

HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont

1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 15-17. Tel: (+36) 1 391-9322 www.csfk.org

Válaszok Prof. Mádlné Szőnyi Judit opponensi véleményére

Köszönöm Prof. Mádlné Szőnyi Juditnak, hogy igen alaposan átnézte és véleményezte az MTA doktori disszertációm. Hálás vagyok a dolgozattal kapcsolatos elismerő szavaiért és kritikai észrevételeiért.

Az alábbi oldalakon szeretnék kitérni pontról-pontra megjegyzéseire és konkrét kérdéseire. A Tisztelt Bíráló kérdéseit félkövérrel szedtem, míg az idézeteket dőlttel.

1. Tartalmi észrevételekre és a bírálát 3. fejezetében feltett kérdésekre adott válaszok.

1.1. A jól megírt fejezetben, alig akad megkérdőjelezhető megfogalmazás pl: *a modern társadalom miért csak a szárazföldi vízforgástól függ?* (5. oldal) vagy *a vízmolekula útjának hatékony nyomkövetése miért az ivóvízkészletekig érdekes* (holott ez már felhasználás, s akkor említhetné a mezőgazdaságot és az ipart is).

Válasz: Dolgozatomban úgy fogalmaztam, hogy „*A modern társadalom nagymértékben függ az éghajlat által meghatározott szárazföldi vízkörforgástól (Vörösmarty és Sahagian, 2000)...*”. Az viszont valóban igaz, hogy a víz körforgása nem áll meg az ivóvízkészleteknél, hanem tovább folytatódik a mezőgazdaságban, az iparban és egyéb felhasználási módokban is. A kérdés nyomán úgy írnám át a mondatot, hogy *...a vízmolekula útját a csapadékhullástól kezdve egészen a különböző felhasználási formákig követhetjük nyomon;*

1.2. Az alkalmazott módszertan és az adathalmazok összefüggéseit Kovács et al. (2012c) diagramjából kiindulva ismerteti. Indokolja, hogy hol miért és milyen módszereket vet be és azt is, hogy milyen jellegű adatsorokon. Itt az indoklásokkal kapcsolatban maradt hiányérzetem: *hogy hozza összefüggésbe a vizsgált problémával, annak dimenziójával a használt adatokat, azok felbontását, miért a leírt módszerek egymásutánja a legoptimálisabb stb.*

Válasz: A rövid értekezés vonatkozó fejezetében valóban nincs a problémá(k)hoz kötve az alkalmazott módszerek köre, hanem - ahogy a Tisztelt Bíráló is azonosította - e fejezetben az adatoldali gyakorlati szempontok bemutatása volt a célom a 3.1-1. táblázattal és a 3.2-1. ábrával. Ezt azért tartottam fontosnak, mert amennyiben a bemenő adat nem tesz eleget egy adott módszer kritériumainak, a kapott eredmény nem fogja tükrözni a vizsgálni kívánt jelenséget.

A disszertáció vonatkozó fejezetét azzal a mondatokkal kezdem, hogy „*A bemutatott tanulmányokban vizsgált adatokat egy egységes rendszerben, négydimenziós térben lehet elképzelni (3.2-1. ábra),* „ majd bemutatom az ábrát magát és a következő bekezdésekben kifejtem, hogy a dolgozatomban és az ahhoz kapcsolódó tanulmányokban alkalmazott eszközök hol helyezkednek el az absztrakt négydimenziós térben.

A leírt módszerek egymásutániságáról a Hatvani et al. (2014) **Data handling and suggested methodology** c. fejezetében és a benne lévő 3. ábrán értekeztünk „*...a generally accepted order of application for both governmental and research institute users is suggested in Fig. 3. This order facilitates the overview and the description of a dataset, and reveals the parameters' stochastic*

relationships and their similarity in time and space.”, de itt sem úgy hivatkozunk erre a sorrendre, mint a legoptimálisabb egymásutánosság.

Nem gondolom, hogy létezik legjobb megoldás, ellenben egy adott adathalmazra és tudományos kérdés megválaszolására megfelelő eszköztár és lépéssorozat kiválasztható. Erre hozok példákat disszertációmhoz kapcsolódó tanulmányokban.

Hatvani, I.G., Magyar, N., Zessner, M. et al. (2014) The Water Framework Directive: Can more information be extracted from groundwater data? A case study of Seewinkel, Burgenland, eastern Austria. *Hydrogeol J*, 22 , 779–794

1.3. A Balaton vízmérlegének tárgyalásánál hiányolom a felszínalatti víz hozzájárulás említését, mely az utóbbi években került ismét előtérbe, s felhívta a figyelmet arra, hogy a Balaton is egy részben felszínalatti vizektől függő ökoszisztéma (ld. Tóth Ádám, 2018 PhD dolgozat, Tóth et al. 2023). Feltételezhető, hogy a tárgyalt wetland-ek és a Zala is szoros kapcsolatban kell legyenek a felszínalatti vízzel, melynek szerepével a szerző nem számol, miközben erre Istvánovics et al. (2024) az oldottanyag tartalom kapcsán is rámutat.

Válasz: Köszönöm szépen a megjegyzést. A Balaton esetében a tó vízkészletének legalább negyede felszín alatti vízből származik egy közel három évtizedes időszakot figyelembe véve. Ez az érték nem csak a tó vízmérlegére, hanem a vízének minőségére is kihat (Tóth et al. 2020). A Kis-Balaton medencéjében 110-115 mBf a potenciálminimum. Ebben a mélyebb helyzetű elevációszeletben az áramlási irányok a peremi potenciálminimumok felé mutatnak (Tóth, 2008: 45. ábra), ami azt jelzi, hogy a területen a felszín alatti víz hozzájárulása kulcsszereppel bírhat.

Noha a disszertációban nem foglalkoztam a vízméreg kérdésével, azonban 2020-2024 között egy részletes mintavételezési kampányt folytattunk a HUN-REN CSFK kötelékein belül, a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer területén víz és csapadék stabilizotópokra vonatkozóan. A projekt egyik megválaszolandó kérdése a felszín alatti hozzáfolyás mértékének becslése, amiről a NyUDUVIZIG jelenleg nem rendelkezik kellő információval. Az eredmények feldolgozás alatt állnak, erről egyelőre többet nem tudok mondani, de Tóth et al. (2023) munkájának 7. fejezete „Stable isotope analysis” tanulságos analógiákkal szolgál e munka már mostani fázisához is.

Tóth, Á., Baják, P., Szijártó, M., Tiljander, M., Korkka-Niemi, K., Hendriksson, N., Mádl-Szőnyi, J. (2023). Multimethodological revisit of the surface water and groundwater interaction in the Balaton Highland region—Implications for the overlooked groundwater component of Lake Balaton, Hungary. *Water*, 15(6), 1006.

Tóth, Á. (2018). *A Balaton-felvidék felszínalatti vizeinek hidraulikai kapcsolata a Bakonnyal és a Balatonnal* (PhD értekezés). ELTE. <https://doi.org/10.15476/ELTE.2018.123>

Tóth, Á., Havril, T., Mádl-Szőnyi, J. (2020). Rejtőzködő vizek nyomában a Balaton térségében – Mi hiányzik a Balatonból? In Babinszki, E., Horváth, F. (Szerk.), *A Balaton kutatása Lóczy Lajos nyomdokán* (pp. 287–311). Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest.

1.4. A szerző „fekete dobozként” kezeli vizsgálata során a KBVR elemeit arra hivatkozva, hogy az élőhelyek közötti ökoton csak minimálisan van jelen. Véleményem szerint a hidraulikai összefüggések miatt a kapcsolatoknak fenn kell állnia, kérdés ennek módja, mértéke és jelentősége, tehát csak ennek tudatában szabad ezzel a leegyszerűsítéssel élni.

Válasz: Köszönöm a megjegyzést; a későbbiekben a 2.2-es kérdés is ezzel foglalkozik, így ott szeretnék rá részletesen reagálni.

1.5. Az első célt tekintve a jelölt az alkalmazott módszerekkel rá tudott mutatni, hogy a fogantatosított intézkedések miatt 1992-től már a természeti folyamatokat jellemző háttértényezők pl. hőmérséklet váltak meghatározóvá, de arra, hogy miért éppen a hőmérséklet, már nem ad választ. S nem tárgyalja azt sem, hogy a bekövetkezett vízminőségi javulás korábbi szakirodalmakból mennyire volt ismert.

Válasz: A disszertációban valóban nem részleteztem az okokat, ezek a kapcsolódó tanulmány 4. fejezetének utolsó bekezdésében jelentek meg csupán. A víz hőmérséklet meghatározó szerepe 1992 után a mikrobiális aktivitás hőmérsékletfüggőségével hozható kapcsolatba. 1992 után a víz hőmérséklet a 3. dinamikus faktorról korrelált jól (Hatvani et al., 2015: Fig. 5; $r = 0,77$) és e faktorban a szerves N és a kémiai oxigénigény változóknak volt jelentős a faktorsúlya (Hatvani et al., 2015: Table 4), ami a külső terhelések relatív csökkenésének és a belső terhelések (autochton szervesanyag) növekedésének köszönhetően alakulhatott ki.

A megjegyzésre, hogy a korábbi szakirodalomhoz képest milyen új eredményeket kaptam a 2.3-as kérdésre adott válaszümban szeretnék részletesen reflektálni.

1.6. Nem világos, mire gondol, amikor azt állítja, hogy „a Balaton trofikus állapotának javulása nagy mértékben függött (i) a tó hidromorfológiai jellemzőitől”?

Válasz: Köszönöm a megjegyzést. A disszertációban valóban nem fejtettem ki pontosan, mit értettem a „hidromorfológiai jellemzők” alatt. Ezzel a Balaton négy medencéjének eltérő fizikai és hidrológiai tulajdonságaira kívántam utalni, úgymint térfogat, a beérkező vízfolyások és terhelések mértéke, illetve az üledék jellege, különösen annak foszfortartalma.

