



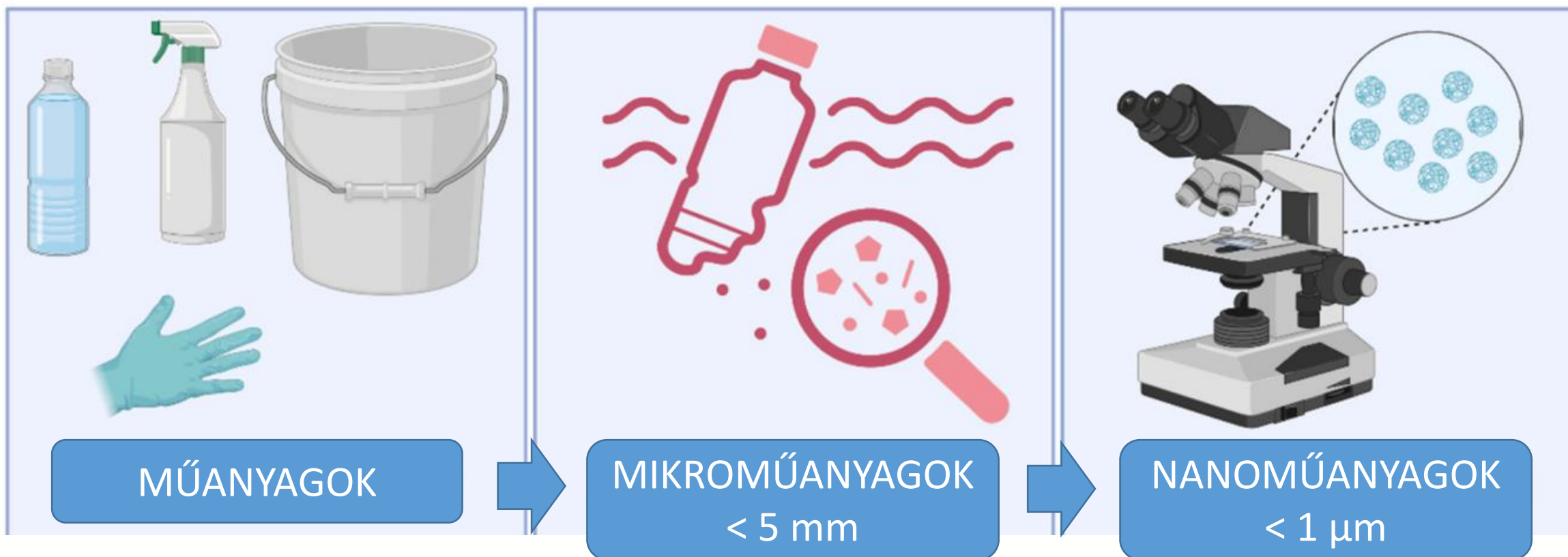
**NNGYK**  
NEMZETI NÉPEGÉSZSÉGÜGYI  
ÉS GYÓGYSZERÉSZETI KÖZPONT



WHO Collaborating Centre  
for Environmental Health Risk Management

# A mikroműanyag-szennyezés egészséghatása és közegészségügyi jelentősége

Dr. Pándics Tamás  
tudományos igazgató



Szintetikus vagy részben szintetikus anyagok, amelyek képlékenyek és szilárd anyagokká formázhatók

A makroműanyagok töredezése, bomlása (fizikai, kémiai, biológiai folyamatok) során jönnek létre

A mikroműanyagok további bomlásával alakulnak ki

# Mikro- és nano- műanyagok komplexitása

PET, PVC, PP  
PS, HDPE,  
LDPE

Anyag

Adalékok

pl. endokrin  
diszruptorok

töltés  
biofilm  
repedések  
hidroxil, karboxil, amino  
stb. csoportok

Felületi  
tulajdonságok

Kapcsolódó  
szennyezők

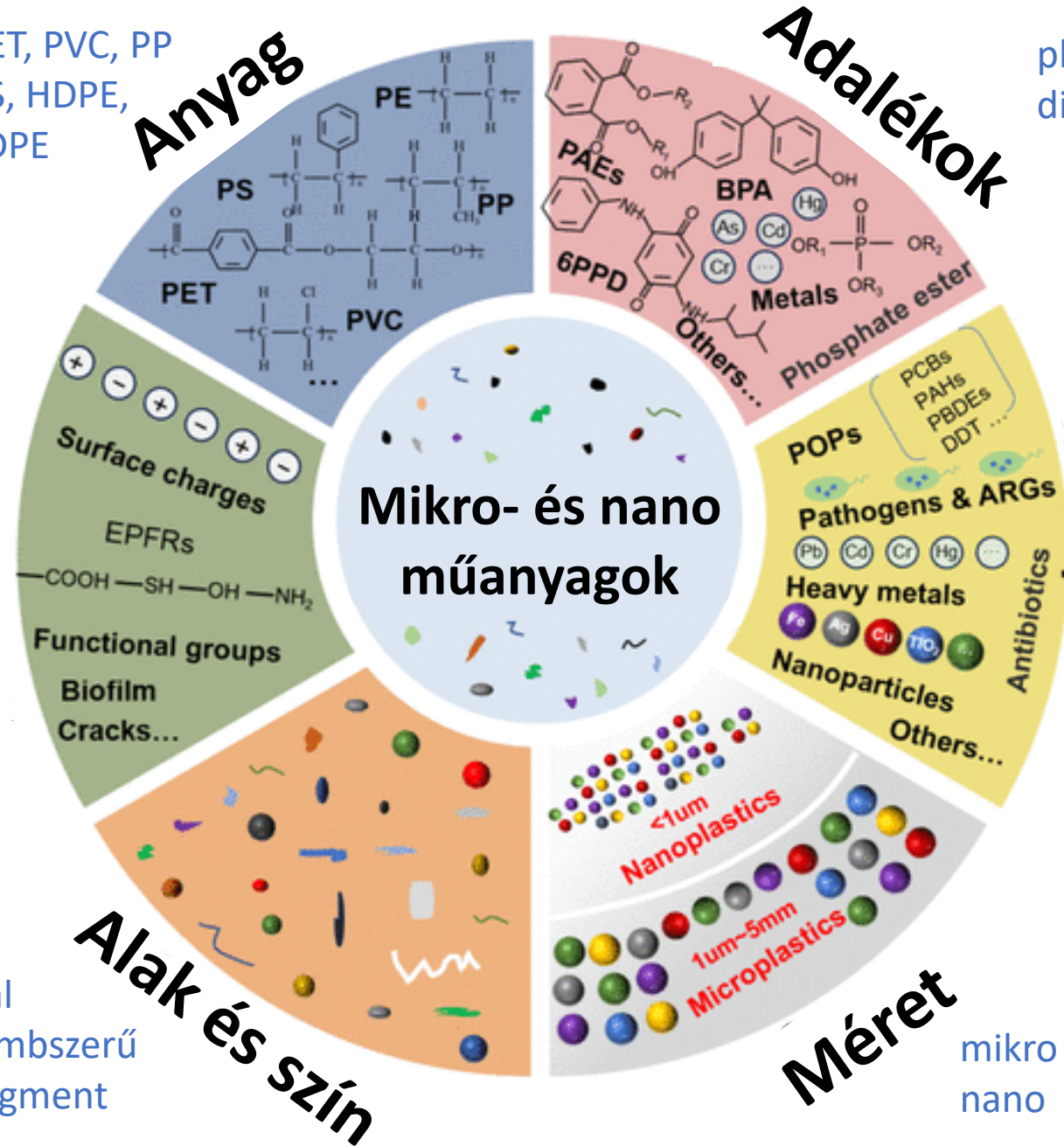
nehézfémek  
patogének  
antibiotikumok  
POP-ok

