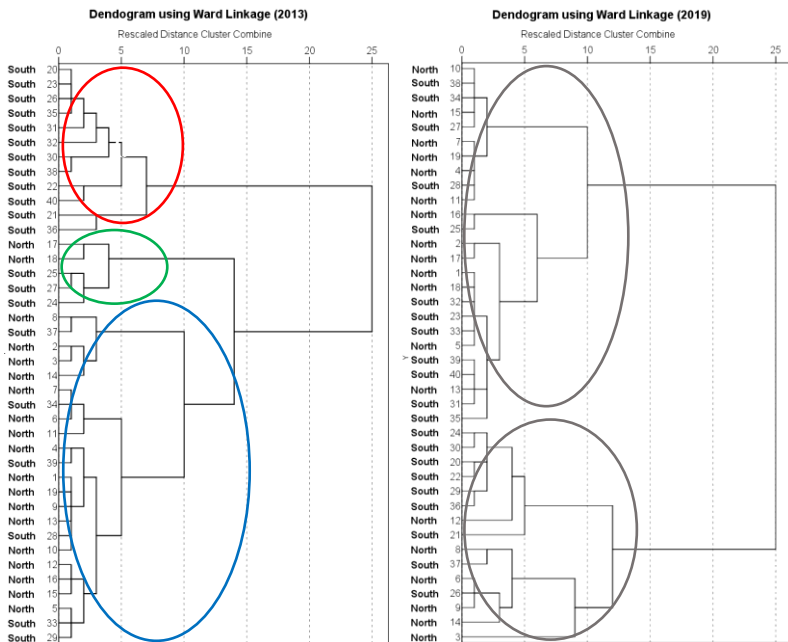


Figure 4. Ward's dendrogram based on the location of sampling sites before (2013) and after (2019) the construction of the sewerage network.

The other dominant cluster contained northern wells in 74%. In addition, a third cluster was also formed the 5 wells of which can be found in the central part of the settlement (17, 18, 24, 25, 27). In the 5th year following the establishment of the sewerage network, this clear difference between wells was eliminated with a decrease in the level of contamination, with approximately the same proportion of north and south wells in the two established clusters.

Data from the wells located north and south were subjected to principal component analysis, which clearly showed the difference between the north and south wells. After the construction of the sewerage network, the size of the transition zone between groups increased.

THESIS 4

We have shown that sewage outflow and the presence of a sewerage network have had a very significant impact on groundwater levels. In the years following the construction of the sewerage network, the groundwater level of the settlement decreased by an average of 1.8 metres, and the difference between the static water level of the inner areas and the southern drainage zone increased due to the elimination sewage outflow.

Changes in the groundwater level after the construction of the sewerage network were assessed on the basis of water levels measured during the summer sampling (*Figure 5*). In the year preceding the establishment of the sewerage network in 2013, the groundwater level was between 88.51 m a.s.l. and 86.98 m a.s.l. The groundwater level was highest in the inner parts of the settlement, while the deepest water level could be measured in the southern areas of the settlement.

In the period after the establishment of the sewerage network, significant changes can be observed as a result of that wastewater outflow was stopped. There was a strong descent in groundwater levels. The average decrease in water levels in the period after the establishment of the sewerage network was 1.5 to 2 metres, which cannot be explained by changes in precipitation conditions, the reason for the decrease in water levels is clearly due to that wastewater outflow was eliminated.

A significant, strong negative correlation between the groundwater data series of the period before and after the establishment of the sewerage network ($r=-0.812$) has been demonstrated. Applying Wilcoxon test, we showed that there was a clear background process (sewerage) behind the differences in the three-year data series. We found that by discriminant analysis water level data can be used to determine with an accuracy of 94.2% whether the water level data is derived from the period before or after the establishment of the sewerage network.

We found that differences between low and high water levels increased after the construction of the sewerage network. While the difference between the minimum and maximum water levels was 1.53 metres in 2013, this increased to 2.29 metres by 2017 and was 2.15 metres in 2019. The phenomenon can be explained by that wastewater from households made the water level in the municipality more balanced.

In southern areas with low groundwater levels, the damming effect due to wastewater outflow was even stronger than in areas with higher water levels.

The negative effect of falling groundwater levels as a result of the construction of the sewerage network can be seen in trees drying out, subsiding houses and fracturing house walls.

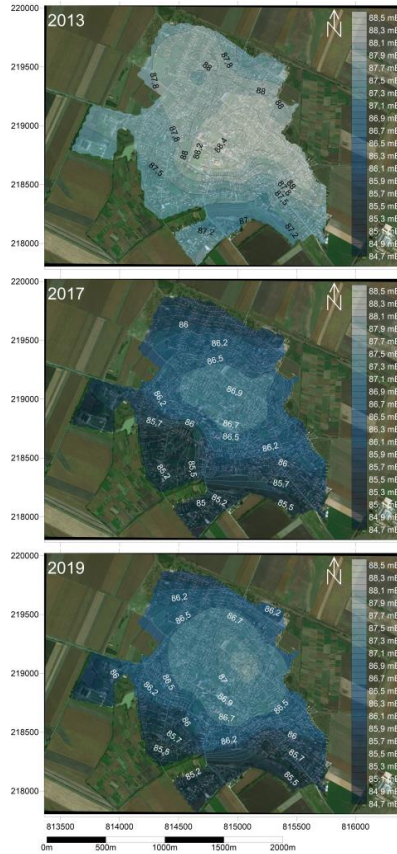


Figure 5. Groundwater table (a.s.l.) before (2013) and after (2017, 2019) the construction of the sewerage network.

THESIS 5

It was found that the effluent from the studied uninsulated septic tank develops a local groundwater dome and significantly modifies the quality of groundwater. In the immediate vicinity of the septic tank, the studied water chemical parameters showed values specific to raw wastewaters.

