



Fővárosi  
Csatornázási Művek Zrt.

# MIKROSZENNYEZŐK A SZENNYVÍZBEN – MIKROBIOLÓGIAI ÉS HUMÁNÖKOLÓGIAI PERSPEKTÍVA

Előadó: Bezsényi Anikó

# MIKROMENNYISÉG IS KÁROS



## PESZTICIDEK

gyomirtók (alaklór, glifozát), rovarirtószer (DDT, klordén, aldrin, dieldrin, endrin, heptaklór, mirex, toxafén, klórdekon, lindén), gombaölők (hexaklórbenzol), rágcsálóirtók (arzen-trioxid), talajfertőtlenítők (etilén-dibromid)

## IPARI KEMIKÁLIÁK

műanyag alapanyagok, poliklórozott bifenilek (PCB), lágyítószer, poli és perfluorozott alkilezett anyagok, égésgátlók, felületaktív anyagok stb.



## KOZMETIKAI ÉS TESTÁPOLÓ SZEREK (PCP)

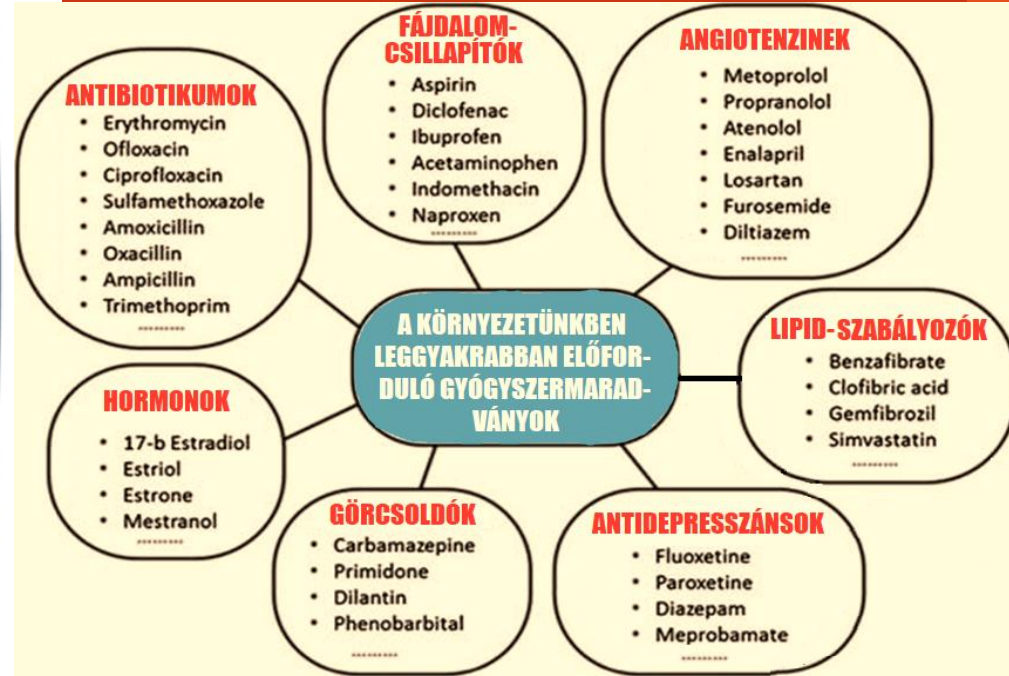
illatanyagok és szintetikus pézsmák, élénkítőszer, UV/napvédők, fertőtlenítő szer, antioxidánsok, tartósítószer, rovarriasztók

## ÉLELMISZER ADALÉKANYAGOK

koffein, aszpartám

## KÁBÍTÓSZEREK

kokain, heroin, morfin



# MIKROMENNYISÉG IS KÁROS



**Növekedés gátlás**



**Gátolt gyökér-növekedés**

**Pete és lárva halandóság**



**Helyi koncentrációtól függően**

**Globálisan nem általánosítható**



**Késlelteti az ebihalak fejlődését**



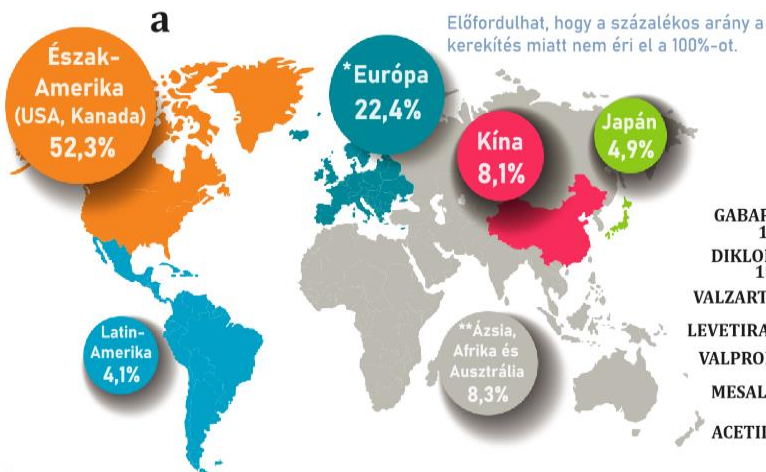
**A hímeken női jellegek jelennek meg; megváltozott viselkedés és táplálkozás, szervi károsodások**

**Vese-elégtelenség**



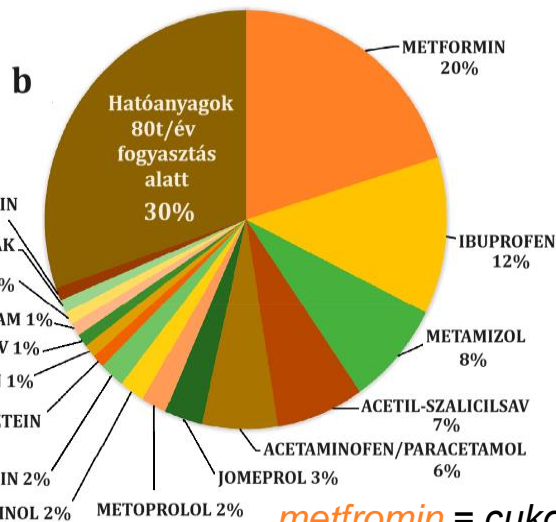
# GYÓGYSZERFOGYASZTÁS

A világ (vényköteles) gyógyszerpiaca 2022-ben, illetve a különböző geopolitikai egységek részesedése a piacból (a) (EFPIA 2023), és a gyógyszerfogyasztás hatóanyagokra vetített mintázata a világon 2013-ban (b) (Patel és mtsai 2019).