1.7. Hiányoltam a téma bevezetéseként a „fekális forrópont”, mint fogalom definiálását, később matematikai értelemben ugyan definiál, de van-e erre más meghatározás?

Válasz: Dolgozatban valóban nem definiáltam a hotspot-ok fogalmát, de a kapcsolódó tanulmányban (Hatvani et al., 2018) ezt alábbiak szerint tettem meg: „*The sites with factor loadings above 0.7 delineate those areas responsible for most of the microbial fecal pollution variance, and these will be designated “hotspots”*”. A PCA-val nem egy adott határérték feletti pontokat definiáltuk, mint fekális forrópontot, hanem azon pontokat melyek az adott fekális baktérium varianciájának meghatározó részéért felelnek.

Ha más megközelítést alkalmaztam volna, akkor egy abszolút koncentráció alapú meghatározás szerint lehetett volna forrópont azon mintavételi helyek köre, ahol egy bizonyos határérték feletti értékeket gyakran észlelnek. Az ilyen határértékek származhatnak például az EU Fürdővíz Irányelvülből (EC, 2006) (pl. 1000 *E. coli*/100 ml és 400 *Enterococci*/100 ml rövid távú szennyezési

események esetén), vagy a Kirschner et al. (2009) által bemutatott széklet-szennyezettségi osztályozási rendszerből. Utóbbit a disszertációban bemutatott tanulmány 1. ábráján, a box-plotok háttérének színezésében is alkalmaztam: „*Classes of fecal pollution are shown as blue (little), green (moderate), yellow (critical), and orange backgrounds (strong pollution), after Kirschner et al. (2009).*”

European Commission. (2006). *Directive 2006/7/EC of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC. Official Journal of the European Communities, L64, 1–37.*

Kirschner, A. K. T., Velimirov, B., Mach, R. L., Sommer, R., Farnleitner, A. H. (2009). Microbiological water quality along the Danube River: Integrating data from two whole-river surveys and a transnational monitoring network. *Water Research, 43*(15), 3673–3684.

1.8. ...levezeti, hogy a mintavételi pontoknak 1 km-es hatástávolsága van, ezzel eljutva a megállapításig, hogy a jelenlegi mintavételi hálózat elégtelen. A szignifikáns magyarázó változókat nem tárgyalja szisztematikusan, a szélirányhoz kapcsolódó vihareseményeket, az illegális mellékhelyiségeket, a szennyvíz túlfolyást említi stb. Hiányolom a céljai között egyébként szereplő konkrétabb javaslatok megtételét a tó mintavételezési stratégiájához és a nyaralók számára foganatosítható előírásokat, mint gyakorlati kimenetet.

A Fertő fekáliás szennyeződése kapcsán konkrétabb javaslatokat egy német nyelvű tanulmányban (Herzig et al., 2019) fogalmaztunk meg két évtizednyi vízminőségi adat idősoros, elsősorban empirikus elemzése nyomán. Megállapítottuk, hogy a fekáliás szennyezési események 60%-a hozható kapcsolatba szélsőséges időjárási eseményekkel. Ezek 30–35%-ban heves esőzések, 25–30%-ban erős csapadék nélküli szélviharok voltak. Az esetek 40%-ában nem volt kimutatható időbeli vagy ok-okozati kapcsolat az időjárási szélsőségekkel. Ez arra utal, hogy más helyi tényezők játszottak szerepet a szennyezés kialakulásában. A lehetséges szennyezési mechanizmusok a szél általi üledékfelkeveredésen kívül pl. az állati eredetű ürülék bemosódása a csatornákon keresztül vagy diffúz módon (Kirschner et al., 2004), a csatornák túlfolyása és szennyvíztisztítók túlterhelődése heves esőzések során.

A tanulmány 6. fejezetében az alábbi beavatkozási lehetőségeket fogalmaztuk meg:

I) Mintavételi pontok felülvizsgálata és bővítése:

Javasolt a meglévő monitoringhálózat átgondolása és kibővítése, különösen azokon a területeken, ahol intenzív a rekreációs (pl. fürdőzési) használat, illetve ahol befolyók vagy sűrűn beépített nyaralóövezetek találhatók. Ezzel átfogóbb képet kaphatnánk a szennyezőanyagok forrásairól és azok terjedéséről. Például:

- A Wulka befolyó esetében jelenleg csak a csatornában és a nyílt vízfelületen történik mintavétel, de nem ismerjük pontosan, hogyan terjed a beérkező víz a tóban.
- A Golser-csatorna mentén érkező szennyeződések szintén problémát jelentenek, mivel az É-D szélirány hatására ezek gyakran a pátfalui strandra sodródnak. A szennyezőanyagok forrásai lehetnek: mezőgazdasági területek, a Gols–Mönchhof-i szennyvíztisztító kibocsátása, valamint olyan területek a csatorna mentén, amelyek a szennyvíztisztító beömlési pontja fölött helyezkednek el. Ezek pontos beazonosítása kulcsfontosságú a hatékony beavatkozásokhoz.

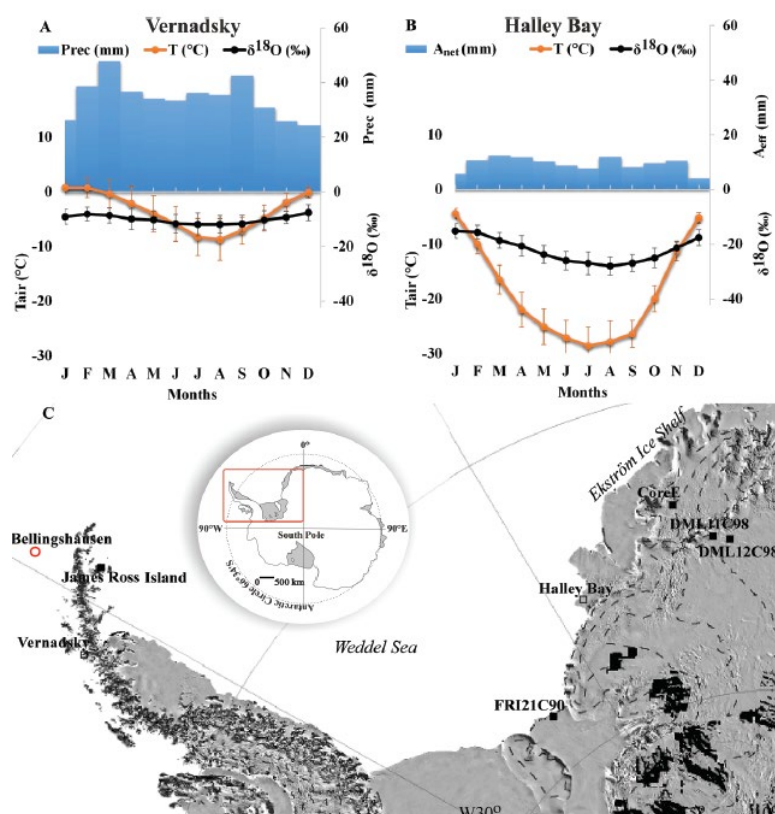
- II) Mintavételezés gyakoriságának növelése: Időben gyakoribb mintavételezés a turisztikai főszezonban, valamint jelentősebb csapadékesemények után pilot jelleggel. Ez segítene az eseti szennyezési csúcsok gyors azonosításában, valamint az időjárási tényezők vízminőségre gyakorolt hatásának pontosabb vizsgálatában. Tartalékminták biztosítása a fürdővizek szezonális monitorozása során. Amennyiben szennyezés lehetősége / gyanúja merül fel, a tartalékminták lehetővé teszik a fekáliás szennyezés forrásának pontos azonosítását. Fontos szempont még, hogy ugyanazon a napon történjen a teljes tó (beleértve a magyar oldalt is) mintavételezése a pontok összehasonlíthatósága végett.
- III) Szennyvízkezelési létesítmények rendszeres ellenőrzése: Szisztematikus ellenőrzés bevezetése a nyaralókhoz kapcsolódó szennyvízkezelési létesítményeknél, hogy biztosítható legyen a tartományi előírások betartása. Az illegális szennyvízelvezetés feltárása és megszüntetése kulcsfontosságú a tó vízminőségének megőrzéséhez.
- IV) Riasztási protokoll kidolgozása a fekáliás szennyezési eseményekhez kapcsolódóan, specifikusan: vihar eseményeket követő megemelkedett fekáliás indikátorbaktériumértékek monitorozása egy megnövelt időbeli gyakorisággal a fürdőhelyeken és a forrópontokon.

Az osztrák kollégákkal, beleértve a Biologische Station Neusiedler See nyugdíjazott igazgatóját Alois Herzig professzor urat, összegezve azt fogalmaztuk meg, hogy ezeket a potenciális szennyezési forrásokat minden egyes mintahelyre külön meg kell vizsgálni, és az ok-okozati összefüggéseket további részletes, időben és térben nagy felbontású elemzések során kell igazolni. Ezen vizsgálatok nélkül szakmai felelősséggel nem lehet pontosabban mondani, azonban ezen eredményeknek elegendőnek kellene lenniük ahhoz, hogy egy ilyen vizsgálati csomag megvalósuljon.

Kirschner, A. K., Zechmeister, T. C., Kavka, G. G., Beiwl, C., Herzig, A., Mach, R. L., Farnleitner, A. H. (2004). Integral strategy for evaluation of fecal indicator performance in bird-influenced saline inland waters. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(12), 7396-7403.

