

Állóvizek vízminőségi problémái, eutrofizáció és szabályozása

LIMNOLÓGIA

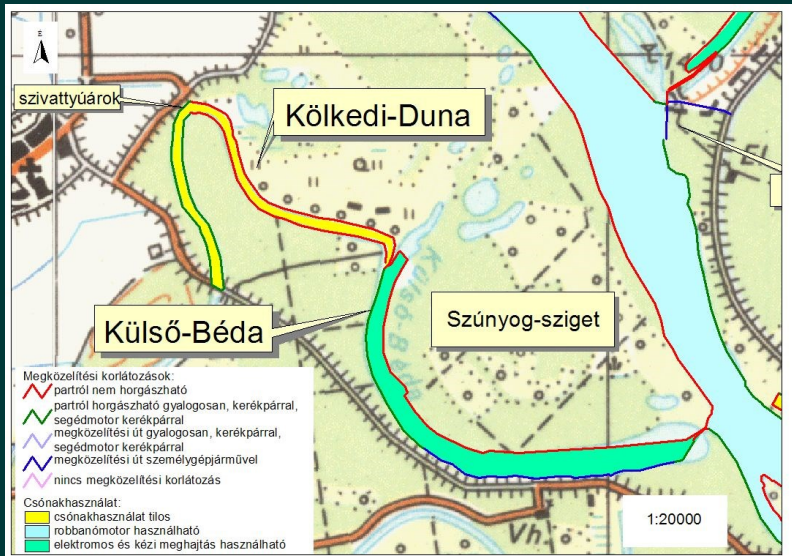
Tavak kialakulása

- Természetes
- Mesterséges (duzzasztógáták, (ivóvíz)tározók, halastavak, üdülőtavak, hűtőtavak stb.)

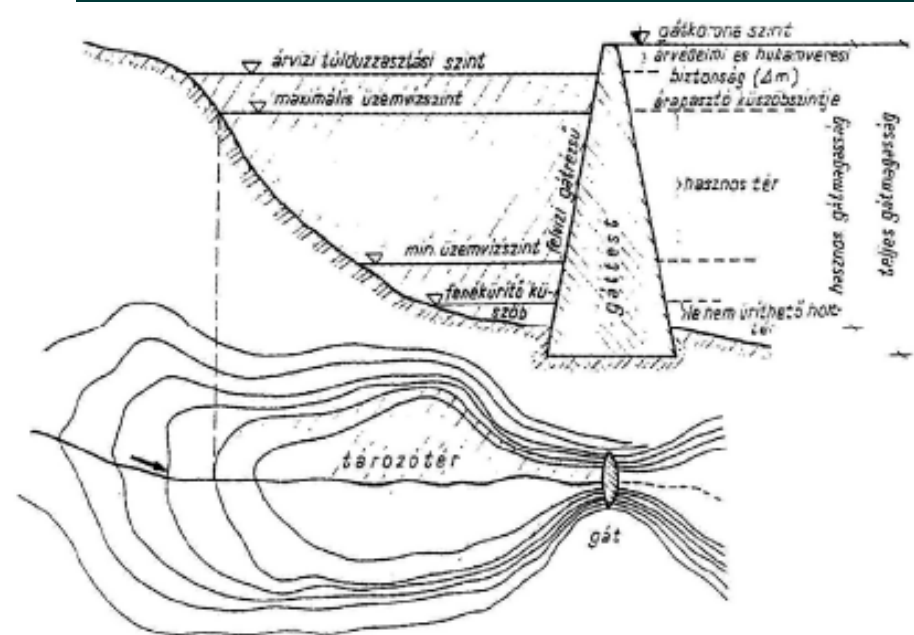
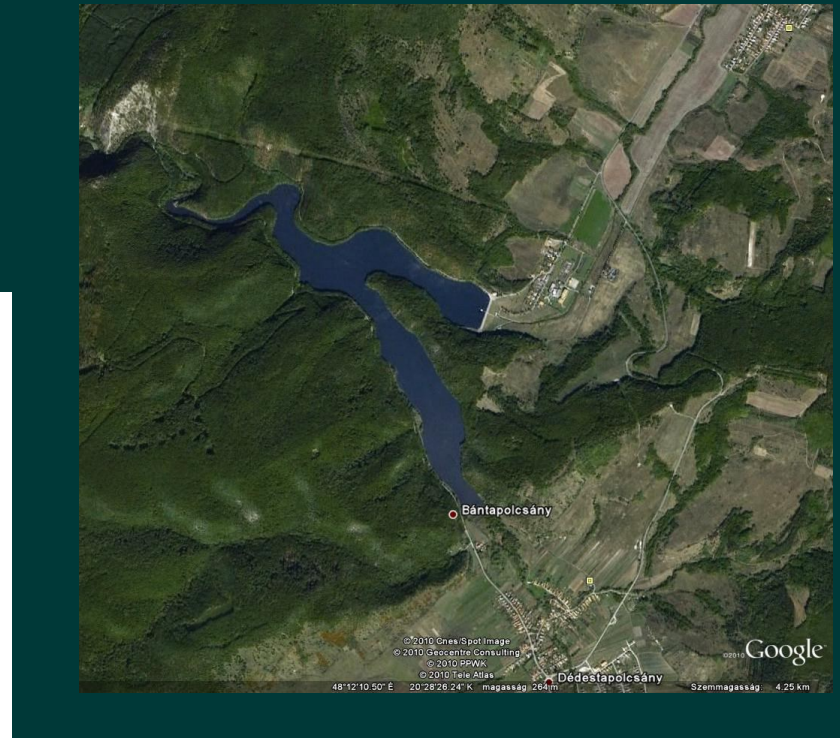
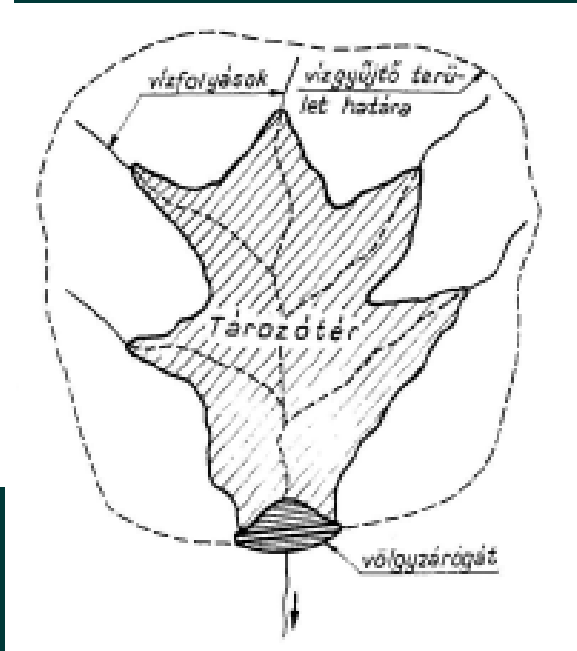
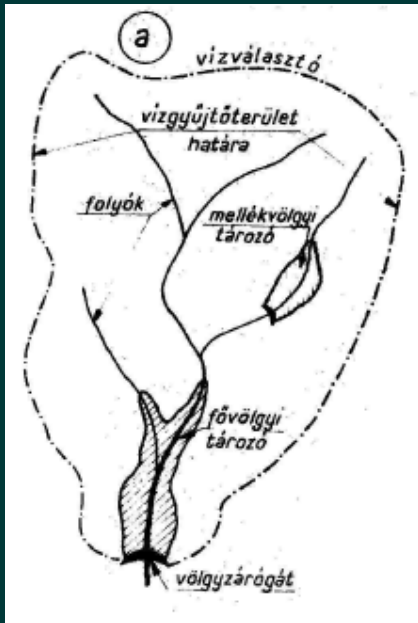
Tavak jellemzői

- Morfológia
- Vízháztartás
- Vízmozgás, áramlások
- Hőmérséklet és fényviszonyok,
- Tápanyag ellátottság
- Kémiai jellemzők, sótartalom

Magyarországon 7587 nyilvántartott tó és vizes területet („wetland”) (összterületük: 2230 km²),
> 0,5 km² : 828 db → 189 állóvíz víztest (1180 km²)
8 természetes állóvíz típus, mindegyik sekély tó
Mesterségesek: bányatavak és tározók
Erősen módosított: ártéri és mentett oldali holtágak
Szikes tavak

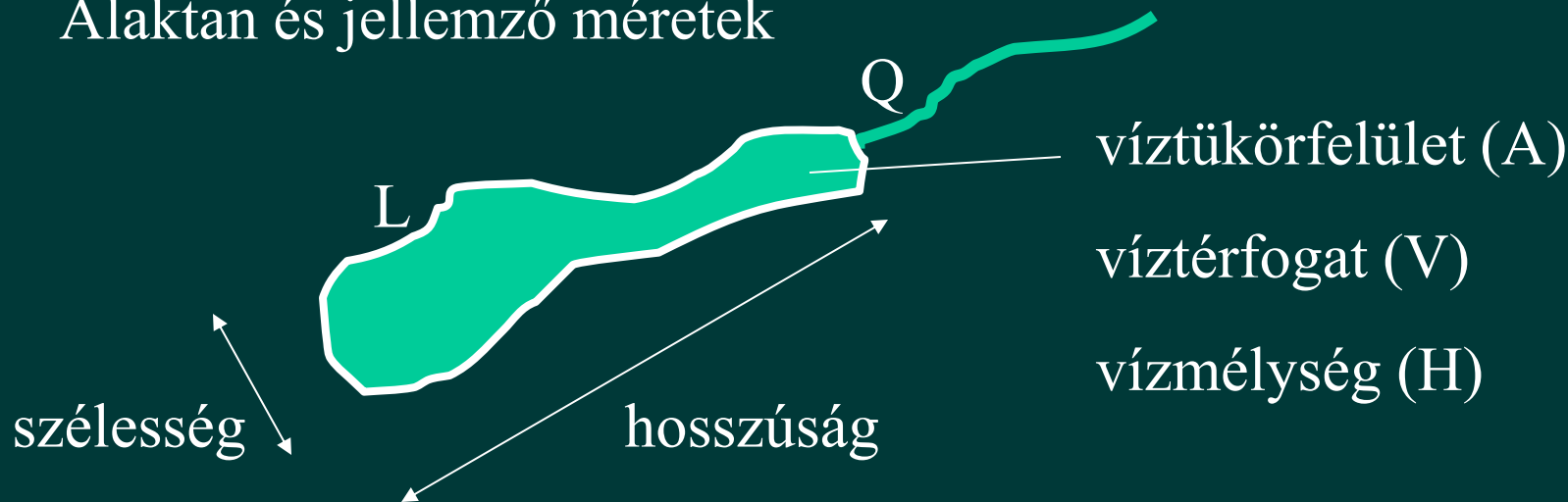


Völgyzárógátas tározók



Tavak hidrológiája és morfológiája

Alaktan és jellemző méretek



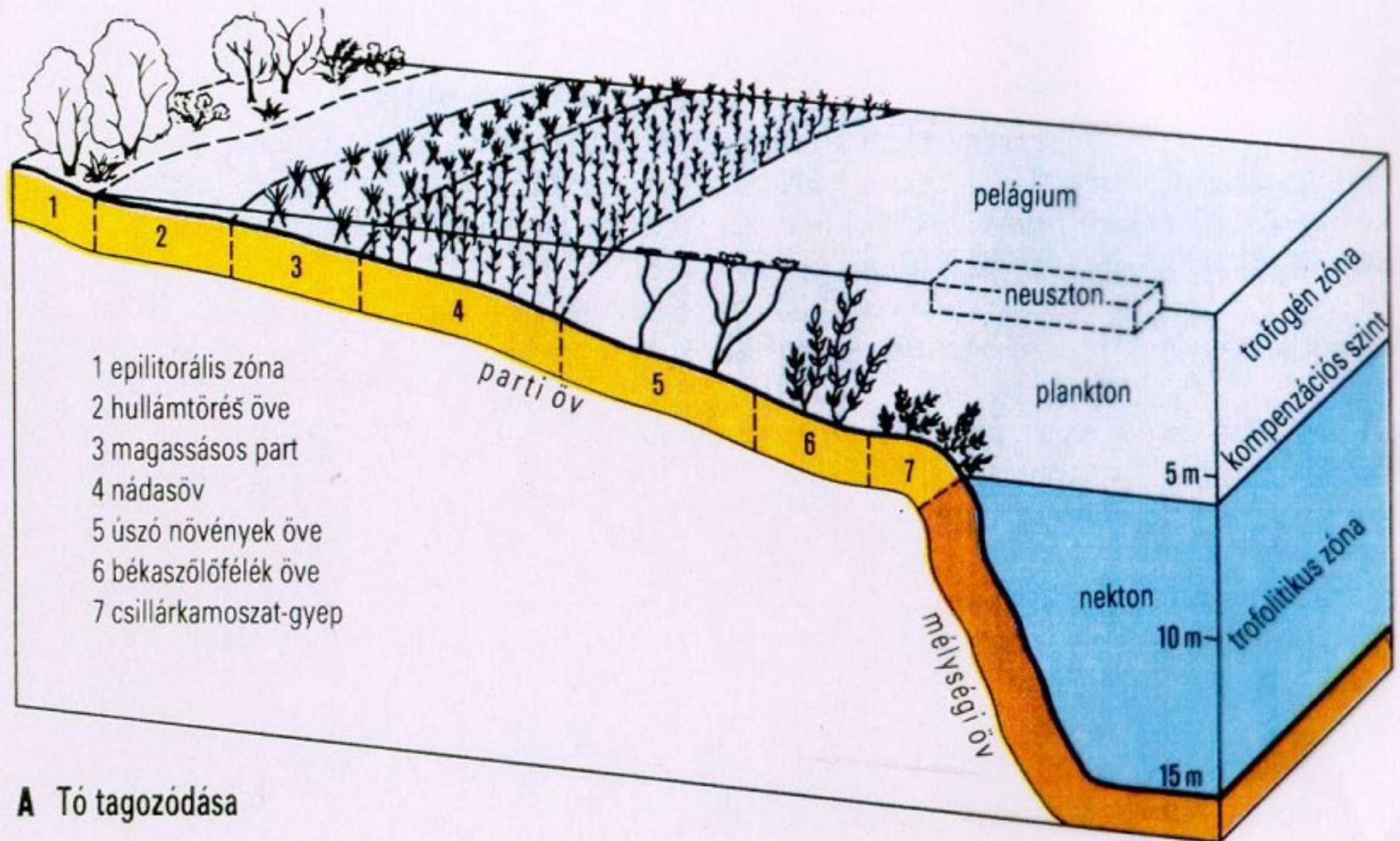
Tartózkodási idő (feltöltődési, vízkicserélődési idő): $\tau = \frac{V}{Q}$

Hígulás, megújulási sebesség: $\frac{1}{\tau} = \frac{Q}{V}$

Partvonal hosszúság (L)

Partvonal tagoltság: $D_L = \frac{L}{2\sqrt{\pi A}}$

LITORÁLIS ZÓNA



A Tó tagozódása

Tavak vízmérlege

Befolyó – elfolyó + csapadék – párolgás ± talajvíz

$$\frac{dV}{dt} = Q(t)_{Be} - Q(t)_{Ki} + Cs(t)A - P(t)A \mp TV(t)$$

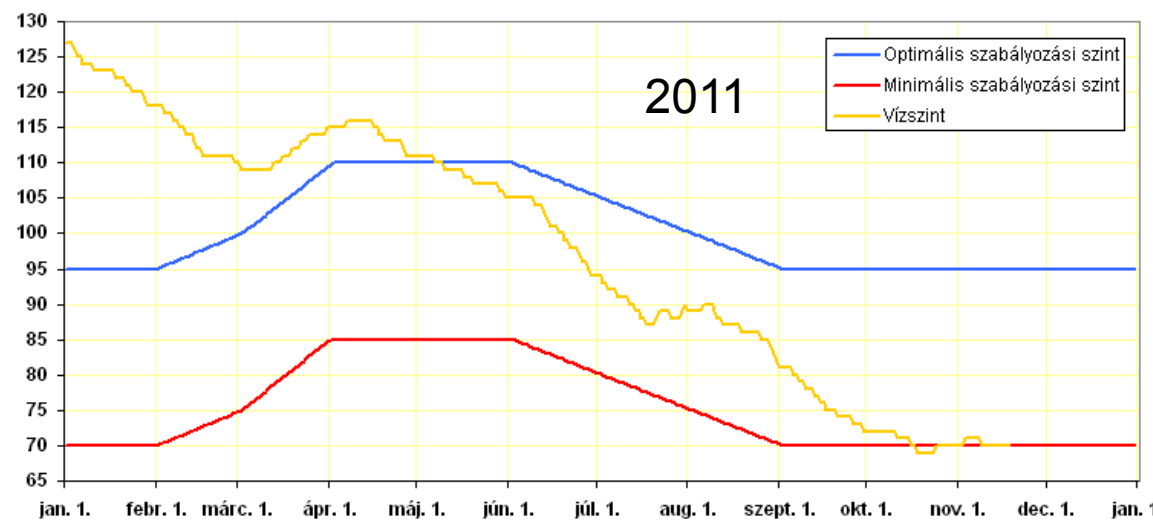
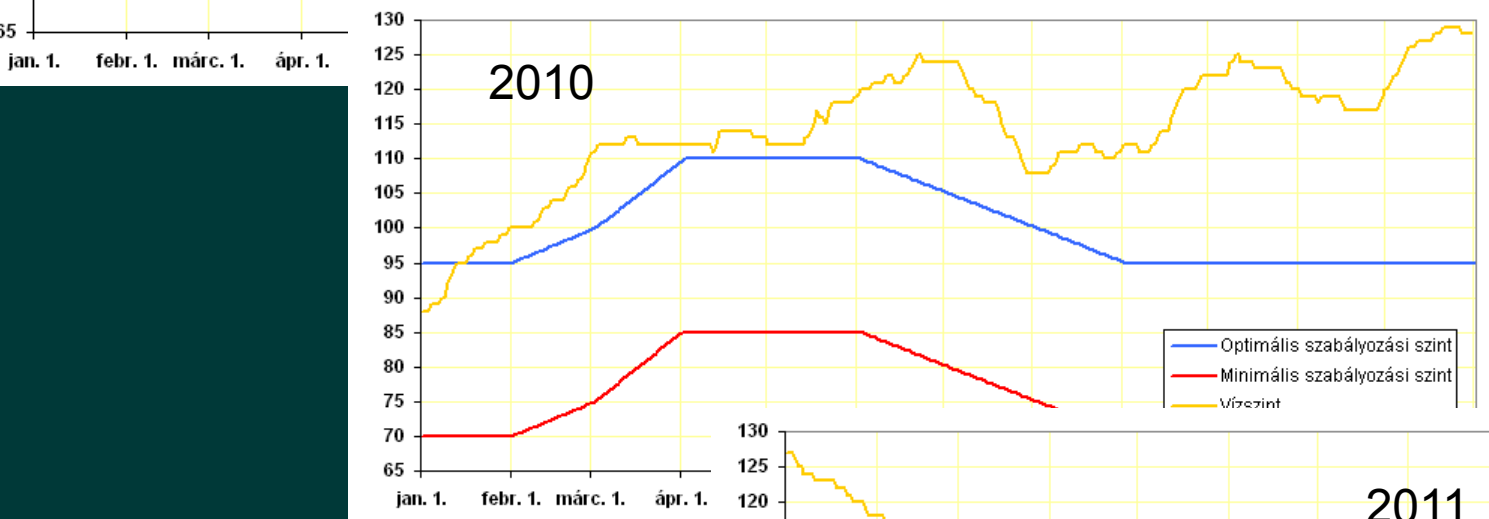
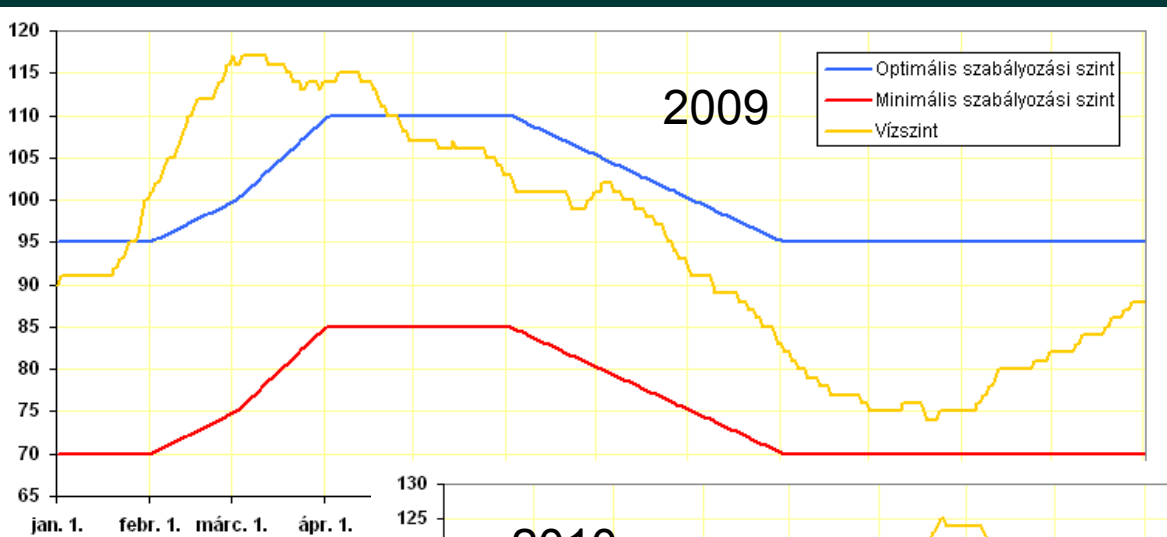
Szabályozott tavak: $\int_0^T V(t)dt = áll \quad T = 1év$

