



Planet  
Budapest  
2026



# Perzisztens szennyezők bontása bioszén alapú, perszulfát-ion asszisztált heterogén (foto)katalitikus eljárások során

Veres Bence, Dinesh Chandola, Dr. Alapi Tünde

PhD hallgató

Molekuláris és Analitikai Kémia Tanszék

Szegedi Tudományegyetem, TTIK

Dulovics Junior Szimpózium 2026

2026. március 4., Budapest

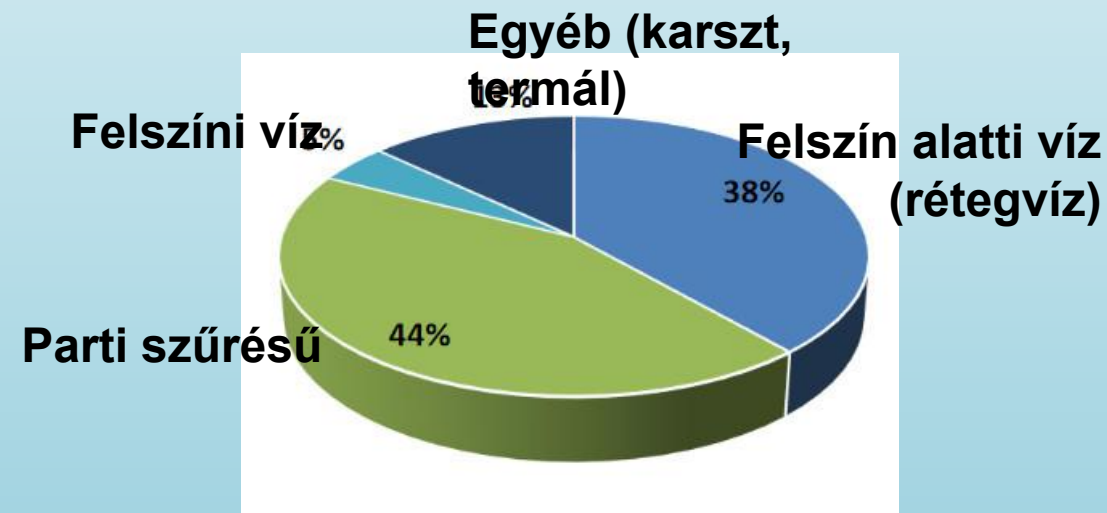
## Milyen a tiszta ivóvíz?

színtelen, szagtalan, ízetlen, lebegő anyagot és mikroorganizmusokat nem tartalmaz.

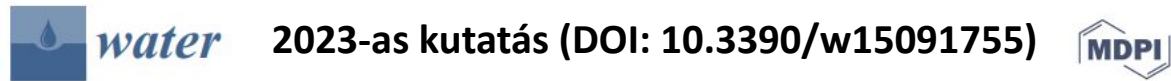
**WHO:** A tiszta ivóvíz az, ami élethosszig tartó fogyasztás esetén sem okoz egészségügyi problémákat.



**Perzisztens szennyező:** a klasszikus szennyvíztisztító eljárások után is a vízben marad.



A hazai ivóvízellátás megoszlása a nyersvíz eredete szerint (Belügyminisztérium, 2019)



2023-as kutatás (DOI: 10.3390/w15091755)

## Detection and Quantification of Pharmaceutical Residues in the Pest County Section of the River Danube

Tibor József<sup>1,\*</sup>, Szonja Réka Kiss<sup>1</sup>, Ferenc Muzslay<sup>1</sup>, Orsolya Máté<sup>2</sup>, Gábor P. Stromájer<sup>3</sup> and Tímea Stromájer-Rácz<sup>1,\*</sup>

- <sup>1</sup> Institute of Diagnostic, Faculty of Health Sciences, University of Pécs, H-7621 Pécs, Hungary; szonjak12@gmail.com (S.R.K.); muzslay.fe@gmail.com (F.M.)
- <sup>2</sup> Institute of Emergency Care, Pedagogy of Health and Nursing Sciences, Faculty of Health Sciences, University of Pécs, H-7621 Pécs, Hungary; orsolya.mate@etk.pte.hu
- <sup>3</sup> Institute of Basics of Health Sciences, Midwifery and Health Visiting, Faculty of Health Sciences, University of Pécs, H-7621 Pécs, Hungary; gabor.stromajer@freemail.hu
- \* Correspondence: tibor.jozsef@etk.pte.hu (T.J.); timea.stromajer-racz@etk.pte.hu (T.S.-R.)

A Duna vizét vizsgálták Budapest környékén, parti szűrésű kutakban. (Naproxen)

Szentendre ~177 ng/L  
XX. kerület ~3850 ng/L



Közvetlen egészségügyi kockázatok  
Rezisztens baktériumtörzsek kialakulása

2035-től érvényes, módosított EU-s direktíva (91/271/EGK)

**kötelező negyedleges szennyvízkezelési eljárások**

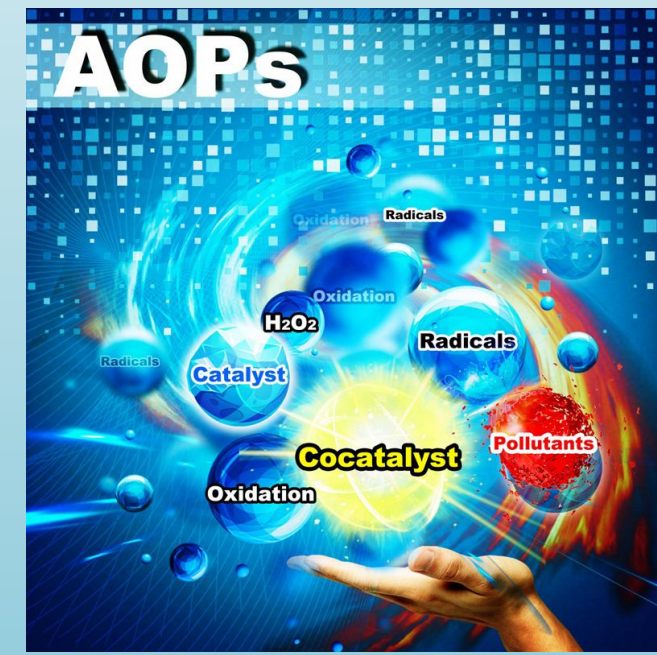
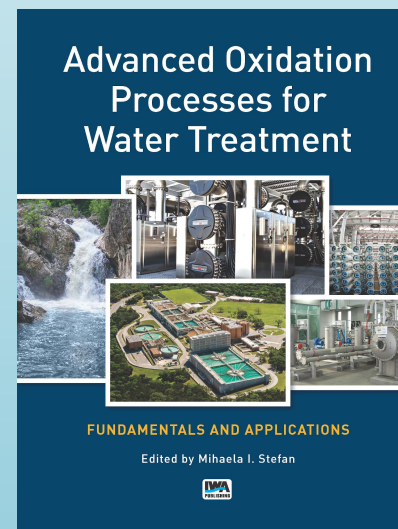


Költséghatékony, kiegészítő eljárások alkalmazása

**Nagyhatékonyságú oxidációs eljárások (AOPs)**

Reaktív gyökök generálásán alapuló módszerek:

