

FELSZÍNI VIZEK MINŐSÉGE
MODELLEZÉS ÉS SZABÁLYOZÁS

Somlyódy László

FELSZÍNI VIZEK
MINŐSÉGE
MODELLEZÉS ÉS SZABÁLYOZÁS



TYPOTEX

A könyv az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) Vízügyi Tudományos Tanácsának kezdeményezésére, az OVF támogatásával készült.



© Somlyódy László, Typotex, Budapest, 2018
Engedély nélkül semmilyen formában nem másolható!

ISBN 978 963 279 983 4

Szerkesztette: Gayer József

TARTALOM

ELŐSZÓ	11
I. A GLOBALIZÁCIÓ HATÁSAI	15
1. fejezet	
AZ ÉRTŐL AZ ÓCEÁNIG: A LOKÁLISTÓL A GLOBÁLISIG	17
1.1 Mi a víz?	18
1.2 A tudományról és céljainkról	23
1.3 Az angolvécétől az óceánig	24
1.4 A jövő kihívása	34
1.5 Mit tudunk tenni?	37
1.6 Irodalom	45
2. fejezet	
A VILÁG VÍZDILEMMÁJA: A GLOBÁLIS TÓL A LOKÁLISIG	47
2.1 Globális készletek és igények	48
2.2 A regionális kép és érzékenység	52
2.3 Trendek és további gondok	54
2.4 A vízhiány következményei	63
2.5 A fejlődő világ és egy „átmeneti” óriás	64
2.5.1 Kína: az óriás	65
2.5.2 Kína mezőgazdasága és a jövő	67
2.6 Olajválság után vízválság?	68
2.7 Merre haladjunk?	70
2.8 Irodalom	72

II. VÍZMINŐSÉG 75

3. fejezet

VÍZMINŐSÉG-SZABÁLYOZÁS: FEJLŐDÉSTÖRTÉNELEM	77
3.1 Dr. John Snow és a londoni kolerajárvány	78
3.1.1 Dr. John Snow, a detektív	80
3.1.2 Snow után	82
3.1.3 A 20. században	83
3.2 Százéves az eleveniszapos biológiai szennyvíztisztítás	84
3.3 A Streeter–Phelps-modell	86
3.4 A biokémiai oxigénigény: újabb innováció	87
3.5 A kolerától az EDS-anyagokig: 150 év	89
3.6 Irodalom	91

4. fejezet

VÍZMINŐSÉG ÉS VÍZMINŐSÍTÉS	93
4.1 A vízminőség értelmezése	94
4.1.1 A természetes vizek általános fizikai és kémiai jellemzői	96
4.1.2 Ökoszisztéma és anyagforgalom, biológiai jellemzők	113
4.1.3 Szervetlen és szerves mikroszennyezők a vízben	117
4.2 Vizeink minősítése és a monitoringrendszer	121
4.2.1 A vízminősítés módszerei	121
4.2.2 Vizeink állapotának megfigyelését szolgáló monitoringrendszer	124
4.2.3 Vizeink minősége az észlelések kezdetétől napjainkig	125
4.3 A vizek állapotértékelésétől a vízminőség-szabályozásig	131
4.4 Irodalom	132

III. VÍZMINŐSÉGI MODELLEK 135

5. fejezet

VÍZMINŐSÉGI MODELLEK ÉS A MÉRNÖK	137
5.1 A mérnök és a vízminőség	138
5.2 A mérnök és az ökológus	140
5.3 Vízminőség és modellezése	142
5.4 A befogadó válaszfüggvénye és a vízminőségi modell	144
5.5 Két egyszerű modell és a válaszfüggvény	146
5.5.1 Összes foszfor	146
5.5.2 Oxigénháztartás és a Streeter–Phelps-modell	148
5.5.3 Vízminőség-szabályozás és a mérnök	154
5.6 Irodalom	157

6. fejezet

ALAPOK ÉS NÉHÁNY ALKALMAZÁS	159
6.1 Célok	160
6.2 Vízminőség és a leíró egyenletek	162
6.2.1 Transzportegyenlet	163
6.2.2 Hidrodinamikai modellek	169
6.2.3 Előzetes a reakciókinetikai modellekhez	175
6.2.4 Kalibrálás, validálás és bizonytalanságok	176
6.3 Modellfejlesztés, aggregálás és megoldás	177
6.3.1 Egyszerűsítések	177
6.3.2 Mi a cél?	179
6.3.3 A véges térfogat módszere és további tapasztalatok	181
6.4 Modellek összetevői és az osztályozás szempontjai	188
6.5 Reakciókinetikai modell. Petersen-mátrix	189
6.5.1 A szerves anyag lebontása	191
6.5.2 A QUAL2 folyóvíz-minőségi modell	194
6.6 Eutrofizálódás	196
6.6.1 Foszformodell sekély tavakra	198
6.6.2 Az üledék hosszú távú viselkedése	212
6.6.3 A Droop-féle közelítés	214
6.6.4 Toxikus anyagok	216
6.7 Modellek áttekintése: trendek és osztályozás	218
6.8 Irodalom	222

7. fejezet

VÍZMINŐSÉGI MODELLEK ÉS CSAPDÁK	227
7.1 Az alkalmazás problémái és csapdahelyzetek	228
7.2 A kalibrálás és az identifikáció problémái	230
7.3 Az adatgyűjtés problémái	233
7.4 Rosszul definiált rendszerek	234
7.5 A HSY-módszer	236
7.6 A léptékek megválasztása és elemzése	238
7.6.1 Időléptékek	238
7.6.2 Térbeli dimenziók	239
7.6.3 Dimenziómentes számok	241
7.7 A modellalkotás és az előrejelzés problémái	245
7.8 Irodalom	247

IV. TUDOMÁNY, POLICY ÉS ALKALMAZÁSOK 249

8. fejezet

A BALATON VÍZMINŐSÉGI STRATÉGIÁJA	251
8.1 A Balaton eutrofizálódása	252
8.1.1 A Balaton beteg	252
8.1.2 A tó–vízgyűjtő-rendszer	254
8.1.3 Dekompozíció és aggregáció	255
8.1.4 A négy medence és a szegmentálás	256
8.2 A vízgyűjtő és a külső terhelés	260
8.2.1 Kis elemi számtan	260
8.2.2 A vízgyűjtő és a tápanyagterhelés	261
8.2.3 Pillantás a jövőbe	267
8.3 A belső terhelés	269
8.4 Indikátorok, adatok és monitoring	270
8.5 A tó-eutrofizálódási modell (TEM)	272
8.5.1 A modell	273
8.5.2 A modell és az áramlás	276
8.6 Kutatások húsz évvel később: kis kitérő	281
8.7 Stratégiai tervezés	284
8.7.1 Vízió és célok	285
8.7.2 Beavatkozások és döntési modell	286
8.7.3 Kommunikáció és döntéshozás	290
8.8 Mi történt ezután?	292
8.9 Irodalom	295

9. fejezet

A KESZTHELYI-MEDENCE BELSŐ TERHELÉSE ÉS VÍZMINŐSÉGE ÚJ, KÜSZÖBMODELL-KÖZELÍTÉSSEL	299
9.1 A foszforterhelés és a trofitás kapcsolata a legegyszerűbb megközelítésben	300
9.2 Éghajlati és terhelési forgatókönyvek. A Keszthelyi-medence trofitásának előrejelzése	303
9.3 A prognózisok ex-post értékelése	308
9.4 A belső terhelés becslése és az üledék mobil-P-készletének hosszú távú változása	309
9.5 A folyamatosan változó rendszer modellezése: az algacsoportok közti versengés	314
9.6 Irodalom	321

10. fejezet

A KIS-BALATON FOSZFORVISSZATARTÁSA ÉS A TERMÉSZETES ÁLLAPOT. MODELLEZÉS ÉS DÖNTÉSHOZÁS	323
10.1 Háttér	325
10.1.1 Tervek és megvalósulásuk	325
10.1.2 Algás tó vagy nádas?	326
10.2 A modellalkotás folyamata és feltevések	326
10.2.1 Foszforforgalmi modellek – I. modell	327
10.2.2 Foszforforgalmi modellek – II. modell	329
10.3 Kalibrálás és igazolás: Hídvégi-tó	331
10.4 A modell alkalmazása és az izoterma	335
10.5 A javaslattól a döntésig: 1997–2013	339
10.6 Húsz évvel később. Mit mutatnak az adatok?	340
10.7 A jövőről: a rugalmas üzemirányítás felé	346
10.8 Irodalom	349

11. fejezet

A BALATON VÍZPÓTLÁSA: LEHETÜNK-E ELŐVIGYÁZATOSAK?	351
11.1 Mit tudunk (tudtunk 2003-ban) és mit nem?	352
11.2 A Balaton vízmérlege és a vízátervezés	354
11.3 Módszertan	355
11.4 Eredmények és értékelésük	357
11.4.1 A vízpótlás hatásai és szükségessége	357
11.4.2 Vízmérleg és éghajlatváltozás	359
11.4.3 A vízszint-szabályozási rendszer felülvizsgálata	362
11.4.4 Felismerési probléma	363
11.5 Bizonytalanságok	364
11.6 Következtetések	364
11.7 Javaslat az intézkedési csomagra	365
11.8 Epilógus: két évvel később	366
11.9 Irodalom	368

RÖVIDÍTÉSEK	369
--------------------	------------

ELŐSZÓ

Szüleim emlékére és unokáimnak

Hasonlóan más könyvekhez, ennek is megvan a maga története. Jó tizenöt éve elbuktam egy felsőoktatási vezetői pályázatot. Másnap egy könyv várt az íróasztalomon: „Vízminőség-szabályozás”, alatta szerzőként a nevem. Csodálkozva ütöttem fel a kötet fedelét: 100 üres lap. Csak lassan világosodott meg, munkatársaim gyengéden arra ösztökéltek, „töltsen ki” a lapokat, írjak, oktassak, hosszú távon ez az egyetlen hasznos út egy egyetemi ember számára. Köszönöm a jó tanácsot, végtére is megfogadtam, bár nem voltam túl gyors. Hozzáteszem, hogy Nóri lányom évekig hasonló kéréssel bombázott, de mindig volt fontosabb feladat. A végső lökést az OVF Vízügyi Tudományos Tanácsa adta, amikor gálánsan arra kért – hálás köszönet érte –, hogy állítsak össze „életmű”-kötetet. Az életmű szó okozta negatív érzéseket félretéve (kinek van életműve?), némi gondolkodás után, igent mondtam.

Elkezdtem a tartalomra dolgozni. Egyik változat jött a másik után. Mind a papírkosárban végezte. Nagy nehezen megszületett egy induló elképzelés és tartalomjegyzék. Rájöttem, meglévő munkáimra támaszkodva és sok mindent újragondolva olyan könyvet szeretnék készíteni, ami közérthetően világítja meg a víz és a gyakran megfoghatatlannak tekintett vízminőség alapkérdéseit. Áttekinti annak főbb problémáit a lokálistól a globálisig, ugyanakkor bevezeti az érdeklődő olvasót a vízminőségi (matematikai) modellek rejtelmébe. Ez a kettős cél vezérelt. Jó esetben az egyes fejezetek egyedül is megállják helyüket, és létrejön az a mágikus kapcsolat, ami segíti a tanítást és a tanulást, matematikával vagy a nélkül. Vezérelt az is, hogy mániákusan hiszek a mérnöki és különösen a rendszermérnöki megközelítésben, abban, hogy a modellek kulcsot jelentenek a jövő bonyolult problémáinak megoldásában, a józan mérnöki gondolkodásra támaszkodva.

Most már minden egyszerű volt, csak meg kellett írni a könyvet, no meg párszor megismételni a folyamatot a finomhangolás érdekében. Ebben sokan segítettek. Elsőként Gayer Józsi barátom, egykori tanítványom nevét említem, aki hihetetlenül éles szemmel, hozzáértéssel és „bulldogszorgalommal” végezte a szerkesztő nehéz munkáját és vadászta a mindenkori következő hibát. Rögtön utána Szilágyi Feri következik, szintén barát és tanítvány, több évtizedes munkatárs. Kérésemre két körben is bírált és ellátott hasznos tanácsokkal. Három volt munkatársamat egy-egy

fejezet társszerzőjének kértem fel: Clement Adrienne – 4., 9. és 10. fejezet; Honti Márk – 9. és 11; Istvánovics Vera – 9. Musa Ildikó pedig az volt, aki mindent, amire éppen szükségünk volt, azonnal elintézett. Látjuk, a kiváló és sokoldalú Clementnél az „egy-egy” fejezet valójában három...

Vissza a tartalomra! 2003-ban előadást tartottam a Mindentudás Egyetemén, amit sokfelé, sokszor ismételték. Szemléleti kérdésekre helyeztem a hangsúlyt, hogy a helyi problémák miként találkoznak és erősítik egymást regionálissá, majd globálissá. Mit tudunk tenni a beavatkozások oldalán, és hogyan dolgozhatók ki fenntartható stratégiák? Esettanulmányként a Balatont és az öblítéses toalettet használtam, itthon ezek a mindennapok embere és a víz talán leggyakoribb találkozópontjai, a kapcsolódó problémák pedig plasztikusan mutathatók be. Így megvolt az indítás (1. fejezet), egyúttal a későbbi 8. fejezet „kóistolója”.

Valamikor, az ezredforduló tájékán, egyik ismerősöm azt az egyszerű kérdést tette fel, miért globális a víz? Mivel nem voltam elégedett akkori válaszommal, átgondolva a kérdéskört, cikket írtam a *Magyar Tudomány*ba „A világ vízdilemmája” címmel. Sok visszajelzést kaptam az MTA-n belülről és kívülről egyaránt, hogy „most már értem”. Úgy érzem, tisztában lenni a vízkérdéssel az általános műveltség része. Így született meg a 2. fejezet, a globális blokk második része. Meglehető felismerés is született: a lokális–globális mellett egyre jobban érvényesül egy globális–lokális hatás.

A múlt a jövő bölcsője, mondjuk gyakran: tanulni és okulni érdemes. Ezt tesszük a 3. fejezetben, ami a vízminőség-szabályozás történetjével foglalkozik. A 19. század közepéig megyünk vissza, és a fejlett világ néhány fontos (baleseti) szennyezési esetét, azok kezelési módját és az innováció szerepét tekintjük át. Meglepve tapasztaljuk, hogy mai gyakori panaszunkkal szemben akkor még működött a megelőzés és az elővigyázatosság elve, sőt a féket időnként pontosan az jelentette, hogy a felismerés ugyan megvolt, a kívánt megoldás – például eleveniszapos biológiai szennyvíztisztítás – még nem állt rendelkezésre.

A jelen könyv nagy részét a vízminőségi modelleknek, a korszerű mérnöki tervezés alapeszközeinek szenteljük. Ahhoz, hogy ezt megtegyük, tudnunk kell számokkal jellemezni a vizek minőségét. Ezt a távolról sem triviális feladatot nevezzük vízminősítésnek (4. fejezet). A nehézség a minőség definíciójából származik. A szó pozitív tulajdonságokat sejtet, pedig esetünkben ami az egyik víz számára érték, a másik számára lehet akár hátrány is. Például a tápanyagokban dús víz káros lehet tavakba történő bevezetés esetén, ezzel szemben előnyös lehet öntözésre. Fordítva, a tiszta desztillált víz mérgező lehet valamely tó vagy folyótorkolat élővilága számára, vagyis minden a referenciaállapothoz és a szükségletekhez viszonyított arányok függvénye. A számszerűsítés azért is nehéz, mivel túl sokféle fizikai, kémiai és biológiai jellemzőt szükséges figyelembe venni.

Már a kezdet kezdetén hozzá kell tehát szoknunk olyan fogalmakhoz, mint a tudás és a nem tudás, a teljes tudatlanság, a felismert nem tudás, a bizonytalanságok, a rosszul definiáltság stb. Ezek koherens részét kell, hogy képezzék elemzéseinknek – az „engineering” napjainkban alapvető változásokon megy keresztül.

A 3-4. fejezetek, mintegy előkészítésként, általában a vízminőségről szólnak. Az 5–7. fejezetek tárgya a modellezés, az alapoktól a bonyolultabb módszerekig. Az 5. fejezet (a 7.-hez hasonlóan, szinte észrevétlenül született) a mérnök és a modellezés szerepét taglalja, bemutatja a legegyszerűbb, anyagmérlegen alapuló, középiskolai tudást igénylő egyszerű módszereket. Ezzel szöges ellentétben a 6. fejezet bizony kemény dió. Módszertani jellegű, azoknak az MSc- és PhD-hallgatóknak ajánlom, akik el akarnak mélyülni a modellezés ágas-bogas területein – hidrodinamika, transzport, emisszió, reakciókinetika, kalibrálás és társai. Aki nem akarja, ne olvassa, a rákövetkező fejezeteket (talán) így is meg fogja érteni (biztos?). A 7. fejezet „standalone”, a csapdákkal foglalkozik, és hoz fel példákat. Arra tanít, hogy ne higgy vakon a modellednek, még kevésbé másénak. Ezerszer ellenőrizd az alkalmazást, és légy óvatos a döntéshozásban. Becsüld meg Mr. Murphyt: akkor is elromlik...

A 8–11. fejezetek a modellezés alkalmazásáról, a tudomány és szakpolitika („policy”) összefüggéseiről szólnak, a Balaton kapcsán a két kiadást megélt Springer-könyv (Somlyódy and van Straten, 1986) alapján. A fejezetek három nagy projekt elemzésén és a jó-rossz implementálásán alapulnak: a Balaton eutrofizálódási stratégiája és az ausztriai IIASA-ban (International Institute for Applied Systems Analysis) nemzetközi összefogással lefolytatott kutatás (1980–1983), a Kis-Balaton-előtározó rendszer felülvizsgálata (1997), a Balaton vízpótlása és az éghajlatváltozás (2004). Az alkalmazás néhány érdekességét bemutatandó ezekhez adtuk a Balaton szempontjából kiemelt fontosságú Keszthelyi-medence elemzését (2010 körül). Ezek a fejezetek a modellezés eszközeinek gazdag tárházát bemutatva a történések kronológiáját is adják, összhangban a rendszerelemzés klasszikus szemléletével, ami az elemzés részének tekinti a *policy* implementálását. Az említett évek a „csúcsra járatás” idejére utalnak, a projektek többsége azonban valamilyen formában napjainkban is élnek (monitoring, felülvizsgálat, új kutatási kérdések stb.). Az eredmények értelemszerűen eltérő időszakokra és feltételekre vonatkoznak.

A könyv az általánostól a konkrétabb helyi kérdések felé haladva szándékozik bemutatni a vizek minőségéről 2017-ben Magyarországon elmondható ismereteket – támaszkodva a szakirodalomra és korábbi munkáim eredményeire –, és kiegészíti ezeket a legújabb felismerésekkel, olyanokkal is, melyek éppen a megírás során születtek aktuális hazai kérdések kapcsán. Látni fogják, hogy előszeretettel használtam keretes írásokat; ezek lehetővé teszik párhuzamosan futó történések felvázolását és tömör következtetések levonását.

A könyv, érdeklődéstől függően, sokféleképpen olvasható. Mindenki döntse el, de „mankóként” a tartalomjegyzékben is feltüntetett blokkok adnak némi támpontot.

Remélem, minden kérdést megválasoltam. És ha nem, olvassák el a szöveget!

„A réginek az újjal célszerű egybeházasítása gyakran a dolog bölcsészete. Máskor a réginek gyökerestől megsemmisítése és az újnak gyökeres felállítása szükséges.”
(Széchenyi István)