

# Uudet haitta-aineet jätevesissä ja järviympäristössä eteläisellä Saimaalla – UHASA

Puhdistamolietteestä peltoravinteeksi -webinaari  
30.3.2023

Professori Mika Mänttari, vastuullinen johtaja, [mika.manttari@lut.fi](mailto:mika.manttari@lut.fi), 040 7342192  
Tutkija Mirka Viitala, projektipäällikkö, [mirka.viitala@lut.fi](mailto:mirka.viitala@lut.fi), 050 4341057



**Etelä-Savon  
maakuntaliitto**



**LUT  
University**



**MIKKELIN  
VESILAITOS**



**Savonlinna**  
SAVONLINNAN VESI

**nanopar**

*Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma*

**Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020**



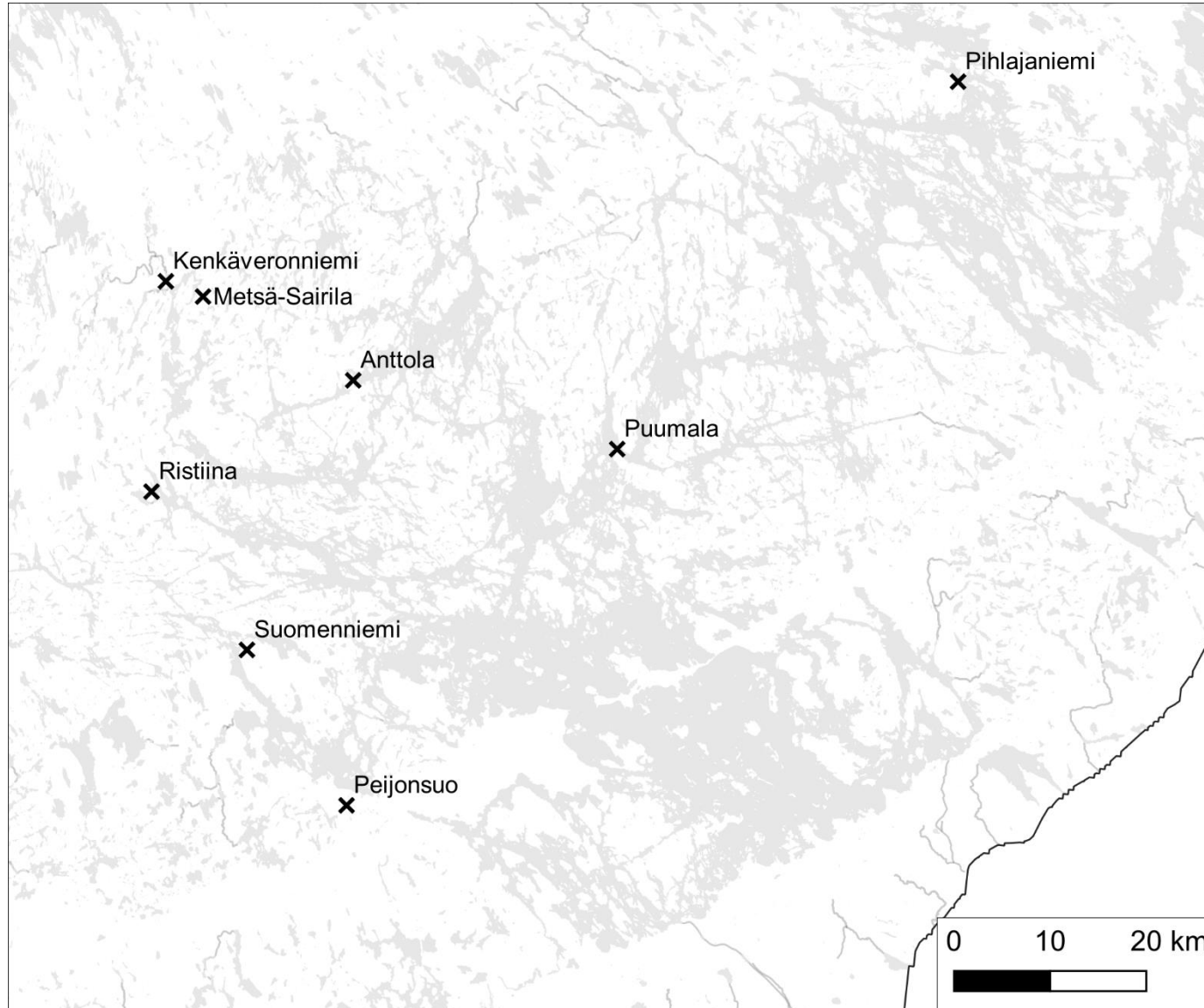
**Euroopan unioni**  
Euroopan aluekehitysrahasto

# Uudet haitta-aineet jätevesissä ja järviympäristössä eteläisellä Saimaalla – UHASA

- Toteutusaika: 1.1.2020–31.12.2022
- Kokonaisbudjetti: 389 176 €
- Rahoittajat
  - Euroopan aluekehitysrahasto; Etelä-Savon maakuntaliitto
  - Mikkelin Vesilaitos
  - Savonlinnan Vesilaitos
  - Nanopar Oy
- Yhteistyötahot
  - Mikkelin Vesilaitos
  - Savonlinnan Vesilaitos
  - Nanopar Oy
  - Savitaipaleen kunta
  - Puumalan vesiosuuskunta
  - Eco WWS Oy
  - Etelä-Savon ELY-keskus
  - Operon Group Oy
  - Eurofins Environmental Testing Finland Oy
  - Saimaan vesi- ja ympäristötutkimus Oy järvinäytteenotto
  - Ramboll Finland Oy