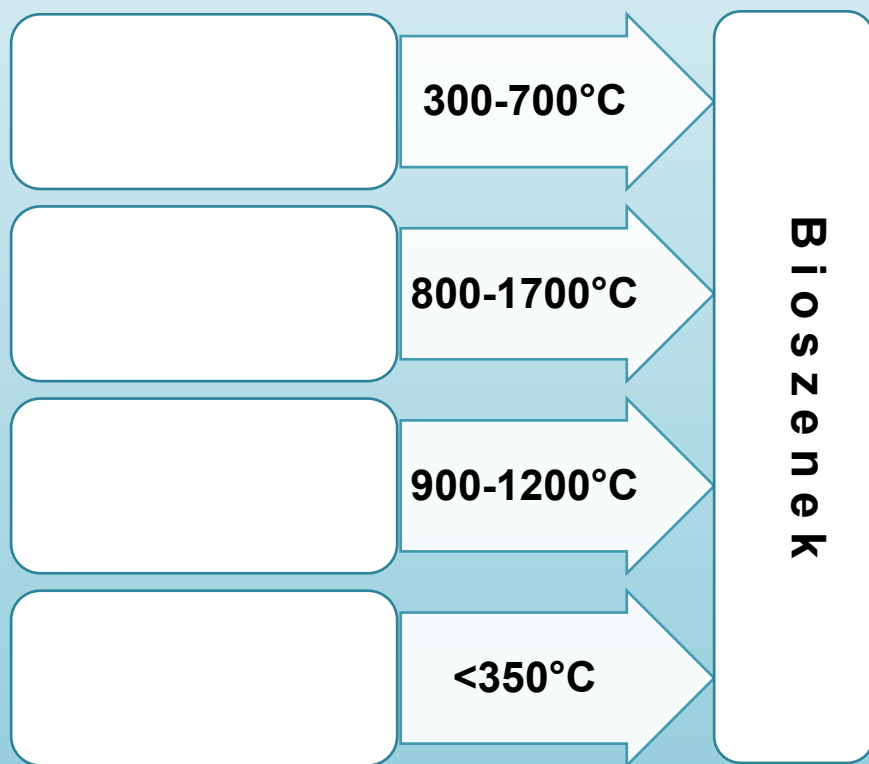
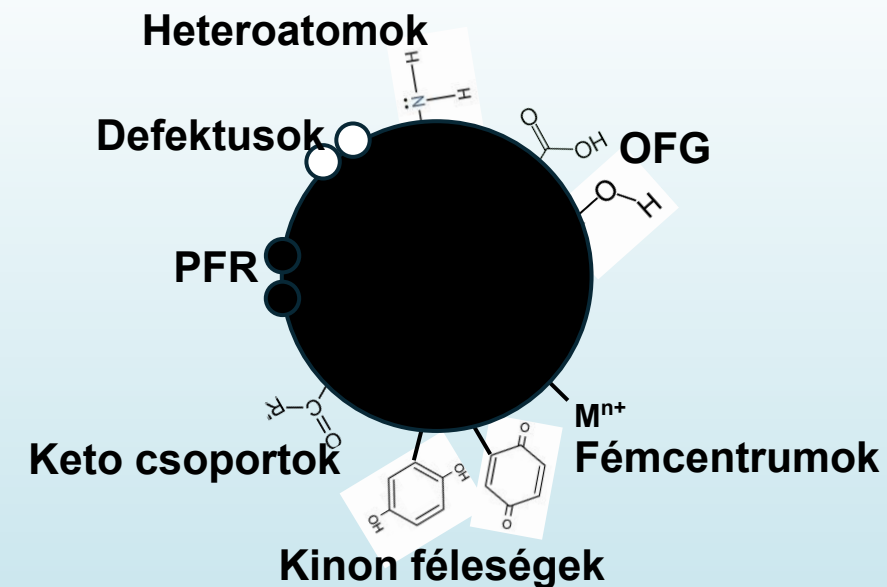
Ózonozás, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, fotokatalízis, UV/VUV



# Bioszenek

## Bioszén:

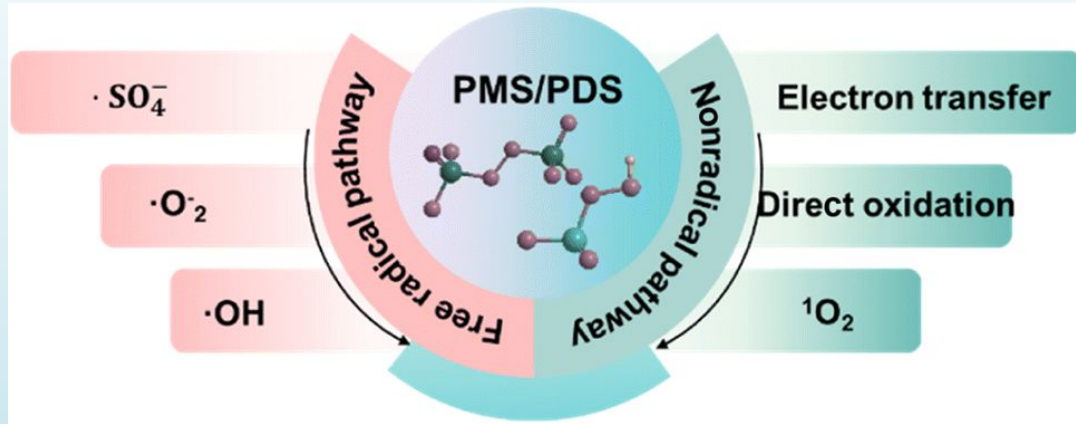
Széntartalmú anyag, amely biomasszából készül magas hőmérsékleten, oxigénszegény környezetben. Közismert adszorbens, de katalitikus tulajdonságai is ismertek.



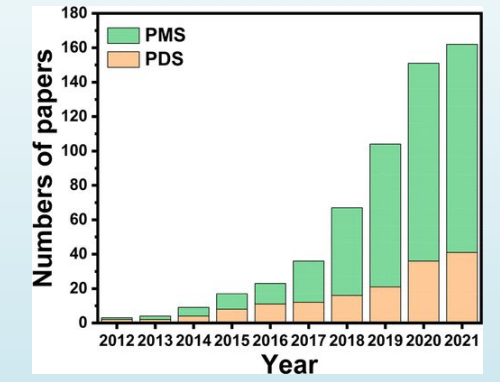
## Hatásmechanizmus:

- Perzisztens szabadgyökök (PFR-k)
- Oxigéntartalmú funkciós csoportok (OFG-k)
- Heteroatomok mennyisége és minősége (pl. Fe, N)
- Grafitizáció mértéke □ töltésszeparáció

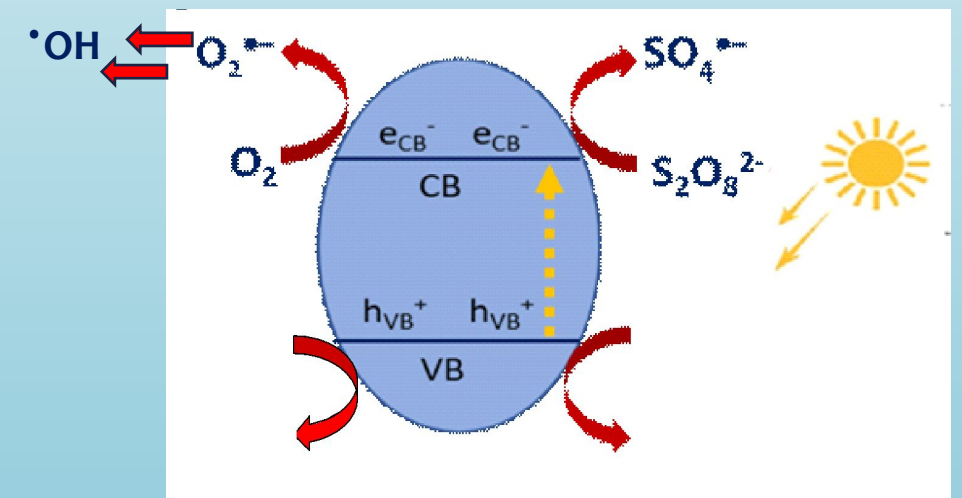
## Perszulfát ion asszisztált fejlett oxidációs eljárások (PS-AOP-k)



## Cikkek száma a perszulfát AOP-k témakörében



- Számos aktiválási mód lehetséges → Hevítés, szonikálás, UV fény, fotogerjesztett elektron, fémion,
- Gyökös és nemgyökös reakcióútvonalak között
- Nagy redoxpotenciál
- Relatív hosszú élettartam (30-40 μs)
- Széles pH tartományban használható
- De nagyobb szelektivitás
- Olcsó és stabil, könnyen szállítható/tárolható



## Célkitűzések:

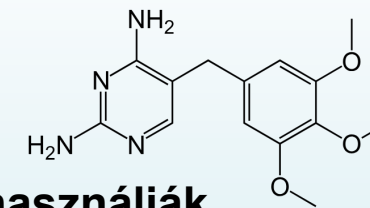
- Különböző hőmérsékleten
- 3 féle biomassza
- Golyósmalomban őrlés

- PMS hatásának vizsgálata
- Bioszén dózis hatása
- **Legjobb bioszén kiválasztása**

- Biomasszával összekeverve
- Kész bioszénnel összekeverve

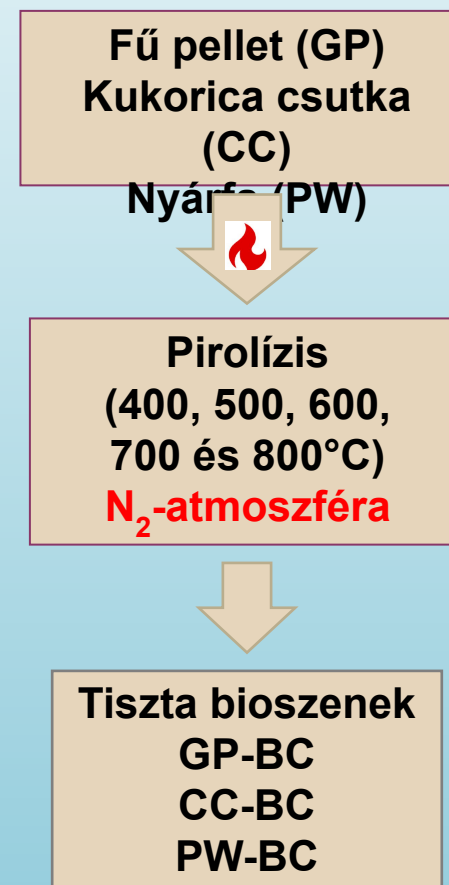
- Sötétben PMS-sel
- Megvilágítva
- Megvilágítva PMS-sel

## Trimetoprim (TRIM)



- Húgyúti fertőzések ellen használják

- 77,5%-a végül a környezetbe kerül



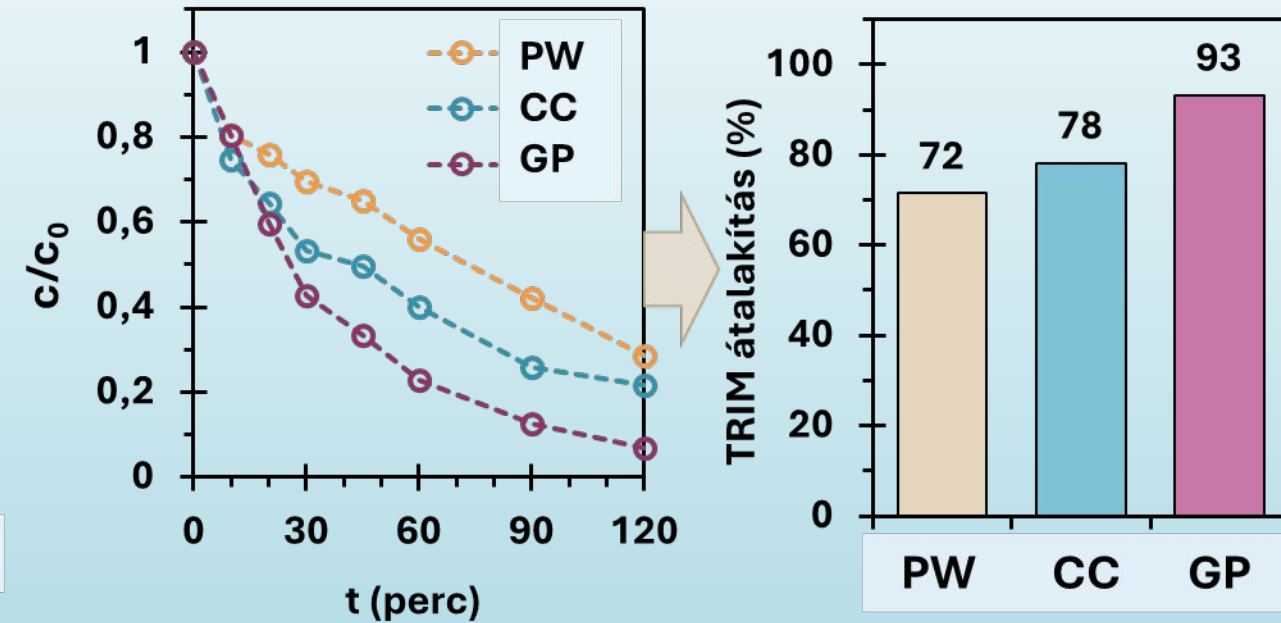
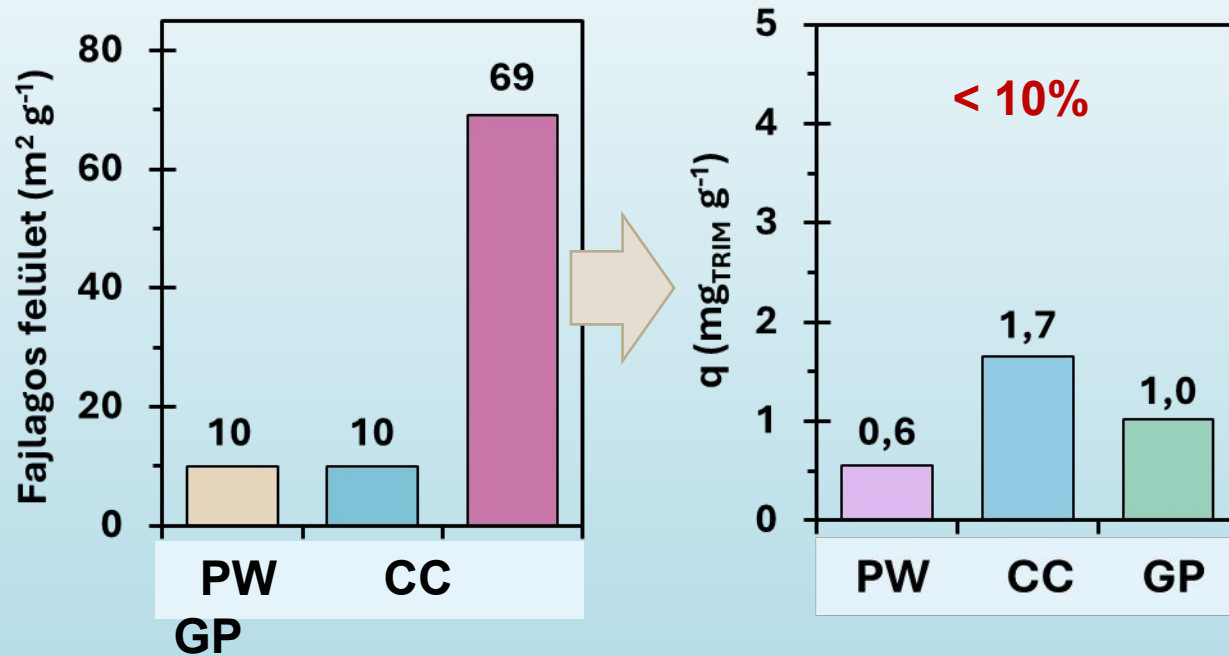
PW – nyárfa fűrészpor,  
CC – kukoricacsutka  
GP – széna pellet