1.9. A jelölt kérdései relevánsak, bár jó lett volna a rendelkezésre álló csapadék adatok értékelése is.

Válasz: Köszönöm a felvetést. Sajnos nem állnak rendelkezésre a disszertáció részét képező geostatisztikai vizsgálatokkal komplementer / összevethető csapadék $\delta^{18}\text{O}$ - és $\delta^2\text{H}$ adatok, sem csapadék mennyiségi adatok, sem térben, sem pedig időben. A hó/firn (csonthó) stabilizotópos összetételének és az in-situ csapadékadatok kapcsolatának idősoros vizsgálatát egy, a rövid értekezésben be nem mutatott tanulmány keretében vizsgáltuk (Hatvani és Kern, 2017), azon két kivételes antarktiszi állomás (Vernadsky és Halley Bay; 1. ábra) adatait felhasználva, melyek környezetében vannak jégfuratok.



1. ábra. A vizsgálati terület és éghajlata. A csapadék/nettó akkumuláció (Prec/Anet), hőmérséklet (T) és a csapadék $\delta^{18}\text{O}$ értékeinek évszakos alakulása a Vernadsky (A) és Halley Bay (B) állomásokon. A hibásávok az egyes változók havi szórását jelölik.; Hatvani és Kern, 2017 szerint.

Hatvani, I.G. és Kern, Z. (2017). Weighting alternatives for water stable isotopes. *Polish Polar Research.*, 38(2), 105–124.

1.10. A szerző ugyanakkor nem definiálja azt, hogy a jégfuratok adatait mely időszakra értelmezi (csak a 4.4-1. ábra aláírásából derül ki).

Válasz: Valóban nem volt a törzsszövegben kellően kiemelve a vizsgált időszak, amely 1970-től 1988-ig tartott. Ezt pusztán a 3.1-1. táblázat utolsó oszlopában (12. oldal) adtam meg, valamint a 3.1. „A vizsgált adatok” c. fejezetben a 11. oldalon, ahol így fogalmaztam: „Az antarktiszi jégfuratok esetében fontos kiemelni, hogy az elemzett 60 db jégfurat dokumentált korbizonytalansága ± 1 év a Dronning Maud Land (Oerter et al., 2000) és a Ronne Ice Shelf (Graf et al., 1999) területén a vizsgált időszakhoz (1970–1988) legközelebb eső időszakokban.,,

2. Az értekezéssel kapcsolatos kérdésekre adott válaszok

2.1. A dolgozat motivációjában szerepel egy egységes rendszerbe foglalt geomatematikai eszköztár bemutatása. A munka ezt részben teljesíti azzal, hogy bemutatja a 3.1.-1 táblázatot és a 3.2-1. ábra is ad némi eligazítást és az egyes fejezetekben szöveg között leírja milyen módszereket alkalmazott. Véleményem szerint azonban, ez még nem elégséges az eszköztár reprodukálható alkalmazásához. Ezért kérem, hogy a jelölt az általa a KBVR és a Balaton példájára megvalósított kutatásra (ami többféle célt szolgált önmagában is) egyik célra vázoljon fel egy algoritmust arra vonatkozóan, hogy a probléma és az adatállomány ismeretében milyen döntési lépéseken keresztül jutott el az egyes módszerek egymás utáni alkalmazásához és az egyes részeredményeihez. Egy-egy ilyen ábra a dolgozat következtetéseit, a módszertan reprodukálhatóságát és a dolgozat téziseit erősítette volna.

Válasz: Az 1.2-es kérdésre adott válaszban már ismertettem a Hatvani et al. (2014) tanulmány lényegét, így azt itt nem ismételném meg. Ugyanakkor, a tanulmány 3. ábrájára építve szeretném szemléltetni a módszerek egymásra épülő alkalmazásának lépéssorát a Balatonhoz kapcsolódó részeredmények kapcsán. Az alábbi célokat választottam példaként:

„A kifejezett cél, hogy (i) három évtized távlatából statisztikailag megvizsgáljam, elkülöníthetők-e különböző vízminőségi/trofikus állapotokkal jellemezhető időszakok a tó történetében (ii), és amennyiben igen, meghatározhatók-e ezekben robusztus, hosszú távú trendek a trofikus paraméterekre vonatkozóan, valamint, hogy (iii) ezek mennyiben változtak időben és a Balaton medencéiben térben.”

Hatvani et al. (2014) folyamatábráját követve (2. ábra) a következő lépéssort alkalmaztam a Hatvani et al. (2020)-ban bemutatott elemzés során.

1. Adatbázis összeállítása

- Bemenet: 10 vízminőségi paraméter (TP, SRP, Chl-a, DO, pH, stb.)
- Térbeli felbontás: a Balaton négy medencéje
- Időbeli kiterjedés: 1985–2017
- *Döntési pont:* az adatbázis (idősorok több mintavételi helyen 2.ábra: I) alkalmas-e a hosszú távú, térben tagolt statisztikai elemzésre? -> IGEN -> 2

2. Előfeldolgozás

- **Műveletek:** adattisztítás, outlierok kezelése
 - *Döntési pont:* A szűrés után rendelkezésre álló adatok száma változónkként és medencénkként megfelelő és összehasonlítható maradt-e? -> IGEN -> tovább
 - Leíró statisztikák képzése medencénkként
 - Éves átlagok képzése (2. ábra: I/0).
- *Döntési pont:* Az adatok aggregálása biztosítja, hogy a későbbi elemzések összehasonlíthatóak legyenek? -> IGEN -> 3 és 4.

3. Trofitási állapot meghatározása

- **Művelet:** az OECD (Vollenweider és Kerekes, 1982) osztályozási rendszerének alkalmazása TP és Chl-a idősorok alapján (I/C)
- **Részeredmény:** a négy medencében eltérő trofitási mintázat volt azonosítható.

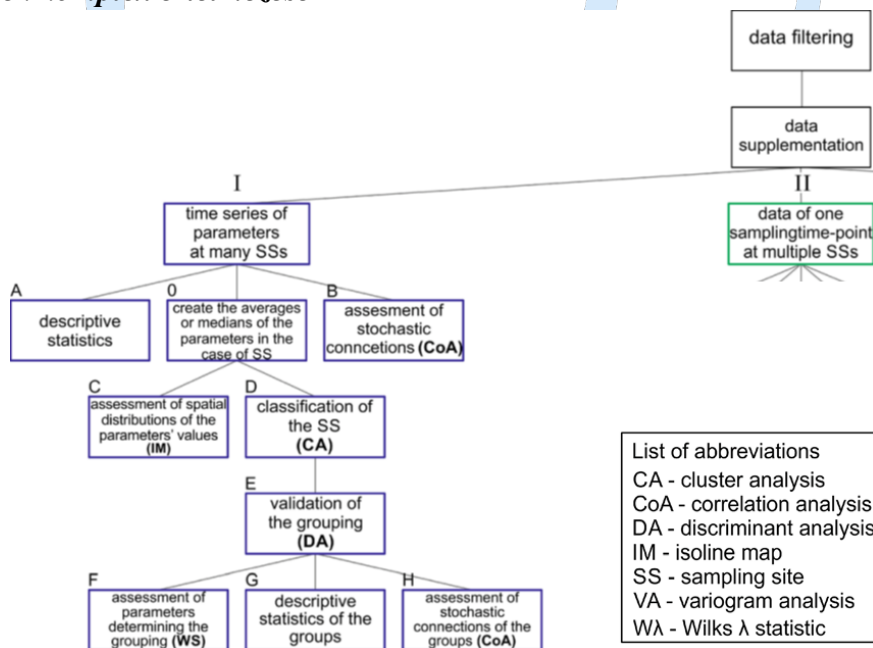
4. Időszakok lehatárolása – CCDA¹

- **Művelet:** kombinált klaszter- és diszkriminanciaanalízis (CCDA) az éves átlagok alapján (2. ábra: I/D & E)
- **Döntési pont:** statisztikailag alátámasztott időszakok meghatározása a tó történetében 10 vízminőségi változó adatai alapján sikeres? -> IGEN -> 5
- **Részeredmény:** három jól elkülöníthető időszak azonosítása: 1985–1994, 1995–2003, 2004–2017

5. Trendvizsgálat az időszakokon belül

- **Művelet:** nemparaméteres Sen's slope becslés a trendek meghatározására (2. ábra: I/G)
- Vizsgált paraméterek: TP, SRP, Chl-a koncentrációk trendje medencénként
- **Döntési pont:** Szignifikánsak-e az trendek? -> IGEN -> 6
- **Részeredmény:** a nyugati medencékben korai javulás, míg a keleti medencékben késleltett, évtizedes áthúzózással jelentkező trofitás-csökkenés volt kimutatható.

6. Az eredmények komplex értelmezése



2. ábra. Javasolt lépéssor, Hatvani et al. (2014): Fig. 3 szerint.

Hatvani, I.G., Magyar, N., Zessner, M. et al. (2014). The Water Framework Directive: Can more information be extracted from groundwater data? A case study of Seewinkel, Burgenland, eastern Austria. *Hydrogeol J*, 22, 779–794.

Vollenweider, R. A., Kerekes, J. (1982). *Eutrophication of waters*. Monitoring, assessment and control. Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD), Paris, 156.

¹ A CCDA a klaszter és a diszkriminancia analízis kombinációja (Kovács et al., 2014) ami megfeleltethető Hatvani et al. (2014): 3. ábráján I/D-E pontok összevonásának.