# Hankkeen tausta ja tavoitteet

- Jätevedenpuhdistamoita ei ole suunniteltu poistamaan ns. uusia haitta-aineita, kuten lääkaineita ja mikromuoveja
  - Uusien haitta-aineiden poistotehot voivat vaihdella prosesseista ja tutkittavista yhdisteistä riippuen
  - Jätevesivirrasta poistetut yhdisteet voivat joko hajota tai päätyä jätevesilietteeseen ja sitä kautta kulkeutua ympäristöön esimerkiksi viherrakentamisen kautta
- **Tavoitteena** tarjota tietoa eteläisen Saimaan jätevedenpuhdistamoiden kautta ympäristöön päätyvistä uusista haitta-aineista (mikromuovit ja lääkkeaineet)
  - **Poistotehot puhdistusprosesseissa**
  - **Lietteen kautta eteenpäin kulkeutuvat haitta-ainemäärät**
  - **Tietoa nykytilanteesta** jätevedenpuhdistusprosessien kehitystyöhön
  - **Mikromuovien ja lääkkeaineiden määrät jätevesiä vastaanottavissa vesistöissä** (järvivesi ja pohjasedimentti)



## Tutkimusalue

- 7 jätevedenpuhdistamo
- 4 purkualuetta
  - Mikkelä; Kenkäveronniemi/Metsä-Sairila
  - Savonlinna
  - Puumala
  - Savitaipale

# Näytteiden keruu jätevedenpuhdistamoilla

- Näytteet kerättiin pääosin laitosten omilla näytteenottimilla jäteveden viipymä huomioiden
  - Vesinäytteet aikapainotteisesti 24 tunnin kokoomanäytteinä
    - Tuleva jätevesi (n=3)
    - Lähtevä jätevesi (n=3)
  - Lähtevä liete kertänäytteinä (n=3) samana päivänä kuin lähtevä jätevesi
    - Mikromuovimääritykset vain Metsä-Sairilan, Pihlajaniemen ja Puumalan lietteille



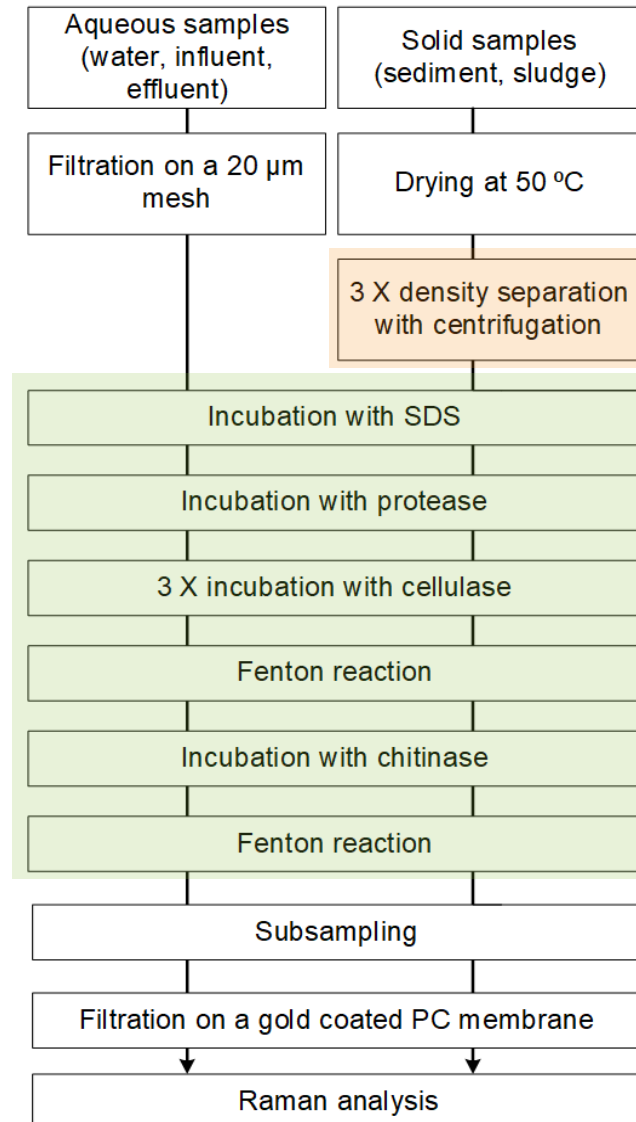
# Mikromuovit

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

# Näytteiden esikäsittely mikromuovien analysointia varten [1]



- Näytemäärä
  - Tuleva jätevesi 0,3–0,75 L
  - Käsitelty jätevesi 4,8–72 L
  - Käsitelty liete 0,5–1,1 g kp
- Lietenäytteiden **tiheyserottelu** natriumtungstaatilla ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , 1,4 g/cm<sup>3</sup>)
- **Orgaanisen aineen hajotus** entsyymaattisesti ja kemiallisesti [2]
- Näytteiden suodatus 20 µm metalliverkolle käsittelyjen välissä
- Menetelmän kiinteän aineksen poistoteho 98,2 % tulevalle jätevedelle, 99,6 % kuivatulle lietteelle ja 99,7% pohjasedimentille

[1] Tsering ym. 2022: The assessment of particle selection and blank correction to enhance the analysis of microplastics with Raman microspectroscopy. *Sci. Total Environ.* 842, 156804.