Vízmérleg szerepe:

Tartózkodási időt befolyásolja

Sótartalom hosszú távú alakulása (lefolyástalan tavak töményednek)

Tápanyag visszatartás (oldott és partikulált formák, szezonális változások)

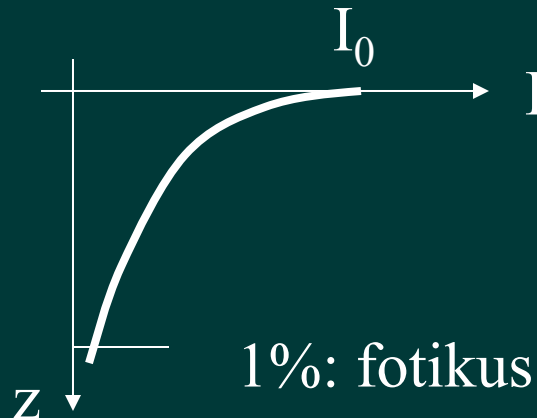


HŐMÉRSÉKLET ÉS FÉNY

Fényintenzitás vertikális eloszlása: **Lambert** törvény

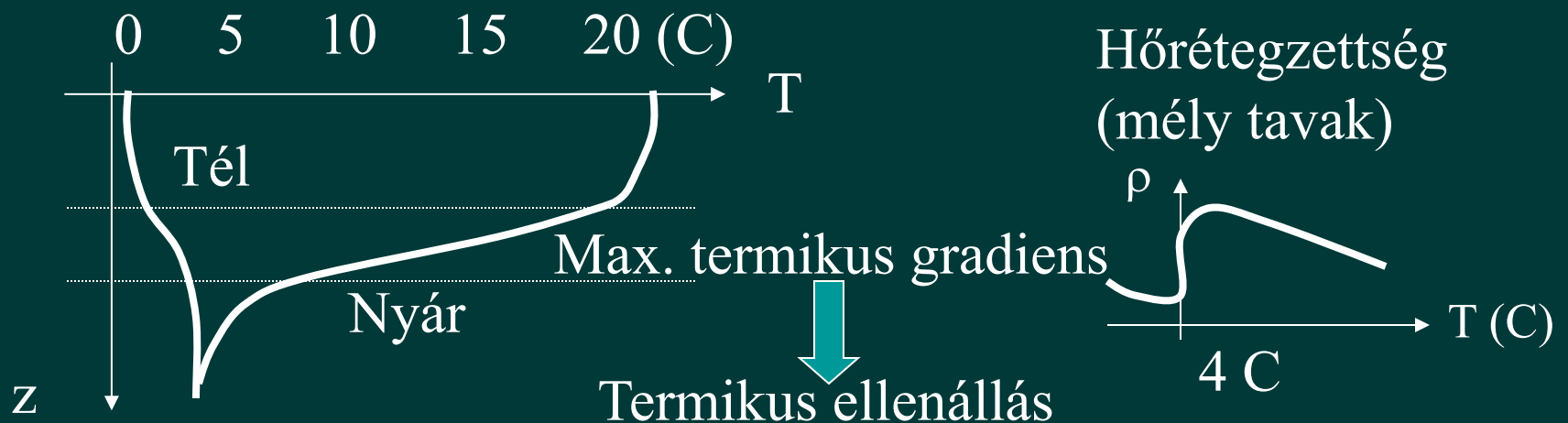
$$\frac{dI}{dz} = -k_e I$$

Extinkciós tényező (k_e)

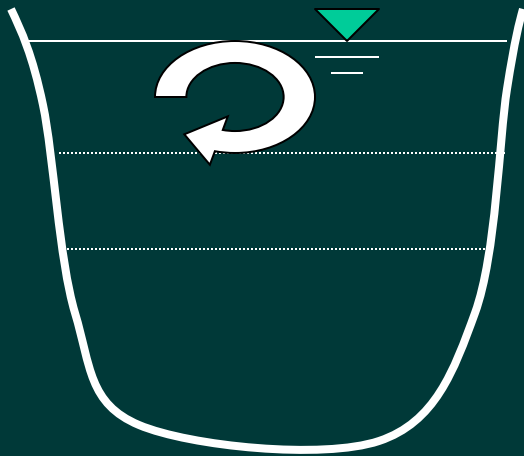


1%: fotikus zóna

Hőmérséklet vertikális eloszlása



Tavak rétegződése: Mély tavak



Epilimnion

Metalimnion

Hypolimnion

Jellemzők: hőrétegzettség, időszakos cirkuláció (átfordulás),
Függ: szél kinetikai energiája és a sűrűség különbségből
adódó termális ellenállás (számítható!)

Sekély tavak



Fenékig átkevert

Nincs

hőrétegzettség!

Vízmozgások

- **Aperiodikus áramlások:**

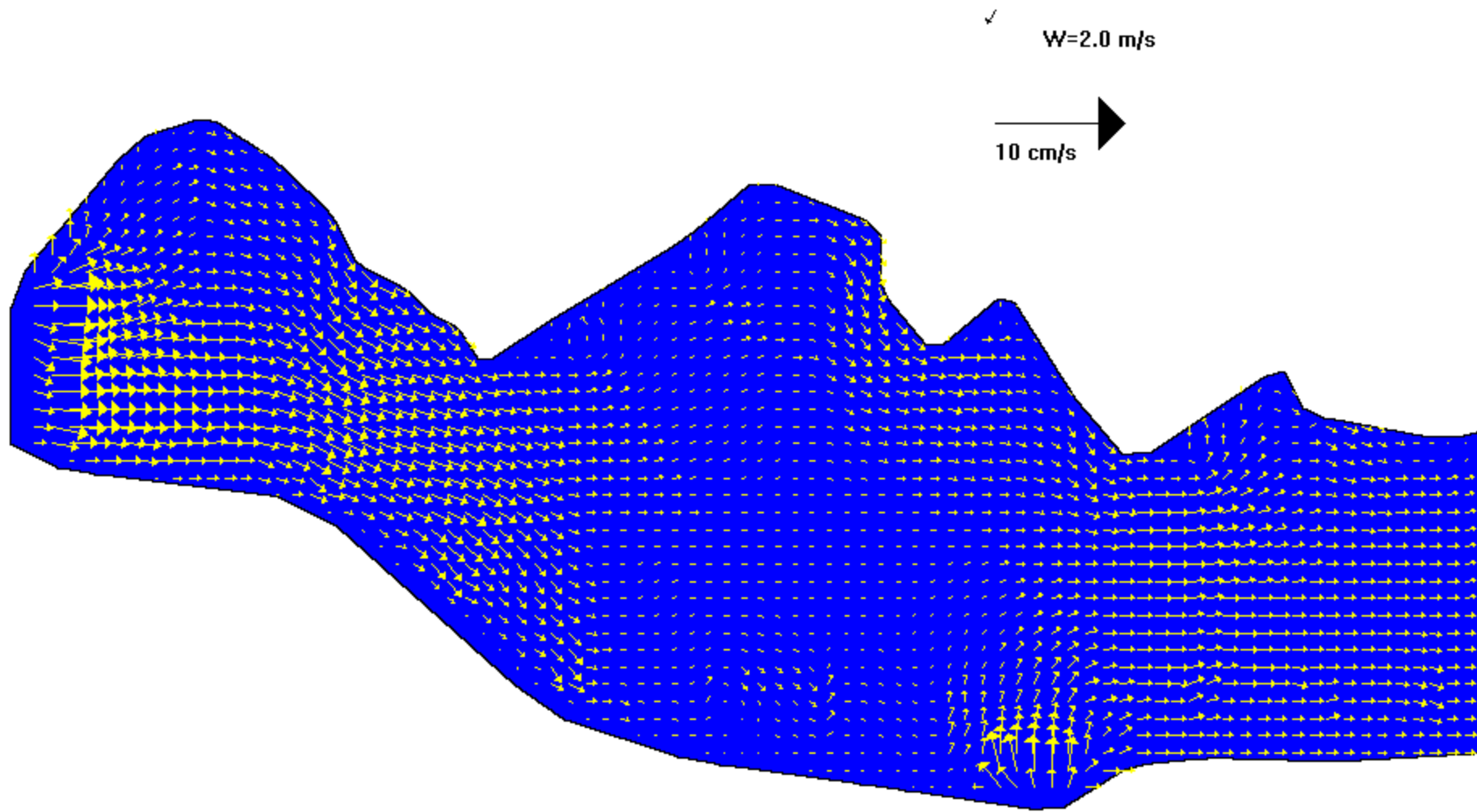
Szél ill. nyomáskülönbség hatására kialakuló áramlások

- **Periodikus vízmozgások:**

Szél keltette hullámozgás (függ: szélesség, meghajtási hossz, vízmélység)

Tóingás (seiche): a szél hatására a víztömeg feltorlódik, majd a szél leálltával visszalendül (Balaton: hossz- és keresztirány)

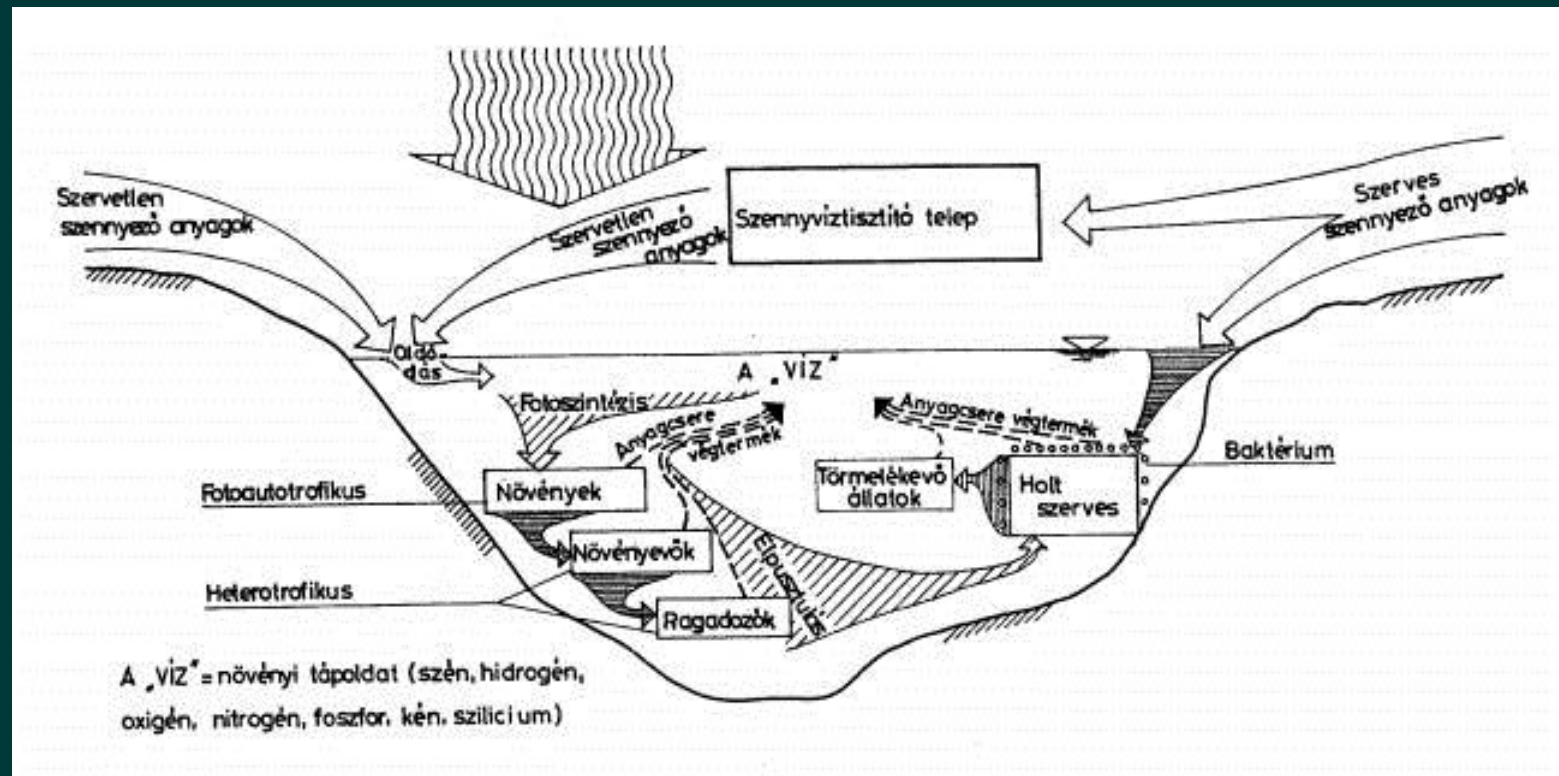
➤ **Üledék felkeveredés (áramlásból és a hullámmozgásból származó csúsztató feszültség idézi elő) ⇒ fény ⇒ biomassza**



TÁPANYAG ELÁTOTTSÁG – tavi anyagforgalom

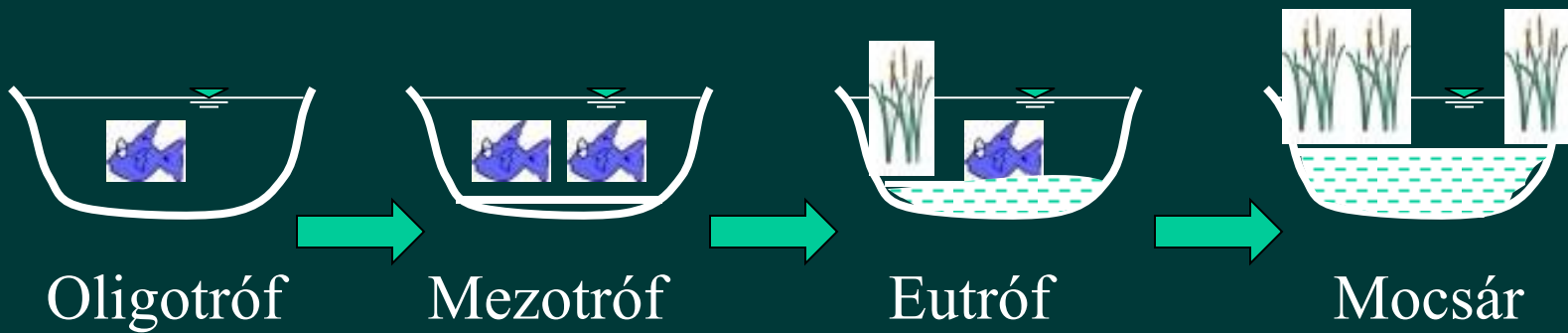
Források:

- Természetes: vízgyűjtő közetei, légköri kiülepedés
- Antropogén: kommunális és ipari szennyvíz, mezőgazdasági területek (műtrágyák), állattartás, belterületi csapadékvíz lefolyás)



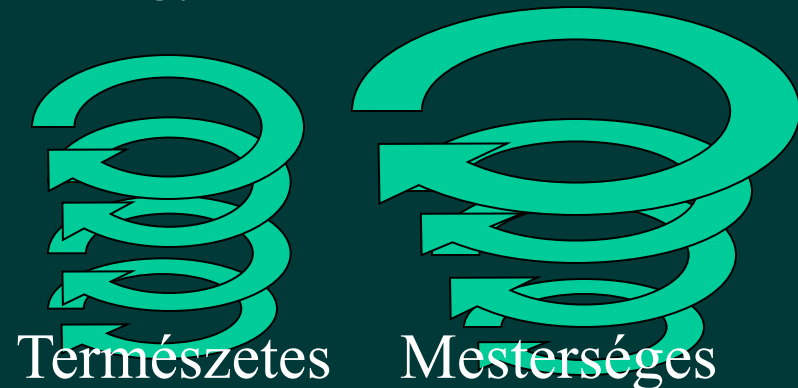
IDŐBELI VÁLTOZÁSOK (szukcesszió):

Természetes: termőképesség (trofitás) növekedése (tápanyag dúsulás), feltöltődés, sótartalom növekedése (lefolyástalan tavak) – évezredes léptékű folyamat



Mesterséges: eutrofizálódás, savasodás, vízháztartás változása (kiszáradás) – az antropogén hatások gyors (évtizedek alatt látható) változásokat okoznak

Időlépték eltérő!



MESTERSÉGES EUTROFIZÁLÓDÁS

Következmények (tünetek és hatásaik):

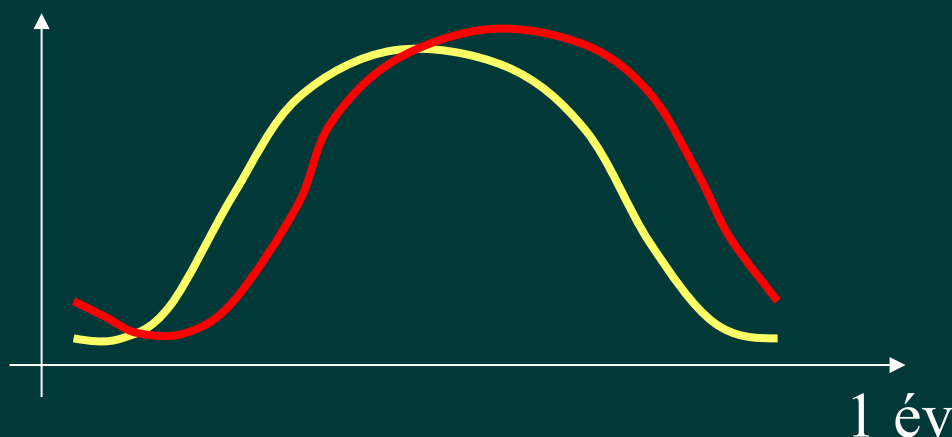
- „Algásodás”: esztétika (rekreáció), vízhasználatok
- Vízkezelési problémák (pl. szűrők eltömődése)
- Íz- és szaghatás
- Toxikus hatások (alगतoxinok)
- Szervesanyag felhalmozódás \Rightarrow oxigén hiány (üledék)
- O_2 napszakos ingadozása
- Makrofiták elburjánzása (bentikus eutrofizáció)

INDIKÁTOROK

- **Elsődleges termelés (g szerves szén /m² /nap)**
- **Algaszám**
- **Biomassza összes tömege**
- **Fitoplankton összetétele**
- **Klorofill (Chl-a)**
- **Tápanyagok (ÖP, ÖN), hozzáférhető: BAP**
- **Fényviszonyok, átlátszóság (pl. Secchi mélység)**
- **Oldott oxigén (átlag és napi min-max)**

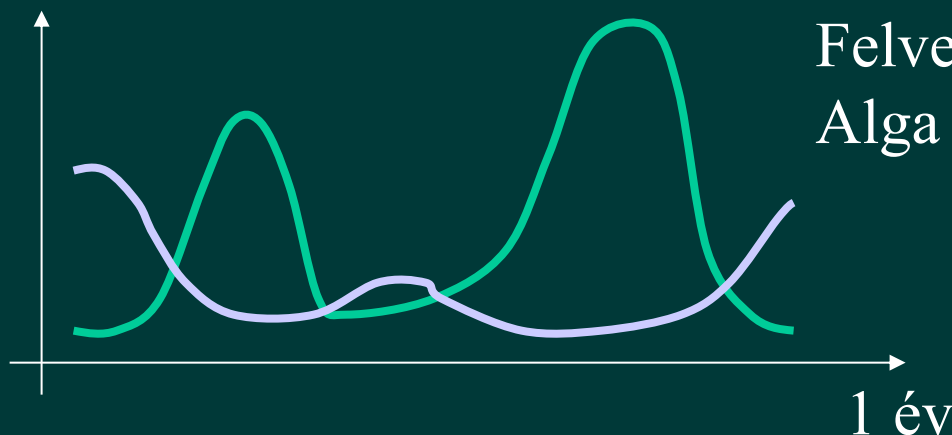
FOLYAMATOK IDŐBELI VÁLTOZÁSA (SZEZONÁLIS DINAMIKA)

R, T



Természeti tényezők:
Sugárzás (R),
Hőmérséklet (T)

N, P
Chl



Felvehető tápanyagok (N,P),
Alga biomassza (Chl)

KORLÁROZÓ TÉNYEZŐK (LIMITÁLÁS)

Az algák növekedését a hőmérsékleti- és vényviszonyok, és a rendelkezésre álló tápanyagok mennyisége korlátozza.