szál  
gömbszerű  
fragment

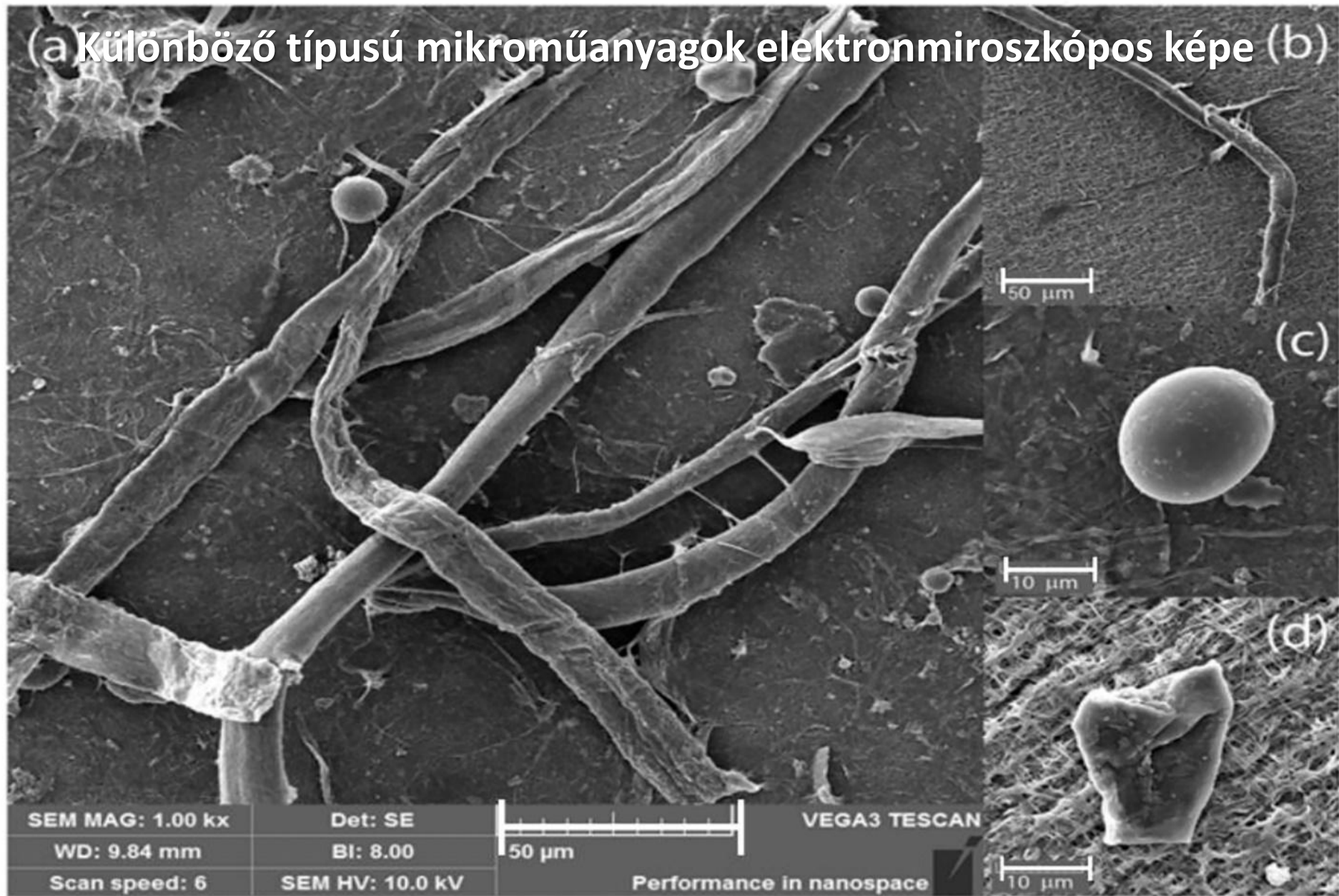
Alak és szín

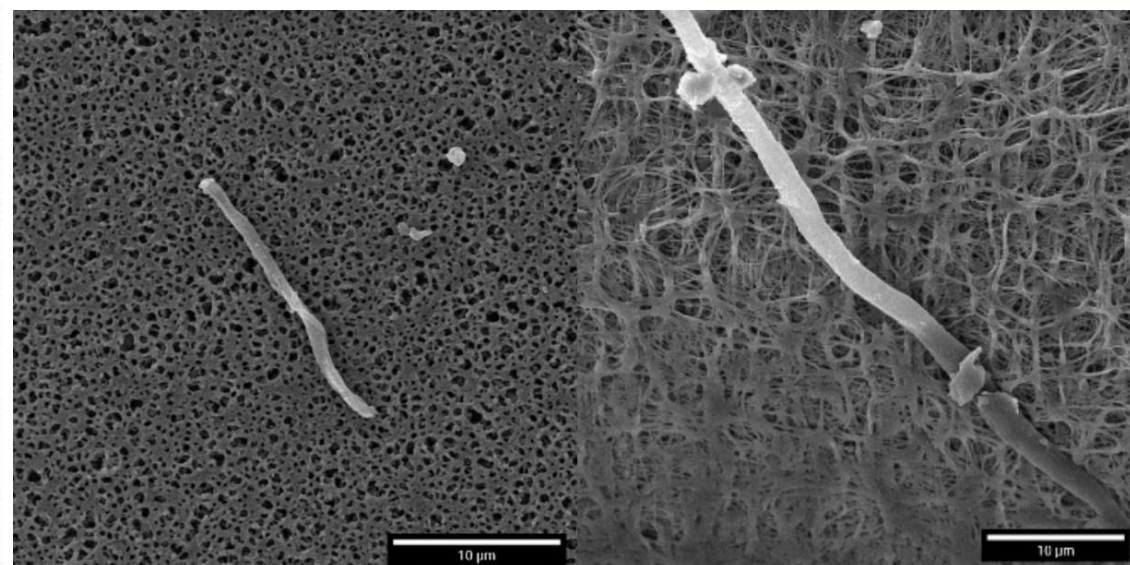
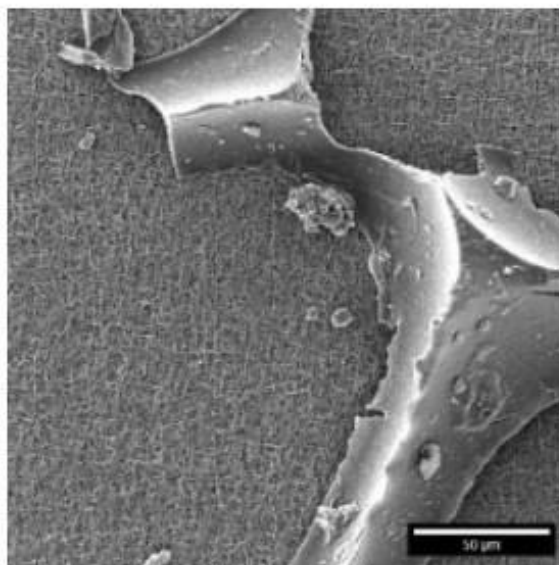
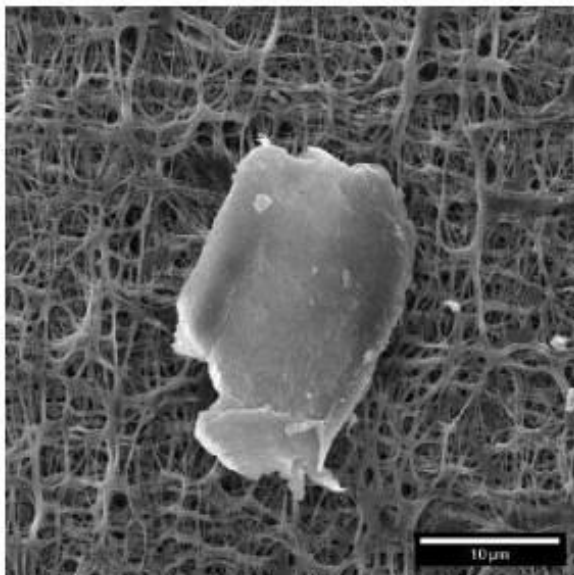
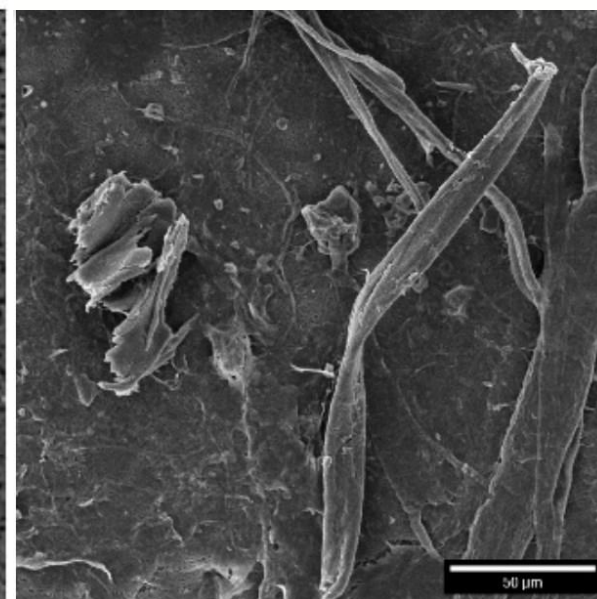
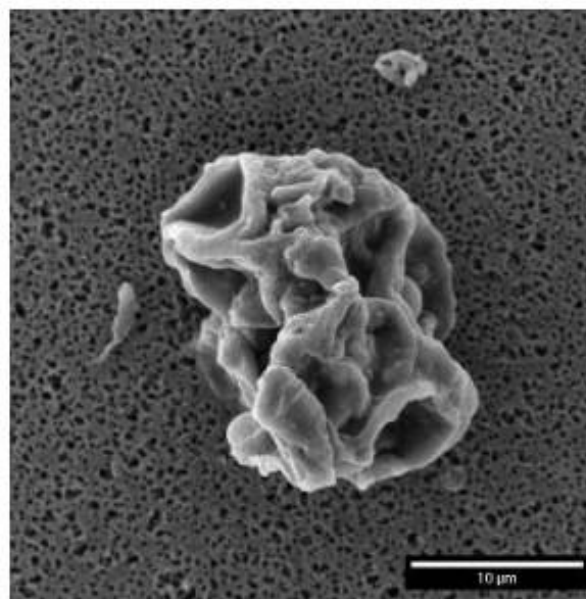
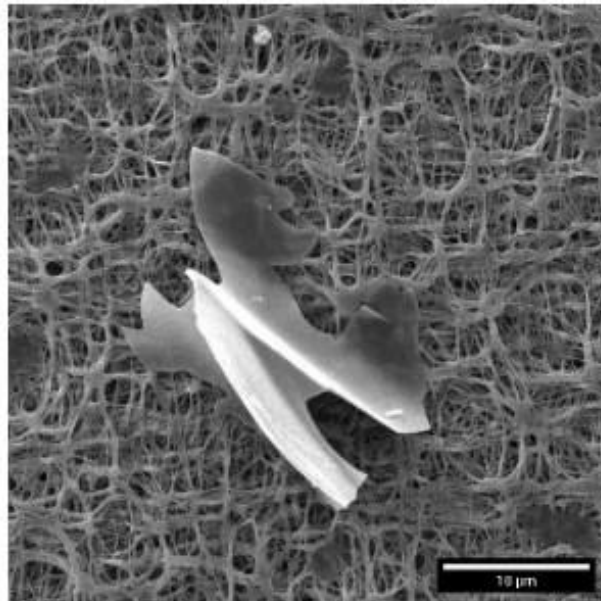
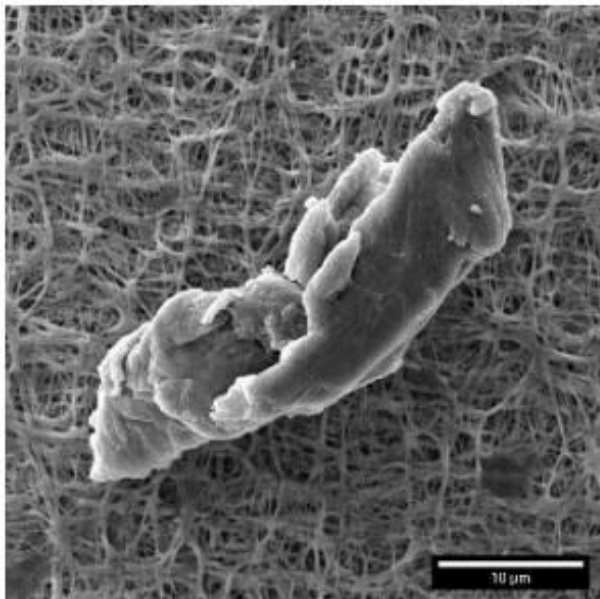
Méret

mikro  
nano



(a) Különböző típusú mikroműanyagok elektronmiroszkópos képe (b)





## Keletkezésük:

- Elsődleges
- Másodlagos: mechanikai hatások (szél, víz), napfény (UV sugárzás), kémiai és biológiai lebomlás (baktériumok, enzimek)



### Főbb források

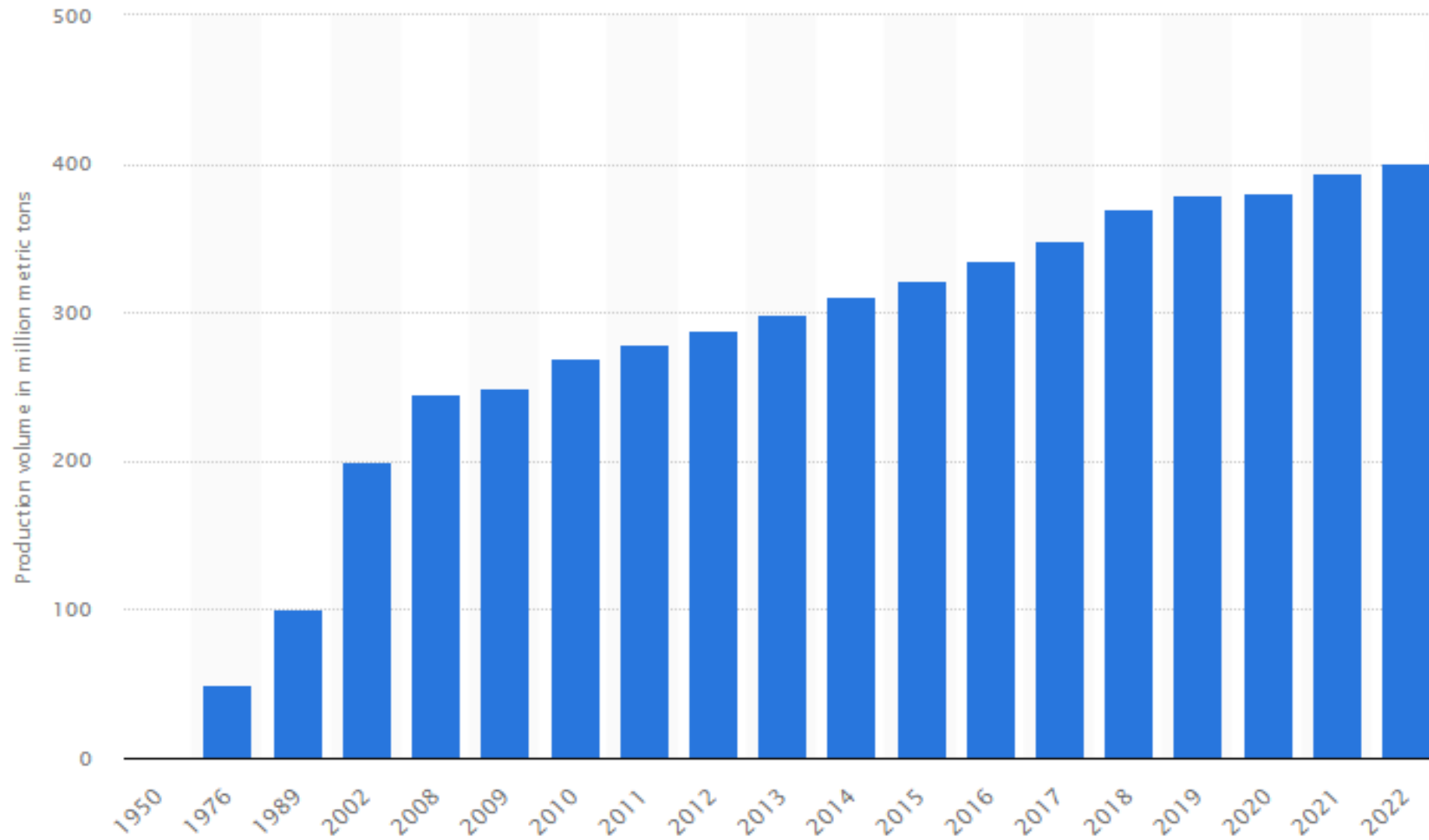


### Biológiai hozzáférhetőség és hatások



Thompson et al 2024: Twenty years of microplastic pollution research—what have we learned?