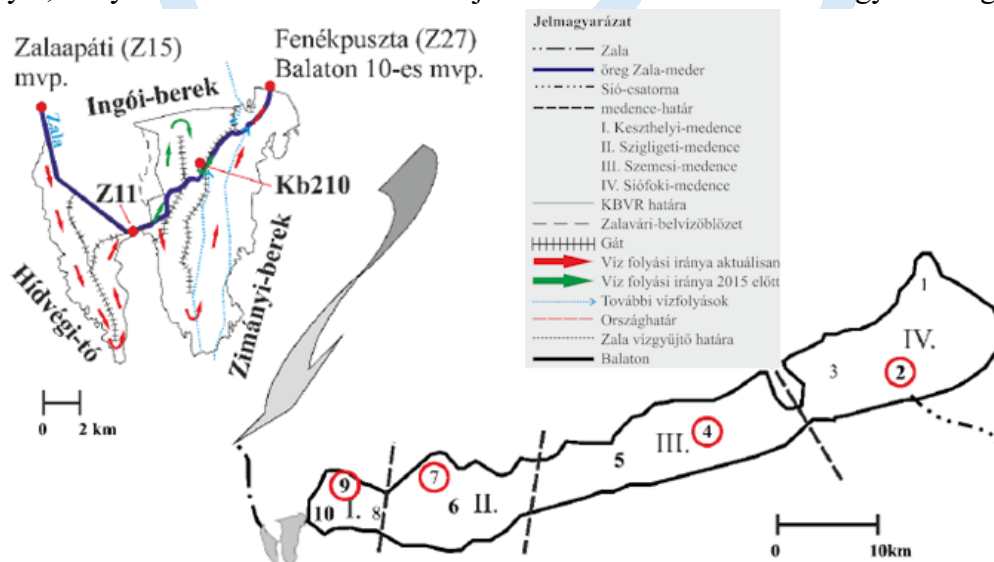
2.2. A szerző „fekete dobozként” kezeli a KBVR elemeit. Mi a véleménye erről a hyporheikus zóna fogalma tükrében, - s különösen az átfolyó wetland állapotban - ahol egyértelműen feltételezhetünk hidrológiai és biogeokémiai kapcsolatokat a víztartó és a meder közötti a peremi üledékben? Ezt elhanyagolhatjuk?

Válasz: A disszertáció 4.1.1-es fejezetének utolsó bekezdése értelmében, a Zala–Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR, angolul KBWPS)–Balaton, mint kis vízhozamú vízfolyás–eutróf tó–wetland–sekély tó egységet egy kaszkárendszernek tekintem. Ilyen formán számos tanulmányom esetében is a megcsapolási mintavételi pontok (Z15, Z11, Kb210, és Z27) vízminőségi változóinak értékét vettem reprezentatívnak az adott előhelyre vonatkozóan és ezek voltak azon pontok melyek adatsorai adatelemzés szempontjából összevethetőek voltak (3. ábra).

A Hatvani et al., 2017 2.1-es fejezetében az alábbiak szerint jellemeztem az élőhelyek megcsapolás pontjait, még a KBVR 2015-ös átalakítása előtti adatok elemzésénél.

- *Upstream, the input of the KBWPS, representing the River Zala”. (Z15)*
- *The outflow of the algae-dominated shallow eutrophic pond Phase I, (Z11)*
- *The outflow of the macrophyte-dominated wetland habitat, representing the undisturbed wetland. (Kb210)*
- *The downstream outlet of KBWPS, including the outflow water of the wetland and additional external inputs reach the system bringing a 40% excess in streamflow (Hativani et al., 2014), thus representing a “mixed” wetland habitat (disturbed wetland)”. (Z27)*

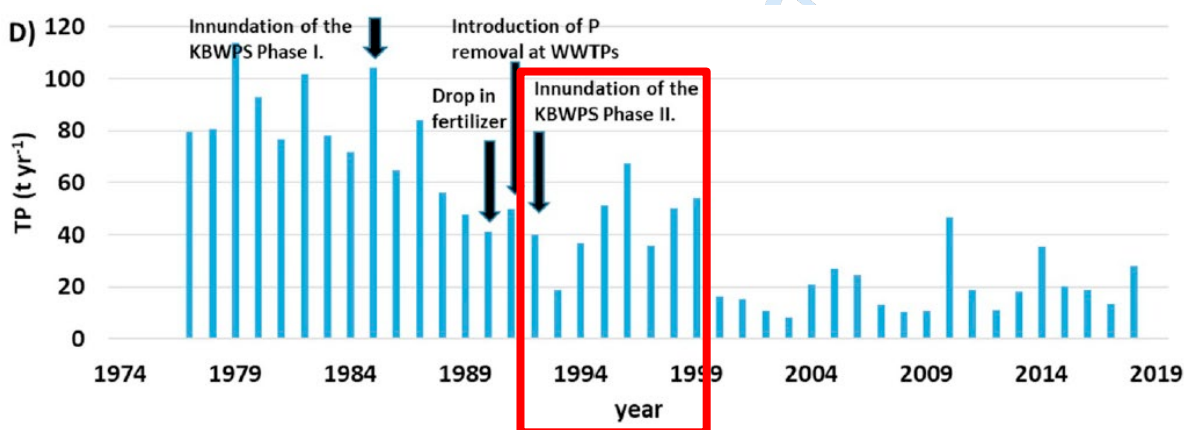
Ezek a mintavételi pontok véleményem szerint azt a vízminőséget jellemzik, ami elhagyja a KBVR adott élőhelyét, melyet természetesen az ott lezajló víz-üledék interakció is nagyban meghatároz.



3. ábra. A Zala, Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer, Balaton kaszkárendszer és mintavételi pontjai. A disszertáció 4.1-1. ábrája szerint átdolgozva.

Az üledék természetesen kulcsszerepet játszik a KBVR esetében is, de ez nem volt a disszertáció részét képező tanulmányok vizsgálatainak tárgya, ahogy a Tisztelt Bíráló is jelezte. Elmondható azonban, hogy a KBVR esetében az üledék – és ilyen formán a hyporheikus zóna – a

foszforvisszatartás szempontjából kritikus, amennyiben a KBVR elsődleges feladata a növényi tápanyagok visszatartása a Balatontól és annak legnyugatibb medencéjétől. Amikor 1992-ben elárasztották a Ingói-berek területét, ott makrofita vegetáció dominált és a Hídvégi-tóról érkező algabiomassza a zárt nádasok között elpusztult, mivel nem voltak megfelelőek a körülmények a hatékony fotoszintézisre, így az ebből származó detritusz gyors lebomlása során felszabaduló foszfor a megfelelő üledékes megkötő közeg hiányában távozott a rendszerből. Ezt jól szemlélteti Hatvani et al., 2020: 2. Ábra D panelje a Z27 mintavételi pont adataival. Ezért is törekedtek az üzemeltetők az Ingói-berek leválasztására és nagyobb nyílt víztérrel rendelkező Zimányi-berek bevonásába a KBVR működésébe, ahol a karbonátos üledékek már képesek hosszabb távon a foszfor megkötésére, a kialakuló mozaikos élőhelystruktúra és a makrovegetáció révén (Honti et al., 2020).



4. ábra. Balatonba érkező éves TP terhelések a KBVR felől a Z27 mintavételi ponton (lásd. 3. ábra). A piros négyszög a KBVR II. ütemének (Ingói-berek) elárasztását követő, a rendszert elhagyó, TP növekedést emeli ki. Hatvani et al. (2020): 2D ábra szerint.

Honti M, Gao C, Istvánovics V, Clement A. (2020). Lessons Learnt from the Long-Term Management of a Large (Re)constructed Wetland, the Kis-Balaton Protection System (Hungary). *Water*, 12(3):659.

2.3. #1 A Balaton eutrofizációja vonatkozásában eredményeit tekintve az „irodalommal egybeeső” képről ír. Váolja, konkrétan, hogy melyek a témában tett, a korábbi szakirodalomhoz képest új megállapításai a módszertan alkalmazásán túl.

#2 A jelölt vizsgálatait 2017-tel lezárultak, a bemutatott javuló vízminőségi trend ellenére mégis történt algavirágzás az utóbbi években is (Istvánovics et al. 2022). Mit gondol az új eredmények tükrében megállapításai mennyire adaptálhatók a mai helyzetre?

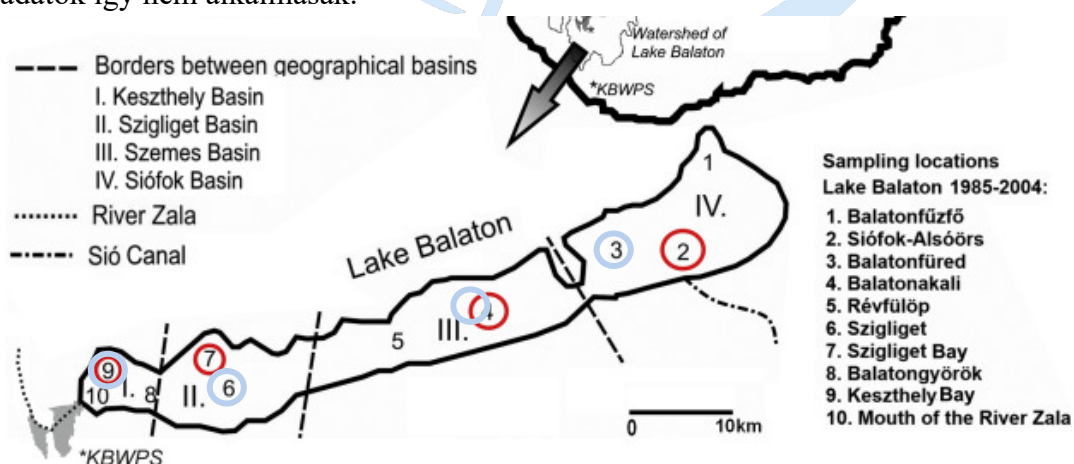
Válasz #1: Köszönöm a kérdést és a lehetőséget, hogy összefoglalhatom a korábbi szakirodalomhoz képest új eredményeimet. Néhány példát szeretnék kiemelni a Hatvani et al. (2020) tanulmányból.