[2] Löder ym. 2017: Enzymatic purification of microplastics in environmental samples. *Environ. Sci. Technol.* 51, 14283–14292.

# Yli 100 $\mu\text{m}$ kokoisten mikromuovien analysointi Raman-mikroskoopilla [1]

- Analyysiin sisällytettiin näytteestä riippuen joko osanäyte tai koko käsitelty näyte
- Analysoinnissa hyödynnettiin partikkelintunnistusta
  - Etuina nopeampi analyysiaika
  - Rajoituksena taustanväristen mikromuovien ja kapeiden kuitujen jääminen analyysin ulkopuolelle sekä datan vaatima manuaalinen läpikäynti



[1] Tsering ym. 2022: The assessment of particle selection and blank correction to enhance the analysis of microplastics with Raman microspectroscopy. Sci. Total Environ. 842, 156804.

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020





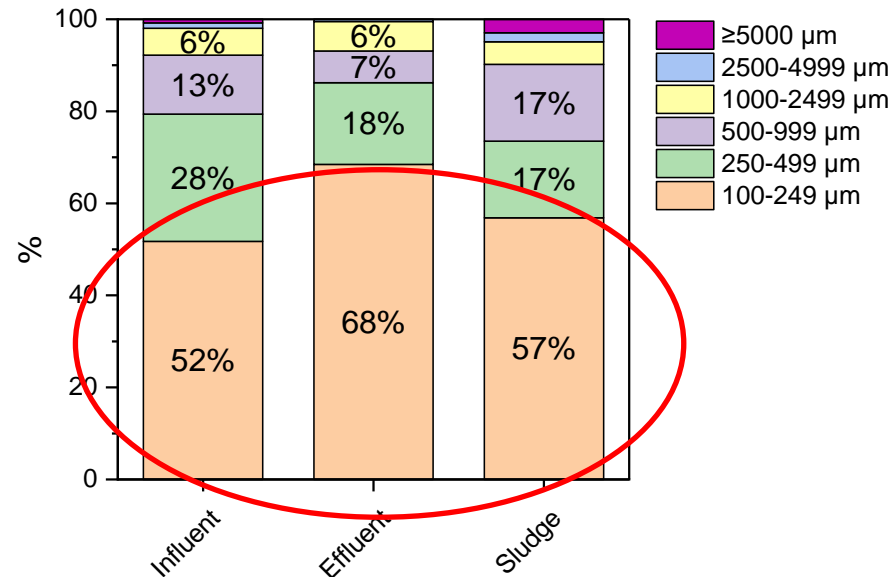
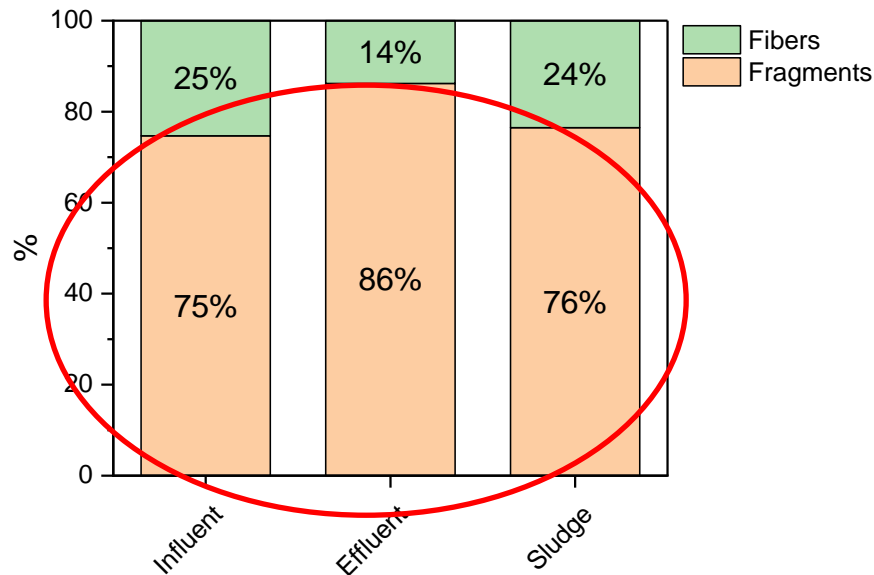
# Havaitut mikromuovipitoisuudet ja poistotehot ( $\geq 100 \mu\text{m}$ )

Kaupunki/ Kunta	Puhdistamo	Näytetyyppi	n	Näytteenottoaika	Pitoisuus ( $\geq 100 \mu\text{m}$ )		Poistoteho ( $\geq 100 \mu\text{m}$ )	
					(MP/L or MP/g ka)		(%)	
					Keskiarvo	95% CI	Keskiarvo	95% CI
Mikkeli	Metsä-Sairila	Tuleva jätevesi	3	2/2022	71	69	99,8	0,1
		Lähtevä jätevesi	3	2/2022	0,09	0,05		
		Lähtevä liete	3	2/2022	96	62		
	Anttola	Tuleva jätevesi	3	8/2022	329	178	97,0	1,3
		Lähtevä jätevesi	3	8/2022	11	11		
	Ristiina	Tuleva jätevesi	1	8/2022	133	-	99,8*	-
		Lähtevä jätevesi	3	8–9/2022	0,2	0,04		
	Suomenniemi	Tuleva jätevesi	3	9/2022	204	44	99,7	0,3
Lähtevä jätevesi		3	9/2022	0,5	0,4			
Savonlinna	Pihlajaniemi	Tuleva jätevesi	3	2–3/2022	91	19	99,7	0,2
		Lähtevä jätevesi	3	2–3/2022	0,3	0,2		
		Lähtevä liete	3	2–3/2022	97	52		
Puumala	Puumalan vesiosuuskunta	Tuleva jätevesi	3	3/2022	204	128	99,5	0,4
		Lähtevä jätevesi	3	3/2022	0,8	0,05		
		Lähtevä liete	3	3/2022	58	60		
Savitaipale	Peijonsuo	Tuleva jätevesi	3	3/2022	87	35	97,5	2,1
		Lähtevä jätevesi	3	3/2022	2	2		