On the basis of the water consumption and sewage removal data of the studied household, we found that an average of 220 litres of sewage flowed out per day during the operating phase of the septic tank, which clearly defined the local water flow conditions in the area. The height of the groundwater dome formed as a result of the effluent sewage exceeded 1.1 metres, which is an extremely large difference in a lowland area within a distance of 25 metres. Based on water level data, we found that sewage outflows are most intense towards the south.

As a result of the significant sewage outflow, the water chemical parameters of the wells closest to the septic tank are significantly different from those of the monitoring wells further away from the septic tank. During the operational phase of the septic tank (until 2014), 20-50 mg/l of organic matter was measured in monitoring wells 1 metre away from it, which showed decreasing values further away, the values exceeded the relevant limit of 4.5 mg/l in each well, showing the contamination of the entire study area. In the immediate vicinity of the septic tank, NH_4^+ concentrations over 90 mg/l typical of raw waste waters were measured (*Figure 6*). Further away from the septic tank, the conditions for nitrification improved, so the NH_4^+ concentration rapidly decreased to a level close to the contamination limit of 0.5 mg/l at a distance of 15-20 metres from the septic tank.

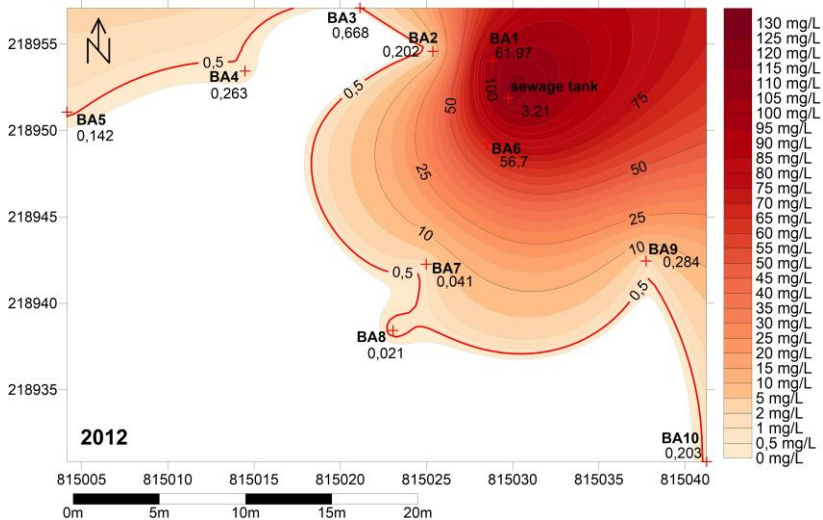


Figure 6. Spatial distribution of NH_4^+ concentration in the vicinity of the sewage tank in 2012.

The spatial change in the concentration of NO_3^- showed the opposite picture. Concentrations increased from 1-3 mg/l close to the septic tank – as the conditions for nitrification improved – significantly above the contamination limit of 50 mg/l.

PO₄³⁻ concentrations in monitoring wells 1 m from the septic tank ranged from 3 mg/l to 6 mg/l during the operating phase of the septic tank, which was lower in the more distant wells, however in a significant part of the study area it exceeded the relevant limit of 0,5 mg/l. Extremely high Fe concentration (above 7000 µg/l) was measured in the 1 metre vicinity of the septic tank, which can be explained by the high Fe content of the effluent. The mean Fe concentration was 312 µg/l in more distant wells.

Statistical analyses also show significant differences depending on the distance from the septic tank. In the multi-variable space of the main components 1 and 2, wells close to the septic tank (1 m distance) and further away from the septic tank (>1 m) are clearly separated from each other. Discriminant analysis can be used to determine with an accuracy of 96.5% which category the sample belongs to, based on its water chemistry parameters. The most contaminated BA1/6/7 wells formed one group in the hierarchical cluster analysis, while the least contaminated BA5 well with greatest distance from the septic tank clearly separated from the rest of the monitoring wells. Applying a two-stage cluster analysis, we found that NH₄⁺ had an outstanding role when designing clusters.

THESIS 6

In the 5-year period following the elimination of wastewater outflow, a decrease in the level of contamination in the environment of the septic tank was detected, which, however, remains significant. We found that purification processes are significantly influenced by the decomposition of organic matter accumulated in the soil, the amount of ammonium ion fixed in the soil and the dynamics of the saturated and unsaturated zone.

In the period following the dismantling of the septic tank (2014-2019), significant changes have been shown. After the end of wastewater outflow, the groundwater dome formed in the area around the septic tank also disappeared, the difference in water levels in the monitoring wells decreased to a few (3-12) cm. This also changed the direction of groundwater flow. The previous radial direction of groundwater flow from the septic tank changed in the direction typical under the settlement.

Changes in the studied water chemical parameters clearly show positive changes after the elimination of wastewater outflow. Although organic matter content decreased in wells near the septic tank, we still measured very high values of 35-70 mg/l, which suggests that significant amounts of organic matter accumulated from the effluent in the vicinity of the septic tank, which continues to provide supplies. This is proved by that the organic matter content of the borehole 1 metre from the septic tank is the double of that of the borehole 25 metres from the septic tank (*Figure 7*).

In 2014, the elimination of sewage outflow resulted in immediately decreasing NH₄⁺ concentrations in monitoring wells at a distance of 1 metre from the septic tank, however, 5 years after the elimination of contaminant supply, concentrations (35-57 mg/l) still exceeded the contamination limit (0.5 mg/l) by several times. Very high concentrations suggest that large amounts of NH₄⁺ continue to enter the groundwater system. In order to prove this, the exchangeable and fixed NH₄-N and NO₃-N content

of the soil by 20 cm were determined in the 4 m deep monitoring well at a distance of 1 metre from the septic tank (**Figure 7**). Based on the measurements, significant accumulation of exchangeable and fixed $\text{NH}_4\text{-N}$ was detected in the 220-400 cm zone (>400 mg/kg). Since there is a dynamic balance between the NH_4^+ content of the soil and that of the groundwater, in parallel with the decreasing NH_4^+ content of the groundwater, the fixed NH_4^+ goes into solution again continuing to provide high concentrations.