- Megállapítottam, hogy a 2004-2017-es időszak egy vízminőségi egységet alkot (Hatvani et al., 2020: Fig. 3).
- Megállapítottam, hogy a 2004–2017-es időszakban az ortofoszfát (SRP) koncentrációja nem mutatott jelentős változást (Hatvani et al., 2020: 2c ábra), miközben a klorofill-a (Chl-a) koncentráció szignifikánsan ($p < 0,05$) csökkent minden medencében (Hatvani et al., 2020: 2a

ábra;), kivéve a Keszthelyi-medencét (Hatvani et al., 2020: 2. táblázat). Az összes foszfor (TP) koncentráció kis mértékben (~2,5%), de statisztikailag szignifikánsan ($p < 0,05$) nőtt a Keszthelyi- és a Siófoki-medencében (Hatvani et al., 2020: 2. táblázat).

- Mivel a tanulmányban 1985-2017 közötti adatokat együtt vizsgálhattam, így olyan tér és időbeli trendeket tudtam megállapítani, amire mindaddig nem volt lehetőség.
 - Irodalomból tudjuk, hogy időben eltolva jelennek meg az oligotrofizáció folyamatai a Balaton medencéiben, de az eddig nem látszott, hogy ez 2004 és 2017 között hogyan alakul (Hatvani et al., 2020: Table A1.).
 - Számszerűsítettem a Hatvani et al. (2020) 2. táblázatában, hogy milyen ütemben változott a Chl-a, TP és ortofoszfát koncentráció 2004-et követően és ezt összevethetővé tettem az ezt megelőző két időszak trendjeivel.
 - Korábbi tanulmányok nem állapították meg, hogy 2004-2017 közötti időszakban a Siófoki-medencében a Chl-a maximumok szempontjából már az OECD trofitási indexe szerint oligotróf évek is megjelentek, míg az éves átlagos Chl-a is mezotróf értékeket jelzett végig, az TP is volt, hogy a mezotróf határérték alá esett (Hatvani et al., 2020: Table A1.).
 - Chl-a koncentrációk csökkenése a keleti medencékben is megjelenik (Hatvani et al., 2020: Table 2) és a Keszthelyi-medencében a Chl-a átlagkoncentrációja közel 65%-kal csökkent az 1985–1994 és a 2004–2017-es időszakok átlagai alapján.

Válasz #2: Ahhoz, hogy el tudjam dönteni, eredményeim / megállapításaim mennyire adaptálhatók a 2017-et követő időszakra, elkértem a HUN-REN BLKI Chl-a adatsorait (Somogyi, 2025), a 2017-es évvel kezdve, hogy azokat össze tudjam vetni az általam feldolgozott, a KÖDUVIZIG-től kapott adatokkal. Jól látható, hogy minimális az eltérés az értékek között 2017-ben. Mivel azonban a BLKI mintavételi helyeinek fele nem esik egybe az általam vizsgált pontokkal (5. ábra), így csak empirikus trendek szintjén érdemes megállapításokat tennem a jelenlegi viszonyokra, illetve arra, hogy az általam 2020-ban felvázolt mintázatok továbbra is érvényesek-e. Többváltozós adatelemzésre ezek az adatok így nem alkalmasak.



5. ábra. Balatoni mintavételi pontok. Az általam a Hatvani et al. (2020)-ban elemzett mintavételi pontok az alábbi kivágaton pirossal vannak jelölve, míg a HUN-REN BLKI-től kapott (Somogyi, 2025) adatok mintavételi helyei kézzel vannak jelölve. A Keszthelyi-medence tóközepi pontját leszámítva nem volt tökéletes átfedés a pontok helyei között.

Megállapítható, hogy a korábban felvázolt trofitási fokra vonatkozó térben és időben javuló trend alapvetően továbbra is fennáll. A keleti medencék még akkor is a korábbi évtizedekhez hasonló mezotróf / oligotróf állapotokat mutattak, amikor a nyugati medencé(k)ben hipereutróf állapotok voltak jellemzők. Az adatok a 2019-es keszthelyi extrém algavirágzást is jelzik – amelyet Istvánovics et al. (2022) is tárgyal -, ez azonban inkább tekinthető anomáliának, mintsem perzisztens trendnek. A 2024-ben a keleti medencékben megfigyelt eutróf mintázat kialakulásában véleményem szerint szerepet játszhatott egyrészt a 2019 / 2021-es algavirágzást kialakító tápanyagtöbblet tavon történő 'átvonulása', másrészt kialakulhattak olyan vagy hasonló körülmények a Keleti tóterületen, amelyek a 2019-es algavirágzást előidézték. Utóbbit Horváth László professzor úr 4. kérdésére adott válaszában részletezem.

1. táblázat. A klorofill-a (Chl-a) és az összes foszfor (TP) éves átlagai és maximumai (mg/l) a Balaton négy medencéjére vonatkozóan (1985–2017), forrás Hatvani et al. (2020), adatforrás KÖDUVIZIG. 2017-2024: adatforrás HUN-REN BLKI. A trofitási állapotok az OECD-besorolás szerint vannak megjelölve (Vollenweider és Kerekes, 1982). Piros: hipereutrof; narancssárga: eutróf; kék: mezotróf; zöld: oligotróf.

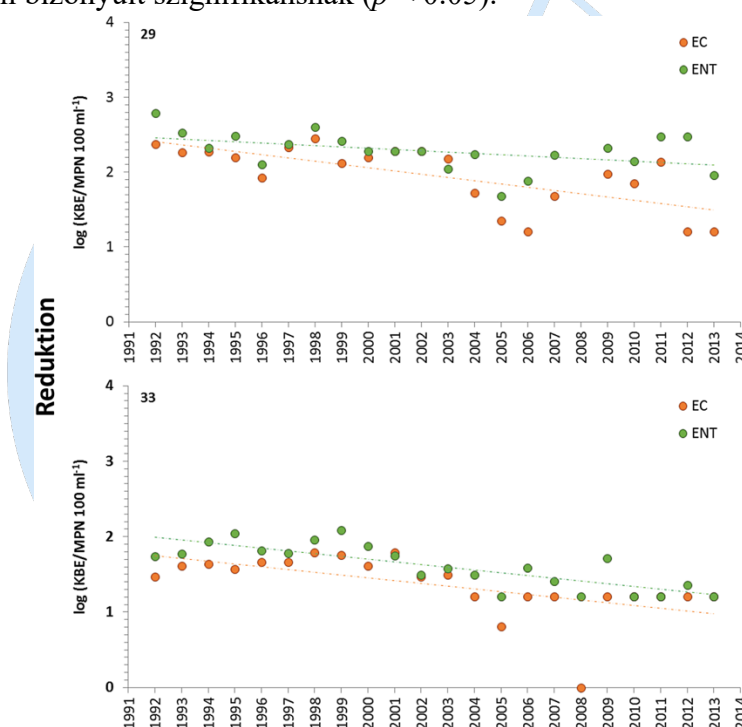
KöDUVI ZIG	Keszthely Basin			Szigliget Basin			Szemes Basin			Siofók Basin		
	Keszthelyi-öböl			Szigligeti-öböl			Balatonakali			Siofók-Alsóörs		
Year	Chl-a mean	Chl-a max	TP	Chl-a mean	Chl-a max	TP	Chl-a mean	Chl-a max	TP	Chl-a mean	Chl-a max	TP
2004	0,014	0,037	0,073	0,013	0,024	0,076	0,008	0,020	0,064	0,006	0,018	0,054
2005	0,018	0,048	0,056	0,018	0,040	0,049	0,014	0,038	0,045	0,007	0,015	0,040
2006	0,017	0,052	0,035	0,020	0,053	0,031	0,012	0,027	0,025	0,006	0,009	0,033
2007	0,020	0,057	0,031	0,013	0,024	0,029	0,012	0,034	0,034	0,005	0,008	0,034
2008	0,016	0,039	0,062	0,013	0,033	0,053	0,010	0,022	0,038	0,005	0,010	0,039
2009	0,013	0,028	0,045	0,012	0,023	0,051	0,010	0,036	0,046	0,008	0,021	0,030
2010	0,013	0,039	0,057	0,012	0,025	0,042	0,008	0,015	0,038	0,006	0,017	0,043
2011	0,016	0,041	0,067	0,016	0,044	0,057	0,013	0,040	0,049	0,006	0,009	0,058
2012	0,011	0,026	0,079	0,013	0,026	0,074	0,007	0,019	0,053	0,006	0,010	0,069
2013	0,013	0,026	0,048	0,012	0,021	0,052	0,009	0,018	0,040	0,004	0,008	0,041
2014	0,011	0,021	0,046	0,010	0,022	0,041	0,007	0,018	0,033	0,003	0,006	0,025
2015	0,013	0,029	0,075	0,011	0,036	0,086	0,006	0,016	0,065	0,004	0,006	0,060
2016	0,009	0,017	0,079	0,010	0,027	0,065	0,006	0,008	0,059	0,004	0,006	0,063
2017	0,013	0,041	0,069	0,012	0,022	0,067	0,005	0,011	0,047	0,004	0,009	0,044
BLKI	Keszthelyi-öböl			Szigliget			Zánka			Tihany / Balatonfűred		
2017	0,013	0,038		0,012	0,038		0,004	0,006		0,003	0,005	
2018	0,011	0,024		0,011	0,030		0,004	0,009		0,003	0,006	
2019	0,026	0,106		0,018	0,066		0,006	0,021		0,003	0,007	
2020	0,016	0,030		0,011	0,019		0,006	0,010		0,003	0,005	
2021	0,024	0,078		0,032	0,078		0,011	0,020		0,003	0,009	
2022	0,015	0,039		0,017	0,037		0,009	0,023		0,004	0,014	
2023	0,018	0,057		0,018	0,053		0,011	0,028		0,004	0,008	
2024	0,020	0,056		0,016	0,038		0,017	0,042		0,011	0,035	

Istvánovics, V., Honti, M., Torma, P., Kousal, J. (2022). Record-setting algal bloom in polymictic Lake Balaton (Hungary): A synergistic impact of climate change and (mis)management. *Freshwater Biology*, 67(6), 1091-1106.