\* Fehéroroszország, Törökország, Oroszország és Ukrajna Európához sorolva

\*\* Japán és Kína nélkül



*ibuprofen, metamizol, acetil-szalicilsav, paracetamol/acetaminofen = nemszteroid gyulladáscsökkentő, fájdalom-csillapító = NSAID*

*metformin = cukorbetegség*

*jomeprol = kontrasztanyag*

*metoprolol = béta-blokkoló*

*Gabapentin = epilepszia*

*allopurinol = húgysavszint csökkentő, köszvény*

*levetiracetam = epilepszia amoxicillin = antibiotikum*

*acetilciszteín = nyálkaoldás, köptetőszerek*

*mesalazin = gyulladásos bélbetegségek enyhítése*

*valproinsav = epilepszia, bipoláris zavar, depresszió, skizofréna kezelésére*

*valzartán = vérnyomáscsökkentő*

*diklofenák = NSAID*



# GYÓGYSZERFOGYASZTÁS



## ANTIBIOTIKUMOK



## HOZZAÍRÁS

### The world's biggest consumers of antibiotics

Defined daily dose of antibiotics per 1.000 people in selected countries

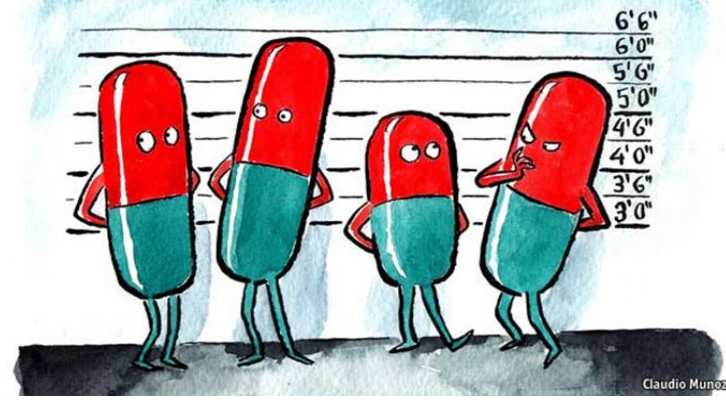


KHOLETTES GRAPHIC - DATA SOURCE: STATISTA



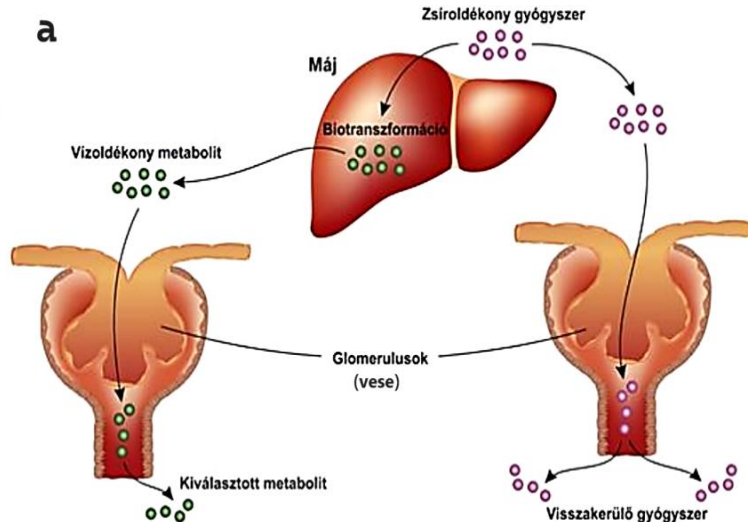


**90%**  
of consumed prescription  
drugs ultimately end up in  
our waste water.\*  
(Almost the same as tipping it straight down the toilet.)



Claudio Munoz

## AMI NEM HASZNOSUL



**b**

Exkréciós  
(kiválasztási)  
ráta (%)

diklofenák	15
doxiciklin	70
eritromicin	25
ibuprofén	1-10
karbamazepin	1-3
klofibrinsav	6
szulfametoxazol	15
tetraciklin	80-90
trimetoprim	60

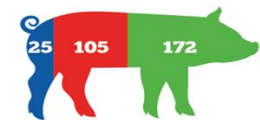
= a változatlan formájú hatóanyag  
kiválasztás (vesén keresztül,  
vizelettel) aránya.



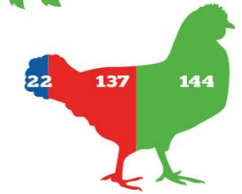
# GYÓGYSZEREK A KÖRNYEZETÜNKBEN



ANTIMICROBIAL USE IN FEED (MGs) ADJUSTED FOR POPULATIONS AND WEIGHTS



2014 G-F Swine



2014 Broiler Poultry

**KEZELÉS**  
**MEGELŐZÉS**  
**HOZAMNÖVELÉS**

**EU**  
**2006**  
**2023**

**USA**



# AZ EMBERI MIKROBIOM

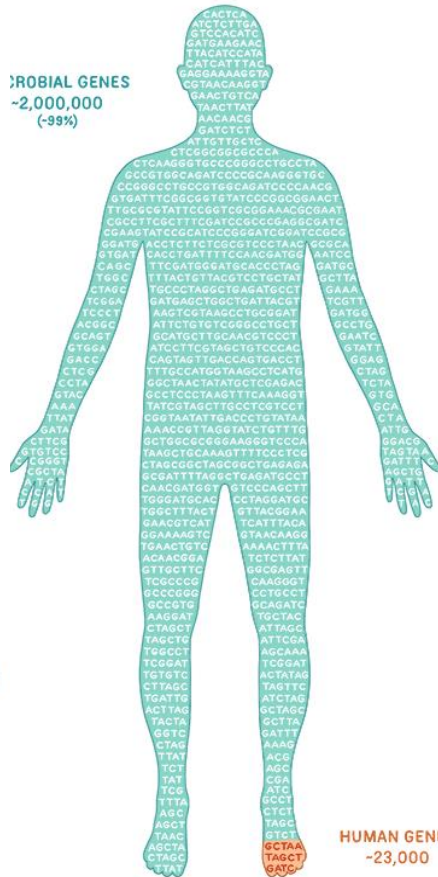


MICROBIAL CELLS  
-100 TRILLION  
(-70-90%)



HUMAN CELLS  
-30 TRILLION

MICROBIAL GENES  
-2,000,000  
(-98%)



HUMAN GENES  
-23,000

Az emberi test ökoszisztémája baktériumok, gombák és más mikroorganizmusok trillióinak ad otthont, amelyek természetes módon együtt tenyésznek a bőrön, az emésztőrendszerben és a szervezet más pontjain.

BELEINK  
MIKROBIÓTÁJA  
AKÁR KÉT  
KILÓT IS  
NYOMHAT

KB. 100 BILLIÓ  
BAKTÉRIUMNAK  
AD SZÁLLÁST



<https://www.igmaaldrich.com>



EGYETLEN GRAMM ÜRÜLEKBEN  
TÖBB BAKTÉRIUM VAN,  
AMENNYI EMBER ÉL A FÖLDÖN.



