



# „A BALATON TÁPANYAGTERHELÉSE” TUDOMÁNYOS ELŐADÓÜLÉS

Tihany, 2021. szeptember 21.



BALATONI  
LIMNOLÓGIAI  
KUTATÓINTÉZET

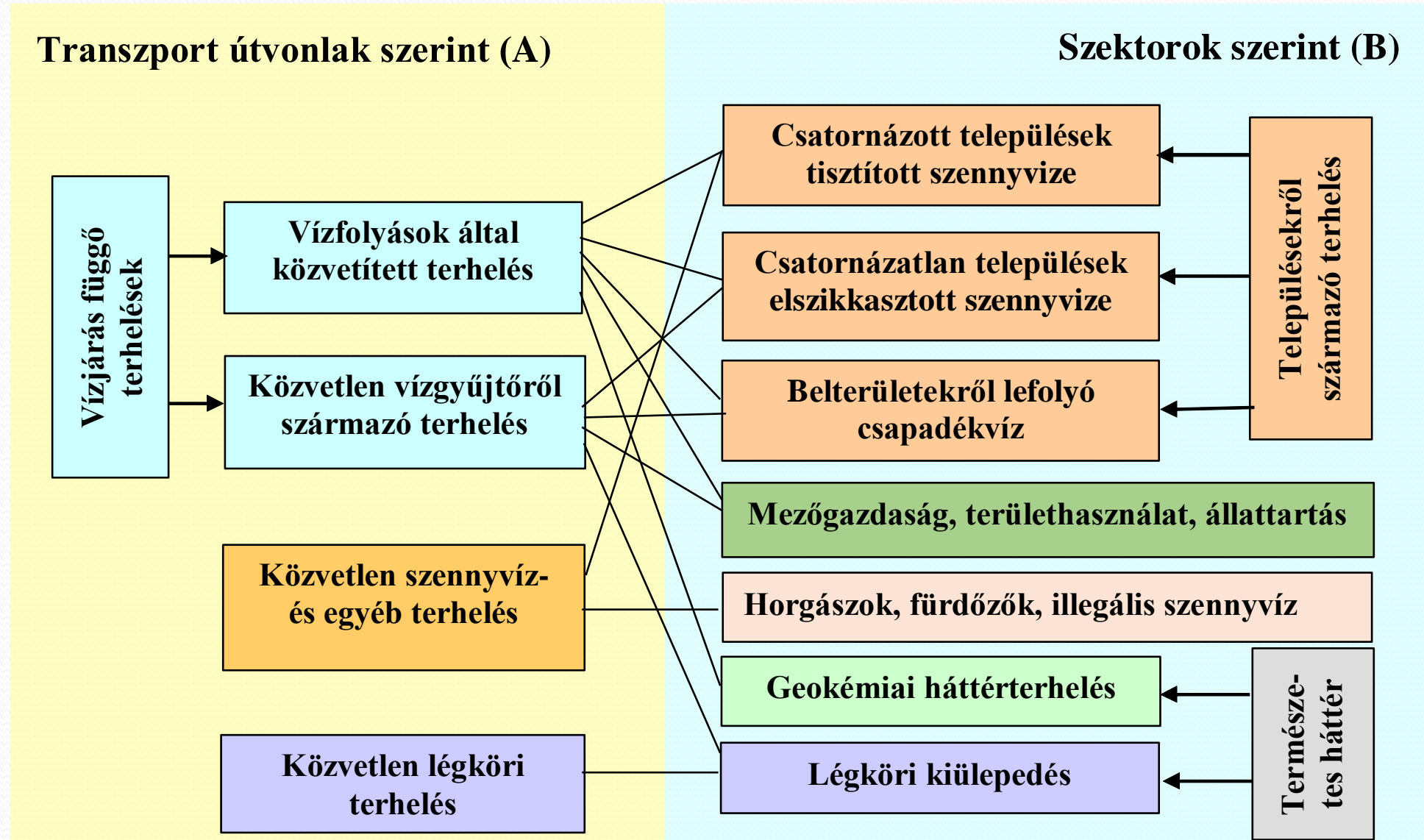
## A Balaton külső tápanyagterhelése: források, trendek és nagyságrendek

**Dr. Clement Adrienne**  
egyetemi docens

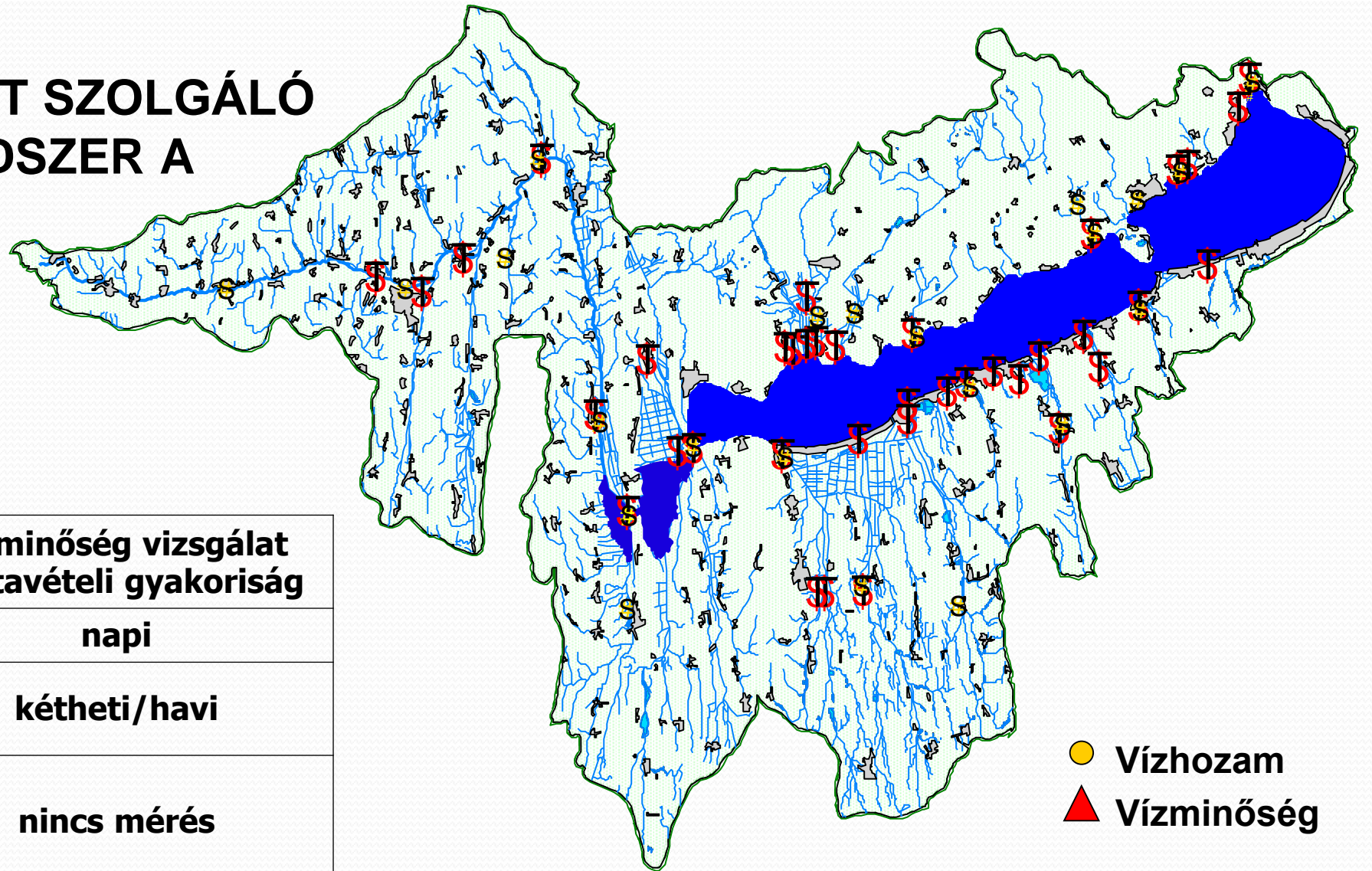


**BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék**  
[clement.adrienne@emk.bme.hu](mailto:clement.adrienne@emk.bme.hu)