Somogyi, B., 2025, "Annual mean and maximum chlorophyll a, and annual mean total phosphorus concentrations in Lake Balaton (2017–2024)", ARP, nem publikus adatsor.

2.4. A Fertőn a múltbeli többévtizedes idősor a vizsgált baktériumokra vonatkozó éves átlagértékeit használta a PCA korrelációs mátrixaihoz, a főkomponenssúlyok és a mintavételi pontok súlyának megállapításához. Mit gondol, eredményei mennyire reprezentatívak a jelen állapotra vonatkozóan, ha több évtizedes távlatban időbeli trendek is bizonyára megjelennek az antropogén terhelésben.

Válasz: Az osztrák kollégákkal egy idősorokra fókuszáló kutatást is végeztünk egy osztrák projekt (Sommer et al., 2018), valamint egy általam vezetett, az Osztrák-Magyar Akció Alapítvány által támogatott kutatás keretében. A munka eredményeit kifejezetten a döntéshozók és szakpolitikusok számára készítettük (Herzig et al. (2019). Az itt kapott eredményekből jól látszik, hogy mindkét fekáliás változó esetében egy csökkenő trend figyelhető meg (6. ábra), ez azonban csak az *Enterococcus* esetében bizonyult szignifikánsnak ($p < 0.05$).



6. ábra. Fekálindikátor-baktériumok éves átlagos idősora Pátfalu és Ruszt állomásokon 1991 és 2014 között. Herzig et al (2019): Abb. 4 szerint.

Eredményeim - ahogy a Tisztelt Bíráló is említi - két évtizedet átfogó adatokból készültek, így azok a 90-es, illetve a 2000-es évekre reprezentatívak. Általánosságban elmondható, hogy amennyiben a fekáliás szennyezés forrásai megszűntek, vagy nagymértékben megváltoztak, úgy az eredményeim már nem tükrözik a jelenlegi állapotokat. Ilyen értelemben a javaslataink (Herzig et al., 2019) nyomán idén nyáron átadásra kerülő, modernizált pátfalui szennyvíztisztító telep mindenképpen pozitív irányba fogja elmozdítani a megfigyelt trendeket. E változások hatásainak pontos értékeléséhez azonban a jövőben újabb vizsgálatokra lesz szükség.

Mi okozza, hogy bizonyos helyeken mindkét, míg másokon csak az egyik indikátor baktérium jelenik meg?

Válasz: Számos helyszínen a fekáliás eredetű szennyezés szintje nagyon alacsony, csupán kis mértékben haladja meg a detektálási / kvantifikálási határértéket (Hatvani et al., 2018: Fig. 1; Herzig

et al., 2019). Azokon a helyszíneken, ahol ez nem így van, az *Enterococcus* koncentrációja (stabilan) magasabb, mint az *E. coli*-é (Herzig et al., 2019). Ez feltehetőleg annak köszönhető, hogy az *Enterococcus* fajok perzisztensebbek enyhén sós környezetben, mint az *E. coli* (Davies et al., 1995). Egyúttal elmondható, hogy az *Enterococci* jobb indikátorai a fekáliás eredetű szennyeződéseknek (Kirschner et al., 2009).

S hogyan vélekedik a csatornázatlan nyaralók szennyvizének talajba történő elszikkasztásának tóra gyakorolt hatásáról?

Válasz: Sem én, sem az osztrák kollégák nem tudunk olyan esetről, amelyben a nyaralók szennyvizét a talajba szikkasztották volna, vagy hasonló megoldást alkalmaztak volna. Amennyiben azonban a Tisztelt Bíráló a tóba jutó és ott leülepedő szennyeződésekre gondolt, az alábbiakat tudom elmondani:

A tó rendkívül sekély, így a szél hatására az üledékben lévő fekáliás baktériumok könnyen visszajuthatnak a víztestbe. Ez különösen akkor jellemző, ha huzamosabb ideig nincs szél, majd hirtelen feltámad, és felkavarja az üledéket (Kirschner et al., 2018; Sommer et al., 2018; Herzig et al., 2019).

A vízminőség - fekáliás szennyezések szempontjából - már a '90-es évek elején is kritikus volt számos esetben (Herzig, 1991), melynek egyik fókuszpontja Ruszt volt (1. illusztráció). A megemelkedett fekáliás baktériumszámokat a legintenzívebb használati időszakban, nyáron észlelték. A tavaszi és őszi időszakban tapasztalt magasabb kolóniaszámok pedig nagy valószínűséggel a vízimadarak által okozott szennyezésre vezethetők vissza (Herzig, 1996). Ez a terület már pusztán vízminőség szempontjából is egy külön egységet alkotott, melyen alacsony oldott oxigénszintek voltak jellemzők (Magyar et al., 2013), aminek kialakulásában most úgy *gondolom, hogy a nyaralók szennyvizének a tóba történő illegális ürítése is közrejátszott.*



1. illusztráció. Ruszt műholdfelvételei a Google Earth alapján, letöltve 2025.03.30-án.

Mivel itt diffúz, illetve illegális pontforrás eredetű terhelésekről van szó, nehéz lenne ezek tóra gyakorolt közvetlen hatását felmérni. Herzig et al. (2019)-ben esemenyszinten vizsgáltuk meg a fekáliás szennyeződés idősorait, hogy feltárjuk milyen hajtótényezők állnak mögöttük.

Milyen megfontolásokat javasolna a mintavételi hálózat térbeli és időbeli optimalizálásához.

Válasz: A monitoringhálózatok kiépítésének csak akkor van értelme és haszna, ha azok megalapozott tervezésen alapulnak, az üzemeltetésük során nyert adatokat folyamatosan feldolgozzák, majd ezek alapján prognózisok készíthetők, és a monitoringhálózat finomhangolása is megvalósulhat (Füst és Giger, 2010). Az látszik a mostani hálózat vizsgálatából, hogy az *nem* a fekáliás eredetű szennyeződések nyomon-követésére lett kalibrálva, sem térben (Hatvani et al., 2018) sem időben (Herzig et al., 2019).

Szükség lenne egy térben és időben intenzív mintavételi kampányra, amelynek eredményei alapján meghatározható lenne az a minimálisan szükséges térbeli és időbeli mintavételi gyakoriság, amely elégséges a fókuszba helyezett paraméterek tér és időbeli varianciájának vizsgálatához (Hatvani et al., 2018: Conclusions fejezet 2. bekezdés).

Két konkrét javaslatot emelnék ki az alábbiakban:

- *A jelenlegi monitoring hálózat bővítése* szükséges további mintavételi pontokkal, különösen az intenzív rekreációs használatú területeken (pl. fürdőhelyek), a befolyóknál és a sűrűn beépített nyaralóövezetekben. Ez átfogóbb képet adna a szennyezési forrásokról és azok terjedéséről, valamint segítené a diffúz és pontforrás eredetű terhelések pontosabb felmérését / elkülönítését adott forráspontok esetében. Például a Golser-csatorna mentén érkező szennyeződések az É-D szélirány hatására gyakran a pátfalui strandra sodródnak. Itt a szennyezőanyagok forrásai lehetnek: mezőgazdasági területek, a Gols–Mönchhof-i szennyvíztisztító kibocsátása, valamint olyan területek a csatorna mentén, amelyek a szennyvíztisztító beömlési pontja fölött helyezkednek el. Ezek pontos beazonosítása kulcsfontosságú a hatékony beavatkozásokhoz.
- *Mintavételezés gyakoriságának növelése időben*, különösen a turisztikai főszezonban, valamint jelentősebb csapadékesemények után pilot jelleggel. Ez segítené az eseti szennyezési csúcsok gyors azonosításában, valamint az időjárási tényezők vízminőségre gyakorolt hatásának pontosabb vizsgálatában. Emellett szükséges tartalékminták biztosítása a fürdővizek szezonális monitorozása során: szennyezés gyanúja esetén ezek a minták lehetővé teszik a fekáliás szennyezés forrásának pontos beazonosítását. Fontos szempont továbbá, hogy a tó egész területén – beleértve a magyar oldalt is – ugyanazon a napon történjen a mintavételezés a pontok közti összehasonlíthatóság érdekében (Herzig et al., 2019).

Összegezve, a potenciális szennyezési forrásokat minden egyes mintahelyre külön-külön meg kell vizsgálni, és az ok-okozati összefüggéseket további, időben és térben nagy felbontású, részletes elemzések során kell igazolni (Herzig et al., 2019). Ezen vizsgálatok hiányában szakmai felelősséggel pontosabb megállapítás nem tehető, ugyanakkor a jelenlegi eredmények elegendő alapot biztosítanak egy átfogó vizsgálati csomag megvalósításához.

S hogyan lenne a szennyvízkezelés gyakorlati szinten javítható?