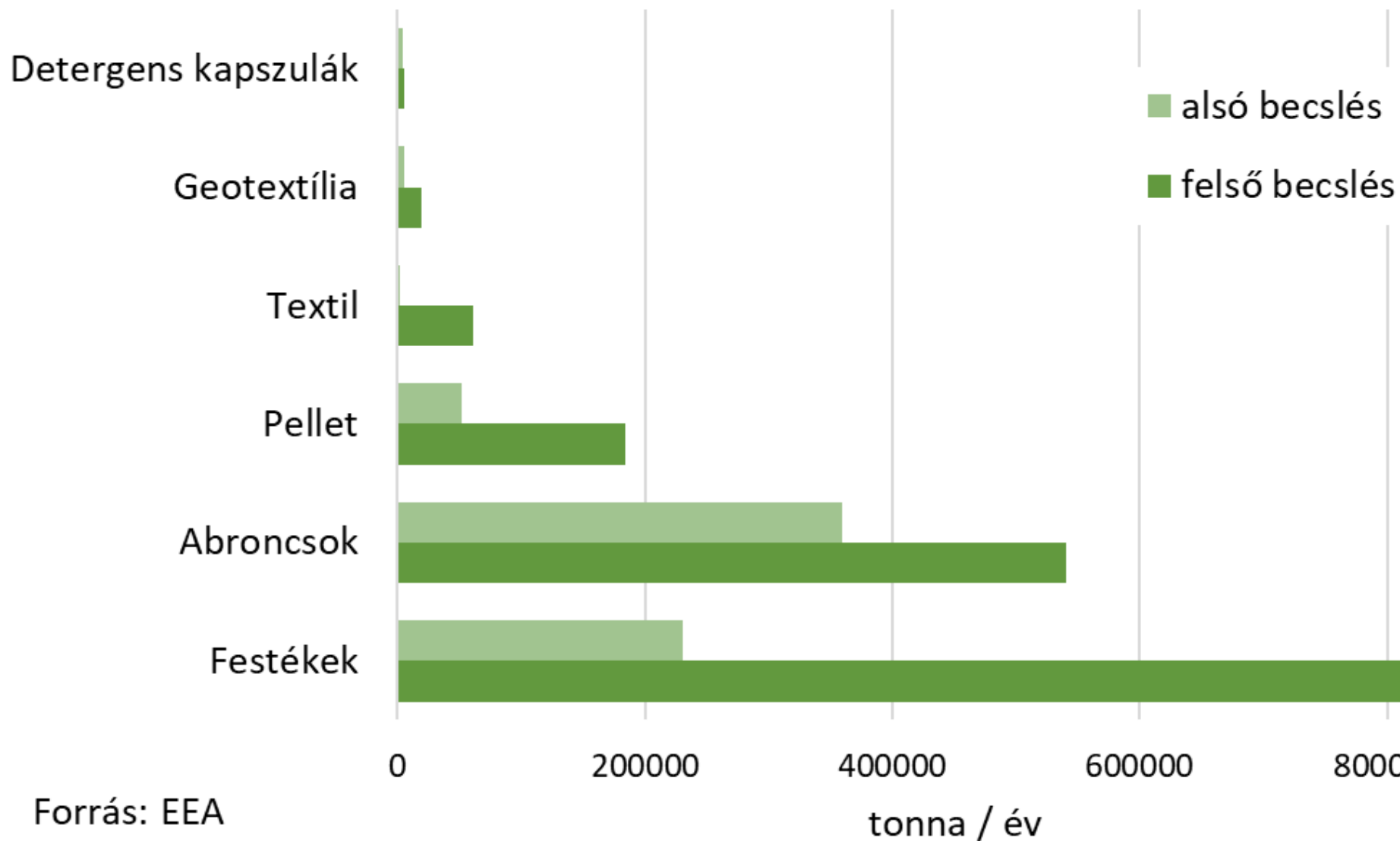
# A világ műanyagtermelése 1950-től 2022-ig



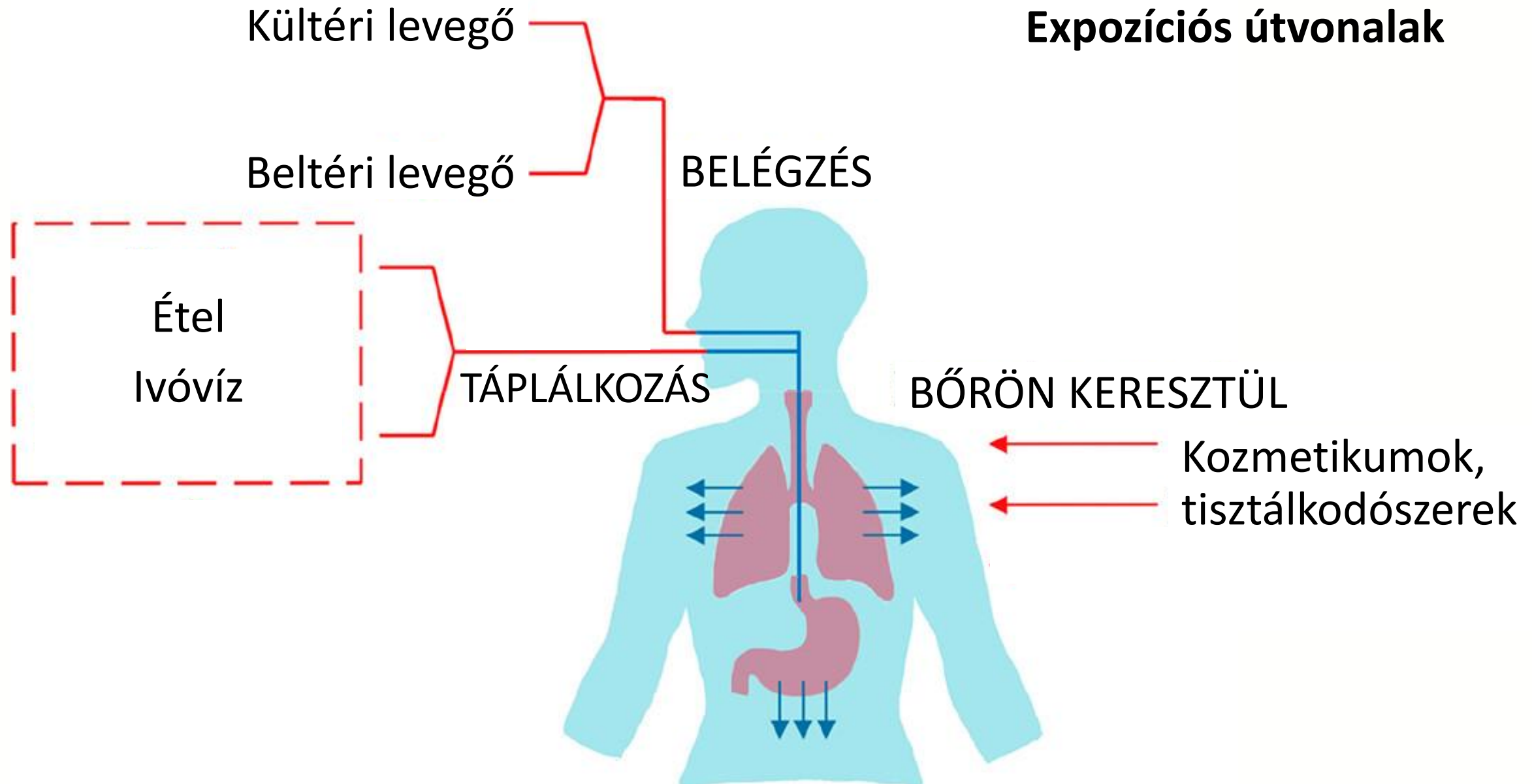
## Műanyagok főbb típusainak éves gyártott mennyisége a világban (2020, 2040 becslés)

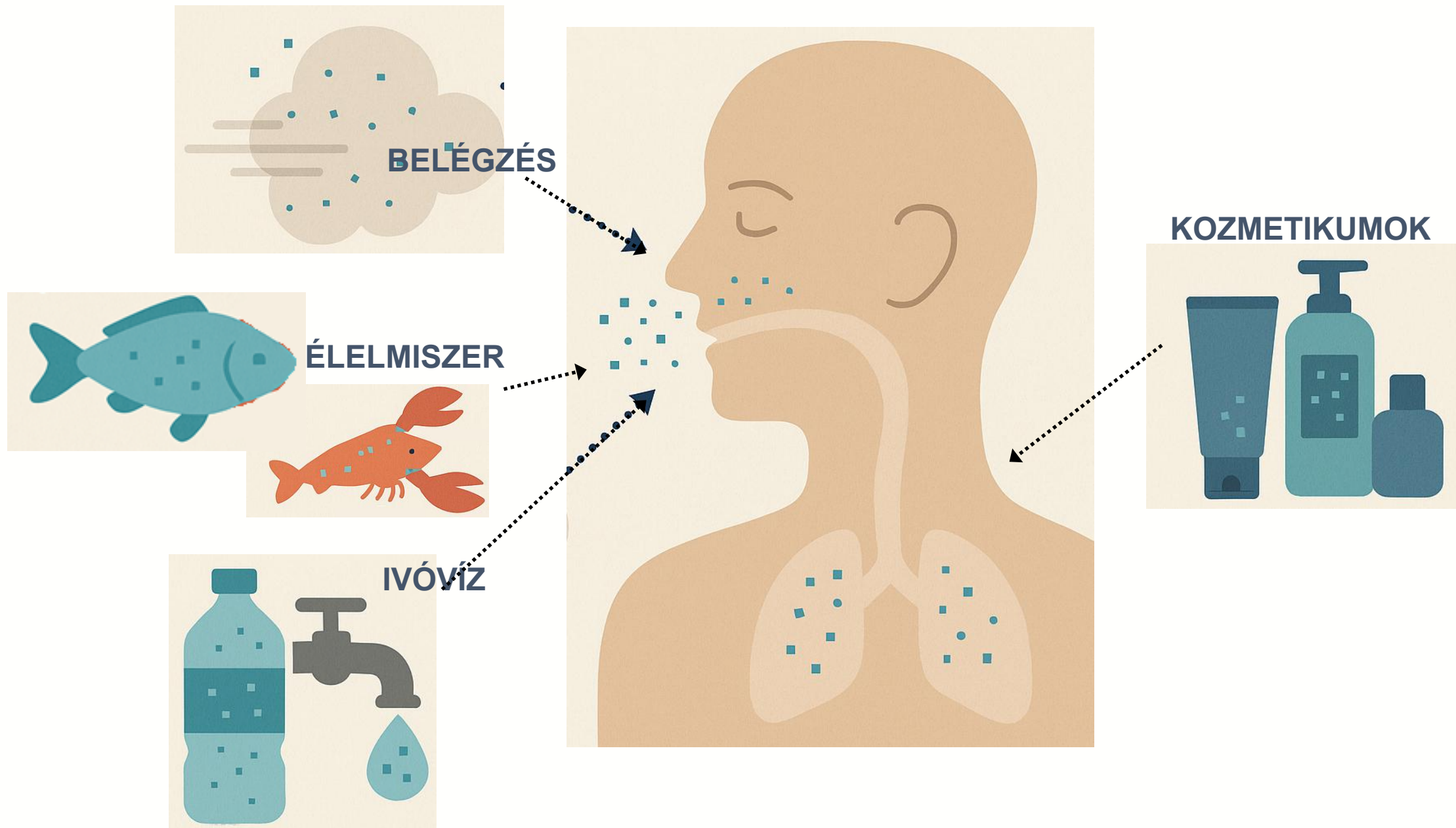


## Környezetbe kibocsátott mikroműanyagok mennyisége az EU-ban



## Expozíciós útvonalak





# Mikroműanyagok az emberi szervezetben



## HAJ

- 3.5 (MPs/person/day)
- PP, PET, PS...