Mérési paraméterek:

$$C_{TRIM} = 0,05 \text{ mM}$$

$$C_{BC} = 3 \text{ g/L}$$

$$C_{PMS} = 2 \text{ mM}$$



## Adszorpció kapacitás vizsgálata

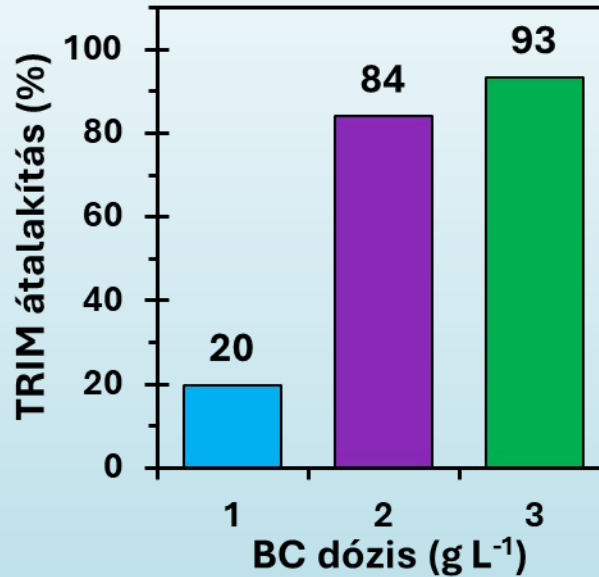
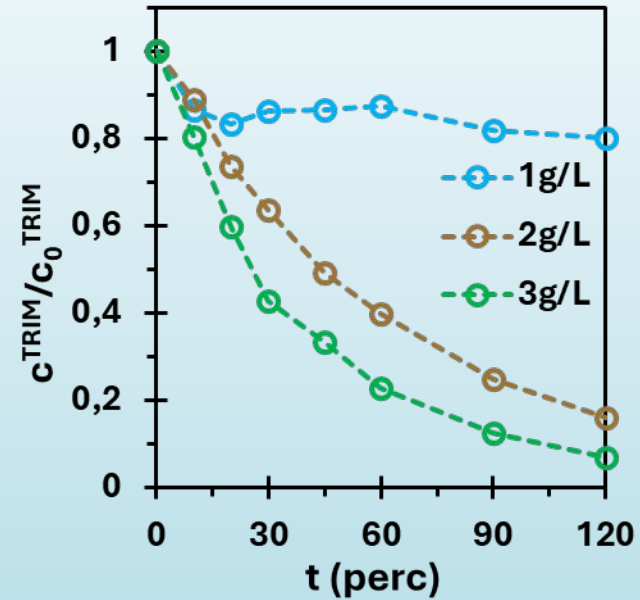
- ◆ A GP-nél volt a legnagyobb a fajlagos felület.
- ◆ DE! Az adszorpció kapacitásokban ez nem mutatkozik meg.

## TRIM átalakítása PMS jelenlétében

- ◆ Adszorpció beállta után PMS hozzáadása

Hatékonyság: **GP > CC > PW**

## GP-BC dózis hatása



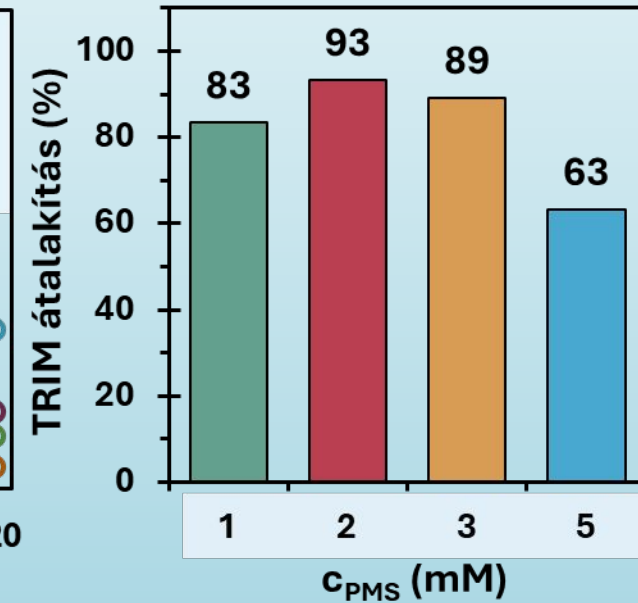
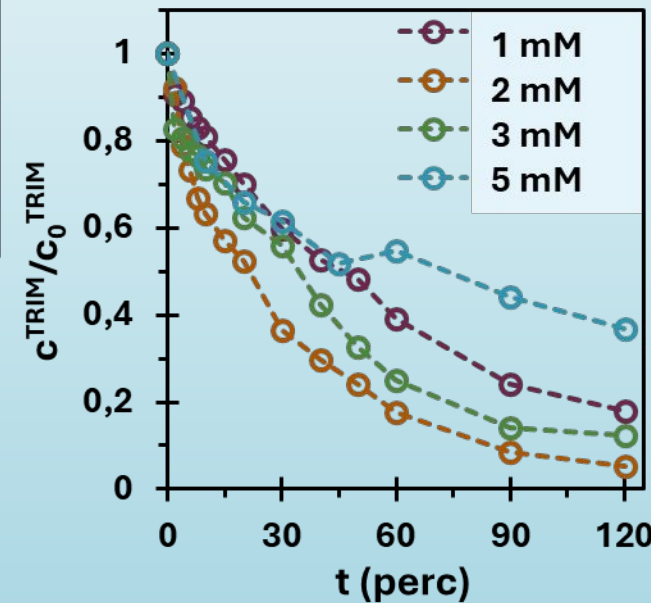
◆ Legnagyobb aktivitás 3 g/L-nél

Mérési paraméterek:

$C_{TRIM} = 0,05 \text{ mM}$

$C_{PMS} = 2 \text{ mM}$

## PMS koncentráció hatása



◆ 2 mM-ig nőtt az aktivitás

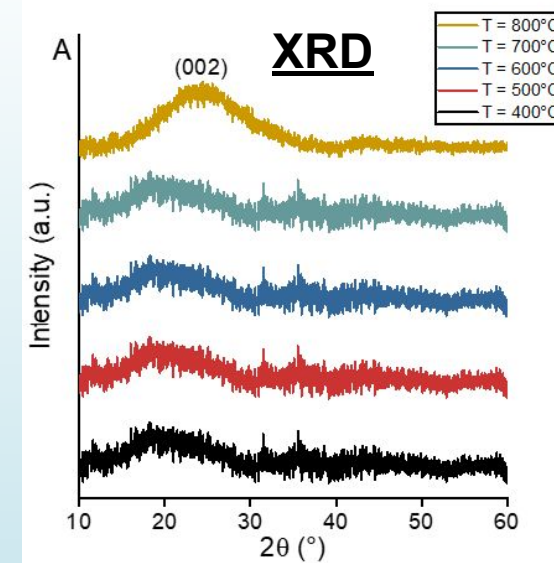
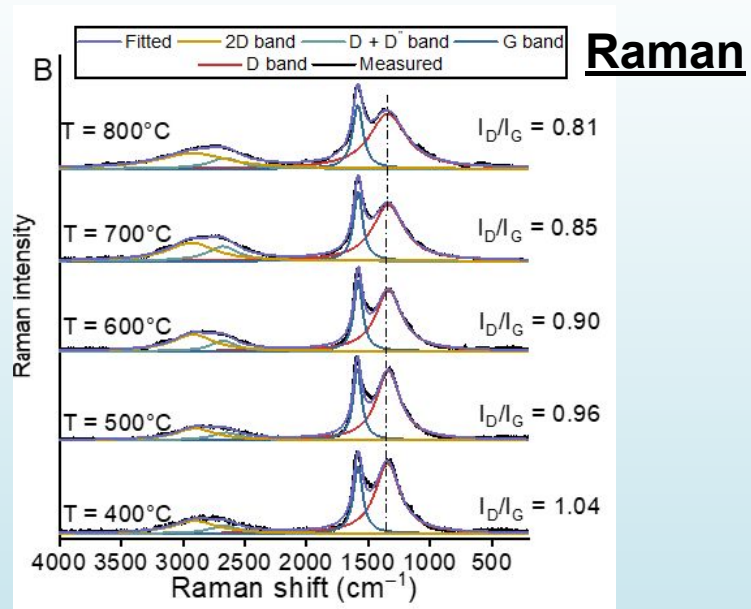
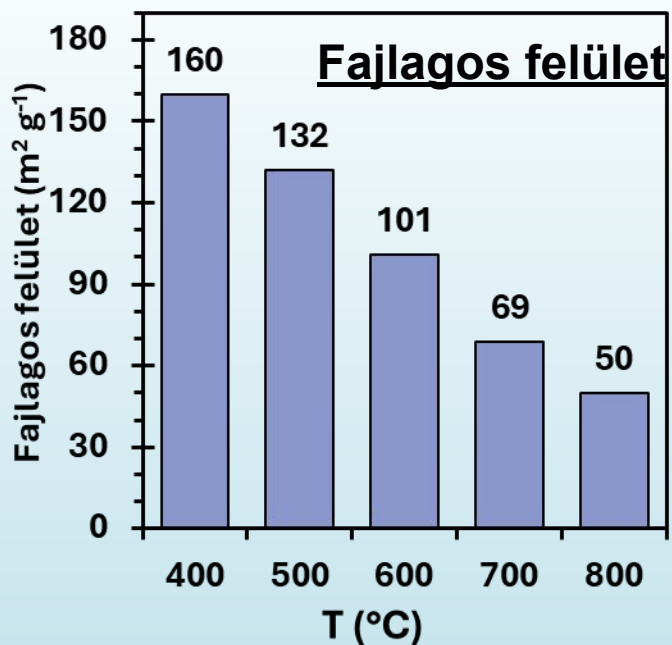
◆ Hatékonyság csökkenés: kompetíció és rekombináció

Mérési paraméterek:

$C_{TRIM} = 0,05 \text{ mM}$

$C_{BC} = 3 \text{ g/L}$

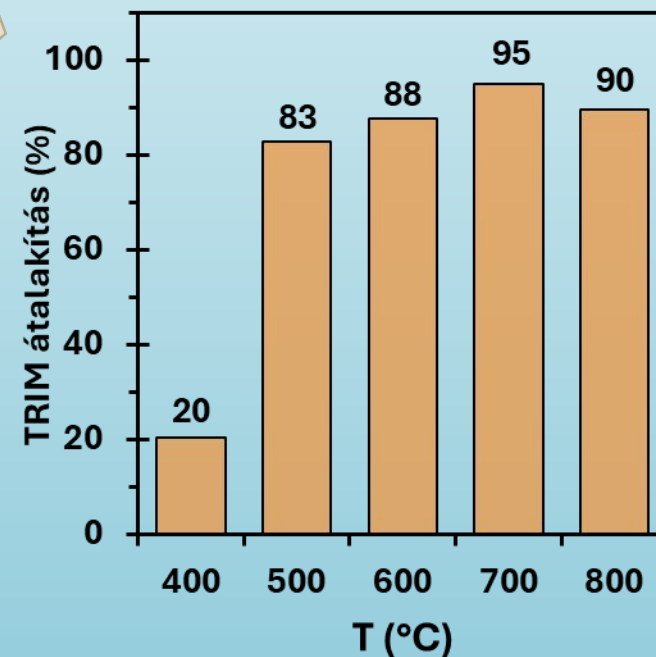
# Pirolízis hőmérsékletének hatása



- ❖ A pirolízis hőmérséklet növelésével nőtt a katalitikus aktivitás.

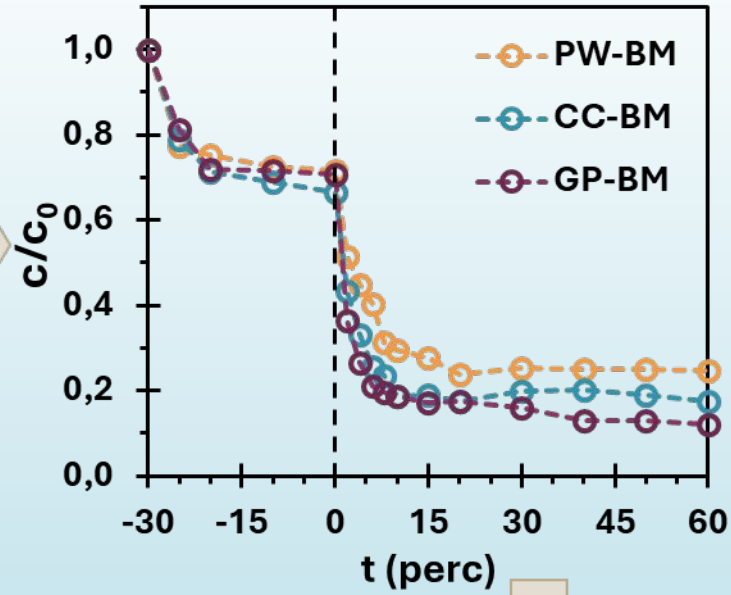
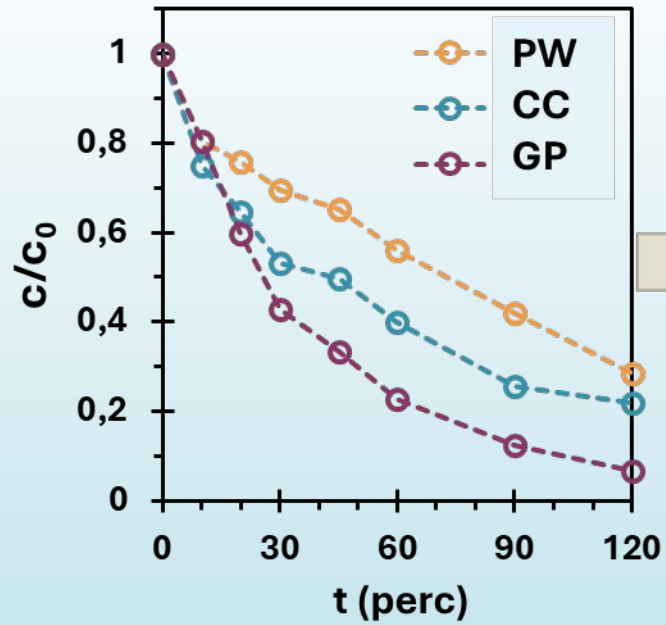
800°C < 700°C > 600°C > 500°C > 400°C

- ❖ A fajlagos felület csökkent.
- ❖ A grafitosodás növekedése volt pozitív hatással.
- ❖ A kristályosodás viszont negatívan hatott.



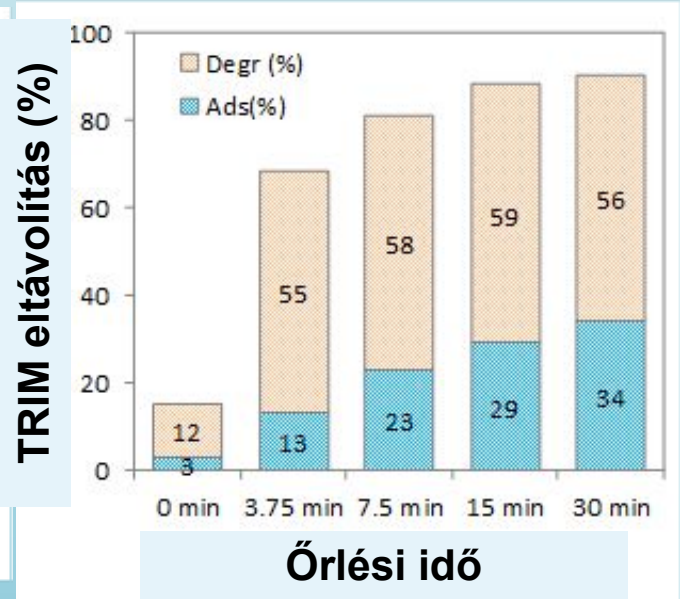
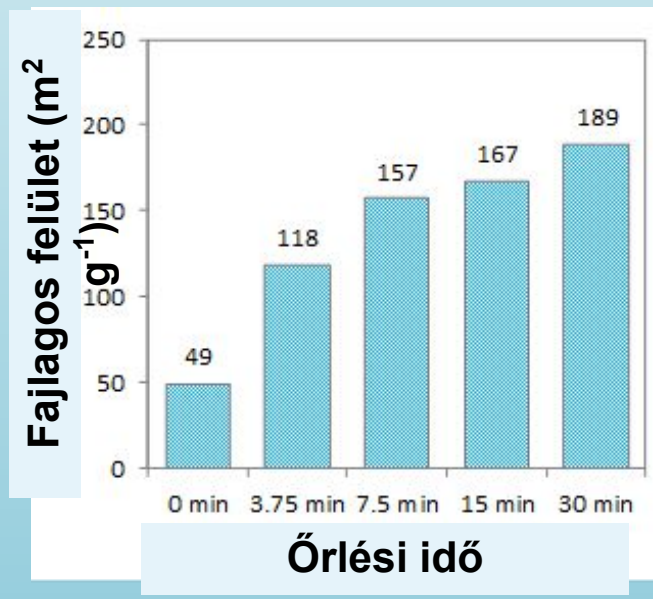
Katalitikus aktivitás

$C_{\text{TRIM}} = 0,05$   
mM  
 $C_{\text{BC}} = 3$  g/L  
 $C_{\text{PMS}} = 2$  mM



$C_{TRIM} = 0,05 \text{ mM}$   
 $C_{BC} = 0,5 \text{ g/L}$  (~~3,0 g/L~~)  
 $C_{PMS} = 0,2 \text{ mM}$  (~~2,0 mM~~)

- ◆ Sokkal kevesebb BC és PMS is elegendő!
- ◆ Néhány perc őrlés is elegendő, utána már csak az adszorpciós kapacitás növekszik.



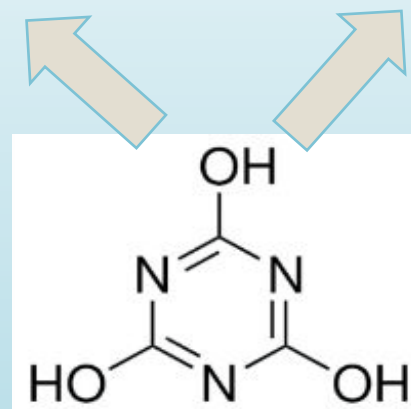
## 700°C-on előállított GP bioszén módosítása

### N-dópolás:

- N-tartalmú funkciós csoportok létrehozása (piridin, pirol, grafitos N)
  - Új típusú aktív centrumok
- Nagyobb fajlagos felület
- A redox folyamatokban fontos elektrokémiai tulajdonságok javítása (vezetés, töltés transzfer)



A biomasszával keverve, 700°C-on pirolizálva



Melamin  
66 w/w%  
nitrogén

Különböző GP:M és BC:M arányokban, N<sub>2</sub> jelenlétében

### Bioszén/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>:

- 550°C-on a melaminból polimer C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> keletkezik
  - Fotokatalitikus tulajdonságok
- Heteroátmenet (heterojunction), térbeli töltésszeparáció □ rekombináció gátlása
- A bioszén szerepe: vázanyag, adszorbens, elektrontranszfer, katalizátor