Mahdollista kontaminaatiota ei ole huomioitu

# Mikromuovien ominaisuudet

- Valtaosa fragmentteja
  - Analyysimenetelmästä johtuen kuitujen tunnistus heikompi
- Yli puolet analysoiduista muoveista <250 µm
  - Lähtevän veden näytteissä mikromuovit keskimäärin pienempiä kuin muissa näytetyypeissä
- Yleisimmät muovilaadut PET, PE, PP ja PS



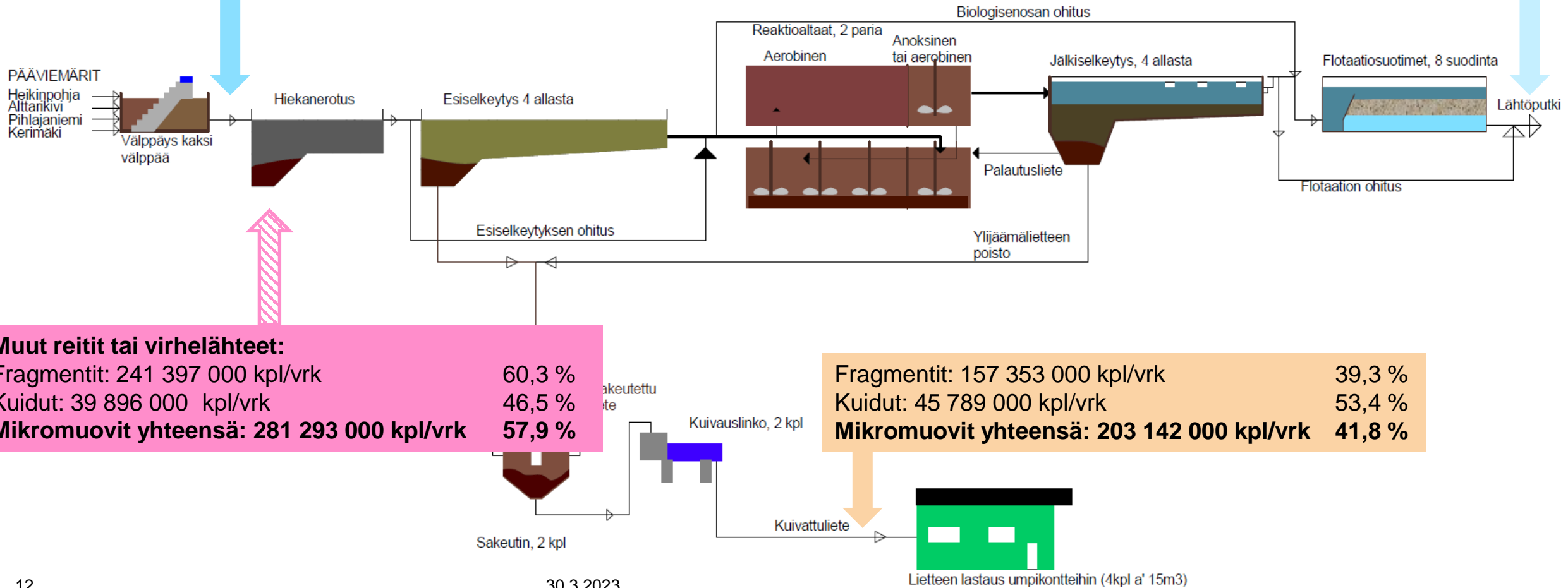
# Jätevedenpuhdistamoiden mikromuovikuormat

- Virtaamatiedot puhdistamoilta tulevalle ja lähtevälle jätevedelle sekä lähtevälle lietteelle
  - Puhdistamosta riippuen päiväkohtaiset tiedot tai pidemmältä ajalta lasketut keskiarvot (liete)
  - Osalta puhdistamoilta erilliset virtaamatiedot tulevalle ja lähtevälle vedelle, osalla molemmille käytettiin tulevan veden tietoja
- Keskiarvoiset mikromuovipitoisuudet suhteutettiin näytteenottojakson keskiarvovirtaamiin
  - Lieteikää (3-24 vrk) ei huomioitu näytteenotossa, joten lietenäytteet eivät edusta tulovirtaamaa
- Lähtevän veden ja lietteen sisältämät mikromuovimäärät suhteutettiin tulevan veden mikromuovimääriin

# Mikromuovikuorma ( $\geq 100 \mu\text{m}$ ) – Pihlajaniemen puhdistamo, Savonlinna

Fragmentit: 400 213 000 kpl/vrk 100 %  
 Kuidut: 85 760 000 kpl/vrk 100 %  
**Mikromuovit yhteensä: 485 973 000 kpl/vrk 100 %**

Fragmentit: 1 464 000 kpl/vrk 0,4 %  
 Kuidut: 75 000 kpl/vrk 0,09 %  
**Mikromuovit yhteensä: 1 539 000 kpl/vrk 0,3 %**