## NYÁL

- 0.33 (MPs/person)
- PP, PET, PS...



## KÖPET

- 1.875-9.175 (MPs/ml)
- AE, NBR, CAS...



## TÜDŐ MOSÓFOLYADÉK

- 9.18±2.45 (MPs/100ml)
- PE, PAA and PU



## TÜDŐ

- 0.69±0.84 (MPs/g)
- PP, PET, PS...



## MÁJ

- 0-1.5 (MPs/g)
- PS, PVC, PET...



## ANYATEJ

- 0-2.05 (MPs/g)
- PE, PVC, PP...



## MÉHLEPÉNY

- 0.093-16.13 (µg/g)
- PP, PET, PS...



## CSECSEMŐ

- 0-12 (µg/g)
- PET and PC



## SZÉKLET

- 0.093-16.13 (µg/g)
- PP, PET, PS...



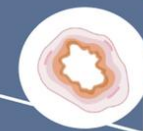
## LÉP

- 0.4-2.2 (MPs/g)
- PS, PVC, PET...



## VESE

- 0-0.3 (MPs/g)
- PS, PVC, PET...



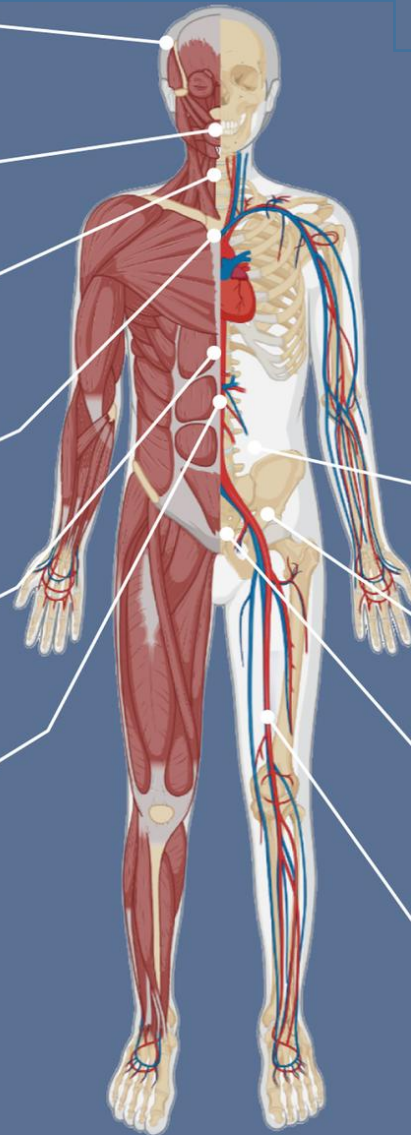
## VASTAGBÉL

- 0-0.3 (MPs/g)
- PS, PVC, PET...

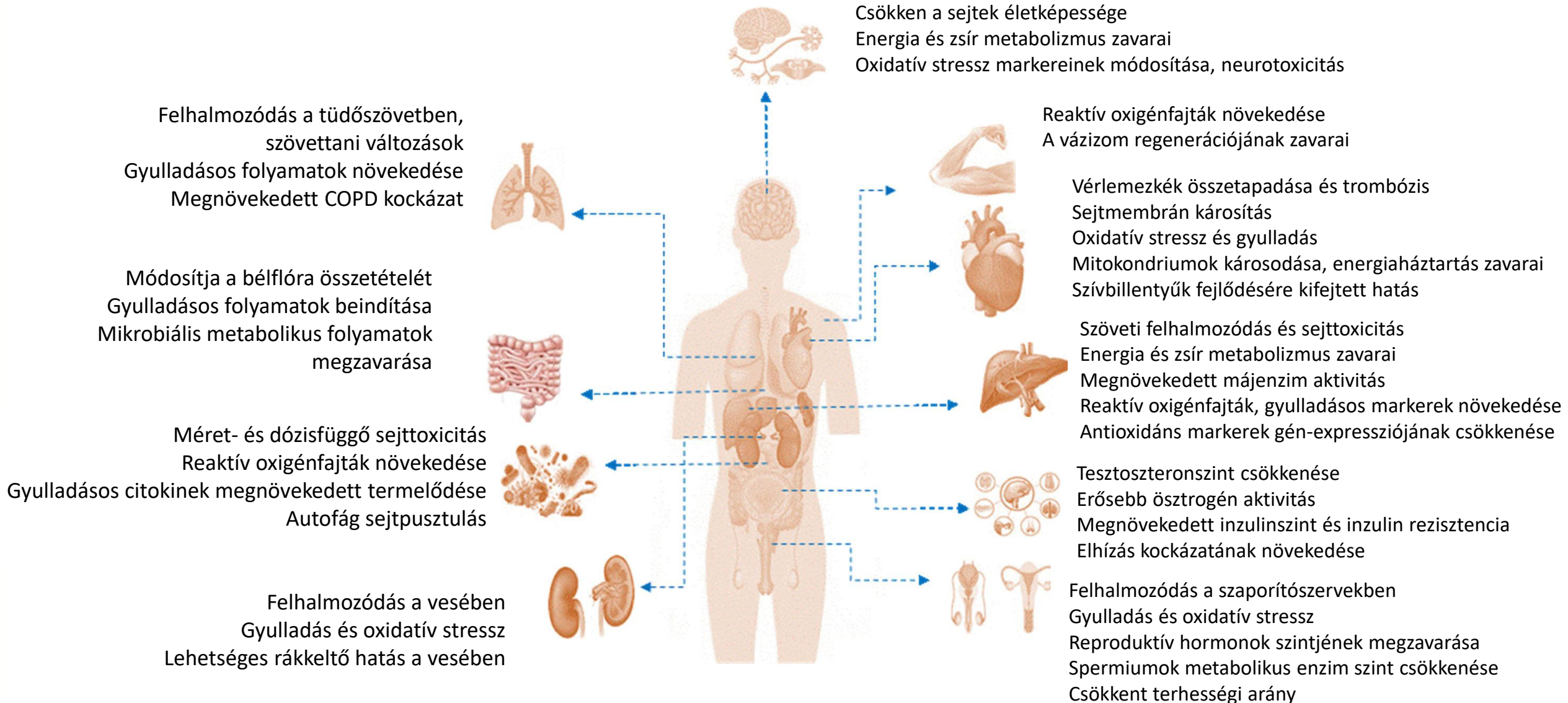


## VÉR

- 1.6 (µg/ml)
- PET, PS, PE...

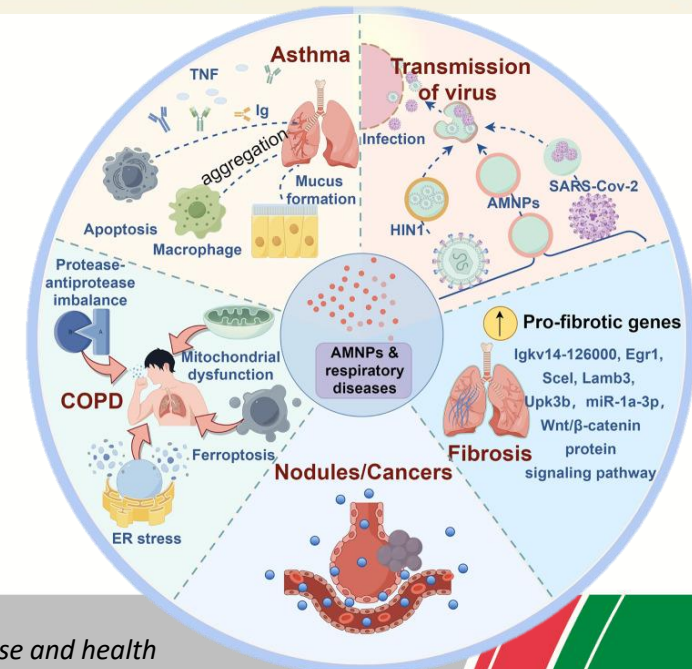
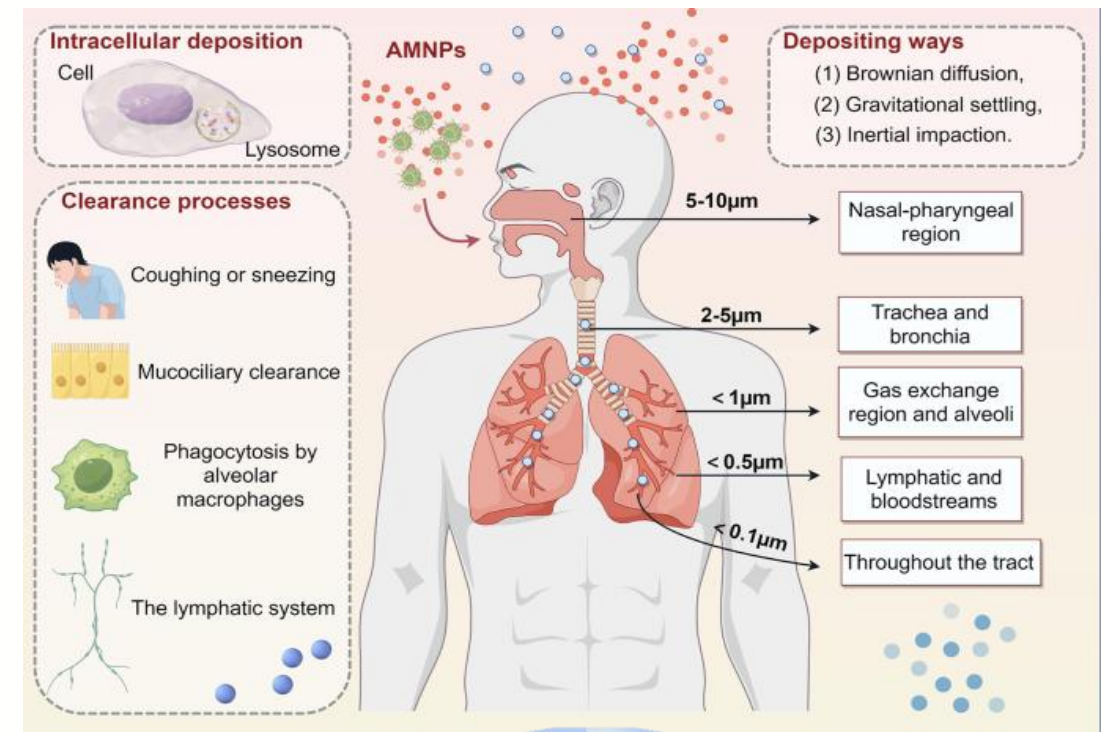