Elkészített bioszénnel keverve, 550°C-on újrahevítve

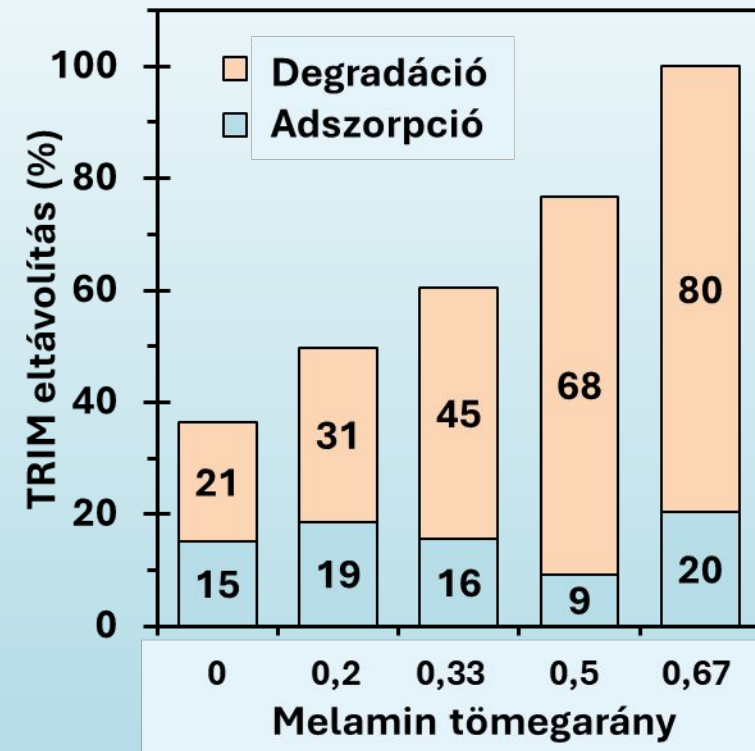
$$c_{\text{TRIM}} = 0,05 \text{ mM}$$

$$c_{\text{BC}} = 0,5 \text{ g/L}$$

$$c_{\text{PMS}} = 2 \text{ mM}$$

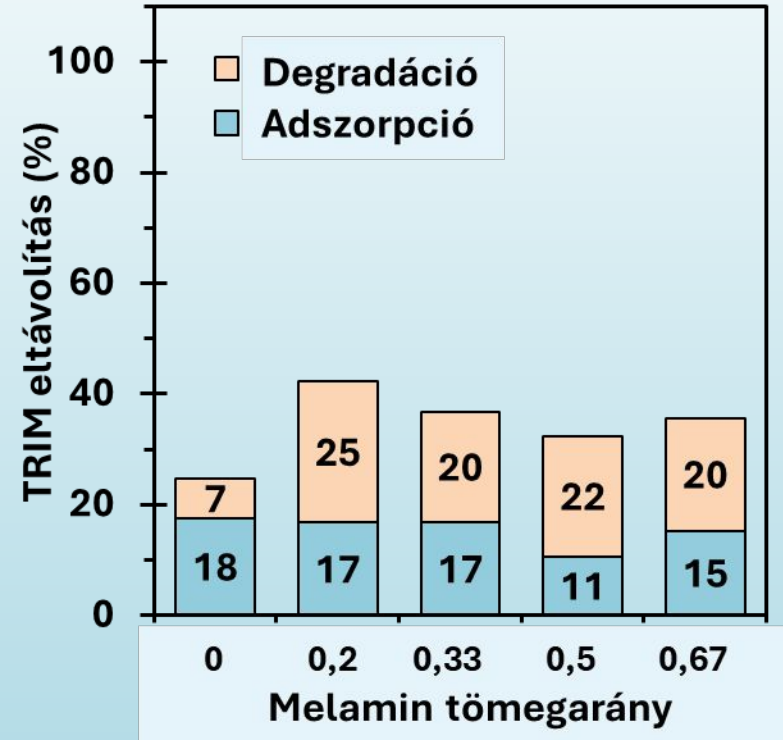
$$\lambda = 398 \text{ nm}$$

## GP-M + PMS



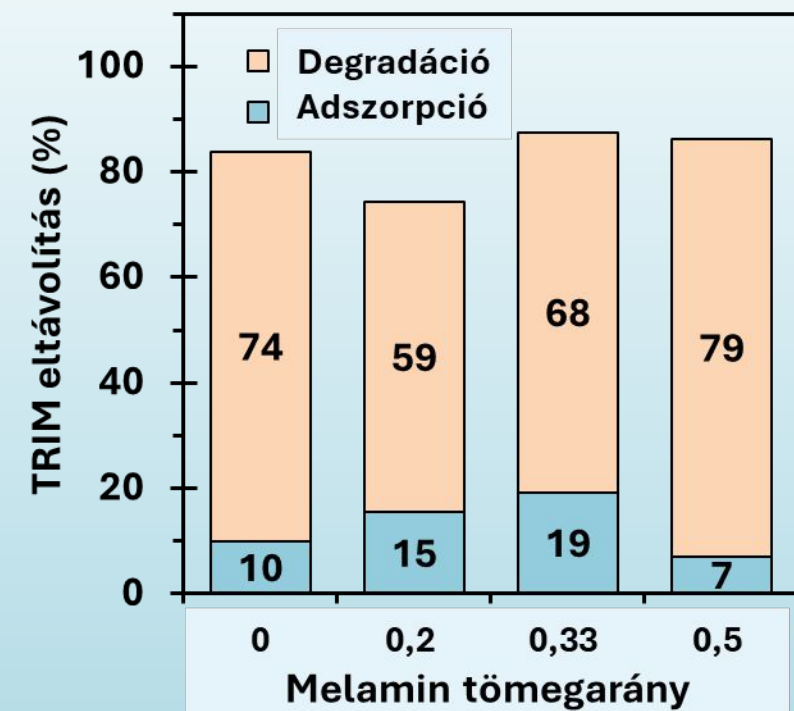
A N-tartalom növekedésével  
javul a katalitikus aktivitás.

## GP-M + UV



A N-dópolt bioszének nagyobb  
fotokatalitikus aktivitással  
rendelkezik.

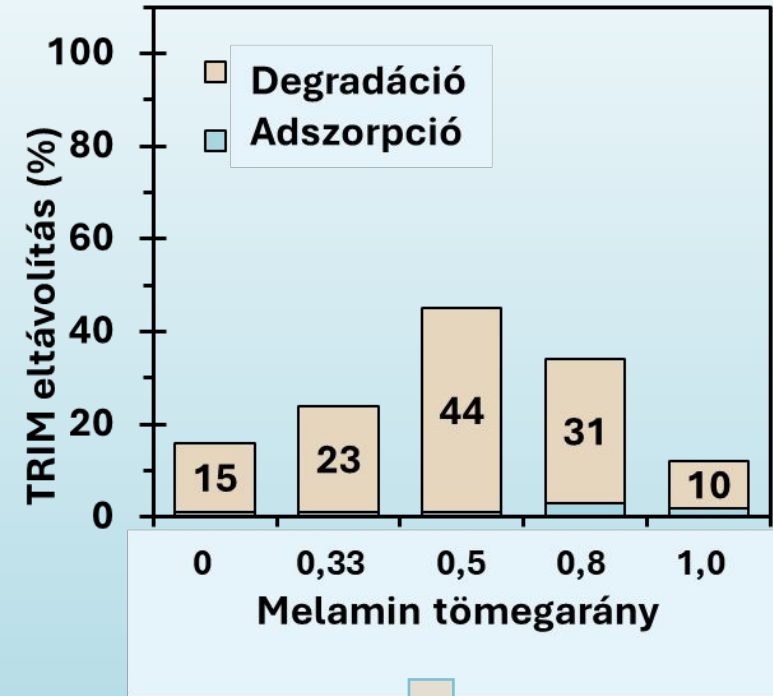
## GP-M + UV + PMS



PMS jelenlétében megvilágítva  
jelentős aktivitás növekedés.