# ANTIBIOTIKUM-REZISZTENCIA



Tetracycline

Bacitracin

Trimethoprim/  
Sulfamethoxazole

Vancomycin

Optochin

Penicillin

Erythromycin

Amoxicillin/  
Clavulanic Acid

Streptomycin

*E. coli*

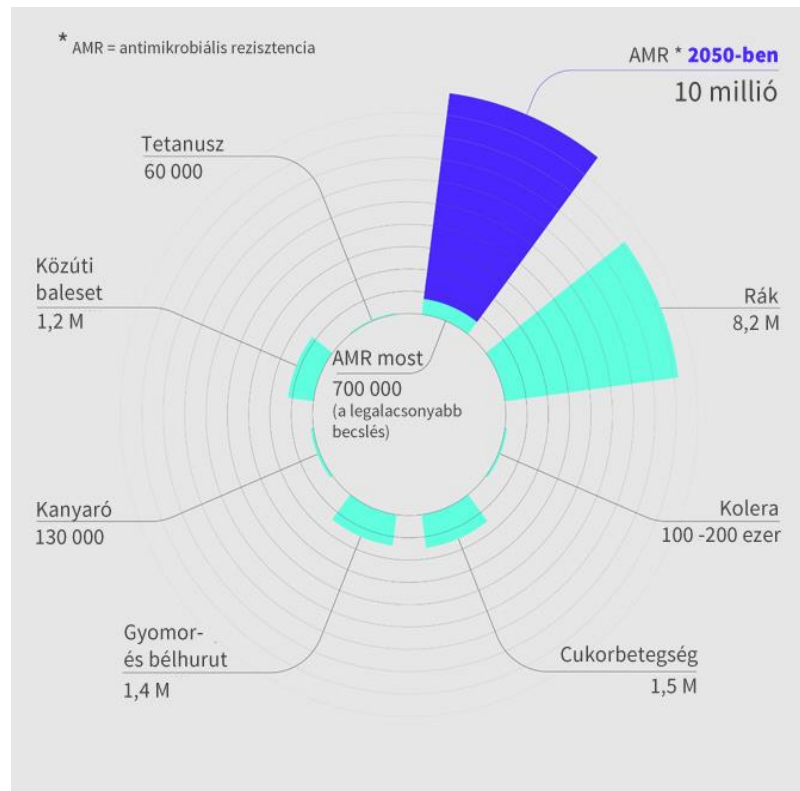
Gentamicin  
Ampicillin  
Neomycin

# ANTIBIOTIKUM-REZISZTENCIA

„Cameron”- jelentés 2014: 2050-től évente 10 millióan halhatnak meg a világon az antibiotikumoknak ellenálló kórokozók miatt.



Ma a világon évente 700 ezer ember halálát okozza, ebből 50 ezren Európában és az Egyesült Államokban hunynak el.



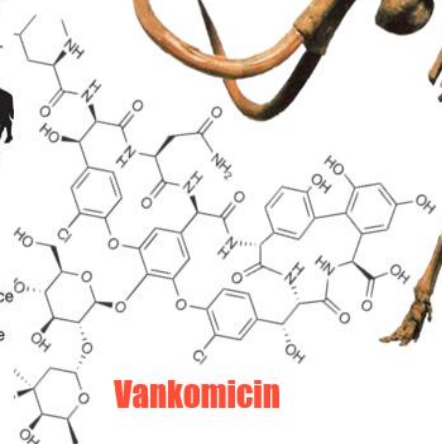
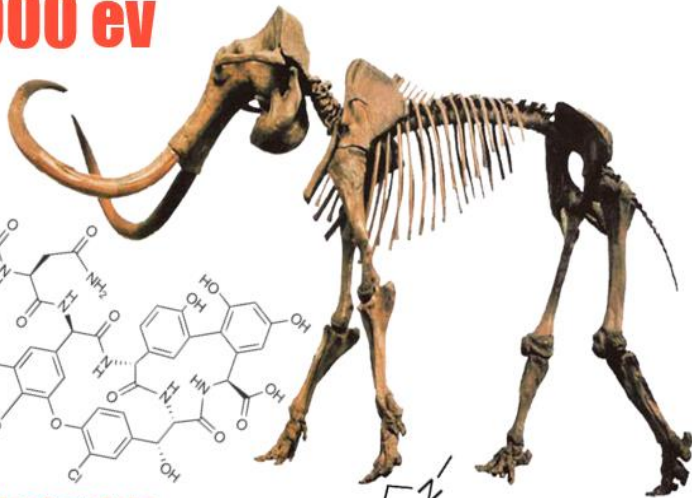
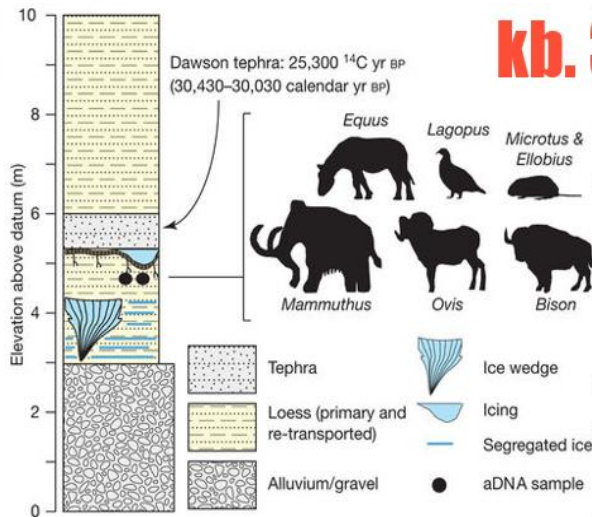
# ANTIBIOTIKUM-REZISZTENCIA



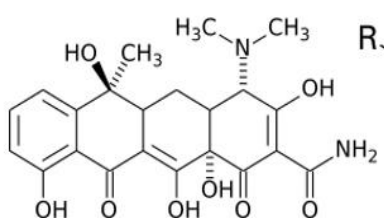
D'Costa VM, King CE, Kalan L, Morar M, Sung WW, et al. (2011) Antibiotic resistance is ancient. *Nature* 477: 457-461.



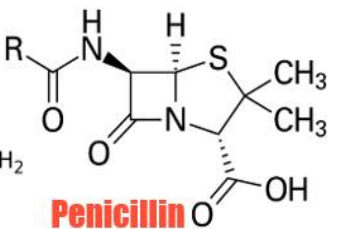
**kb. 30,000 év**



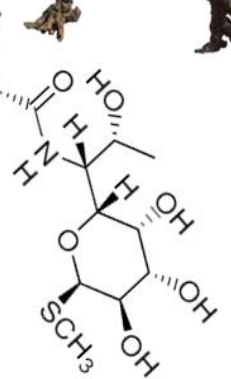
**Tetraciklin**



**linkozamidok**



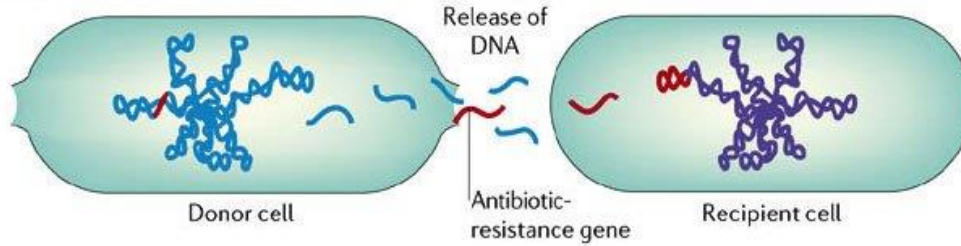
**Penicillin**



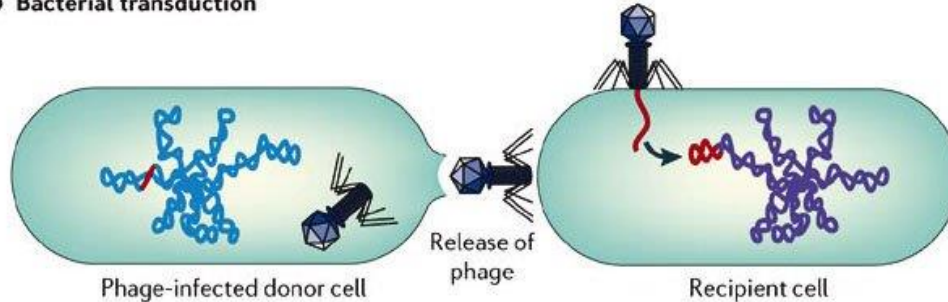
# ANTIBIOTIKUM-REZISZTENCIA



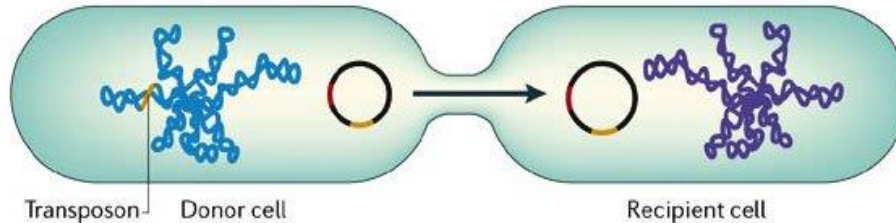
a Bacterial transformation



b Bacterial transduction



c Bacterial conjugation



**Felveszi a környezetéből a DNS-t**

**Vírusok közvetíthetik**

**Konjugáció, azaz közvetlen sejt-kapcsolat útján**



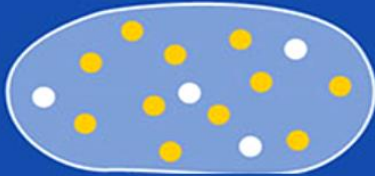
**HORIZONTÁLIS GÉNÁTADÁS:**

a mikrobák gyakran tesznek szert különféle hasznosnak bizonyuló génekre. Ennek eredményeként gyorsabban képesek alkalmazkodni a környezeti változásokhoz.

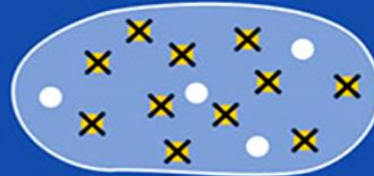


# ANTIBIOTIKUM-REZISZTENCIA

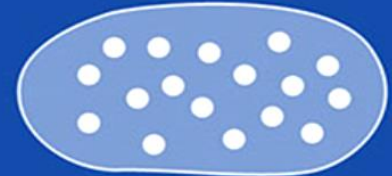
## HONNAN ERED?



1. A belekben rengeteg baktérium él. Egy részük rezisztens bizonyos gyógyszerekkel szemben.



2. Az antibiotikum elpusztítja azokat a baktériumokat, amelyek nem rezisztensek.



3. A rezisztens baktériumok elterjednek a belekben, hiszen élőhely szabadult fel.

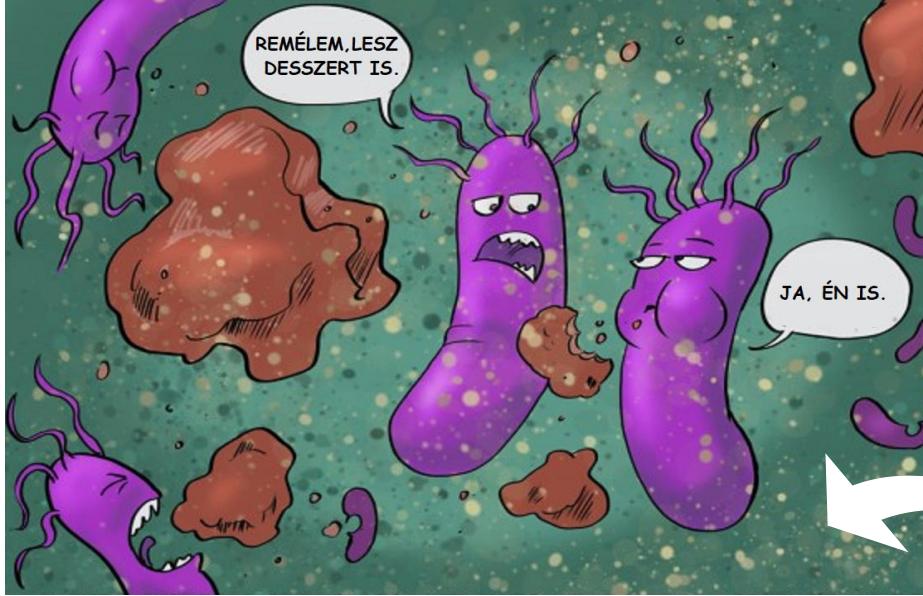
## A SZENNYVÍZ „FORRÓPONT” (HOT SPOT):

1. Sok baktérium együtt
2. Sok gyógyszer olyan kis mennyiségben, ami nem árt a baktériumoknak

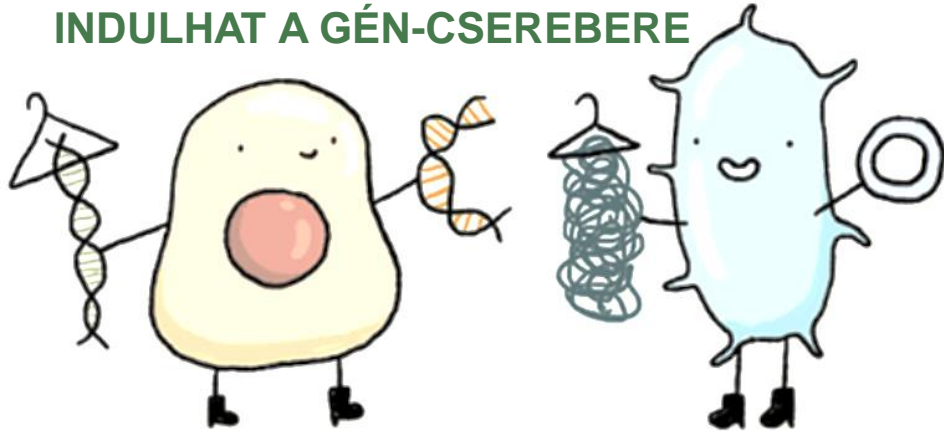
**MINIMÁLIS GÁTLÓ KONCENTRÁCIÓ (MIC)** = a gyógyszer legalacsonyabb koncentrációja, amely megakadályozza egy baktérium látható növekedését egy éjszakán át tartó tenyésztés után. Minél kisebb a MIC érték annál hatásosabb az antibiotikum.

**MINIMÁLIS BAKTERICID KONCENTRÁCIÓ (MBC)** = az antimikrobiális szer legalacsonyabb koncentrációja, amely megakadályozza a mikroorganizmusok növekedését az antibiotikum-mentes táptalajra történő áttöltés után (nem növekszik, mert elpusztította a sejteket az antibiotikum).





INDULHAT A GÉN-CSEREBERE



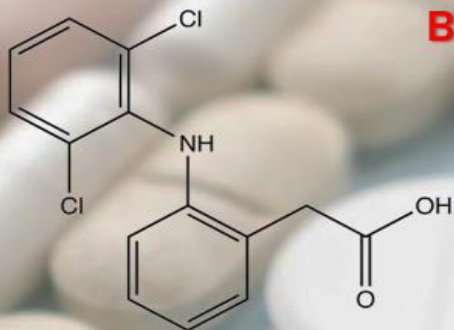
VALAHOL, EGY NEM ANNYIRA TÁVOLI SZENNYVÍZTELEPEN...