# A mikro- és **nanoműanyagok** feltételezett egészséghatásai



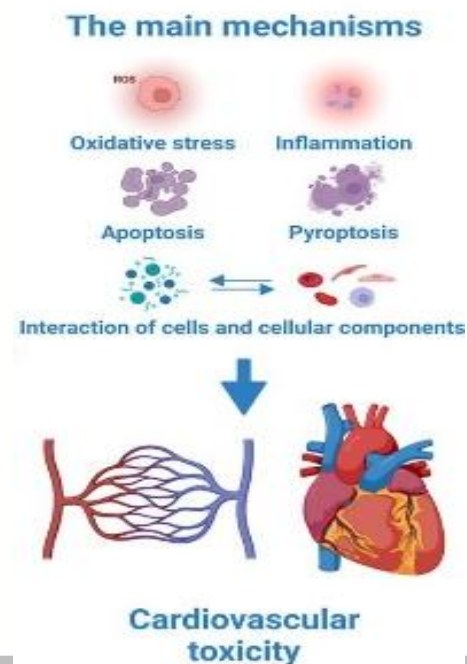
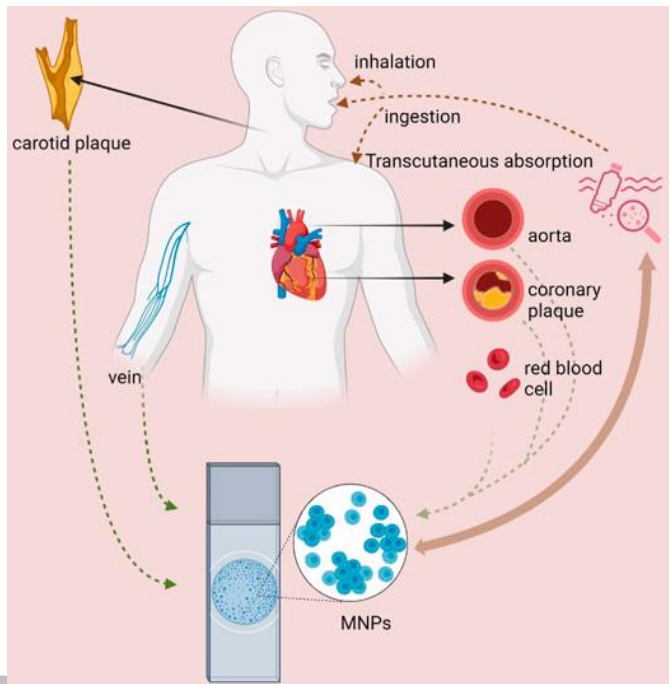
# Légzőrendszeri hatások

- 70-es évek – „húscsomagoló asztma”
  - forró dróttal való PVC csomagolás vágása
  - Nehézlégzés, asztmatikus tünetek
- Bizonytalan, feltételezett összefüggések
  - Állatkísérletek és laboratóriumi vizsgálatok
  - Emberi adatok korlátozottak
- WHO – léggel akár 3000 részecske/nap
- Hatás függhet:
  - Méret, alak
  - Fizikai tulajdonság
- Mechanikai irritáció – nyálkahártya
- Gyulladásos folyamatok elindítása
- Egyes betegségek súlyosbítása – ?
  - Asztma, tüdőfibrózis, COPD



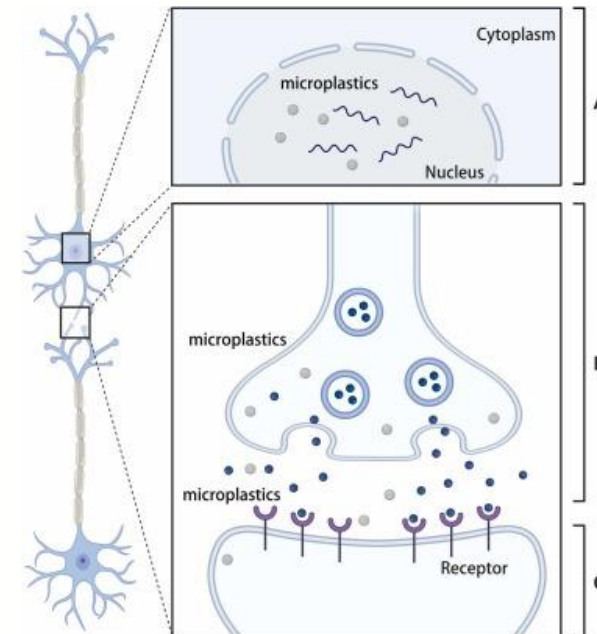
## Szív-, érrendszeri hatások

- Korlátozott információk
- Állatkísérletek:
  - Véráramból szívbe való bejutás
  - ↓ pulzus, vérrögképződés
  - Gyulladásos folyamatok



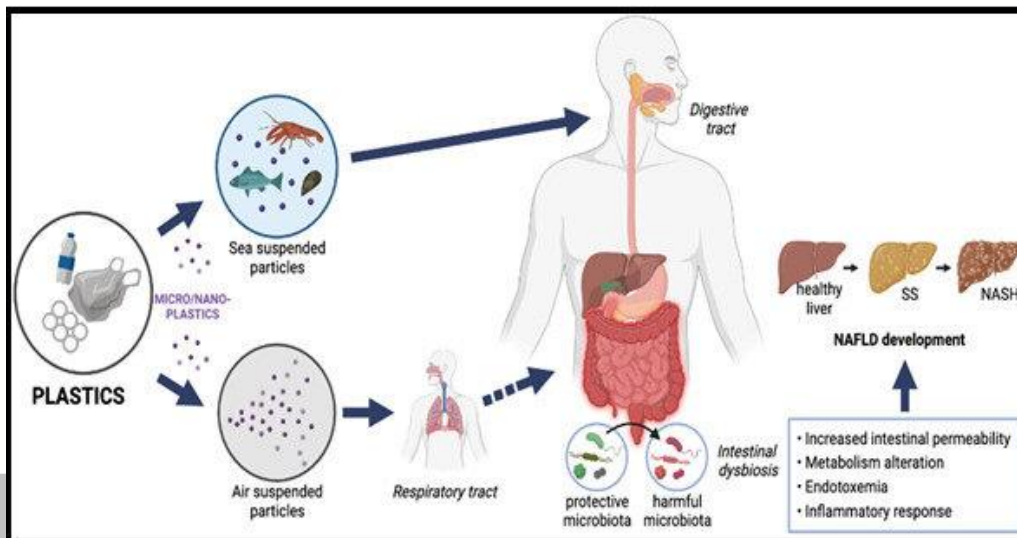
## Idegrendszeri hatások

- Érzékeny lehet, különösen az embrió
- Kognitív funkciók: tanulási, memória funkciók csökkenése (méhek, halak, egerek)
- Bejuthat az agysejtbe → sejtkárosodás
- Génműködés, ingerületátvitel megváltoztatása



## Emésztőrendszeri hatások

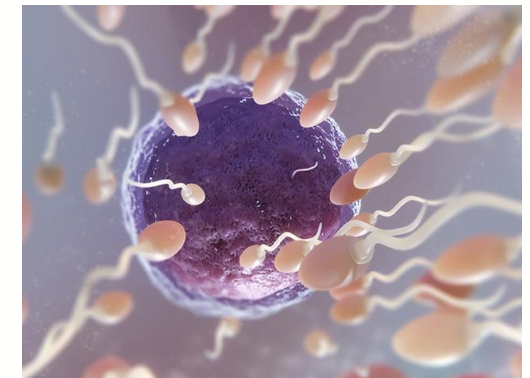
- Bélflóra összetétele megváltozhat
  - Egyensúly felborulhat
    - Káros baktériumok ↑
    - Hasznos baktériumok ↓
  - → emésztési zavarok, gyulladás
- Bélflóra szerepe:
  - Anyagcsere
  - Immunrendszer



## Szaporító szervrendszeri hatások

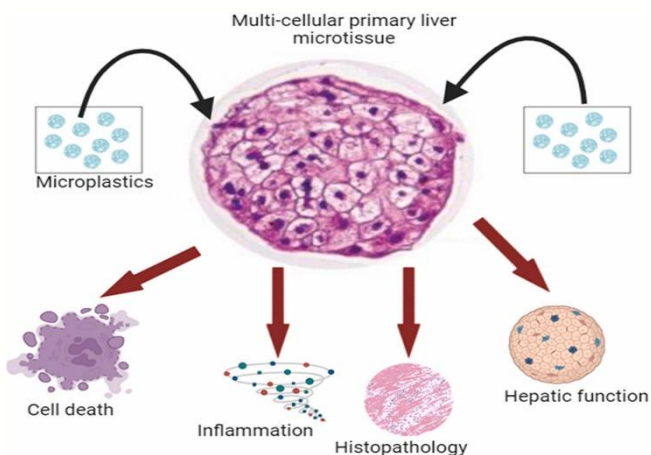
Állatkísérletek (egerek):

- Bejuthat a heresejtbe – spermaképződés ↓
  - Spermaszám, spermiummozgás ↓
- Petefészekben gyulladást okozhat
  - Petesejtek minősége ↓
- Fordított arányosság a méhlepény mikroflóra mennyisége és a mikroműanyagok szintje között
- Újszülött első széklete

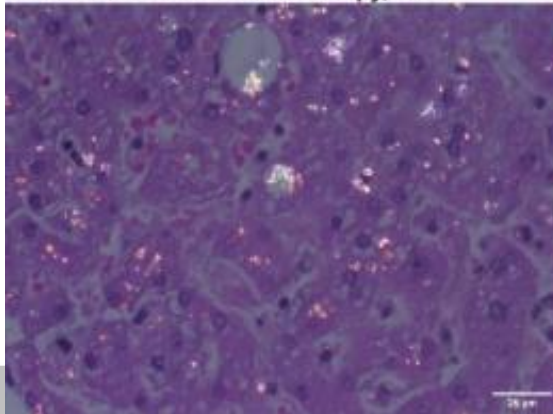


# Máj

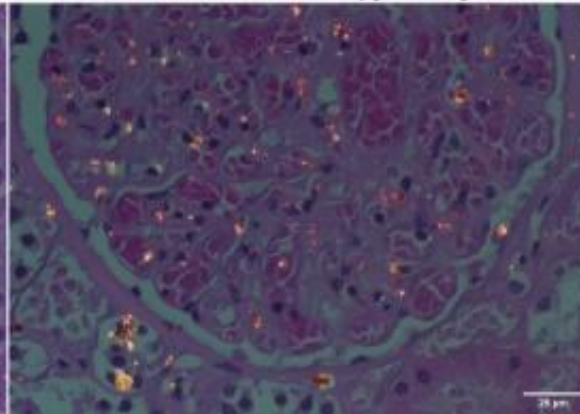
- Csak néhány tanulmányban említik
- Állatkísérletekben:
  - Májsejtek szaporodásának csökkenése, de károsodás nem volt megfigyelhető
  - Sejtek energiatermelésének csökkentése
  - Gyulladást jelző anyagok felszabadítása