# Tápanyagterhelés forrásai és meghatározása: mit, milyen pontossággal tudunk mérni/becsülni?

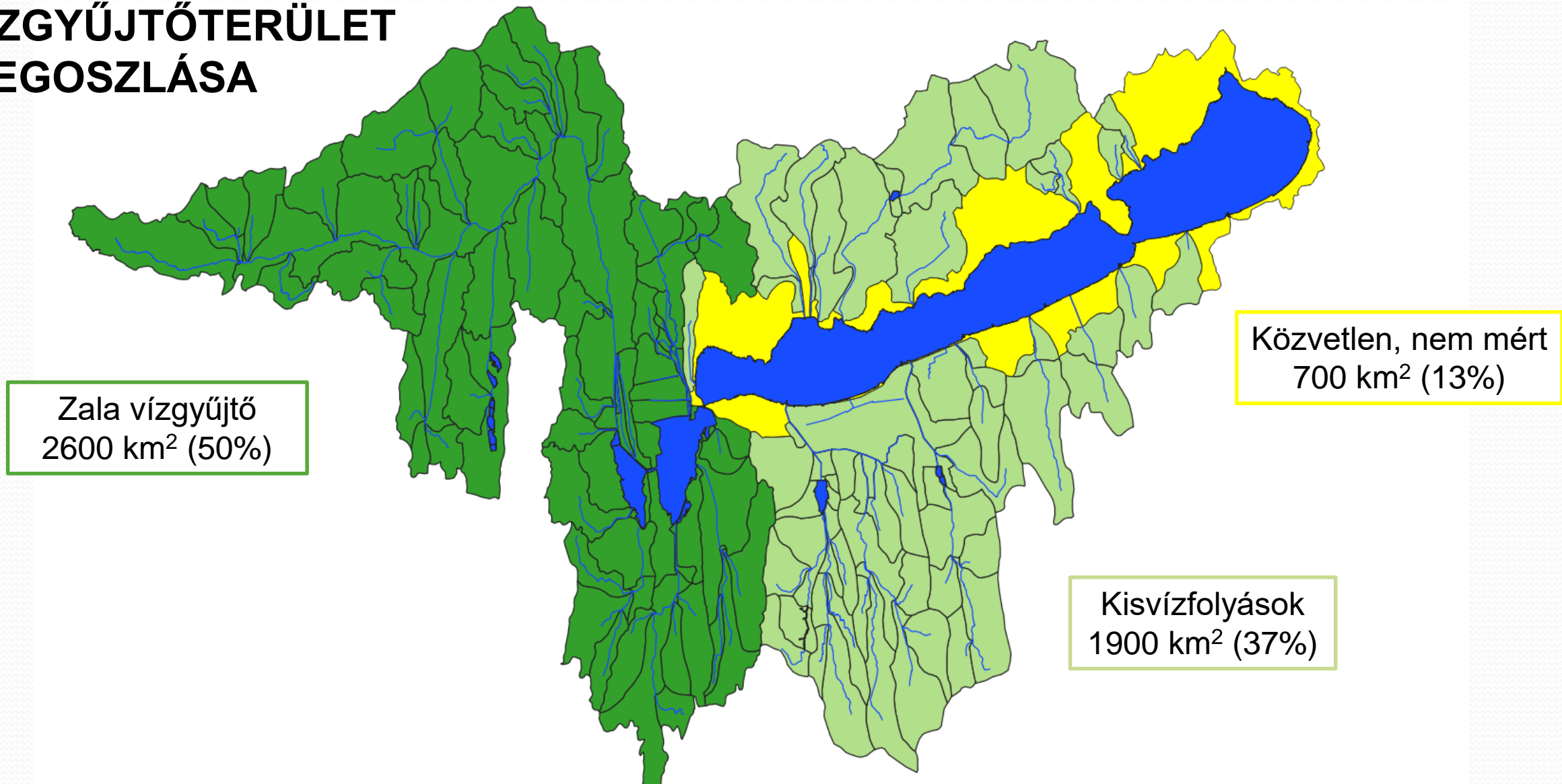


# A TERHELÉS MEGHATÁROZÁSÁT SZOLGÁLÓ MONITORING RENDSZER A VÍZGYŰJTŐN



Vízfolyás	Vízminőség vizsgálat mintavételi gyakoriság
Zala	napi
24 állandó kiszvízfolyás	kétheti/havi
27 állandó vagy időszakos kiszvízfolyás	nincs mérés