**Muut reitit tai virhelähteet:**  
 Fragmentit: 241 397 000 kpl/vrk 60,3 %  
 Kuidut: 39 896 000 kpl/vrk 46,5 %  
**Mikromuovit yhteensä: 281 293 000 kpl/vrk 57,9 %**

Fragmentit: 157 353 000 kpl/vrk 39,3 %  
 Kuidut: 45 789 000 kpl/vrk 53,4 %  
**Mikromuovit yhteensä: 203 142 000 kpl/vrk 41,8 %**

# Yhteenveto – Mikromuovit

- **97–99 % mikromuoveista ( $\geq 100 \mu\text{m}$ ) poistettiin jätevedestä** tutkituilla jätevedenpuhdistamoilla
- Käsitelty jätevesi sisältää pieniä pitoisuuksia (0,09–11 kpl/L) mikromuoveja ( $\geq 100 \mu\text{m}$ ), joita kulkeutuu jatkuvasti käsiteltyjä jätevesiä vastaanottavaan järviympäristöön
  - Yli puolet analysoiduista mikromuoveista kooltaan  $< 250 \mu\text{m}$ 
    - Linjassa ympäristönäytteistä analysoitujen mikromuovien kanssa
- **Tutkituilta laitoksilta kulkeutuu Saimaaseen päivittäin noin 5 000 000 yli  $100 \mu\text{m}$  kokoista mikromuovipartikkelia**
  - Johtuen analyysimenetelmän rajoituksista (erityisesti kuitujen osalta) todellinen mikromuovimäärä on todennäköisesti suurempi
- **Lietteen mukana kulkeutuu eteenpäin päivittäin yli 600 miljoonaa mikromuovia**

# Lääkeaineet

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



ATC-päryhmä	Lääkeaine	Käyttökohde	Määrittäjäoptimoissa		EU:n tarkkailulistalla (2020/1161)
			vesinäytteet (µg/L)	kiinteät näytteet (mg/kg ka)	
B – Veritautien lääkkeet	Varfariini	Antikoagulantti	0,005	0,001	
C – Sydän- ja verisuonisairauksien lääkkeet	Atenololi	Beetasalpaaja; rytmihäiriöt, angiina, migreeni	0,005	0,001	
	Betsafibraatti	Kolesterolilääke	0,005	0,001	
	Bisoprololi	Verenpainelääke	0,01	0,001	
	Furosemidi	Nesteenpoistolääke, verenpainelääke	0,05	0,01	
	Losartaani	Verenpainelääke	0,005	0,002	
	Metoprololi	Verenpainelääke	0,005	0,001	
	Propanololi	Beetasalpaaja; rytmihäiriöt, paniikkihäiriöt	0,005	0,001	
	Ramipriili	Verenpainelääke	0,005	0,001	
	Sotaloli	Beetasalpaaja; verenkierto- ja sydäntaudit	0,01	0,001	
G – Sukupuoli- ja virtsaelinten sairauksien lääkkeet	Naprokseeni	Tulehduskipulääke	0,01	0,005	
J – Systemisesti vaikuttavat infektio- ja lääkkeet	Siprofloksasiini	Antibiootti	0,05	0,01	X
	Klaritromysiini	Antibiootti	0,01	0,005	
	Erytromysiini	Antibiootti	0,25	0,005	
	Flukonatsoli	Sienilääke	0,005	0,005	X
	Ketokonatsoli	Sienilääke	0,005	0,001	
	Sulfadiatsiini	Antibiootti	0,01	0,001	
	Sulfametoksatsoli	Antibiootti	0,01	0,001	X
	Trimetopriimi	Antibiootti	0,001	0,001	X
L – Syöpälääkkeet ja immuunivasteen muuntajat	Metotreksaatti	Syöpälääke	0,01	0,001	
M – Tuki- ja liikuntaelinten sairauksien lääkkeet	Diklofenaakki	Tulehduskipulääke	0,005	0,001	
	Ibuprofeeni	Tulehduskipulääke	0,05	0,01	
N – Hermostoon vaikuttavat lääkkeet	Karbamatsepiini	Epilepsia- ja mielialalääke	0,005	0,001	
	Sitalopraami	Masennuslääke	0,01	0,001	
	Parasetamoli	Kipulääke	0,02	0,001	
	Oksatsepaami*	Rauhoittava	0,01	-	
	Primidoni	Epilepsialääke	0,005	0,001	
	Ketiapiini	Psykoosilääke	0,005	-	
	Sertraliini ja nortsertraliini	Masennuslääke	0,005	0,001	
	Tramadoli	Kipulääke	0,005	0,001	
	Tsolpideemi*	Unilääke	0,01	-	
	Venlafaksiini	Masennuslääke	0,005	0,001	X
Q – Eläinlääkkeet	Klopidoli*	Kokkidiostaatti	0,01	-	
	Krotamitoni*	Syyhy- ja punkkien aiheuttamat infektiot	0,01	-	
R – Hengityselinten sairauksien lääkkeet	Klenbuteroli	Astmalääke	0,005	0,001	
	Salmeteroli	Astmalääke	0,005	0,001	
V – Muut	Diatritsoaatti	Varjoaine	0,02	0,005	
	Iopamidoli	Varjoaine	0,02	0,001	