C. Polarization wave microscopy, liver

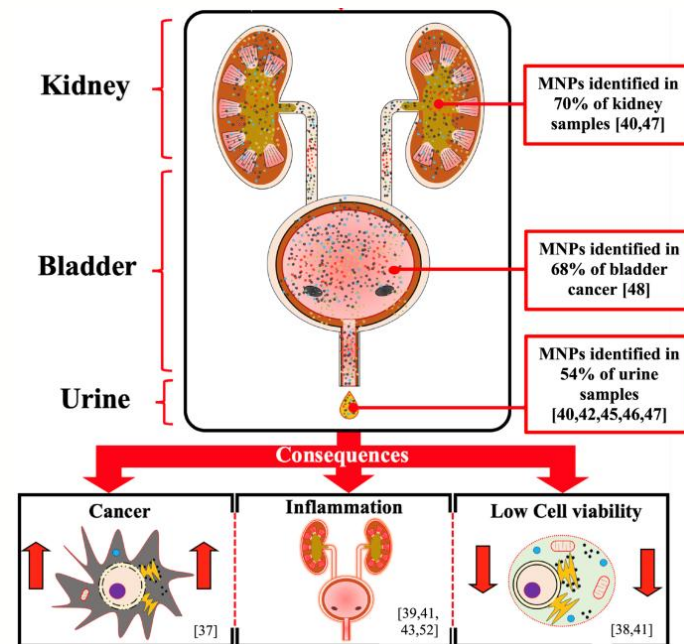


D. Polarization wave microscopy, kidney



# Vese

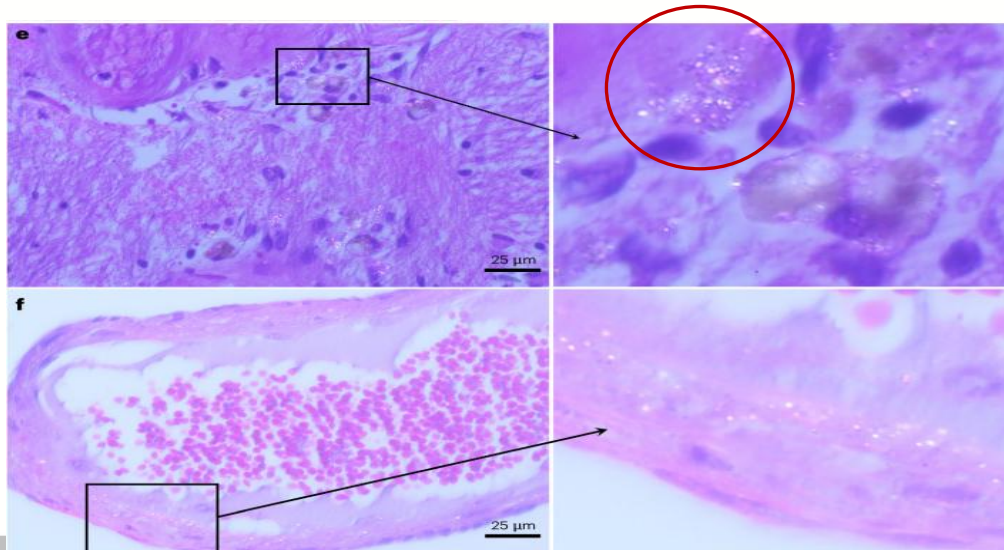
- Lehetséges rákkeltő hatás a vesében (emberi sejttenyészet)
- Patkányokon végzett vizsgálatok:
  - Jelenlét igazolása vesében, vizeletben
  - Gyulladásos folyamatok, vesecsatornák károsodása
  - Testtömeg-csökkenés



# Kitekintés...

## Mikroműanyag elhunyt emberi agyban

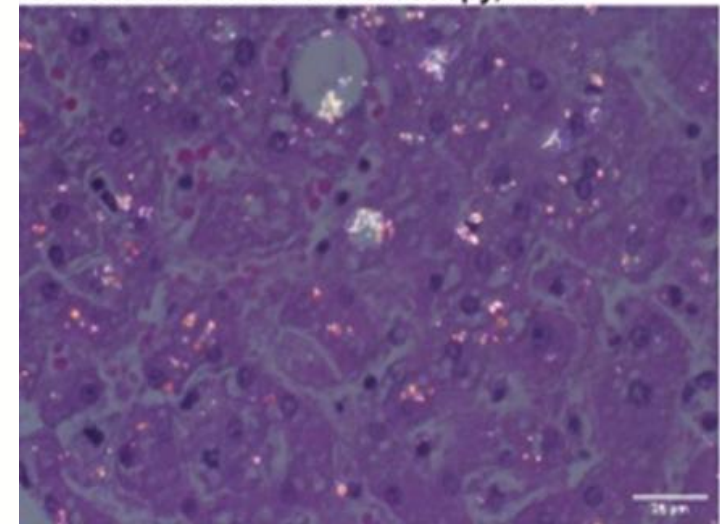
- **2016-2025** – PE, PP, PVC, SBR ↑ máj- és agymintákban
- PE aránya agyban magasabb ↔ máj, vese
- Demens agymintában ↑ arányban
- Ok-okozati összefüggés nem vonható le



## Mikroműanyag és májsugor

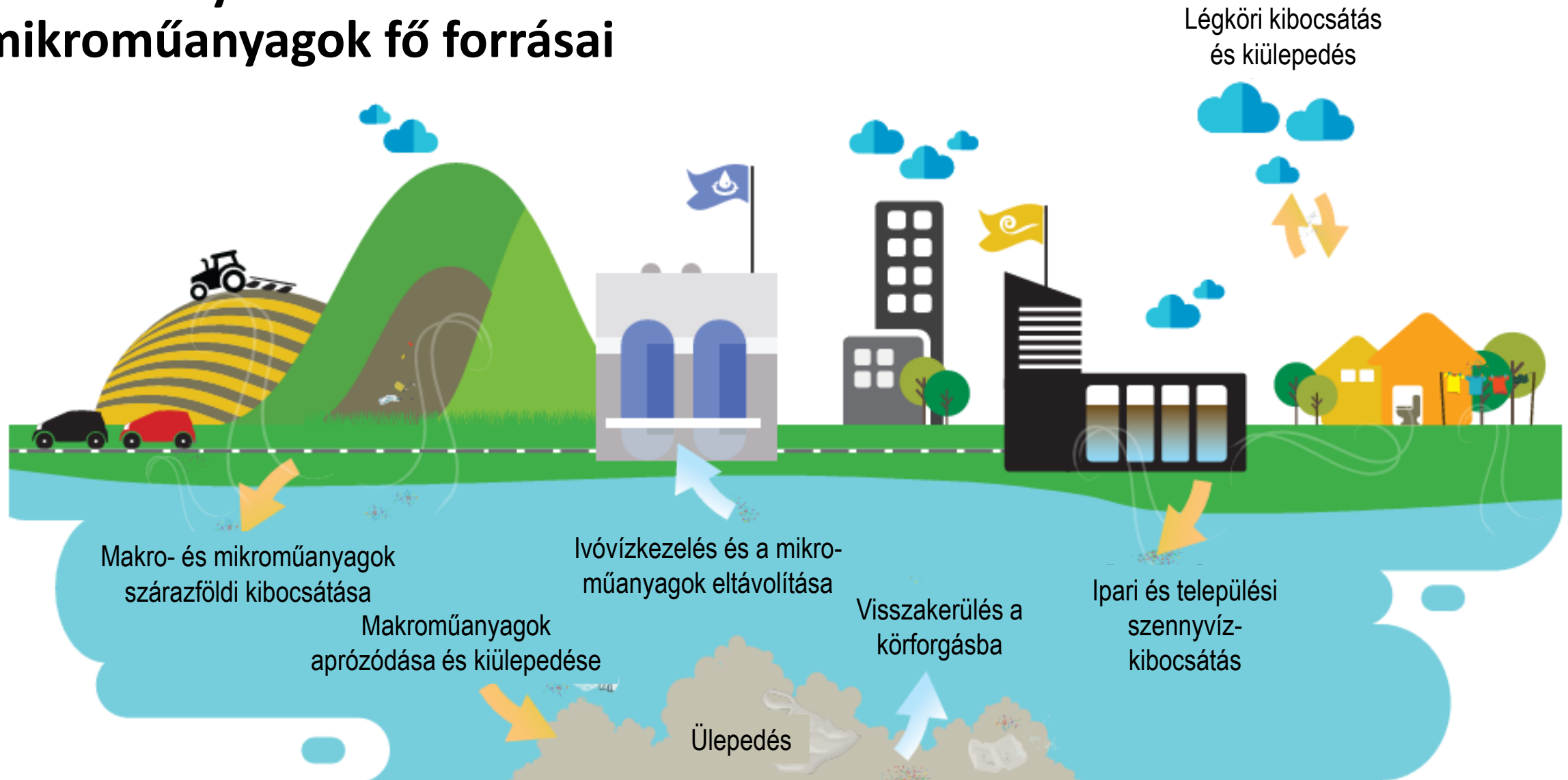
- Németország – 17 emberi szövetminta
  - 6 májsugor, 5 egészséges minta
- Egészségesek mintái negatívak
- Májsugorban szenvedők pozitív eredmény
  - 6 különböző, 4-30μm mikroműanyag