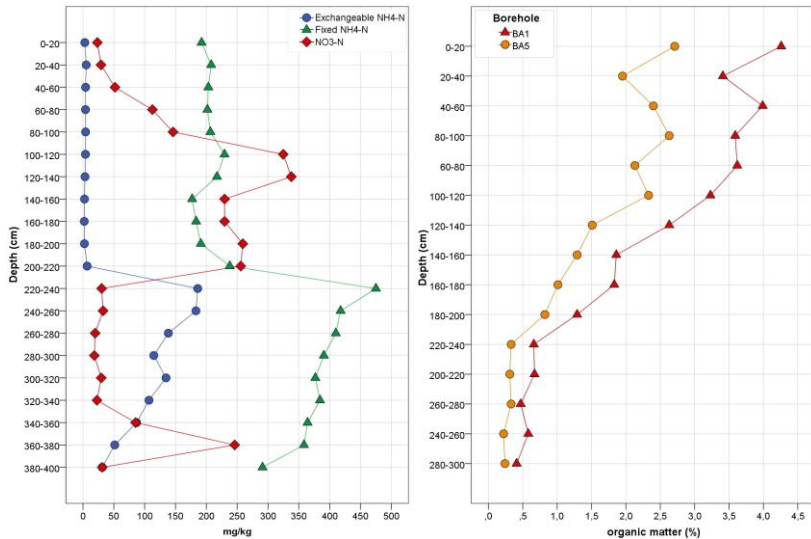


Figure 7. Exchangeable and fixed $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ (BA6), and organic matter content (BA1, BA5) of the soil in the borehole profiles.

In the unsaturated 100-140 cm zone of the borehole profile, a significant accumulation of NO_3^- was detected, which belonged to the saturated zone before the construction of the sewerage network. After the construction of the sewerage network, nitrification started due to reduced water levels, the source of which was the previously bound exchangeable and fixed NH_4^+ . Our studies have shown that the amount of NH_4^+ bound in the soil and the dynamics of the saturated and unsaturated zones have a decisive influence on the purification and nitrification processes in groundwater. Significant changes in the NO_3^- concentration of groundwater can also be shown in the period after the establishment of the sewerage network. While 1-3 mg/l were measured in the environment of the septic tank in 2013, concentrations increased by many times the limit in the period following the elimination of the septic tank as oxidative conditions improved. The concentration of PO_4^{3-} in the environment of the septic tank decreased significantly, but in the majority of the area it still exceeded the limit in 2019. It is possible to determine with a 71.3% probability

whether the sample is derived from the time period before or after the establishment of the sewerage network by discriminant analysis, based on the water chemistry parameters of the sample. The relative low value reflects the fact that although positive changes in water quality have taken place, the area continues to show serious contamination 5 years after the elimination of wastewater outflow.

THESIS 7

Processes in the nitrogen budget of the surroundings of the uninsulated septic tank were exposed. The nitrogen budget of the groundwater shifted towards oxidised inorganic nitrogen forms after the elimination of the septic tank indicating the start of purification processes.

Based on the models related to inorganic forms of nitrogen made using 3D Kriging interpolation, the spatial distribution and amount of inorganic nitrogen forms were determined. For the time periods before (2013) and after (2016) the establishment of the sewerage network, the amount of inorganic nitrogen forms and the values expressed in NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N g were determined applying Rockworks software based on the water volume delimited in the modelled zone. We found that in the modelled zone, the amount of nitrogen present in inorganic nitrogen forms more than doubled from 19533 g to 46940 g a year and a half after the elimination of the septic tank (*Table 1*).

Table 1. The amount of N (g) present in inorganic forms in the modelled zone in 2013 and 2016.

	2013		2016	
Amount of NH ₄ -N (g)	13765.8	70.48 %	4634.3	9.87 %
Amount of NO ₂ -N (g)	175.8	0.9 %	361.7	0.77 %
Amount of NO ₃ -N (g)	5591.1	28.62 %	41943.9	89.36 %
Total:	19532.7	100 %	46939.9	100 %

The ratios of NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N are important indices in terms of water purification. A significant change in the proportions of inorganic nitrogen forms was found. The proportion of NH₄⁺ dropped from 70% to less than 10%. Considering more oxidised forms, no significant changes occurred in the proportion of NO₂⁻, which can be explained by that NO₂⁻ oxidise further into nitrate soon in the presence of oxygen. While 29% of inorganic nitrogen forms were nitrate in 2013, by 2016 this value increased to nearly 90% (*Table 1*). Based on the above, it can be concluded that nitrogen oxidation levels increased significantly by 2016, indicating that purification processes are ongoing. On this basis, it can be declared that the purification processes in the area have started, but at the same time, our results show that pollutants entering environment undergo a number of transformations and remain in the system for a long time.

