

Bírálati vélemény

## Hatvani István Gábor:

*A hidrológiai ciklus különböző elemeiből származó környezeti adatok vizsgálata idősoros és többváltozós geomatematikai módszerekkel*

című MTA rövid doktori értekezéséről

Hatvani István Gábor az ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszékén a Kovács József (DSc) vezetésével életre hívott geomatematikai iskolából induló, majd pályafutását a Demény Attila által vezetett HUN-REN CSFK-FGI kutatóközösségében kiteljesítő ígéretes kutató. MTA rövid doktori értekezése, mely a geomatematikai módszerek egész arzenálját vonultatja fel, ezen felívelő pályafutás szerves következménye és érdemi kiteljesítése.

### 1. Általános észrevételek – időszerűség, megközelítés, motiváció és forma

A rövid értekezés kiinduló problémafelvetésével, mely szerint az utóbbi évtizedek technológiai fejlesztései egyfajta adatbőséget idéztek elő a hidrológiai ciklus rezervoárjait és folyamatait illetően, egyet kell értsünk. Megérett a helyzet arra, hogy a kutatások ténylegesen kiaknázzák ezekben az adatállományokban rejlő lehetőségeket a folyamatok, összefüggések feltárására. Vitán felül áll az is, hogy ehhez a geomatematika módszereinek bevetése nélkülözhetetlen. megjegyzem, hogy a gépi tanulás (melyet maga a szerző is használ) és a mesterséges intelligencia térnyerésének köszönhetően további lehetőségek is kinyílnak. A munka időszerűsége tehát egyértelmű.

A dolgozat megközelítését tekintve elsődlegesen a geomatematikai céljait és eszköztárának (idősoros és többváltozós) alkalmazását helyezi a középpontba. A rövid értekezés címében a „hidrológiai ciklus különböző elemei” kifejezés számomra szokatlan, hiszen a vízkörforgalom kapcsán rendszerekről, alrendszerekről (rezervoárokról) és folyamatokról szokás értekezni. A munkában négy gyakorlati példát tárgyal. A dolgozaton átívelő kapcsolatot a példák között valóban a geomatematikai eszköztár jelenti. Ezen eszköztár alkalmazását pedig ún. „környezeti adatokra” alapozza, melyek hozzáférhetősége, térbeli és időbeli eloszlása viszont a négy példára sok szempontból eltérő. A környezeti adatok dominánsan vízminőségi adatok, kiegészülve egy-egy talajtani, limnológiai, továbbá több meteorológiai adattal. A munka motivációját a szerző az előzetes irodalmi értékelés alapján elsődlegesen az adatokból kinyerhető tudástöbbletben fogalmazza meg.

A rövid értekezés 33 oldal terjedelemben készült el, melyhez 217 érdemi hivatkozást kapcsolódik. A munka megfelelően illusztrált, arányos, öt fejezetből áll, szerkesztése sajátos. Az első *Bevezetés* jóval bősegebb a megszokottnál, hiszen ez tartalmazza a szakirodalmi háttér feldolgozását is. A disszertáció motivációi a *Bevezető* részt követően egy második rövid fejezetben szerepelnek. Az *adatok és módszerek* című harmadik fejezetben, helyet kap a vizsgált adatok tárgyalása a mintaterületekre egyesíten, majd az alkalmazott módszertan rövid áttekintése következik. Az *eredményeket és díszkussziót* a negyedik fő fejezetben tárgyalja a szerző a példákra vonatkozó négy alfejezetre bontva. Itt egységesen halad egy saját maga által felállított logikát követve, ami megkönnyíti a munka áttekintését. Végül az ötödik, rövid *összefoglaló* fejezetben zárja le a dolgozatot. A mű helyesírása és megfogalmazásra rendkívül igényes, alig van benne elütés, formátuma is nagyban segíti az olvasó dolgát. Ehhez hozzájárul a dolgozat elején bemutatott rövidítések jegyzéke is.

### 2. Az értekezéshez kötődő tudományos közlemények értékelése

Rövid értekezésről lévén szó különösen fontos vizsgálni az értekezés alapjául szolgáló tudományos közlemények (PhD fokozatszerzés óta) és a dolgozat kapcsolatát. A disszertáció alapjául szolgáló elsőszerzős tudományos közlemény mindegyike 2015-2023 között készült, négy D1, egy pedig Q1 besorolású. A rövid értekezés és a közlemények összevetéséből látható, hogy a munka valójában ezen publikációk eredményei

alapján, azok keretbe foglalásával született. Hatvani István további húsza, - a rövid értekezés alapjául nem szolgáló (9 elsőszerzős, 9 utolsó és/vagy levelező szerzős) - közleménye bizonyítja a szerző sokirányú munkásságát a környezettudományi és hidrológiai témák széles skáláján.

### 3. Tartalmi észrevételek

Az értekezés *Bevezetése* (1. fejezet) a globális léptékből kiindulva helyezi keretbe az édesvíz szerepét és jelentőségét a környezeti folyamatokban. Vázolja a vízkörforgalom sebességének utóbbi évtizedekben bekövetkezett módosulását, a nagymennyiségben keletkező adatok geomatematikai feldolgozásának égető szükségességét. Majd három alfejezetben tárgyalja i) a környezeti adatok (nem vízi környezeti?) tér- és időbeliségével, hozzáférhetőségével és változékonyságával kapcsolatos szempontokat, továbbá az ii) eutrofizációs és a fekáliás szennyezések és iii) a hidrológiai ciklus mintavételezésével kapcsolatos előkészítő kérdéseket. A szerző e fejezet során a szakirodalom érdemi feldolgozásával és biztos arányérzékkel készíti elő az olvasót az általa tárgyalni kívánt konkrét kérdésekre. 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). Az édesvízkészleteken belül két tárgyalni kívánt témát a felszíni vizek, a sekély tavak területéről hozza. A vízciklus változásának természetes okait kevésbé, az antropogéneket alaposabban kiemeli. A természetes okok kisebb súlyú tárgyalása tükrében a szerző figyelmébe ajánlom Szűcs et al. (2024) cikkét, amely ugyan egy adatpontra, de a leghosszabb időtartamra (i.sz. 622-1921) értékeli a Nílusi vízszint idősorának hidrológiai célú geomatematikai analizisét a természetes hatások jobb megértése érdekében. A természetes és antropogén hatások elválasztását a későbbiekben csak az antarktisi példánál tekintjük alapvető feladatnak, holott ez valamennyi hidrológiai rendszer esetében kulcskérdés. A felszínalatti vizek meglátásom szerint méltatlanul alulreprezentáltak a fejezetben, miközben a dolgozat egyik fő fókuszát jelentő sekély tavak kapcsolatai (természetes, antropogén) sem értelmezhetők csak a felszínalatti vizekkel való összefüggésben ld. Winter et al. 1998: *Ground water and surface water a single resource*.

*A disszertáció motivációja* című (2. fejezetben) bár konkrét célokat nem fogalmaz meg a szerző, de arra utal, hogy szándéka, az „egységes rendszerbe foglalt geomatematikai eszköztár” példákon keresztül alkalmazása „a hidrológiai ciklus terasztriális víztestjei” illetően. Itt mutatja be a négy témakört, a kifejtés alapjául szolgáló saját publikációkkal, melyekről értekezni fog, így: (i) terasztriális víztestek általános vízminőségi és trofikus állapotváltozásai, (ii) fekáliás szennyeződési források feltárása, (iii) modern csapadék stabilizotópösszetétele a tágabb értelemben vett mediterrán térségre, (iv) izotópos tájkép létrehozása a nyugat-antarktisi jégfurathálózat optimalizálásához. A dolgozatban itt említi Blöschl et al. (2019): *Huszonhárom megoldatlan hidrológiai probléma (UPH) - közösségi nézőpontból* című munkáját, mely egy izgalmas felvetés, de később nem használja ki a benne rejlő lehetőséget munkája diszkutálására.

*Az adatok és módszerek* című 3. fejezetben a dolgozathoz használt módszereket és adatok jellegét (közel 300 000) rendszerezve és a rövid dolgozat igényeinek megfelelő mélységig ismerteti. Az áttekintést hatékonyan segíti a 3.1-1 táblázat. 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.

Az *Eredmények és diszkusszió* (4. fejezetben) a szerző négy témakörre alfejezetenkénti bontásban ismerteti a mintaterületeket, a konkrét tudományos kérdéseket, az eredményeket, és az ezekből levont tézisértékű megállapításokat. Ez a dolgozat központi, legnagyobb kiterjedésű (16 oldal) része. Ugyanakkor az eredmények diszkussziója valamennyi téma esetében az általános megállapításokon túl, nem kellőképpen hangsúlyos.

1. *Egy kis vízhozamú vízfolyás (Zala) – eutróf tó (Hídvégi-tó) – vizes élőhely (Ingói- és Zimányi-berkek) – sekély tó (Balaton) kaszkádrendszer*

Ez a dolgozat első tárgyalt témaköre, mely a Kis-Balaton vízvédelmi Rendszer KBVR és a Balaton összefüggései felvázolásával és a Balaton vízgyűjtőjéből származó antropogén terhelés és a terhelés csökkentésére irányuló intézkedések lényegre törő bemutatásával indul. 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. 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. A Balaton és (KBVR) bemutatása során a közölt térképen (4.1.-1. ábra) a rendszer elemei és földrajzi elnevezéseik nem minden esetben jelennek meg, ami megnehezíti az olvasottak értelmezését (Fenéki-tó, Zalavári belvízöblözet, de nem egyértelmű az Ingói-berek zavart és a nem zavart részének elhelyezkedése, a Marót-völgyi-csatorna, a Zala-Somogyi csatorna és az Egyesített övcsatorna).

A szerző e fő témakörön belül is három jól elkülönülő célkitűzést fogalmaz meg, melyek: i) a Zalát és a KBVR-t tekintve a terhelések és vízminőség, ii) a KBVR-ben tapasztalható vízminőségi évszakosság és iii) a Balaton három évtizedes trofikus állapotának értékelésére irányulnak. Itt a célok világos elkülönítése – a téma komplexitása miatt - kevésbé egyértelmű, mint a későbbi három példánál. Az első célt tekintve a jelölt az alkalmazott módszerekkel rá tudott mutatni, hogy a foganatosított 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. A következő kérdésben a vízminőség évszakos változékonyságát és a meteorológiai változók összefüggéseit vizsgálta a szerző. A kaszkádrendszer élőhelyeire megállapította, hogy azok milyen mértékben követik a meteorológiai változásokat és ennek tükrében elemezte a kritikus vízminőségi paramétereket. A meteorológiai tényezők mellett említi a csatornákon át történő vízbevezetések hatását. De emellett a felszínalatti víz hatása is szerepet játszhat, amit a vízminőségi változók elemzése során elhanyagol. Az izotóphidrológiai mérőrendszer felállítása mellett, - melyet a szerző maga is javasol és amely éppen ezen kérdés megválaszolására irányul, - egy megelőző lépésben egy célzott vízszintészlelő rendszer kialakítását még fontosabbnak tartanám. Ezzel lenne követhető a kapcsolatok jellege (többéves, éves, évszakos), melyre építve a jóval költségesebb izotóphidrológiai mérések célzottan tervezhetők. A szerző konklúziójából elfogadható, hogy az elsődleges tápanyagforrások eltérő módon mutatnak évszakosságot, de ennek okainak alapos feltárása még várat magára. A Balaton medencéinek eutrofizációjára vonatkozóan egy impozáns három évtizedes (1985-2017) adatsoron alapuló kombinált klaszter és diszkriminancia analízist végzett, melynek eredményeként három időszakot különített el. Majd ezen időszakokra végzett további elemzéseket a trofitásindexet meghatározó paraméterekre. Következtetéseiben megadja, hogyan változik nyugatról keleti irányba az egyes medencék állapota az 1990-es évek közepétől, rámutat a hatások késleltetett jellegére. Utal az üledékből történő P felszabadulás és a karbonáttartalom szerepére, melyek napjainkban egyre inkább a figyelem középpontjába kerülnek a megjelenő algavirágzások kapcsán (Istvánovics et al. 2022, Pósfai et al. 2024). Nem világos, mire gondol, amikor azt állítja, hogy „a Balaton trofikus állapotának javulása nagy mértékben függött (i) a tó hidromorfológiai jellemzőitől”?

## 2. Európa legnyugatibb sekély szikes tavának fekáliás szennyeződése

A második problémaként, a Fertő osztrák részén a Ramsari védelem alatt álló szikes tó és az antropogén használat konfliktusát tárja fel többváltozós adatelemzéssel a tó fekáliás forrópontjainak kijelölése érdekében. Hiányoltam a téma bevezetéseként a „fekáliás forrópont”, mint fogalom definiálását, később matematikai értelemben ugyan definiál, de van-e erre más meghatározás? A téma fontosságára az EU fürdőhelyekre vonatkozó direktíva (2006), valamint a Balaton 140 EU-s fürdőhelye említésével és a vonatkozó tanulmányok alul reprezentáltságával hívja fel a figyelmet. Kutatási céljait pontosan definiálja. A téma felvezetéséből itt is hiányolom a tó vízmérlege tárgyalása során a felszínalatti vízhozzájárulás említését, hiszen a szikes tavak estében, még ha itt konkrét vizsgálatok erre nem is utalnak, ennek biztos van jelentősége és nem csak elméleti szinten. A fekáliás forrópontokat a bevezetett geomatematikai módszerei alapján definiálja és kijelöli, megállapítja a *hajótényezőket*, bár szerencsésebb lenne a *hatótényező* kifejezés használata. Itt a települések „*antropogén tevékenységei*” megnevezés túl tág, konkrétan a szennyvízkezelési gyakorlat problémájáról van szó. Továbbá 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 megítélését a tó mintavételezési stratégiájához és a nyaralók számára fogantatható előírásokat, mint gyakorlati kimenetet.

## 3. A modern csapadék $\delta^2\text{H}$ - és $\delta^{18}\text{O}$ -értékei közötti lineáris kapcsolat alakulása a Mediterráneumban

A harmadik témakör már szubkontinentális léptékű problémát tárgyal és az izotóphidrológiai módszerek felszíni és felszínalatti vizekre történő alkalmazásának egyik kulcs referencia adatához a  $\delta p$  és a lokális csapadékvízvonal (LCsVV) eloszlásához kapcsolódik. A szerző rámutat, hogy távoli LCsVV-k adatainak alkalmazása félrevezető és téves vízgazdálkodási következtetésekhez vezethet. S egy friss tanulmányból (Lécuyer et al., 2020) kiindulva, - mely Európa mérsékelt és boreális régióira vonatkozik - célul tűzi, hogy a mediterrán térségre rendelkezésre álló csapadék izotópadatokból kiindulva modellezi nem csak a meredekség, de a tengelymetszet értékeit is. A szerző módszertani újítása, hogy a klasszikus statisztika és a gépi tanulás módszereit egyaránt beveti az izotóp tájkép megalkotásához, s megadja a vizsgált modellek legalmasabbikát. A két változóra készített térképe alapvető új információkkal szolgál a felhasználók számára. A szerző röviden leírja a térképeket, de kevésbé látunk bele az éghajlati és földrajzi tényezők szubregionális és regionális háttérhatásaiba a vizsgált mutatók alakításában. Munkája jelentősége, hogy térben folytonos becslést ad a helyi csapadékvízvonalak meredekségére és tengelymetszetére és egyúttal cáfolja a korábban definiált nyugat-mediterrán csapadékvízvonal „WMMWL” mint izotóphidrológiai referencia (Celle-Jeanton et al., 2001) jövőbeni használhatóságát. Ez Hatvani István dolgozatának egyik legkiemelkedőbb tudományos eredménye, melyet várhatóan számos szerző fog a jövőben használni e súlyos vízgazdálkodási gondokkal küzdő régióban.

## 4. $\delta^2\text{H}$ - és $\delta^{18}\text{O}$ -értékek alakulása felszíni hó- és firnrétegekben egy antarktisz-i makrorégióban

A dolgozatban tárgyalt negyedik példa már nyugat-antarktisz-i szubkontinentális probléma, mely időléptékében paleoklimatológiai. A kérdésfeltevést a szerző jól keretezi. Az elmúlt 2 évezred  $\delta^2\text{H}$ - és  $\delta^{18}\text{O}$ -rekordjai interpolációt kívánnak a globális adatbázis alapján, ahogy láttuk az előző példából is. Ugyanakkor megállapítja, hogy a csapadékvízre vonatkozó izotópos tájtérkép nem készült az Antarktiszra. De a selfterületek vizsgálata is elmaradt a hó/firn izotópösszetétel tekintetében. A jégfuratok adatainak értelmezését nehezíti, hogy térbeli eloszlásuk ritka és a lefedett időszak is változó. A jelölt kérdései relevánsak, bár jó lett volna a rendelkezésre álló csapadék adatok értékelése is. A szerző ugyanakkor nem definiálja azt, hogy a jégfuratok adatait mely időszakra értelmezi (csak a 4.4-1. ábra aláírásából derül ki).

Kérdés, hogy az értelmezési tartományt miért és hogyan jelöli ki. Egyébiránt feltett kérdéseit megválaszolja, sőt kijelöli a geostatistikai szempontból eddig adatokkal nem lefedett területeket is.

#### 5. Összefoglalás

Az összefoglalás valóban egy rövid összegzése mindannak, amit már a dolgozat eredmény fejezeteiben olvastunk, s ami lényegében a tézisek összegzése, az egyes elemi témákon túlmutató konklúziók nélkül. Ebből következik, hogy hiányoltam a disszertációból egy olyan szintetizáló fejezetet, melyben a tárgyalt elmei témaköröket – a saját geomatematikai megközelítése tükrében – az eszköztár lehetőségeit összefüggéseiben tárgyalva értékeli.

#### 4. Az értekezéssel kapcsolatos kérdések

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 vázolja 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.
2. A szerző „fekete dobozként” kezeli a KBVR elemeit. Mi a véleménye erről a hiporheikus 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?
3. A Balaton eutrofizációja vonatkozásában eredményeit tekintve az „irodalommal egybecsengő” képről ír. Vázzolja, konkrétan, hogy melyek a témában tett, a korábbi szakirodalomhoz képest új megállapításai a módszertan alkalmazásán túl. A jelölt vizsgálatai 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?
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. Mi okozza, hogy bizonyos helyeken mindkét, míg másokon csak az egyik indikátor baktérium jelenik meg? S hogyan vélekedik a csatornázatlan nyaralók szennyvizének talajba történő elszikkasztásának tóra gyakorolt hatásáról? Milyen megfontolásokat javasolna a mintavételi hálózat térbeli és időbeli optimalizálásához. S hogyan lenne a szennyvízkezelés gyakorlati szinten javítható?
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 csapadékra vonatkozó tájkép elkészítésének a saját hó és firnrétegekre vonatkozó eredményei értelmezése szempontjából? 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.
6. 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 *buszönhárom* problémájához. Kérem, hogy válaszában mutasson rá ezekre a kapcsolatokra.

#### 4. 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.

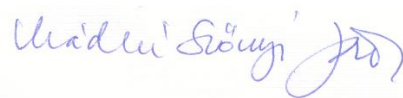
A 3. tézis kapcsán bár az adatelemzési módszertan újdonsága vitán felül áll, de maga a szerző is megállapítja, hogy az eddigi irodalommal egybecsengő eredményre jutott a Balaton trofikus állapotát illetően. Így a tézist csak részben tudom a jelölt új tudományos eredményeként elfogadni.

Az 5. tézis esetében új eredményként elfogadom, hogy a szerző geostatisztikai vizsgálatokkal kimutatja, hogy a jelenlegi mintavételi hálózattal nem ajánlott interpolálni a SFIB-re. De a tézis 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 tézist is csak részben tudom elfogadni.

#### 5. A bíráló összefoglaló állásfoglalása

A benyújtott MTA rövid értekezés és a kapcsolódó szócikkek hiteles adatokon alapulnak, tudományos és újdonság értékük vitathatatlan. Kijelentem, hogy a disszertációt nyilvános védeésre alkalmasnak tartom és javaslom Hatvani István Gábornak az MTA doktori cím odaítélését.

Budapest, 2025. március 13.



Mádlné Dr. Szőnyi Judit, DSc  
egyetemi tanár  
Eötvös Loránd Tudományegyetem