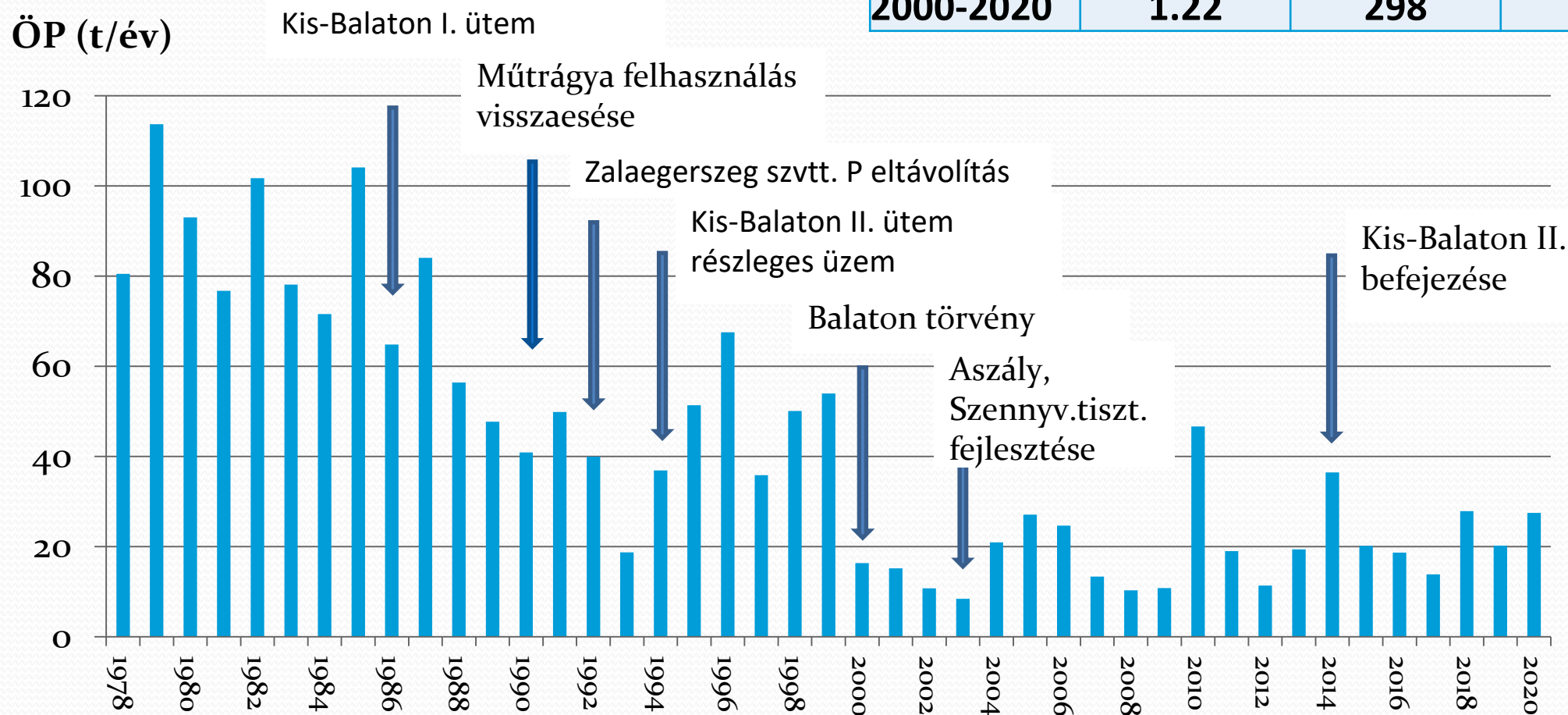
# VÍZGYŰJTŐTERÜLET MEGOSZLÁSA



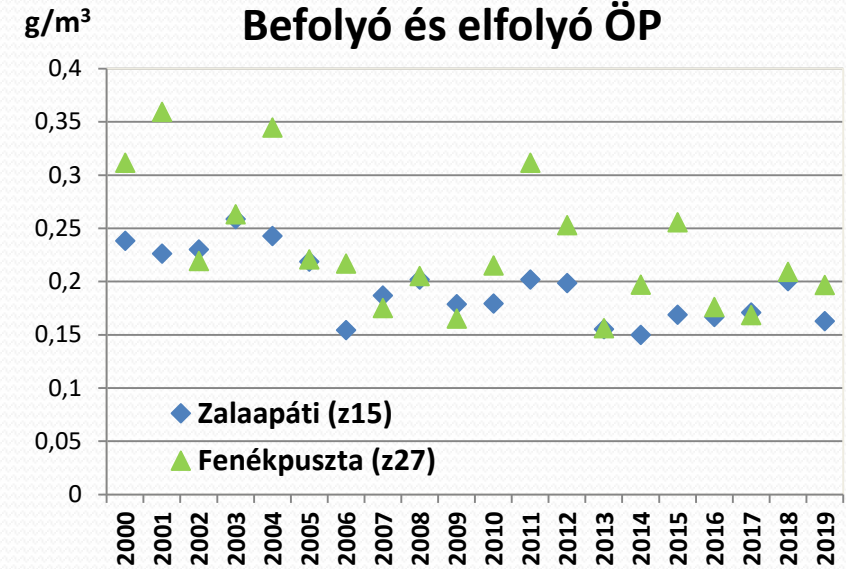
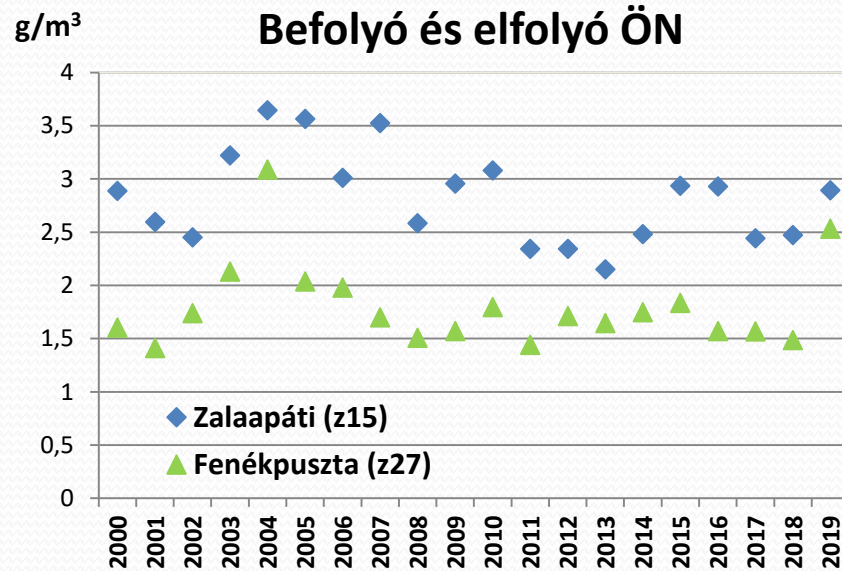
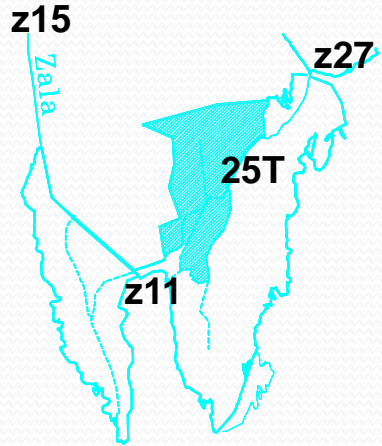


# Zala által szállított külső terhelés változása (Fenekpuszta, torkolat)

	LA (kt/év)	ÖN (t/év)	ÖP (t/év)
1980-1989	6.94	955	79
1990-1999	2.86	578	44
2000-2020	1.22	298	20

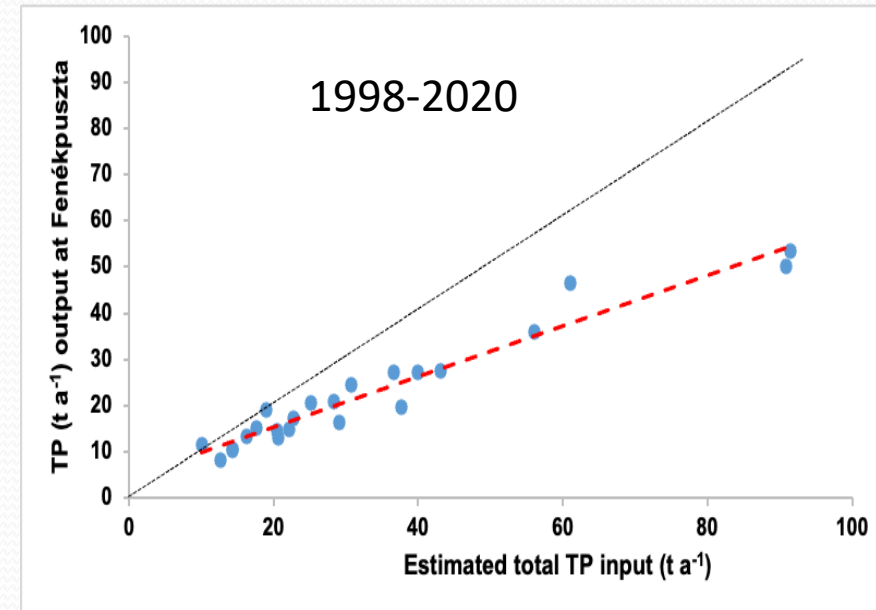


# A Kis-Balaton hatása a Zalán érkező tápanyagokra



## Kis-Balaton hatása (BME, 2018)

- Három évtized működési tapasztalat: éves szinten átlagosan 80% LA, 30% ÖP, 50% ÖN eltávolítás
- 2013-tól a Fenéki-tó elárasztása, 2015-től új üzemrend - változó viselkedés: egymást követő évek közt jelentős eltérés
- Emelkedő tendencia az elfolyóban: alga, szervesanyag, víz hőmérséklet
- **2019 nyár: korábbiaknál magasabb N:P, alacsonyabb ORP:ÖP arány**



# Vízfolyásokkal közvetített terhelés: rendszeresen mér befolyók

A terhelésszámítás bizonytalansága az észlelések idő- és térbeli hiányosságából származik

- Rövididejű árhullámok az észlelésből kimaradnak (kiszívófolyások!)
- Hiba statisztikai alapon a mintavételi gyakoriság és a variancia függvényében számítható
- **A vízhozam idősből származó többlet információt kihasználva az anyagáram meghatározása pontosítható ( $N_Q \gg n_C$ )**