References

- Adimalla, N., Qian, H., & Tiwari, D. M. (2020). Groundwater chemistry, distribution and potential health risk appraisal of nitrate enriched groundwater: A case study from the semi-urban region of South India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 207, 111277.
- Azzellino, A., Colombo, L., Lombi, S., Marchesi, V., Piana, A., Andrea, M., & Alberti, L. (2019). Groundwater diffuse pollution in functional urban areas: The need to define anthropogenic diffuse pollution background levels. *Science of The Total Environment*, 656, 1207-1222.
- Beuters, P., & Scherer, H. W. (2012). Modification of the standard method for determination of non-exchangeable NH₄-N in soil. *Plant, Soil and Environment*, 58(12), 557-560.
- Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & Tozer, R. G. (1970). A water quality index - do we dare.
- Burucs K. (1987). Vízszennyezés Magyarországon 1949-1980. *História*, 18-21 p.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) (2001). Canadian Water Quality Index 1.0 Technical report and user's manual. Canadian Environmental Quality Guidelines Water Quality Index Technical Subcommittee. Gatineau, QC, Canada.
- Heatwole, K. K., & McCray, J. E. (2007). Modeling potential vadose-zone transport of nitrogen from onsite wastewater systems at the development scale. *Journal of Contaminant Hydrology*, 91(1-2), 184-201.
- ISO 11732:2005. Water quality – Determination of ammonium nitrogen – Method by flow analysis (CFA and FIA) and spectrometric detection.
- KSH. (2020). Közműöllő, december 31. (2000–). online: http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_zrk006b.html?down=581
- Literáthy P. (1973) Egységes vízvizsgálati módszerek I. Kémiai módszerek, 1. kötet, Vízgazdálkodási Tudományos Kutatóintézet IV. Vízminőségi és Víztechnológiai Főosztálya, 233 p.
- Machival, D., & Jha, M. K. (2015). Identifying sources of groundwater contamination in a hard-rock aquifer system using multivariate statistical analyses and GIS-based geostatistical modeling techniques. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 4, 80-110.
- Mester, T., Balla, D., Karancsi, G., Bessenyei, É., & Szabó, G. (2019). Effects of nitrogen loading from domestic wastewater on groundwater quality. *Water SA*, 45(3), 349-358.
- Mester, T., Balla, D., & Szabó, G. (2020). Assessment of Groundwater Quality Changes in the Rural Environment of the Hungarian Great Plain Based on Selected Water Quality Indicators. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231(11), 1-14.
- MSZ-08-0210:1977. A talaj szerves szén tartalmának meghatározása.
- MSZ-08-0206-2:1978. A talaj egyes kémiai tulajdonságainak vizsgálata. Laboratóriumi vizsgálatok. (pH-érték, szódában kifejezett fenoltalein lúgosság, vízben oldható összes só, hidrolitos és kicserélődési aciditás).
- MSZ ISO 21464:1998. Mintavétel felszín alatti vizekből.
- MSZ 20135:1999. A talaj oldható tápelemtartalmának meghatározása.
- Müller, H. W., Dohrmann, R., Klosa, D., Rehder, S., & Eckelmann, W. (2009). Comparison of two procedures for particle-size analysis: Köhn pipette and X-ray granulometry. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(2), 172-179.
- Nemčić-Jurec, J., Singh, S. K., Jazbec, A., Gautam, S. K., & Kovač, I. (2017). Hydrochemical investigations of groundwater quality for drinking and irrigation purposes: two case studies of Koprivnica-Križevci County (Croatia) and district Allahabad (India). *Sustainable Water Resources Management*, 1-2.
- Rapant, S., Vrana, K., & Bodis, D. (1995). Geochemical atlas of Slovak Republic. Bratislava, Groundwater, Geofond, 1.
- Richards, S., Paterson, E., Withers, P. J., & Stutter, M. (2016). Septic tank discharges as multi-pollutant hotspots in catchments. *Science of the Total Environment*, 542, 854-863.
- Silva, J.A., Bremner, J.M., 1966. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 5. Fixed ammonium. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 30, 587-594.



Registry number: DEENK/355/2020.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: Tamás Mester
Doctoral School: Doctoral School of Earth Sciences
MTMT ID: 10053420

List of publications related to the dissertation

Hungarian book chapters (1)

1. Mester, T., Balla, D. Z., Szabó, G.: A talajvíz szervesen nitrogéntartalmában bekövetkező változások vizsgálata egy szigeteletlen szennyvízakra környezetben.
In: Tájak működése és arculata. Szerk.: Fazekas István, Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 213-217, 2019. ISBN: 9789637064395

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (1)

2. Mester, T., Cavalli, D., Balla, D. Z., Szabó, G.: A talaj fixált ammónium-ion tartalmának hatása a talajvíz tisztulási folyamataira a szennyezőforrás felszámolását követően települési környezetben.
Agrokém. Talajt. 69 (1-2), 55-71, 2020. ISSN: 0002-1873.
DOI: <https://doi.org/10.1556/0088.2020.00065>

Foreign language scientific articles in international journals (9)

3. Mester, T., Balla, D. Z., Szabó, G.: Application of the cmce water quality index for assessment of groundwater contamination in the rural environment of the Great Hungarian Plain.
Jour. of Soi. and Wat. Conser. 19 (2), 202-207, 2020. ISSN: 0022-457X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5958/2455-7145.2020.00027.2>
4. Mester, T., Balla, D. Z., Szabó, G.: Assessment of Groundwater Quality Changes in the Rural Environment of the Hungarian Great Plain Based on Selected Water Quality Indicators.
Water Air Soil Pollut. 231 (11), 1-14, 2020. ISSN: 0049-6979.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-020-04910-6>
IF: 1.9 (2019)
5. Balla, D. Z., Bodroginé Zichar, M., Tóth, R., Kiss, E., Karancsi, G., Mester, T.: Geovisualization Techniques of Spatial Environmental Data Using Different Visualization Tools.
Appl. Sci.-Basel. 10 (19), 1-14, 2020. ISSN: 2076-3417.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/app10196701>
IF: 2.474 (2019)