FOTOSZINTÉZIS ÉS SZTÖCHIOMETRIA

(a tápanyag limitálás elvi alapjai)



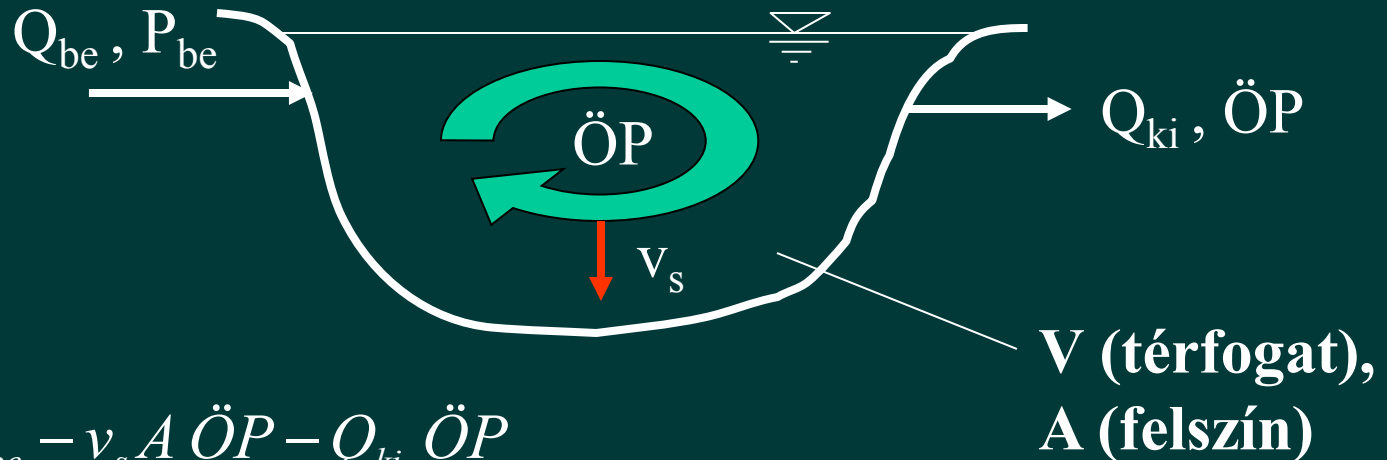
- Fény + CO₂ és szervetlen tápelemek \Leftrightarrow növényi protoplazma (elsődleges termelés \Leftrightarrow légzés)
- $\text{C}_{106}\text{H}_{263}\text{O}_{110}\text{N}_{16}\text{P}_1$:elemek aránya a sejtben: 106 : 16 : 1 (Liebig elv)
- Redfield arány: P és N felvétel és leadás aránya az óceánokban 1 : 10 (tömegarány)
- Édesvizek hasonlóan viselkednek (tó specifikus)
- A limitálás szabályozó elve:
 - a szükséglethez képest legkisebb mennyiségben (arányban) rendelkezésre álló elem limitál
 - szabályozás (pl. terhelés csökkentő beavatkozás) célja a valamelyik elem (általában a foszfor) limitálóvá tétele

TAVAK OSZTÁLYOZÁSA TROFITÁS SZERINT (OECD, 1967)

	Oligotróf	Mezotróf	Eutróf	Hipertróf
ÖP átlag (mg/m ³)	10	35	100	>100
Chl-a (átlag/max) (mg/m ³)	2.5/8	8/25	25/75	>25/>75
Secchi mélység (m)	6	3	1.5	<1.5
Hipol.O ₂ telítettsége (%)	80	10	<10	-

EGYSZERŰ ÖP MODELL: tó ÖP anyagmérlege

- Feltevések: - csak összes P (ÖP) jellemzi a tavi minőséget
- teljes elkeveredés (1 reaktor modell, vagy reaktor sor)



$$\frac{d(V \ddot{O}P)}{dt} = P_{be} - v_s A \ddot{O}P - Q_{ki} \ddot{O}P$$

$\ddot{O}P$ [g/m³] – összes P koncentráció a tóban (teljes elkeveredés)

P_{be} [g/év] – külső P terhelés

Q [m³/év] – befolyó, elfolyó vízhozam

v_s [m/év] – látszólagos (eredő) ülepedési sebesség

Egy év alatt (évi átlag):

$$\int_0^{1\text{év}} \frac{d(V \ddot{O}P)}{dt} dt = \int_0^{1\text{év}} (P_{be}(t) - v_s A \ddot{O}P(t) - Q_{ki}(t) \ddot{O}P(t)) dt$$



≈ 0



$$P_{be,\text{éves}} - v_s A \overline{\ddot{O}P} - Q_{ki,\text{éves}} \overline{\ddot{O}P} = 0$$

$$P_\lambda = \overline{\ddot{O}P} = \frac{P_{be,\text{éves}}}{Q_{\text{éves}} + v_s A} = \frac{P_{fajl}}{q_{fajl} + v_s}$$



Normalizált terhelés (évi átlagos összes P koncentráció)

p_{fajl} – fajlagos $\ddot{O}P$ terhelés ($\text{g}/\text{m}^2/\text{év}$) - éves átlag

q_{fajl} – fajlagos hidraulikai terhelés ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{év} = \text{m}/\text{év}$)

P_λ – éves átlagos P koncentráció (g/m^3)

A Vollenweider-féle statisztikus formula (1980)

$$P_{\lambda} = \frac{p_{fajl}}{q_{fajl} + v_s} = \frac{p_{fajl}}{q_{fajl}} \frac{1}{1 + \frac{v_s}{q_{fajl}}} = \frac{p_{fajl}}{q_{fajl}} \frac{1}{1 + \sqrt{\tau}}$$

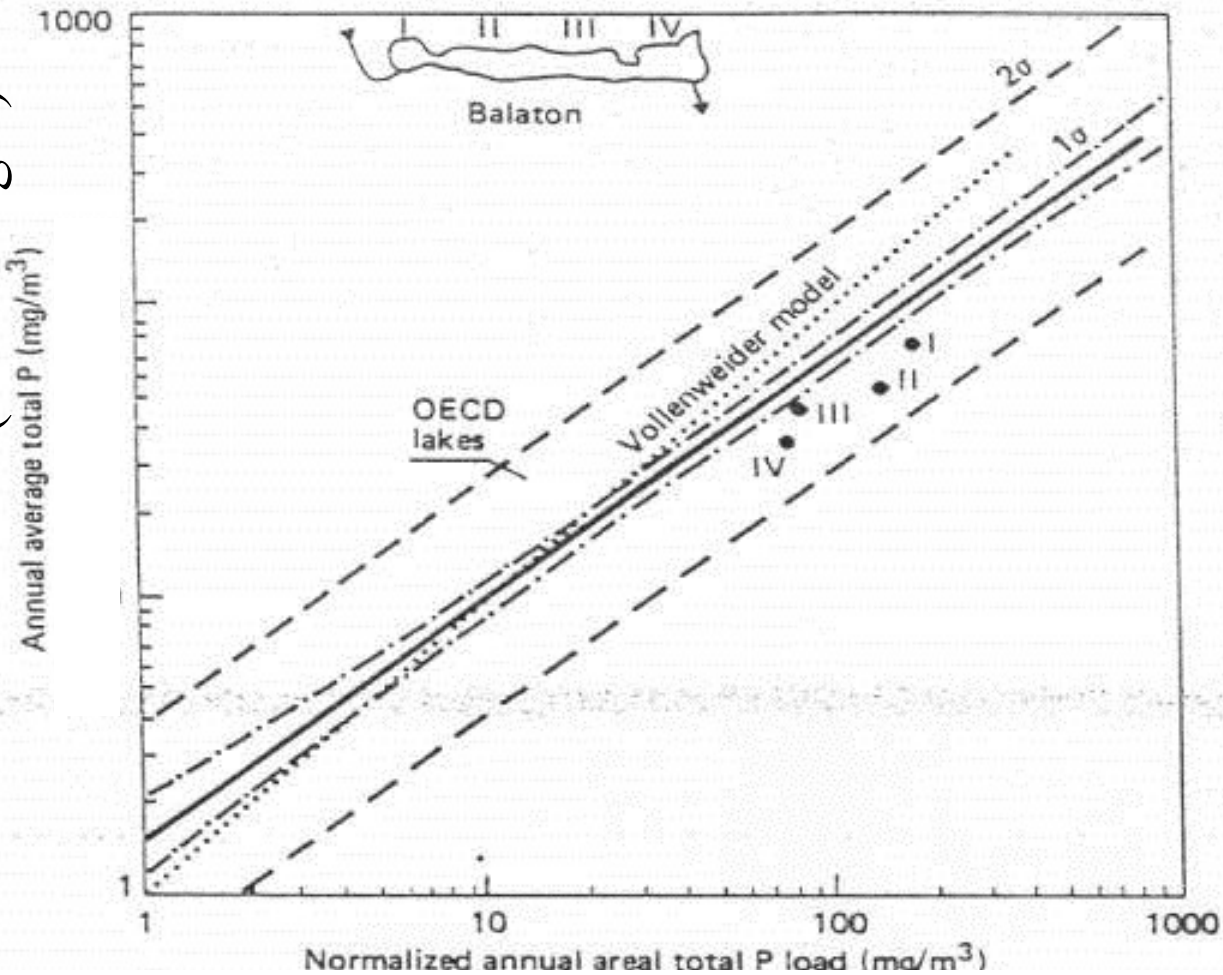
Tartózkodási idő (év)

A tápláló (befolyó) vizek átlagos P koncentrációja (g/m³)

Sekély tavakra módosított forma:

$$P_{\lambda} = \frac{p_{fajl}}{q_{fajl}} \frac{1}{1 + 2\sqrt{\tau}}$$

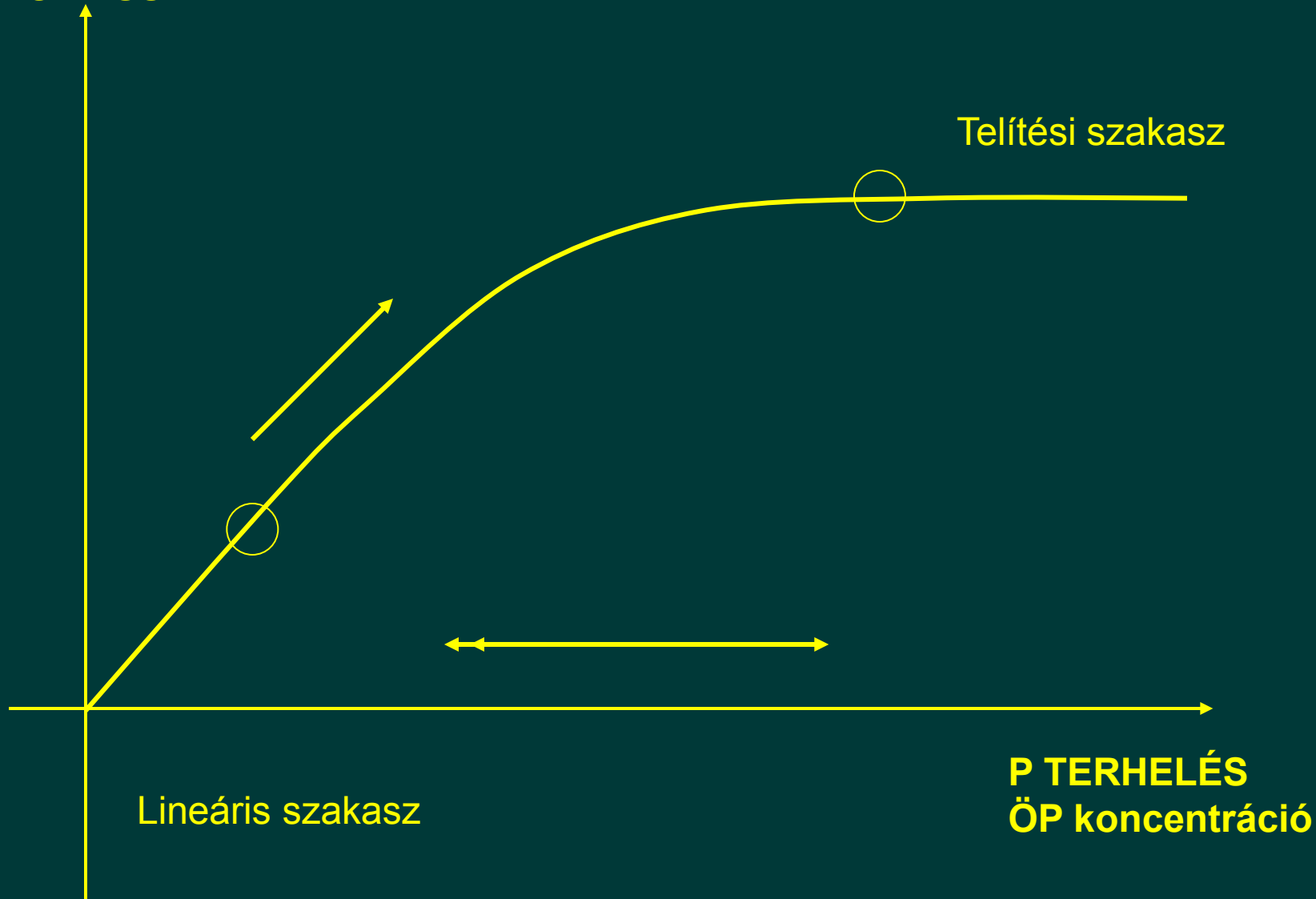
Mért koncentráció (éves átlag P)



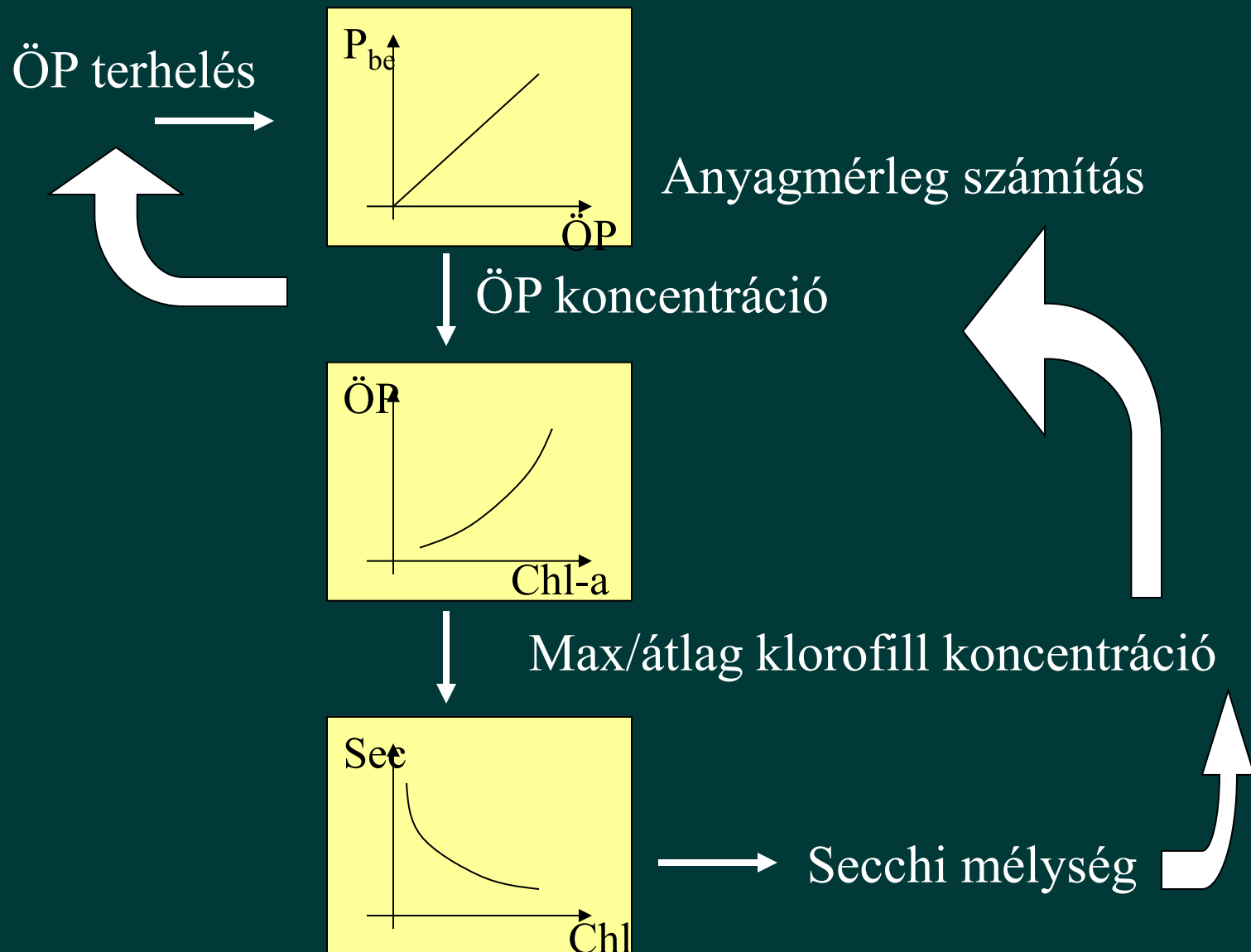
Számított koncentráció:
$$P_{\lambda} = \frac{P_{fajl}}{q_{fajl}} \frac{1}{1 + \sqrt{\tau}}$$

„TÓ VÁLASZ” : Biomassza alakulása a külső terheléstől függően

BIOMASSZA



Tervezés empirikus összefüggések alapján



Vollenweider (statisztikus) modell előnyei:

Egyszerű, gyors, egy paraméter

Tervezés, előrejelzés

Hosszú távú átlagok, terhelés adatok becsülhetők

A modell alkalmazási korlátjai:

Éves átlagok – több éves adatsor szükséges az „igazoláshoz”

Egy paraméter (v_s) – aggregált jellemző (P forgalmat befolyásoló összes hatást összegzi) – empiria, nincs mögötte „fizikai tartalom”