## Tutkitut lääkeaineet

- Jätevedet: 38 lääkeainetta
  - Näistä neljä (\*) analysoitiin vain Anttolan, Ristiinan ja Suomenniemen puhdistamonäytteistä
- Liete: 33 lääkeainetta

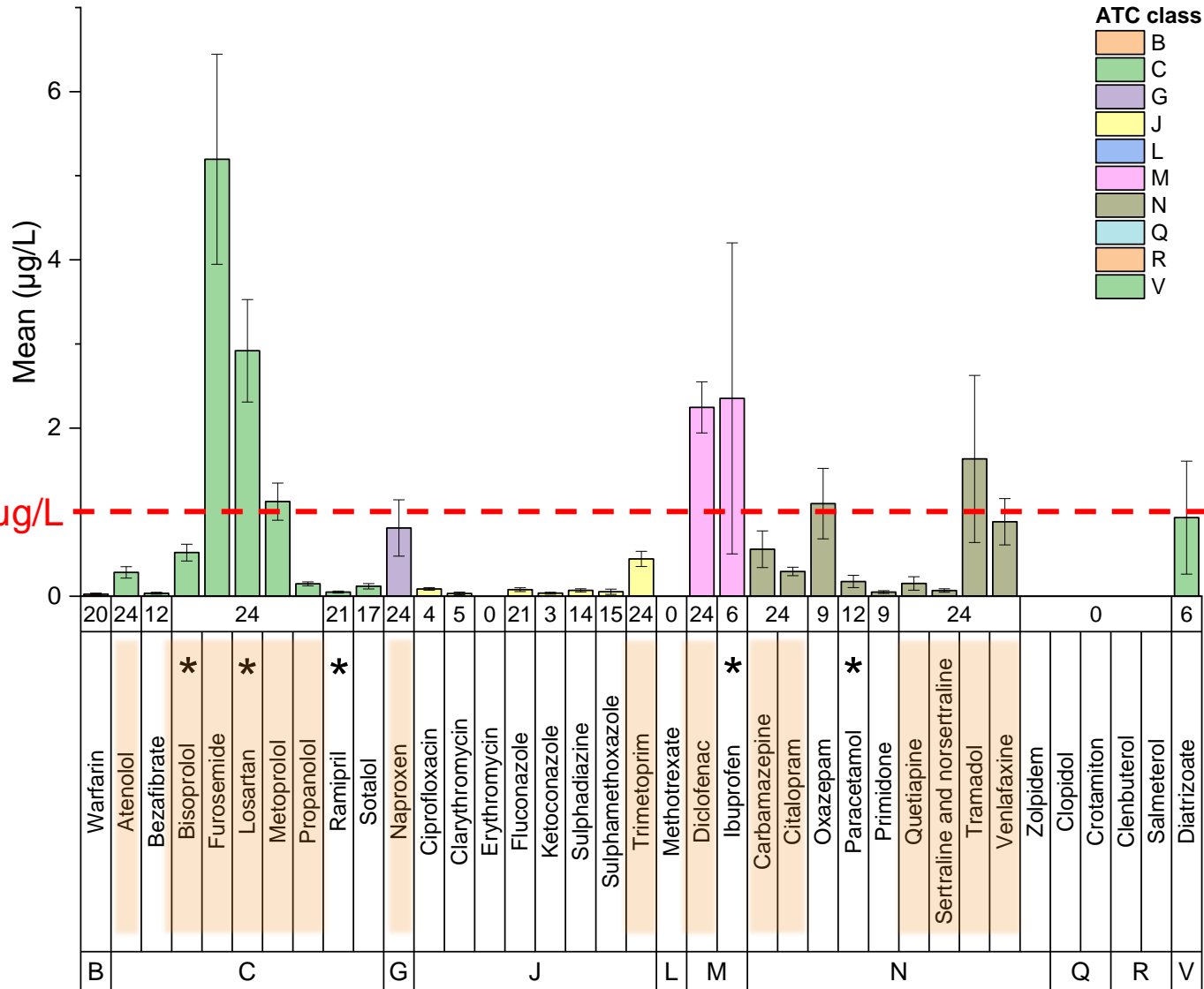
# Lääkeaineet jätevedenpuhdistamoilla

- HPLC/MS/MS-analyysit Eurofins Environment Testing Finland Oy (EPA 1694)
- Tuloksena **pitoisuuksien keskiarvot** (95% luottamusväli)
  - Määritysrajaa (LOQ) pienemmät pitoisuudet eivät sisälly keskiarvoihin
  - Mukana myös Pihlajaniemeltä elokuussa 2021 ilman viipymän huomiointia kerätyt näytteet
- **Poistotehot** (95% luottamusväli) laskettiin vastaavasti kuin VVY:n raportissa nro 70 [1]
  - Erikseen kullekin jätevesinäyteparille (tuleva ja lähtevä jätevesi), kun pitoisuus tulevassa jätevedessä >LOQ
  - Määritysrajaa (LOQ) pienemmät lähtevän jäteveden pitoisuudet → 50% LOQ

[1] Vieno ja Arjonen, 2020: Uudet haitalliset aineet suomalaisilla jätevedenpuhdistamoilla. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 70.