6. Mester, T., Balla, D. Z., Karancsi, G., Bessenyei, É., Szabó, G.: Effects of nitrogen loading from domestic wastewater on groundwater quality.
Water SA. 45 (3), 349-358, 2019. ISSN: 0378-4738.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17159/wsa/2019.v45.i3.6731>
IF: 1.094
7. Mester, T., Balla, D. Z., Szabó, G.: Assessment of changes in the Water Quality Index following the establishment of a sewage system.
J. Mater. Environ. Sci. 9 (11), 3067-3074, 2018. ISSN: 2028-2508.
8. Mester, T., Balla, D. Z., Kiss, E., Szabó, G.: Evaluation of groundwater quality changes following the establishment of a sewage network.
Egypt. J. Soil Sci. 58 (4), 457-462, 2018. EISSN: 2357-0369.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21608/ejss.2019.6421.1227>
9. Mester, T., Balla, D. Z., Szabó, G.: Evaluation of the cleaning process of groundwater following the establishment of a sewage system.
IOP Conf. Ser. Earth and Environ. Sci. 191, 1-6, 2018. ISSN: 1755-1307.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/191/1/012009>
10. Mester, T., Szabó, G., Karancsi, G., Balla, D. Z.: Groundwater contamination from uninsulated sewage tanks in an eastern Hungarian settlement. Utánközlés másodközlés,
Eur. Water. 58 (2), 267-271, 2017. ISSN: 1105-7580.
11. Mester, T., Szabó, G., Bessenyei, É., Karancsi, G., Barkóczy, N., Balla, D. Z.: The effects of uninsulated sewage tanks on groundwater. A case study in an eastern Hungarian settlement.
J. Water Land Dev. 33 (4-6), 123-129, 2017. ISSN: 1429-7426.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1515/jwld-2017-0027>

Hungarian conference proceedings (6)

12. Mester, T., Balla, D. Z., Szabó, G.: A talajvíz szervesetlen nitrogénformáinak változása a szennyvízcsatorna-hálózat kiépítését követően.
In: Innovációs kihívások a XXI. században : LXI. Georgikon Napok konferenciakötete. Szerk.: Pintér Gábor, Csányi Szilvia, Zsiborács Henrik, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 242-249, 2019. ISBN: 9789633961308
13. Mester, T., Balla, D. Z., Szabó, G.: A szennyvízcsatorna hálózat kiépítését követő talajvízminőség változások értékelése.
In: Földrajzi Tanulmányok 2018 : IX. Magyar Földrajzi Konferencia. Szerk.: Fazekas István, Kiss Emőke, Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 183-186, 2018. ISBN: 9789635088973
14. Mester, T., Balla, D. Z., Kiss, E., Szabó, G.: A talajvíz nitrát tartalmának összehasonlító vizsgálata a szennyvízcsatorna-hálózat kiépítését követően.
In: Arccal vagy háttal a jövőnek? : 60 éves a Georgikon Napok Konferencia. Szerk.: Csányi Szilvia, Pannon Egyetem, Keszthely, 247-251, 2018. ISBN: 9789639639928





15. **Mester, T., Balla, D. Z., Botos, Á., Karancsi, G., Szabó, G.:** Lakossági szennyvízknákból kiáramló szennyvíz talajvízre gyakorolt hatásának vizsgálata.
In: LIX. Georgikon Napok Nemzetközi Tudományos Konferencia 2017. szeptember 28-29., PE Georgikon Kar, Keszthely. Szerk.: Nagy Zita Barbara, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 343-349, 2017. ISBN: 9789639639898
16. **Mester, T., Szabó, G., Balla, D. Z., Karancsi, G., Szabó, G., Tóth, C. A.:** Egy nem zárt rendszerű szennyvízknáknál talajvízszintre gyakorolt hatásának vizsgálata.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VII. : Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás. Szerk.: Balázs Boglárka, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 311-317, 2016. ISBN: 9789633185704
17. **Mester, T., Szabó, G.:** A talajvíz kutak nitrát szennyezettségének vizsgálata Bárándon.
In: A környezettudatos települések felé : III. Települési Környezet Konferencia. Szerk.: Fazekas István, Szabó Valéria, Meridián Alapítvány, Debrecen, 274-280, 2012. ISBN: 9789630852944

Foreign language conference proceedings (2)

18. **Mester, T., Szabó, G., Karancsi, G., Balla, D. Z.:** Groundwater contamination from uninsulated sewage tanks in an eastern Hungarian settlement.
In: Proceedings of the 10th World Congress of EWRA 'Panta Rhei', 5-9 July 2017, Athens, Greece. Eds.: George Tsakiris, Vassilios A. Tsihrintzis, Harris Vangelis, Dimitris Tigkas, European Water Resources Association, Athens, 1305-1309, 2017.
19. **Mester, T., Szabó, G.:** Nitrate contamination in the groundwater wells of an Eastern Hungarian settlement.
In: International Conference on Environmental Science and Technology - Conference CD. Digital Proceeding Of THE ICOEST'2013. Ed.: Cappadocia C. Ozdemir, S. Şahinkaya, E. Kalıpcı, M. K. Oden, [s.n.], [s.l.], 1-16, 2013.

Hungarian abstracts (3)

20. **Mester, T., Balla, D. Z., Szabó, G.:** A szennyvízcsatorna hálózat kiépítését követő talajvízminőség változások.
In: IX. Magyar Földrajzi Konferencia előadásainak és posztereinek összefoglalói. Szerk.: Fazekas István, Kiss Emőke, Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 78, 2018. ISBN: 9789635088966
21. **Mester, T., Balla, D. Z., Botos, Á., Karancsi, G., Szabó, G.:** Egy lakossági szennyvízknákból kiáramló szennyvíz talajvízre gyakorolt hatásának vizsgálata.
In: LIX. Georgikon Napok : Kivonat-kötet. Szerk.: Nagy Zita Barbara, Pannon Egyetem, Georgikon Kar, Keszthely, 122, 2017. ISBN: 9789639639881





22. **Mester, T.:** Talajvíz kutak szennyezettségének vizsgálata Bárándon.

In: XXXI. OTDK Országos Tudományos Diákköri Konferencia Fizika Földtudományok és Matematika Szekciójának Kivonatköte : Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Természettudományi Kar & Építőmérnöki Kar, 2013. április 18-20. Szerk.: Erdei Gábor, BME, Budapest, 233, 2013.

Foreign language abstracts (4)

23. **Mester, T., Balla, D. Z., Szabó, G.:** Application of CCME Water Quality index for assessment of groundwater contamination in rural environment of the Great Hungarian Plain.
In: International Conference on Soil and Water Resources Management for Climate Smart Agriculture, Global Food and Livelihood Security. Ed.: Suraj Bhan, Sanjay Arora, Soil Conservation Society of India, New Delhi, 62, 2019.
24. **Mester, T., Balla, D. Z., Szabó, G.:** Changes in inorganic nitrogen forms of groundwater following the construction of the sewage network.
In: Innovation challenges in the 21st century : LXI. Georgikon Napok International Scientific Conference : abstract volume. Eds.: Gábor Pintér, Szilvia Csányi, Henrik Zsiborács, University of Pannonia Georgikon Faculty, Keszthely, 68, 2019. ISBN: 9789633961292
25. **Mester, T., Balla, D. Z., Kiss, E., Szabó, G.:** Comparative investigations of nitrate levels in groundwater after the construction of the sewage network.
In: Arccal vagy háttal a jövőnek? : LX. Georgikon Napok, Pannon Egyetem, Keszthely, 102, 2018. ISBN: 9789639639911
26. **Mester, T., Balla, D. Z., Kiss, E., Szabó, G.:** Evaluation of changes in groundwater quality following the establishment of a sewage network.
In: The 13th International Conference of Egyptian Soil Science Society (ESSS) "Management of Water and Soil Resources under Global Climate Changes". Ed.: Omar El-Hady, Egyptian Soil Science Society, Dokki, Giza, 19, 2018.

List of other publications

Hungarian book chapters (2)

27. **Bánóczy, K., Balla, D. Z., Mester, T., Csorba, P.:** A Debrecen környéki tájértékek állapotellenőrzése és módszertani kérdései.
In: Tájak működése és arculata. Szerk.: Fazekas István, Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 447-452, 2019. ISBN: 9789637064395





28. Fazekas, I., Szabó, G., Patkós, C., Radics, Z., Csorba, P., Tóth, T., Kovács, E., **Mester, T.**, Szabó, L.: A lakosság megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos ismereteinek vizsgálata eltérő adottságú.
In: *Környezet és Energetika : Hatékony termelés, tudatos felhasználás.* Szerk.: Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 141-146, 2016. ISBN: 9789637064364

Foreign language international book chapters (1)

29. Novák, T., **Mester, T.**, Balla, D. Z., Szabó, G.: Culti-sequence of village garden soils on the Great Hungarian Plain.
In: *Soil sequences atlas II.* Ed.: Marcin Świtoniak, Przemysław Charzyński, Machina Druku, Toruń, 127-137, 2018. ISBN: 9788394929770

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (2)

30. Novák, T., Balla, D. Z., Rásó, J., Botos, Á., **Mester, T.**: A NAIK ERTI Püspökladányi Állomás talajainak taxonómiai helyzete WRB 2015 szerint.
Talajvédelem. Kisz., 189-197, 2017. ISSN: 1216-9560.
31. **Mester, T.**, Balla, D. Z., Botos, Á., Szabó, G., Sándor, G., Novák, T.: Az antropogén hatások mértékének és jelentőségének értékelése WRB irányelvek alapján tiszántúli kertek talajaiban.
Talajvédelem. Kisz., 179-187, 2017. ISSN: 1216-9560.

Hungarian scientific articles in international journals (1)

32. Szabó, G., Fazekas, I., Patkós, C., Radics, Z., Csorba, P., Tóth, T., Kovács, E., **Mester, T.**, Szabó, L.: Investigation of public attitude towards renewable energy sources using word association method in Hungarian settlements = A megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos lakossági attitűd vizsgálata szóasszociációs módszerrel magyarországi településeken.
JATES. 8 (1), 6-24, 2018. EISSN: 2560-5429.
DOI: <http://dx.doi.org/10.24368/jates.v8i1.25>

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (1)

33. Balla, D. Z., Bodroginé Zichar, M., Kozics, A., **Mester, T.**, Mikita, T., Incze, J., Novák, T.: A GIS tool to express soil naturalness grades and geovisualization of results on Tokaj Nagy-Hill.
Acta Polytech. Hung. 16 (6), 191-205, 2019. ISSN: 1785-8860.
IF: 1.219

Foreign language scientific articles in international journals (6)

34. Szabó, G., Fazekas, I., Radics, Z., Csorba, P., Patkós, C., Kovács, E., Tóth, T., **Mester, T.**, Szabó, L.: Assessing the Public Knowledge Structure Towards Renewable Energy Sources in Hungary.
Int. J. Renewable Ener. Res. 10 (3), 1476-1486, 2020. EISSN: 1309-0127.





35. Balla, D. Z., Novák, T., Kiss, E., **Mester, T.**, Bodroginé Zichar, M.: Classification and geovisualization process of soil data using a web-based spatial information system. *Open Agriculture*. 5 (1), 638-655, 2020. ISSN: 2391-9531. DOI: <http://dx.doi.org/10.1515/opag-2020-0054>
36. **Mester, T.**, Csákberényi-Nagy, G., Türk, G., Lázár, I., Tóth, T.: Development of a new hybrid aquaponic system for increasing chilli production efficiency. *J. Appl. Horticult.* 21 (2), 151-156, 2019. ISSN: 0972-1045.
37. Kiss, E., Balla, D. Z., **Mester, T.**, Fazekas, I.: Implementation of climate change strategies in Hungary. *Egypt. J. Soil Sci.* 58 (4), 443-455, 2018. EISSN: 2357-0369. DOI: <http://dx.doi.org/10.21608/ejss.2018.6362.1224>
38. Balla, D. Z., **Mester, T.**, Márta, L., Molnár, D., Barkóczy, N., Bodroginé Zichar, M., Botos, Á., Novák, T.: Effects of land use changes on soil properties based on reambulated soil profiles. *Acta Univ. Sapientiae. Agric. Environ.* 9 (1), 70-81, 2017. ISSN: 2065-748X.
39. Szabó, G., Bessenyei, É., Hajnal, A., Csige, I., Szabó, G., Tóth, C. A., Posta, J., **Mester, T.**: The Use of Sodium to Calibrate the Transport Modeling of Water Pollution in Sandy Formations Around an Uninsulated Sewage Disposal Site. *Water Air Soil Pollut.* 227 (2), 1-13, 2016. ISSN: 0049-6979. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-015-2742-6> IF: 1.702

Hungarian conference proceedings (8)

40. Balla, D. Z., Karancsi, G., Kiss, E., **Mester, T.**, Bodroginé Zichar, M.: Validációs algoritmusok implementálása egy web-alapú Talajinformációs rendszerben. In: Innovációs kihívások a XXI. században : LXI. Georgikon Napok konferenciakötete. Szerk.: Pintér Gábor, Csányi Szilvia, Zsiborács Henrik, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 9-13, 2019. ISBN: 9789633961308
41. Kiss, E., Balla, D. Z., **Mester, T.**, Fazekas, I.: A hazai hulladékgyűjtés eredményei 2004-2016 között. In: LX. Georgikon Napok Nemzetközi Tudományos Konferencia : Arcra vagy háttal a jövőnek? : 60 éves a Georgikon Napok Konferencia. Szerk.: Csányi Szilvia, Pannon Egyetem, Keszthely, 168-172, 2018. ISBN: 9789639639928
42. Szabó, G., Fazekas, I., Patkós, C., Radics, Z., Csorba, P., Tóth, T., Kovács, E., **Mester, T.**, Szabó, L.: A lakosság megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos ismereteinek vizsgálata hajdúbihar megyei és heves megyei településeken. In: Földrajzi tanulmányok. Szerk.: Fazekas István, Kiss Emőke, Lázár István, MTA OTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 133-139, 2018. ISBN: 9789635088973





43. Botos, Á., **Mester, T.**, Balla, D. Z., Novák, T.: Erdőtelepítések hatása talajok egyes tulajdonságaira.
In: LIX. Georgikon Napok Nemzetközi Tudományos Konferencia 2017. szeptember 28-29., PE Georgikon Kar, Keszthely. Szerk.: Nagy Zita Barbara, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 65-71, 2017. ISBN: 9789639639898
44. Balla, D. Z., **Mester, T.**, Botos, Á., Bodroginé Zichar, M., Szabó, G., Novák, T.: Kertként hasznosított területek kiterjedése és változásai Magyarországon felszínborítási adatok alapján.
In: Interdiszciplináris táj kutatás a XXI. században : a VII. Magyar Tájökológiai Konferencia tanulmányai. Szerk.: Blanka Viktória, Ladányi Zsuzsanna, Szegedi Tudományegyetem Földrajzi és Földtudományi Intézet, Szeged, 47-52, 2017. ISBN: 9789633065426
45. Botos, Á., Tóth, C. A., Balla, D. Z., **Mester, T.**, Novák, T.: Művelésből kivont tiszántúli kunhalmok talajának változásai.
In: Interdiszciplináris táj kutatás a XXI. században : a VII. Magyar Tájökológiai Konferencia tanulmányai. Szerk.: Blanka Viktória, Ladányi Zsuzsanna, Szegedi Tudományegyetem Földrajzi és Földtudományi Intézet, Szeged, 61-69, 2017. ISBN: 9789633065426
46. Balla, D. Z., Makai, K., Karancsi, G., **Mester, T.**, Botos, Á., Bodroginé Zichar, M., Novák, T.: Talajszelvények modellezése és WRB szerinti értékelése egy alföldi mintaterületen.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VIII.: Térinformatikai konferencia és szakkiallítás. Szerk.: Balázs Boglárka, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 21-28, 2017. ISBN: 9789633186381
47. Szabó, G., Bessenyei, É., Hajnal, A., Csige, I., **Mester, T.**: A szennyezésterjedés modellezése egy kelet-magyarországi szennyvízleürítő példáján.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VII. : Térinformatikai Konferencia és Szakkiallítás. Szerk.: Balázs Boglárka, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 439-446, 2016.