Szezonális változásokat nem tudja kezelni

Fény, vízmélység (fotikus zóna) szerepe nem jelenik meg

Lineáris „választ” ad a terhelés függvényében, belső terhelés hiánya



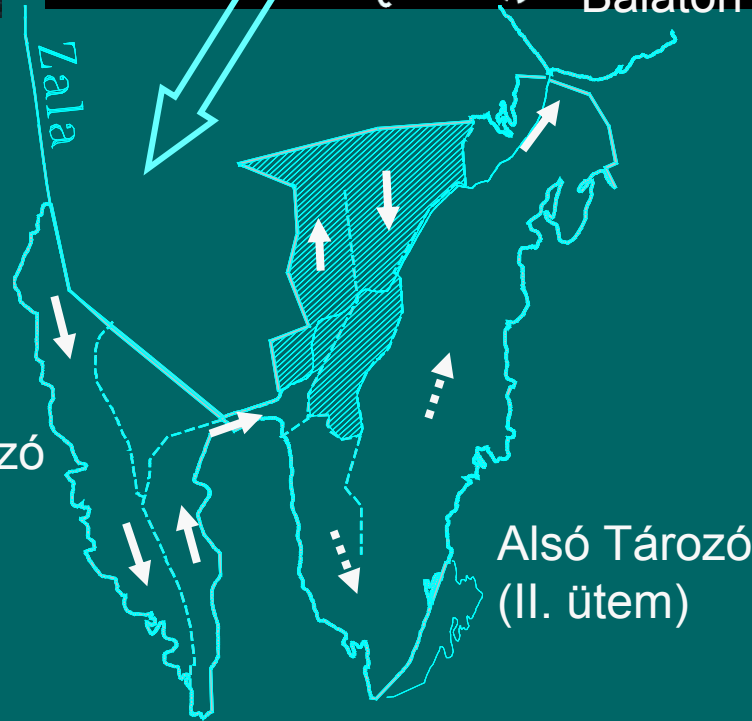
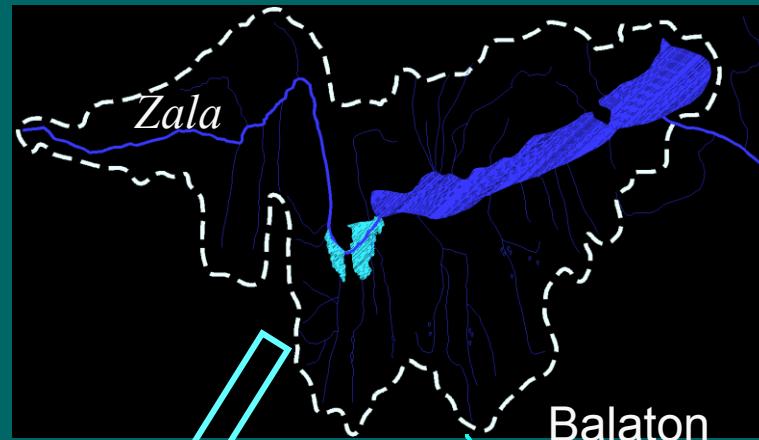
Zala

Zalaegerszeg

Balaton

Kis-Balaton

Kis-Balaton vízvédelmi tározók



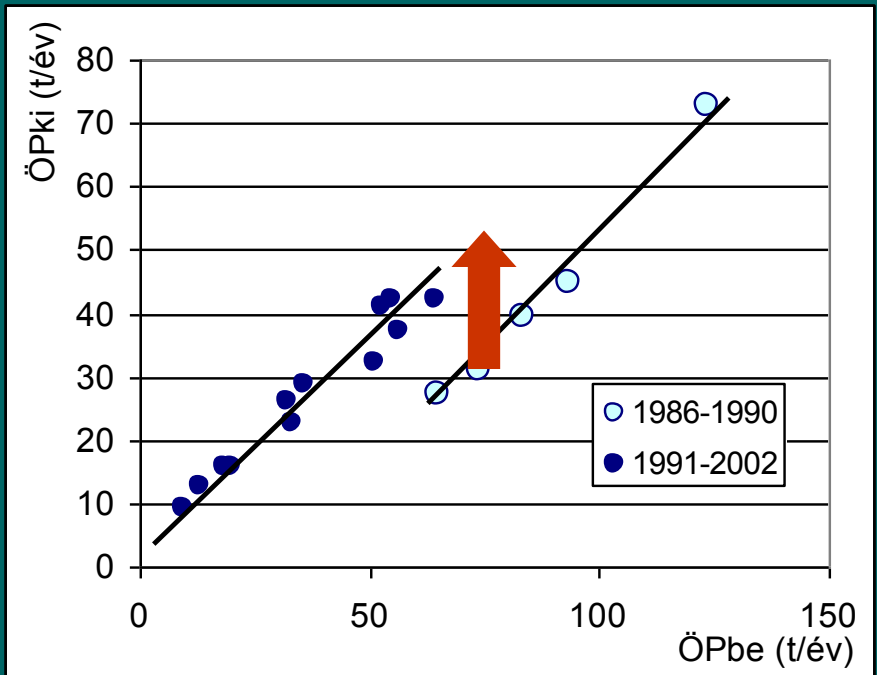
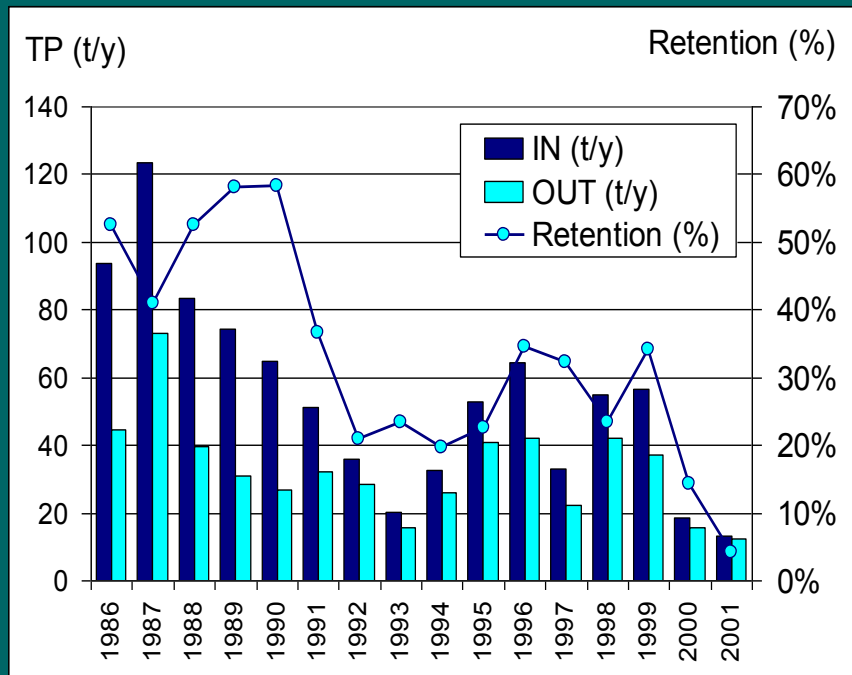
$V = 21 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, $A = 18 \text{ km}^2$
 $H = 1.15 \text{ m}$,
 $T = 1.5 \text{ hónap}$
 $Avgy = 1550 \text{ km}^2$

Felső-tározó
(I. ütem)

Alsó Tározó
(II. ütem)

A Felső-tározó P visszatartásának változása (Összes P anyagmérleg alapján)

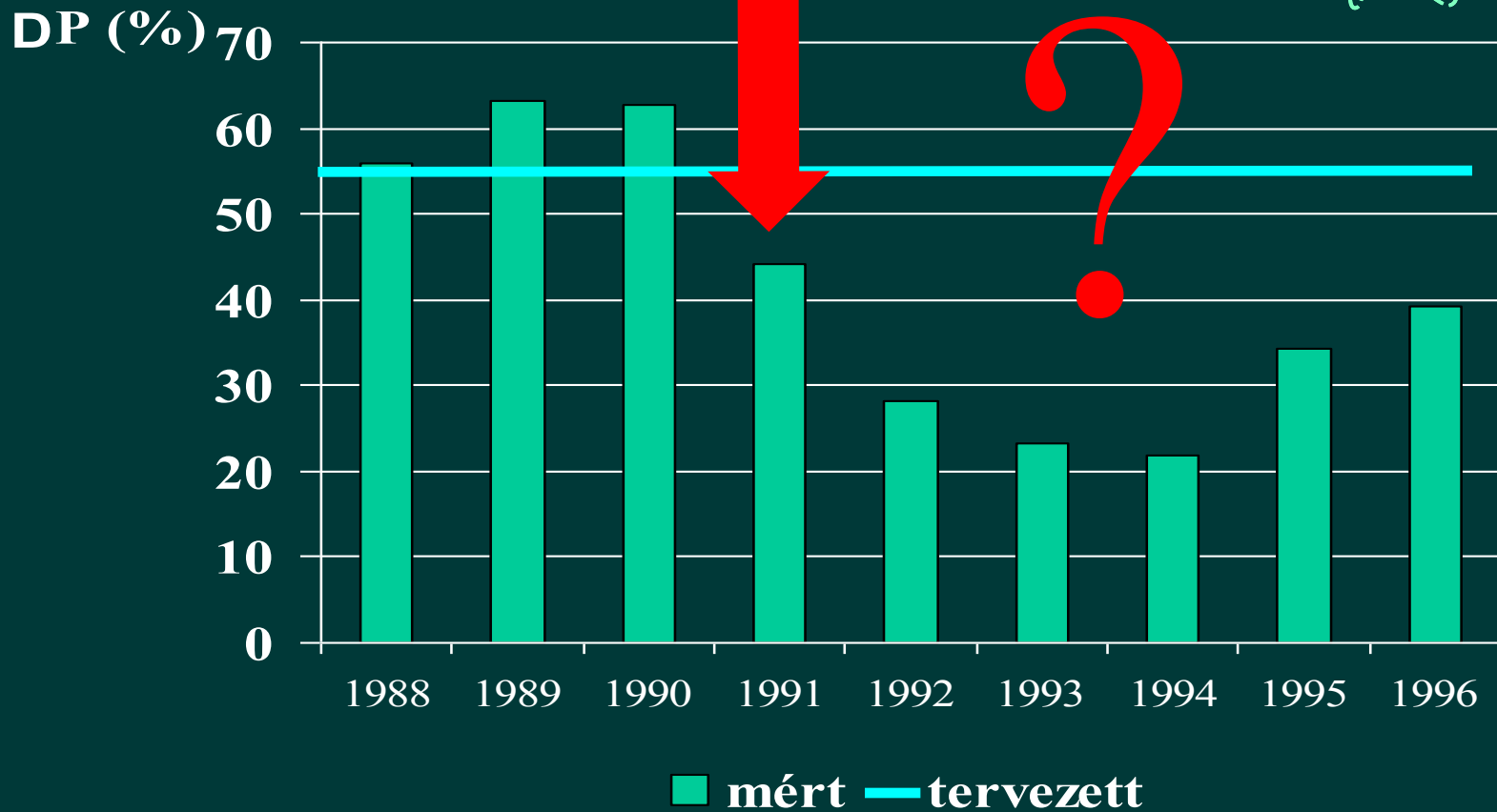
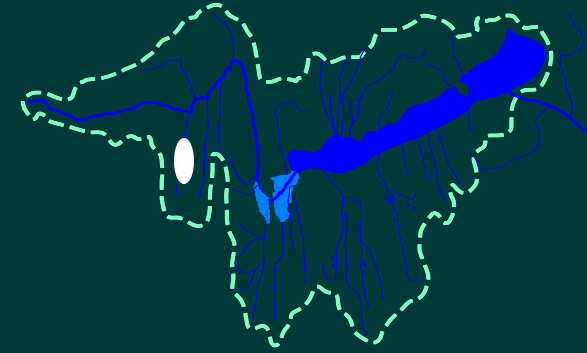
A Zala vízgyűjtőről érkező külső P terhelés csökkenését
($5 \rightarrow 2.5 \text{ g/m}^2/\text{év}$) követően a tározó P eltávolítása
(visszatartási határfoka) jelentősen visszaesett.



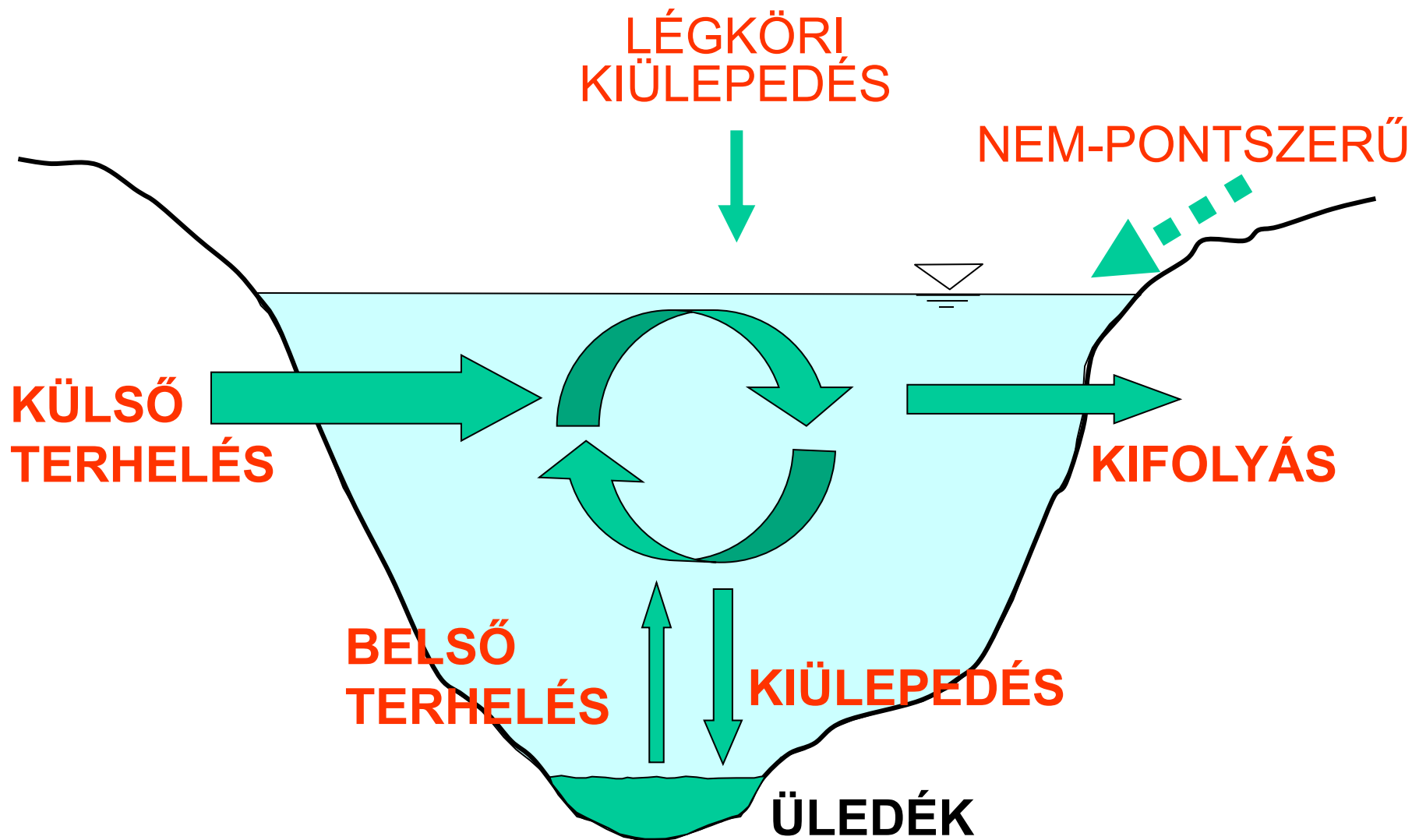
ÖP visszatartás a Kis-Balaton Felső Tározóban

$$\Delta P_{\text{tervezett}} = f(P_{\text{be}}, Q_{\text{be}}, v_s)$$

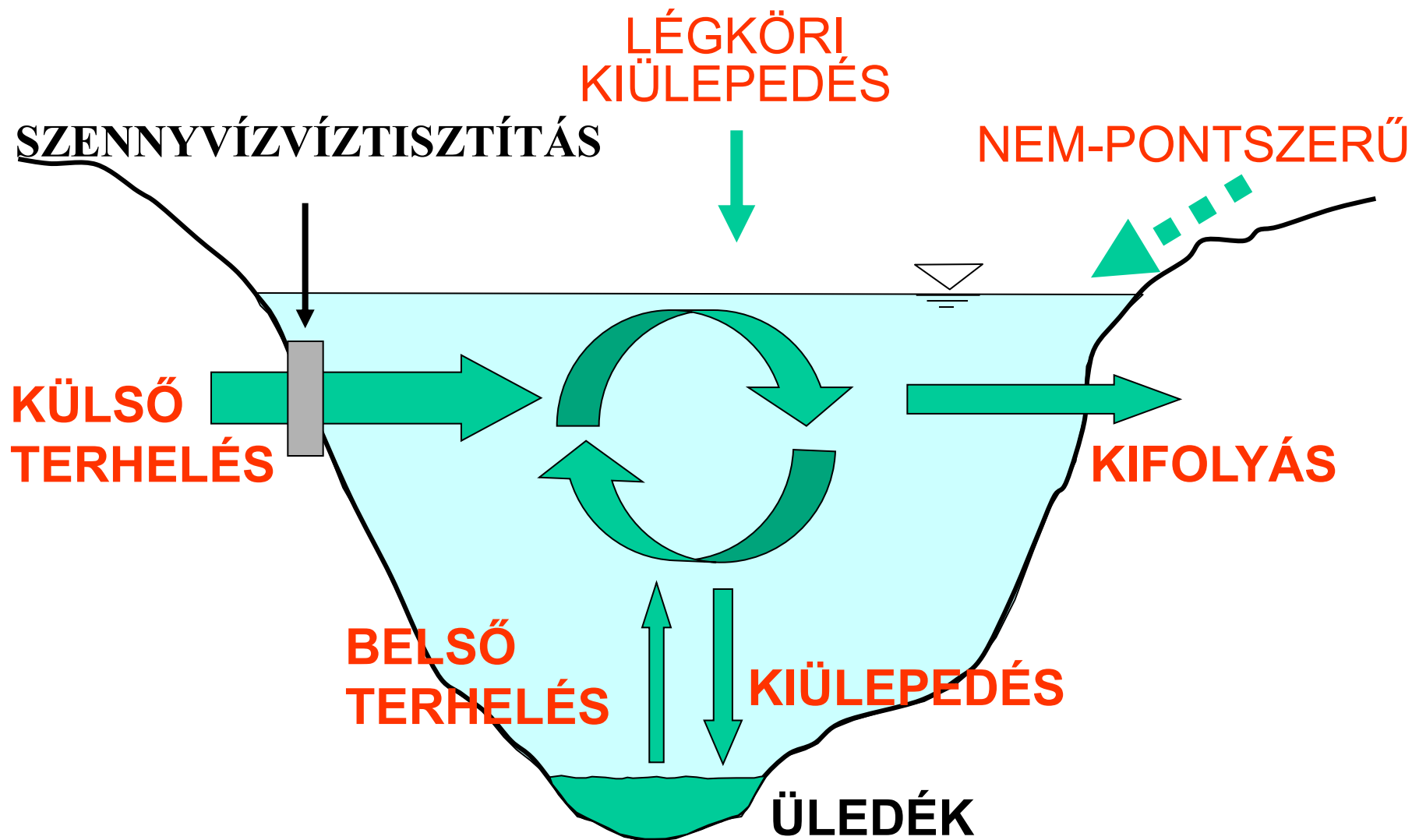
/Vollenweider/



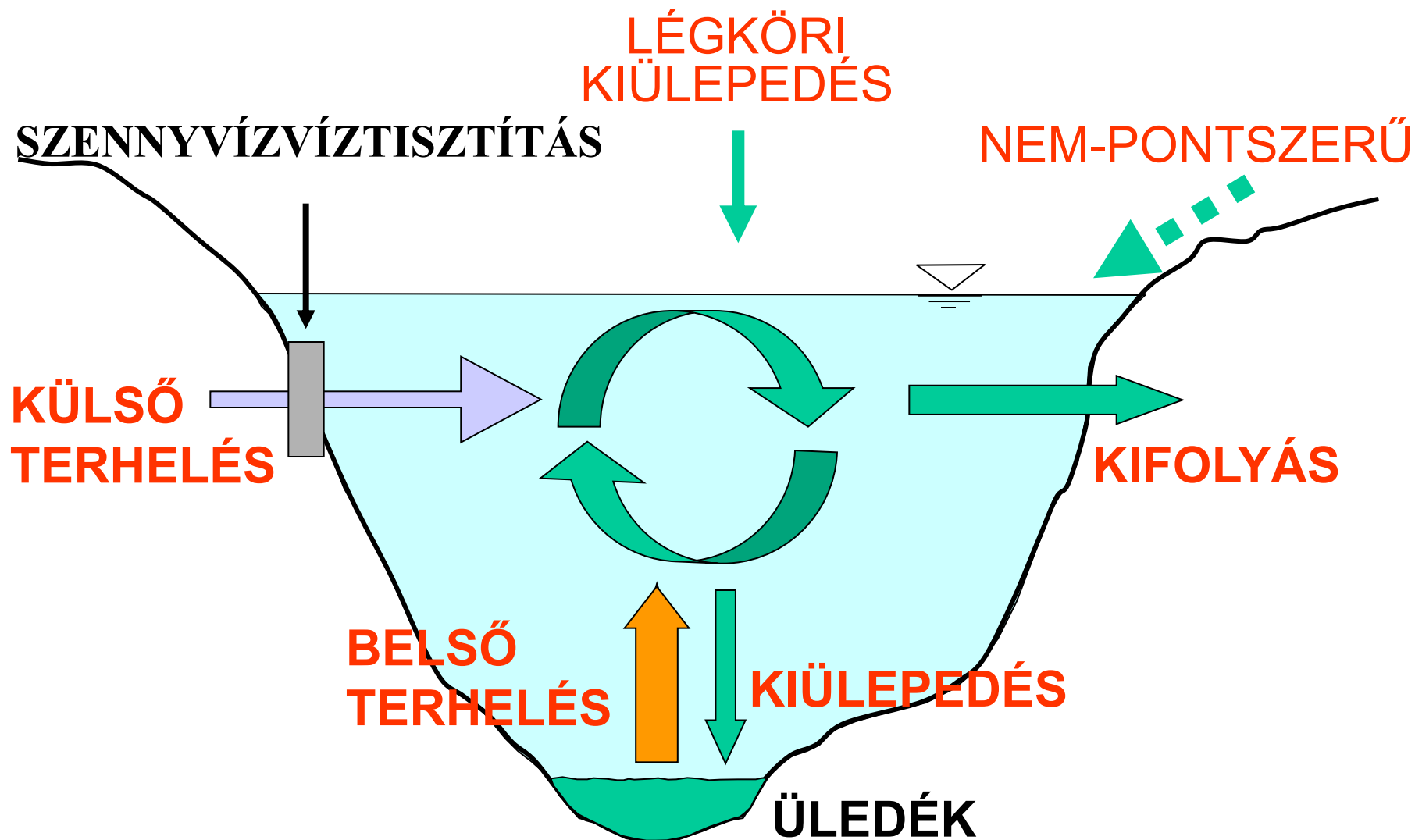
AZ ÜLEDÉK SZEREPE: BELSŐ TERHELÉS (A TÁPANYAGOK (ELSŐSORBAN A FOSZFOR) AZ ÜLEDÉKBŐL VISSZAJUT A TÓBA)