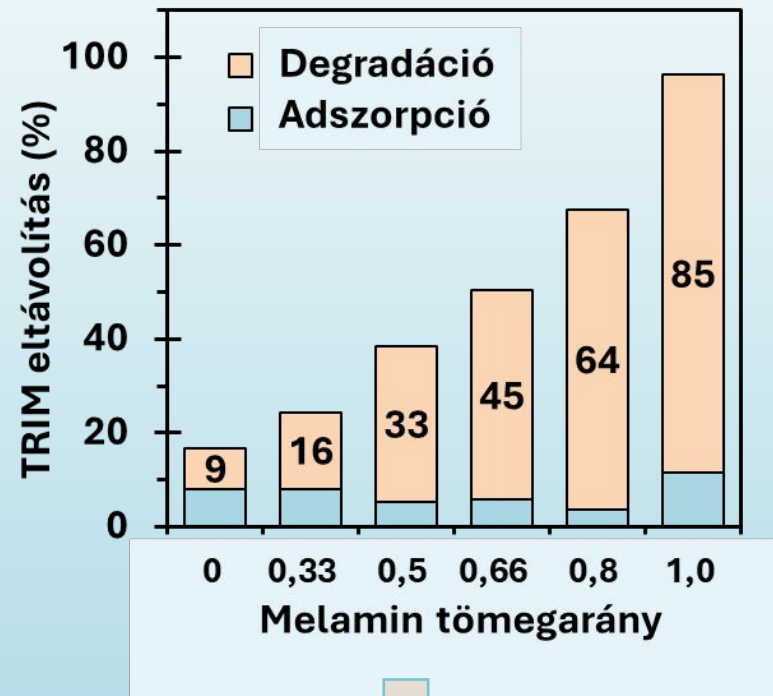
$c_{\text{TRIM}} = 0,05 \text{ mM}$   
 $c_{\text{BC}} = 0,5 \text{ g/L}$   
 $c_{\text{PMS}} = 2 \text{ mM}$   
 $\lambda = 398 \text{ nm}$

## BC-M + PMS



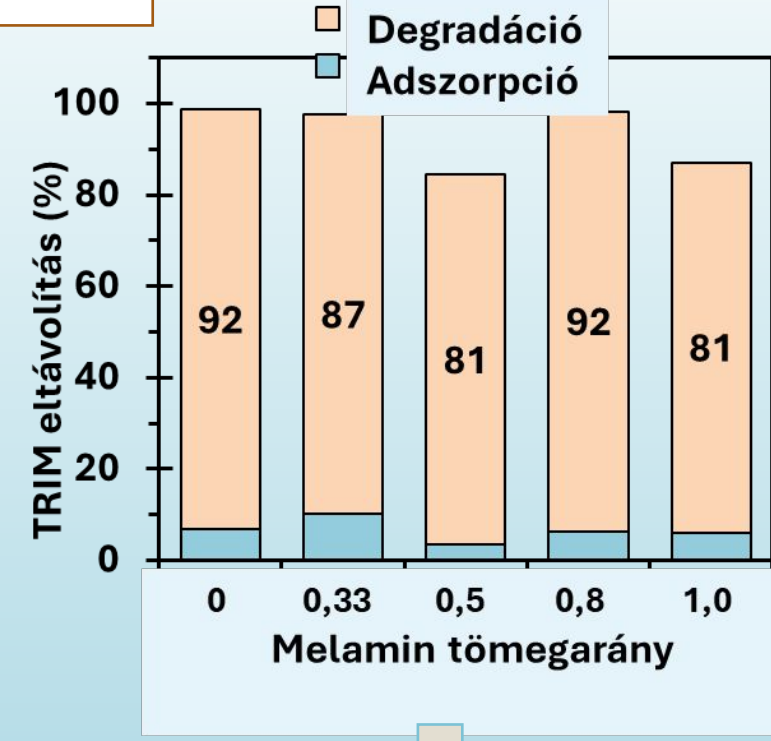
Kis g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> tartalom mellett  
nőtt az aktivitás, de a  
melamin növekedésével  
csökken

## BC-M + UV



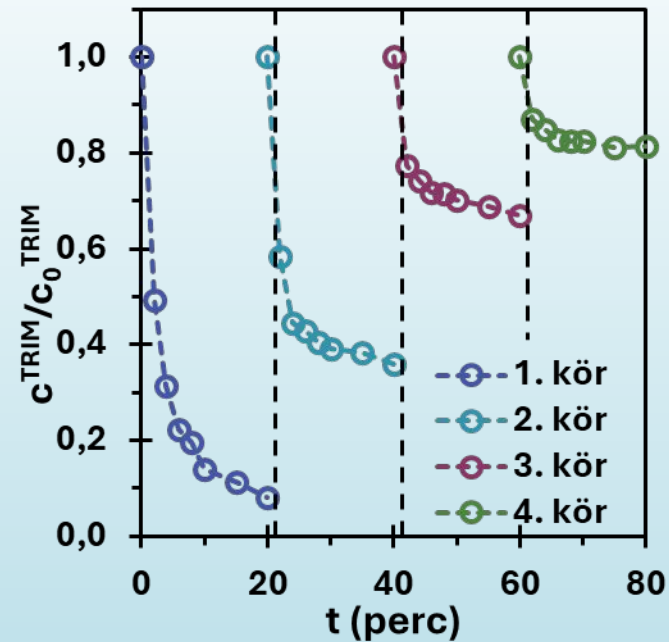
Melamin arány növelésével  
nagyobb fotokatalitikus aktivitás  
□ a g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> fotokatalizátor

## BC-M + UV + PMS

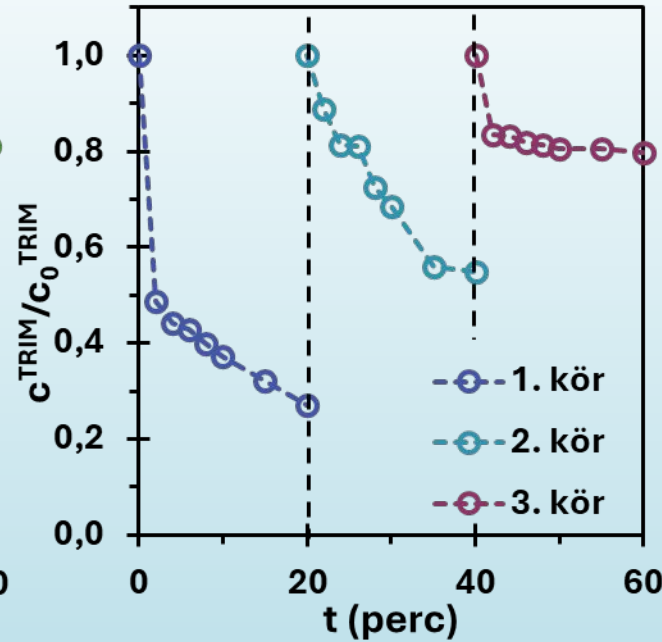


PMS jelenlétében megvilágítva  
jelentős aktivitás

### Ismételt használat



### Regenerálás után



Bioszén/PS alkalmas AOP a mikroszennyezők ellen.

A golyósmalmos őrléssel jelentősen növelhető az aktivitás.

Grafitosság mértéke fontos paraméter.

Melaminnal való módosítás mindkét esetben előnyös volt.

- ◆ Katalitikus hatékonyság gyorsan csökken
- ◆ Köztitermékek adszorpciója
- ◆ Hosszútávú használathoz regeneráció szükséges (254 nm UV fény PDS jelenlétében)

Őrölt bioszén  
 $C_{TRIM} = 0,05 \text{ mM}$   
 $C_{BC} = 0,5 \text{ g/L}$   
 $C_{PMS} = 2 \text{ mM}$



**Köszönöm a figyelmet!**