



Kardos Máté Krisztián:

Felszíni vízminőségi monitoring rendszer hatékonyságának
növelése statisztikai modellek alkalmazásával

Doktori (Ph.D.) értekezés összefoglalója és tézisei

Témavezető: Dr. Clement Adrienne egyetemi docens

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Vásárhelyi Pál Építőmérnöki és Földtudományi Doktori Iskola

Budapest, 2020. április 30.

A vízminőségi monitoring és állapotértékelés aktuális helyzete

A vízminőségi monitoring rendszerek üzemeltetése összetett feladat, mely a helyszínek, mérési időpontok/gyakoriságok és a mérendő komponensek kijelölésétől a laborvizsgálatokon át a kapott eredmények ellenőrzéséig, értékeléséig, tárolásáig és közzétételéig tart, a szükséges emberi és tárgyi erőforrások hozzárendelésével együtt. A monitoring rendszerek jellemzően több feladatot látnak el egyszerre: általában ugyanazon rendszer feladata a vízhálózat valamely időszakot jellemző állapotának értékelése és a hosszú távú változások (trendek) nyomon követése, de a rövid időtartamú kiugró értékek (balesetszerű szennyezések, haváriák) kimutatása is. Emellett a monitoring rendszerek szolgáltatnak információt mindezek okainak feltárásához, azaz a vízgyűjtőn lejátszódó folyamatok megértéséhez. A vízminőségi adatok létrejöttének feltétele az olykor igen költséges mintavételek és laborvizsgálatok elvégzése: az országos felszíni vízi monitoring rendszer üzemeltetése évente 2–10 milliárd forint közötti összeggel terheli a költségvetést.

A vízminőségi mérőhálózatok kiépítésének közel évszázados múltja mellett négy kapcsolódó területen is jelentős fejlődés történt az elmúlt évtizedekben: (i) megnőtt a vízminőség értékelése szempontjából releváns térinformatikai háttéradatok elérhetősége (pl. távérzékelés-alapú domborzati és felszínborítási térképek); (ii) fejlődtek az adatokat kezelő számítógépes rendszerek (térinformatikai szoftverek); (iii) kidolgozottabbá, és a felhasználóbarát programozási technikák révén könnyen alkalmazhatóvá váltak az adatok közötti

összefüggések feltárására alkalmas statisztikai módszerek; valamint (iv) az emberi igények mellett egyre nagyobb figyelmet kapnak a természeti rendszerek (ökoszisztémák), amely jogszabályokban (lásd például az Európai Unió Víz Keretirányelvét) is leképződik. Mindez lehetővé és szükségessé teszi, hogy az optimalizálás jegyében a monitoring rendszereinkben gyűjtött adatokat értékeljük.

Munkám során a hazai felszíni vízminőségi mérőhálózatban vizsgált kis vízfolyásokkal (<1000 km² vízgyűjtőterület) foglalkoztam, ugyanis ez az a víztípus, melyről a mért vízminőségi adatok mennyisége az utóbbi évtizedben többszörösére nőtt és ennek köszönhetően az adatok számossága lehetővé teszi a statisztikai kapcsolatok felállítását. Dolgozatom elsődleges célja a fiziko-kémiai állapotértékelés módszertanának fejlesztése, ami mellett – mintegy „melléktermékként” – foglalkoztam a monitoring hatékonyabb kialakításával is. Vizsgálataimat a vízminőségi monitoring rendszer és az ahhoz kapcsolódó, már létező térinformatikai adatbázisok felhasználásával, a korszerű adatfeldolgozási és statisztikai modellezési módszerek alkalmazásával végeztem.