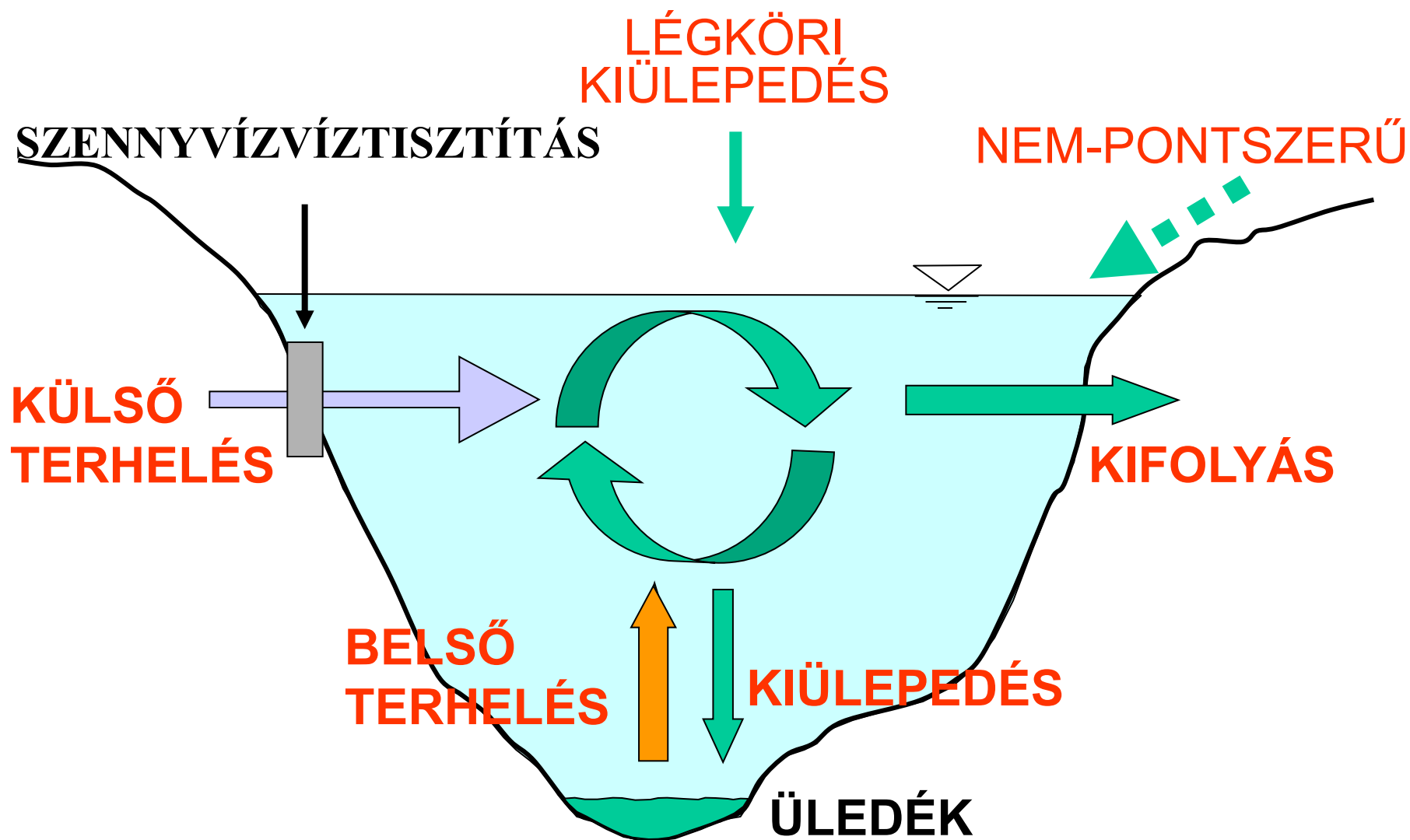
A SZABÁLYOZÁS HATÁSA : KÉSLELTETETT VÁLASZ (A KÜLSŐ TERHELÉS CSÖKKENTÉSE UTÁN A BELSŐ TERHELÉS NÖVEKSZIK)



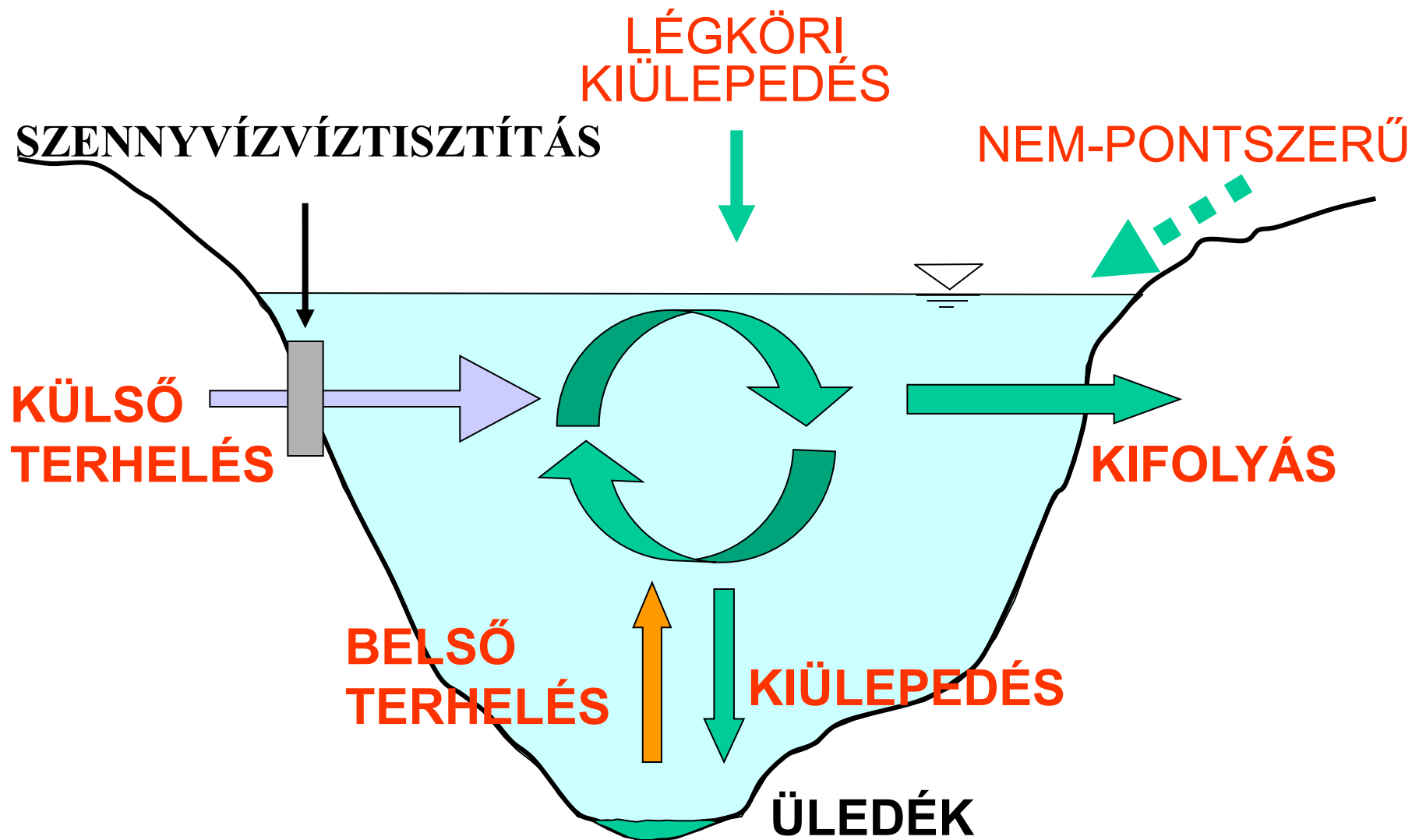
A SZABÁLYOZÁS HATÁSA : KÉSLELTETETT VÁLASZ (A KÜLSŐ TERHELÉS CSÖKKENTÉSE UTÁN A BELSŐ TERHELÉS NÖVEKSZIK)



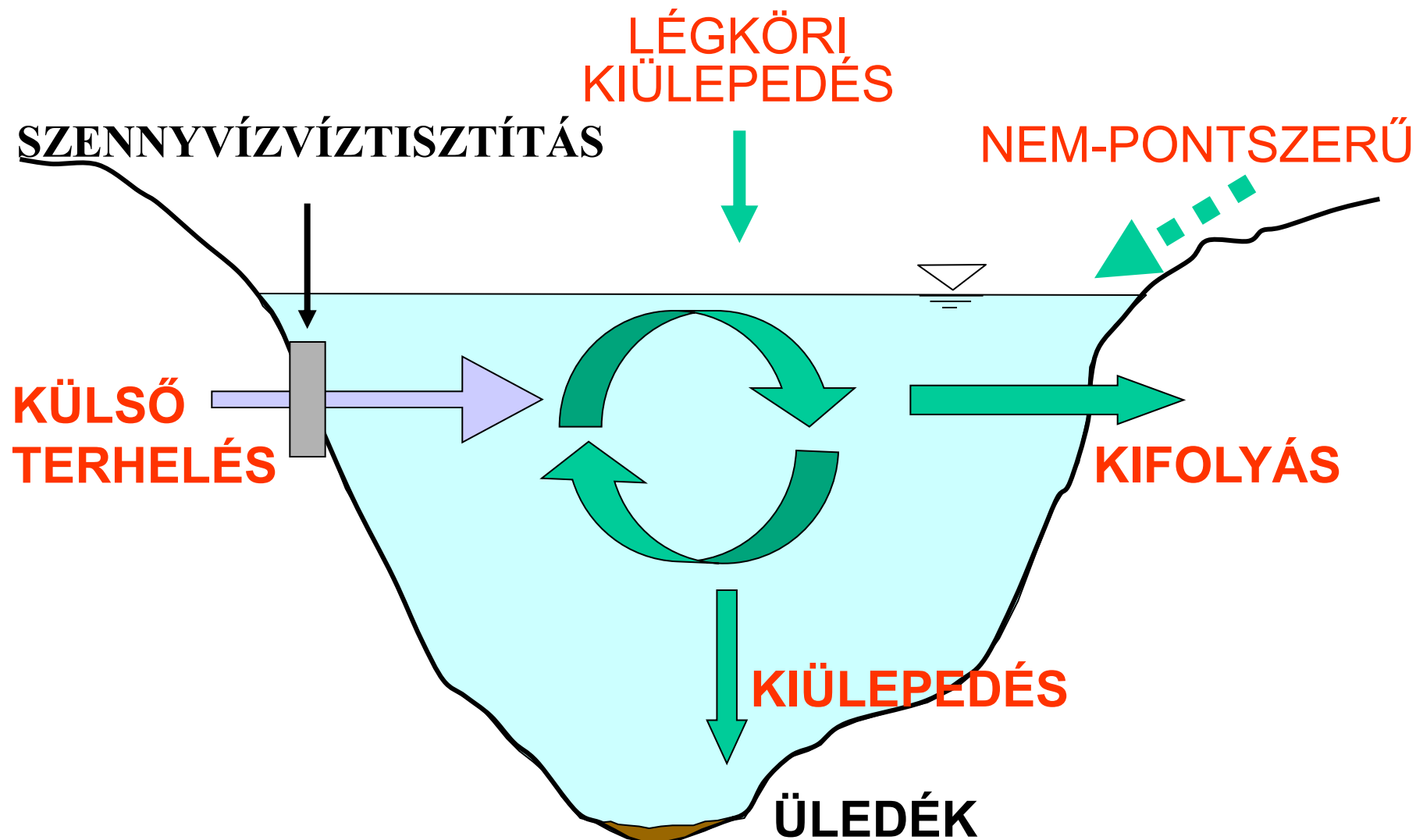
A SZABÁLYOZÁS HATÁSA : KÉSLELTETETT VÁLASZ (A KÜLSŐ TERHELÉS CSÖKKENTÉSE UTÁN A BELSŐ TERHELÉS NÖVEKSZIK)



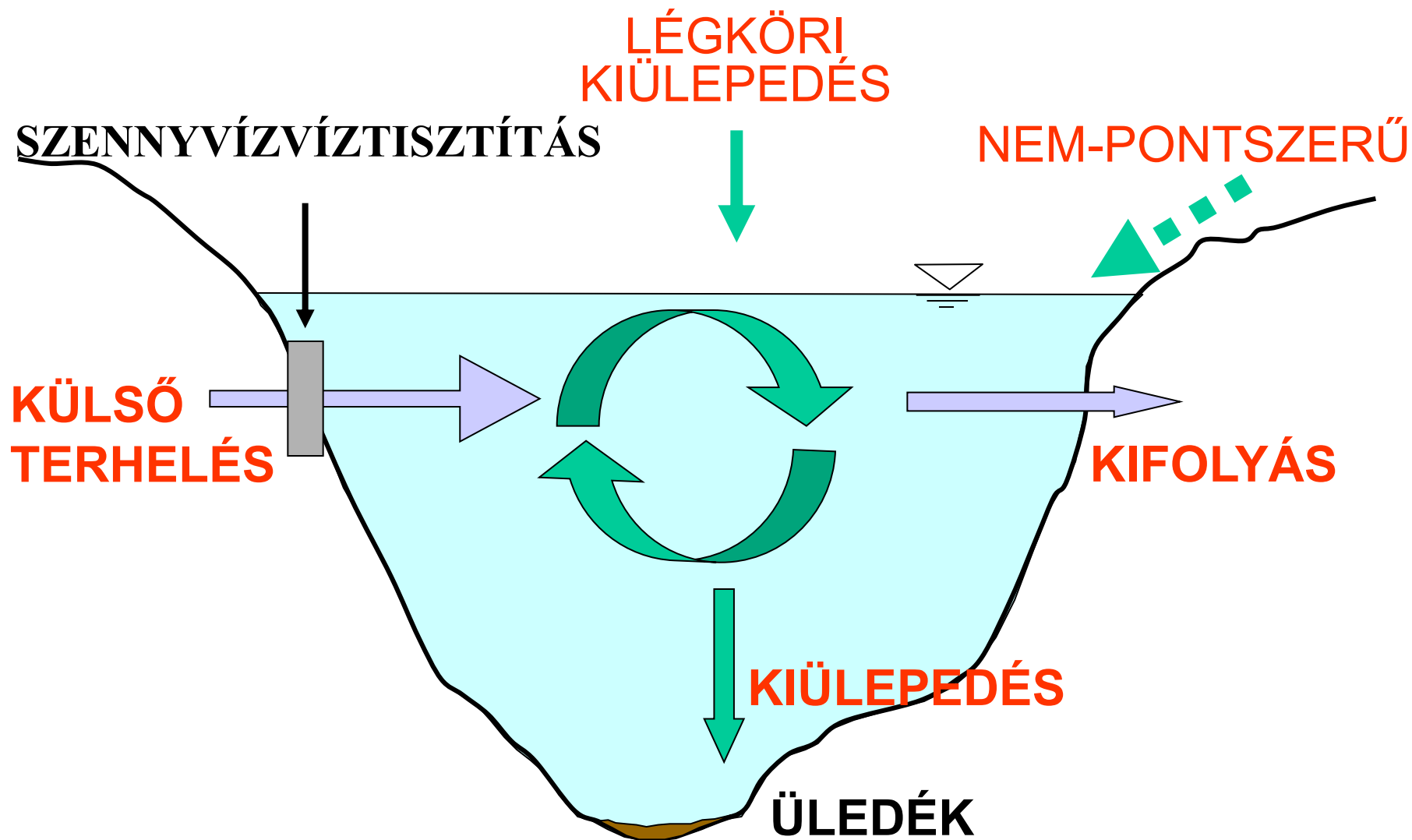
A SZABÁLYOZÁS HATÁSA : KÉSLELTETETT VÁLASZ (A KÜLSŐ TERHELÉS CSÖKKENTÉSE UTÁN A BELSŐ TERHELÉS NÖVEKSZIK)



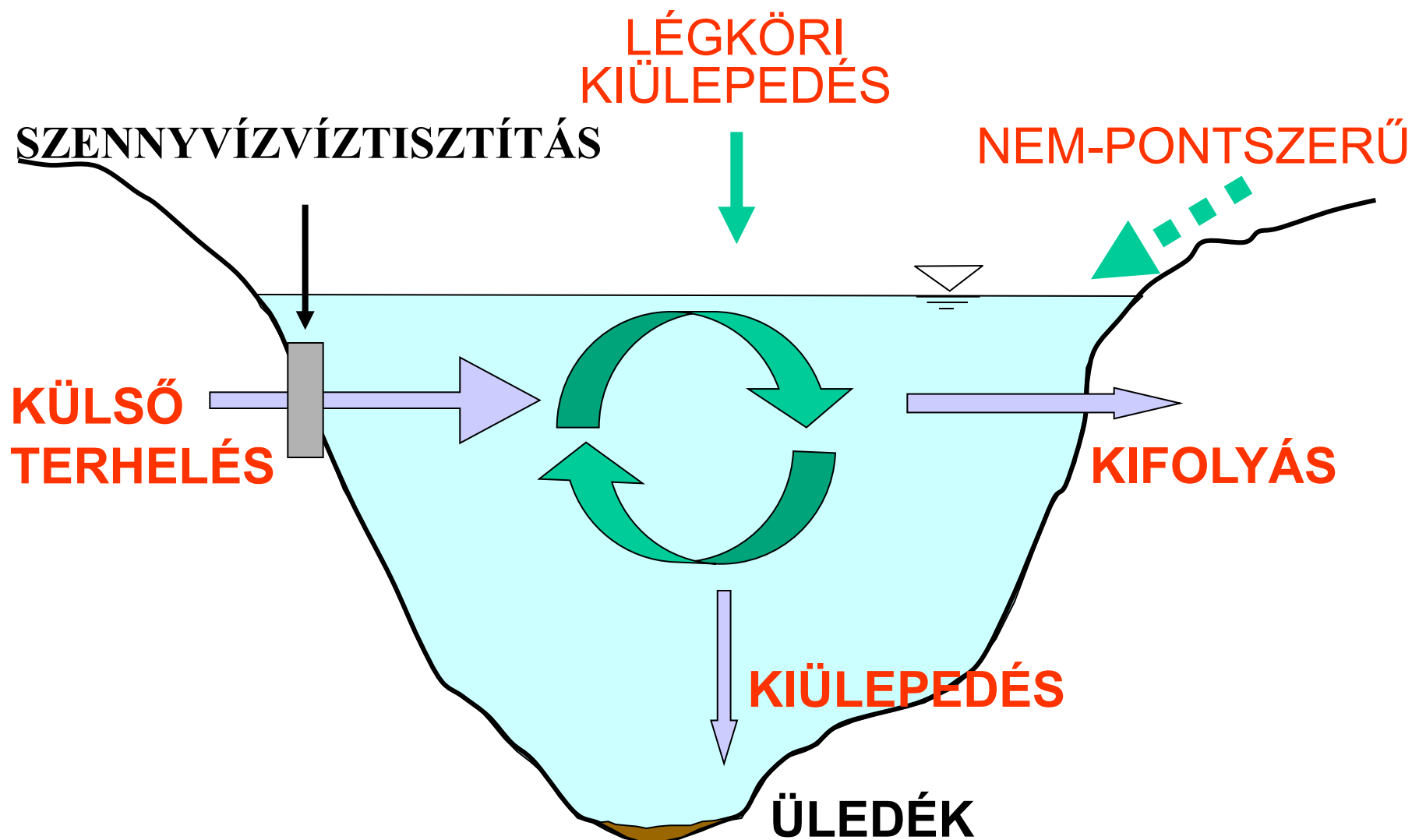
A SZABÁLYOZÁS HATÁSA : KÉSLELTETETT VÁLASZ (A KÜLSŐ TERHELÉS CSÖKKENTÉSE UTÁN A BELSŐ TERHELÉS NÖVEKSZIK)