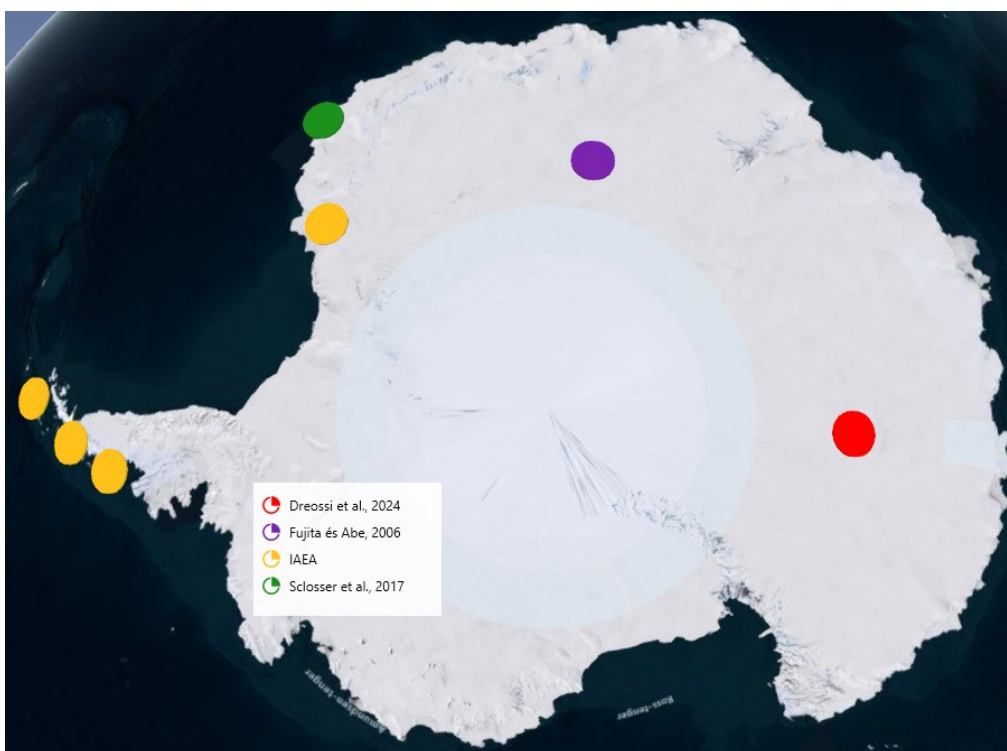
Válasz: Csak egyetlen szennyvíztisztító telep működik, amely közvetlenül a Fertőbe üríti a tisztított szennyvizet – ez a pátfalui (Podersdorf) telep. Ezt a telepet javaslataink nyomán (Herzig et al., 2019) modernizálják (pl. UV-fertőtlenítés), és várhatóan 2025 júniusában adják át. A vízminőség javítását tovább segítené, ha a hétvégi házakat csatlakoztatnák a csatornahálózathoz, valamint, ha a vitorlástulajdonosokat köteleznék arra, hogy ne a tóba ürítsék szennyvizüket.

Davies, C. M., Long, J. A., Donald, M., Ashbolt, N. J. (1995). Survival of fecal microorganisms in marine and freshwater sediments. *Applied and Environmental Microbiology*, 61, 1888–1896.

- Füst, A., Geiger, J. (2010). Monitoringtervezés és -értékelés geostatistikai módszerekkel I.: Szakértői véleményen alapuló, „igazolós” mintázás geostatistikai támogatása. *Földtani Közlöny*, 140(3), 303–312.
- Hatvani, I. G.**, Kirschner, A. K. T., Farnleitner, A. H., et al. (2018). Hotspots and main drivers of fecal pollution in Neusiedler See, a large shallow lake in Central Europe. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 28884–28898.
- Herzig, A. (1991). Hygienisch-bakteriologische und limnologische Entwicklung des Neusiedler Sees. *Umwelt Burgenland*, 20, 99–131.
- Herzig, A. (1996). Neusiedler See. *Umwelt Burgenland*, 28, 155–175.
- Herzig, A., **Hatvani, I. G.**, Tanos, P., et al. (2019). Mikrobiologisch-hygienische Untersuchungen am Neusiedler See – von der Einzeluntersuchung zum Gesamtkonzept. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 71, 537–555.
- Kirschner, A. K. T., **Hatvani, I. G.**, Tanos, P., Herzig, A. (2018). Arbeitspaket 2 – Historische Datenanalyse. In R. Sommer et al. *Nachhaltiges Gesamtkonzept zum Management des mikrobiologisch-hygienischen Zustandes des Neusiedler Sees unter Berücksichtigung der Siedlungswasserwirtschaft der Umlandgemeinden. Phase 1: „Pilotstudie”* (pp. 50–89). Bericht, Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Wien.
- Kirschner, A. K. T., Zechmeister, T. C., Kavka, G. G., Beiwl, C., Herzig, A., Mach, R. L., Farnleitner, A. H. (2004). Integral strategy for evaluation of the fecal indicator performance in bird-influenced saline inland waters. *Applied and Environmental Microbiology*, 70, 7396–7403.
- Kirschner, A. K., Kavka, G. G., Velimirov, B., Mach, R. L., Sommer, R., Farnleitner, A. H. (2009). Microbiological water quality along the Danube River: integrating data from two whole-river surveys and a transnational monitoring network. *Water research*, 43(15), 3673–3684.
- Magyar, N., **Hatvani, I. G.**, Kern, Z., et al. (2013). Application of multivariate statistical methods in determining spatial changes in water quality in the Austrian part of Neusiedler See. *Ecological Engineering*, 55, 82–92.
- Sommer, R., Blaschke, A., Farnleitner, A., Kirschner, A. K. T. (2018). Átfogó fenntartható koncepció a Neusiedler See mikrobiológiai-higiéniai állapotának kezelésére, a környező települések vízgazdálkodásának figyelembevételével. 1. fázis: „Pilot tanulmány”. Jelentés a Szövetségi Fenntarthatósági és Turisztikai Minisztérium számára, Bécs.

2.5. Az Antarktison a szerző megállapítása szerint nem készült még a csapadék izotóp összetételére vonatkozó tájkép. Mi ennek az akadálya, milyen adatsorok állnak ehhez már rendelkezésre, mi lenne a jelentősége a csapadéokra vonatkozó tájkép elkészítésének a saját hó és firnrétegekre vonatkozó eredményei értelmezése szempontjából?

Válasz: Az Antarktison a csapadék in-situ mérése rendkívül nagy kihívás, mert mennyisége relatíve kicsi (Palerm et al., 2014), a lehulló hó (csapadék) és az odahordott hó megkülönböztetése nehéz (Souvereinjs et al., 2018), ráadásul a csapadékgyűjtést távoli nehezen megközelíthető környezetben kell megtenni. A teljes kontinensen 4 db GNIP (IAEA, 2025) és további 3 állomáson méri a csapadék stabilizotópos összetételét (7. ábra). Ez egy teljes kontinensre ez nem elegendő állomás bármilyen értelmes térbeli becslésre, az időbeli felbontásról és átfedésről nem is beszélve. Közvetlenül egyszerre nagy területre lehetne vizsgálni a csapadék (hó) -> firn (csontó) metamorfózis során bekövetkező izotópos változásokat.



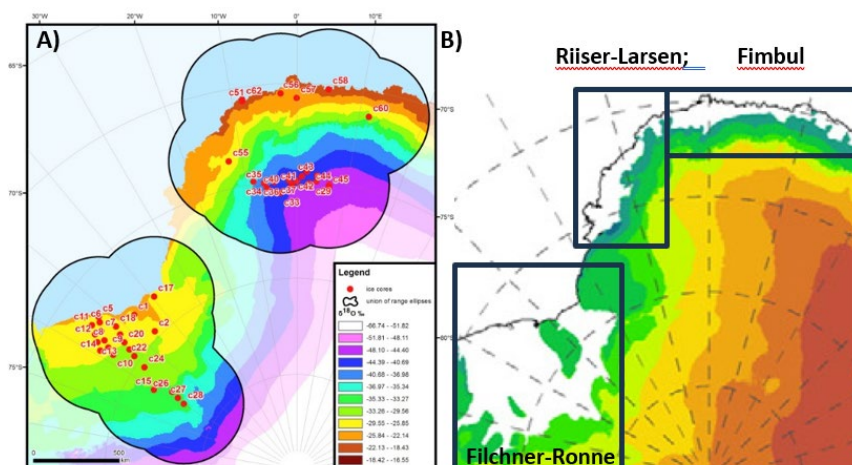
7. ábra. Csapadékmérő állomások az Antarktiszon, saját ábra, alaptérkép Open Street View, 2025 március 30. A színezés a különböző adóforrásokat jelöli.

- Dreossi, G., Masiol, M., Stenni, B., Zannoni, D., Scarchilli, C., Ciardini, V., Casado, M., Landais, A., Werner, M., Cauquoin, A., Casasanta, G., Del Guasta, M., Posocco, V., and Barbante, C. (2024). A decade (2008–2017) of water stable isotope composition of precipitation at Concordia Station, East Antarctica, *The Cryosphere*, 18, 3911–3931
- Fujita, K., and O. Abe (2006), Stable isotopes in daily precipitation at Dome Fuji, East Antarctica, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L18503,
- IAEA (International Atomic Energy Agency). (2023). *Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP) database*. Megnyitva 2025.03.30 <https://nucleus.iaea.org/wiser>.
- Palermé, C., Kay, J. E., Genthon, C., L'Ecuyer, T., Wood, N. B., Claud, C. (2014). How much snow falls on the Antarctic ice sheet? *The Cryosphere*, 8, 1577–1587.
- Schlosser, E., Reijmer, C., Oerter, H., Graf, W. (2004). The influence of precipitation origin on the $\delta^{18}\text{O}$ –T relationship at Neumayer station, Ekstrmisen, Antarctica. *Annals of Glaciology*, 39, 41–48.
- Souwerijns, N., Gossart, A., Gorodetskaya, I. V., Lhermitte, S., Mangold, A., Laffineur, Q., Delcloo, A., van Lipzig, N. P. M. (2018). How does the ice sheet surface mass balance relate to snowfall? Insights from a ground-based precipitation radar in East Antarctica. *The Cryosphere*, 12, 1987–2003.

2.6. Mutasson rá, hogy pl. Wang et al. (2010) munkájához képest miben hozott új/más eredményt a hó és firnrétegekre alkalmazott geostatistikai feldolgozása és az, hogy a selfterületeket is bevonta az értékelésbe.

Válasz: Az általam vizsgált makrorégió mintegy 20%-át teszik ki a Filchner-Ronne- (~422 000 km²), a Riiser-Larsen (~48 000 km²) és a Fimbul- (~41 000 km²) selfterületek (Hatvani et al. (2017): 4.2.2. fejezet), amelyeket Wang et al. (2010) tanulmányukban nem vizsgáltak. Ezen selfterületeket a 8.