# A BAKTÉRIUMOK NEM „ESZIK MEG”?



**BONYOLULT SZERKEZETŰ, MESTERSÉGES MOLEKULÁK**



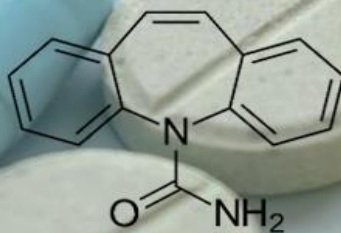
Diklofenák



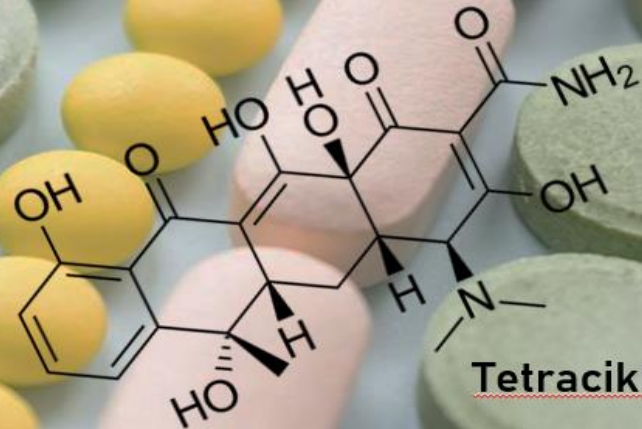
Eritromicin



Szulfametoxazol



Karbamazepin



Tetraciklin

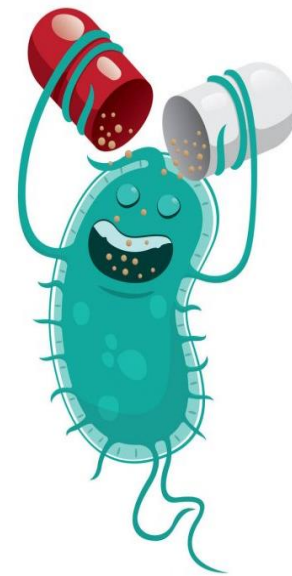


**NEM ISMERIK FEL  
TÁPLÁLÉKKÉNT**

# NÉHA ANYAGCSERE ÚTVONALON

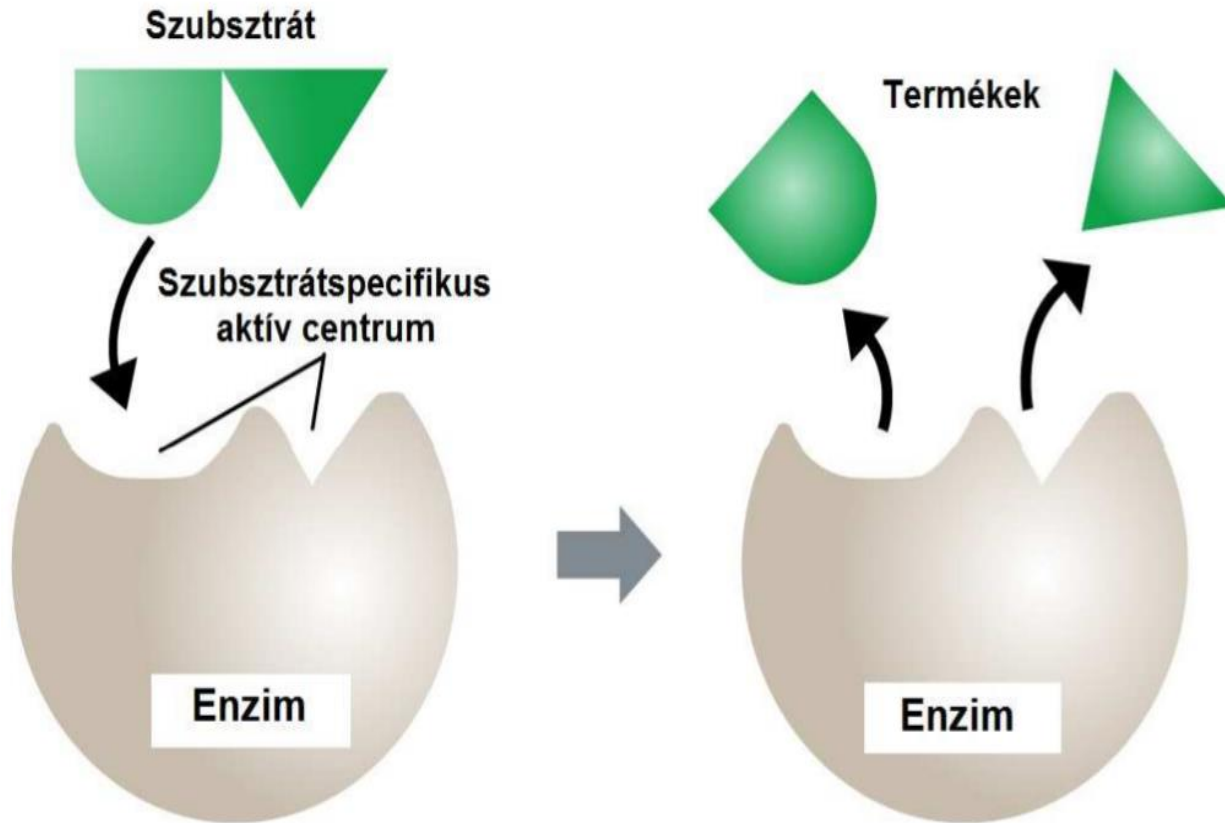


Gyógyszer- vegyület	Lebontási hatékonyság	Biomassza/törzs	Referencia
Acetaminofen	~100%	<i>Delftia tsuruhatensis</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	De Gusseme és mtsai (2011)
Diklofenák	70%	<i>Labrys portucalensis</i> F11	Moreira és mtsai (2018)
	75%	Eleveniszap	Langenhoff és mtsai (2013)
	35%	<i>Brevibacterium</i> D4	Bessa és mtsai (2017)
Ibuprofén	-	<i>Sphingomonas</i> Ibu-2	Murdoch és Hay (2005)
	~100%	Eleveniszap	Langenhoff és mtsai (2013)
Fluoxetin	100%	<i>Labrys portucalensis</i> F11 (fluoroorganic-degrading strain)	Moreira és mtsai (2014)
Karbamazepin	50%	<i>Pseudomonas</i> sp. CBZ-4	Li és mtsai (2013)
Szulfametoxazol	24-44%	MBR rendszerből szelektíven dúsított és azonosított: <i>Microbacterium</i> sp. BR1, <i>Rhodococcus</i> sp. BR2, <i>Achromobacter</i> sp. BR3, <i>Ralstonia</i> sp. HB1 és HB2	Bouju és mtsai (2011)
	35.6 %	<i>Pseudomonas psychrophila</i> HA-4	Jiang és mtsai (2014)
	15%	<i>Rhodococcus equi</i> (13557)	Larcher és Yargeau (2011)





# MI AZ ENZIM?



## ENZIMEK:

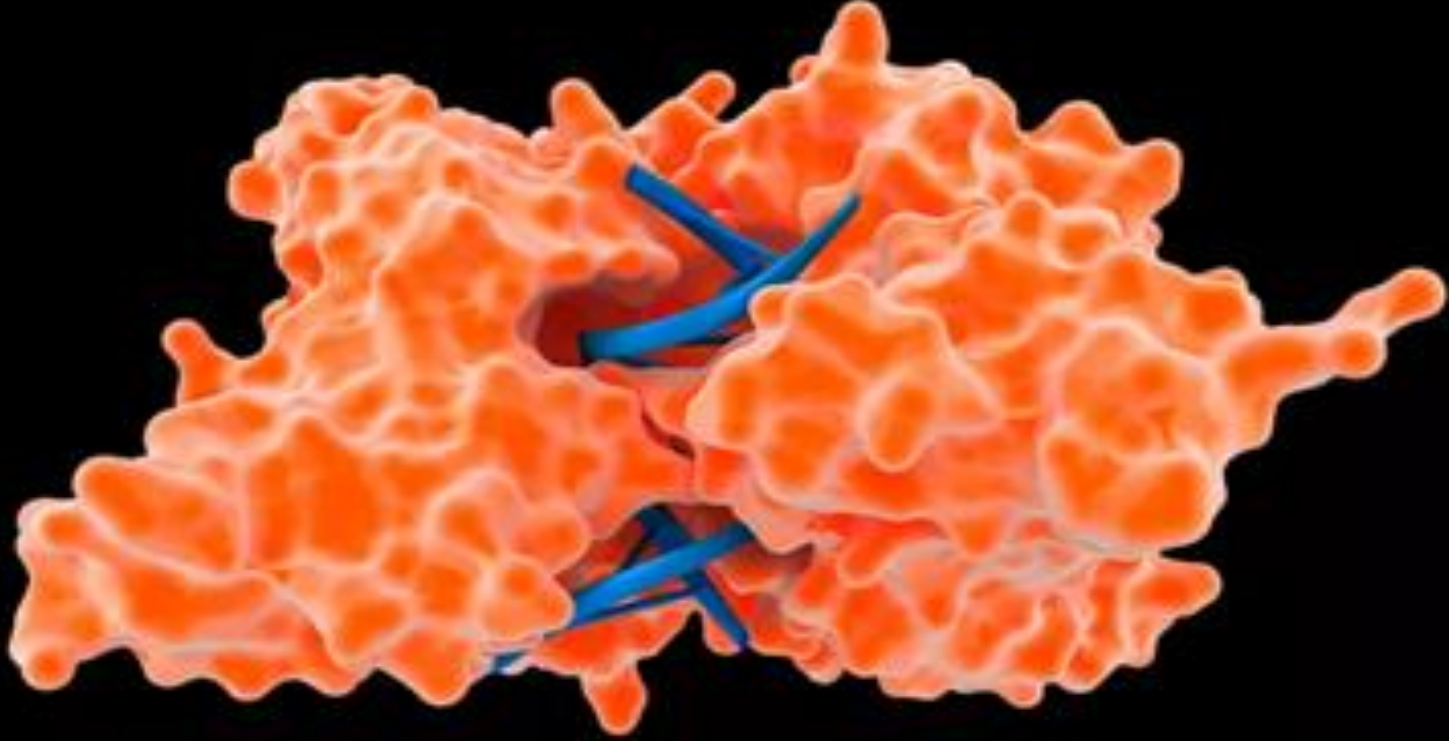
- AZ ANYAGCSERE CSOMÓPONTJAI
- MOLEKULÁKAT ALAKÍTANAK ÁT



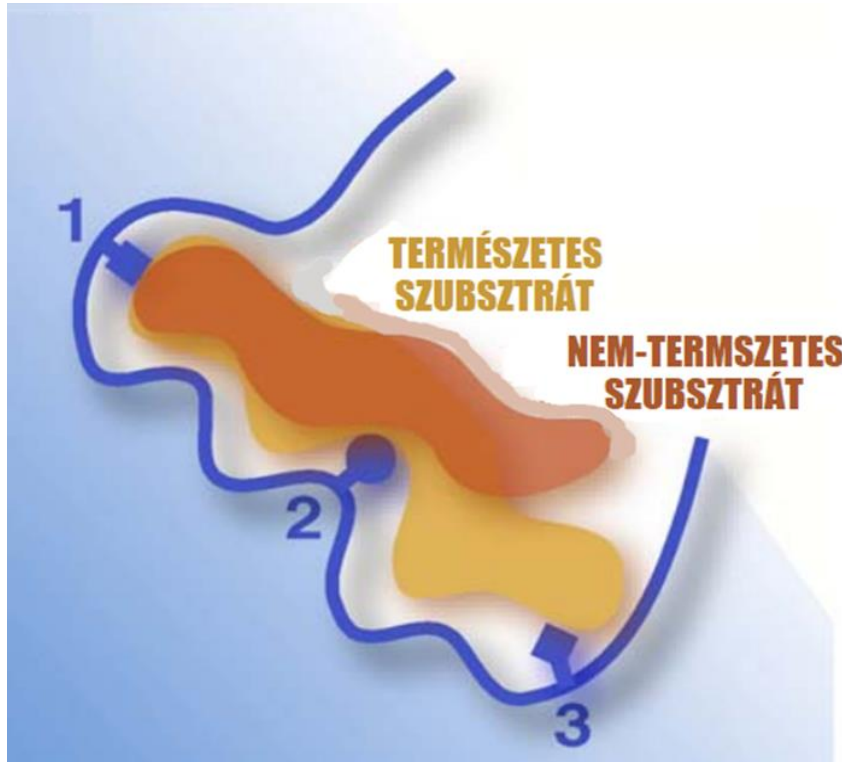


**AZ ÚN. RESTRIKCIÓS ENDONUKLÁZ ENZIM 3D  
MODELLJE, AMELY ÉPPEŒ A DNS-MOLEKULÁT HASÍTTJA**

**MINT KULCS A ZÁRBAN**

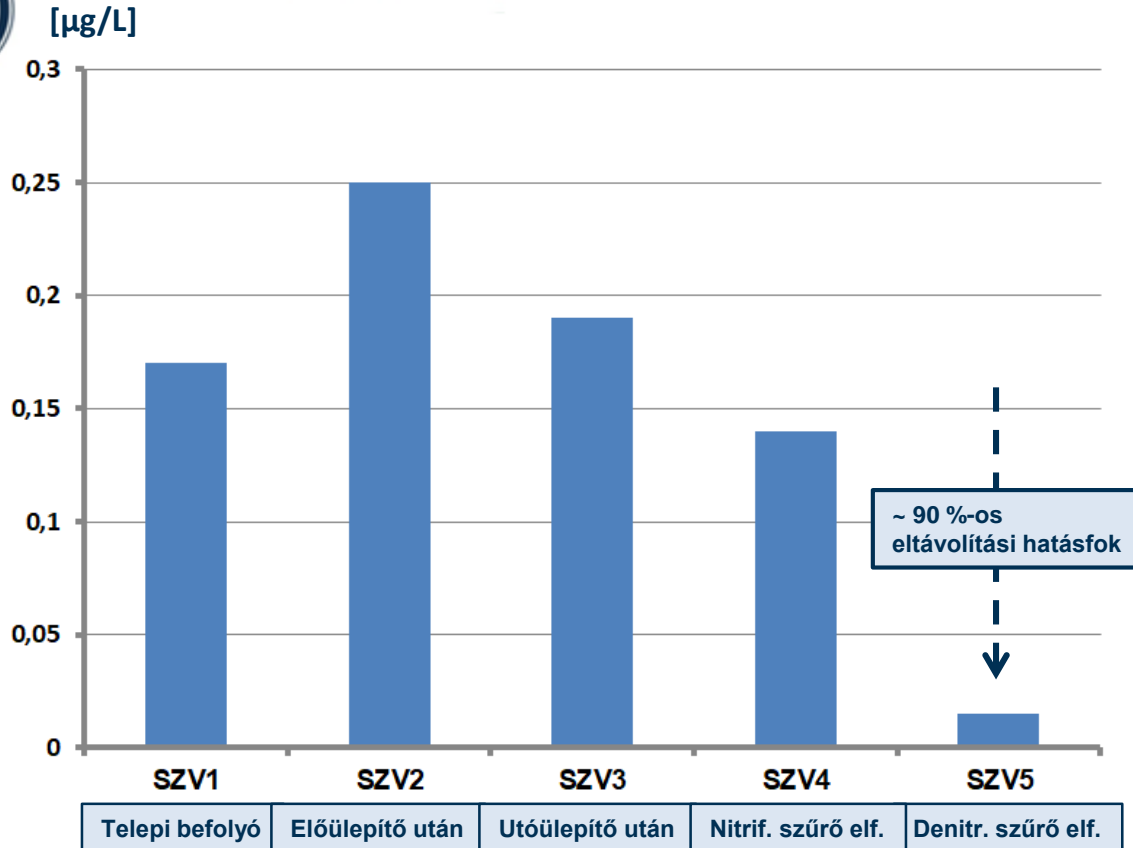


# TÉVEDNI ENZIM DOLOG



„LÖTYÖGŐ” ENZIMEK: A SAJÁT SZUBSZTRÁTJA HELYETT ELFOGAD EGY HASONLÓ SZERKEZETŰ, DE NEM PONTOSAN AZONOS MOLEKULÁT (PÉLDÁUL EGY GYÓGYSZERMOLEKULÁT) = VÉLETLENSZERŰ REAKCIÓ (KOMETABOLIZMUS)

# Kometabolizmus denitrifikációs fokozaton: szulfametoxazol



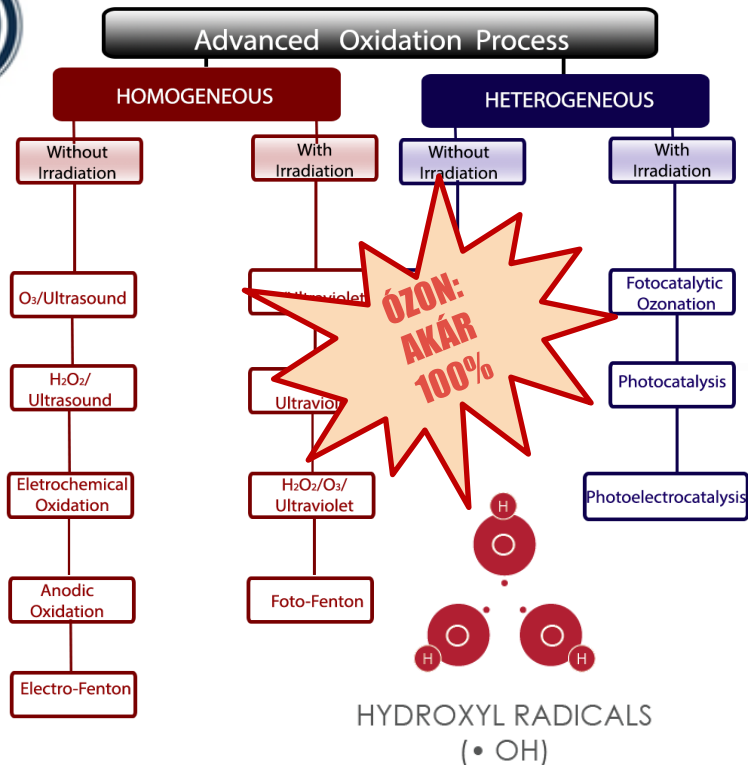
■ szulfametoxazol

LogKow	pKa	logKoc
0,5	1,6 - 6,18	1,96

Kometabolizmus:  
Heterotróf szervezetek

Gyorsan bontható alapszubsztrát:  
**Metanol**

# ELTÁVOLÍTÁS SZENNYVÍZBŐL



1.

**NAGYHATÉKONYSÁGÚ OXIDÁCIÓ**



AKÁR 97-100%

2.

**MEMBRÁNTECHNOLÓGIÁK**



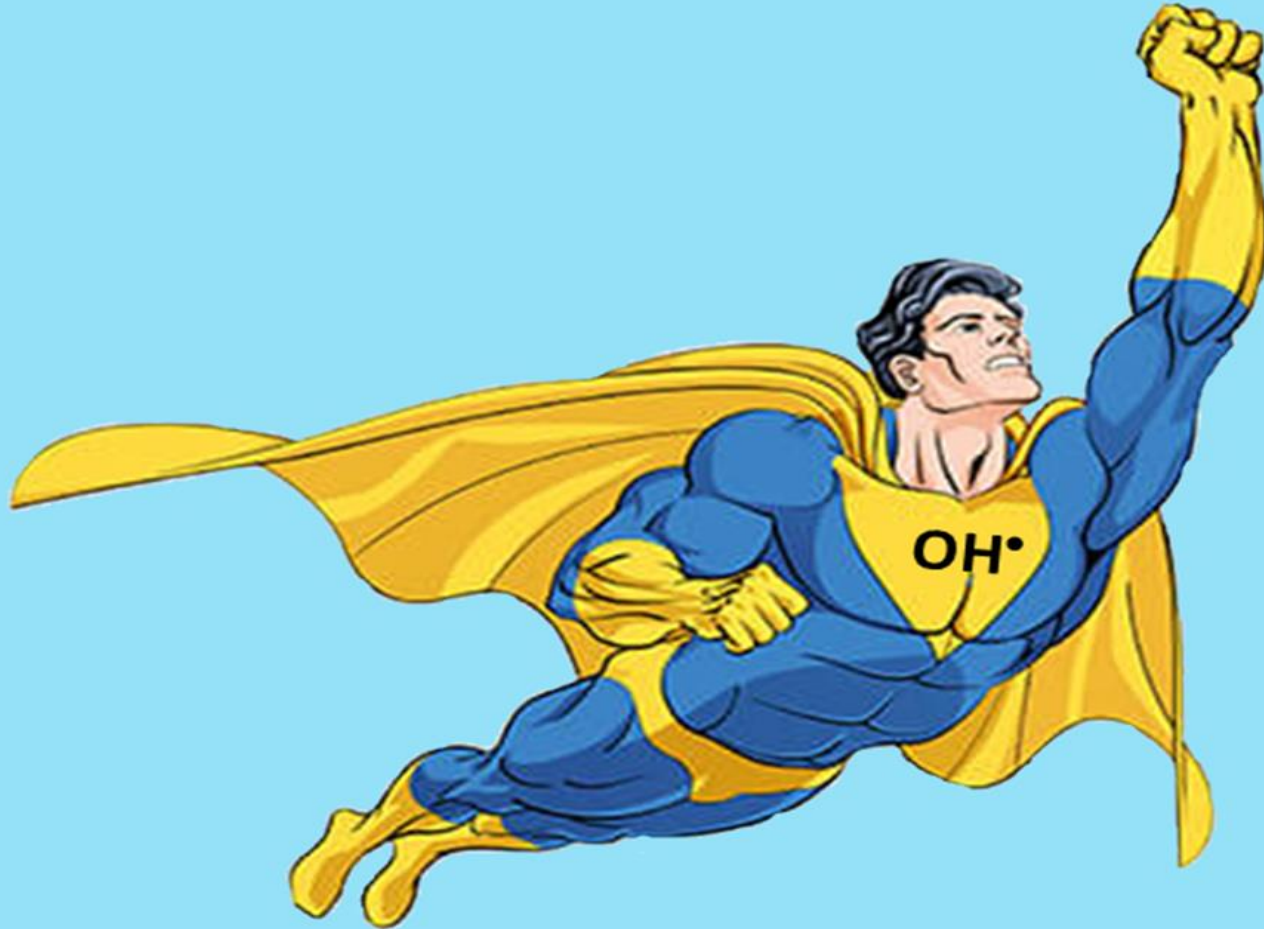
AKÁR 100%

3.

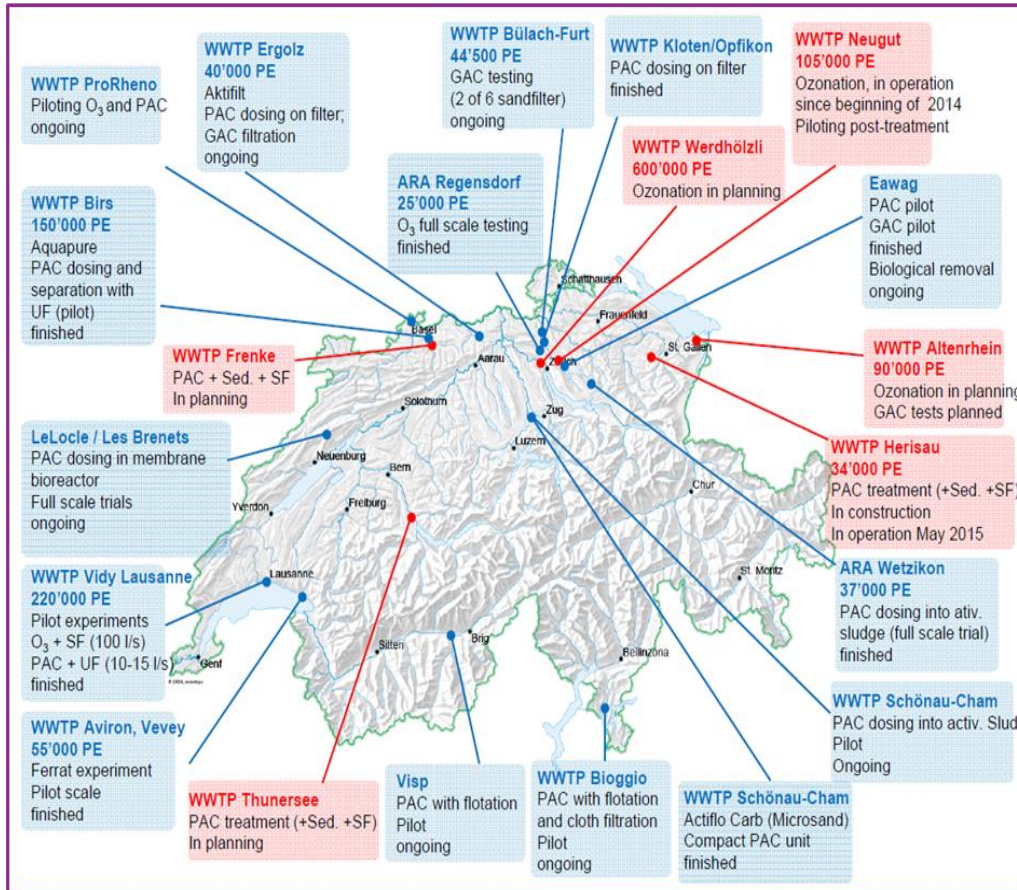
**AKTÍVSZENES SZŰRÉS (PAC, GAC)**



# VIRGONC GYÖKÖK, HALLELUJA



# SVÁJC ÉS JAPÁN AZ ÉLEN



## FŐLEG ÓZON ÉS AKTÍV SZÉN



**Franciaországban ózonos oxidáció:  
Saint-Pourcain-SurSioule, Sophia Antopolis, Valbonne**

**Hollandiában aktív szén: Horstemeer  
szennyvíz-tisztító**

**Japánban ózonos kezelés több mint 60 helyen**

**Kanada: a világ legnagyobb ózonos oxidációval üzemelő tisztítóműve (Montreal)**

**„Reine Ruhr” (Tiszta Ruhr folyó) = ÓZON + AKTÍV SZÉN**

# AZ ELEKTRONÁGYÚ IS OPCIÓ LEHET

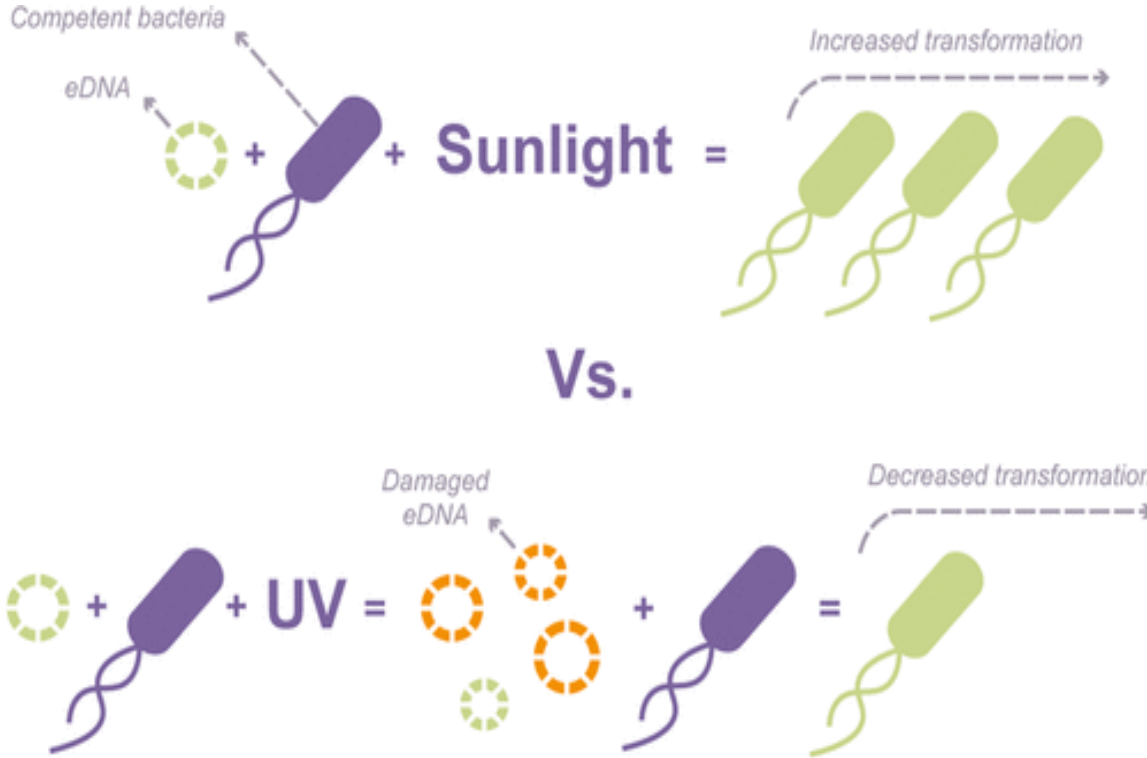


- Napi 30 millió liter ipari szennyvíz tisztítására alkalmas
- Évente 4,5 milliárd L édesvizet takarítanak meg, ami évente 100 000 ember szomját olthatja
- A dél-kínai Guanhua Knitting Factory üzemében, korábban kémiai tisztítás
- Elektrongyorsító – ipari festékek roncsolása – túl nagy falat lenne a baktériumoknak





# KŐ KÖVÖN NEM MARAD



**FONTOS ELVÁRÁSOK A  
4. FOKOZATTAL SZEMBEN:**

**A REZISZTENS BAKTÉRIUMOK  
SZÁMA CSÖKKENTHETŐ**

**A GENETIKAI ANYAG, ÍGY AZ  
ANTIBIOTIKUM-REZISZTENCIA  
GÉNEK RONCSOLHATÓK**

**KIS DÓZIS: extracelluláris DNS (eDNS) → a sejten kívülre  
KÖZÖSSÉGI SZINTŰ TÚLÉLÉS!!!**





**Fővárosi  
Csatornázási Művek Zrt.**

**Köszönöm a figyelmet!**