A SZABÁLYOZÁS HATÁSA : KÉSLELTETETT VÁLASZ (A KÜLSŐ TERHELÉS CSÖKKENTÉSE UTÁN A BELSŐ TERHELÉS NÖVEKSZIK)



A SZABÁLYOZÁS HATÁSA : KÉSLELTETETT VÁLASZ (A KÜLSŐ TERHELÉS CSÖKKENTÉSE UTÁN A BELSŐ TERHELÉS NÖVEKSZIK)



BELSŐ TERHELÉS és hatása tavakban

- **FORRÁS: ÜLEDÉKBEN FELHALMOZÓDOTT TÁPANYAG (P)**
- **A KÜLSŐ TERHELÉS CSÖKKENTÉSE UTÁN FORRÁST BIZTOSÍT AZ ALGA NÖVEKEDÉSHEZ (A VÍZMINŐSÉG NEM JAVUL!)**

ANYAGMÉRLEG: $P_{be} = P_{KÜLSŐ} + P_{BELSŐ}$ TERHELÉS

MÓDOSÍTOTT VOLLENWEIDER:

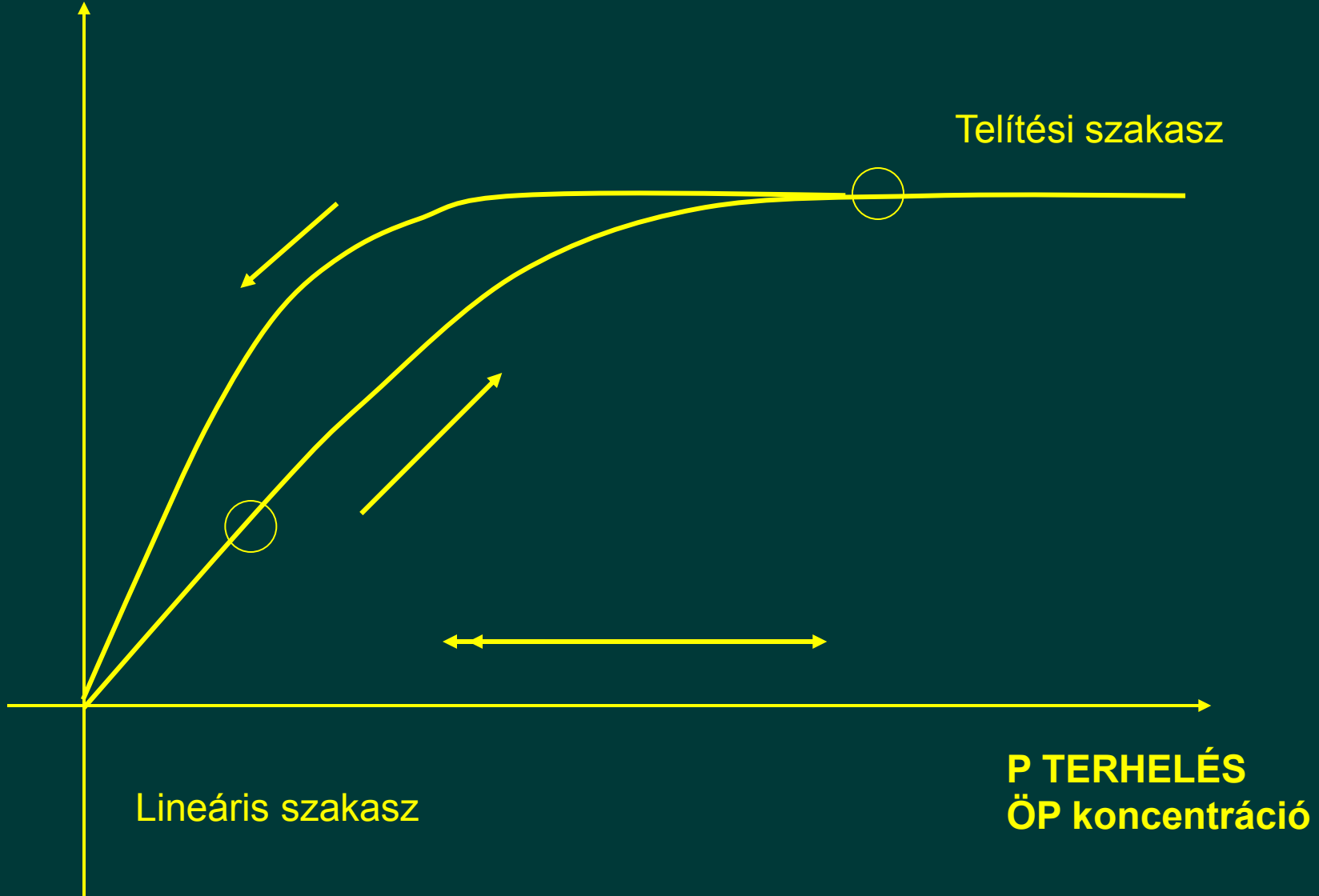
$$P_{\lambda} = \frac{p_k + p_b}{q_{fajl}} \frac{1}{1 + 2\sqrt{\tau}}$$

**$P_k \rightarrow \ddot{O}P$ (modellből számítva) \rightarrow ha $\ddot{O}P$ számított $<$ $\ddot{O}P$ mért \rightarrow
 $P_b > 0$ (RÖVID TÁV)**

BELSŐ TERHELÉS VÁLTOZÁSA AZ ÜLEDÉK FELÚJULÁSI KÉPESSÉGÉTŐL FÜGG (HOSSZÚ TÁV)

„TÓ VÁLASZ” BELSŐ TERHELÉSSEL

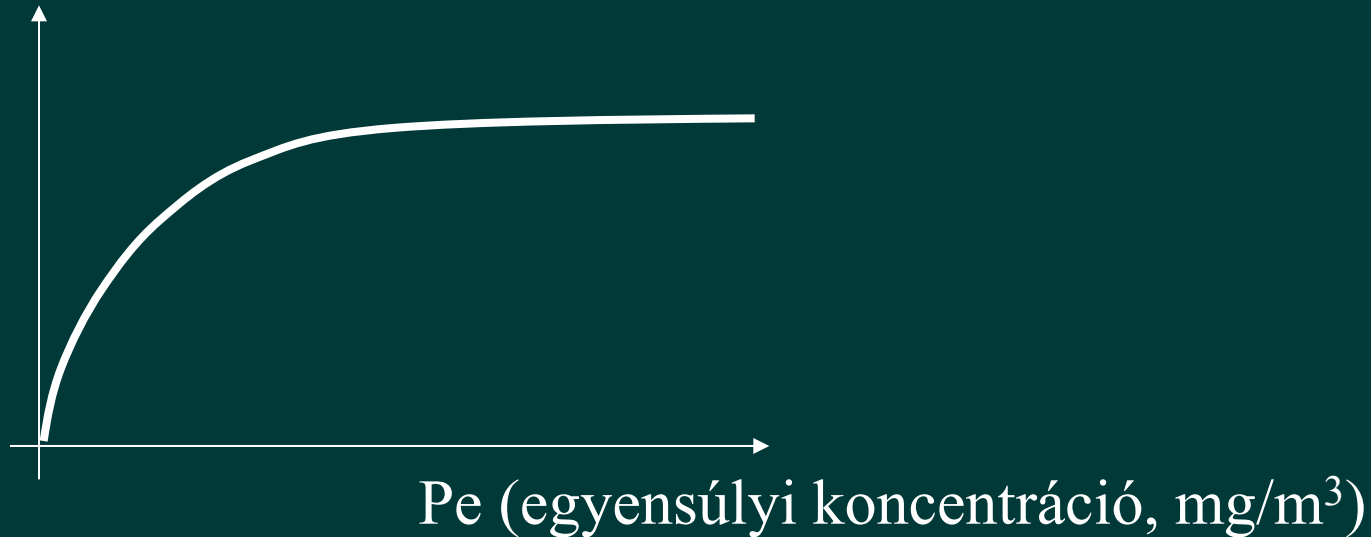
BIOMASSZA



Üledék – belső P terhelés

Adszorpciós izoterma: oldott és a szilárd fázis közti megoszlás

Adszorbeált P
(mgP/g üledék) (~ Üledék „mobilizálható P tartalma)



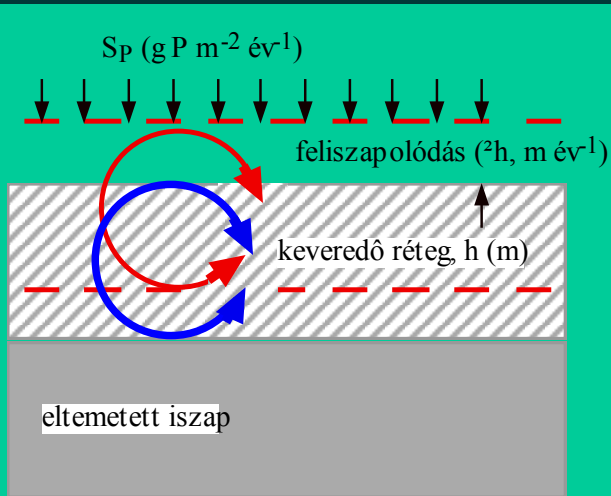
Adszorpciós kapacitás (izoterma alakja) függ:

Üledék/talaj adszorpciós tulajdonságai (Fe, Mn, Al oxidok, CaCO₃ tartalom, agyagszemcsék)

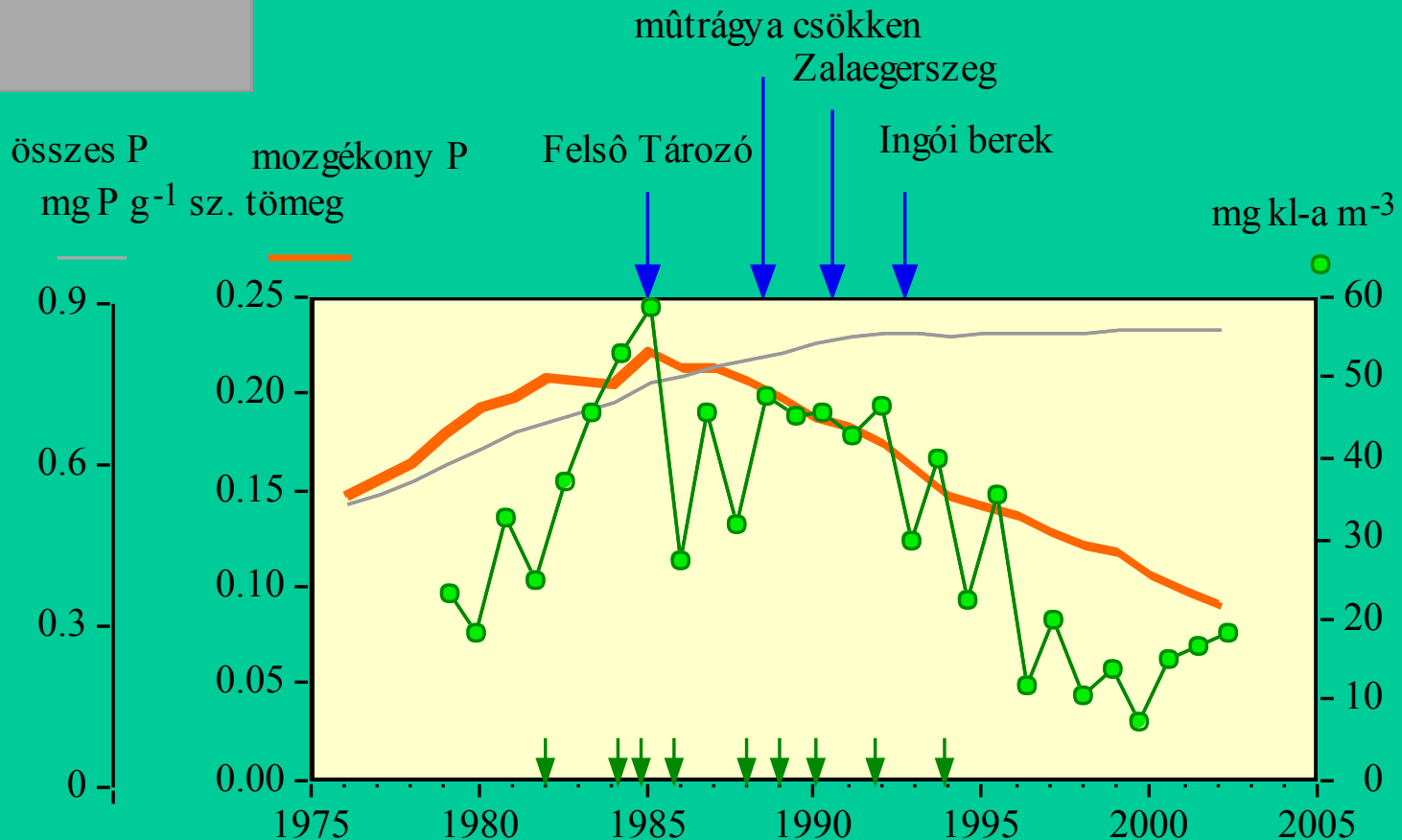
Befolyásolja: pH, hőmérséklet, redox potenciál, stb.

A balatoni üledék P készlete

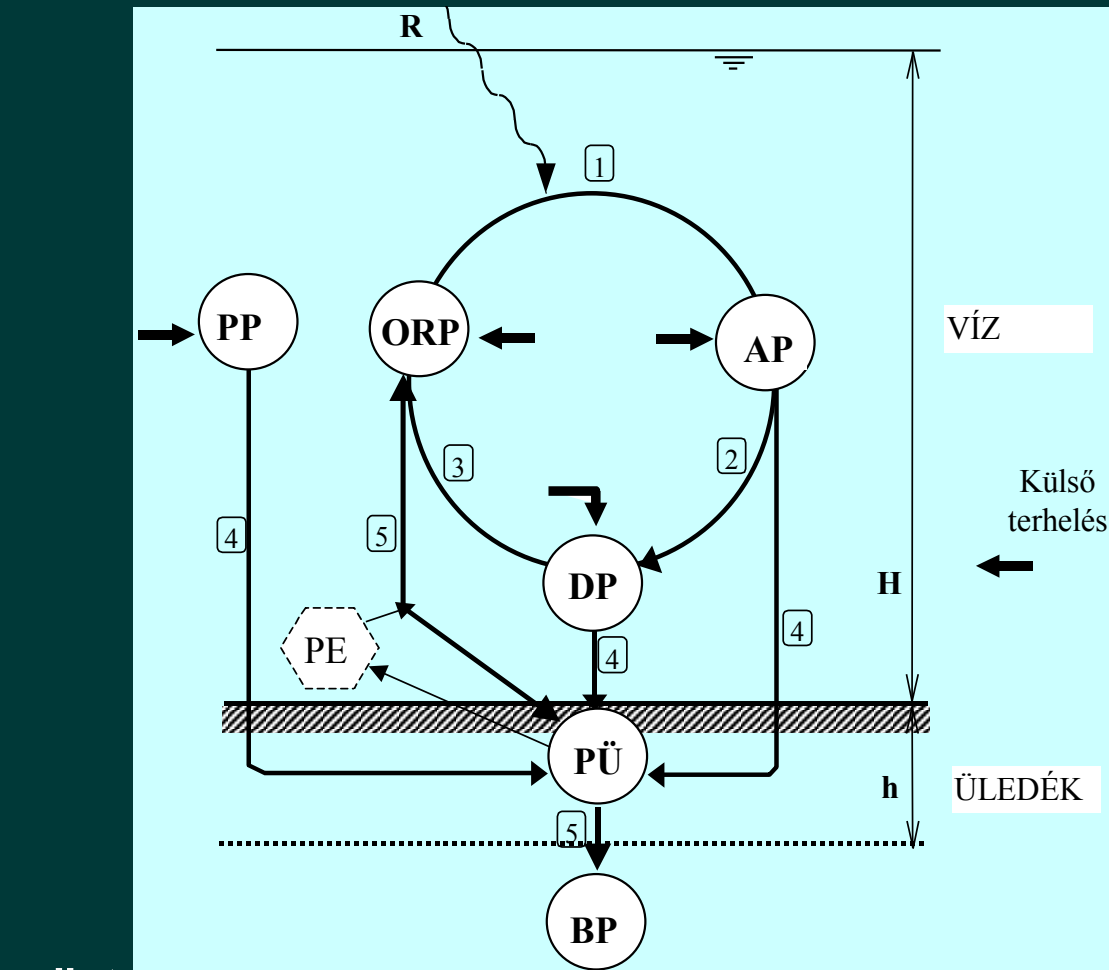
Az aktív üledékréteg mozgékony foszforkészletének hosszú távú változása és az alga biomassza a Keszthelyi-öbölben



Az aktív üledékréteg anyagmérlege



TAVI P FORGALOM DINAMIKUS MODELLEL



VÁLTOZÓK:

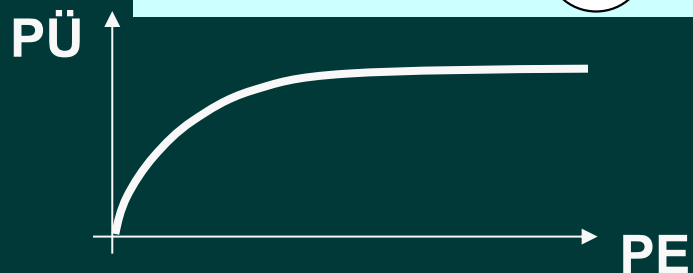
AP - alga P,
 DP - detritusz P,
 ORP - oldott szervesetlen P,
 PP - formált szervesetlen P,
 SP - formált P az üledékben,
 BP - eltemetődött P;

FOLYAMATOK:

1 - szaporodás,
 2 - pusztulás,
 3 - mineralizálódás,
 4 - ülepedés,
 5 - adszorpció-deszorpció;

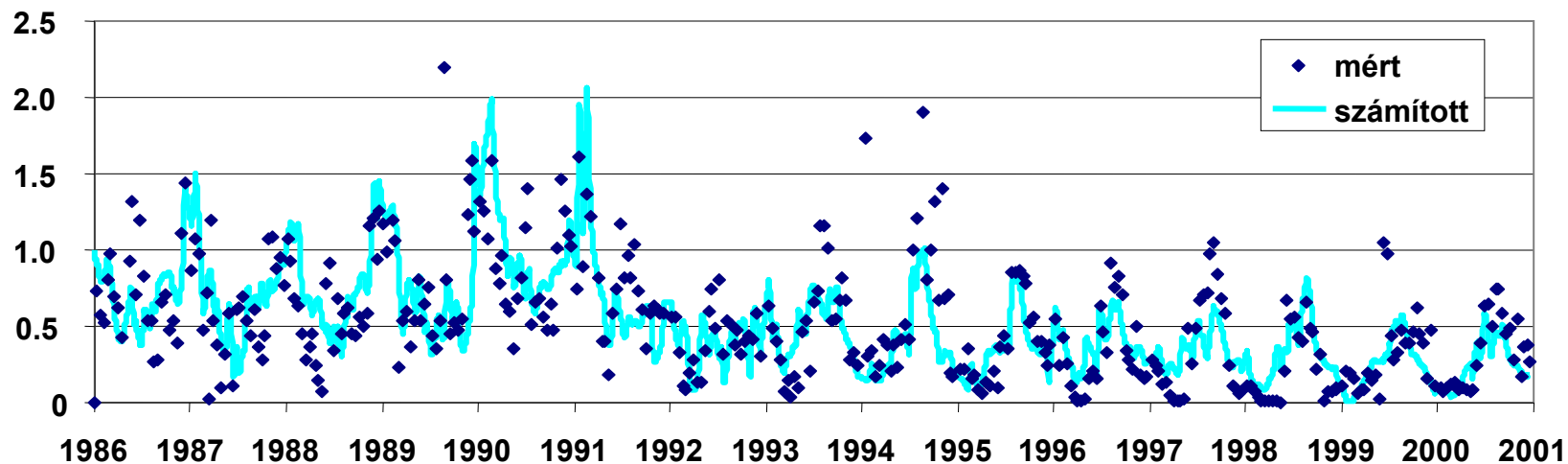
BELSŐ TERHELÉS:

Lijklema-féle üledék modell
 PE - a víz és az üledék közötti „hipotetikus” egyensúlyi koncentráció

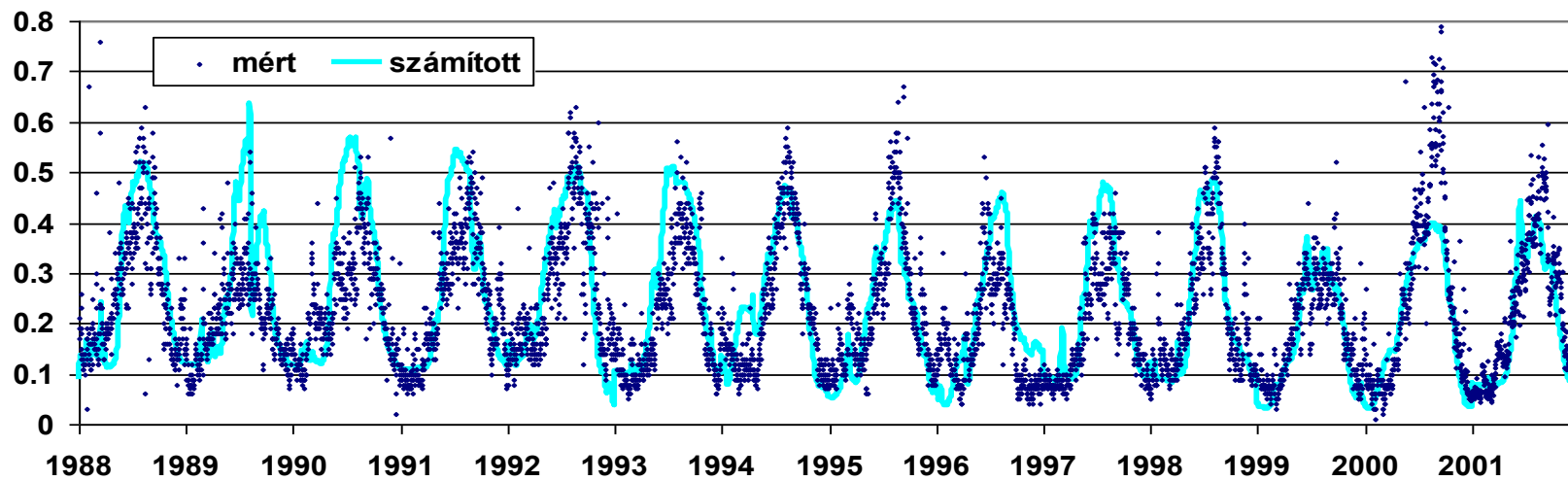


Dinamikus modell alkalmazása: szimuláció a beavatkozások előtti és utáni időszakra

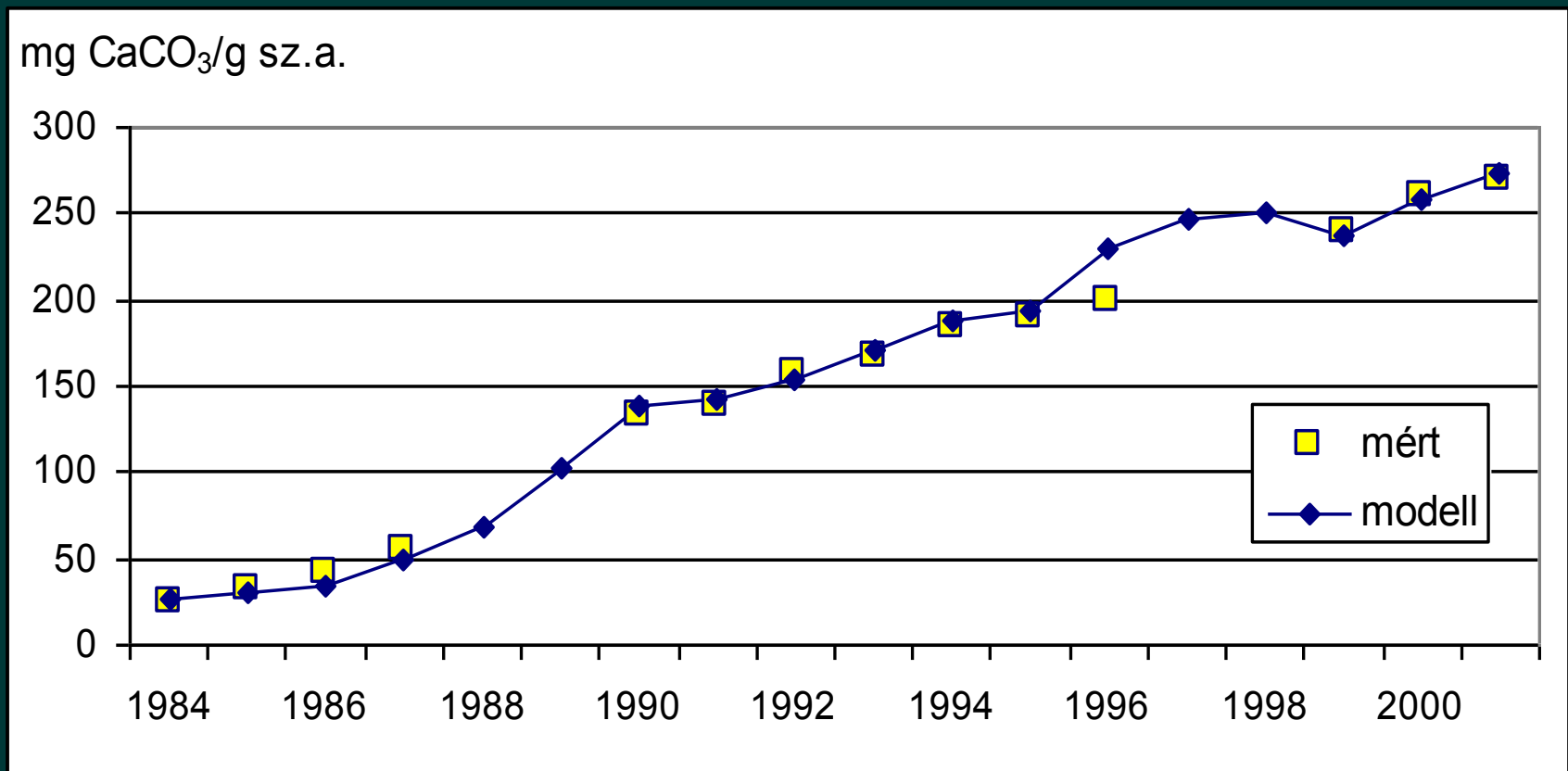
ÖP (mg/m³)



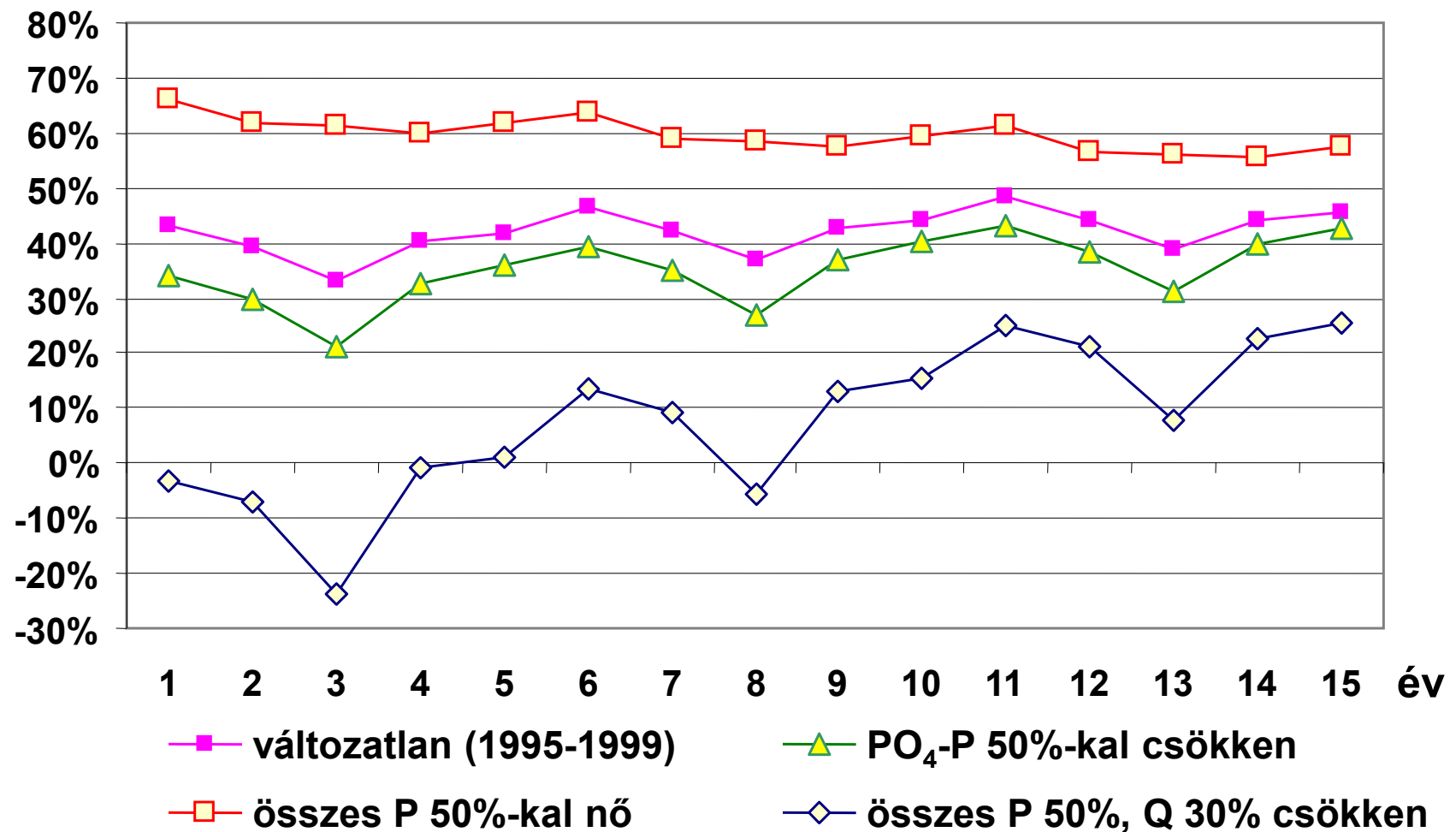
ÖP (g/m³)



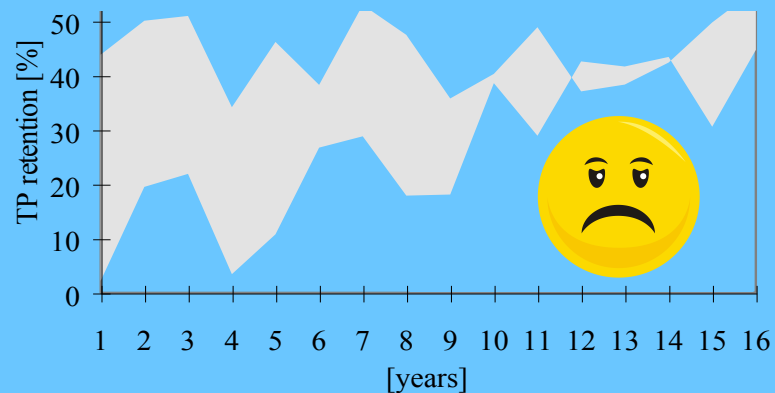
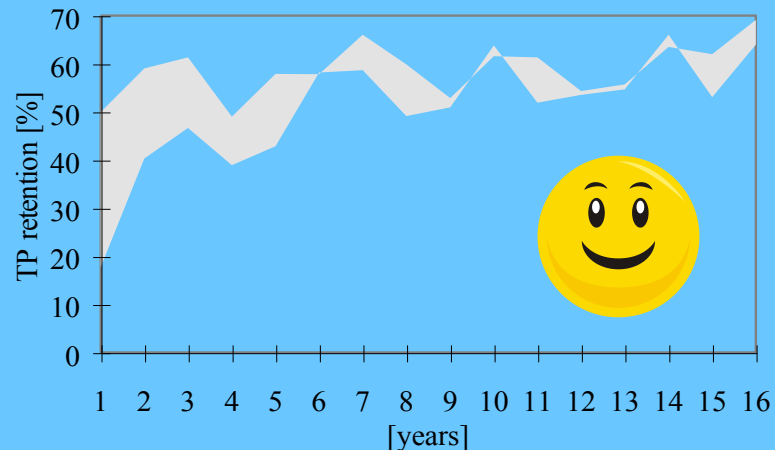
A CaCO_3 tartalom változása a Hídvégi-tó üledékében: A mintavételi pontok átlagértékei (mért) és az üledék-keveredési modellel számított koncentráció (modell)



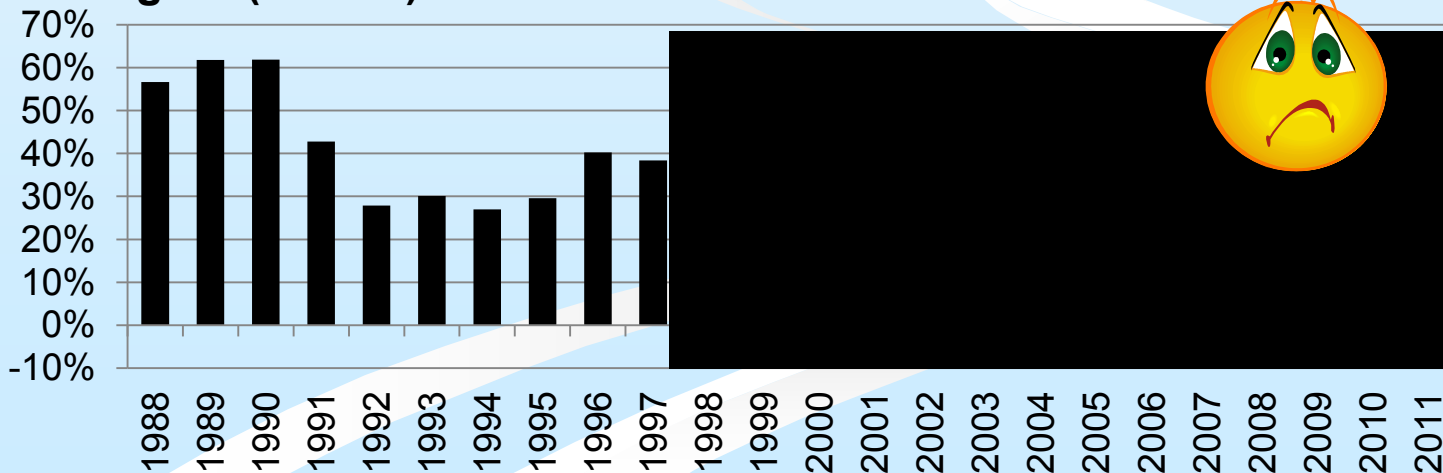
A Hídvégi-tó előre jelzett összes P visszatartása (%) különböző terhelési forgatókönyvekre



Kis-Balaton előrejelzett (modell) és mért P visszatartása



Hídvégi-tó (I. ütem) összes P visszatartása



Konklúziók

- A modellek segítenek
 - a megértésben,
 - az előrejelzésben
 - a tervezésben,
- de nem helyettesítik a szaktudást,
- alkalmazásuk gyakorlati tapasztalatot igényel.



Tavak, tározók rehabilitációja

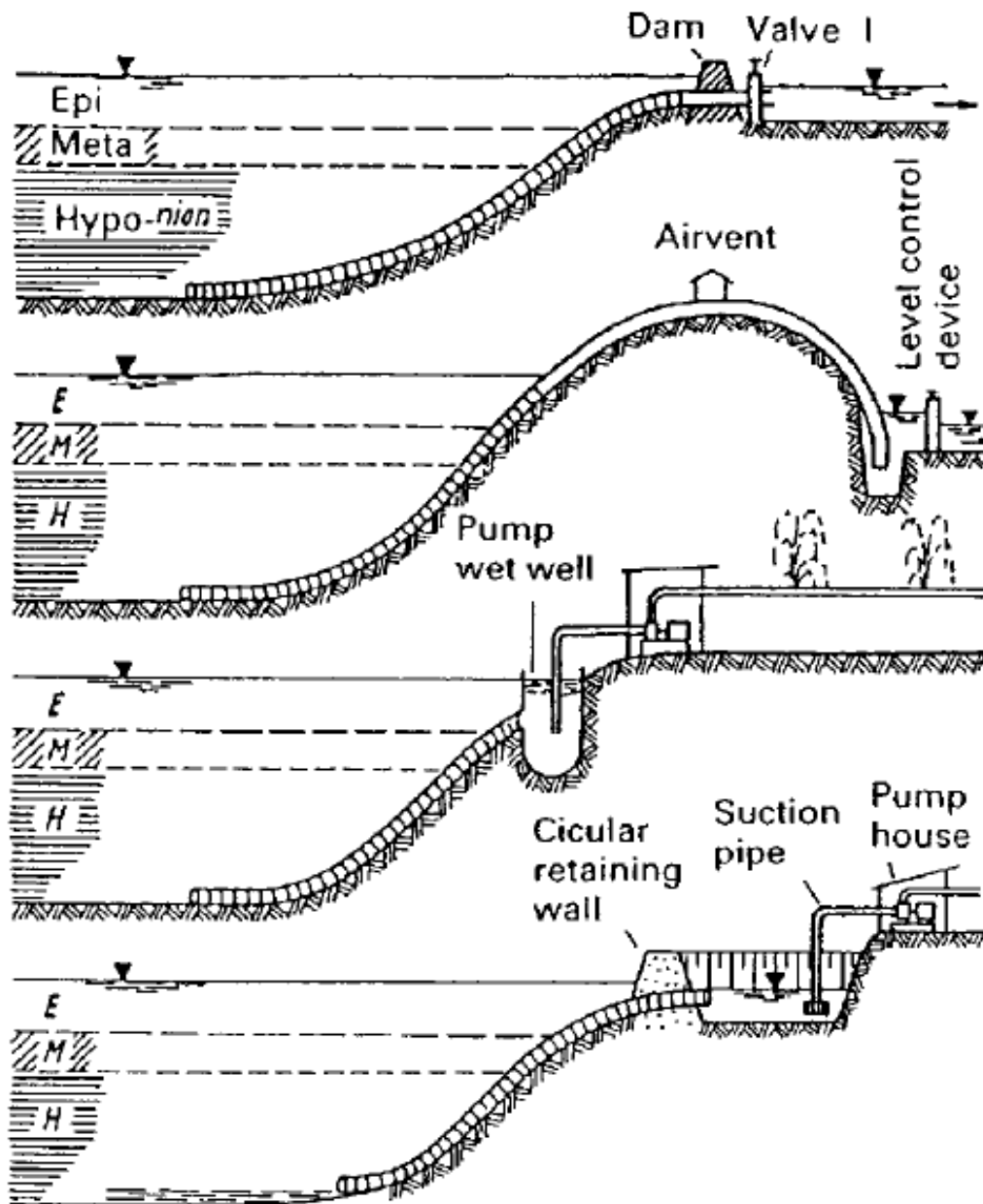
Eszközök:

1. Külső terhelés (P) csökkentése

- **Szennyvíztisztítás, P eltávolítás**
- **Nem pontszerű terhelés**
 - **Mezőgazdasági (műveliség és -mód váltás, tápanyag gazdálkodás)**
 - **Városi (belterületi) lefolyás szabályozása (beszivárogtatás, szűrőmezők, torkolati műtárgyak)**