ábrán mutatom be. Eredményeimmel így egy közel fél millió négyzetkilométeres régió hó/firn stabilizotópos összetételéről nyertünk új információt.



8. ábra. Hatvani et al. (2017) A) és Wang et al. (2010) B) által izotópos tájképezéssel vizsgált területek Ny Antarktiszon. B) panelen jelöltem a három nagyméretű jégself területét

Továbbá, a modellünk esetében figyelembe vettük a regresszióba bevont változók multikollinearitását is (O'Brien, 2007), ahogy azt a Hatvani et al. (2017) 4.1. fejezetének 4. bekezdésében is kifejtettem. Ez azért különösen lényeges, mert a szakirodalomban – például Altnau et al. (2015) esetében – a legjobb modell kiválasztásánál jellemzően csak a determinációs együttható értékét vették figyelembe. *A multikollinearitás vizsgálatával egy pontosabb – és statisztikailag megalapozottabb - képet kaptunk, mint más szerzők, pl. Wang et al. (2010).*

Ezen felül a vizsgálatomban egy egységes jellegű, előzetesen szűrt, valamint egységes metodikával kezelt adathalmazt használtam fel, amely a bemutatott tanulmány eredményeit megbízhatóbbá teszi bármely korábbi munkához képest. Az adatok egységes jellege különösen fontos, mivel pl. Wang et al. (2010) munkája a Masson-Delmotte et al. (2008) által összeállított adatbázison alapul. Ez az adatbázis ugyanakkor számos eltérő jellegű és időfelbontású stabilizotópos adatforrást kombinál (Masson-Delmotte et al., 2008: Table 2), például eseti hóesésekhez kapcsolódó mintákat, rendszeres mintázást, jégfuratokat (évtizedes adatok átlaga), hószelvényeket („snowpit”), illetve csonthót (többéves átlag, amikor a hó még nem alakult jéggé). Ráadásul ezek a minták gyakran időben sem fedik egymást.

Altnau, S., Schlosser, E., Isaksson, E., Divine, D. (2015). Climatic signals from 76 shallow firn cores in Dronning Maud Land, East Antarctica. *The Cryosphere*, 9, 925–944.

Masson-Delmotte, V., Hou, S., Ekaykin, A., Jouzel, J., Aristarain, A., Bernardo, R. T., Bromwich, D., Cattani, O., Delmotte, M., et al. (2008). A review of Antarctic surface snow isotopic composition: Observations, atmospheric circulation, and isotopic modeling. *Journal of Climate*, 21, 3359–3387.

O'Brien, R. M. (2007). A caution regarding rules of thumb for variance inflation factors. *Quality & Quantity*, 41, 673–690.

2.7. A diszkusszió és az eredmények utólagos összevetése más szerzők munkáival alul reprezentáltak a rövid értekezésben (a műfaj ellenére is). Dolgozata motivációjában azt említi, hogy eredményei számos ponton kapcsolódnak a hidrológia Blöschl et al. (2019) által tárgyalt *huszonhárom* problémájához. Kérem, hogy válaszában mutasson rá ezekre a kapcsolatokra.

Válasz: Köszönöm kérdést.

- A 7. tézis a Blöschl et al. (2019)-ben megfogalmazott 5. probléma megoldásához járul hozzá.
 - *5. What causes spatial heterogeneity and homogeneity in runoff, evaporation, subsurface water and material fluxes (carbon and other nutrients, sediments), and in their sensitivity to their controls (e.g. snow fall regime, aridity, reaction coefficients)?*
- Az 1. és 4. tézisek a Blöschl et al. (2019)-ben megfogalmazott 14. probléma megoldásához járulnak hozzá.
 - *14. What factors contribute to the long-term persistence of sources responsible for the degradation of water-quality?*
- A 4., valamint kisebb mértékben az 5. tézisek, a 15. probléma megoldásához kapcsolódnak.
 - *15. What are the extent, fate and impact of contaminants of emerging concern and how are microbial pathogens removed or inactivated in the subsurface?*
- A disszertációban bemutatott két, rekreációs célból is aktívan használt víztest – a Balaton és a Fertő – vizsgálatának eredményei pedig a Blöschl et al. (2019)-ben megfogalmazott 22. probléma megoldásához járulnak hozzá:
 - *22. What are the synergies and tradeoffs between societal goals related to water management (e.g. water-environment-energy-food-health)?*

3. Tézisek

A jelölt disszertáció eredményeképpen nyolc tézist fogalmaz meg a vizsgált négy témakörhöz kapcsolódóan. Hat tézist elfogadok új eredményként, az alábbi két tézis eredményeit részlegesen tudom elfogadni.

3.1. A 3. tézis kapcsán bár az adatelemzési módszertan újdonsága vitán felül áll, de maga a szerző is megállapítja, hogy az eddigi irodalommal egybecsengő eredményre jutott a Balaton trofikus állapotát illetően. Így a tézist csak részben tudom a jelölt új tudományos eredményeként elfogadni.

Válasz: Köszönöm a megjegyzést, mert lehetőséget ad arra, hogy pontosítsak a tézis megfogalmazásán. A „szakirodalommal egybecsengő eredményeket kaptam” megállapítást a 2004-et megelőző évekre értettem. A tézist „*harmincévnyi, vízminőséget és egyben trofikus állapotokat leíró adat elemzéséből*” kaptam, amibe a 2004-2017-es időszak is beletartozott, amelyről *nem készült munkám* (Hatvani et al., 2020) publikálásáig átfogó tanulmány. Néhány példát szeretnék kiemelni a tanulmányból, amelyek a szakirodalomhoz képest új eredménynek számítottak. Ezt a felsorolást a 2.3 #1 kérdésre válaszul már olvashatta a Tisztelt Bíráló.

- Megállapítottam, hogy a 2004-2017-es időszak egy vízminőségi egységet alkot (Hatvani et al., 2020: Fig. 3). Az itt alkalmazott módszert Geiger János bírálói kérdése által motiválva 2025 tavaszán frissítettük is új klaszterezési módszerekkel.

- Megállapítottam, hogy a 2004–2017-es időszakban az ortofoszfát (SRP) koncentrációja nem mutatott jelentős változást (Hatvani et al., 2020: 2c ábra), miközben a klorofill-a (Chl-a) koncentráció szignifikánsan ($p < 0,05$) csökkent minden medencében (Hatvani et al., 2020: 2a ábra;), kivéve a Keszthelyi-medencét (Hatvani et al., 2020: 2. táblázat). Az összes foszfor (TP) koncentráció kis mértékben (~2,5%), de statisztikailag szignifikánsan ($p < 0,05$) nőtt a Keszthelyi- és a Siófoki-medencében (Hatvani et al., 2020: 2. táblázat).
- Mivel a tanulmányban 1985-2017 közötti adatokat együtt vizsgálhattam, így olyan tér és időbeli trendeket tudtam megállapítani, amire mindaddig nem volt lehetőség.
 - Irodalomból tudjuk, hogy időben eltolva jelennek meg az oligotrofizáció folyamatai a Balaton medencéiben, de az eddig nem látszott, hogy ez 2004 és 2017 között hogyan alakul (Hatvani et al., 2020: Table A1.).
 - Számszerűsítettem a Hatvani et al. (2020) 2. táblázatában, hogy milyen ütemben változott a Chl-a, TP és ortofoszfát koncentráció 2004-et követően és ezt összevettem az ezt megelőző két időszak trendjeivel.
 - Korábbi tanulmányok nem állapították meg, hogy 2004-2017 közötti időszakban a Siófoki-medencében a Chl-a maximumok szempontjából már az OECD trofitási indexe szerint oligotróf évek is megjelentek, míg az éves átlagos Chl-a is mezotróf értékeket jelzett végig, az TP is volt, hogy a mezotróf határérték alá esett (Hatvani et al., 2020: Table A1.).
 - Chl-a koncentrációk csökkenése a keleti medencékben is megjelenik (Hatvani et al., 2020: Table 2) és a Keszthelyi-medencében a Chl-a átlagkoncentrációja közel 65%-kal csökkent az 1985–1994 és a 2004–2017-es időszakok átlagai alapján.

3.2. Az 5. tétel esetében új eredményként elfogadom, hogy a szerző geostatistikai vizsgálatokkal kimutatja, hogy a jelenlegi mintavételi hálózattal nem ajánlott interpolálni a SFIB-re. De a tétel további része általános javaslat egy reprezentatívabb felmérésre, amiben annyi a saját eredmény, hogy javasolja figyelembe venni a tó áramlási viszonyait és az uralkodó északi szélirányt. Így ezt a tételt is csak részben tudom elfogadni.

Válasz: Igen, jól látja a Tisztelt Bíráló, sem a tételben, sem a rövid értekezésben nem tértem ki a konkrét javaslatokra, amelyeket most, a Tisztelt Bíráló kérdéseire adott válaszokban (1.8. és 2.4-es kérdések) részletesen kifejtettem, és amelyek a Herzig et al. (2019) tanulmányban kerültek publikálásra. Bízom benne, hogy a fenti válaszaim kellő részletességgel bemutatják a tétel mögött meghúzódó további tudományos megfontolásokat, valamint a kapcsolódó szakpolitikai javaslatokat is.

Herzig, A., **Hatvani, I. G.**, Tanos, P., et al. (2019). Mikrobiologisch-hygienische Untersuchungen am Neusiedler See – von der Einzeluntersuchung zum Gesamtkonzept. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 71, 537–555.

Végezetül szeretném még egyszer megköszönni Prof. Mádlné Szőnyi Juditnak részletes és alapos bírálatát és konstruktív megjegyzéseit.

Budapest, 2025. 04. 13.


Dr. Hatvani István Gábor