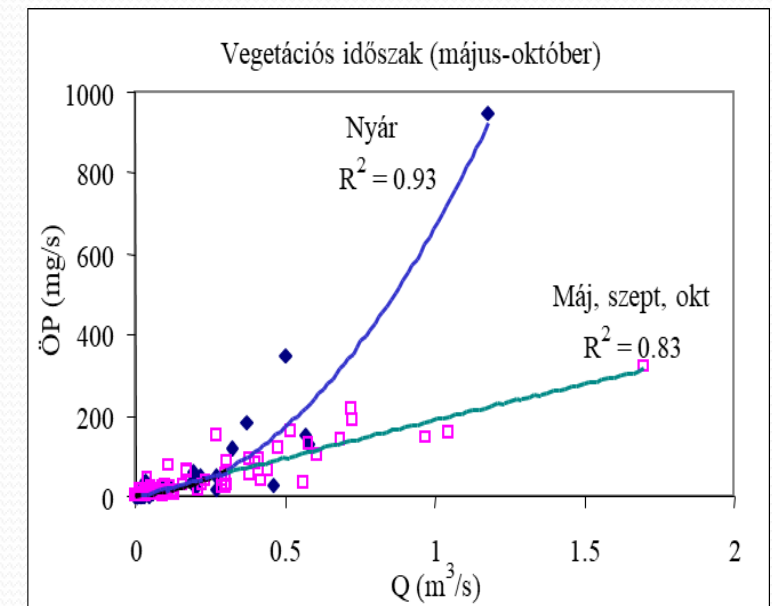
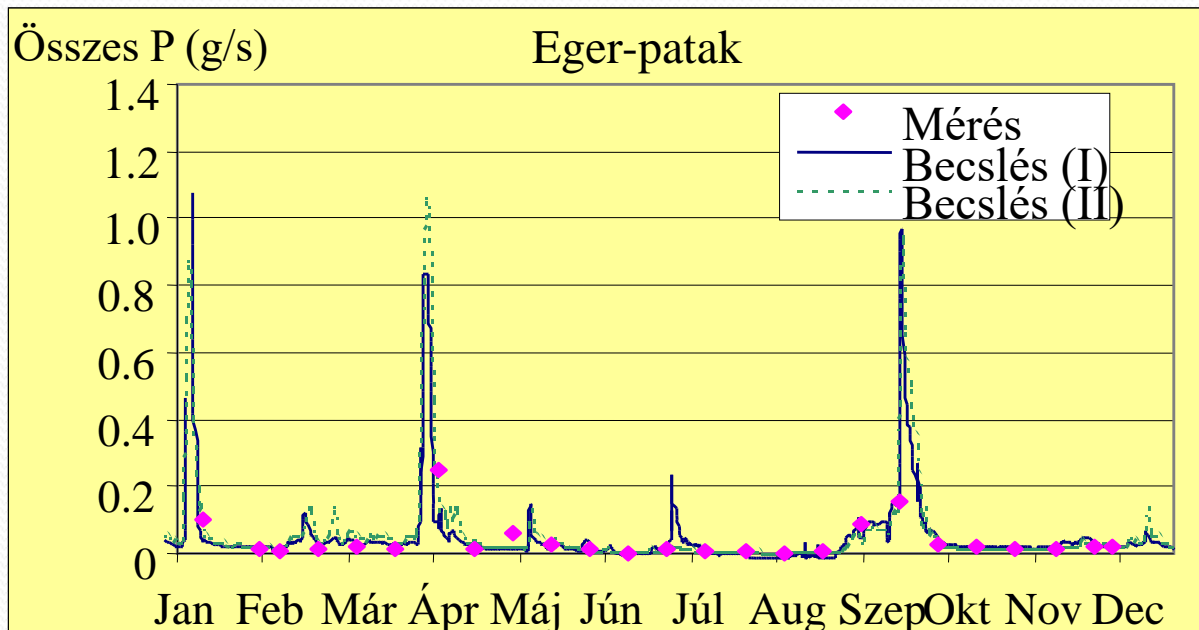
Hosszú adatsor ( $Q_i, C_i$ ) nem áll rendelkezésre: aránybecslés

Hiányzó koncentráció adatok pótlásával (regressziós módszerek)

$$L \approx \sum_{i=1}^n Q_i c_i \quad n = \text{mintaszám}$$

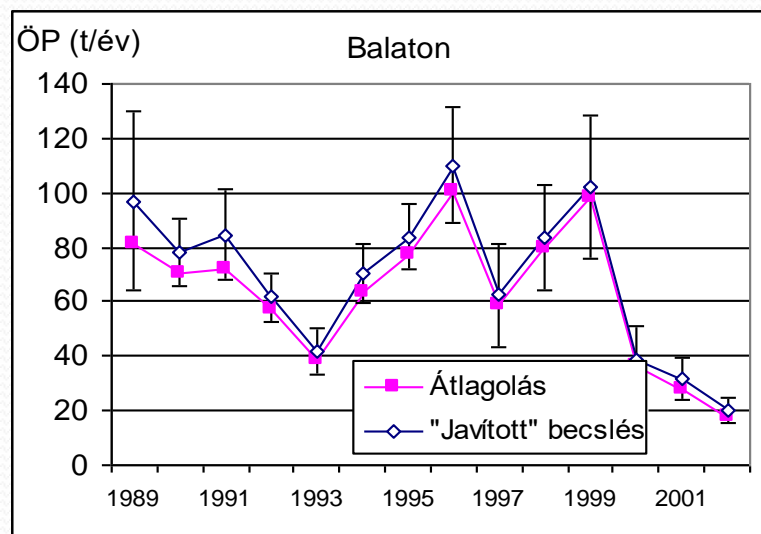
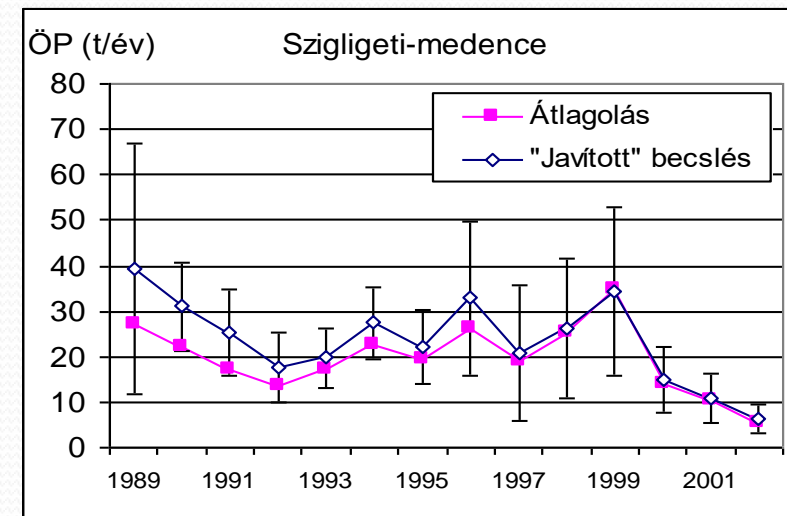
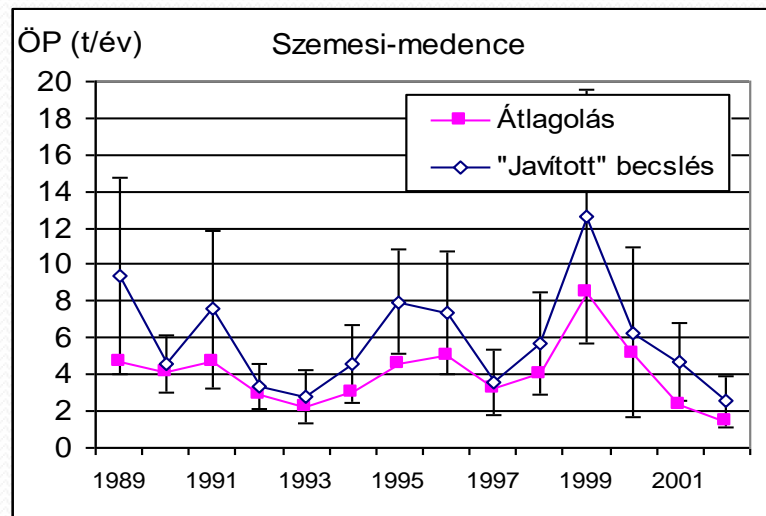
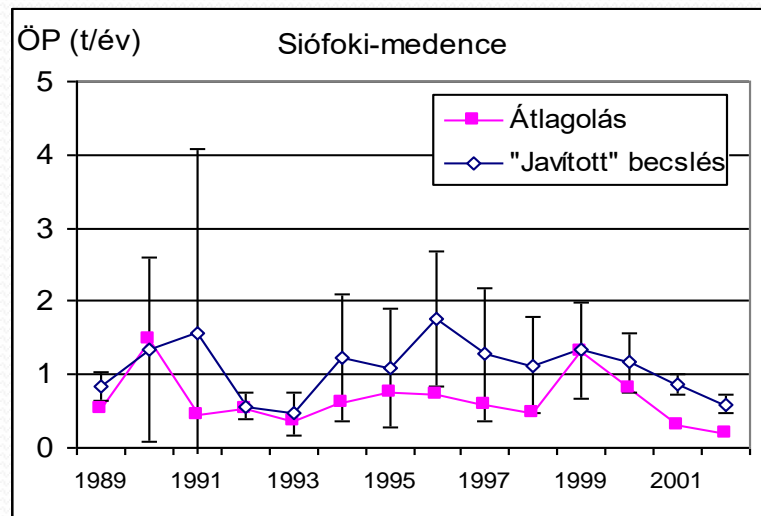
$$L = \int_0^T Q(t)c(t)dt$$