2. Tavon belüli beavatkozások (külső terhelés szabályozásával együtt hatékonyak csak!)

- **Elvezetés a tóból (P-ban gazdag hipolimnion vizének elvezetése)**
- **Belső terhelés csökkentése (kotrás, üledék inaktiválása)**
- **Biomanipuláció**
- **Hínár aratás**



1. Gravity pipeline
 Arendsee (proposed)
 Schweriner Aussensee
 Schermützelsee

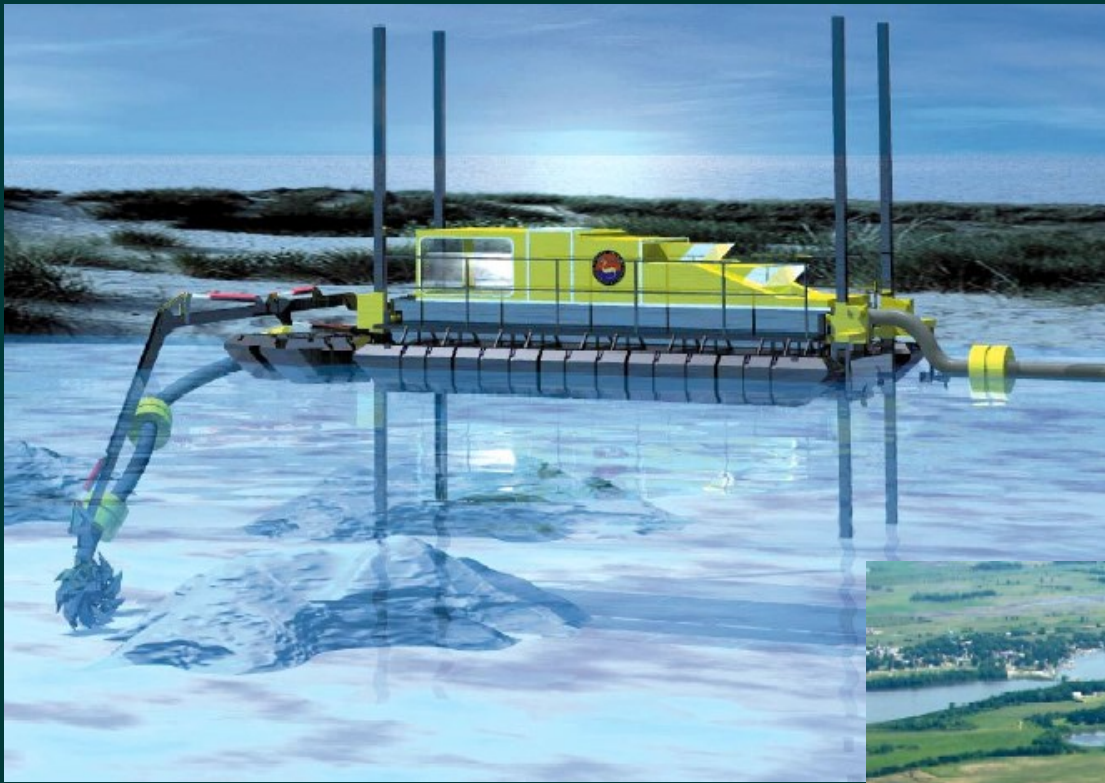
2. Siphon pipe

3. Discharge to a pump suction chamber for irrigation use
 (Bergsee, Motzeners, Schermützelsee, Kogeler See)

4. Free discharge to a millpool
 (Project Röbel)

Üledék kotrás

- **Az állóvízben (tóban, előülepítőben, tározótérben) az évek során lerakódott, felhalmozódott szennyezett hordalék eltávolítása, a meder feliszapolódásának megakadályozása, a tározó térfogat csökkentésének megakadályozása.**
- **Az üledékek elhelyezési helyét természetvédelmi szempontok figyelembe vételével kell meghatározni. Szennyezett üledék csak a szennyezettségnek megfelelő tárolóban rakható le.**
- **Ütemezés fontos! (Sekély tavakban az üledék átrendeződése lényegesen ronthatja a vízminőség-védelmi célok megvalósítását.)**
- **Megoldások:**
 - **Víz alatti (hidromechanizációs) kotrás – nagy víztartalom!**
 - **Száraz kotrás – tavat le kell üríteni**
- **Költségeket befolyásolják a zagy elhelyezés feltételei**



**Hirdomechanizációs
kotrás és a zagy
elhelyezése**

Vízminőség javító kotrás (lepelkotrás) a Keszthelyi-medencében

Célja: a belső terhelés csökkentése és a cianobaktérium spórák gyérítése
1983 óta kormányhatározat(ok) előírták

Időszak: 1992-2003

Összes terület: 1283 ha (terv: 25 km²)

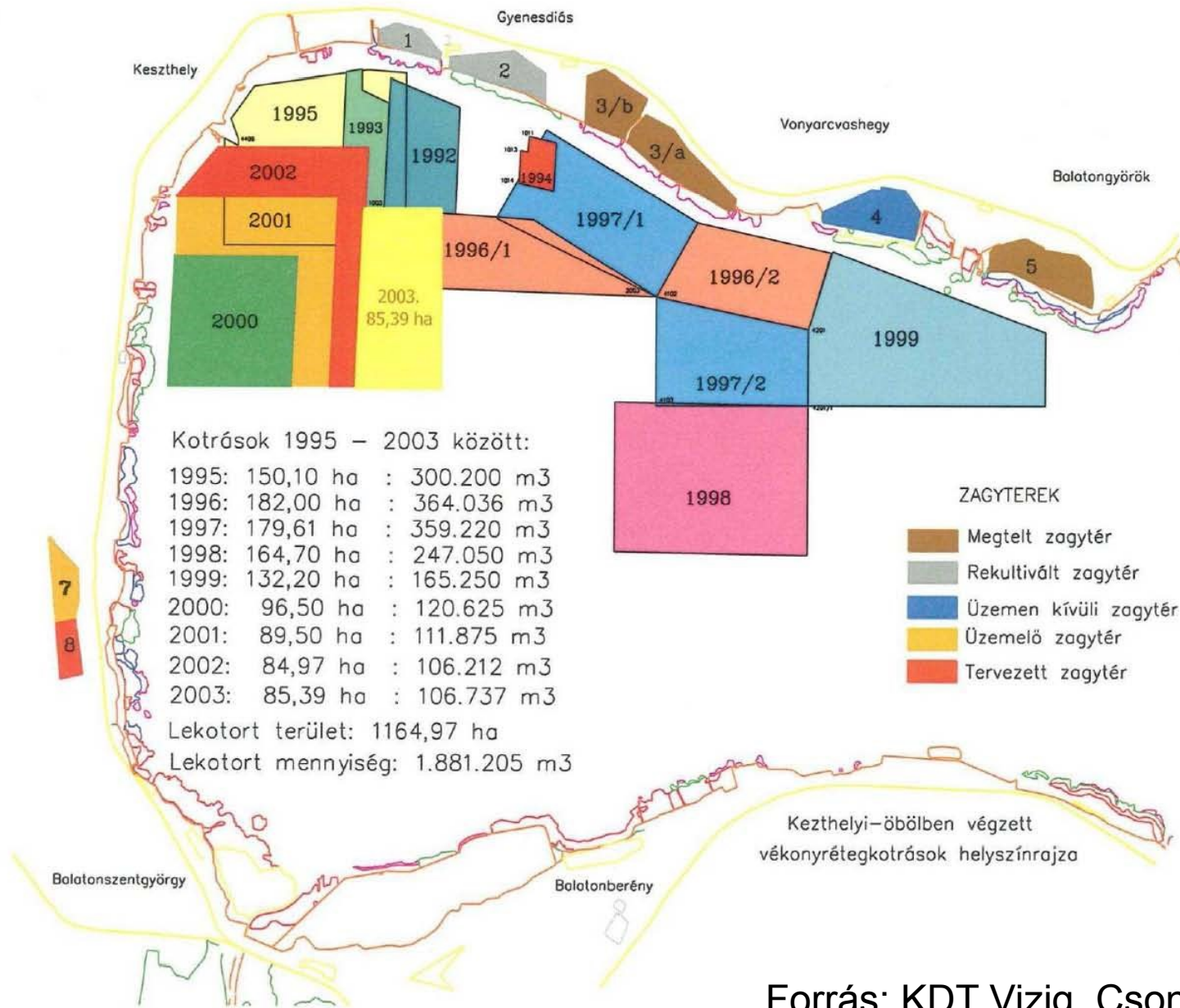
Lekotort mennyiség: 2186 ezer m³



Kotrás a Keszthelyi-öbölben



Zagy-elhelyezés a parton



Kotrások 1995 – 2003 között:

1995:	150,10 ha	: 300.200 m ³
1996:	182,00 ha	: 364.036 m ³
1997:	179,61 ha	: 359.220 m ³
1998:	164,70 ha	: 247.050 m ³
1999:	132,20 ha	: 165.250 m ³
2000:	96,50 ha	: 120.625 m ³
2001:	89,50 ha	: 111.875 m ³
2002:	84,97 ha	: 106.212 m ³
2003:	85,39 ha	: 106.737 m ³

Lekotort terület: 1164,97 ha

Lekotort mennyiség: 1.881.205 m³

ZAGYTEREK

- Megtelt zagyter
- Rekultivált zagyter
- Üzemen kívüli zagyter
- Üzemelő zagyter
- Tervezett zagyter

Forrás: KDT Vizig, Csonki István

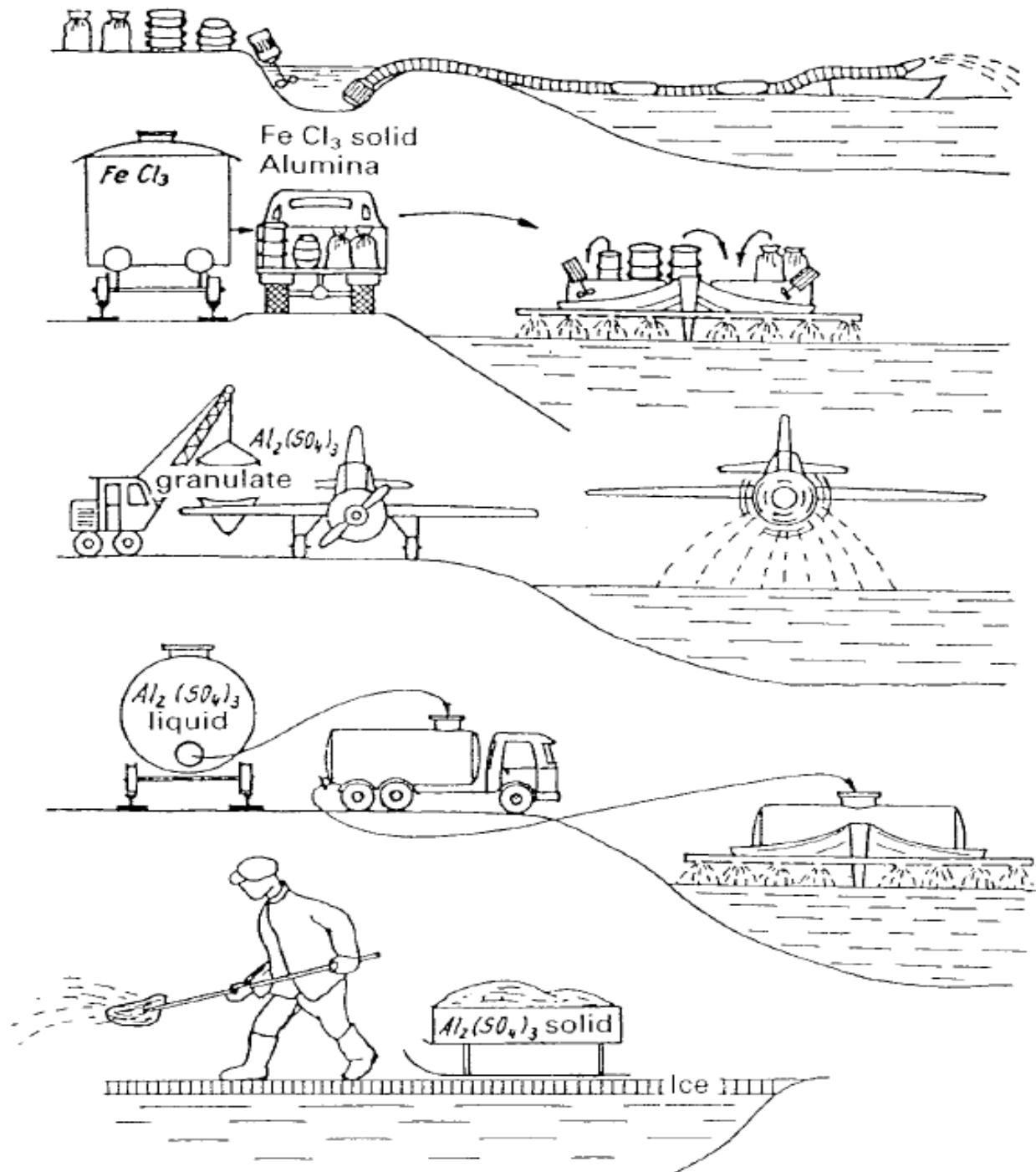
Kotrás hatása

- Technológiai értelemben a hidromechanizációs rétegkotrás megfelelő eljárás (az üledék felkeverése nélkül pontosan olyan vastag réteget távolít el, mint amelyet szeretnénk),
- Az évente lekotort terület nagyságát elsősorban az anyagi lehetőségek korlátozták.
- A lekotort terület gyors feliszapolódása miatt a belső foszforterhelés szempontjából kulcsszerepet játszó felső 0,5-1 cm-es üledékréteg mozgékony foszfortartalma nem csökkent észlelhetően.

Az erősen meszes balatoni üledék kedvező hosszú távú viselkedése miatt a lepelkotrás nem tud lépést tartani a mozgékony foszfor természetes előregedésének sebességével.

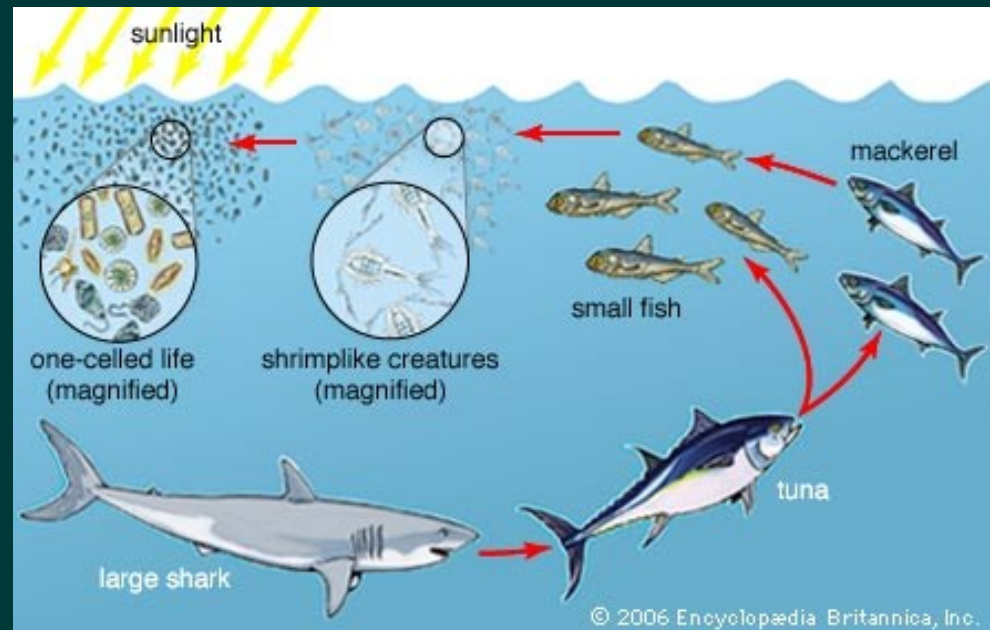
Üledék kezelés

- **A foszfor kicsapatása (tavi P koncentráció csökkentése) és az üledékből felszabaduló P inaktiválása**
- **Fémionok adagolásával végzik (alumínium-, vas-, kalcium-sók, valamint olyan ritka földfémek sói, mint a cirkónium, lantán, titán). A ritka földfémek potenciálisan toxikusak és drágák. A hamu és a kohósalak alkalmazása nehézfém tartalma miatt nem ajánlott.**
- **Az alumínium-szulfáttal, vagy nátrium-alumináttal végzett foszfor inaktiválás a legelterjedtebb.**
- **Sekély tavak esetében a vas-sók alkalmazása javasolt közvetlenül az üledék fölé juttatva (vasIII-klorid).**
- **Tóvízben mésztej (Ca(OH)_2) adagolás – növeli az üledék P megkötő lépcsőségét. A kicsapódó CaCO_3 teljes mértékben természetbarát anyag.**



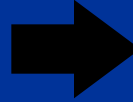
Biomanipuláció tavakban

- **Algabiomassza csökkentése a kifaló kapacitás növelése és/vagy a turbáció csökkentésével.**
- **A tavi táplálkozási összefüggések rendszerének alapos ismeretét igénylik (pl. a haltelepítés kárt okozhat az ökoszisztémában).**
- **Előny, hogy a vegyszerek alkalmazása, vagy kotrás nélkül is érhető el eredmény.**
- **Hatékonyságukról kevés a tapasztalat.**



A halgazdálkodás hatása a Tatai Öregtóban

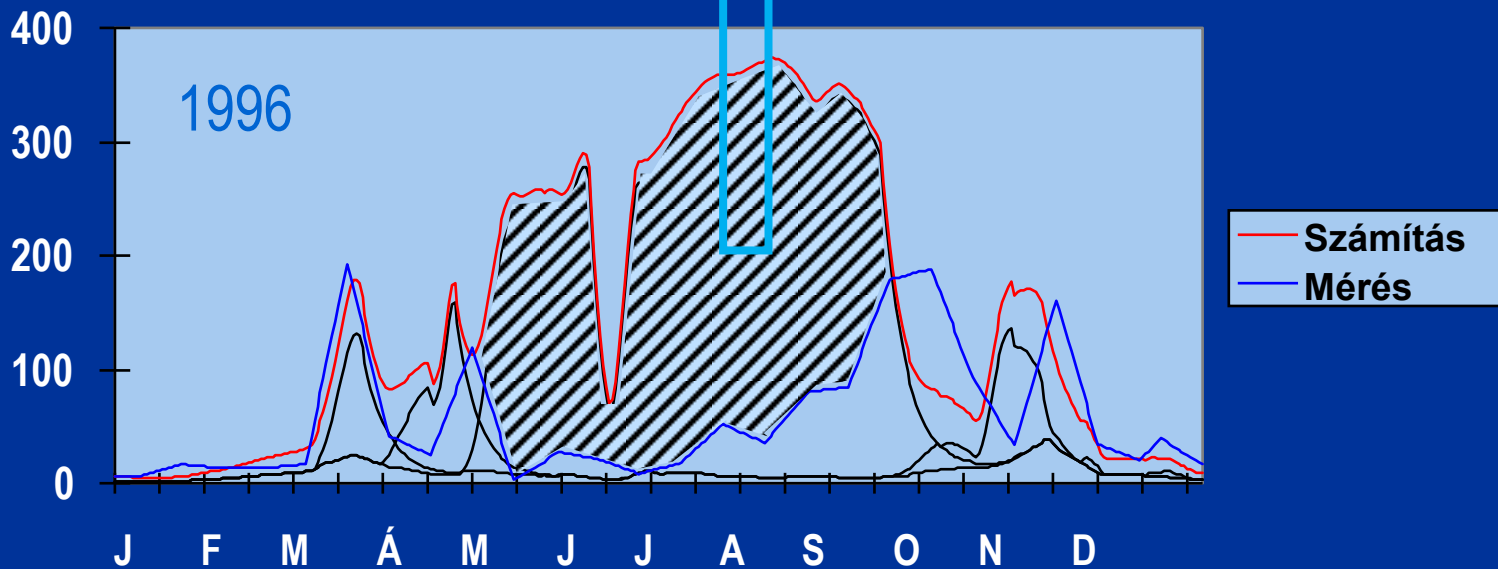
halszerkezet változása



algák csökkenése



Chl-a mg/m^3



Az eredeti vízminőségi modell a megváltozott struktúrát nem követi, ezért nem alkalmas előrejelzésre.



KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!