A dolgozat rövid ismertetése

Első lépésben összegyűjtöttem a vízminőségről, a vízhálózatról, és a vízgyűjtőkről elérhető legfrissebb és legpontosabb adatokat. Ide tartoznak a vízhálózat téradat állományai, a vízhozam adatok, a domborzati és területhasználati térképek, valamint a pontszerű kibocsátások adatai. A vízminőségi adatbázisokat ellenőrző

vizsgálatnak vettem alá; ahol szükséges volt, a hibás adatokat kiszűrtem illetve javítottam. Az összegyűjtött adatokat közös adatbázisba rendeztem, ami egyrészt a helyszínhez kapcsolást, másrészt az egy platformról történő elérést jelentette. Ezt a munkát ismertetem dolgozatom 2.1 („Felhasznált adatbázisok”) és 2.2. („Alkalmazott módszerek”) fejezetében.

A dolgozat 3. fejezete a vízgyűjtőtulajdonságok és a vízminőségi állapot kapcsolatáról szól. Kétfajta statisztikai modellel (bináris logisztikus regresszió illetve lineáris diszkriminanciaelemzés) vizsgálom, hogy a célállapot elérése („megfelel” / „nem felel meg”), illetve a víztest ötfokozatú skálán adott osztályzata („kiváló” / „jó” / „mérsékelt” / „gyenge” / „rossz”) kifejezhető-e a vízgyűjtő domborzati, területhasználati illetve pontszerű terhelési jellemzői függvényében. A vizsgálathoz elkülönítettem a dombvidéki és a síkvidéki kis vízfolyásokat. Megállapítom, hogy a modellek jobban teljesítenek a dombvidéki vízgyűjtőkön, mint az alföldieken; hogy a jó állapot elérése 90% feletti pontossággal becsülhető, a vízminőségi osztály (ötfokozatú skálán) pedig ~ 65% pontossággal becsülhető dombvidéki és ~ 50% pontossággal az alföldi vízfolyások esetében. Mind a dombvidéki, mind a síkvidéki típusok esetében az erdők és a természetes növényborítású területek aránya, valamint a pontszerű foszforkibocsátásoknak a befogadó vízfolyás sokéves középvízhozamához képesti aránya bír a legnagyobb befolyással. Az említett statisztikai modellek segítségével (i) becslést adok a víztestek állapotára, (ii) javaslatot teszek a monitoring erőforrások „billөгő”

víztestekre való átcsoportosítására, és (iii) megadom a vízfolyások szennyvízzel való terhelhetőségét.