## Terhelés-vízhozam kapcsolat



# A Balaton négy medencéjének vízfolyások által közvetített foszforterhelése a rutin eljárások során alkalmazott átlagolós módszerekkel és a „javított” becsléssel (BME, 2003)

A tartományok a becslés 95 %-os konfidenciaszinthez tartozó hibáját jelölik



## A vízfolyásokkal közvetített terhelés meghatározás hibája (alulbecslés mértéke):

- KDT-VIZIG (2016) 1989 – 2006 évekre vonatkozó adatokkal összevetve medencénként, keletről nyugatra 61%, 43%, 13% eltérést, **a tó egészére nézve csupán 8 % alulbecslést jelent** a több lépéses korrigált módszerhez képest.
- A vízfolyások által szállított terhelés szokásos (átlagolós) számítása, azaz a **rutinszerűen alkalmazható eljárás az éves mérlegek meghatározásához elegendő pontosságú módszernek bizonyul!**



# A mérésekkel nem lefedett területekről érkező lefolyással közvetített terhelés

Kb. 700 km<sup>2</sup> terület, több módszer, a terhelés becslés legbizonytalanabb eleme



## Közvetlen parti sáv

Csapadékvíz lefolyásból származó közvetlen bemosódás, rövid lefolyási utak, minimális „visszatartás”

Mérési lehetőség: a felszíni lefolyások mintázása → nagy szórás!

Becslés: lefolyt vízmennyiség (csapadék x lefolyási tényező) és a lefolyásra jellemző koncentrációkra „kalibrált modellek”

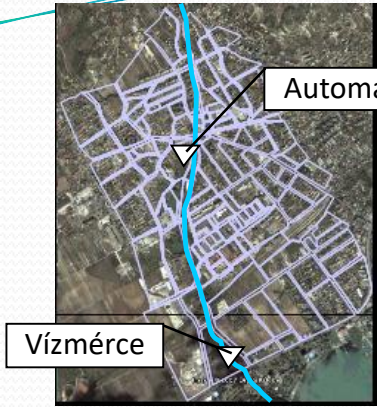
- a becsült terhelésben nagyságrendi hiba is lehet,
- a módszer a parttól távolabb eső (nem mért) területekről származó terhelés jelentős felülbecslését eredményezi.

## Közvetlen vízgyűjtőn kívül eső, a mérésekből kimaradó területek

A vízmérleg meghatározásnál alkalmazott területi analógia alapján:

- 7 részvízgyűjtő,
- a terhelést a „hasonlónak tekintett” mért vízfolyásokból extrapolált fajlagos értékekkel becsüljük.

# Belterületi lefolyással közvetített foszforterhelés meghatározása Balatonfüred mintaterületen (Clement és Buzás, 2009)

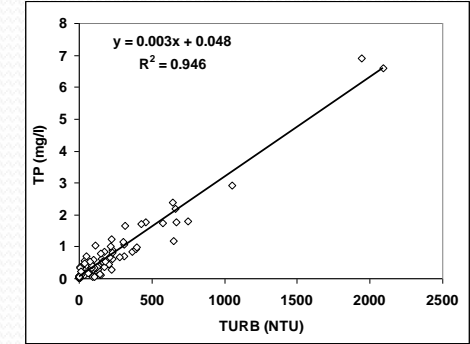
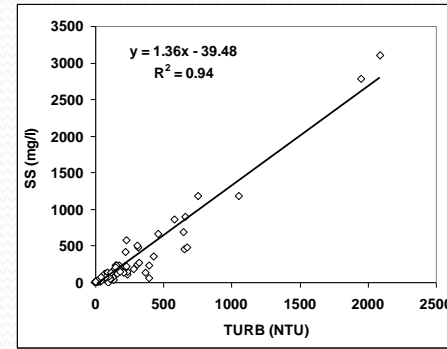


A = 330 ha

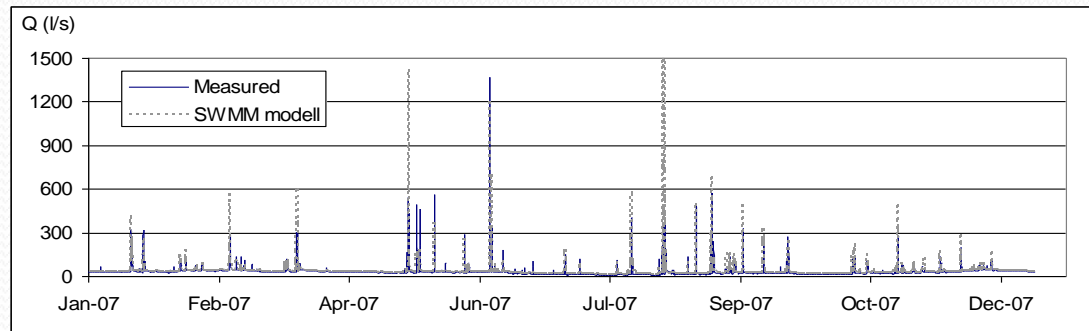
Automata mintavevő

Vízmérce

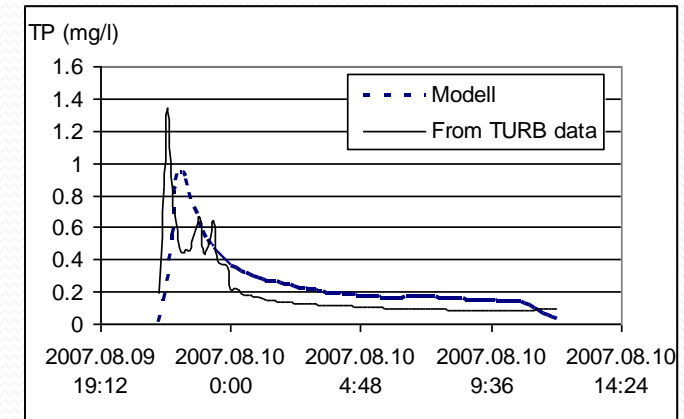
Lefolyó víz SS és TP koncentrációjának meghatározása **on-line** zavarosság-méréssel



**SWMM** alkalmazása (nyílt árkok és csapadékcatorna)  
Lefolyás modell: mért és szimulált vízhozam idősor



Lefolyás TP koncentrációjának számítása félempirikus vízminőségi modellel



Lefolyás

P terhelés

Terhelés generátor

88%

45%

12%

55%

Alaphozam

Árhullámok

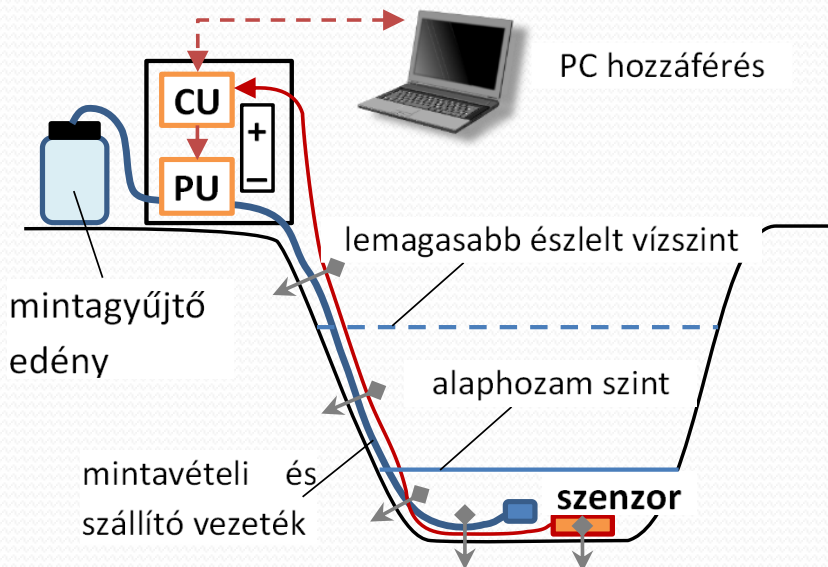
Éves terhelés becslés a teljes mintaterületre

P terhelés  
152 kg/év  
0,46 kg P/ha,év

**700 km<sup>2</sup> ~30 t/év**

# Belterületi lefolyással közvetített szennyezőanyag terhelés mérése városi mintavízgyűjtőkön

**Költséghatékony, vízszint vezérelt, programozható kompozit mintavevő fejlesztése**



**Mintavízgyűjtőkön mért fajlagos terhelés medián értékei és a vízzáró felülettel súlyozott átlagok**

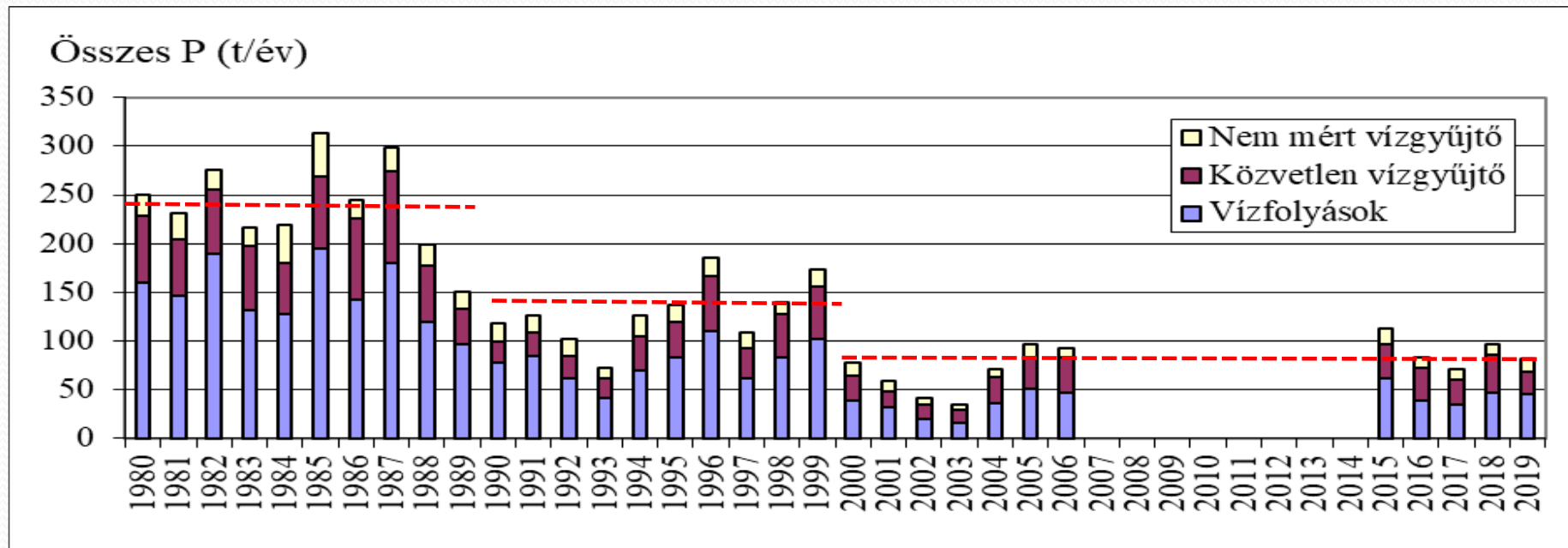
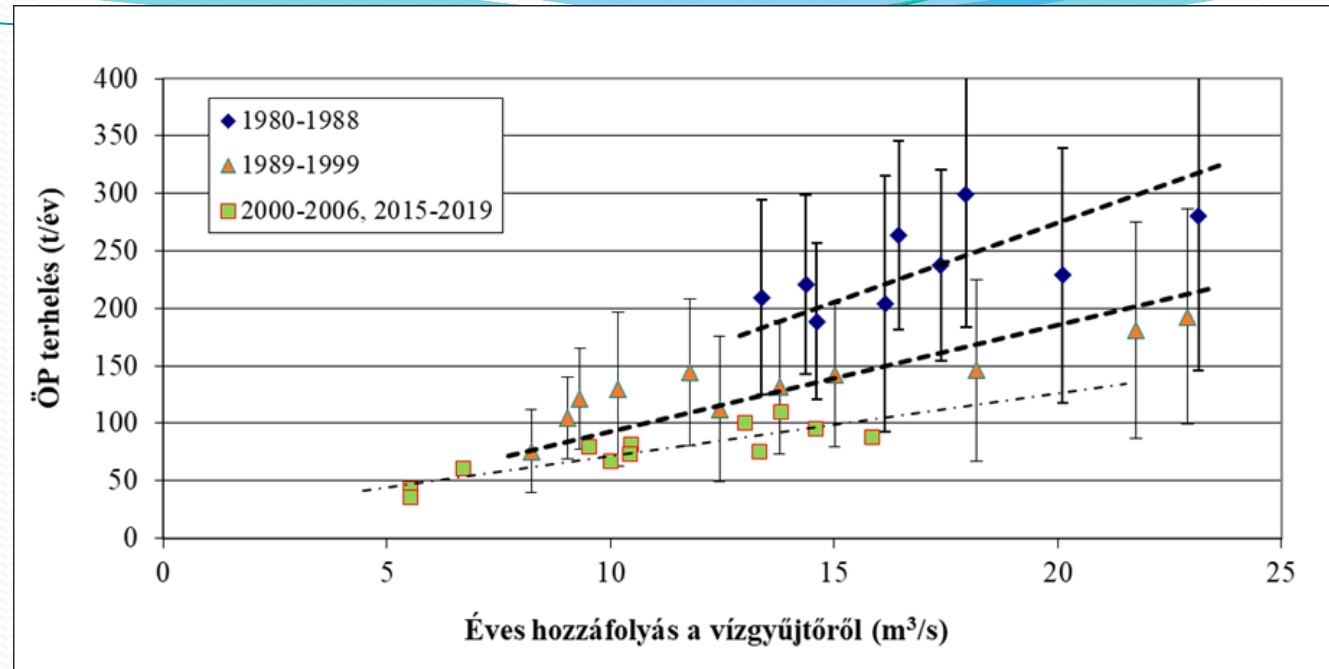


Budai és mtsai (BME, 2020)

		GD	IF	ÖÁ	PM	ST	FV	TB	súly.átlag
As	[g/km <sup>2</sup> ]	1,1	1,9	0,3	2,8	3,1	7,7	2,0	<b>3,4</b>
Cd	[g/km <sup>2</sup> ]	0,03	0,08	0,02	0,12	0,13	0,62	0,28	<b>0,23</b>
Cr	[g/km <sup>2</sup> ]	1,6	3,2	0,7	2,8	2,8	8,6	5,7	<b>4,0</b>
Cu	[g/km <sup>2</sup> ]	22	44	5	47	36	84	56	<b>44</b>
Ni	[g/km <sup>2</sup> ]	4,2	4,5	1,2	7,3	12,5	9,4	9,8	<b>6,9</b>
Pb	[g/km <sup>2</sup> ]	2,6	4,9	1,6	6,7	8,6	17,5	14,1	<b>8,4</b>
Sb	[g/km <sup>2</sup> ]	0,9	2,6	0,2	2,7	3,1	7,5	0,7	<b>3,4</b>
Zn	[g/km <sup>2</sup> ]	82	250	14	227	154	268	197	<b>163</b>
Σ N	[kg/km <sup>2</sup> ]	1,9	14,3	1,4	34,4	8,1	12,4	1,5	<b>8,0</b>
Σ P	[kg/km <sup>2</sup> ]	0,2	1,4	0,1	0,6	0,5	3,5	0,8	<b>1,4</b>
TPH	[g/km <sup>2</sup> ]	197	631	58	556	343	936	1703	<b>487</b>
Σ PAH	[g/km <sup>2</sup> ]	0,18	0,40	0,17	1,27	0,33	0,48	2,87	<b>0,34</b>

# Vízfolyásokkal közvetített terhelés

Időszak: 2000 – 2019	Ter. nagysága, aránya	Össz. P tonna/év
Mért vízfolyások (Zala + 20 befolyó)	4500 km <sup>2</sup> , 87%	43 ±15 (56%)
Közvetlen vízgyűjtő	370 km <sup>2</sup> , 7%	23 ±7 (30%)
Mérésekből kimaradó vízgyűjtő	330 km <sup>2</sup> , 6%	11 ±3 (14%)
<b>Összes vízjárás függő P terhelés</b>	<b>5200 km<sup>2</sup></b>	<b>77 ±22</b>





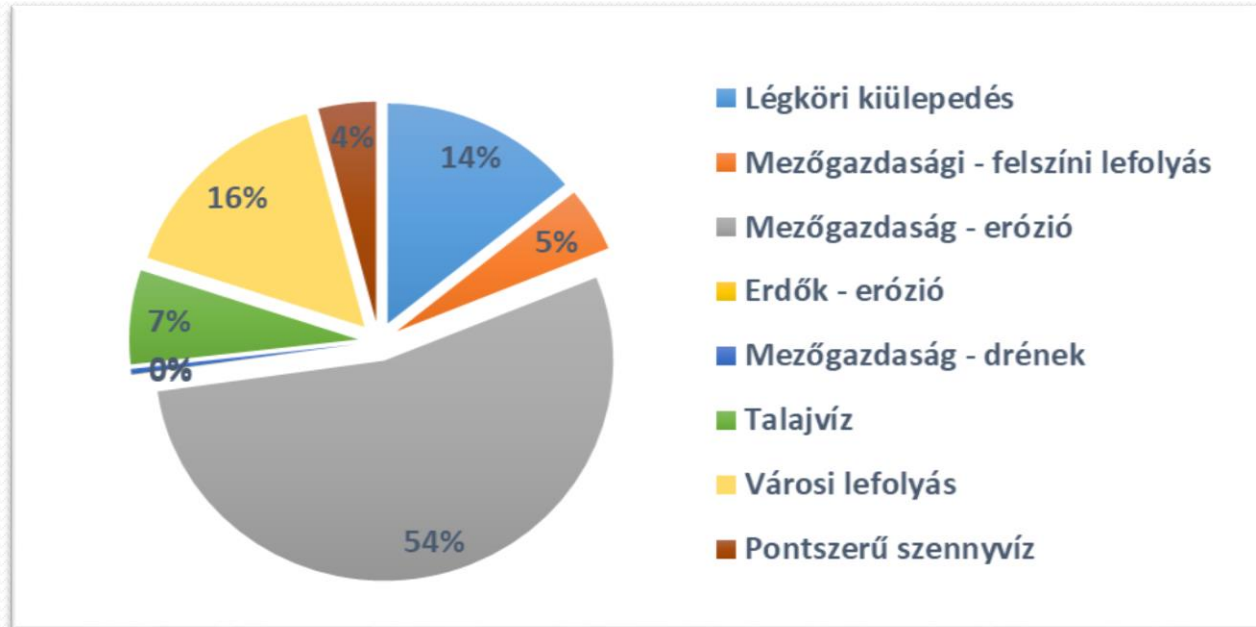
## A Balaton becsült összes külső P terhelése a terhelés szempontjából jellemző időszakokban

	I. Medence	II. Medence	III. Medence	IV. Medence	Balaton vízgyűjtő	
Összes vízjárás függő P terhelés	95 ±23	75 ±19	42 ±6	38 ±6	<b>250 ±39</b>	<b>1980-1988</b>
Közvetlen szennyvíz*	0	1	5	16	<b>23</b>	
Légköri kiülepedés*	1	4	5	7	<b>17</b>	
<b>Összes P terhelés</b>	~96	~80	~52	~61	<b>~290</b>	
Összes vízjárás függő P terhelés	50 ±13	47 ±10	22 ±7	25 ±8	<b>144 ±36</b>	<b>1989-1999</b>
Közvetlen szennyvíz*	0	0,6	0,5	0,1	<b>1</b>	
Légköri kiülepedés*	1	2	3	4	<b>10</b>	
<b>Összes P terhelés</b>	~51	~50	~26	~29	<b>~155</b>	
Összes vízjárás függő P terhelés	22 ±8	30 ±11	12 ±4	13 ±4	<b>77 ±22</b>	<b>2000-2019</b>
Közvetlen szennyvíz*	0,0	0,4	0,3	0	<b>1</b>	
Légköri kiülepedés*	0,8	2,8	3,9	4,8	<b>12</b>	
<b>Összes P terhelés</b>	~23	~33	~16	~18	<b>~90</b>	

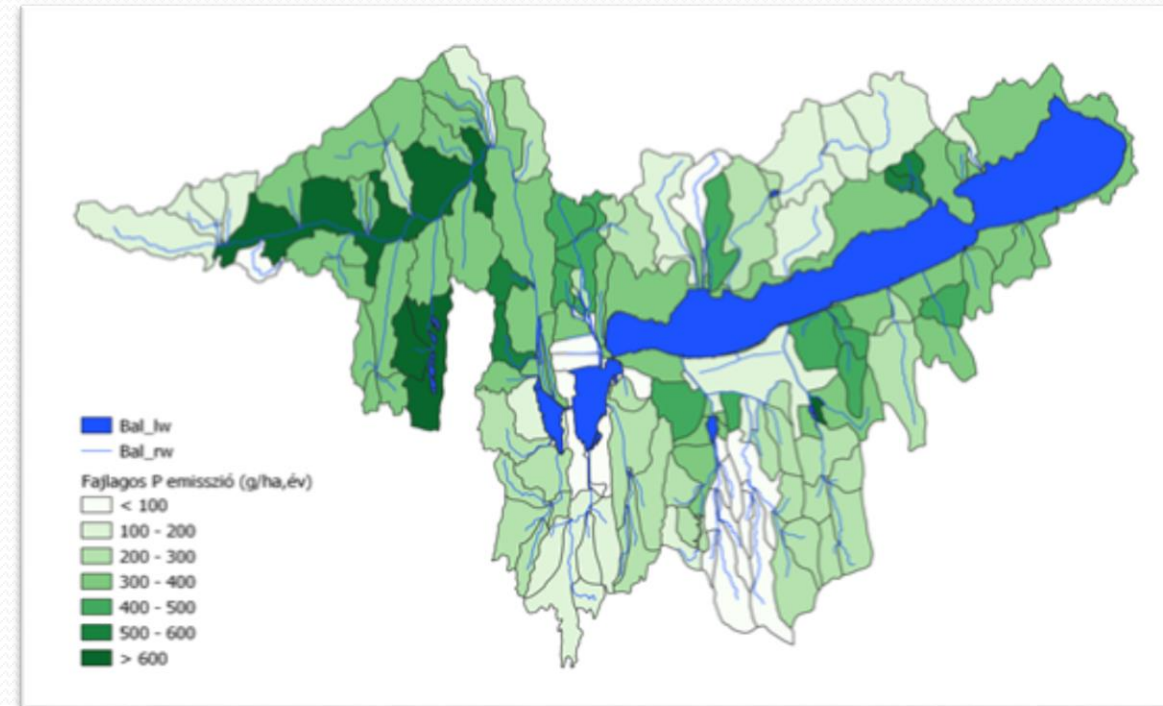
\* BME (2003), KDT-Vizig (2016-2020)

# Összes külső foszforterhelés források szerint

MONERIS modellel számított P emissziók források szerinti megoszlása a Balaton vízgyűjtő összes P terhelésében



MONERIS modellel számított fajlagos P emissziók víztest vízgyűjtőnként (időszak: 2016-2018)



forrás: Jolánkai és mtsai, 2020

# Etetőanyagokból származó tápanyagterhelés

Halgazdálkodási, horgászat összes P mérleg eredője: 4,5 tonna ÖP/év,  
éves szinten ~2000 tonna etetőanyag bevitel, az etetőanyagokkal 8,1 tonna ÖP/év (BLKI, 2021)

## Kioldás kísérletek:

- 1,6-14,5 g PO<sub>4</sub>-P / kg, illetve 5,3-17,5 g ÖP/ kg (KDT-VIZIG)
- 0,16 – 5,9 g PO<sub>4</sub>-P / kg, 0,12 – 3,79 g NH<sub>4</sub>-N / kg (BME-VKKT)



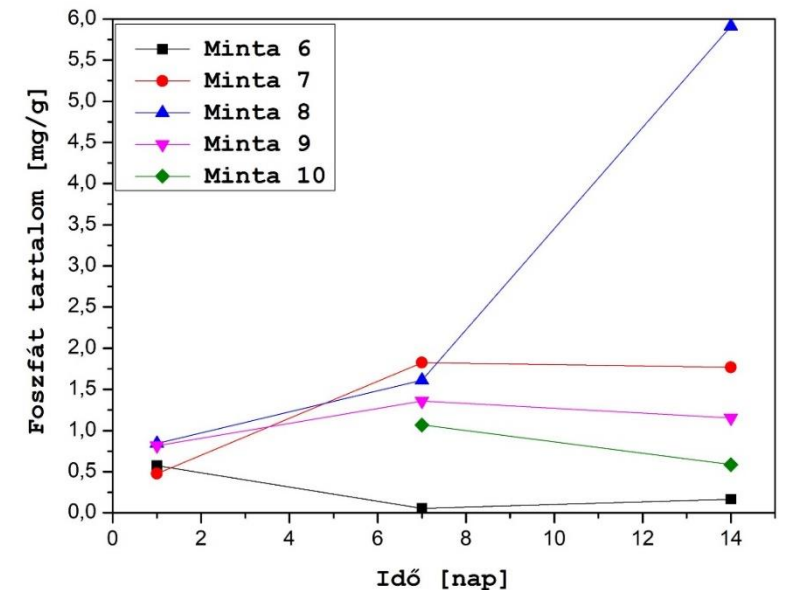
~ 5 tonna PO<sub>4</sub>-P / év

## A bevittet a külső terheléshez (KDT-VIZIG) viszonyítva:

- Összes P terhelés 5 %-a, PO<sub>4</sub>-P terhelés 10%-a
- A szabályozható terheléshez képest jelentős! (közveten szennyvíz: 1 tonna ÖP/év)
- Szűk parti sávban kerül be, részben ülepedő
- Nitrogén (ammónium) és szerves terhelésben is jelentős



A mintákból kioldódó foszfát mennyiségének alakulása



Réz Ádám (BME, 2020)

# Tápanyagterhelés: források, trendek és nagyságrendek

- ❑ **Múlt: Jelentős csökkenés a Balaton külső tápanyagterhelésében** (Zala P terhelés 75%-kal csökkent) → vízminőség javulás minden tómedencében
- ❑ A terhelések vizsgálata, és összességében a Balaton kutatás az utóbbi időkben háttérbe szorult (leépülő monitoring rendszer), de a **jelenlegi monitoring hálózat (KDT VIZIG és NyDu-VIZIG mérései) jó alapot adnak a külső terhelés elfogadható pontosságú meghatározásához**
- ❑ **2019: meglepetésszerű vízvirágzás** - a rendelkezésre álló adatok alapján a befolyó vizekkel (a korábbi évekhez képest) **többlet külső tápanyagterhelés nem érkezett** a Balatonba, a többlet terhelés forrása az üledék (belső terhelés) volt
- ❑ Mi várható a jövőben? Csökkenthető-e tovább a külső terhelés? Mekkora a mozgástér?

## Van még teendő!

- **Kis-Balaton működése bizonytalan, kedvezőtlen irányú változások, a Fenéki-tó elárasztása óta szokatlan (de nem extrém) jelenségek figyelhetők meg**
- **Terhelés bizonytalan elemeinek pontosítása, mérési és kutatási programok szükségessége**
- **További ismeretlen források: illegális szennyvízbevezetés, szennyvíztelepekről bemosódás, fürdőzők, horgászat...**



## Bibliográfia

- BME (2018): A Kis- Balaton Vízvédelmi Rendszer háttérterheléseinek elemzése. Kutatási jelentés, BME VKKT 2018
- BME (2007): A Balaton vízgyűjtő lefolyási és tápanyagterhelési viszonyainak vizsgálata, az éghajlatváltozás várható hatásainak elemzése. In: BALÖKO (2005-2007), NKFP 3B022 – 04.
- BME (2003): A Balaton vízminőségiállapotának értékelése. Szerk: Somlyódy L. Kutatási jelentés, BME VKKT 2003
- Budai, P., Knolmár, M., Kardos, M.K., Clement, A. (2020): Csapadékvízzel szállított települési anyagáramok meghatározása. Kutatási zárójelentés, KEHOP-1.1.0-15-2016-00002
- Clement, A., K. Buzas, E. Fetter (2009): Measuring and modelling of stormwater runoff and associated nutrient load at on experimental catchment near Lake Balaton, Hungary. In: ISE 2009, Proceeding CD-ROM ; ISBN: 978-981-08-2100-05
- Clement, A. (2001): Improving uncertain nutrient load estimates for Lake Balaton. Water Science and Technology, Vol. 43, No. 7, pp. 279-286.
- Istvánovics és Honti (2019): Hipotézisek a 2019-es alga tömegprodukció kialakulásáról. MTA VEAB előadóülés, Veszprém, 2019. november 20.
- Istvánovics, V., A. Clement, L. Somlyódy, A. Specziár, L.G. Tóth, J. Padisák (2007): Updating water quality targets for shallow Lake Balaton (Hungary), recovering from eutrophication. Hydrobiologia 581: 305-318.
- KDT-VIZIG (2016-2020): A Balaton tápanyagterhelésének mérlege, mérése és modellezése a 2015-2019 évekre
- Réz Zsolt Ádám (2020): A Balaton trofitási állapotának alakulását befolyásoló klimatikus tényezők és antropogén hatások vizsgálata, Diplomamunka, BME
- Specziár András, Boros Gergely (2021): A halállomány és a halgazdálkodás esetleges szerepe a 2019-es algavirágzásban. BLKI 2021

**KÖSZÖNÖM A MEGTISZTELŐ FIGYELMÜKET!**