Foreign language conference proceedings (3)

48. Balla, D. Z., Bodroginé Zichar, M., Kiss, E., Karancsi, G., **Mester, T.**: Analytic Web Tool for Calculating and Geovisualizing Water Quality Based on Different Indices.
In: GEOIT4W-2020: Proceedings of the 4th Edition of International Conference on Geo-IT and Water Resources 2020, Geo-IT and Water Resources 2020 / Scientific Association for Water Information System - SAWIS, Association for Computing Machinery, New York, 1-5, 2020. ISBN: 9781450375788
49. **Mester, T.**, Szabó, G., Balla, D. Z.: Assessment of the Effects of an Unrecultivated Sewage Disposal Site on Groundwater.
In: GEOIT4W-2020: Proceedings of the 4th Edition of International Conference on Geo-IT and Water Resources 2020, Geo-IT and Water Resources 2020 / Scientific Association for Water Information System - SAWIS, Association for Computing Machinery, New York, 1-5, 2020. ISBN: 9781450375788



50. Balla, D. Z., **Mester, T.**, Botos, Á., Novák, T., Bodroginé Zichar, M., Rásó, J., Karika, A.:
Possibilities of spatial data visualization with web technologies for cognitive interpretation.
In: 8th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications: CogInfoCom 2017 :
Proceedings : September 11-14, 2017 Debrecen, Hungary, IEEE Computer Society,
Piscataway, 17-20, 2017. ISBN: 9781538612644

Hungarian abstracts (5)

51. Bánóczy, K., Balla, D. Z., **Mester, T.**, Csorba, P.: A Debrecen környéki tájrétekek állapotellenőrzése és módszertani kérdései.
In: VIII. Magyar Tájékológiai Konferencia: Összefoglalók. Szerk.: Fazekas István, Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Kisvárdra, 101, 2019. ISBN: 9789635089154
52. Balla, D. Z., Kozics, A., Molnár, D., **Mester, T.**, Kiss, E., Bodroginé Zichar, M., Mikita, T., Incze, J., Novák, T.: A talajok antropogén átalakíthatóságának automatizált becslése és webs publikálása felszínborítási adatok és WRB irányelvek szerinti diagnosztika alapján a tokaji Nagy-hegy példáján.
In: IX. Magyar Földrajzi Konferencia előadásainak és poszttereinek összefoglalói. Szerk.: Fazekas István, Kiss Emőke, Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 126, 2018. ISBN: 9789635088966
53. Botos, Á., **Mester, T.**, Balla, D. Z., Novák, T.: Erdőtelepítések hatása talajok egyes tulajdonságaira.
In: LIX. Georgikon Napok : Kivonat-kötet. Szerk.: Nagy Zita Barbara, Pannon Egyetem, Georgikon Kar, Keszthely, 62, 2017. ISBN: 9789639639881
54. **Mester, T.**, Sándor, G., Botos, Á., Balla, D. Z., Szabó, G., Novák, T.: Az antropogén hatások mértékének és jelentőségének értékelése WRB irányelvek alapján tiszántúli kertek talajaiban.
In: Talajtani Vándorgyűlés: Az előadások és a posztterek összefoglalója / kész. Sándor Zsolt, Szász Gizella, Magyar Talajtani Társaság, Debrecen, 26, 2016.
55. Balla, D. Z., Rásó, J., Botos, Á., **Mester, T.**, Novák, T.: Az ERTI Püspökladányi állomás talajainak taxonómiai helyzete WRB szerint.
In: Talajtani Vándorgyűlés : Az előadások és a posztterek összefoglalója / kész. Sándor Zsolt, Szász Gizella, Magyar Talajtani Társaság, Debrecen, 25, 2016.

Foreign language abstracts (7)

56. Balla, D. Z., Bodroginé Zichar, M., Tóth, R., Kiss, E., Karancsi, G., Lázár, V., Baranyi, I., **Mester, T.**: Visualization of Water Quality Index using Keyhole Markup Language.
In: A klímaváltozás kihívásai a következő évtizedekben : 62. Georgikon Napok : Előadások kivonatai, Szent István Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 12, 2020.





57. Balla, D. Z., Karancsi, G., Kiss, E., **Mester, T.**, Bodroginé Zichar, M.: Implementation of validation algorithms into a web-based Soil Information System.
In: Innovation challenges in the 21st century : LXI. Georgikon Napok International Scientific Conference : abstract volume. Eds.: Gábor Pintér, Szilvia Csányi, Henrik Zsiborács, University of Pannonia Georgikon Faculty, Keszthely, 6, 2019. ISBN: 9789633961292
58. Bánóczki, K., Balla, D. Z., **Mester, T.**, Csorba, P.: The assessment of unique natural and landscape features in the outskirts of Debrecen.
In: Innovation challenges in the 21st century : LXI. Georgikon Napok International Scientific Conference : abstract volume. Eds.: Gábor Pintér, Szilvia Csányi, Henrik Zsiborács, University of Pannonia Georgikon Faculty, Keszthely, 11, 2019. ISBN: 9789633961292
59. Kiss, E., Balla, D. Z., **Mester, T.**, Fazekas, I.: Climate change strategies in Hungary.
In: Management of Water and Soil Resources under Global Climate Changes. Ed.: Omar El-Hady, Egyptian Soil Science Society (ESSS), Dokki, Giza, 20, 2018.
60. Balla, D. Z., Novák, T., **Mester, T.**, Kiss, E., Bodroginé Zichar, M.: Evaluation of computer-assisted topography tests in the Geographer MSC program in the University of Debrecen.
In: Arcral vagy háttal a jövőnek? : LX. Georgikon Napok, Pannon Egyetem, Keszthely, 28, 2018. ISBN: 9789639639911
61. Csákerényi-Nagy, G., Tóth, T., Türk, G., **Mester, T.**, Lázár, I.: Increasing the efficiency of aquaponics crop production by applying quail dung.
J. FisheriesSciences.com. 12, 24, 2018. ISSN: 1307-234X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21767/1307-234X-C1-002>
62. Kiss, E., Balla, D. Z., **Mester, T.**, Fazekas, I.: Waste management in Hungary and its legal background.
In: LX. Georgikon Napok Nemzetközi Tudományos Konferencia : Arcral vagy háttal a jövőnek? Szerk.: Nagy Zita Barbara, Pannon Egyetem, Keszthely, 82, 2018. ISBN: 9789639639911

Total IF of journals (all publications): 8,389

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 5,468

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.



20 November, 2020