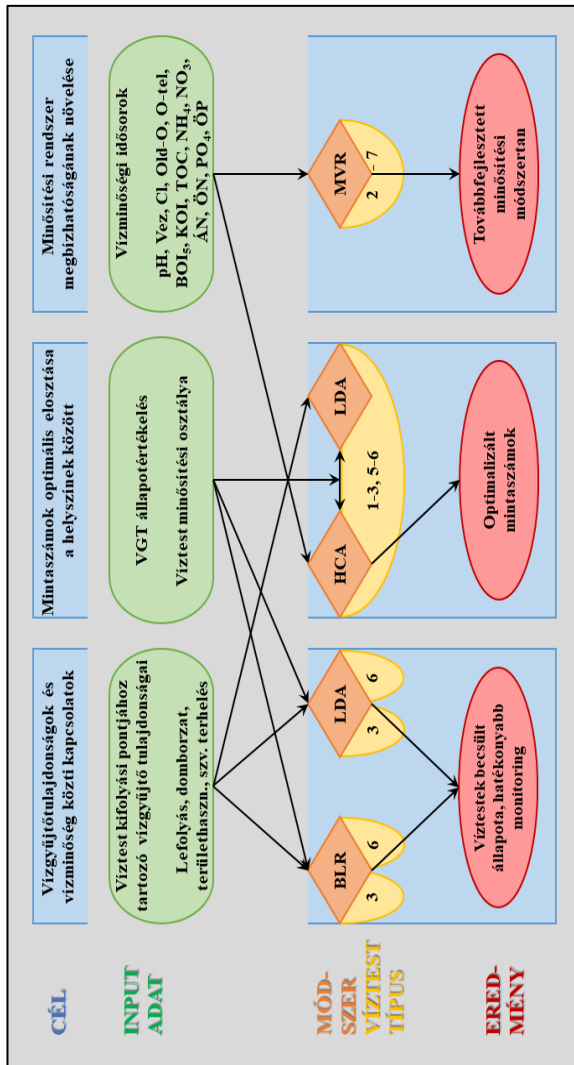
A 4. fejezet („Mintavételi helyszínek közötti hasonlóság mértékének vizsgálata”) alapgondolata, hogy a vízminőségi adatok nem csak a konkrét mérési helyükhöz rendelten értelmezhetők, hanem érdemes azokat a helyszíneket, amelyek valamilyen szempontból hasonlóak, egy csoportba rendezni, és a hozzájuk tartozó mérési eredményeket együtt értelmezni. Ezzel a módszerrel kijelölhetők az információval jól, illetve kevésbé jól ellátott csoportok, ezáltal pedig tovább növelhető a monitoring rendszer hatékonysága. A mérési helyeket egyrészt a vízminőség-mérési eredményekkel, másrészt a hozzájuk tartozó vízgyűjtő már említett tulajdonságaival, mint háttérváltozókkal jellemzem. A csoportosítást a vízminőség-mérési adatok alapján hierarchikus klaszterelemzés módszerével végzem; majd a képződött csoportok háttérváltozóik alapján való reprodukálhatóságát vizsgálom lineáris diszkriminancia-elemzéssel. Megállapítom, hogy a kevésbé szennyezett vízfolyások között nagyobb mértékű a hasonlóság, ezért itt viszonylag kevesebb mérésre van szükség a megbízható állapotjellemezéshez. A jelentősen terhelt víztestek a szükséges mértéknek megfelelően viszonylag nagy mintaszámmal jellemeztek. A közepesen szennyezett vizek ugyanakkor alulreprezentáltak a jelenlegi monitoring rendszerben.

Dolgozatom 5. fejezetében a mesterséges véletlen ritkítás módszerével (Monte Carlo elemzés) vizsgálom, hogy különböző statisztikai mutatók és vízminőségi változók esetében milyen

mértékben csökkenti a minősítés megbízhatóságát a heti-kétheti mintavételről a ritkább (havi, negyedéves) mintavételre való áttérés. Megállapítom, hogy mind a medián, mind a módusz az átlag alapján történő osztályozásnál magasabb találati aránnyal alkalmazható az általam vizsgált nagyon alacsony mintaszámok esetén és a meglévő határértékek mellett. A komponensek tekintetében a pH, az elektromos vezetőképesség, az oldott oxigén és az összes szerves szén szerinti osztályozás megbízhatósága általában magasabb a többi komponensénél; a biokémiai oxigénigény, az ammónium és a foszforformák viszont gyengítik a minősítést. Fentek alapján javaslatot teszek az állapotértékelési rendszer felülvizsgálatára.

A dolgozat 6. fejezete az eredményeim összefoglaló megvitatását tartalmazza. A 7. fejezet tézis szerűen összefoglalja az eredményeket.

A dolgozatban bemutatott vizsgálatokat; azok input adatait, céljait és eredményeit, egymáshoz való viszonyát az 1. ábrán foglalom össze.



1. ábra. A dolgozatban bemutatott vizsgálatok VGT: Vízgyűjtőgazdálkodási terv; KOMPONENSEK: Vez: fajlagos elektromos vezetőképesség; Cl: kloridion-koncentráció; Old-O: oldott oxigén koncentráció; O-tel: oxigén telítettség; BOI: biokémiai oxigénigény; KOI: kémiai oxigénigény; TOC: összes szerves szén; AN: összes szerves nitrogén; ÖN: összes nitrogén; ÖP: összes foszfor. MODSZREK: BLR: bináris logisztikus regresszió; LDA: lineáris diszkriminanciaelemzés; HCA: hierarchikus klaszterelemzés; MVR: mesterséges véletlen ritkítás. TÍPUSOK: 1-4 dombvidéki; 5-7 síkvidéki; 1-3 és 5-6: kicsi; 4 és 7: nagy vízfelnyelések.

Az új tudományos eredmények tézisszerű összefoglalása

1. tézis A víztestek állapotának becslése

Hazai dombvidéki és síkvidéki vízgyűjtők vizsgálata alapján kis vízfolyás víztestek fiziko-kémiai állapotának becslésére alkalmas, lineáris diszkriminancia-elemzésen és bináris logisztikus regresszió alapuló módszereket dolgoztam ki. A módszerek alkalmazásával – a vízgyűjtőterület domborzati, területhasználati és pontszerű terhelési jellemzőinek, valamint a régió vízminőség-mérési eredményeinek figyelembe vételével – az állapotértékelés pontosítható: a víztesteken való beavatkozás szükségessége 90% fölötti, a víztestek ötfokozatú skálán adott minősítési osztálybesorolása 50–60% pontossággal megadható.

A tézishoz kapcsolódó publikációk: [3, 6-8]

2. tézis Szennyvízzel való terhelhetőség területhasználat szerinti specifikációja

Ezer négyzetkilométernél kisebb vízgyűjtőterületű vízfolyások szennyvíz eredetű foszforral való terhelhetősége az alábbi képletekkel határozható meg.

Dombvidékeken:

$$\frac{P}{Q} \leq \max\left(0, -0,1 + \frac{E}{5}\right)$$

Síkvidékeken:

$$\frac{P}{Q} \leq \max\left(0, -0,2 + \frac{2E}{3}\right)$$

Ahol

P a vízfolyásba pontszerű forrásokból engedhető foszforterhelés (g/s),

Q a vízfolyásnak a vízgyűjtő kifolyási pontjára vonatkozó sokéves középvízhozama (m^3/s),

E pedig az erdők és természetes vegetációjú területek részaránya a vízgyűjtőterületen (km^2 / km^2).

A tézishoz kapcsolódó publikációk: [1, 3].

3. *tézis* *Mintavételi helyszínek kiosztásának tervezése hasonlóságok alapján*

Hierarchikus klaszterelemzés módszerével vízminőség-mérési adataik alapján vizsgáltam a kis vízfolyások közötti hasonlóság mértékét. Megállapítottam, hogy a terheletlen vízfolyások között nagyobb hasonlóság mutatkozott, mint a szennyezésekkel terheltek között. Ebből következik, hogy a vízminőség sokfélesége – és ezzel a monitoring jelentősége, a mérések időbeli és térbeli sűrítésének szükségessége – az antropogén hatások jelenlétében növekszik.

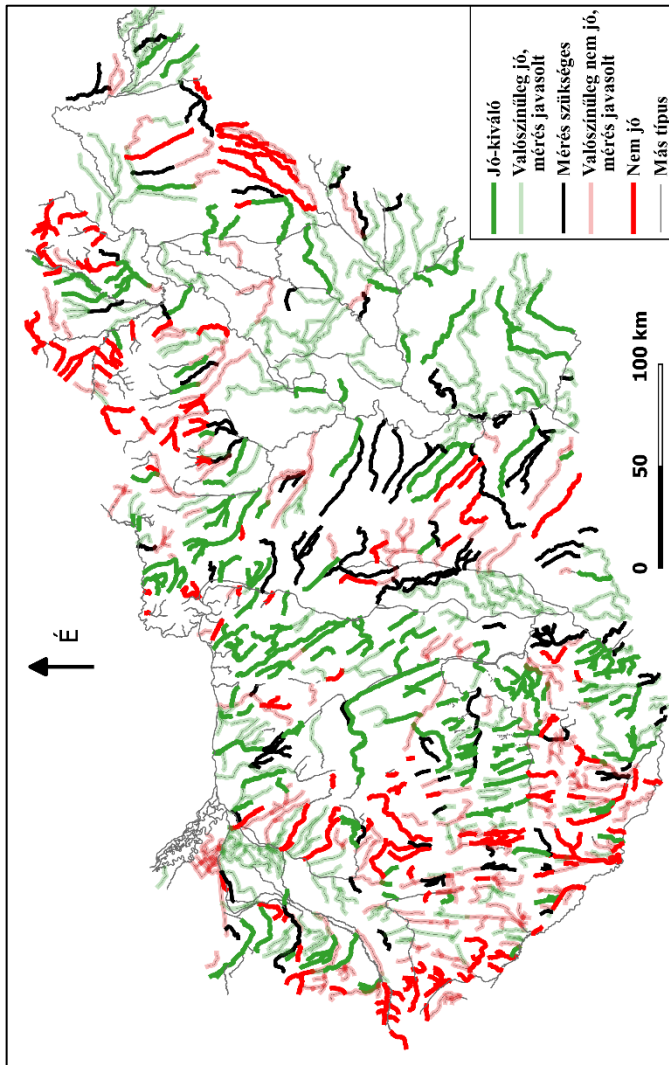
A tézishoz kapcsolódó publikációk: [2, 7, 10]