C. Polarization wave microscopy, liver



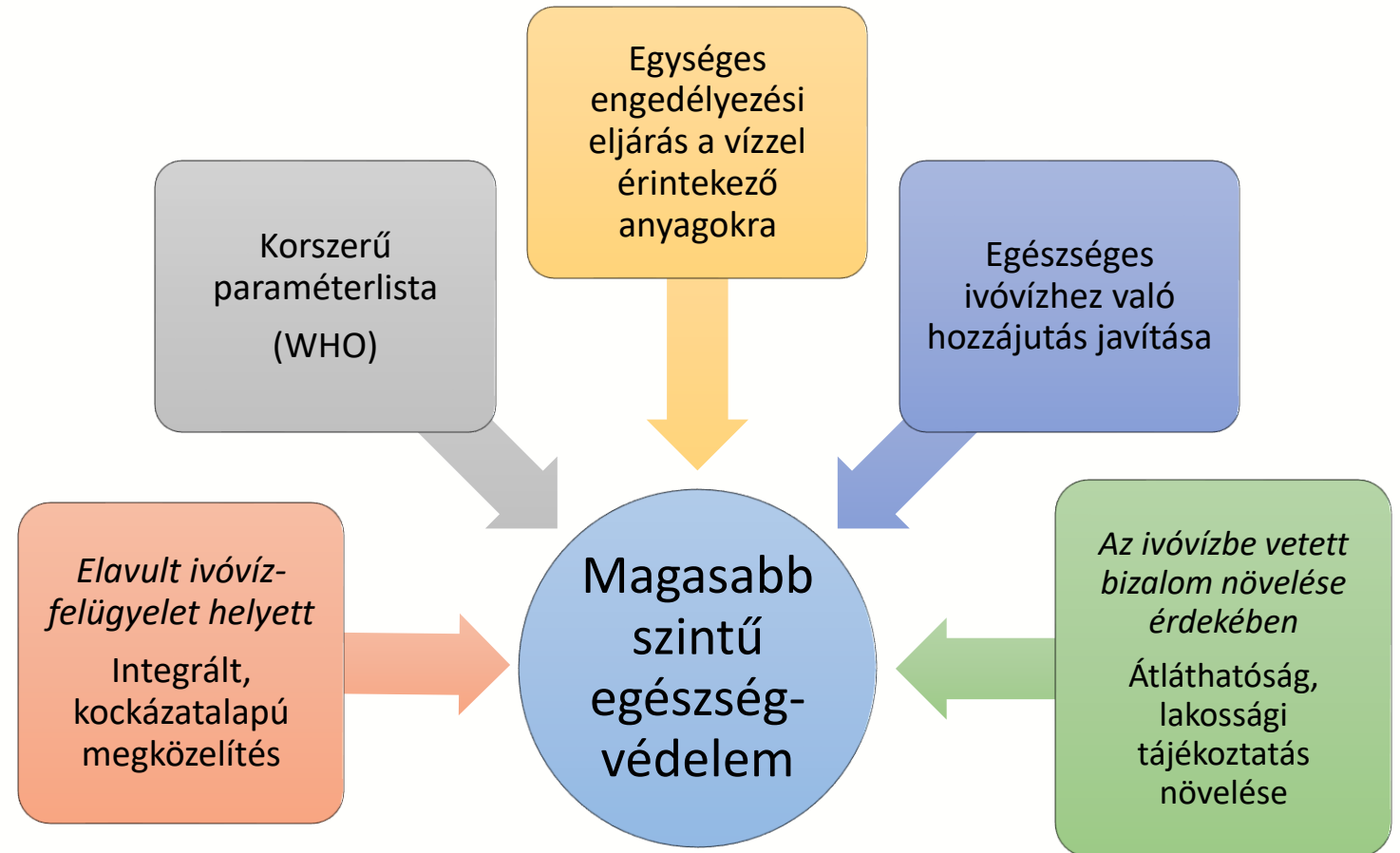
# Mikroműanyagok az ivóvízben

# Vizes környezetekben kimutatható mikroműanyagok fő forrásai



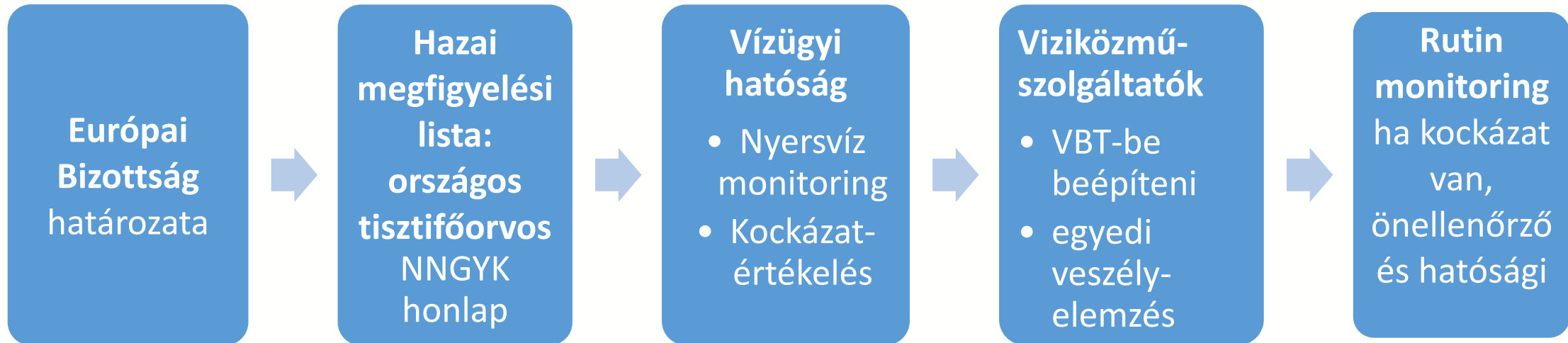
# Felülvizsgált EU ivóvíz-szabályozás

- 2020/2184 tanácsi és parlamenti irányelv az emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről
- Hazai átültetés: 5/2023 (I.12.) Kormányrendelet az ivóvíz minőségéről és az ellenőrzés rendjéről
- Mikroműanyagokat említi potenciális kockázatként
- Nem kell vizsgálni, de ún. megfigyelési listára kerülhet
- Egységes vizsgálati módszertan felhatalmazáson alapuló jogi aktusként



# Új potenciális szennyezőanyagok kockázatának kezelése az ivóvízben

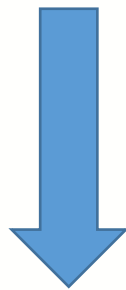
- Megfigyelési lista mechanizmus
- EU Bizottsági döntés a közös listáról: jelenleg 2 hormonháztartást zavaró anyag van megfigyelési listán (4-nonilfenol, beta-ösztradiol)
- A tagállamok a helyben fennálló kockázatok alapján bővíthetik a listát



- A megfigyelési listára felkerült anyagokra nincs automatikus vizsgálati kötelezettség.
- A megfigyelési listára a nyersvízre vonatkozó irányértékkel kerülnek fel a paraméterek

# Problémák

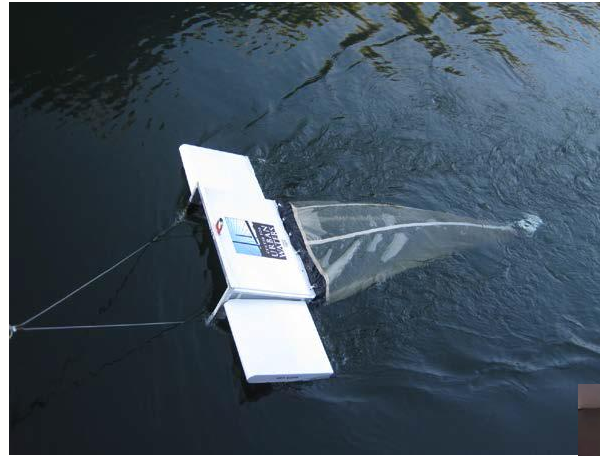
- Nincs standard eljárás mikroműanyagok vizsgálatára vízből
- Mérettartomány definíciója sem egyértelmű
- Méret pontosság technikánként eltérő
- Minta mennyisége nagyon változó (1-2000 L)
- Extrakció – kémiai oxidáció vagy enzimatis feladás



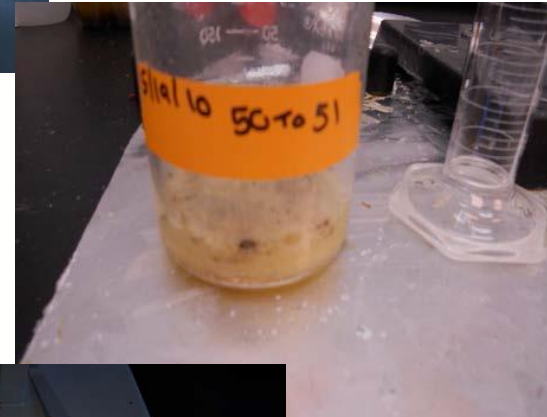
**A módszerek sokfélesége megnehezíti az eredmények összehasonlítását, a valós helyzetértékelést**

# Általános eljárás

Mintavétel - szűrés



Extrakció – szerves szennyező eltávolítás



Azonosítás – spektroszkópia (FTIR, Raman), mikroszkóp, stb.



# Mikroműanyagok kimutatása - EU Ivóvíz Irányelv (DWD) új eljárás

- Ivóvíz Irányelv alapján, a mikroműanyag vizsgálatra javaslatok az Európai Bizottság felhatalmazáson alapuló jogi aktusa alapján
- JRC jelentés: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC136859>  
Irodalmi áttekintés és a módszerek összehasonlító elemzése
- Nem jelöl ki egyetlen követendő módszert
- Az alapvető jellemzők (alak, méret, anyag, darabszám...) sokfélesége miatt nem lehet egyetlen módszerre szűkíteni
- Minta térfogat: legalább 1000 L
- ISO-szabványsorozat kidolgozás alatt

# Eredmények – a teljesség igénye nélkül

- Tisza

300  $\mu\text{m}$  - 2 mm: 4,9 részecske/ $\text{m}^3$

15 - 300  $\mu\text{m}$ : 62,5 részecske/ $\text{m}^3$

Üledék: 1,76 részecske/kg

- Németország

5 vízmű vizsgálata

24 mintából 10 esetben találtak; 0,4 - 7 részecske/ $\text{m}^3$

- Magyarország

4 vízmű vizsgálata

Esetileg fordult elő; 2 - 17,4 részecske/ $\text{m}^3$



# Eredmények – a teljesség igénye nélkül

- Nagyon változatos eredmények, módszertől (is) függően
- Európában jellemzően <1 részecske/L
- Összetételben is változatos

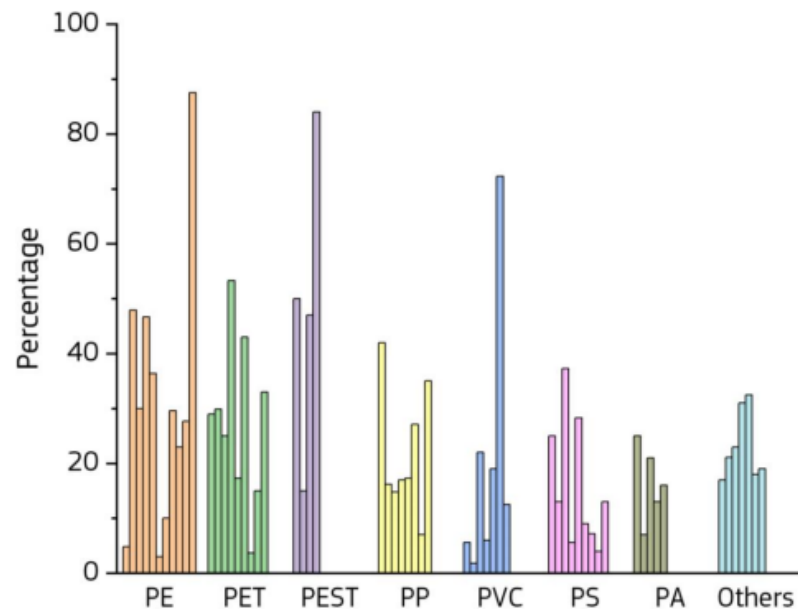
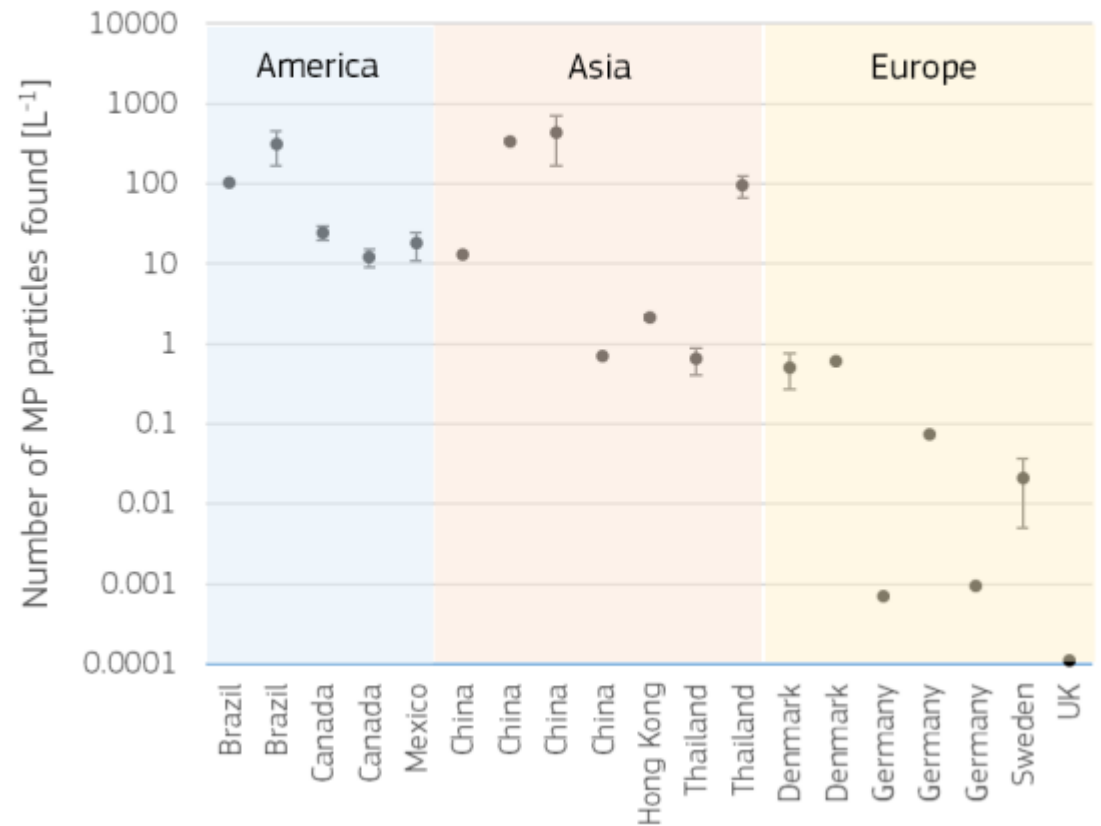


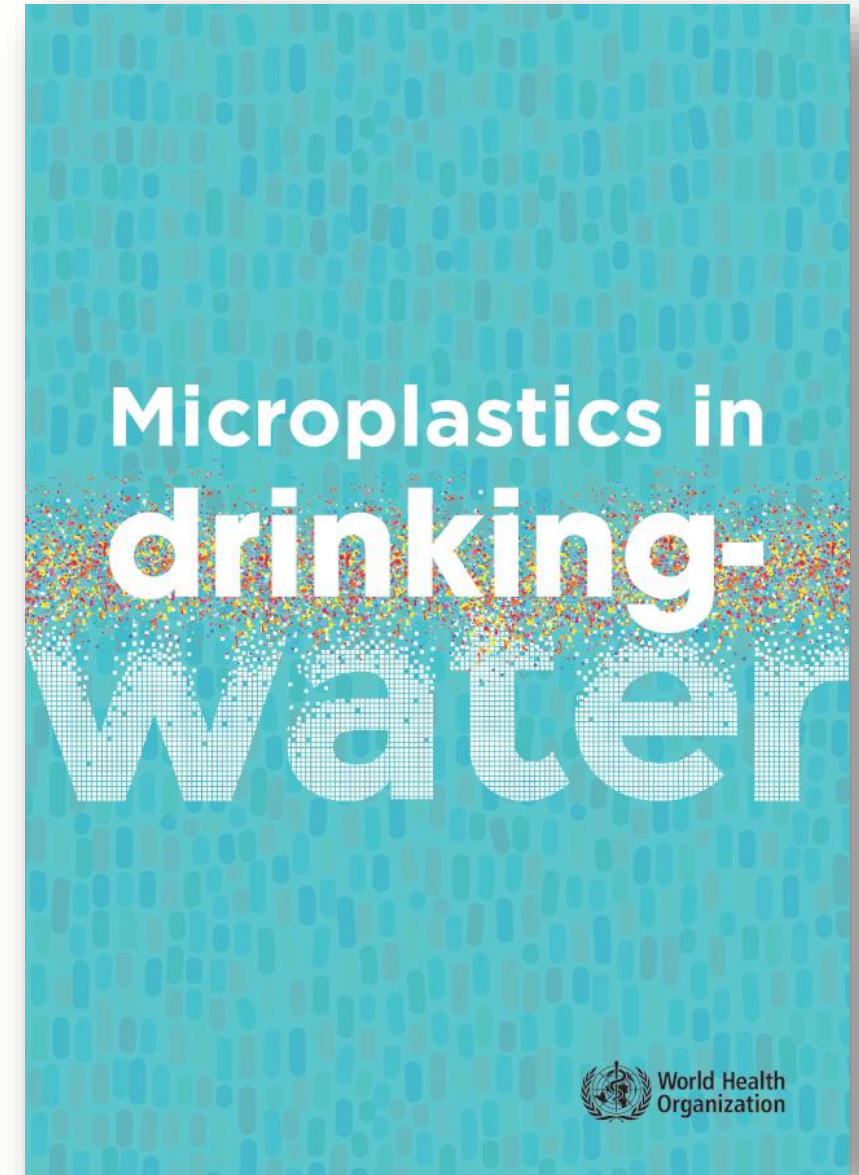
Figure 6. Measured microplastic (MP on vertical axis) number concentration (including error bars) by country and region as reported by the studies focussing on one country. Due to the wide variety of size ranges applied, vertical axis is logarithmic.



# Mekkora a kockázat?

„Mikroműanyagok az ivóvízben” WHO jelentés, 2019

- Elemezték a rendelkezésre álló tanulmányokat
- Következtetés:  
**alacsony kockázat az emberi egészségre**
- Javaslatok:
  - egységes meghatározás és vizsgálati módszer
  - további vizsgálatok
  - csökkenteni a keletkezést, ill. eltávolítás
  - nem indokolt a rutinszerű monitoring ivóvízben

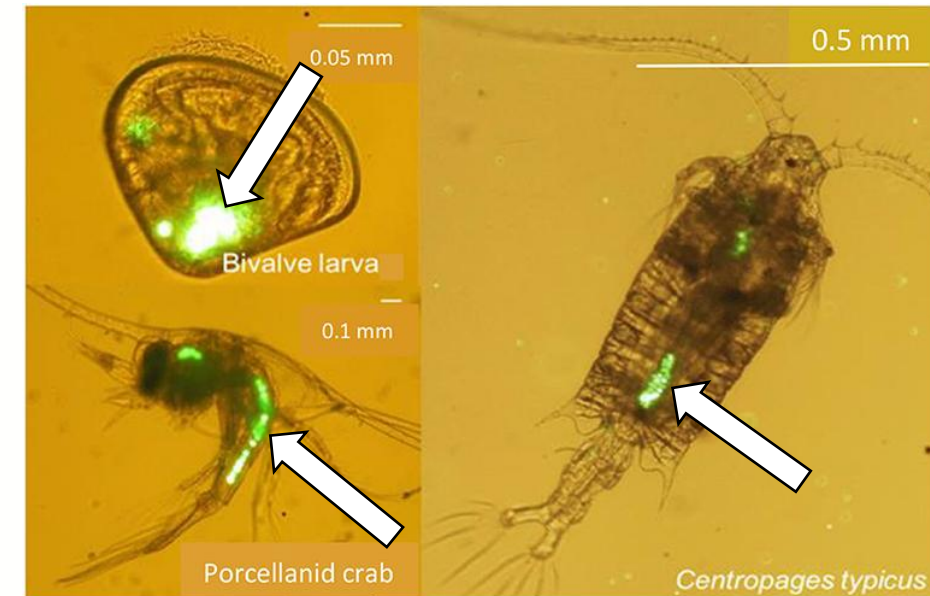


# Ivóvíz eredetű mikroműanyag bevitel kockázata

- Fizikai kockázat: kevés adat, de nem igazolt a többlet kockázat
- A mikroműanyagokhoz kötött kémiai vegyületek mennyisége alacsonyabb az egyéb szennyezőanyagoknál, így relatív mértékben alacsonyabb kockázat
- Biofilmképződés:
  - a biofilmben megtelepedő kórokozók kockázata kisebb, mint a szennyvíz eredetű kórokozóké
  - az egyéb zavarosságot okozó részecskékhez (vas- és mangánvegyületek) képest elhanyagolható mennyiségű felületet biztosít

# Ökotoxikológiai vizsgálatok

- Számos tesztélőlény, több trofikus szint, elsősorban vízi élőlények
- Akut hatások:
  - Környezeti koncentrációban többnyire nincs akut letális hatás;
  - Emésztőrendszerben felhalmozódik;
  - Kisebb szemcseméret: erősebb hatás;
  - Anyagi minőség is számít, vektorként viselkednek tovább növelve a toxicitást.
- Krónikus hatások:
  - Hosszabb távon csökkenti a túlélést;
  - Nagyobb koncentrációban oxidatív stressz, immunológiai stimuláció;
  - Utódszámok csökkenése, kisebb méretű, torz utódok megjelenése;
  - Fajok között eltérés mutatkozik a hatást illetően.



Lindeque: *Plastics and Plankton in Our Seas*

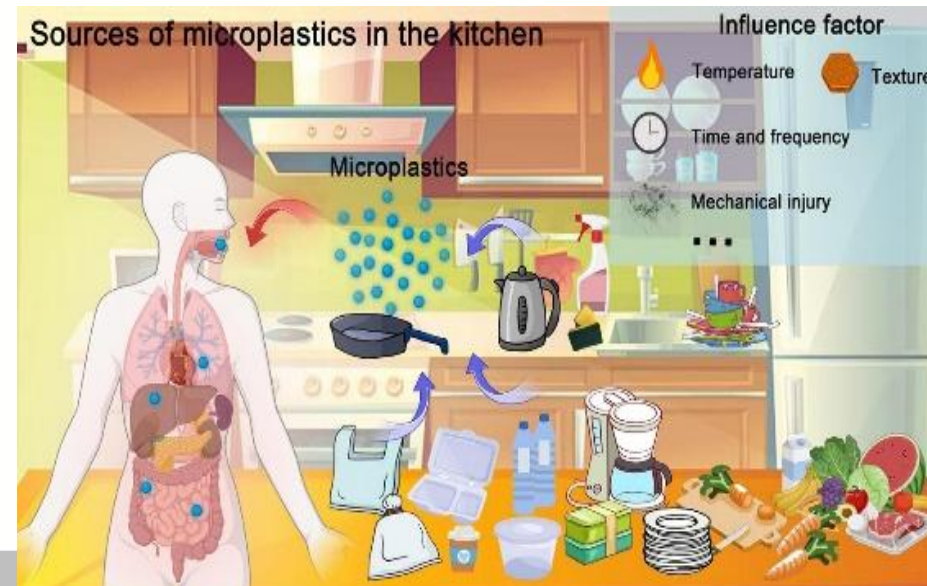
# Eltávolítási lehetőségek vízből

- A szennyvíz- és ivóvíztisztítók hatékonyak a mikroműanyagokhoz hasonló tulajdonságokkal rendelkező részecskék eltávolításában
- Hatékonyság függ: méret, sűrűség, alak, felületi feszültség
- Harmadlagos szennyvízkezelés (szűrés)  
hatékonyság: >90%
- Ivóvízkezelés is optimalizálható: hagyományos szűrés (koaguláció, flokkuláció, szűrés), membránszűrés (>0,01  $\mu\text{m}$ : ultraszűrés; > 0,001  $\mu\text{m}$ : nanoszűrés)
- Probléma: tisztítatlan szennyvíz kibocsátás



# Mikro- és nanoműanyagok az élelmiszerekben

- Elsősorban a környezetből kerülhet az élelmiszerláncba
- Jelenlegi tudományos bizonyítékok nem bizonyítják az emberi egészségre gyakorolt kockázatot
- Nincs elegendő bizonyíték a csomagolóanyagokból való kioldódásról
- Egyes tanulmányok kimutatták – tenger gyümölcsei, só, zöldségek
- Konyhai eszközök – műanyag doboz, vágódeszka, tapadásmentes edények
- Kioldódás függ: hőmérséklet, anyag, idő, fizikai behatás



# Ajánlások, javaslatok

1. **Szabványosított** protokollok és referenciaanyagok kidolgozása a mikroműanyag-expozíció és egészséghatások kutatásához
2. További **kutatások** szükségesek a mikroműanyagok különböző expozíciós útvonalairól és az emberi egészségre gyakorolt hosszú távú hatásairól
3. Átfogó **szabályozási** keret kidolgozása a műanyag hulladékok kezelésére és a mikroműanyag-szennyezés csökkentésére
4. A műanyaghasználat **csökkentése** és az alternatív, környezetbarát anyagok fejlesztésének előmozdítása
5. A lakosság **figyelemfelkeltése** és **oktatása** a mikroműanyag-szennyezés veszélyeiről és a megfelelő műanyag-hulladékkezelés fontosságáról

# Összefoglalás

1. A mikroműanyagok ökológiai károsító hatásaira vonatkozó bizonyítékok rendelkezésre állnak
2. Állatkísérletek és laboratóriumi sejtenyészeteken végett vizsgálatok kimutatták a mikro- és nanoműanyagok károsító hatásait
3. **Az emberi egészségre kifejtett hatásokra vonatkozóan nincsenek egyértelmű bizonyítékok**, további vizsgálatok szükségesek
4. Az elővigyázatosság elvének alkalmazásával törekedni kell a lehetséges károsító hatások csökkentésére (expozíció csökkentése, újrahasznosítás, standardizált vizsgálatok, szabályozás, tudatosság növelése)



# Köszönöm a figyelmet!