# Lähtevä jätevesi – Kaikki puhdistamot



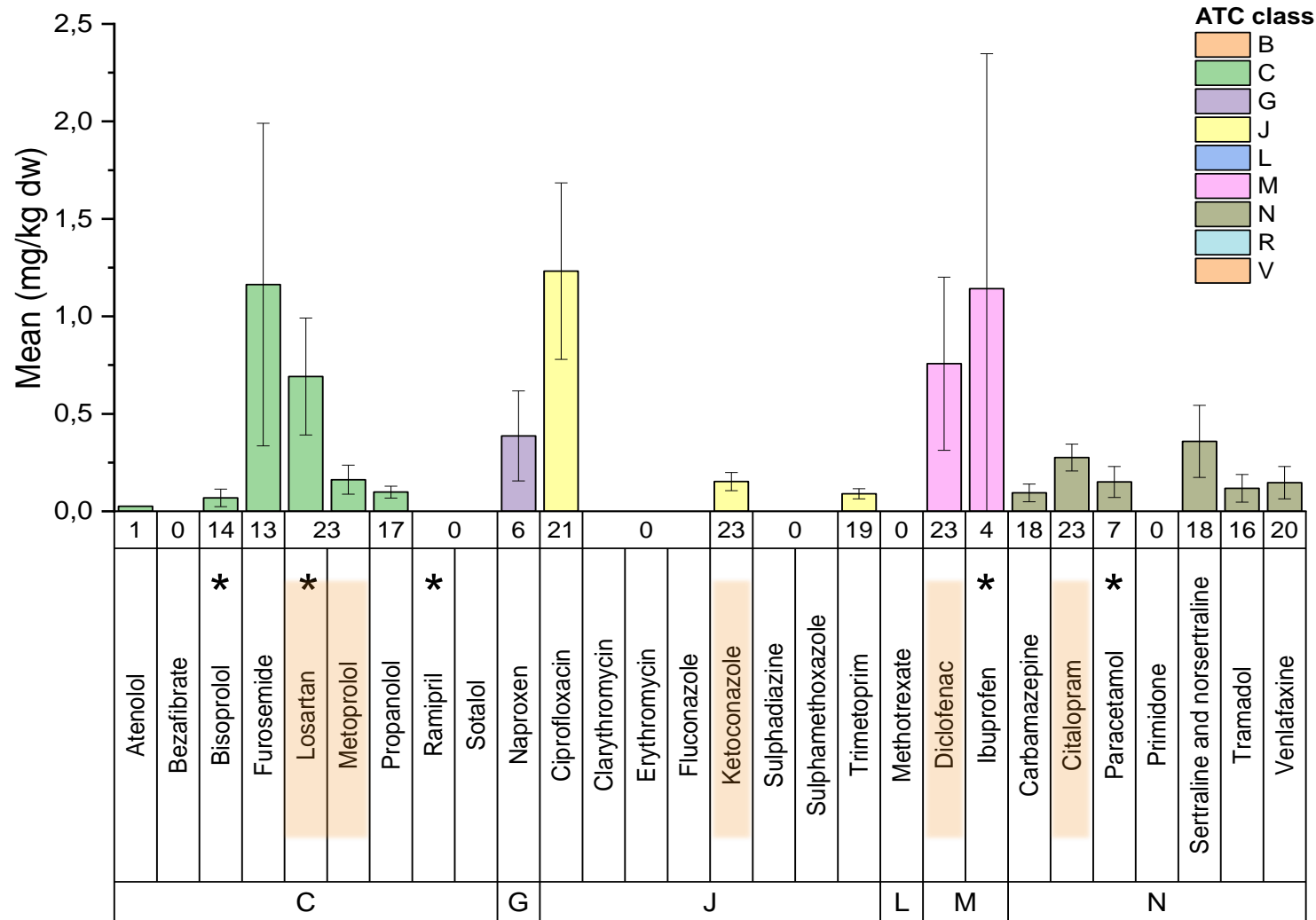
- Keskiarvo  $\pm 95$  % luottamusväli
- Vain määritysrajaa (LOQ) suuremmat pitoisuudet mukana
- Tutkituista lääkeaineista 15 havaittiin yli määritysrajojen kaikissa lähtevän jäteveden näytteissä

→ >1 µg/L: 5 lääkeainetta

- Furosemidi
- Losartaani
- Diklofenaakki
- Tramadoli
- Metoprololi

\* 10 kulutetuinta lääkeainetta Suomessa (Fimea ja Kela: Suomen lääketilasto 2020)

# Jätevesiliete – Kaikki puhdistamot



- Keskiarvo  $\pm$ 95 % luottamusväli
- Määritysrajat vaihtelivat näytteiden välillä
- Myös lietteiden tyypit vaihtelivat puhdistamosta riippuen
- Tutkituista lääkeaineista 5 havaittiin yli määritysrajojen kaikissa lietenäytteissä
  - Diklofenaakki
  - Losartaani
  - Sitalopraami
  - Metoprololi
  - Ketokonatsoli

\* 10 kulutetuinta lääkeainetta Suomessa (Fimea ja Kela: Suomen lääketilasto 2020)

# Poistotehojen perusteella järviympäristölle ”turvalliset” ja huolta herättävät lääkkeaineet

Poistuvat tehokkaasti (>80%) jätevedestä	Poistuvat heikosti (<50 %) jätevedestä
Ibuprofeeni	Diklofenaakki
Ketiapiini	Flukonatsoli *
Ketokonatsoli	Karbamatsepiini
Parasetamoli	Propranololi
Sertraliini ja norsertraliini	Sitalopraami
Siprofloksasiini	Tramadoli
Sulfadiatsiini	Trimetopriimi *
Sulfametoksatsoli	Venlafaksiini *

\* EU:n tarkkailulistalla (2020/1161)