4. *tézis* *A hazai minősítési célú monitoring rendszer hatékonyságának növelése*

A hazai vízminősítési célú monitoring rendszer az országos domborzati, területhasználati és pontszerű terhelési adatbázisok, történelmi vízminőségi adatsorok és korszerű statisztikai módszerek

együttes használatával optimalizálható. A módszer segítségével a hazai, 3. és 6 vízfolyás típusba tartozó (dombvidéki- illetve síkvidéki kis vízgyűjtőjű) víztestek prioritizálhatók aszerint, hogy milyen mértékben van szükség helyszíni mérésekre az állapotuk értékeléséhez: a dombvidéki víztestek mintegy 50%-a és a síkvidéki víztestek mintegy 25%-a helyszíni mérések nélkül nagy biztonsággal minősíthető (2. ábra). A minősítés megbízhatóságának növelése érdekében javasolt a helyszínkiosztás, az időbeli gyakoriság és a minősítésbe bevont komponensek módosítása.

A tézishoz kapcsolódó publikációk: [3, 4–5, 7, 9]



2. ábra. A 3. és 6. víztest típusba tartozó vízfolyások modellekkel becsült állapota, illetve a helyszíni mintavétel szükségessége.

Tézisekhez kapcsolódó saját publikációk

Lektorált folyóiratcikkek

[1] Clement Adrienne, Jolánkai Zsolt & Kardos Máté Krisztián: A vízgyűjtő-gazdálkodási tervezés települési vízgazdálkodással kapcsolatos eredményei: a kommunális szennyvíztisztítás szerepe a felszíni vízminőség alakulásában és a tervezett intézkedések. *MASZESZ Hírcsatorna*. 2015. (5) 6–16.

[2] Kardos Máté Krisztián & Clement Adrienne: Similarities among small water courses based on multiparameter physico-chemical measurements. *Central European Geology*. Közlésre elfogadva.

[3] Kardos Máté Krisztián & Clement Adrienne: Predicting Small water courses' physico-chemical status from watershed characteristics with two multivariate statistical methods. *Open Geosciences*. 2020. (12) 71–84. DOI:10.1515/geo-2020-0006.

Gyűjteményes kötetben megjelent tanulmány

[4] Clement Adrienne, Kardos Máté Krisztián & Szilágyi Ferenc: Felszíni vizek minősítése az ökológiát támogató fiziko-kémiai jellemzők szerint - az állapotértékelés tanulságai az intézkedési programok tervezése szempontjából. In: *Szlávik Lajos, Gampel Tamás & Szigeti Edit (szerk.): A Magyar Hidrológiai Társaság által rendezett XXXIII. Országos Vándorgyűlés dolgozatai. Szombathely, 2015. július 1-3. pp. 1-11.*

[5] Kardos Máté Krisztián: Víz Keretirányelv szerinti fiziko-kémiai minősítés alacsony mintaszám esetén. In: *Jakab Gusztáv & Csengeri Erzsébet (szerk.): XXI. századi vízgazdálkodás a tudományok metszéspontjában: II. Víz tudományi Nemzetközi Konferencia. Szarvas, 2019. március 22.* ISBN: 978-963-269-808-3. pp. 98–110.

[6] Kardos Máté Krisztián & Clement Adrienne: A területhasználat vízminőségre gyakorolt hatásának indikációja mintázatfelismerő algoritmusokkal. In: *Fazekas István & Lázár István (szerk.): Tájak működése és arculata. MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 2019.* ISBN: 978-963-7064-39-5 pp. 197-202.

Konferenciakötetben megjelent kivonat (nem publikáció értékű munkák)

[7] Kardos Máté Krisztián & Clement Adrienne: Spatiotemporal optimization of monitoring networks with respect to water body classification. In: *Kronvang, Brian; Fraters, Dico & Kovar, Karel (editors): International Interdisciplinary Conference on Land Use and Water Quality, Agriculture and the Environment, Aarhus, Denmark, 2019. 06. 02-05.* p. 148.

[8] Kardos Máté Krisztián & Clement Adrienne: A területhasználat vízminőségre gyakorolt hatásának indikációja mintázatfelismerő algoritmusokkal. In: *Fazekas István & Lázár István (szerk.): A VIII. Magyar Tájökológiai Konferencia előadásainak és*

poszttereinek összefoglalói, Kisvárda, 2019. augusztus 29-31. ISBN: 978-963-508-915-4. p. 53.

Kutatási- és projektjelentések (nem publikáció értékű munkák)

[9] Kardos Máté Krisztián: Nitrát irányelvnek történő megfeleléshez szükséges vizsgálatok - Általános kémiai állapotértékelés – összefoglaló. Kutatási jelentés. *BME VKKT*, 2018. május. pp. 1-11.

[10] Kardos Máté Krisztián: Folyóhálózati monitoringhelyek csoportosítására szolgáló algoritmus kidolgozása. Kutatási jelentés. *BME VKKT*, 2019. március 31. pp. 1-28.

Válogatott irodalmi hivatkozások

- Behmel S., Damour M., Ludwig R., & Rodriguez M. J. 2016. Water quality monitoring strategies — A review and future perspectives. *Science of the Total Environment* 571:1312–29.
- Clement A. & Szilágyi F. 2015. Felszíni víztestek fizikai kémiai állapotértékelési rendszere – Az Országos Vízügytőgazdálkodási Terv 6-2. számú háttéranyaga. Országos Vízügyi Főigazgatóság, Budapest.
- European Commission 2003. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive – Guidance Document No. 7: Monitoring under the Water Framework Directive. European Commission, Bruxelles.
- Giri S. & Qiu Z. 2016. Understanding the relationship of land uses and water quality in Twenty First Century: A review. *Journal of Environmental Management* 173:41–48.
- Hastie T., Tibshirani R. & Friedman J. 2009. The Elements of Statistical Learning – Data Mining, Inference, and Prediction. *Springer Series in Statistics*. Springer, Berlin.
- Hatvani I. G. 2014. Application of state-of-the-art geomathematical methods in water protection - on the example of the data series of the Kis-Balaton Water Protection System. Doktori (PhD) értekezés. Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar, Budapest.

Somlyódy L. (szerk.) 2011. Magyarország vízgazdálkodása: helyzetkép és stratégiai feladatok. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest.

Somlyódy L. 2018. Felszíni vizek minősége – Modellezés és szabályozás. Typotex, Budapest.

Strobl R. O. & Robillard P. D. 2008. Network design for water quality monitoring of surface freshwaters: A review. *Journal of Environmental Management* 87(4):639–48.