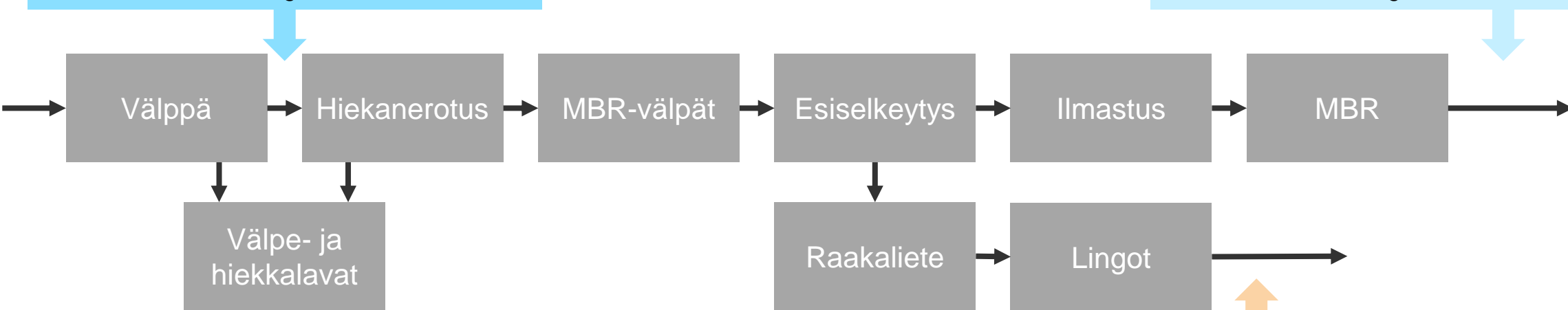
**Tehokkaammat  
käsittelymenetelmät,  
kohdepoistot tai lääkkeaineiden  
kehitys kohti helpommin  
hajoavia yhdisteitä?**

- Virtaamatiedot puhdistamoilta tulevalle ja lähtevälle jätevedelle sekä lähtevälle lietteelle
- Keskiarvoiset lääkeainepitoisuudet suhteutettiin näytteenottojakson keskiarvovirtaamiin
  - Lieteikää (3–24 vrk) ei huomioitu näytteenotossa, joten lietenäytteet eivät edusta ajallisesti tulovirtaamaa
- Lähtevän veden ja lietteen sisältämät lääkeainemäärät suhteutettiin tulevan veden lääkeainemääriin

# Lääkeainekuormitus – Metsä-Sairila, Mikkeli

Diklofenaakki: 19 917 mg/d	100 %
Losartaani: 23 737 mg/d	100 %
Sitalopraami: 2 919 mg/d	100 %
Metoprololi: 6 903 mg/d	100 %
Ketokonatsoli: 2 401 mg/d	100 %

Diklofenaakki: 17 794 mg/d	89,3 %
Losartaani: 7 513 mg/d	31,7 %
Sitalopraami: 1 864 mg/d	63,9 %
Metoprololi: 5 197 mg/d	75,3 %
Ketokonatsoli: ~42 mg/d	~1,8 %



## Muut reitit, hajoaminen, muuntuminen tai virhelähteet:

Diklofenaakki: 1333 mg/d	6,7 %
Losartaani: 15 394 mg/d	64,9 %
Sitalopraami: 572 mg/d	19,6 %
Metoprololi: 1470 mg/d	21,3 %
Ketokonatsoli: 2098 mg/d	87,4 %

Diklofenaakki: 789 mg/d	4,0 %
Losartaani: 830 mg/d	3,5 %
Sitalopraami: 483 mg/d	16,5 %
Metoprololi: 235 mg/d	3,4 %
Ketokonatsoli: 261 mg/d	10,9 %

# Yhteenveto – lääkeaineet

- Lääkeaineiden poistotehot vaihtelevat jätevedenpuhdistamoiden välillä
- Heikosti poistuvia yhdisteitä erityisesti sydän- ja verisuonitautien lääkkeissä, infektiolääkkeissä, tulehduskipulääkkeissä ja hermostoon vaikuttavissa lääkkeissä
- Tiettyjen lääkeaineiden osalta kohdepoistomenetelmiä voisi hyödyntää esim. sairaaloilla, joiden jätevedet sisältävät suurempia pitoisuuksia tiettyjä lääkeaineita [1]
  - Esimerkiksi varjoaineena käytetty diatrISOaatti

[1] Salmi ym. 2023: Sairaalahäteveden erilliskäsittely lääkeainepäästöjen hallinnassa. Dosis 1/2023 (39).

# Jatkotutkimuskohteita?

- **Valtaosa mikromuoveista ja osa lääkeaineista siirtyy jätevedestä lietteeseen**
  - **Lietteenkäsittelymenetelmät ravinteiden kierrätyksen mahdollistamiseksi**
    - **Testattiin myös mikromuovien poistotehoa Nanopar Oy:n infrapunakuivauksella**
      - Kuivaus muutti lietteen koostumusta siten, että esikäsittelymenetelmä ei toiminut yhtä tehokkaasti ja analyysiin voitiin sisällyttää hyvin pieni osanäyte
      - Muutaman näytteen perusteella **mikromuovipitoisuudet olivat 72–86 % pienempiä käsitellyissä kuin käsittelemättömissä lietenäytteissä**, mutta tulokset vain suuntaa-antavia



# KIITOS!

Mirka Viitala, tutkija

LUT-yliopisto, Erotustekniikan osasto

mirka.viitala@lut.fi, +358 50 434 1057



@MirkaViitala

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto