



Techninė ataskaita

T.3.2.1

Pasirinktų nuotekų valyklų
konsultavimas su pasiūlymais dėl
geresnio farmacinių medžiagų išvalymo

2022





Projekto Nr. LLI-527

Farmacinės medžiagos nuotekose - kiekiai, poveikiai ir mažinimas MEDWwater

Projektu siekiama padidinti farmacinių medžiagų taršos valdymo efektyvumą ir sustiprinti valstybinių institucijų ir nuotekų valymo įrenginių (NVI) operatorių bendradarbiavimą.

Projekto biudžetas
673 773 EUR

Europos regioninės plėtros fondo bendrasis
finansavimas
572 707 EUR

Projekto pradžia ir pabaiga
2021-02-01 - 2022-12-31

PROJEKTO PARTNERIAI:

- Daugpilio universiteto agentūros Latvijos vandens ekologijos institutas, www.lhei.lv
- Kurzemės planavimo regionas, www.kurzemesregions.lv
- Latvijos aplinkos, geologijos ir meteorologijos centras, www.videscentrs.lv/gmc.lv
- Klaipėdos universitetas, www.ku.lt
- Latvijos Respublikos Valstybinė vaistų agentūra, www.zva.gov.lv
- Valstybinė vaistų kontrolės tarnyba prie Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerijos, www.vvkt.lt

Projektą iš dalies finansuoja

2014–2020 m. Interreg V-A Latvijos ir Lietuvos bendradarbiavimo per sieną programa www.latlit.eu

Gamtai
Vaistų
Nereikia



Ataskaitą parengė dipl. inž. Michael Stapf (michaelstapf@gmx.net)

Ši publikacija finansuojama Europos Sąjungos lėšomis. Už šios publikacijos turinį visapusiškai atsako Klaipėdos universitetas / Latvijos aplinkos, geologijos ir meteorologijos centras / Latvijos vandens ekologijos institutas, ir ji jokių būdu nėra laikoma Europos Sąjungos oficialia pozicija.

Turinys

1	Žodynas	4
2	VFM vandens aplinkoje	5
2.1	VFM vertinimas nuotekų valymo įrenginiuose.....	6
2.1.1	Į nuotekų valyklas įtekančios (nevalytos) nuotekos.....	6
2.1.2	VFM šalinimas biologinio valymo metu	7
2.1.3	Iš nuotekų valyklų ištekančios (išvalytos) nuotekos	9
2.1.4	VFM apkrovos.....	9
2.2	Atitinkamų VFM nustatymas.....	11
2.2.1	Rizikos vertinimas	11
2.2.2	Diskusijos dėl "aktualių VFM" pasirinkimo	12
2.2.3	Šveicarijos patirtis	12
3	VFM pašalinimo technologijos	15
3.1	Ozonavimas	15
3.2	Aktyvintoji anglis	17
3.3	VFM šalinimas ozonavimu ir aktyvinta anglimi	19
3.4	Išlaidos.....	20
3.5	Anglies dioksido pėdsakas.....	23
4	Lietuvos ir Latvijos nuotekų valyklų pasirengimas.....	25
4.1	Nuotekų valymo įrenginių procesai	25
4.2	Sinergija, VFM tikslai ir numatomos kliūtys	27
5	Atvejų analizė	29
5.1	Klaipėda (Lietuva).....	29
5.2	Kretinga (Lietuva)	32
5.3	Daugpilis (Latvija).....	36
6	Santrauka	38
7	Šaltiniai.....	39
	Priedėlis.....	40

1 Žodynas

<i>Trumpinys</i>	<i>Paaškinimas</i>
AA	Aktyvintoji anglis
VFM	Veiklioji farmacinė medžiaga
BDS	Biocheminis deguonies suvartojimas
BV	Dugno/kolonos tūris; parodo, kiek vandens buvo išvalyta naudojant tą pačią GAA
CAPEX	Kapitalinės išlaidos
ChDS	Cheminis deguonies suvartojimas
IOA	Ištirpusi organinė anglis
EBCT	Tuščio filtro/kolonos sluoksnio kontakto laikas; parodo vidutinį laiką, per kurį vanduo turi praeiti pro GAA filtro sluoksnio tūrį
KA	Koncentracija aplinkoje
AKS	Aplinkos kokybės standartas
GAA	Granuluota aktyvintoji anglis
GN	Gamybinės nuotekos
k_{O_3}	Reakcijos su ozonu greičio konstanta
k_{OH}	Reakcijos su hidroksilo radikalais greičio konstanta
GCV	Gyvavimo ciklo vertinimas
KJR	Kiekybinio įvertinimo riba; parodo mažiausią galimą cheminės medžiagos koncentraciją, kurią galima patikimai kiekybiškai įvertinti analizės metodu
SD	Skystasis deguonis
OBP	Šalutinis oksidacijos produktas; gaunamas iš organinės ar neorganinės medžiagos, kuri nėra VFM
OH	Hidroksilo radikalas
OPEX	Ekspluatacinės išlaidos
MAA	Miltelių pavidalo aktyvintoji anglis
GE	Gyventojų ekvivalentas
PNEC	Numatoma poveikio nesukelianti koncentracija
Q	Nuotekų kiekis
RAC	Teisės aktais nustatyta priimtina koncentracija
ROD	Likutinio ozono naikintojas
RQ	Rizikos koeficientas; cheminės medžiagos (išmatuotos) KA ir jos PNEC (arba AKS) koeficientas. Didesnis nei 1 RQ reiškia, kad ši cheminė medžiaga kelia riziką, ir atvirkščiai
TP	Transformacijos produktas; gaunamas iš VFM
TSS	Bendrosios suspenduotos kietosios medžiagos
PVM	Pridėtinės vertės mokestis
NV	Nuotekų valymo įrenginiai/nuotekų valykla

2 VFM vandens aplinkoje

Veikliosios farmacinės medžiagos (VFM) - tai vaistų dalys, kurios naudojamos žmonėms ir gyvūnams gydyti nuo ligų. Dėl jų plataus vartojimo ir patobulintų analizės metodų VFM galima aptikti visuose vandens telkiniuose. Šiame skyriuje trumpai apžvelgiama, kaip VFM gali patekti į vandens ciklą:

- Antibiotikai, antihipertenziniai, analgetikai, antiepilepsiniai vaistai) gali būti vartojami skirtingais tikslais ir įvairiais būdais (pvz., piliulės, tabletės, kremai). Priklausomai nuo VFM ir vartojimo būdo, metabolizuojama tik dalis VFM, o kitos dalys išsiskiria patekusios į organizmą. Taip pat iš organizmo gali išsiskirti ir VFM metabolitai. Jei VFM vartojamos kaip kremas (pvz., diklofenakas), jis gali būti nuplaunamas maudantis vonioje ar duše. Visais atvejais VFM ir (arba) jų metabolitai patenka į nuotekas.
- Ligoninės kartais vadinamos VFM "karštaisiais taškais", nes jose naudojama palyginti daug vaistų. Tačiau daugeliu atvejų bendra VFM taršos apkrova iš ligoninių yra mažesnė, palyginti su VFM apkrova iš savivaldybių, nors ligoninių nuotekose gali būti tam tikrų VFM, kurios naudojami tik jose. Kadangi ligoninių nuotekos paprastai patenka į vietinius savivaldybės nuotekų valymo įrenginius, tikimasi, kad atskiras ligoninių nuotekų valymas, siekiant pašalinti VFM, turės tik nedidelį poveikį bendram VFM kiekiui mažinimui, todėl bus mažiau veiksmingas nei tikslinis VFM šalinimas savivaldybės nuotekų valymo įrenginiuose.
- Nepanaudoti arba pasenę vaistai gali būti netinkamai šalinami. Jie gali būti nuleidžiami į tualetą (daugiausia skysti vaistai) arba išmetami į įprastą buitines atliekas, kurios ne visada sudeginamos. Taigi vaistų likučiai gali patekti į sąvartyną ir galiausiai į jo filtratą.
- Gamybos metu arba procesų, susijusių su galutinio produkto (pvz., piliulių, tablečių...) gamyba, VFM gali patekti į gamybinės nuotekas, kurios po atitinkamo valymo nukreipiamos į miesto nuotekų valyklą arba į vandens telkinį (nuotekų priimtuvą).
- Kiti būdai taip pat gali būti išsiskyrimas iš išdžiovinto perteklinio nuotekų valymo įrenginių dumblo, kuris naudojamas žemės ūkyje ar kraštovaizdžio formavimui, arba per liūčių metu susidarančių nuotekų apvedimo be valymo sistemos, kurių metu dalis praskiestų, bet nevalytų nuotekų išleidžiama į atitinkamą vandens telkinį.

VFM į vandens aplinką gali patekti įvairiais būdais. Dažnai neturima jokių žinių apie konkrečias VFM apkrovas įvairiais patekimo keliais arba jų turima nedaug. Tačiau daugeliu atvejų skirtingi nuotekų srautai galiausiai patenka į vietinius savivaldybių nuotekų valymo įrenginius, kurie yra tinkama vieta VFM šalinimo technologijoms diegti.

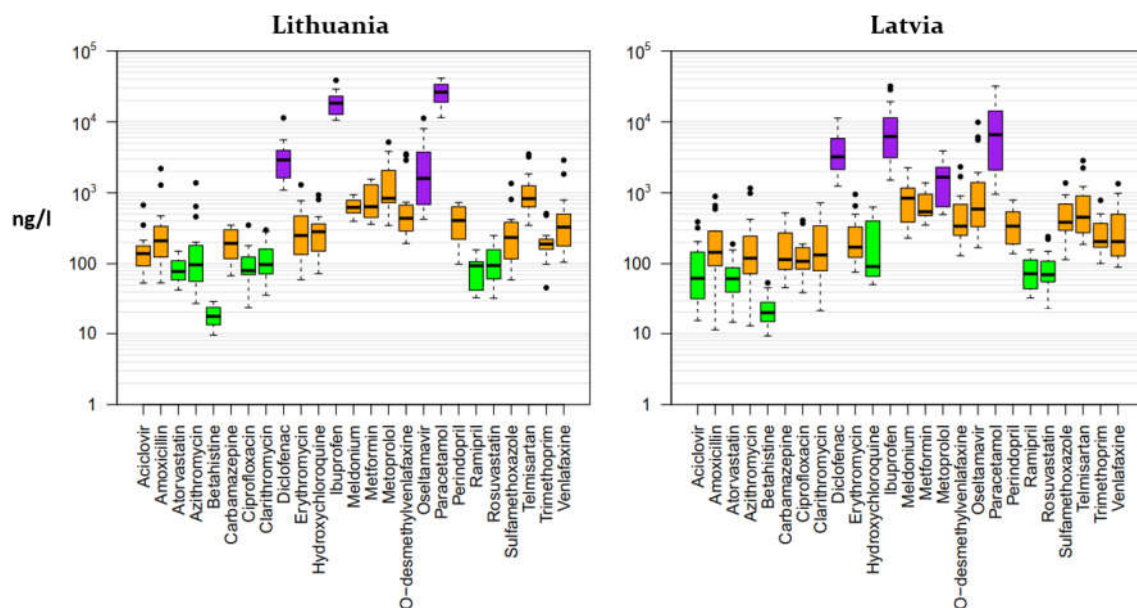
2.1 VFM vertinimas nuotekų valymo įrenginiuose

Įgyvendinant MEDWwater projektą, 8 Latvijos ir 8 Lietuvos nuotekų valyklose buvo atliktos dvi mėginių ėmimo kampanijos (viena - vasarą, kita - žiemą). Kai kurie rezultatai bus aptarti šiame skyriuje.

2.1.1 Į nuotekų valyklas įtekančios (nevalytos) nuotekos

25 išmatuotų VFM koncentracijų pasiskirstymas visose 8 nuotekų valyklose kiekvienoje šalyje pavaizduotas 1 paveiksle kaip box-plot diagramos¹. Išmatuotos koncentracijos svyruoja plačiame diapazone (10 ng/l - 40 000 ng/l). Didžiausios koncentracijos išmatuotos diklofenakui, ibuprofenui ir paracetamolui (nesteroidiniai priešuždegiminiai vaistai ir analgetikai), metoprololiui ir oseltamivirui. Priešingai, mažiausia koncentracija nustatyta azitromicinui, ciprofloksacinui ir klaritromicinui (antibiotikai), aciklovirui, atorvastatinui, betahistinui, hidroksichlorochinui, ramipriliui ir rozuvastatinui.

Palyginus abiejų šalių nuotekų valyklų įtekančiame sraute (prieš valymą) nustatytų VFM koncentracijų medianas, matyti, kad daugumos VFM koncentracijos yra panašios. Penkių VFM (acikloviro, hidroksichlorochino, ibuprofeno, oseltamiviro ir paracetamolio) medianinės koncentracijos Lietuvos nuotekų valyklose buvo daugiau kaip du kartus didesnės nei Latvijos nuotekų valyklose. Tik metoprololio koncentracija Latvijos nuotekų valyklose buvo maždaug du kartus didesnė nei Lietuvos nuotekų valyklose (žr. 5 lentelę).



1 paveikslas: VFM koncentracijos (ng/l), išmatuotos Lietuvos (kairėje) ir Latvijos (dešinėje) NV įtekančiame nuotekų sraute (prieš valymą). 2 mėginiai kiekvienoje nuotekų valykloje 8 nuotekų valyklose kiekvienoje šalyje ($n = 16$ kiekvienoje šalyje; $C < K\bar{I}R = K\bar{I}R^2$). Spalvomis pažymėti skirtingi koncentracijos lygiai, atsižvelgiant į koncentracijos medianą: > 1000 ng/l (violetinė), $100-1000$ ng/l (oranžinė) ir < 100 ng/l (žalia).

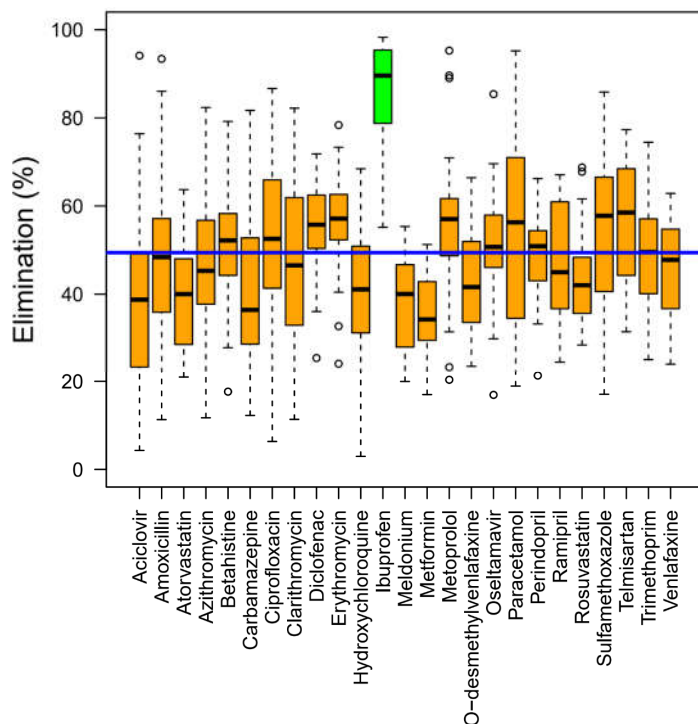
¹ Kaip skaityti pateiktas diagramas žiūr. priedėlyje (SI 2 pav.)

² $K\bar{I}R$ = kiekybinio įvertinimo riba. $K\bar{I}R$ rodo mažiausią galimą koncentraciją, kurią galima patikimai kiekybiškai nustatyti pasirinktu analizės metodu.

2.1.2 VFM šalinimas biologinio valymo metu

Įprastiniuose nuotekų valymo įrenginiuose VFM gali būti pašalinami įvairiais mechanizmais (pvz., biologinio skaidymo, absorbcijos ant dumblo...). Ar konkreti medžiaga pašalinama ir kokių mastu įvertinti yra labai sudėtinga. Tai priklauso nuo įvairių parametrų (pvz., nuotekų valyklos eksploatacinių parametrų, vandens kokybės parametrų, cheminės medžiagos struktūros...). Žinomi gerai biologiškai skaidomų VFM pavyzdžiai yra ibuprofenas ir metforminas, o karbamazepinas yra blogai biologiškai skaidomas. Daugiau kaip 100 medžiagų atsiradimo ir pokyčių nuotekų valymo įrenginiuose apžvalga pateikta apžvalginiame tyrime (Verlicchi et al., 2012). Tyrime taip pat pateikiamos pasirinktos VFM frakcijos, kurias atitinkamai pašalina biologinis valymas ir kurios absorbuojasi dumble. Pavyzdžiui, nustatyta, jog karbamazepinas, diklofenakas ir ibuprofenas silpnai absorbuojasi dumble (sumažėjimas < 5 %), o ciprofloksacino absorbcija į dumblą yra didelė (sumažėjimas 70-80 %). Nenuostabu, kad VFM galima nustatyti visose dumblo frakcijose (pvz., pirminiame dumble, antriniame dumble, apdorotame dumble), esant plačiam koncentracijos diapazonui. Atliekant tolesnį vaistų koncentracijos apdorotame ir neapdorotame dumble tyrimą (Verlicchi ir Zambello, 2015 m.), pranešta apie koncentraciją nuo 0,1 iki 100 000 ng/g sausosios medžiagos atitinkamai antriniame ir pūdytame dumble. Taigi VFM galiausiai taip pat gali patekti į aplinką, jei apdorotas nuotekų dumblas šalinamas žemės ūkyje ir (arba) kraštovaizdžio tvarkyme.

Dabartinio VFM šalinimo apžvalga 16-oje tirtų Latvijos ir Lietuvos nuotekų valyklų pateikta 2 paveiksle.



2 pav. Bendras VFM pašalinimas (%), neskirstant pagal mėginių ėmimo kampaniją (vasara/žiema) ir šalį (Lietuva/Latvija). Iš viso 32 duomenų taškai kiekvienam VFM ($C < K\bar{I}R = K\bar{I}R$). Mėlyna linija rodo medianos verčių vidurkį.

Išskyrus gerai biologiškai skaidomą ibuprofeną (šalinimo efektyvumas $\approx 90\%$), kitų VFM šalinimo efektyvumo mediana yra 40-60 %. Visų medianų vidurkis yra artimas 50 %. Lyginant su kitais tyrimais, MEDWwater stebėsenos rezultatai rodo didesnę tokių medžiagų kaip

karbamazepinas, diklofenakas ir metoprololis pašalinimo efektyvumą. Priešingai, ciprofloksacino ir metformino pašalinimo efektyvumas MEDWwater tyrime yra mažesnis, nei tikėtasi.

Lyginant vidutinį VFM pašalinimo efektyvumą matyti, kad Latvijos nuotekų valyklose bendras pašalinimo efektyvumas buvo šiek tiek didesnis nei Lietuvos nuotekų valyklose (54,4 %, palyginti su 45,7 %). Tarp vasaros ir žiemos mėginių ėmimo kampanijų nepastebėta jokių reikšmingų VFM šalinimo skirtumų. Išsami informacija pateikta SI 1 paveiksle ir SI 6 lentelėje.

VFM sumažinimas taikant įprastinį valymo procesą Kretingos ir Klaipėdos nuotekų valyklose, apie kurį pranešta vykdant projektus MORPHEUS, "LESS IS MORE" ir šį MEDWwater tyrimą, pateiktas SI 7 lentelėje. Lyginant vidutinį VFM pašalinimo efektyvumą, matyti dideli skirtumai (pvz., karbamazepinas pašalinamas nuo -6 % iki 69 %, o paracetamolis - nuo 28 % iki 100 %). Galimi tokių skirtingų rezultatų paaiškinimai gali atsirasti dėl šių skirtumų:

- **Nuotekų valymo įrenginių ribinių sąlygų**

Be to, kad per metus skiriasi bendra NV veikla, vandens kokybė ir VFM koncentracija gali skirtis dėl savaitinių ar sezoninių VFM suvartojimo modelių arba lietaus ir sauso oro sąlygų.

- **Mėginių ėmimo procedūros**

Gauti "reprezentatyvius" vandens mėginius, atspindinčius tikruosius procesus, nėra triviali užduotis. Dažnai taikomi skirtingi mėginių ėmimo būdai (momentiniai, sudėtiniai - proporcingi debitui ir laikui su skirtinga laiko trukme), taip pat kartais gali būti atsižvelgiama į hidraulinį vandens išbuvimo laiką nuotekų valymo įrenginyje. Taigi, nors naudojamos tos pačios mėginių ėmimo vietos, gali būti išmatuotos skirtingos VFM koncentracijos.

- **Analizės procedūros**

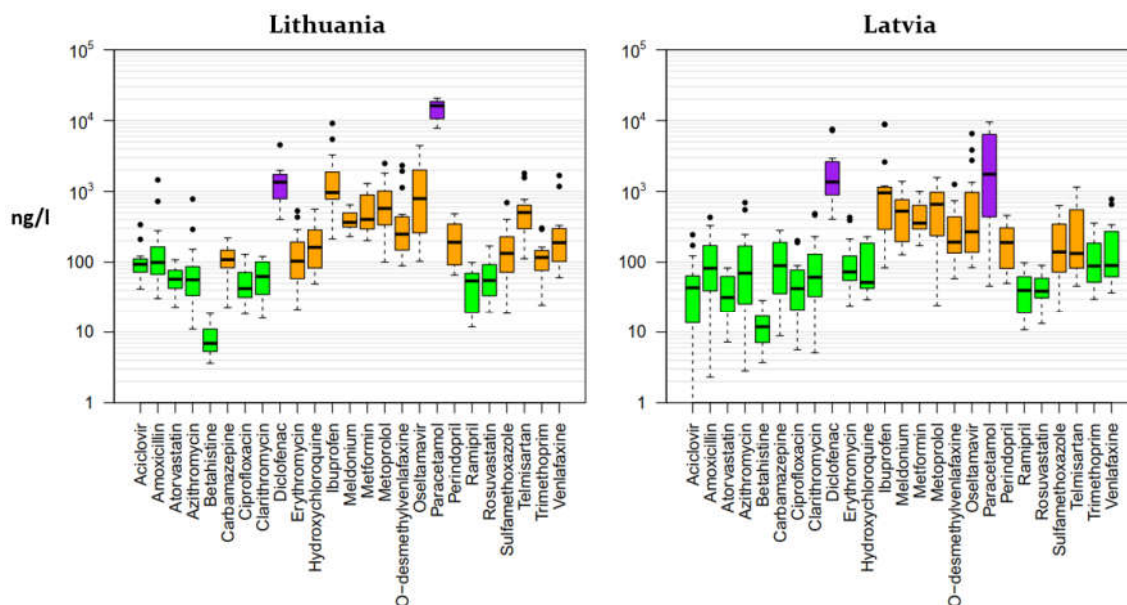
Tą patį vandens mėginį ištyrus skirtingose laboratorijose, dėl skirtingos įrangos, analitinių metodų ir matavimo neapibrėžtumų VFM analizės rezultatai taip pat gali skirtis. Tai ypač svarbu, jei laboratorija nenaudoja standartizuotų metodų ir nepakankamai kontroliuoja tyrimų kokybę (pvz., išgaunamumas naudojant kietosios fazės ekstrakciją, matavimo signalų, artimų kvalifikacijos ir (arba) kiekybinio įvertinimo ribai, vertinimas, vidinių standartų naudojimas...).

- **Rezultatų vertinimo ir (arba) aiškinimo**

Net naudojant tą patį duomenų pagrindą, vidutinis ar bendras VFM pašalinimas gali skirtis dėl skirtingų vertinimo metodų. Pavyzdžiui, pateiktas vidutinis VFM sumažinimas gali būti pagrįstas vidutiniu VFM apkrovos sumažėjimu (MORPHEUS projektas), santykiniu skirtumu tarp vidutinės įtekančios ir ištekančios koncentracijos (projektas "LESS IS MORE") arba vidutiniu VFM pašalinimu imant mėginius (ši ataskaita). Reikėtų pabrėžti, kad mėginių atrankos metodui mažiau įtakos turi stipriai kintantys VFM koncentracijos lygiai, o vidutinei įtekančių ar ištekančių nuotekų koncentracijai didelę įtaką gali daryti vienas mėginys. Be to, dažnai skirtingai elgiamasi su koncentracijomis, mažesnėmis už kiekybinio nustatymo ribą (pvz., traktuoti kaip nulinę, pusę arba lygią KJR), arba neigiamais VFM pašalinimais (pvz. (pvz., įtraukti neigiamus pašalinimus arba prilyginti juos nuliui) dažnai traktuojamas skirtingai.

2.1.3 Iš nuotekų valyklų ištekančios (išvalytos) nuotekos

Atitinkamos VFM koncentracijos iš NV ištekančiose nuotekose (po valymo) parodytos 3 paveiksle. VFM koncentracijų modeliai yra panašūs į tuos, kurie buvo įtekančiose nuotekose (prieš valymą), tačiau tik maždaug perpus mažesni. Tik diklofenako ir paracetamolio koncentracijos didesnės nei 1 µg/l vis dar buvo aptinkamos tik nuotekų valymo įrenginių išvalytose nuotekose, o daugumos VFM Latvijos nuotekų valyklų išvalytose nuotekose vidutinė koncentracija buvo < 0,1 µg/l.



3 pav. VFM koncentracijos (ng/l), išmatuotos Lietuvos (kairėje) ir Latvijos (dešinėje) nuotekose po valymo. Kiekvienoje nuotekų valykloje paimti 2 mėginiai iš 8 nuotekų valyklų kiekvienoje šalyje ($n = 16$ kiekvienoje šalyje; $C < KJR = KJR$). Spalvomis pažymėti skirtingi koncentracijos lygiai, atsižvelgiant į koncentracijos medianą: > 1000 ng/l (violetinė), 100–1000 ng/l (oranžinė) ir < 100 ng/l (žalia).

2.1.4 VFM apkrovos

Kartu su vidutiniu paros nuotekų kiekiu galima apskaičiuoti taršos VFM apkrovas/kiekius, patenkančius į nuotekų valymo įrenginius ir iš jų išleidžiamus (1 lentelė). Be nedidelių nukrypimų, bendros VFM apkrovos atitinka vidutinį paros nuotekų kiekį. Atitinkamai bendras VFM apkrovos sumažėjimas dėl dabartinio nuotekų valymo svyruoja nuo 3 g/d iki 2,8 kg/d. Tačiau reikėtų pažymėti, kad bendrą VFM apkrovą ir jos sumažėjimą lemia kelios medžiagos. Daugiau kaip 80 % gaunamos apkrovos gali būti priskirta tik keturioms medžiagoms: paracetamolui, ibuprofenui, diklofenakui ir oseltamivirui. Todėl bendrą apkrovos mažinimą lemia šių medžiagų biologinis skaidumas. Kadangi visų šių keturių VFM (ypač ibuprofeno) šalinimo efektyvumas yra didesnis nei kitų išmatuotų VFM mediana, bendras VFM apkrovos sumažėjimas svyruoja nuo 52 % iki 71 % ir yra didesnis nei vidutinis VFM koncentracijų sumažėjimas.

Todėl VFM apkrovos bendrasis sumažėjimas labai priklauso nuo pasirinktų VFM. Pasirinkus VFM, kurių koncentracija nuotekų valyklų įtekančiame sraute yra didelė ir kurie yra labai gerai biologiškai skaidūs (pvz., ibuprofenas), susidarys vyraujantis vaizdas, o VFM, kurie, kaip žinoma, daro neigiamą poveikį aplinkai esant labai mažai koncentracijai (pvz., hormonai), bus visiškai

ignoruojami. Todėl rekomenduojama ne tik apžvelgti VFM apkrovas, bet ir įvertinti VFM koncentraciją vandenyje.

1 lentelė: Į nuotekų valyklas patenkančių ir iš jų išleidžiamų VFM apkrovų apžvalga.

Nuotekų valymo įrenginiai	Šalis	Vidutinis nuotekų kiekis (1000 m ³ /d)	Apkrova nevalytomis nuotekomis (g/d)	Apkrova išvalytomis nuotekomis (g/d)	Sumažinimas (g/d)	Sumažinimas (-)
Klaipėda	LT	40.8	4499	1696	2803	62%
Šiauliai	LT	19.9	1542	529	1013	66%
Liepoja	LV	14.3	950	331	619	65%
Daugpilis	LV	11.2	1022	405	616	60%
Telšiai	LT	9.3	707	293	414	59%
Mažeikiai	LT	7.7	300	124	176	59%
Rokiškis	LT	3.2	196	90	106	54%
Kretinga	LT	3.9	193	93	100	52%
Joniškis	LT	2.0	78	29	49	63%
Radviliškis	LT	2.5	72	31	41	57%
Kuldyga	LV	1.9	41	14	26	65%
Talsai	LV	1.5	42	17	25	59%
Bauskė	LV	1.6	35	13	22	63%
Saldus	LV	1.6	27	9	18	67%
Duobelė	LV	1.1	10	3	7	71%
Aizputė	LV	0.5	5	2	3	62%

2.2 Atitinkamų VFM nustatymas

2.2.1 Rizikos vertinimas

Kaip parodyta ankstesniame skyriuje, VFM gali būti skirtingų koncentracijų išvalytose nuotekose. Norint įvertinti, kurios iš šių VFM gali kelti potencialią riziką aplinkai, VFM koncentracijos turi būti lyginamos su pamatinėmis vertėmis, kurios pagrįstos (eko)toksikologiniu vertinimu. Galimos etaloninės vertės yra šios (Vokietijos aplinkos agentūra, 2018 m.):

1. Galiojantys aplinkos kokybės standartai (AKS)
2. Siūlomi AKS
3. Numatomos poveikio nesukeliančios koncentracijos (PNEC)
4. Teisės aktais nustatytos leistinos koncentracijos (RAC)

Jei visuose minėtuose kokybės standartuose nustatytos ribinės koncentracijos neviršijamos - , nesitikima neigiamo poveikio vandens aplinkai. Šios etaloninės vertės gali būti naudojamos rizikos koeficientui (RQ) apskaičiuoti, dalijant tikėtiną arba išmatuotą koncentraciją aplinkoje (KA) iš etaloninės vertės (AKS arba PNEC). Taigi, jei VFM koncentracija aplinkoje (pvz., upėje, ežere, jūroje...) viršija atitinkamą ribinę vertę ($RQ > 1$), šis konkretus VFM kelia riziką. Priešingai, $RQ < 1$ reiškia, kad šis VFM nekelia pavojaus.

Šiuo metu nėra teisiškai privalomų AKS verčių MEDWwater projekte išmatuotoms VFM. Be to, vertinant turimus stebėsenos duomenis, nebus naudojamos PNEC vertės, nurodytos CWPharma projekte (Ek Henning et al., 2020), nes šiuo metu kyla abejonių, ar teisingai taikytas rūšių jautrumo pasiskirstymo (SSD) metodas, kuris buvo naudojamas PNEC vertėms nustatyti. Vietoj to pasiūlyta AKS taikyti iš įvairių šaltinių (pvz., ES, Šveicarijos, Vokietijos), o taip pat ir atskirų tyrimų PNEC vertės (žr. SI 1 lentelę). Atkreipkite dėmesį, kad šios pamatinės vertės ateityje gali keistis, jei bus atlikta daugiau tyrimų.

Siekiant nustatyti potencialiai svarbias VFM, RQ buvo apskaičiuotos pagal vidutinę VFM koncentraciją atitinkamai Latvijos ir Lietuvos išvalytose nuotekose (2 lentelė). Rezultatai rodo, kad tik 9 iš 23 tirtų VFM potencialiai kelia riziką, jei nebūtų praskiedimo priimančiame vandens telkinyje (blogiausiu atveju). VFM, kurių $RQ > 1$ daugumoje nuotekų valymo įrenginių buvo šie:

- Diklofenakas (n = 16)
- Ibuprofenas (n = 16)
- Azitromicinas (n = 15)
- Amoksicilinas (n = 13)

tuo tarpu toliau išvardytų VFM $RQ > 1$ buvo tik keliose nuotekų valyklose:

- Karbamazepinas (n = 5)
- Ciprofloksacinas (n = 2)
- Klaritromicinas (n = 2)
- O-desmetilvenlafaksinas (n = 2)
- Venlafaksinas (n = 1)

Tačiau tik biologiškai skaidaus ibuprofeno koncentracija vandens telkiniuose, į kuriuos jis patenka, mėginių ėmimo vietoje viršijo siūlomus AKS, todėl jis keltų pavojų, jei vidutinė metinė koncentracija būtų tokio lygio (n = 14, SI 2 lentelė). Palyginus VFM koncentracijas, išmatuotas priimančiuose vandens telkiniuose, esančiuose atitinkamai aukščiau ir žemiau nuotekų valymo

įrenginių išleidimo vietos, matyti, kad bendras VFM koncentracijos lygis padidėjo tik nežymiai (duomenys nepateikti). Galimi paaiškinimai galėtų būti tokie, kad nuotekų praskiedimas priimančiame vandens telkinyje yra labai didelis arba kad nuotekos nebuvo gerai susimaišiusios mėginių ėmimo vietoje pasroviui. Pastaruoju atveju, priklausomai nuo mėginių ėmimo vietos padėties ir srauto režimo, mėginyje gali būti daugiausia vandens, kurį tik šiek tiek veikia nuotekos iš nuotekų valymo įrenginių. Jei turima duomenų apie nuotekų ir upių debitus mėginio ėmimo dieną, rekomenduojama atlikti sumaišymo skaičiavimus ir palyginti tikėtiną VFM koncentracijos padidėjimą su išmatuotu.

2.2.2 Diskusijos dėl "aktualių VFM" pasirinkimo

VFM koncentracijos vandens aplinkoje palyginimas yra tinkamas būdas nustatyti vandens telkinius, kuriems VFM daro didelį poveikį. Tačiau praktikoje šis metodas turi ir tam tikrų trūkumų:

- **Analitiniai apribojimai:**

Atliekant tipinį tikslinį VFM matavimą, tik kai kuriems VFM kiekybiškai galima nustatyti reikiamą mažą koncentraciją. Visada kyla diskusijų, kad ne visos galimos kenksmingos ir (arba) svarbios medžiagos yra įtrauktos į naudojamą matavimo metodą. Be to, kiekybinio nustatymo riba gali būti nepakankamai žema, kad būtų galima įvertinti tam tikras medžiagas (pvz. hormonus, tokius kaip 17- α etinilestradiolis, kurio siūloma AKS yra 0,035 ng/l (Vokietijos aplinkosaugos agentūra, 2018 m.)).

- **Praskiedimas vandens telkiniuose:**

Nepriklausomai nuo VFM apkrovos iš nuotekų valymo įrenginių (pvz., nuotekų valymo įrenginių dydžio), taip pat dėl nuotekų valymo įrenginių vietos (netoli ištakų ar upės gale) ir priimančio vandens telkinio tipo (pvz., maža upė, didelė upė ar Baltijos jūra) gali susidaryti situacija, kai praskiedimas yra pakankamai didelis, kad VFM koncentracijos neviršytų atitinkamų AKS / PNEK. Dėl to nuotekų valymo įrenginių operatoriai apskritai neturi motyvacijos mažinti išmetamų VFM kiekį, nes "nėra poreikio".

- **Turimi toksikologiniai duomenys:**

Ne visų VFM, kurias galima išmatuoti, taip pat turi patikimai nustatytas toksikologines pamatines vertes (pvz., siūlomas AKS ar PNEC vertes). Galimos rizikos vertinimas taip pat priklauso nuo turimų šaltinių ir (arba) etaloninių verčių pasirinkimo. Todėl tie patys stebėsenos duomenys gali būti vertinami skirtingai, nes buvo naudojami kiti šaltiniai.

Net ir šie keli paminėti punktai rodo, kad nelengva nustatyti "atitinkamus/probleminius" VFM. Todėl nuotekų valyklų operatoriai baiminasi, kad pasirinktos tikslinės medžiagos ir koncentracijos, kurios naudojamos VFM šalinimo technologijos diegimo planavimo procese, ateityje gali pasikeisti ir VFM valymo technologija nebebus tinkama.

2.2.3 Šveicarijos patirtis

Nuo 2016 m. lapkričio 3 d. Šveicarijos nuotekų valymo įrenginiai pagal įstatymą turi įsidiesti VFM šalinimo etapą. Atitinkamų nuotekų valymo įrenginių atranka priklauso nuo kelių kriterijų³, pvz.:

³ <https://micropoll.ch/ara-ausbau/> (žiūrėta 2022 06 30)

- VFM apkrovos sumažinimas (nuotekų valyklose > 80 000 GE),
- vandens išteklių apsauga (nuotekų valymo įrenginiai su didesniu kaip 24 000 GE ir esantys ežerų baseine arba nuotekų valymo įrenginiai su didesniu kaip 8 000 GE karstinėse vietovėse) ir
- vandens ekosistemų apsauga (nuotekų valymo įrenginiai > 8 000 GE, kuriuose VFM šalinimas turi būti įdiegtas daugiau kaip 10 % nuo visų valomų nuotekų kiekio, išleidžiamo į priimančius vandens).

VFM pašalinimas laikomas sėkmingu, jei apibrėžto "indikatorinių medžiagų" rinkinio VFM koncentracija valymo procese vidutiniškai per metus sumažėja 80 % (lyginant į nuotekų valyklą patenkančių ir iš jos išleidžiamų nuotekų koncentracijas). Taigi, taip pat įtraukiami ir biologinio poveikio tyrimai. Indikatorinių medžiagų rinkinys suskirstytas į dvi kategorijas:

1 kategorija; labai geras pašalinimas (> 80 %) naudojant ozonavimą arba aktyvintą anglį:

- Amisulpridas
- Karbamazepinas
- Citalopramas
- Klaritromicinas
- Diklofenakas
- Hidrochlorotiazidas
- Metoprololis
- Venlafaksinas

2 kategorija; geras šalinimas (> 50 %) naudojant ozonavimą arba aktyvintą anglį:

- Benzotriazolas
- Kandesartanas
- Irbesartanas
- 4/5-metilbenzotriazolis

Indikatorinės medžiagos buvo atrinktos remiantis praktiniais, o ne (eko)toksikologiniais sumetimais. Indikatorinių medžiagų koncentracija turėtų būti išmatuojamų dydžių (medžiagų koncentracija nuotekų valymo įrenginių įtekėjime turi būti 10 x KĮR) ir jos turėtų būti pašalinamos taikant tipines VFM šalinimo technologijas: ozonavimą ir aktyvintą anglį. Be to, buvo tikrinama, kad pasirenkant technologiją nebūtų teikiama pirmenybė jokiai indikatorinei medžiagai (pvz., jei bendrą rinkinį būtų lengviau pašalinti ozonavimu nei aktyvuota anglimi arba atvirkščiai).

Šio metodo privalumas tas, kad tiksliniai kriterijai yra aiškūs ir išvengiama nesibaigiančių diskusijų apie tai, kurios cheminės medžiagos yra tinkamos ir kaip atsižvelgti į naujas chemines medžiagas. Daroma prielaida, kad jei indikatorinių medžiagų kiekis sumažinamas 80 %, tai ir kitos potencialiai kenksmingos medžiagos taip pat pašalinamos (bent jau tam tikru mastu), o aplinka gaus naudos dėl bendro VFM apkrovos sumažinimo.

2 lentelė: Rizikos koeficientai (RQ) išvalytose nuotekose iš NV (vidurkis, n = 2), neatsižvelgiant į praskiedimą priimančiame vandens telkinyje. Meldoniumas ir perindoprilis neįtraukti, nes nėra pasiūlytų AKS arba PNEC gėlam vandeniui. Spalvomis pažymėta, kad RQ yra mažesnis nei 1 (žalia), nuo 1 iki 10 (geltona) arba didesnis nei 10 (raudona).

VFM	Rekom. AKS PNEC (ng/l)	Lietuvos nuotekų valymo įrenginiai								Latvijos nuotekų valymo įrenginiai							
		Joniškis	Klaipėda	Kretinga	Mažeikiai	Radviliskis	Rokiškis	Šiauliai	Telšiai	Aizputė	Bauskė	Daugpilis	Duobelė	Kuldīga	Liepoja	Saldus	Talsai
Acikloviras	125000	5.0·10 ⁻⁴	0.002	3.7·10 ⁻⁴	7.9·10 ⁻⁴	6.8·10 ⁻⁴	7.2·10 ⁻⁴	0.001	7.2·10 ⁻⁴	1.7·10 ⁻⁴	4.2·10 ⁻⁴	0.002	1.3·10 ⁻⁴	4.6·10 ⁻⁴	7.7·10 ⁻⁴	1.9·10 ⁻⁴	5.4·10 ⁻⁵
Amoksicilinas	78	0.7	9.6	1.0	1.0	1.1	1.4	5.4	3.1	1.2	1.1	4.9	0.3	1.0	2.9	1.2	0.2
Atorvastatinas	8500	0.006	0.01	0.004	0.004	0.005	0.007	0.01	0.008	0.003	0.004	0.009	0.001	0.003	0.009	0.005	0.002
Azitromicinas	19	1.4	24.5	3.7	3.3	2.4	3.2	7.9	2.8	2.1	2.0	24.4	0.8	5.0	20.9	2.2	4.2
Betahistinas	2300	0.002	0.005	0.002	0.003	0.002	0.003	0.005	0.006	0.002	0.005	0.01	0.003	0.005	0.010	0.007	0.004
Karbamazepinas	125	0.2	0.8	0.6	1.0	0.7	1.5	1.5	0.9	0.2	0.3	2.1	0.2	0.7	1.9	1.2	0.7
Ciprofloksacinas	89	0.4	0.9	0.9	0.7	0.3	0.6	0.9	0.3	0.2	0.5	1.4	0.1	0.5	1.3	0.6	0.7
Klaritromicinas	130	0.2	0.9	0.5	0.7	0.2	0.5	0.8	0.3	0.4	0.2	3.6	0.2	0.9	1.4	0.5	0.2
Diklofenakas	40	16.1	81.4	37.8	21.3	13.2	40.3	27.4	44.0	16.5	27.9	185	11.7	60.5	69.1	33.7	38.6
Eritromicinas	500	0.07	0.7	0.2	0.4	0.09	0.1	0.4	0.5	0.1	0.2	0.6	0.2	0.1	0.5	0.08	0.2
Hidroksichlorokvinas	85800	6.1·10 ⁻⁴	0.006	0.001	0.002	7.3·10 ⁻⁴	0.002	0.004	0.003	5.0·10 ⁻⁴	0.002	0.002	6.3·10 ⁻⁴	5.0·10 ⁻⁴	0.002	3.8·10 ⁻⁴	5.8·10 ⁻⁴
Ibuprofenas	10	104	728	27.1	105	89.4	62.8	111	285	66.5	59.2	459	52.8	95.5	483	61.7	176
Metforminas	160000	0.002	0.007	0.002	0.002	0.001	0.003	0.007	0.005	0.002	0.003	0.006	0.002	0.002	0.005	0.002	0.002
Metoprololis	8600	0.02	0.2	0.08	0.03	0.06	0.1	0.04	0.2	0.02	0.08	0.2	0.01	0.10	0.1	0.02	0.07
O-desmetilvenlafaksinas	880	0.2	0.9	0.2	0.1	0.2	2.4	0.4	0.5	0.2	0.4	1.0	0.1	0.2	0.7	0.2	0.1
Oseltamiviras	100000	0.002	0.04	0.002	0.009	0.003	0.007	0.02	0.02	9.3·10 ⁻⁴	0.006	0.05	0.001	0.002	0.02	0.002	0.003
Paracetamolis	46000	0.2	0.3	0.4	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.01	0.04	0.2	0.008	0.02	0.1	0.01	0.1
Ramiprilis	100000	1.4·10 ⁻⁴	9.4·10 ⁻⁴	2.6·10 ⁻⁴	7.2·10 ⁻⁴	1.2·10 ⁻⁴	6.0·10 ⁻⁴	6.4·10 ⁻⁴	4.6·10 ⁻⁴	4.8·10 ⁻⁴	5.6·10 ⁻⁴	9.3·10 ⁻⁴	2.0·10 ⁻⁴	3.3·10 ⁻⁴	6.2·10 ⁻⁴	2.1·10 ⁻⁴	1.5·10 ⁻⁴
Rosuvastatinas	1800	0.02	0.09	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05	0.05	0.01	0.02	0.04	0.01	0.02	0.05	0.02	0.02
Sulfametoksazolas	600	0.10	0.9	0.2	0.1	0.3	0.04	0.2	0.5	0.2	0.4	0.8	0.07	0.2	0.5	0.5	0.2
Telmisartanas	49000	0.008	0.03	0.009	0.002	0.008	0.008	0.01	0.01	0.001	0.004	0.02	0.001	0.006	0.01	0.002	0.003
Trimetoprimas	120000	0.001	0.002	6.9·10 ⁻⁴	0.001	5.8·10 ⁻⁴	3.1·10 ⁻⁴	0.001	9.2·10 ⁻⁴	5.0·10 ⁻⁴	9.2·10 ⁻⁴	0.002	5.4·10 ⁻⁴	0.001	3.1·10 ⁻⁴	0.002	6.3·10 ⁻⁴
Venlafaksinas	880	0.2	0.3	0.1	0.1	0.08	1.6	0.3	0.2	0.1	0.2	0.6	0.05	0.08	0.5	0.10	0.06

3 VFM pašalinimo technologijos

Tiksliniam VFM šalinimui nuotekų valymo įrenginiuose paprastai naudojamas ozonavimas ir aktyvinta anglis. Kitos technologijos, pavyzdžiui, tankiosios membranos (nanofiltracija arba atvirkštinis osmosas), dėl didelių elektros energijos sąnaudų ir neaiškaus sūrymo valymo pirmiausia naudojamos geriamojo vandens valymo įrenginiuose. Šiame skirsnyje pateikiama trumpa ozonavimo ir aktyvintosios anglies taikymo nuotekų valyklose apžvalga.

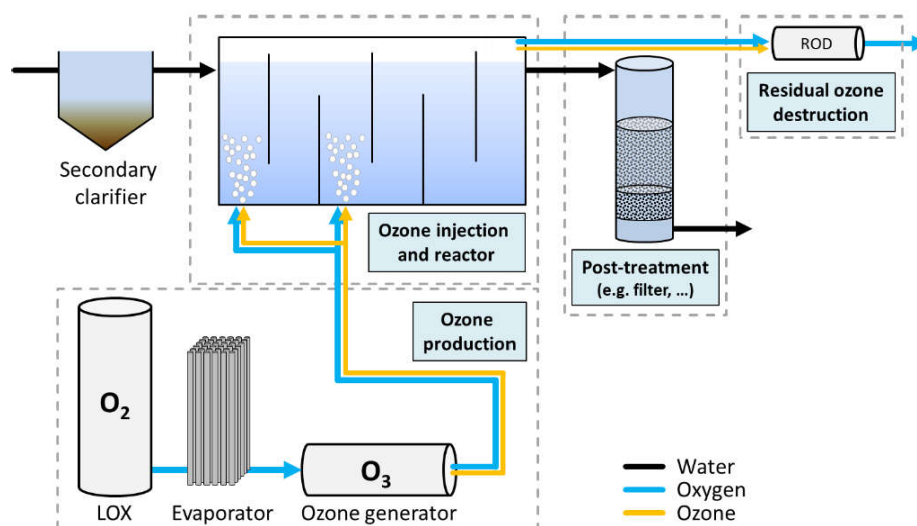
3.1 Ozonavimas

Ozonas yra galingas oksidantas, todėl gali būti naudojamas VFM pašalinimui, dezinfekcijai, ChDS mažinimui, taip pat kvapų ir spalvų šalinimui. Naudojant vandenį taip pat susidaro hidroksilo radikalai (OH radikalai), kurie yra dar galingesnis oksidatorius nei ozonas. Tačiau ozonas pirmiausia reaguoja su molekulėmis, turinčiomis didelį elektronų tankį, pavyzdžiui, dvigubomis jungtimis, fenolais, aminais ir t. t., o reakcijos su OH radikalais yra nespecifinės. Todėl VFM pašalinimas ozonuoiant yra susijęs su specifine medžiagos reakcija su ozonu ir OH-radikalais. Reakcijos su ozonu greičio konstantos (k) labai skiriasi (kO_3 paprastai nuo < 1 iki 10^6 $M^{-1}s^{-1}$), tačiau ne taip stipriai skiriasi reakcijos su OH-radikalais atveju (kOH paprastai nuo 10^9 iki 10^{10} $M^{-1}s^{-1}$). Šios reakcijos greičio konstantos gali būti naudojamos skirstant VFM į skirtingas grupes (pvz., geros, vidutinės, blogos) pagal numatomą sumažėjimą ozonuoiant (Stapf ir kt., 2020a).

Daugeliu atvejų ozonuoiant organiniai junginiai ne visiškai pašalinami (mineralizacija), o suskaidomi arba pakeičiami aktyvuojamų molekulių struktūra. Dėl to susidaro daugybė transformacijos produktų (VFM kilmės TP) ir oksidacijos šalutinių produktų (ne VFM kilmės kitos organinės ar neorganinės medžiagos - OBP), kuriuos galima iš dalies sumažinti po ozonavimo proceso, taikant papildomą apdorojimą. Praktikoje neįmanoma žinoti ir kiekybiškai įvertinti visų susidariusių TP ir OBP. Kaip alternatyva gali būti naudojami ekotoksikologiniai bandymai (biologiniai tyrimai), kuriais visapusiškai įvertinamas aplinkos mėginių teigiamas arba neigiamas poveikis (įskaitant galimą mišinio poveikį) konkrečioms tiriamiesiems organizmams. Vykdamas CWPharma projektą (Stapf ir kt., 2020b), taip pat atliekant išsamų apžvalginį tyrimą (Völker ir kt., 2019) buvo įrodyta, kad ozonavimas turi teigiamą poveikį (pvz., estrogeninį poveikį), tačiau kartais gali sukelti ir neigiamą poveikį (pvz., mutageniškumą), kurį galima sumažinti tinkamu papildomu apdorojimu (angl. post-treatment).

Proceso schema:

Tipinio ozonavimo įrenginio schema parodyta 4 paveiksle. Paprastai ozonavimo procesas vyksta po antrinio nusodintuvo ir jį galima apytiksliai suskirstyti į: i) ozono gamybą, ii) ozono reaktorių / likutinio ozono naikinimą ir iii) vėlesnį apdorojimą.



4 pav. Ozonavimo įrenginio nuotekų valyklose schema. Paimta iš (Stapf et al., 2020).

Labai reaktyvus ozonas negali būti saugomas, todėl turi būti gaminamas vietoje, ozono generatoriumi deguonį paverčiant ozonu. Beveik visada kaip deguonies šaltinis naudojamas skystasis deguonis (SD). Produkto dujose yra iki 15 % (pagal masę) ozono ir jos į vandenį tiekiamos difuzoriais arba naudojant siurblio-įpurškimo sistemą (Venturi inžektorių). Ozono reakcija vyksta dujoms nepralaidžiamame ozono reaktoriuje. Reaktoriaus tūris turi būti parinktas toks, kad reaktoriaus ištakose nebūtų ištirpusio ozono. Kadangi ozono koncentracija gali būti mirtina, kai jo koncentracija viršija 10 ppm, visos iš reaktoriaus išeinančios dujos turi būti apdorojamos ozono naikintuve, kuriame ozonas vėl paverčiamas deguonimi. Papildomas apdorojimas gali būti biologinis apdorojimas (pvz., smėlio arba smėlio ir antracito filtrai, judančio sluoksnio biologinės plėvelės reaktoriai) arba su adsorbciniu elementu (pvz., granuliuotas aktyviosios anglies filtras).

Atitinkami vandens kokybės parametrai

Reikiama ozono dozė, kad būtų pasiektas tikslinis VFM sumažėjimas, priklauso nuo ozoną vartojančių medžiagų kiekio vandenyje. Svarbiausios iš jų yra ištirpusi organinė anglis (IOA) ir nitritai, kurie oksiduojasi iki nitratų, sunaudodami $3,43 \text{ mgO}_3/\text{mg-N}^4$. Paprastai naudojama ozono dozė (mgO_3/l) normalizuojama pagal IOA ($\text{mgO}_3/\text{mgIOA}$) ir pateikiama kaip specifinė ozono dozė. Jei ozonavimo metu įtekančiame vandenyje yra nitritų, naudojama pataisos sąvoka, pagal kurią atsižvelgiama į panaudoto ozono dalį, kuri sunaudojama nitritų oksidacijai. Nuotekų pH gali turėti įtakos ozono išsikvojimo greičiui, kai kurių VFM reaktyvumui su ozonu ir OH radikalų suvartojimui vandens matricoje. Be to, cheminėms reakcijoms įtakos turi vandens temperatūra (aukštesnė = greitesnis nykimas ir atvirkščiai). Ozonavimas stipriai padidina vandenyje ištirpusio deguonies koncentraciją (iki 20 mg/l), o tai atitinkamai gali turėti įtakos tolesniam apdorojimui. Ozonavimas gali oksiduoti bromidą į vėžį sukeliantį bromatą. Susidariusio bromato kiekis priklauso nuo bromido koncentracijos vandenyje ir naudojamos specifinės ozono dozės. Esant bromido koncentracijai iki $150 \text{ } \mu\text{g/l}$ ir naudojamoms ozono dozėms iki $0,7 \text{ mgO}_3/\text{mgIOA}$, nenumatoma, kad bromatų susidarymas būtų kritinis (Stapf et al., 2020a).

⁴ Pastaba: patirtis rodo, kad IOA galima lengvai supainioti su cheminiu deguonies suvartojimu (ChDS), o nitritus (NO_2^-) - su nitratais (NO_3^-).

3.2 Aktyvintoji anglis

Aktyvintoji anglis (AA) plačiai naudojama (pvz., geriamojo vandens gamybose, valant užterštą požeminį vandenį ar gamybines nuotekas). Ji turi didžiulį vidinį paviršių (500-1500 m²/g AA), ant kurio gali būti pritvirtintos (adsorbuotos) ne tik organinės (pvz., VFM), bet ir neorganinės medžiagos (pvz., sunkieji metalai). Aktyvintoji anglis yra įvairių formų ir dydžių, ji taip pat gali būti gaminama iš įvairių rūšių anglies turinčių medžiagų (pvz., medžio anglies, lignito, medienos...) cheminio arba terminio aktyvavimo būdu. Dažniausiai pasitaikančios rūšys yra granuliuota aktyvintoji anglis (GAA) ir miltelių pavidalo aktyvintoji anglis (MAA), kurios yra skirtingo dydžio (GAA: 0,5-2,5 mm, MAA: 5-100 µm). Priešingai nei ozonavimas, šis procesas fiziškai pašalina medžiagas iš vandens ir "saugo" jas aktyvintoje anglyje. Laikui bėgant aktyvintoji anglis bus visiškai užpildyta ir nebegalės kaupti daugiau medžiagų. Tuomet anglį reikia pašalinti iš proceso ir sudeginti arba aktyvuoti iš naujo (tik GAA atveju).

VFM pašalinimas aktyvinta anglimi priklauso nuo kelių parametrų (Stapf ir kt., 2020a):

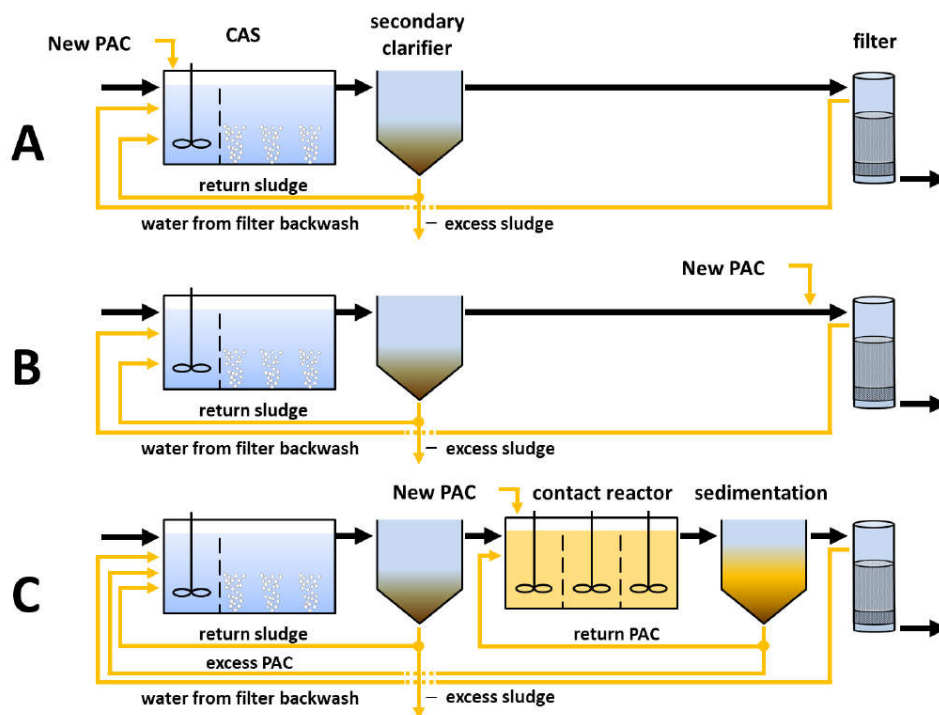
- VFM koncentracijos ir cheminių savybių,
- dozės ir naudojamos aktyvintosios anglies savybių,
- vandens ir aktyvintosios anglies kontakto laiko,
- vandens temperatūros ir pH vertės.

Siekiant nustatyti optimalų aktyvintosios anglies tipą ir dozę, naudinga atlikti laboratorinius eksperimentus su vietine vandens matrica, nes aktyvintosios anglies vertinimui naudojami tipiniai indikatoriniai parametrai (pavyzdžiui, BET paviršius, jodo skaičius, nitrobenzeno skaičius...) gali tik labai apytiksliai orientuoti VFM šalinimo efektyvumą.

Proceso schema:

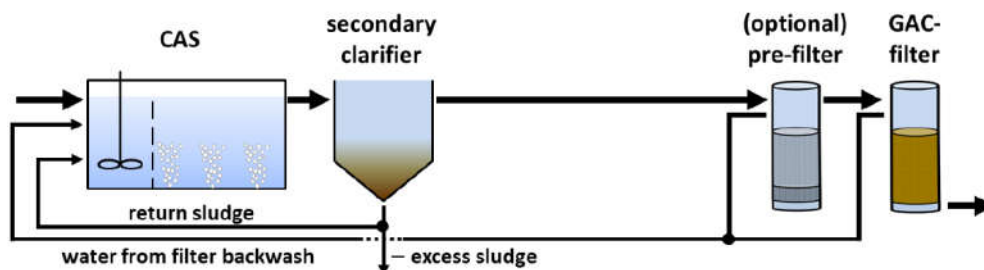
Įprastą MAA naudojimo procesą sudaro MAA laikymo rezervuaras, dozavimo stotis, reaktorius (kontaktnis rezervuaras), į kurį įpilama MAA, ir galutinis filtravimas. Anglį galima efektyviai panaudoti pailginant MAA kontakto su vandeniu laiką (pvz., MAA praturtinimas atskyrimo etape, recirkuliacija kontaktnėje talpykloje) ir iš dalies įkrautą MAA perkeltant į pagrindinį biologinį valymą nuotekų valykloje. Tada įkrautas MAA pašalinamas iš valymo proceso kartu su esamu pertekliniu dumbliu. Todėl nusaustas dumbblas turi būti deginamas ir negali būti šalinamas žemės ūkyje arba naudojamas kraštovaizdžio formavimui. Galutinis filtravimo procesas yra būtinas, siekiant išvengti, kad MAA dalelių vis dar liktų nuotekose iš nuotekų valymo įrenginių.

5 paveiksle parodytos skirtingos MAA naudojimo proceso schemas: A) vienalaikis MAA dozavimas, B) MAA dozavimas prieš filtravimą ir C) naudojant atskirą MAA kontaktnį reaktorių ("Ulmerio procesas"). Procesai skiriasi proceso sudėtingumu, investicijų sąnaudomis, vietos poreikiu, reikiamu MAA dozavimu ir technologija, kurią galima naudoti galutiniam MAA atskyrimui. Išsamią informaciją apie techninius skirtumus ir privalumus / trūkumus galima rasti CWPharma gairėse (Stapf et al., 2020a).



5 pav. Įvairių MAA procesų apžvalga. Paimta iš (Stapf et al., 2020).

GAA naudojama giluminiuose filtruose, esančiuose po antrinio nusodintuvo (6 pav.). GAA filtravimas laikomas paprastu ir patikimu procesu, kuris, išskyrus filtravimo atgalinio plovimo vandenį, nedaro poveikio kitoms nuotekų valyklos dalims. Pageidautina, kad GAA filtrai būtų naudojami su vandeniu, kuriame yra tik nedidelis suspenduotų kietųjų dalelių kiekis ($TSS < 20 \text{ mg/l}$), kad būtų išvengta dažno filtro atgalinio plovimo. Jei vandenyje yra padidėjusi TSS koncentracija, reikėtų apsvarstyti galimybę atlikti išankstinį filtravimą.



6 pav: GAA ir MAA procesų schema. Paimta iš (Stapf et al., 2020).

Svarbiausi GAA filtravimo projektavimo parametrai yra tuščio filtro/kolonos sluoksnio kontakto laikas (EBCT, min) ir apdoroto sluoksnio tūris (BV, be vienetų). EBCT rodo vidutinį laiką, per kurį vanduo turi praeiti pro GAA filtro koldo tūrį (filtro paviršiaus plotas padaugintas iš GAA aukščio), ir turėtų būti ne trumpesnis kaip 20 min. BV rodo, kiek vandens buvo apdorota tuo pačiu GAA, ir gali parodyti, kiek laiko GAA tarnaus, kol jį reikės pakeisti nauju. BV apskaičiuojamas dalijant sukauptą vandens kiekį, apdorotą tuo pačiu GAA, iš GAA tūrio. Kiek BV galima apdoroti tuo pačiu GAA, priklauso nuo kelių parametru, tokių kaip tikslinės VFM medžiagos, reikalingo VFM pašalinimo, GAA charakteristikos (pvz., tipas, dydis...), IOA koncentracija ir lygiagretus GAA filtrų veikimas. Pirmiausia tikimasi, kad, norint laikytis Šveicarijos standarto (80 % VFM pašalinimas visoje nuotekų valykloje, kai naudojamos tam

tikros indikatorinės medžiagos), GAA turi būti keičiami po 20 000-30 000 guolio tūrių. Išsamesnės informacijos galima rasti CWPharma gairėse (Stapf et al., 2020a).

Atitinkami vandens kokybės parametrai

Panašiai kaip ir ozonavimo proceso atveju, svarbiausias vandens kokybės parametras yra IOA, nes kitos organinės medžiagos konkuruoja su VFM dėl aktyvintosios anglies adsorbcijos vietų. Todėl MAA dozė dažnai normuojama pagal IOA koncentraciją (tipiška vertė yra 1-2 mg MAA/mg IOA). Priklausomai nuo MAA dozės ir taikomo proceso, IOA kiekį nuotekose iš nuotekų valymo įrenginių galima sumažinti 30-50 %. Aktyvintoji anglis neabsorbuoja azoto junginių, tokių kaip amoniakas, nitritai ir nitratai, taip pat fosfatų. Dėl dalelių atskyrimo etapo (MAA procesas) ir GAA filtravimo atitinkamai iš valomų nuotekų pašalinama didžioji dalis suspenduotų kietųjų dalelių. Dėl padidėjusio suspenduotų kietųjų dalelių kiekio gali tekti dažniau atlikti grįžtamąjį plovimą.

3.3 VFM šalinimas ozonavimu ir aktyvinta anglimi

Ar tam tikras VFM gali būti biologiškai skaidomas arba pašalinamas ozonavimu ir (arba) aktyvinta anglimi, priklauso nuo jo struktūros ir cheminių savybių. Pavyzdžiui, nepolinės, hidrofobinės ir mažos molekulės (pvz., karbamazepinas, benzotriazolas) paprastai gerai absorbuojasi ant aktyvintosios anglies, o polinės molekulės (pvz., gabapentinas, sulfametoksazolas) - ne. Ozonavimas geriausiai veikia VFM, kurių struktūra pasižymi dideliu elektronų tankiu arba kurias lengvai atakuoja OH radikalai (7 pav.). Tačiau yra ir tokių medžiagų, pavyzdžiui, rentgeno kontrastinių medžiagų, kurios prastai pašalinamos taikant abu metodus.

Technologijų derinys (pvz., ozonavimas, po kurio seka GAA filtras) gali būti naudojamas siekiant padidinti VFM pašalinimą (bendrai arba konkrečių medžiagų, kurios atitinkamai blogai ozonuojamos ir absorbuojamos) arba pasiekti tą patį tikslą, tačiau naudojant mažesnę ozono dozę (taip pat mažesnę bromatų susidarymo potencialą) ir rečiau keičiant GAA.

API / micropollutant	Activated carbon	Ozonation
Amisulpride Carbamazepine Citalopram Clarithromycin Diclofenac Hydrochlorothiazide Metoprolol Tramadol Venlafaxine	good – very good (> 70%)	
Benzotriazole Irbesartan Oxipurinol*	good – very good (> 70%)	moderate – average (≈ 30 – 70 %)
Candesartan Formylaminoantipyrine* Olmesartan Sulfamethoxazole	moderate – average (≈ 30 – 70 %)	good – very good (> 70%)
Valsartan Valsartan acid*	moderate – average (≈ 30 – 70 %)	
Gabapentin	none – low (< 30 %)	moderate – average (≈ 30 – 70 %)

7 pav. Tikėtinas VFM pašalinimo efektyvumas (%), kai konkrečios dozės yra atitinkamai 1 mg MAA/mg IOA ir 0,7 mg O₃/mg IOA. Kitomis dozėmis pašalinimas skirsis. Žvaigždute (*) pažymėta, kad medžiaga yra metabolito ir (arba) transformacijos produktas. Paimta iš (Stapf et al., 2020).

3.4 Išlaidos

Bendrąsias valymo technologijos sąnaudas sudaro kapitalo išlaidos (CAPEX) ir eksploatacinės išlaidos (OPEX). CAPEX apima, pavyzdžiui, žemės pirkimą, vietos paruošimą, statybos darbus, įrangą ir kapitalo palūkanas. OPEX apima, pavyzdžiui, tokias medžiagas kaip skystas deguonis ar aktyvinta anglis, energijos sąnaudas, darbuotojų atlyginimus ir įrangos priežiūrą.

Šiuo metu daugelis Vokietijos ($n = 40+$) ir Šveicarijos ($n = 18$) bei vis daugiau Švedijos nuotekų valyklų jau visiškai įdiegė VFM valymą. Todėl vis daugiau nuotekų valyklų skelbia ir sąnaudas (remiantis galimybių studijomis arba realiomis sąnaudomis). Tačiau palyginti ir perduoti informaciją apie sąnaudas nėra lengva, kaip parodys toliau pateikiami pavyzdžiai, susiję su visaverčiais valymo įrenginiais, kuriuose taikomas MAA ir ozonavimas.

MAA įrenginių sąnaudos

3 lentelėje apžvelgiamos "Ulmerio proceso" įgyvendinimo Vokietijos nuotekų valyklose CAPEX ir OPEX sąnaudos. Nuotekų valyklų valymo pajėgumas svyruoja nuo 24 000 žmoniškųjų ekvivalentų (GE) iki 725 000 GE, o atitinkamos valymo sąnaudos - nuo 0,06 €/m³ iki 0,32 €/m³ (su PVM). Šių nuotekų valymo procesų OPEX didžiausią dalį sudaro eksploatacinių medžiagų (aktyviosios anglies, koagulantų, flokulantų) sąnaudos, energijos sąnaudos ir papildomo dumblo šalinimo sąnaudos. Asmeninių išlaidų ir techninės priežiūros poveikis daugiausia buvo aktualus mažiau nei 100 000 GE turinčioms nuotekų valykloms. Tačiau reikia atsižvelgti į šiuos aspektus:

- Dauguma nuotekų valyklų turėjo statyti naujus kontaktinius reaktorius, tačiau jau turėjo filtravimo įrenginius. Viena nuotekų valykla panaudojo esamus baseinus ir pertvarkė juos į MAA kontaktinius reaktorius.
- Tik dvi iš šešių nuotekų valyklų gali išvalyti visą nuotekų srautą (įskaitant lietaus atvejus). Daugumos nuotekų valyklų projektinis srautas, skirtas MAA valymui, buvo mažesnis nei didžiausias nuotekų srautas nuotekų valykloje.
- Iš tikrųjų CAPEX iš dalies finansavo vietos valdžia. Taigi nuotekų valyklos operatoriaus išlaidos yra mažesnės.
- Konkrečios kainos (€/m³) normalizuotos pagal apmokestinamas nuotekas. Jei savitosios kainos būtų normuojamos pagal visas išvalytas nuotekas, jos būtų mažesnės nuo 1,4 iki 3,8 karto.

Ozonavimo įrenginių sąnaudos

Šešių Vokietijos ir Šveicarijos nuotekų valyklų ozonavimo įrenginių CAPEX ir OPEX sąnaudų apžvalga pateikta 4 lentelėje. Nuotekų valyklų valymo pajėgumas svyruoja nuo 23 000 GE iki 660 000 GE. Atitinkamos valymo sąnaudos yra nuo 0,06 €/m³ iki 0,14 €/m³ (be PVM). Šių ozonavimo įrenginių OPEX didžiausią dalį sudaro elektros energijos ir skysto deguonies sąnaudos, po to - techninio personalo ir techninės priežiūros sąnaudos. Tačiau reikia atsižvelgti į šiuos aspektus:

- Ne visos nuotekų valyklos turėjo statyti naujus papildomo valymo įrenginius, bet galėjo panaudoti esamas valymo pakopas (pvz., Acheno, Neuguto, Werdhölzlio).
- Pusė nuotekų valyklų suprojektuotos daliniam srauto valymui. Esant dideliems didžiausiems srautams (pvz., lietaus metu), ozonavimas iš dalies apeinamas. Todėl išvaloma tik 86-96 % visų nuotekų.
- Čia konkrečios kainos normuojamos pagal bendrą išvalytų nuotekų kiekį.

3 lentelė. Pilnos apimties "Ulmerio proceso" įgyvendinimo Vokietijos nuotekų valyklose (tuo metu veikiančiose ir (arba) statomose) sąnaudų pavyzdžiai. Kainos už m³ nurodytos už apmokestinamas nuotekas ir su PVM, tačiau į jas neįtrauktas CAPEX finansavimas. Į sąnaudas neįtrauktas filtravimo įrenginys (nes tai būtų tik audeclinis filtras). Pritaikyta pagal (Metzger et al., 2014).

	Mato vienetas	NV Kressbronn-Langenargen	NV Stockacher Aach	NV Lahr	NV Langwiese	NV Böblingen-Sindelfingen	NV Mannheim
NV apkrova (projektinė)	1000 GE	24	43	100	184	250	725
Biologiškai išvalytos nuotekos	mio. m ³ /m	2.3	5.7	6.1	16	14.5	30
Apmokestinamos nuotekos	mio. m ³ /m	0.9	1.5	2.6	5.2	7	21
Q _{WWTP,max}	L/s m ³ /val.	252 907	450 1,620	650 2,340	1,100 3,960	2,000 7,200	4,000 14,400
Q _{ads}	L/s m ³ /val.	252 907	250 900	350 1,260	1,100 3,960	1,000 3,600	1,500 5,400
MAA kontaktinis reaktorius	-	nauja statyba	nauja statyba	nauja statyba	nauja statyba	nauja statyba	naudoti seni rezervuarai
Filtravimas	-	esamas dvigubos terpės filtras	esamas dvigubos terpės filtras	naujas audeclinis filtras	esamas dvigubos terpės filtras	esamas dvigubos terpės filtras	esamas dvigubos terpės filtras
CAPEX	1000 €/m	190	201	380	582	234	532
	€/m ³	0.21	0.13	0.15	0.11	0.03	0.03
OPEX	1000 €/m	94	137	142	502	378	768
	€/m ³	0.10	0.09	0.05	0.10	0.05	0.04
Bendros išlaidos	1000 €/m	284	338	522	1084	612	1299
	€/m ³	0.32	0.23	0.20	0.21	0.09	0.06
	€/(Inh. * m)	12.6	9.0	8.0	8.3	3.5	2.5

4 lentelė. Pilnos apimties ozonavimo įrenginių įgyvendinimo Vokietijoje ir Šveicarijoje išlaidų pavyzdžiai (be PVM). MBBR = judančio sluoksnio biofilmo reaktorius. WW = nuotekos. Pritaikyta pagal

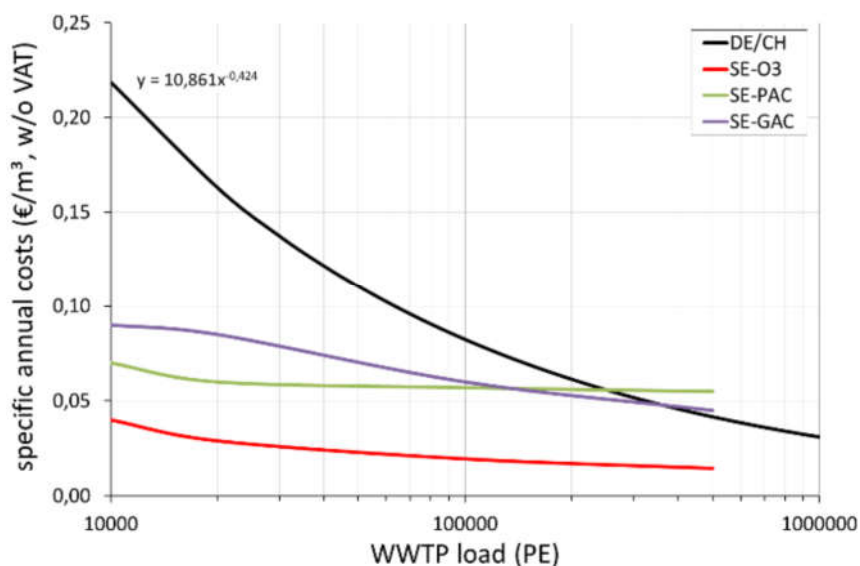
	Mato vienetas	NV Duisburg-VL	NV Warburg	NV Weissenburg	NV Neugut (CH)	NV Aachen-Soers	NV (CH)
GE	1000 GE	23	25	26	100	460	660
Q _{WWTP,max}	L/s	222	458	270	660	3,000	6,000
	m ³ /val.	800	1,648	972	2,376	10,800	21,600
Q _{ozone}	L/s	111	173	120	660	3,000	6,000
	m ³ /val.	400	634	432	2,376	10,800	21,600
Ozonu apdorotas nuotekų transportas / visas apdorotas nuotekų transportas	-	96%	90%	86%	100%	100%	100%
Išlaidos	-	Ozonavimas, papildomas apdorojimas	Ozonavimas	Ozonavimas, papildomas apdorojimas	Ozonavimas	Ozonavimas	Ozonavimas
Papildomas apdorojimas	-	MBBR	MBBR	Smėlio filtras ir GAA filtras (lygiagrečiai)	Smėlio filtras	MBBR + smėlio filtras	Smėlio filtras
CAPEX	1000 €	1,537	2,054	3,687	2,843	7,772	31,163
	1000 €/m	115	135	258	193	517	2,060
OPEX	1000 €/m	91	59	124	96	327	1,231
	1000 €/m	207	194	382	289	843	3,291
Bendros išlaidos (metinės, per išvalytą m ³ , per GE)	€/m ³	0.13	0.06	0.14	0.04	0.03	0.05
	€/GE	8.97	7.76	14.91	2.89	1.84	4.99

VFM šalinimo technologijos sąnaudos

Ankstesniuose pavyzdžiuose išryškėjo, kad palyginti skirtingų technologijų kainas yra sudėtinga. Be kita ko, gali skirtis tyrimai ir (arba) vietovės vertinimas:

- normalizavimo parametras (pvz., apmokestinamos nuotekos arba visos nuotekos)
- turima infrastruktūra (pvz., ozonavimas po valymo, MAA filtravimas ...)
- projektiniai parametrai arba VFM pašalinimo tikslas (pvz., viso srauto valymas ir dalinis valymas, VFM mažinimo tikslas)
- Vandens kokybė (pvz., didesnė ar mažesnė IOA koncentracija)
- Energijos kainos (ypač svarbu lyginant kainas skirtingose šalyse)
- statybos data (pvz., didėjančios statybinių medžiagų, įrangos, taip pat tokių medžiagų kaip aktyvinta anglis kainos).

Kadangi duomenų pagrindas labai skiriasi ir reikia atsižvelgti į konkrečią nuotekų valymo įrenginių situaciją, turima informacija apie sąnaudas turėtų būti naudojama tik kaip orientacinė. Šiuo tikslu gali būti naudojamos konkrečios metinės sąnaudos vienam apdorotam m³ (įskaitant OPEX ir CAPEX, be PVM), nurodytos Vokietijos tyrime (Herbst et al., 2016), kuriame surinkti duomenys iš galimybių studijų ir veikiančių pilnai įrengtų įrenginių Vokietijoje ir Šveicarijoje (žr. 8 pav.). Į sąnaudas įskaičiuoti visi komponentai, kurių reikia VFM šalinimo etapui (pvz., statyba, papildomas apdorojimas, siurbliai, įranga ir t. t.). Kadangi dėl konkrečių ribinių nuotekų valymo įrenginių sąlygų labai skiriasi konkrečios kainos, šiame sąnaudų palyginime trys technologijos (ozono, MAA ir GAA) nebuvo diferencijuojamos. Nenuostabu, kad specifinės sąnaudos mažėja didėjant nuotekų valymo įrenginių dydžiui.



8 pav. Vidutinės metinės sąnaudos (€/m³ be PVM), įskaitant OPEX ir CAPEX, normalizuotos pagal apdorotų nuotekų kiekį (m³). Pabrėžtina, kad specifinės sąnaudos visada priklauso nuo konkrečios vietos, todėl gali labai skirtis net ir tą pačią apkrovą turinčiose nuotekų valyklose. Paimta iš (Stapf et al., 2020a)

3.5 Anglies dioksido pėdsakas

Statant ir eksploatuojant papildomas valymo technologijas išmetamos medžiagos, kurios gali turėti įtakos visuotiniam atšilimui. Tai galima įvertinti atliekant gyvavimo ciklo vertinimą (GCV), kuriame taip pat atsižvelgiama į išmetamųjų teršalų kiekį, susidarantį gaminant sunaudotą elektros energiją arba naudojant medžiagas (pvz., aktyvuotą anglį, skystą deguonį). Be statybų anglies pėdsako, taip pat atsižvelgiama į įvairių technologijų poveikio anglies pėdsakui veiksnius (Äystö ir Stapf, 2020):

Ozonavimas:

- ozono gamybos ir naudojimo elektros energija (13 kWh/kg O₃)
- skysto deguonies sunaudojimas (SD, 10 kg SD/kg O₃) ir jo gamyba (1.42 kWh/kg SD), atitinkamai.

Aktyvintos anglies milteliai:

- MAA gamyba; 11,7 kg CO₂ ekvivalento/kg AA (šviežia aktyvintoji anglis iš akmens anglių)
- elektros energija periferinėms reikmėms (pvz., MAA dozavimas, filtro veikimas); 0.002 kWh/m³

Granuluota aktyvinta anglis:

- GAA gamyba; 1,9 kg CO₂ ekvivalento/kg AA (regeneruota aktyvinta anglis iš akmens anglies)
- periferijos elektros energija (pvz., filtro atgalinis plovimas); 0.002 kWh/m³

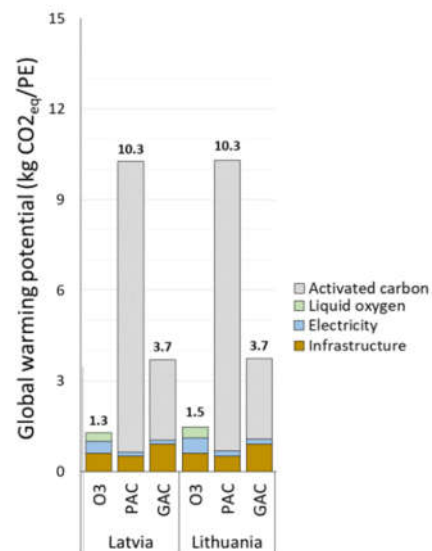
atitinkamai MAA ir GAA gamybos anglies dioksido pėdsakas labai skiriasi dėl to, kad MAA gamybai naudojama visada šviežia aktyvintoji anglis, o GAA - regeneruota. Norint energijos suvartojimą paversti anglies pėdsaku, reikia atsižvelgti į šalyje suvartojamos energijos globalinio atšilimo potencialą (GAP). Kuo "žalesnė" energijos gamyba, tuo mažesnis energijos suvartojimo specifinis poveikis, ir atvirkščiai.

Latvijos ir Lietuvos energijos gamybos GAP yra panašūs⁵:

- Lietuva = 0.06 kg CO_{2-eq}/kWh
- Latvija = 0.05 kg CO_{2-eq}/kWh

Tikimasi, kad tiek Latvijoje, tiek Lietuvoje ozonavimas, palyginti su aktyvintos anglies technologijomis (MAA = 10,3 kg CO_{2 ekv}/GE, GAA = 3,7 kg CO_{2 ekv}/GE), turės daug mažesnę bendrą anglies pėdsaką (1,3 kg CO_{2 ekv}/GE). Infrastruktūros poveikis yra labai mažas, palyginti su aktyvintosios anglies gamyba (MAA ir GAA), tuo tarpu jis yra panašus kaip elektros energijos, naudojamos atitinkamai ozono ir SD gamybai (žr. 9 pav.).

⁵ EEA 2020. Elektros energijos gamybos CO₂ intensyvumas. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/co2-intensity-of-electricity-generation> ; Šis dabartinis duomenų rinkinys yra susijęs su EEA 2017 m. elektros energijos gamybos anglies dioksido išmetimo intensyvumu.



9 pav. Specifinis visuotinio atšilimo potencialas ($\text{kg CO}_{2\text{eq}}/\text{GE}$) kiekvienoje šalyje, normalizuotas pagal apdorotą apkrovą (GE). Pritaikyta pagal (Äystö ir Stapf, 2020).

4 Lietuvos ir Latvijos nuotekų valyklų pasirengimas

Kaip rekomenduojama CWPharma projekte, pirmas žingsnis įgyvendinant VFM šalinimo technologiją turėtų būti nuotekų valymo įrenginių "tinkamumo patikrinimas" (Stapf ir kt., 2020a; Stapf ir Zhiteneva, 2021). Tokio "tinkamumo patikrinimo" tikslas - įvertinti dabartinę nuotekų valymo įrenginių būklę ir nustatyti galimas kliūtis tam tikroms technologijoms, taip pat rasti duomenų spragas, dėl kurių reikėtų išanalizuoti trūkstamus vandens kokybės parametrus. Šioje ataskaitoje atliktas pirmasis 16 atrinktų Lietuvos ir Latvijos nuotekų valyklų vertinimas, kuris remiasi MEDWwater projekto duomenimis (klausimynų atsakymai, metiniai statistiniai duomenys).

4.1 Nuotekų valymo įrenginių procesai

Pirminis valymas:

Išskyrus Joniškio nuotekų valyklą, visose nuotekų valyklose naudojamos grotos. Visose Lietuvos nuotekų valyklose naudojamas smėlio ir (arba) žvyro šalinimas, o Latvijoje tik pusėje tirtų nuotekų valyklų jis naudojamas. Pirminį nusodintuvą naudoja tik dvi nuotekų valyklos, kurios valo daugiau kaip 20 000 m³/d. Ypatingas atvejis yra Telšių nuotekų valykla, nes joje pirminiam valymui naudojami ir rotaciniai būgnai (taip pat žr. SI 3 lentelę).

Antrinis valymas:

Atrinktos nuotekų valyklos yra labai įvairaus dydžio (2 600 GE - 323 000 GE) ir nuotekų srautų (500 m³/d - 41 000 m³/d). Visose nuotekų valyklose naudojami nitrifikacijos ir denitrifikacijos procesai, o dumblo amžius paprastai yra nuo 20 d iki 32 d. Išimtis - Radviliškio nuotekų valykla, kurios dumblo amžius pakankamai mažas (11 d). Išdžiovintas perteklinis tirtų nuotekų valyklų dumbblas daugiausia naudojamas žemės ūkyje (9 / 16). Liepojos nuotekų valykla yra vienintelė nuotekų valykla, kuri informavo, kad dalis jos dumblo naudojama kraštovaizdžio tvarkymui. Keturios Lietuvos nuotekų valyklos dumblą tik (iš dalies) degina, o nė viena Latvijos nuotekų valykla dumblo tokiu būdu nešalina. Tai galima paaiškinti tuo, kad Latvijoje nėra dumblo deginimo įrenginių. Todėl daugumoje nuotekų valyklų MAA negali būti naudojamas. Gamybinių nuotekų (GN) dalis labai skiriasi, tačiau daugumoje iš 16 nuotekų valyklų ji yra maža arba labai maža. Tik trijose Rokiškio (20-25 %), Klaipėdos (24 %) ir Daugpilio (37 %) nuotekų valyklose gamybinių nuotekų dalis viršija 20 %. Priklausomai nuo GN tipo ir jų dalies bendrajame nuotekų sraute pakankamai sudėtinga įvertinti ar VFM šalinimo technologijų efektyvumas bus kitoks nei NV, kuriose daugiausia tvarkomos vien komunalinės nuotekos. Todėl rekomenduojama atlikti laboratorinius bandymus su konkrečiais NV būdingais nuotekų mėginiais, siekiant įvertinti galimus netikėtumus. Antrinio valymo procesų apžvalga pateikta 5 lentelėje.

Tretinis valymas:

Tik dviejose Lietuvos nuotekų valyklose naudojamas tretinis valymas: Kretingos nuotekų valykla jau naudoja GAA filtrą daliniam srautui kartu su mikrofiltrais (daugiau informacijos pateikiama Kretingos NV atvejo analizėje), o Rokiškio nuotekų valykla naudoja diskinius filtrus (taip pat žr. SI 4 lentelę). Išskyrus galimą turimos nenaudojamos infrastruktūros (pvz., baseinų) panaudojimą, nėra daug galimybių sujungti turimus valymo etapus su VFM šalinimo technologijomis (pvz., kaip papildomą apdorojimą).

5 lentelė: Anketos atsiliepimai apie naudojamas antrinio valymo technologijas. Minuso ženklas (-) rodo, kad duomenų nėra. GN = gamybinės nuotekos. Apkrova apskaičiuota pagal BDS7 apkrovą su 60 g BDS7 / (GE*d).

Šalis	NV	Vidutinis kiekis (1000 m ³ /d)	Apkrova (1000 GE)	GN dalis	Dumblo amžius (d)	Dumblo šalinimas
Lietuva	Joniškis	2.0	8.8	≈ 14 %	22-27	Žemės ūkis
	Klaipėda	40.8	322.7	24 %	32	Deginimas
	Kretinga	3.9	33.1	5 %	20	Žemės ūkis
	Mažeikiai	7.7	3.5	13 %	20	20% Žemės ūkis 80 % Deginimas
	Radviliškis	2.5	11.0	1 %	11	Deginimas
	Rokiškis	3.2	23.9	20 – 25 %	25	Žemės ūkis
	Šiauliai	19.9	102.7	5 %	-	Deginimas
	Telšiai	9.3	58.2	< 10 %	25	-
Latvija	Aizputė	0.5	2.6	3 %	-	Laikinasis saugojimas
	Bauskė	1.6	5.5	-	-	Laikinasis saugojimas
	Daugpilis	11.2	74.5	37 %	-	Biodujų gamyba
	Duobelė	1.1	10.2	6 %	-	Žemės ūkis
	Kuldyga	1.9	12.0	-	-	Žemės ūkis
	Liepoja	14.3	57.9	18 %	30	83% Žemės ūkis 17 % Kraštovaizdžio formavimas
	Saldus	1.6	7.8	≈ 1 %	-	Žemės ūkis
	Talsai	1.5	27.3	-	-	Žemės ūkis

Vandens kokybės parametrai

Ištirpusios organinės anglies (IOA) ir bromido kiekio nenustatinėja nė viena nuotekų valykla (arba tiesiog apie tai nepranešė). Apie kitus parametrus, tokius kaip bendrasis ChDS, TSS, nitritai, vandens temperatūra ir pH, Lietuvos nuotekų valyklos beveik visada pranešdavo. Išskyrus padidėjusią nitritų koncentraciją Rokiškio nuotekų valykloje ($C = 1,3 \text{ mg-N/l}$) ir padidėjusią vandens temperatūrą Mažeikių nuotekų valykloje ($T > 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$), parametrai svyruoja tipinėse ribose. Tačiau reikia pažymėti, kad beveik visų Latvijos nuotekų valyklų duomenų nepateikta, nors tikėtina, kad bent kai kuriuos parametrus (nitritus, pH ir temperatūrą) nuotekų valyklos matuoja (žr. 6 lentelę).

Taigi, visoms nuotekų valykloms, ketinančioms įdiegti VFM šalinimo technologiją, rekomenduojama pradėti reguliariai matuoti IOA ir bromidus (taip pat nitritus, jei jie dar nėra matuojami). Remiantis šiais matavimais, vėliau bus galima atlikti patikimą pagrindą galimybių studijoms arba priimti sprendimus dėl tolesnių veiksmų (pvz., tirti šaltinį, kai yra didelis bromido kiekis).

6 lentelė: Vandens kokybės parametrai išvalytose nuotekose, remiantis klausimyno atsiliepimais. $ChDS_{bendras}$ ir TSS yra 2019-2021 m. vidurkis (*2020-2021 m.; #2019-2020 m.). T = vandens temperatūra. Minuso ženklas (-) rodo, kad klausimyne nebuvo pateikta jokių duomenų.

Šalis	NV	$ChDS_{bendras}$ (mg/L)	TSS (mg/L)	Nitritai (mg-N/L)	T (°C)	pH (-)
Lietuva	Joniškis	32	8.7	(1.32)	2 - 18	6.9 - 8.1
	Klaipėda	53	7.4	0.08	16.5	7.8
	Kretinga	41	12.9	0.05	7.5	7.3
	Mažeikiai	25	4.2	0.04	(> 30)	6.5 - 8.5
	Radviškis	33	3.9	0.02	13.1	7.9
	Rokiškis	44	-	0.05	4 - 24	7 - 8
	Šiauliai	36	3.3	0.34	-	7.8
	Telšiai	27	8.4	-	-	-
Latvija	Aizputė	30	4.5	-	-	-
	Bauskė	31	4.7	-	-	-
	Daugpilis	42	9.5	-	-	-
	Duobelė	34	4.2	-	-	-
	Kuldyga	39	6.0	-	-	-
	Liepoja	32 [#]	6.7	-	9.2 - 20.1	6.0 - 7.6
	Saldus	18 [*]	4.3	-	-	-
	Talsai	44	10.4	-	-	-

4.2 Sinergija, VFM tikslai ir numatomos kliūtys

Be VFM mažinimo, VFM šalinimo technologijos taip pat gali turėti teigiamą poveikį kitiems vandens kokybės parametrams (pvz., $ChDS$, fosforui). Jei nuotekų valyklos jau svarsto galimybę tobulinti savo valymo procesus (pvz., toliau mažinti C / N / P), planavimo procese būtų galima apsvarstyti galimą sinergijos poveikį su VFM šalinimo technologijomis. Remiantis 7 lentelėje pateiktais klausimyno atsakymais, nė viena nuotekų valykla nenurodė, kad norėtų dar labiau sumažinti anglies kiekį, ir tik keturios iš 16 nuotekų valyklų nurodė, kad norėtų dar labiau sumažinti azoto kiekį. Priešingai, beveik visos Lietuvos nuotekų valyklos ir pusė Latvijos nuotekų valyklų ketina įgyvendinti tolesnio fosforo mažinimo priemones. Be to, Kretingos nuotekų valykla nurodė, kad ateityje gali būti taikomos dezinfekavimo priemonės. Penkiose nuotekų valyklose (daugiausia Latvijoje) neplanuojama taikyti jokių papildomų priemonių.

Atrodo, kad patirties, susijusios su VFM, turima retai, nes tik trys nuotekų valyklos nurodė, kad jau yra atlikusios jų matavimus. Ir nors dvi Lietuvos nuotekų valyklos nurodė besidominčios VFM matavimais, didžioji dauguma kitų nuotekų valyklų nurodė nesidominčios. Tai atitinka atsiliepimus apie galimus VFM mažinimo priemonių tikslus, nes pusė nuotekų valyklų nepažymėjo nė vieno iš galimų atsakymų. Iš kitų atsakymų beveik vienodai paminėtas bendras VFM mažinimas ($n = 4$) ir paviršinio vandens apsauga ($n = 5$), o geriamojo vandens apsauga, atrodo, nėra aktuali nė vienam nuotekų valyklų operatoriui.

Galimas tokio atsakymo paaiškinimas galėtų būti tas, kad nuotekų valyklų operatoriai tikisi susidurti su daugeliu kliūčių, įgyvendindami VFM šalinimo technologijas: Apie 80 % nuotekų valyklų operatorių nurodė, kad jiems trūksta finansinės paramos, taip pat, kad pirmiausia jie turi spręsti kitų vandens kokybės parametrų (pvz., C/N/P) problemas. Apie 75 % nuotekų valyklų paminėjo, kad trūksta teisinio įpareigojimo mažinti VFM. Apie 63 % nuotekų valyklų nurodė, kad joms trūksta žinių apie reikiamas technologijas.

7 lentelė: Klausimyno atsiliepimai apie tolesnes priemones, VFM patirtį ir tikėtinas VFM technologijų diegimo kliūtis. Naudojamos būsimų priemonių santrumpos: C = tolesnis ChDS mažinimas, N = tolesnis azoto šalinimas, P = tolesnis fosforo šalinimas, D = dezinfekcija; VFM mažinimo tikslai: DW = geriamojo vandens apsauga, GR = bendras VFM mažinimas, SW = paviršinio vandens apsauga; Kliūtys: C = nėra vietos nuotekų valykloje, F = trūksta finansinės paramos, K = trūksta žinių, L = nėra teisinio reikalavimo mažinti VFM, WQ = pirmiausia reikia laikytis kitų vandens kokybės tikslų. Minuso ženklas (-) reiškia, kad atsakymai netaikytini.

Šalis	NV	Kitos priemonės				Matuoti VFM	VFM mažinimo tikslai				Kliūtys				
		C	N	P	D		DW	GR	SW	Kita	C	F	K	L	WQ
Lietuva	Joniškis	-	-	X	-	Dar ne	-	-	X	-	-	X	X	X	X
	Klaipėda	-	-	X	-	Dar ne	-	X	-	-	-	X	X	X	X
	Kretinga	-	X	X	X	Taip	-	X	X	-	-	-	-	-	-
	Mažeikiai	-	-	X	-	Ne	-	-	X	-	-	-	-	X	X
	Radviliškis	-	X	X	-	Ne	-	-	X	-	-	X	-	-	X
	Rokiškis	-	-	X	-	Ne	-	-	-	-	-	X	-	-	-
	Šiauliai	-	X	X	-	Ne	-	-	-	X	-	X	X	X	X
	Telšiai	-	-	-	-	Ne	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Latvija	Aizputė	-	-	X	-	Ne	-	-	-	-	-	X	X	X	X
	Bauskė	-	-	X	-	Ne	-	-	-	-	-	X	X	X	X
	Daugpilis	-	X	X	-	Taip	-	X	X	-	-	X	-	X	X
	Duobelė	-	-	X	-	Ne	-	-	-	-	-	X	X	X	X
	Kuldyga	-	-	-	-	Ne	-	-	-	-	-	X	X	X	X
	Liepoja	-	-	-	-	Taip	-	X	-	-	X	X	X	X	X
	Saldus	-	-	-	-	Ne	-	-	-	-	-	X	X	X	X
	Talsai	-	-	-	-	Ne	-	-	-	-	-	X	X	X	X

5 Atvejų analizė

Vykdamas MEDWwater projektą buvo aplankytos trys pasirinktos nuotekų valyklos, kurios bus aptartos išsamiau: Klaipėda (Lietuva), Kretinga (Lietuva) ir Daugpilis (Latvija).

5.1 Klaipėda (Lietuva)

NV aprašymas

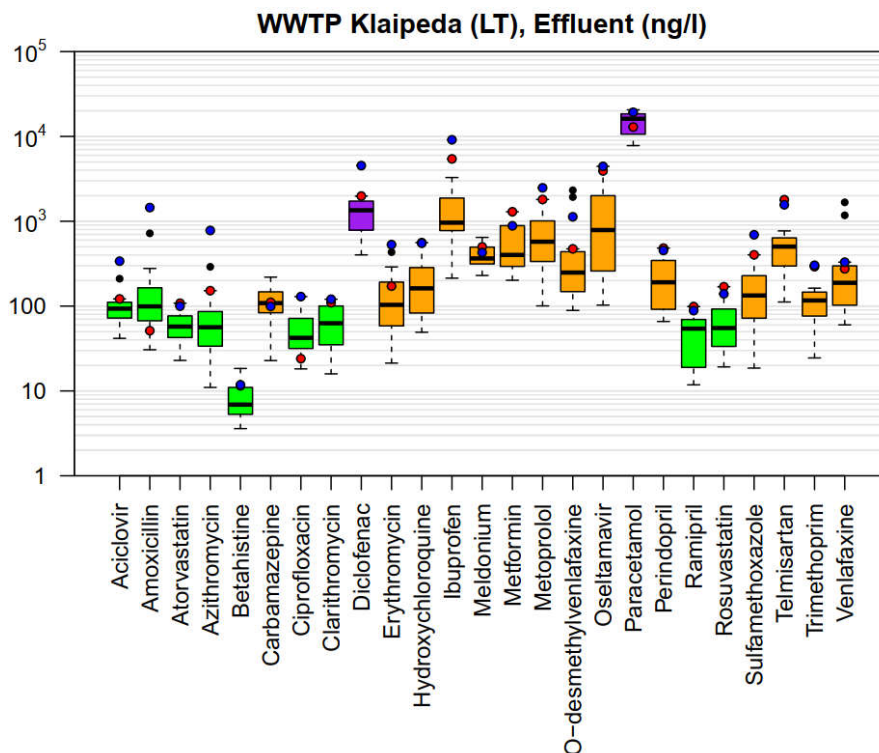
Klaipėda yra trečias pagal dydį Lietuvos miestas (apie 150 000 gyventojų), įsikūręs prie Baltijos jūros. Nuotekų valyklos apkrovimas yra apie 320 000 GE, joje išvaloma apie 41 000 m³/d. Lietaus metu taip pat galimi dideli nuotekų srauto svyravimai. Nuotekų nusodintuvai naudojami ne visada. Pirminio valymo metu (smėlio ir (arba) riebalų šalinimas) į orapūtes pridedama ozono, kad oksiduotų neapdorotose nuotekose esantį vandenilio sulfidą. Gamybinių nuotekų dalis sudaro apie 24 %, įskaitant nuotekas iš popieriaus fabriko ir filtratą iš netoliese esančio sąvartyno. Antrinis valymas apima nitrifikaciją / denitrifikaciją. Kai kurie iš keturių esamų antrinių nusodintuvų nebenaudojami. Nuo kelerių metų valymo proceso kontrolė buvo patobulinta išorine optimizavimo sistema (geresnė vandens kokybė, mažesnės energijos sąnaudos). Perteklinis dumblas naudojamas fermentatoriuje ir šalinamas deginant. ChDS koncentracija 53 mg/l nuotekose iš nuotekų valyklos yra palyginamai didelė (taip pat žr. 6 lentelę). Nuotraukos iš nuotekų valymo įrenginių pateiktos 10 paveiksle.



10 pav. Klaipėdos nuotekų valyklos fotofiksacijos per pažintinę kelionę MEDWwater projekto apimtyje. Pirminis valymas, įskaitant smėlio / riebalų šalinimą naudojant ozoną (viršuje kairėje), uždengti pirminiai nusodintuvai (viršuje dešinėje), biologinio valymo pakopa su kintamomis nitrifikacijos / denitrifikacijos zonomis (apačioje kairėje), fermentatoriai ir dujų rezervuaras su veikiančiu sąvartynu fone (apačioje dešinėje).

VFM nuotekų valykloje

Lyginant su kitomis Lietuvos nuotekų valyklomis, beveik visų tirtų VFM koncentracijos buvo didesnės už medianą, nepriklausomai nuo vasaros ar žiemos laiko (11 pav.). Remiantis 2.2.1 skyriuje pateiktu rizikos vertinimu, potencialiai svarbūs VFM nuotekose iš nuotekų valymo įrenginių yra ibuprofenas, diklofenakas, azitromicinas ir amoksisilinas. Priimančiame vandens telkinyje tik Ibuprofeno koncentracija vis dar viršytų siūlomus AKS ir keltų riziką vandens aplinkai. Nors dabartinis valymo procesas jau sumažina VFM apkrovą, per dieną į nuotekų valyklą išleidžiama daugiau kaip 1,7 kg VFM.



11 pav. VFM koncentracijos (ng/l) Klaipėdos NV valybose nuotekose, išmatuotos vasarą (raudoni taškai) ir žiemą (mėlyni taškai), lyginant su kitomis Lietuvos NV. Spalvomis pažymėti skirtingi koncentracijos lygiai, atsižvelgiant į koncentracijos medianą: > 1000 ng/l (violetinė), 100-1000 ng/l (oranžinė) ir < 100 ng/l (žalia).

VFM šalinimo vertinimas ir tolesni veiksmai

Akivaizdžių kliūčių aktyviosios anglies technologijoms (GAA arba MAA) įgyvendinti nėra. Jei svarstoma galimybė taikyti MAA valymą, reikėtų patikrinti, ar nenaudojamus antrinius nusodintuvus būtų galima pritaikyti ir pakartotinai panaudoti (pvz., Ulmerio procesui). Šiuo metu bromido koncentracija nuotekose nežinoma. Todėl neįmanoma įvertinti bromatų susidarymo potencialo. Jei būtų svarstoma galimybė taikyti ozonavimą, reikėtų papildomo tolesnio valymo, o tai padidintų bendras išlaidas.

Tikimasi, kad kartu su ChDS padidės ir IOA koncentracija. Kadangi IOA yra svarbiausias parametras projektuojant VFM šalinimo procesą, rekomenduojama pradėti matuoti IOA kartu su bromido kiekiu vandenyje. Ypač dėl to, kad yra arti Baltijos jūros ir panašus didelis gamybinių nuotekų kiekis, gali būti padidėjusi bromido koncentracija. Taip pat dėl padidėjusios gamybinių nuotekų dalies rekomenduojama atlikti laboratorinius skirtingų VFM šalinimo technologijų bandymus, kad būtų galima atmesti netikėtą elgesį.

Remiantis 3.4 skirsnyje pateiktais sąnaudų duomenimis, tikėtina, kad tokio dydžio nuotekų valymo įrenginių specifinės sąnaudos vienam išvalytam m³ turėtų būti apie 0,05 EUR/m³. Tačiau reikėtų pažymėti, kad šis skaičius yra tik labai apytikslis kainos įvertinimas. Be to, galutinėms sąnaudoms didelę įtaką turės tai, ar bus pasirinktas viso srauto, ar dalinio srauto valymas.

5.2 Kretinga (Lietuva)

NV aprašymas

Kretinga yra apie 20 km į šiaurės rytus nuo Klaipėdos. Dabartinis nuotekų valymo įrenginių apkrovimas yra apie 33 000 GE, o vidutinis srautas - apie 3 900 m³/d. Gamybinių nuotekų dalis yra nedidelė (5 %). Nuotekų valymas apima nitrifikaciją / denitrifikaciją. Po antrinio nusodintuvo dalelės pašalinamos būgniniais filtrais. Apie 15 % nuotekų valoma GAA filtru, kuris buvo pastatytas 2020 m. (CAPEX = 120 000 EUR) pagal projektą "LESS IS MORE" (Gražinskas, 2021 m.). Išdžiovintas perteklinis dumblas šiuo metu šalinamas žemės ūkyje. Nuotraukos iš nuotekų valymo įrenginių pateiktos 12 paveiksle.

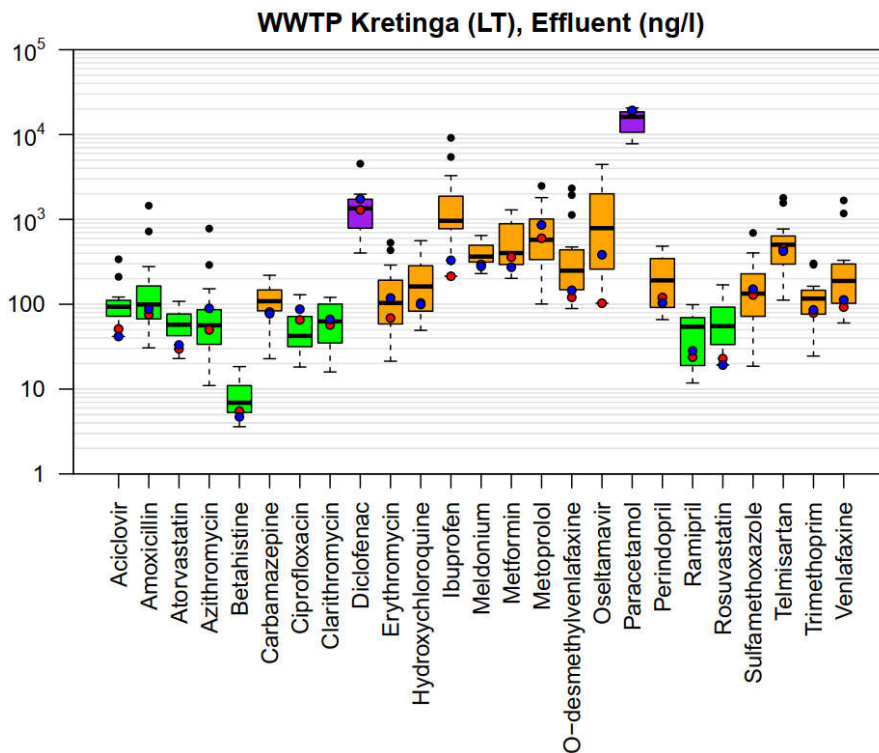


12 pav. Kretingos nuotekų valyklos fotofiksacijos per pažintinę kelionę MEDWwater projekto apimtyje. Pirminis valymas, įskaitant smėlio/riebalų šalinimą ir anoksingą zoną (viršuje kairėje), antrinis valymas su aeratoriais ir nusodintuvu (viršuje dešinėje), tretinis valymas su būgniniais filtrais ir GAA filtru (apačioje kairėje), nusausinto perteklinio dumblo džiovinimas (apačioje dešinėje).

VFM nuotekų valykloje

Palyginti su kitomis Lietuvos nuotekų valyklomis, daugumos tirtų VFM koncentracijos nuotekose viršijo medianą (13 pav.), o tai galima paaiškinti regione esančia didele lignonine (Gražinskas, 2021). Lyginant išmatuotą VFM sumažėjimą biologinio valymo procese tarp projekto "LESS IS MORE" ir MEDWwater, patvirtinamas 2.1.2 skyriuje pateiktas vertinimas (pavyzdžiui, netikėtai didelis karbamazepino ir diklofenako pašalinimo efektyvumas arba mažesnis ciprofloksacino pašalinimo efektyvumas). Remiantis 2.2.1 skyriuje pateiktu rizikos vertinimu, potencialiai svarbūs VFM, esantys nuotekose iš nuotekų valymo įrenginių, būtų

diklofenakas, ibuprofenas, azitromicinas ir amoksicilinas. Visų VFM koncentracijos nuotekų priimtuvuose, esančiuose pasroviui nuo nuotekų išleidimo vietos, yra mažesnės už siūlomas AKS ir PNEC. Taigi tolesnis VFM kiekio mažinimas gali būti nereikalingas.



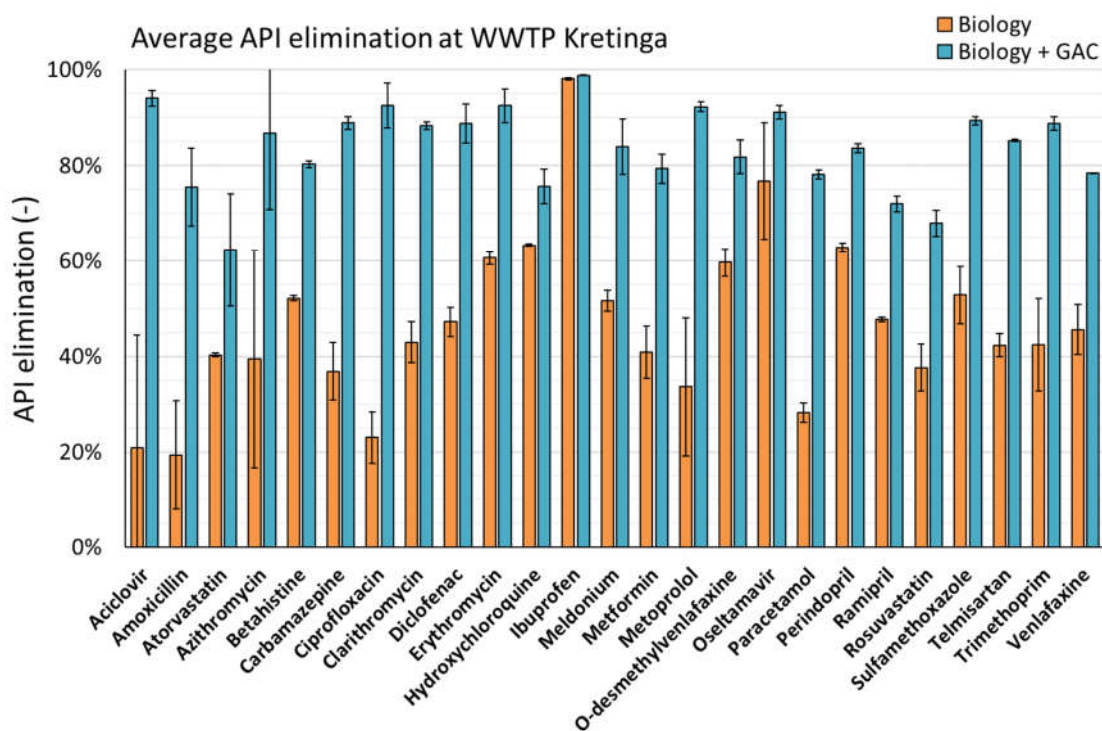
13 pav. VFM koncentracijos (ng/l) Kretingos nuotekose, išmatuotos vasarą (raudoni taškai) ir žiemą (mėlyni taškai), lyginant su kitomis Lietuvos nuotekų valyklomis. Spalvomis pažymėti skirtingi koncentracijos lygiai, atsižvelgiant į koncentracijos medianą: > 1000 ng/l (violetinė), 100-1000 ng/l (oranžinė) ir < 100 ng/l (žalia).

8 lentelė. VFM pašalinimo efektyvumo įprastiniu biologiniu valymu Kretingos nuotekų valykloje palyginimas projektuose "LESS IS MORE" (Gražinskas, 2021 m.) ir "MEDWwater" (vasaros ir žiemos mėginių ėmimo kampanijos sumažėjimo vidurkis).

VFM	Less Is More	MEDWwater	Skirtumas
Azitromicinas	83%	40%	43%
Karbamazepinas	10%	37%	-27%
Ciprofloksacinas	91%	23%	68%
Klaritromicinas	64%	43%	21%
Diklofenakas	19%	47%	-28%
Ibuprofenas	100%	98%	2%
Metoprololis	39%	34%	5%
Paracetamolis	100%	28%	72%
Sulfametoksazolas	88%	53%	35%
Trimetoprimas	82%	42%	40%
Venlafaksinas	-23%	46%	-69%

Esamo GAA filtro poveikis

Remiantis nuotekų valyklos operatoriaus atsiliepimais, problemų dėl GAA filtro veikimo nekilo. Kaip parodyta 14 paveiksle, esamas GAA filtras vis dar gali veiksmingai padidinti bendrą VFM išvalymo efektyvumą nuo 47 % (tik biologija) iki 84 % (biologija + GAA filtras). Kadangi GAA filtras apdoroja tik 15 % viso nuotekų srauto, bendras VFM pašalinimas nuotekų valymo įrenginyje bus apie 52 %. Šiuo metu nėra konkretaus VFM sumažinimo GAA filtru tikslo, kuris apibrėžtų, kada turi būti pakeista GAA filtro medžiaga. Turimi duomenys rodo, kad GAA filtras vis dar turi tam tikrą adsorbcijos pajėgumą ir filtravimo medžiagos keisti nereikia. Įdomu tai, kad projekte "LESS IS MORE" buvo svarstoma galimybė po GAA filtro naudoti papildomą ozonavimo įrenginį, kad būtų dar labiau pagerinta vandens kokybė (Gražinskas, 2021). Tačiau, jei reikia derinti aktyviąją anglį ir ozonavimą, ozonavimas visada turėtų būti eksploatuojamas prieš GAA filtrą, o ne po jo. Jei ozonavimas skirtas tik dezinfekavimo tikslams, UV dezinfekcija po GAA filtro gali būti geresnis variantas.



14 pav. VFM pašalinimo efektyvumas (%) Kretingos nuotekų valykloje taikant tik biologinį valymą (oranžiniai stulpeliai) ir biologinį valymą su papildomu GAA filtravimu (mėlyni stulpeliai). Vidutinis pašalinimo efektyvumas ir jo standartinis nuokrypis pateikiami pagal dvi MEDWwater mėginių ėmimo kampanijas.

VFM šalinimo įvertinimas ir tolesni veiksmai

Kretingos nuotekų valykla ypatinga tuo, kad joje jau yra GAA filtras, kuris gerai veikia kartu su esamais būgniniais filtrais (suspenduotų kietųjų dalelių mažinimas, retesnis GAA filtro praplovimas). Taigi, jei Kretingos nuotekų valykla norėtų šalinti visą VFM srautą, tikriausiai geriausia būtų tiesiog pastatyti papildomus GAA filtrus ir naudoti turimus būgninius filtras. Taip pat galima naudoti lygiagrečiai veikiančius kelis GAA filtrus, kad būtų galima išplėsti to paties GAA valomo sluoksnio tūrį. Tai galima padaryti perkeltiant GAA filtrų paleidimo laiką. Pirmasis GAA filtras turi veikti tol, kol vien tik jis galės pasiekti apibrėžtą VFM tikslą. Laikui bėgant pirmojo GAA filtro GAA adsorbcijos pajėgumas mažėja. Tada pradedamas naudoti kitas GAA filtras. Dėl labai didelio antrojo GAA filtro VFM mažinimo pajėgumo bendras VFM pašalinimas

sujungtų filtrų nuotekose bus didesnis už VFM pašalinimo tikslą. Tai galima kartoti su kitais GAA filtrais, kol bendras VFM sumažinimas bus per mažas ir reikės pakeisti didžiausią sluoksnio turį turinčio filtro GAA medžiagą.

5.3 Daugpilis (Latvija)

NV aprašymas

Daugpilis yra trečias pagal dydį Latvijos miestas (apie 75 000 gyventojų). Nuotekų valymo įrenginiai yra šalia Baltijos jūros. Pastaraisiais metais buvo imtasi priemonių, kad būtų išvengta tolesnės pakrantės erozijos, nes atstumas tarp nuotekų valymo įrenginių ir Baltijos jūros akivaizdžiai sumažėjo. Šiuo metu nuotekų valyklos apkrovimas yra apie 58 000 GE, o išvaloma šiek tiek daugiau nei 14 000 m³/d. Gamybinės nuotekos sudaro apie 18 %.

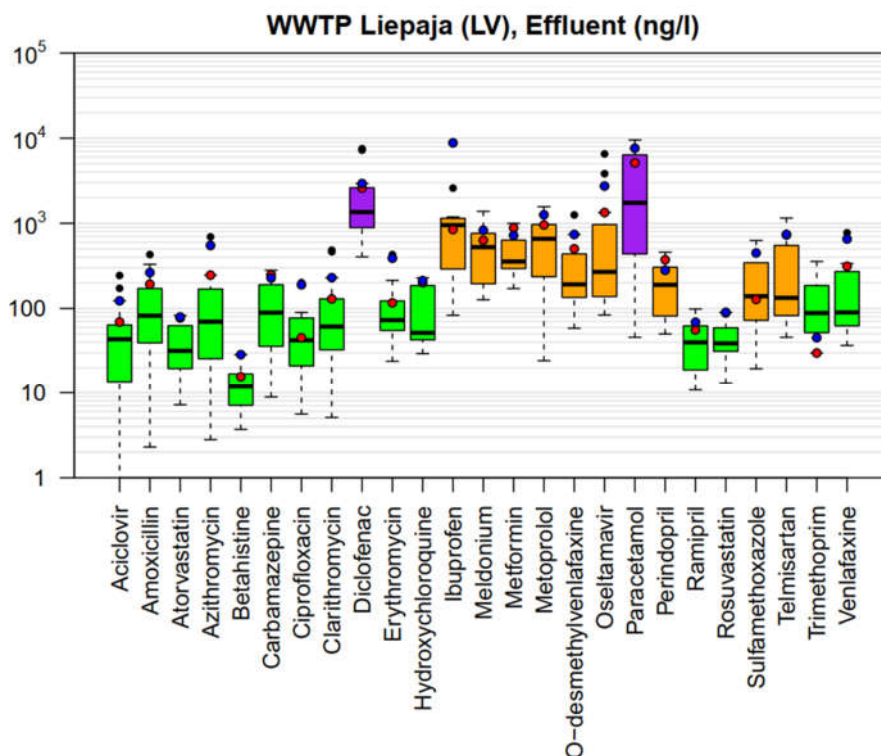
Prieš surenkant stambesnes šiukšles grotose ir šalinant smėlį bei riebalus, neapdorotos nuotekos aeruojamos, kad būtų išvengta didesnio H₂S susidarymo. Biologinis valymas apima nitrifikaciją / denitrifikaciją. Po antrinių nusodintuvų išvalytos nuotekos išleidžiamos į Baltijos jūrą. Nuotekų valykloje yra keli baseinai (pvz., nusodintuvai), kurie nebenaudojami, nes nuo jų pastatymo laiko sumažėjo valomų nuotekų kiekis. Kai kurie iš baseinų naudojami laikinai nuotekų buferizacijai. Išdžiovinintas perteklinis dumblas laikomas šalia nuotekų valyklos ir naudojamas žemės ūkyje bei apželdinimui. VFM koncentracijos išleidžiamose nuotekose (6 lentelė) yra nežymios. Nuotraukos su nuotekų valymo įrenginiais pateiktos 15 paveiksle.



15 pav: Liepojos nuotekų valymo įrenginių fotografacijos per mokomąją kelionę MEDWwater projekto apimtyje. Aeracijos baseinas prieš neapdorotų nuotekų atranką (H₂S neutralizavimo priemonė) su fone matoma Baltijos jūros dalimi (viršuje kairėje), biologinio valymo etapas su nitrifikacija / denitrifikacija (viršuje dešinėje), antrinis nusodintuvas (apačioje kairėje), nusausinto perteklinio dumblo džiovinimas ir saugojimas (apačioje dešinėje).

VFM nuotekų valykloje

Beveik visų išmatuotų VFM koncentracijos nuotekose yra didesnės, palyginti su kitomis Latvijos nuotekų valyklomis (16 pav.). Remiantis 2.2.1 skyriuje pateiktu rizikos vertinimu, potencialiai svarbūs VFM nuotekose iš nuotekų valymo įrenginių yra ibuprofenas, diklofenakas, azitromicinas, amoksicilinas, karbamazepinas, klaritromicinas ir ciprofloksacinai. Baltijos jūroje, kaip priimančiame vandens telkinyje, Ibuprofeno, azitromicino ir diklofenako koncentracija vis dar viršytų siūlomus AKS ir keltų pavojų vandens aplinkai, darant prielaidą, kad sūriame vandenyje AKS ir PNEC yra atitinkamai 10 kartų mažesni. Kasdien į Baltijos jūrą išleidžiamų išmatuotų VFM kiekis yra apie 0,3 kg/d.



16 pav: VFM koncentracija (ng/l) Liepojos nuotekose, išmatuota vasarą (raudoni taškai) ir žiemą (mėlyni taškai), palyginti su kitomis Latvijos nuotekų valyklomis. Spalvomis pažymėti skirtingi koncentracijos lygiai, atsižvelgiant į koncentracijos medianą: > 1000 ng/l (violetinė), 100-1000 ng/l (oranžinė) ir < 100 ng/l (žalia).

VFM šalinimo vertinimas ir tolesni veiksmai

Akivaizdžių kliūčių naudoti GAA filtrą nėra, o MAA negalima naudoti, nes perteklinis dumblas nedeginamas. Kaip ir visuose kituose nuotekų valymo įrenginiuose, bromidų koncentracija nuotekose nėra žinoma, o tai trukdo įvertinti bromatų susidarymo potencialą. Potencialūs bromido šaltiniai galėtų būti dalies gamybinių nuotekų (18 %) patekimas į jūrą (miestas ir (arba) nuotekų valymo įrenginiai yra netoli Baltijos jūros). Jei gali būti naudojamas ozonavimas, reikia papildomo tolesnio valymo. Apytikriai apskaičiuota, kad papildomos VFM šalinimo išlaidos turėtų būti apie 0,10 EUR/m³ (žr. 3.4 skirsnį).

Rengiantis galimam tolesniam vertinimui (pvz., galimybių studijai), rekomenduojama pradėti reguliariai matuoti IOA ir bromidus (įskaitant nitritus, jei jie dar nėra matuojami nuotekose iš nuotekų valymo įrenginių).

6 Santrauka

Remiantis turimais 16 atrinktų nuotekų valyklų duomenimis, galima daryti šias išvadas:

- **VFM koncentracijos**

Nors VFM koncentracijos įvairiose nuotekų valyklose skiriasi, bendras modelis yra panašus. VFM apkrovos yra glaudžiai susijusios su nuotekų valyklų dydžiu, ir jose dominuoja keletas VFM (paracetamolis, ibuprofenas, diklofenakas ir oseltamaviras). Didžiausią pavojų vandens aplinkai galintčios kelti VFM, esantčios nuotekose iš nuotekų valymo įrenginių, yra diklofenakas, ibuprofenas, azitromicinas ir amoksicilinas. Tačiau norint pagerinti dabartinę duomenų bazę (dvi mėginių ėmimo kampanijos), reikia daugiau mėginių ėmimo kampanijų.

- **Vandens kokybės parametrai**

Svarbiausias projektinis parametras IOA nėra matuojamas nė vienoje nuotekų valykloje. Be to, nė vienoje nuotekų valykloje nematuojama bromido koncentracija, todėl neįmanoma įvertinti bromatų susidarymo potencialo ozonavimo procese. Todėl rekomenduojama pradėti matuoti IOA, bromidą ir nitritus (jei jie dar nėra matuojami), kad būtų gautas tvirtas duomenų pagrindas galimiems tolesniems sprendimams ir galimybių tyrimams.

- **Technologijos:**

Dauguma tirtų nuotekų valyklų dėl dabartinio perteklinio dumblo šalinimo būdo nėra tinkamos MAA valymui. Kadangi trūksta informacijos apie bromidų ir nitritų koncentraciją, šiuo metu neįmanoma įvertinti ozonavimo tinkamumo. Akivaizdžių kliūčių įdiegti GAA filtravimą nėra. Šiuo metu dauguma tirtų nuotekų valyklų neturi esamos tretinio valymo pakopos, kurią būtų galima naudoti kartu su VFM šalinimo technologijomis (pvz., ozonavimo po valymo).

- **Kur įdiegti VFM šalinimą:**

Kadangi nėra jokių teisinių įpareigojimų, šiuo metu tikslingai šalinti VFM galima tik savanoriškai, o nuotekų valyklų operatoriai turi būti motyvuoti tai daryti. Vadovaujantis "šveicariškuoju požiūriu", gali būti pasirinktos tokios nuotekų valymo sistemos, kurių tikslas - bendras VFM apkrovos mažinimas, vandens išteklių apsauga arba vandens ekosistemų apsauga. VFM pašalinimo įgyvendinimas didelėse nuotekų valyklose taip pat turi pranašumą, nes specifinės valymo sąnaudos (€/m³) bus mažesnės, palyginti su mažų ir (arba) vidutinių nuotekų valyklų sąnaudomis. Kitas būdas galėtų būti įvairių valymo technologijų diegimas vidutinio dydžio nuotekų valyklose, siekiant jas pademonstruoti ir perduoti žinias.

7 Šaltiniai

Äystö, L., Stapf, M., 2020. Scenarios for reducing pharmaceutical emissions – Estimated load reductions, greenhouse gas emissions & costs. Project CWPharma Activity 5.1 + 5.2 report.

Ek Henning, H., Putna-Nimane, I., Kalinowski, R., Perkola, N., Bogusz, A., Kublina, A., Haiba, E., Barda, I., Karkovska, I., Schütz, J., Mehtonen, J., Siimes, K., Nyhlén, K., Dzintare, L., Äystö, L., Sinics, L., Laht, M., Lehtonen, M., Stapf, M., Stridh, P., Poikāne, R., Hoppe, S., Lehtinen, T., Kõrgma, V., Junttila, V., Leisk, Ü., 2020. Pharmaceuticals in the Baltic Sea Region – emissions, consumption and environmental risks. Report no. 2020:28. Linköping.

German Environment Agency, 2018. Recommendations for reducing micropollutants in waters. Background // april 2018. German Environment Agency.

Gražinskas, K., 2021. Deliverable No: 4.1 (part III) Specific expert paper on treatment technology/efficiency for the Lietuvan pilot plant - Removal of micropollutants at Kretinga WWTP with a large scale GAC pilot unit.

Herbst, H., Antakyali, D., Sasse, R., Ante, S., Schulz, J., 2016. Kosten der Elimination von Mikroschadstoffen und mögliche Finanzierungsansätze. Korrespondenz Abwasser, Abfall 63, 2, 124–130.

Langas, V., Garnaga-Budrė, G., Björklund, E., Svahn, O., Tränckner, J., Kaiser, A., Luczkiewicz, A., 2019. Determination of the Regional Pharmaceutical Burden in 15 Selected WWTPs and Associated Water Bodies using Chemical Analysis Status in four coastal regions of the South Baltic Sea Germany, Lietuva, Poland and Sweden. Project MORPHEUS 2017 - 2019 Deliverable 4.1.

Metzger, S., Tjoeng, I.O., Rößler, A., Schwentner, G., 2014. Kosten der Pulveraktivkohleanwendung zur Spurenstoffelimination am Beispiel ausgeführter und in Bau befindlicher Anlagen. KA : Korrespondenz Abwasser, Abfall 61.

Stapf, M., Miehe, U., Bester, K., Lukas, M., 2020a. Guideline for advanced API removal. CWPharma Activity 3.4 output.

Stapf, M., Miehe, U., Knoche, F., Lukas, M., Bartz, J., Brauer, F., Gutsche, M., Kullwatz, J., Petkow, C., Schneider, M., Winckelmann, D., Bogusz, A., Tomczyk, B., Trzcińska, M., Dworak, A., Chojniak-Gronek, J., Szumska, M., Zieliński, M., Walkowiak, R., Putna-Nimane, I., Liepina-Leimane, I., Dzintare, L., Barda, I., Bester, K., Kharel, S., Sehlén, R., J., N., Larsen, S.B., 2020b. Impact of ozonation and post-treatment on ecotoxicological endpoints, water quality, APIs and transformation products. CWPharma project report for GoA3.3: Comparison of post-treatment options. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4003461>

Stapf, M., Zhiteneva, V., 2021. WWTP fitness check for API removal technology – summary report. GoA2.1: Fitness check for API removal technology.

Verlicchi, P., Al Aukidy, M., Zambello, E., 2012. Occurrence of pharmaceutical compounds in urban wastewater: removal, mass load and environmental risk after a secondary treatment-a review. The Science of the total environment 429, 123–55. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.028>

Verlicchi, P., Zambello, E., 2015. Pharmaceuticals and personal care products in untreated and treated sewage sludge: Occurrence and environmental risk in the case of application on soil - A critical review. The Science of the total environment 538, 750–67. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.108>

Völker, J., Stapf, M., Miehe, U., Wagner, M., 2019. Systematic Review of Toxicity Removal by Advanced Wastewater Treatment Technologies via Ozonation and Activated Carbon. Environ Sci Technol 53, 7215–7233. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b00570>

Priedėlis

SI 1 lentelė: MEDWwater projekte analizuotų VFM medžiagų apžvalga, analitinė kiekybinio įvertinimo riba (KĮR), siūlomi aplinkos kokybės standartai (AKS, metinis vidurkis) ir prognozuojamos poveikio neturinčios koncentracijos (PNEC) gėlame vandenyje. Sūriame vandenyje paprastai AKS ir PNEC vertės yra 10 kartų mažesnės.

VFM	KĮR	Šveicarija ⁶ (siūlomas AA-AKS, ng/L)	ES ⁷ (siūlomas AA-AKS, ng/L)	Vokietija ⁸ (siūlomas AKS, ng/L)	MEDWwater ⁹ (PNECs, ng/L)	Reikšmės naudotos vertinimui (ng/L)
Acikloviras	1.1	-	-	-	125,000 - 200,000 (n = 2)	125,000 (blogiausias atvejis)
Amoksicilinas	0.3	78	-	-	-	78
Atorvastatinas	1.3	8,500 [#]	-	-	-	8,500
Azitromicinas	0.4	19	19	19 (PNEC)	-	19
Betahistinas	0.8	-	-	-	2,300 (n = 1)	2,300
Karbamazepinas	1.0	2,000	125 / 2,500*	500	-	125 (EU, blogiausias atvejis)
Ciprofloksacinas	0.5	89	-	100	-	89
Klaritromicinas	0.6	120	130	120 (PNEC)	-	130 (EU)
Diklofenakas	2.2	50	40	50	-	40 (EU)
Eritromicinas	0.4	300	500	200 (PNEC)	-	500 (EU)
Hidroksichlorokvinas	15.0	-	-	-	85,800 - 120,000 (n = 2)	85,800
Ibuprofenas	5.0	11	-	10	-	10
Meldoniumas	50.0	-	-	-	-	-
Metforminas	19.8	160,000	-	-	-	160,000
Metoprololis	0.4	8600	-	43,000	-	8,600
O-desmetilvenlafaksinas	5.0	880 [#]	-	-	-	880

⁶ https://www.oekotoxzentrum.ch/media/195463/uqk-liste-fuer-hp-stand-2021026_fuer-hp.xlsx (žiūrėta 2022 06 28). # duomenys pažymėti kaip nelabai patikimi ir turėtų būti naudojami tik orientaciniais tikslais, kol nebus gautos patikimesnės vertės (patikimumo koeficientas originaliame dokumente = 3)

⁷ https://health.ec.europa.eu/publications_en. * Karbamazepino dokumentacijoje (125 ng/l) ir SCHEER peržiūros dokumente (2 500 ng/l) pasiūlytų AA-EQS skirtumas.

⁸ https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2875/bilder/dateien/pnec_uqn_v_azm_e_o.pdf (žiūrėta 2022 06 28)

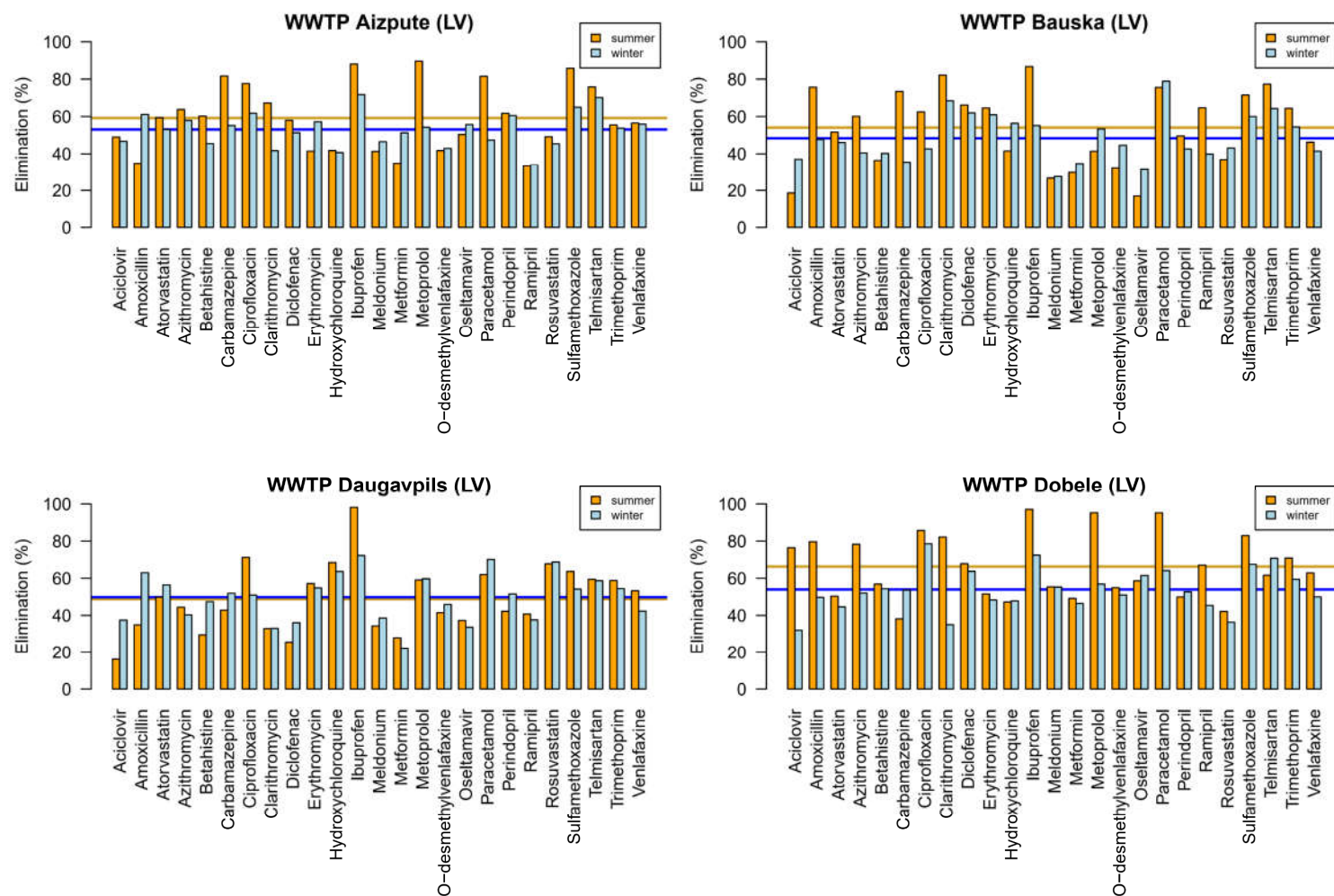
⁹ Duomenys, kuriuos pateikė MEDWwater projekto komanda, remdamasi literatūros apžvalga. Pastaba: pateikiami tik PNEC, skirti API, kurių nebuvo kituose šaltiniuose.

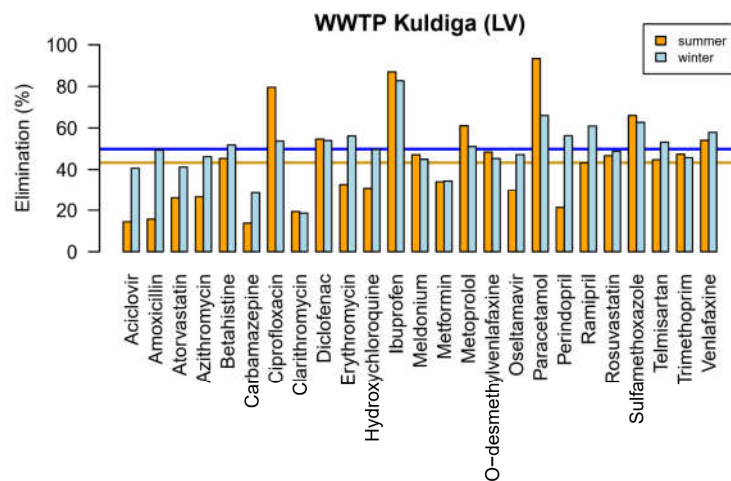
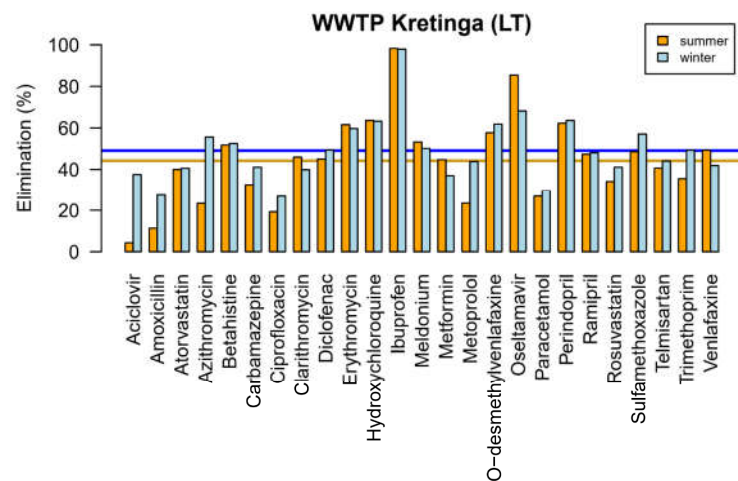
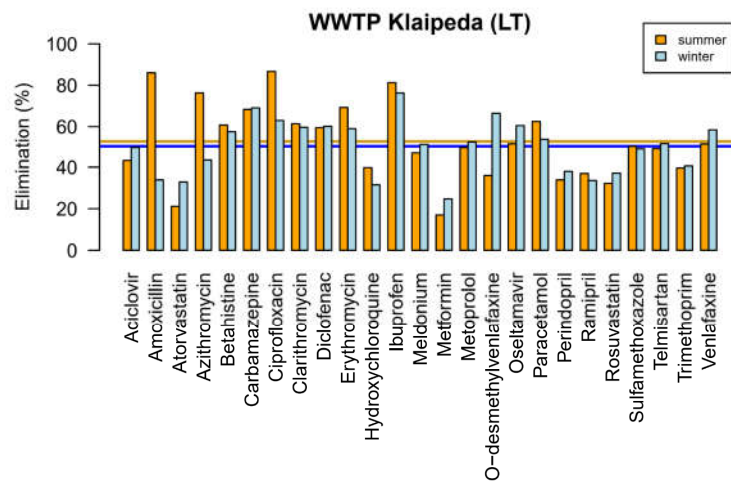
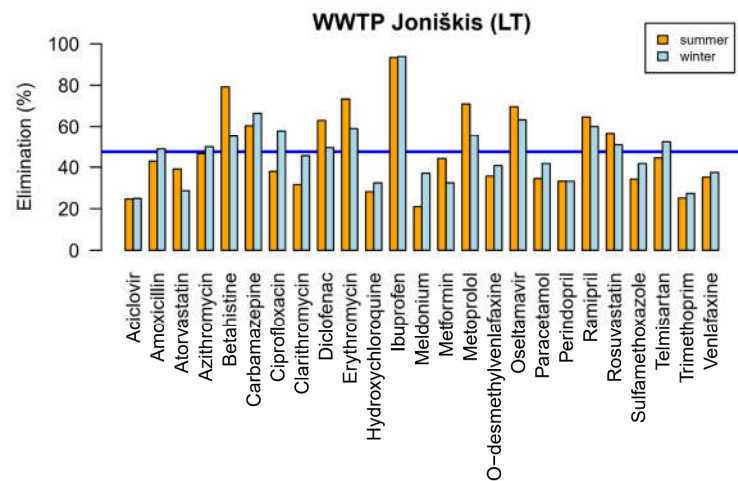
Oseltamiviras	2.0	-	-	-	100,000 (n = 2)	100,000
Paracetamolis	5.0	46,000 [#]	-	-	-	46,000
Perindopril	0.9	-	-	-	-	-
Ramiprilis	0.6	-	-	-	100,000 (n = 1)	100,000
Rosuvastatinas	1.6	-	-	-	1,800 (n = 1)	1,800
Sulfametoksazolas	0.2	600	-	600	-	600
Telmisartanas	3.0	49,000 [#]	-	-	-	49,000
Trimetoprimas	0.4	120,000	-	-	-	120,000
Venlafaksinas	3.0	880 – 4,800 [#]	-	-	-	880 (blogiausias atvejis)

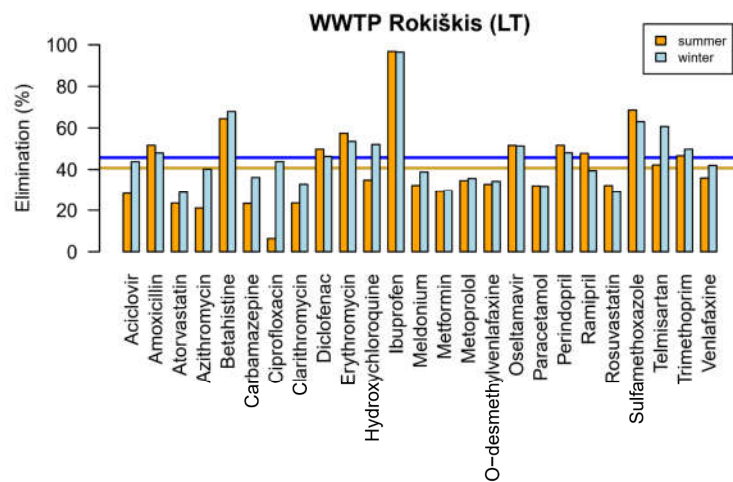
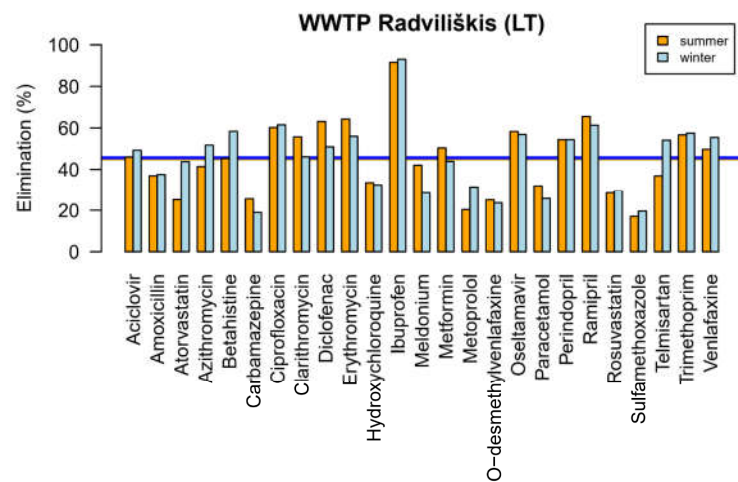
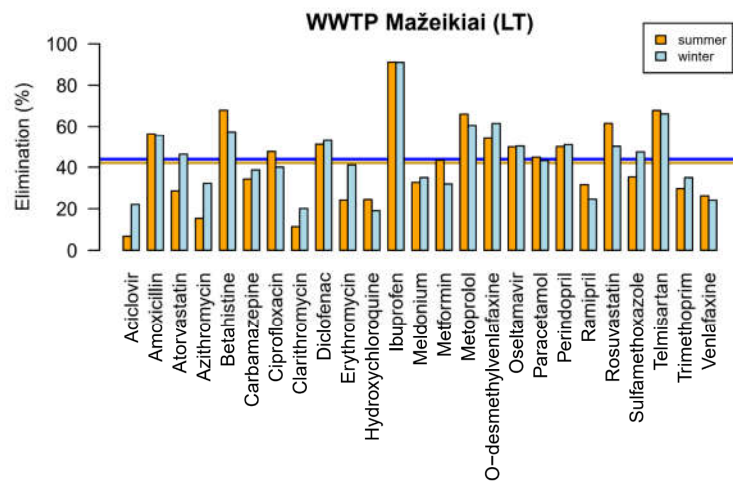
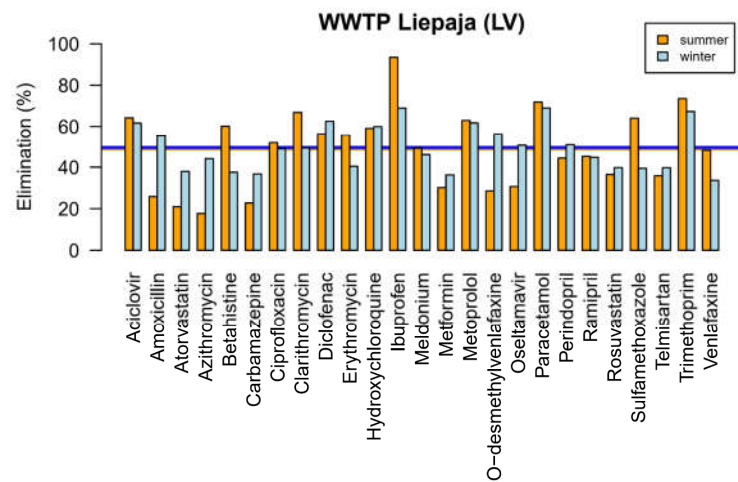
SI 2 lentelė: Rizikos koeficientai (RQ) pagal mėginius, paimtus pasroviui nuo nuotekų valymo įrenginių (vidurkis, n = 2). Meldoniumas ir perindoprilis neįtraukti, nes nėra pasiūlytų AKS arba PNEC gėlam vandeniui. Spalvomis pažymėta, kad RQ yra mažesnis nei 1 (žalia), nuo 1 iki 10 (geltona) arba didesnis nei 10 (raudona).

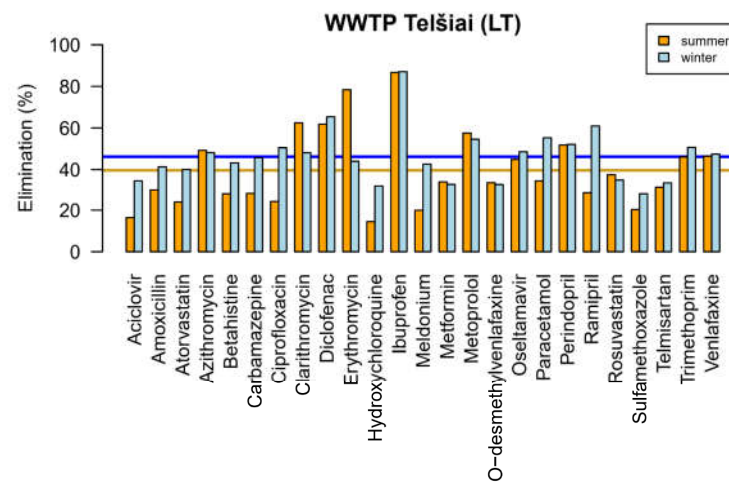
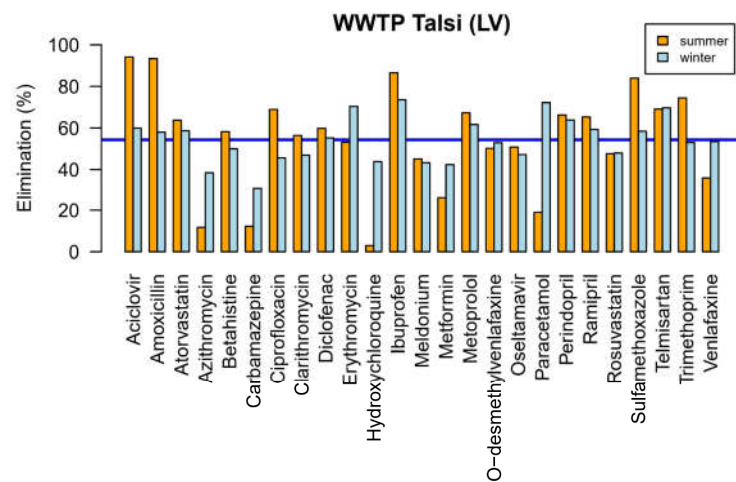
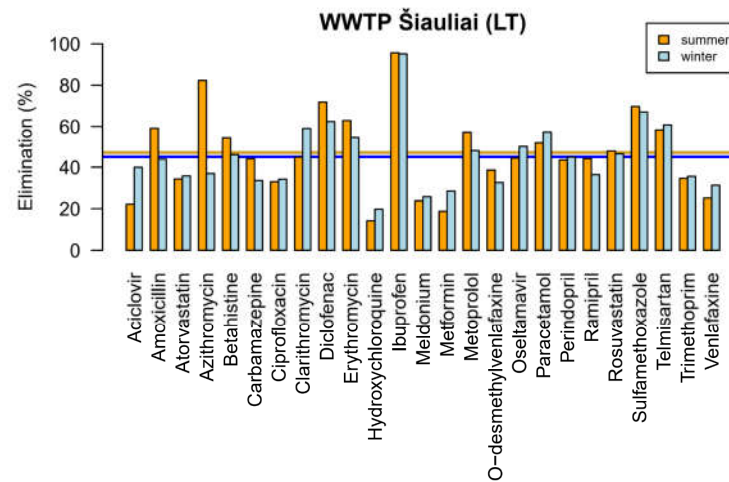
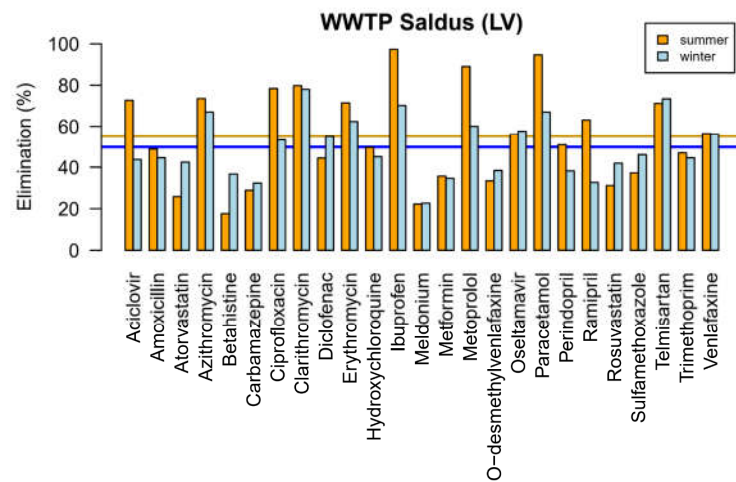
VFM	Rek. AKS PNEC (ng/l)	Lietuvos nuotekų valymo įrenginiai								Latvijos nuotekų valymo įrenginiai							
		Joniškis	Klaipėda	Kretinga	Mažeikiai	Radviškis	Rokiškis	Šiauliai	Telsiai	Aizputė	Bauskė	Daugpilis	Duobelė	Kuldyga	Liepoja	Saldus	Talsai
Acikloviras	125000	1.2·10 ⁻⁵	5.7·10 ⁻⁵	4.8·10 ⁻⁶	2.1·10 ⁻⁵	1.1·10 ⁻⁵	1.2·10 ⁻⁵	4.6·10 ⁻⁵	1.0·10 ⁻⁵	9.6·10 ⁻⁶	1.4·10 ⁻⁵	4.7·10 ⁻⁵	1.7·10 ⁻⁵	1.4·10 ⁻⁵	2.3·10 ⁻⁵	8.8·10 ⁻⁶	9.2·10 ⁻⁶
Amoksicilinas	78	0.04	0.2	0.02	0.09	0.07	0.07	0.2	0.1	0.03	0.02	0.05	0.004	0.03	0.08	0.03	0.009
Atorvastatinas	8500	2.4·10 ⁻⁴	5.5·10 ⁻⁴	4.0·10 ⁻⁴	2.4·10 ⁻⁴	1.9·10 ⁻⁴	2.2·10 ⁻⁴	4.6·10 ⁻⁴	3.8·10 ⁻⁴	1.7·10 ⁻⁴	2.8·10 ⁻⁴	2.9·10 ⁻⁴	1.5·10 ⁻⁴	1.6·10 ⁻⁴	1.8·10 ⁻⁴	2.0·10 ⁻⁴	1.7·10 ⁻⁴
Azitromicinas	19	0.1	0.7	0.09	0.2	0.2	0.2	0.5	0.2	0.1	0.09	0.7	0.04	0.3	0.7	0.08	0.09
Betahistinas	2300	4.6·10 ⁻⁴	5.2·10 ⁻⁴	3.7·10 ⁻⁴	3.7·10 ⁻⁴	6.7·10 ⁻⁴	4.1·10 ⁻⁴	6.5·10 ⁻⁴	5.4·10 ⁻⁴	3.9·10 ⁻⁴	6.1·10 ⁻⁴	5.0·10 ⁻⁴	3.7·10 ⁻⁴	5.7·10 ⁻⁴	7.8·10 ⁻⁴	6.5·10 ⁻⁴	3.7·10 ⁻⁴
Karbamazepinas	125	0.02	0.05	0.009	0.02	0.03	0.05	0.04	0.01	0.01	0.008	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
Ciprofloksacinas	89	0.03	0.03	0.009	0.01	0.03	0.03	0.02	0.01	0.006	0.01	0.04	0.006	0.01	0.03	0.02	0.02
Klaritromicinas	130	0.01	0.05	0.006	0.01	0.01	0.007	0.02	0.02	0.01	0.007	0.04	0.007	0.03	0.04	0.02	0.006
Diklofenakas	40	0.2	0.4	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.09	0.1	0.7	0.05	0.2	0.4	0.3	0.2
Eritromicinas	500	0.005	0.02	0.007	0.01	0.003	0.003	0.02	0.02	0.005	0.01	0.04	0.01	0.01	0.02	0.006	0.01
Hidroksichlorokvinas	85800	1.7·10 ⁻⁴	4.2·10 ⁻⁴	1.4·10 ⁻⁴	2.4·10 ⁻⁴	1.8·10 ⁻⁴	2.0·10 ⁻⁴	2.7·10 ⁻⁴	2.6·10 ⁻⁴	1.8·10 ⁻⁴	2.1·10 ⁻⁴	3.2·10 ⁻⁴	1.6·10 ⁻⁴	1.5·10 ⁻⁴	2.3·10 ⁻⁴	1.8·10 ⁻⁴	1.7·10 ⁻⁴
Ibuprofenas	10	2.7	10.1	0.3	1.7	3.0	3.4	2.8	3.7	1.2	0.9	8.3	1.3	1.3	5.9	1.2	2.5
Metforminas	160000	2.8·10 ⁻⁴	0.001	3.5·10 ⁻⁴	3.2·10 ⁻⁴	5.3·10 ⁻⁴	7.8·10 ⁻⁴	0.001	0.001	3.6·10 ⁻⁴	8.7·10 ⁻⁴	0.001	2.3·10 ⁻⁴	4.2·10 ⁻⁴	6.4·10 ⁻⁴	3.2·10 ⁻⁴	3.4·10 ⁻⁴
Metoprololis	8600	8.0·10 ⁻⁴	0.002	2.3·10 ⁻⁴	6.3·10 ⁻⁴	0.001	0.002	7.2·10 ⁻⁴	0.001	3.0·10 ⁻⁴	8.1·10 ⁻⁴	0.001	2.0·10 ⁻⁴	7.8·10 ⁻⁴	0.001	3.7·10 ⁻⁴	7.2·10 ⁻⁴
O-desmetilvenlafaksinas	880	0.02	0.1	0.01	0.02	0.01	0.4	0.04	0.04	0.02	0.03	0.09	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01
Oseltamiviras	100000	1.4·10 ⁻⁴	6.2·10 ⁻⁴	7.5·10 ⁻⁵	2.2·10 ⁻⁴	1.8·10 ⁻⁴	2.7·10 ⁻⁴	5.7·10 ⁻⁴	3.5·10 ⁻⁴	4.6·10 ⁻⁵	1.7·10 ⁻⁴	8.1·10 ⁻⁴	4.6·10 ⁻⁵	9.5·10 ⁻⁵	1.1·10 ⁻⁴	1.4·10 ⁻⁴	1.4·10 ⁻⁴
Paracetamolis	46000	0.001	0.003	9.2·10 ⁻⁴	0.002	0.001	0.002	0.003	0.003	2.3·10 ⁻⁴	6.9·10 ⁻⁴	0.002	1.8·10 ⁻⁴	3.3·10 ⁻⁴	0.002	2.5·10 ⁻⁴	8.6·10 ⁻⁴
Ramiprilis	100000	8.0·10 ⁻⁶	2.2·10 ⁻⁴	1.0·10 ⁻⁵	1.0·10 ⁻⁴	1.2·10 ⁻⁵	1.5·10 ⁻⁴	1.3·10 ⁻⁴	4.8·10 ⁻⁵	1.0·10 ⁻⁴	8.6·10 ⁻⁵	2.2·10 ⁻⁴	1.2·10 ⁻⁵	4.9·10 ⁻⁵	1.2·10 ⁻⁴	1.8·10 ⁻⁵	1.7·10 ⁻⁵
Rosuvastatinas	1800	0.001	0.006	9.4·10 ⁻⁴	0.003	0.002	0.003	0.005	0.004	9.7·10 ⁻⁴	0.001	0.002	0.002	0.001	0.004	0.001	0.002
Sulfametoksazolas	600	0.002	0.02	0.004	0.004	0.004	9.2·10 ⁻⁴	0.009	0.01	0.004	0.01	0.02	0.004	0.008	0.01	0.01	0.006
Telmisartanas	49000	6.0·10 ⁻⁴	7.9·10 ⁻⁴	1.6·10 ⁻⁴	2.1·10 ⁻⁴	4.5·10 ⁻⁴	3.4·10 ⁻⁴	8.4·10 ⁻⁴	7.9·10 ⁻⁴	9.6·10 ⁻⁵	2.1·10 ⁻⁴	7.5·10 ⁻⁴	1.2·10 ⁻⁴	2.2·10 ⁻⁴	2.6·10 ⁻⁴	9.7·10 ⁻⁵	1.9·10 ⁻⁴
Trimetoprimas	120000	9.6·10 ⁻⁶	4.5·10 ⁻⁵	2.6·10 ⁻⁵	1.7·10 ⁻⁵	9.6·10 ⁻⁶	8.3·10 ⁻⁶	1.1·10 ⁻⁵	3.0·10 ⁻⁵	2.1·10 ⁻⁵	2.4·10 ⁻⁵	4.5·10 ⁻⁵	2.8·10 ⁻⁵	2.6·10 ⁻⁵	1.3·10 ⁻⁵	2.0·10 ⁻⁵	1.8·10 ⁻⁵
Venlafaksinas	880	0.02	0.02	0.009	0.02	0.010	0.3	0.03	0.03	0.01	0.02	0.04	0.006	0.009	0.03	0.008	0.005

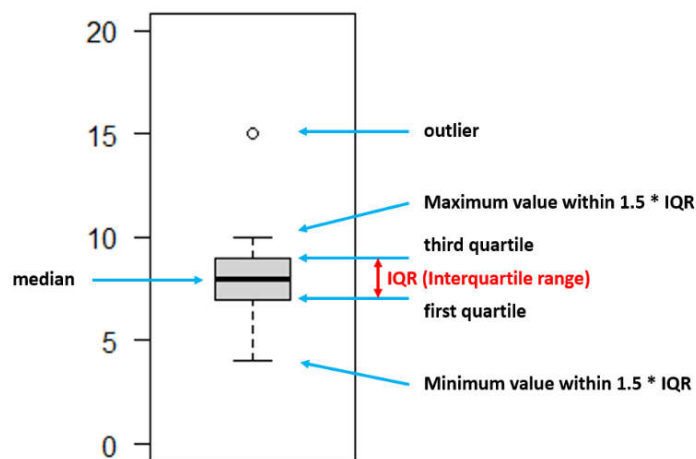
SI 1 pav.: VFM pašalinimo efektyvumas visose NV per vasaros ir žiemos mėginių ėmimo kampaniją (atitinkamai pagal vieną mėginį iš nuotekų valyklos įtekančio ir ištekančio srauto).











SI 2 pav: paaiškinimas, kaip skaityti naudojamas box-plot diagramas, kurios grafiškai parodo duomenų pasiskirstymą. Mediana rodo duomenų aibės vidurį (50 % visų duomenų taškų yra aukščiau / žemiau), o pirmasis / trečiasis kvartilis rodo vertę, žemiau kurios yra 25 % / 75 % visų duomenų taškų. Tarpkvartilinis intervalas (IQR) apibrėžia box-plot aukštį ir rodo intervalą, kuriame gali būti 50 % visų duomenų taškų. Iš abiejų box-plot pusių išsitiesia šukės, apimančios didžiausią ir (arba) mažiausią duomenų tašką, esantį $1,5 \times \text{IQR}$ atstumu nuo viršutinio ir (arba) apatinio box-plot galo. Taigi, šios šukės gali būti skirtingo ilgio. Duomenų taškai, esantys už šleifo ribų, laikomi nukrypimais. Paveikslas paimtas iš (Stapfir Zhiteneva, 2021).

SI 3 lentelė: Klausimyno atsiliepimai apie naudojamas pirminius valymo procesus. X = naudojama valymo technologija, minuso ženklas (-) reiškia, kad technologija nenaudojama.

Šalis	NV	Grotos	Smėlio ir (arba) žvyro šalinimas	Sedimentacija/ nusodintuvai	Kita
Lietuva	Joniškis	-	X	-	-
	Klaipėda	X	X	X	-
	Kretinga	X	X	-	-
	Mažeikiai	X	X	-	-
	Radviliškis	X	X	-	-
	Rokiškis	X	X	-	-
	Šiauliai	X	X	X	-
	Telšiai	X	X	-	Rotaciniai sietai
Latvija	Aizputė	X	-	-	-
	Bauskė	X	X	-	-
	Daugpilis	X	-	-	-
	Duobelė	X	X	-	-
	Kuldyga	X	X	-	-
	Liepoja	X	-	-	-
	Saldus	X	X	-	-
	Talsai	X	-	-	-

SI 4 lentelė: Klausimyno atsiliepimai apie naudojamą tretinį apdorojimą (įskaitant dezinfekavimo technologijas). Minuso ženklas (-) rodo, kad duomenų nėra.

Šalis	NV	Tretinis valymas
Lietuva	Joniškis	-
	Klaipėda	-
	Kretinga	Adsorbicija + mikrofiltrai
	Mažeikiai	-
	Radviliškis	-
	Rokiškis	Diskiniai filtrai
	Šiauliai	-
	Telšiai	-
	Aizputė	-
Latvija	Bauskė	-
	Daugpilis	-
	Duobelė	-
	Kuldyga	-
	Liepoja	-
	Saldus	-
	Talsai	-

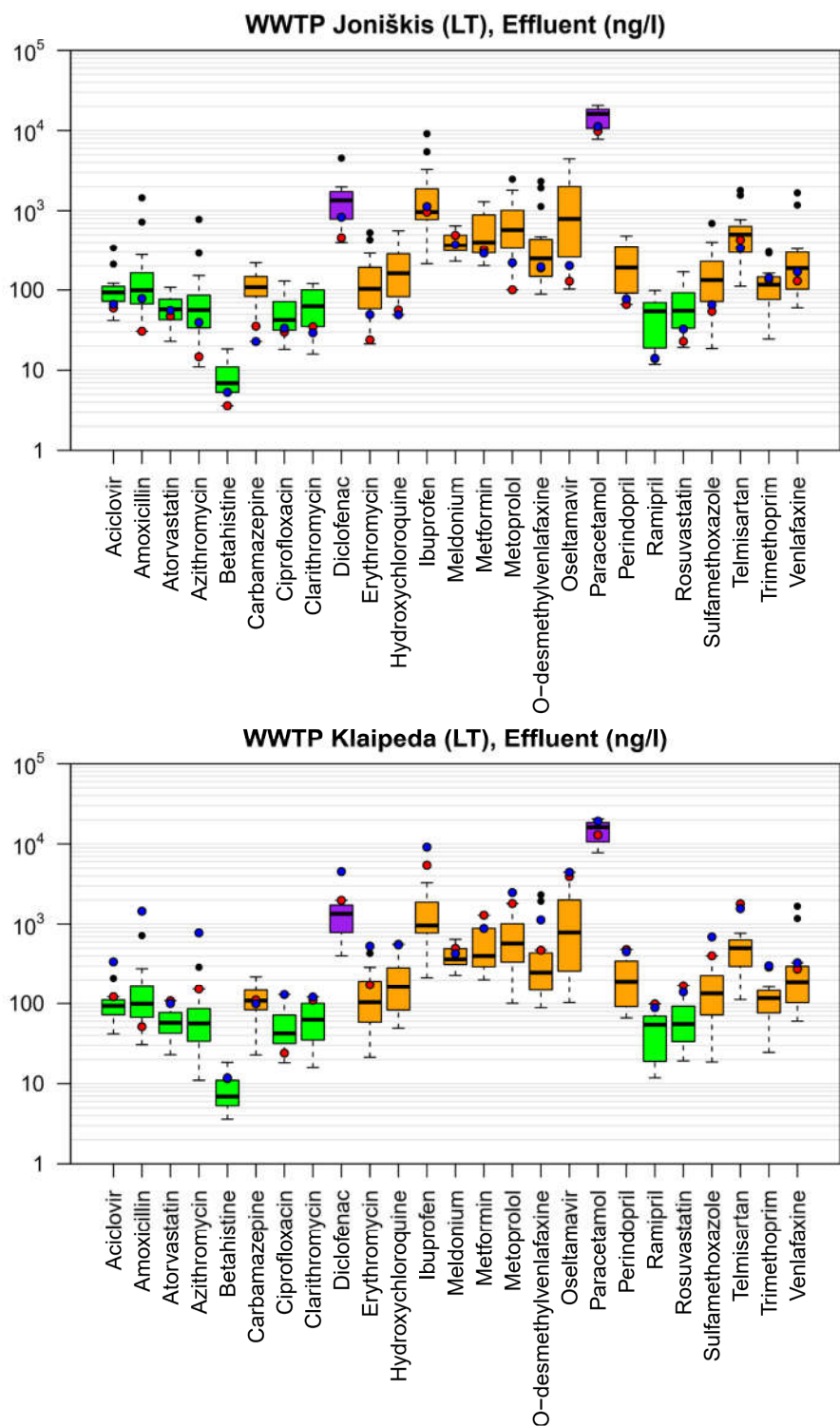
SI 5 lentelė: Lietuvos ir Latvijos NV aptiktų VFM koncentracijų medianų palyginimas įtekančiame (WWTP influent) ir ištekančiame (WWTP effluent). Spalvomis pažymėti skirtingi koncentracijos medianos santykio intervalai (LT/LV): žalia = 0,67-1,5, geltona = 0,5-0,67 arba 1,5-2,0, raudona = ≤ 0,5 arba ≥ 2,0.

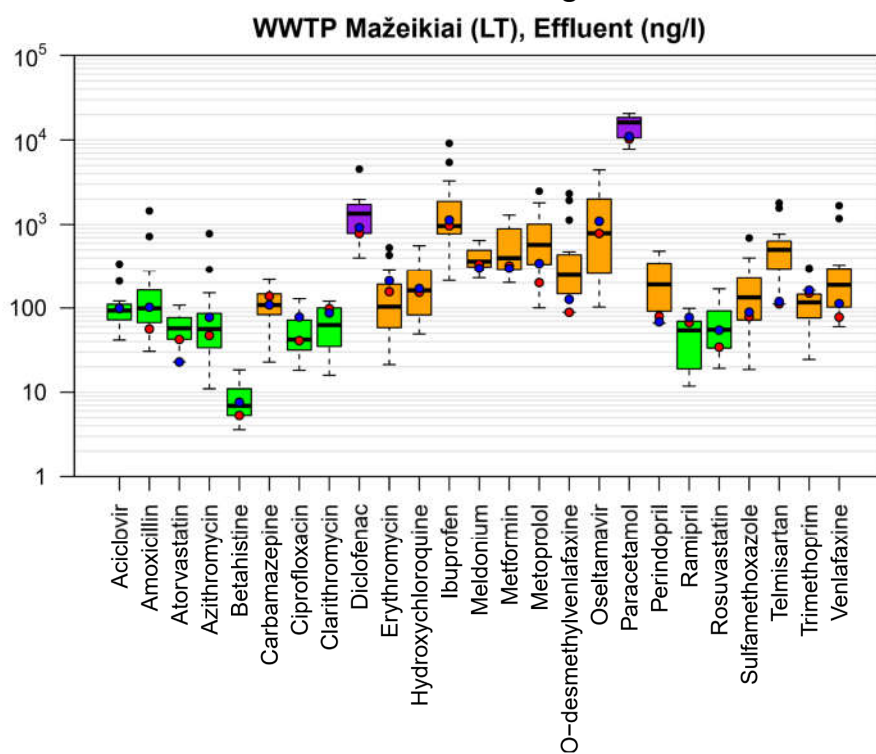
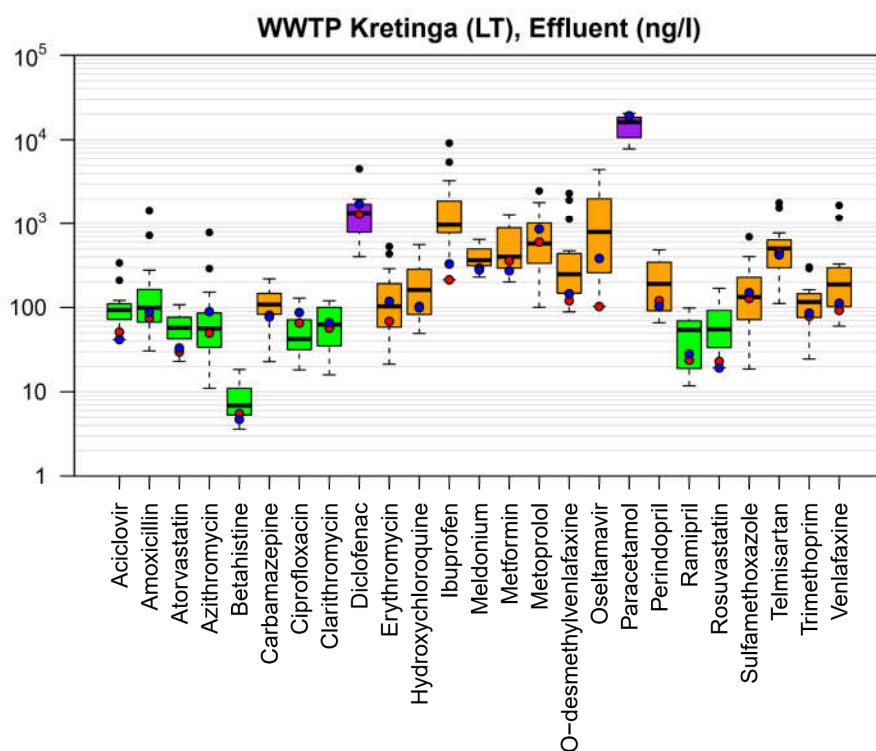
API	WWTP influent			WWTP effluent		
	LT (ng/l)	LV(ng/l)	Ratio LT/LV	LT (ng/l)	LV(ng/l)	Ratio LT/LV
Aciclovir	139	62	2.24	93	43	2.16
Amoxicillin	210	145	1.45	99	82	1.21
Atorvastatin	78	62	1.26	57	32	1.78
Azithromycin	97	120	0.81	56	70	0.8
Betahistine	18	20	0.9	7	12	0.58
Carbamazepine	193	114	1.69	108	89	1.21
Ciprofloxacin	80	108	0.74	42	42	1
Clarithromycin	97	133	0.73	63	61	1.03
Diclofenac	2901	3202	0.91	1347	1356	0.99
Erythromycin	250	171	1.46	103	73	1.41
Hydroxychloroquine	282	91	3.1	162	52	3.12
Ibuprofen	18289	6203	2.95	963	953	1.01
Meldonium	622	839	0.74	364	525	0.69
Metformin	635	540	1.18	401	356	1.13
Metoprolol	833	1659	0.5	574	658	0.87
O-desmethylvenlafaxine	437	339	1.29	249	192	1.3
Oseltamavir	1595	590	2.7	788	269	2.93
Paracetamol	26191	6585	3.98	16161	1743	9.27
Perindopril	406	339	1.2	191	189	1.01
Ramipril	94	72	1.31	54	40	1.35
Rosuvastatin	94	70	1.34	55	39	1.41
Sulfamethoxazole	235	384	0.61	133	139	0.96
Telmisartan	825	452	1.83	503	133	3.78
Trimethoprim	189	206	0.92	116	88	1.32
Venlafaxine	329	205	1.6	188	90	2.09

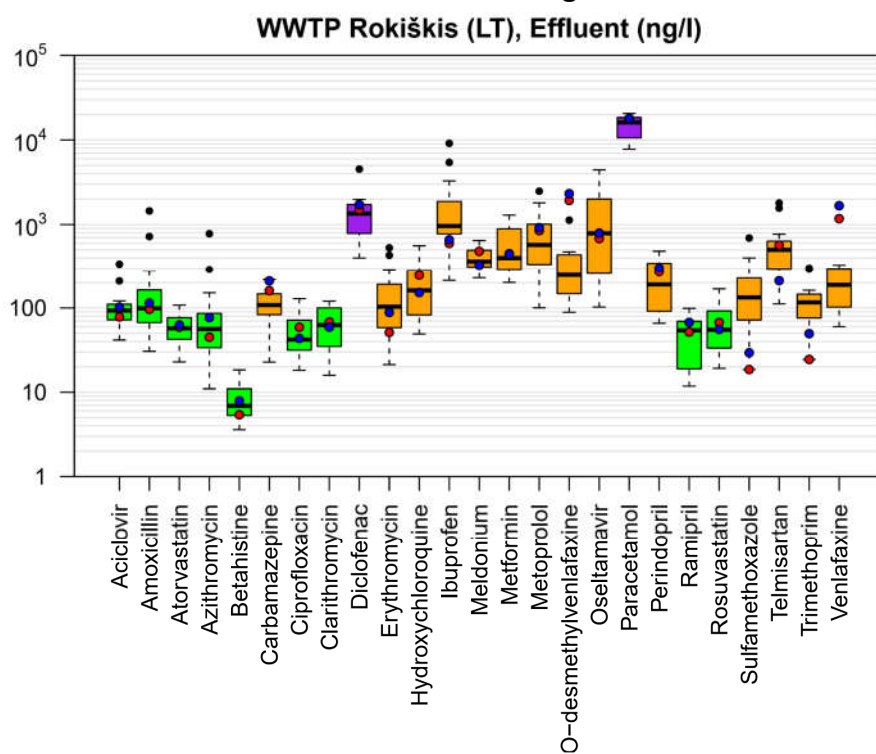
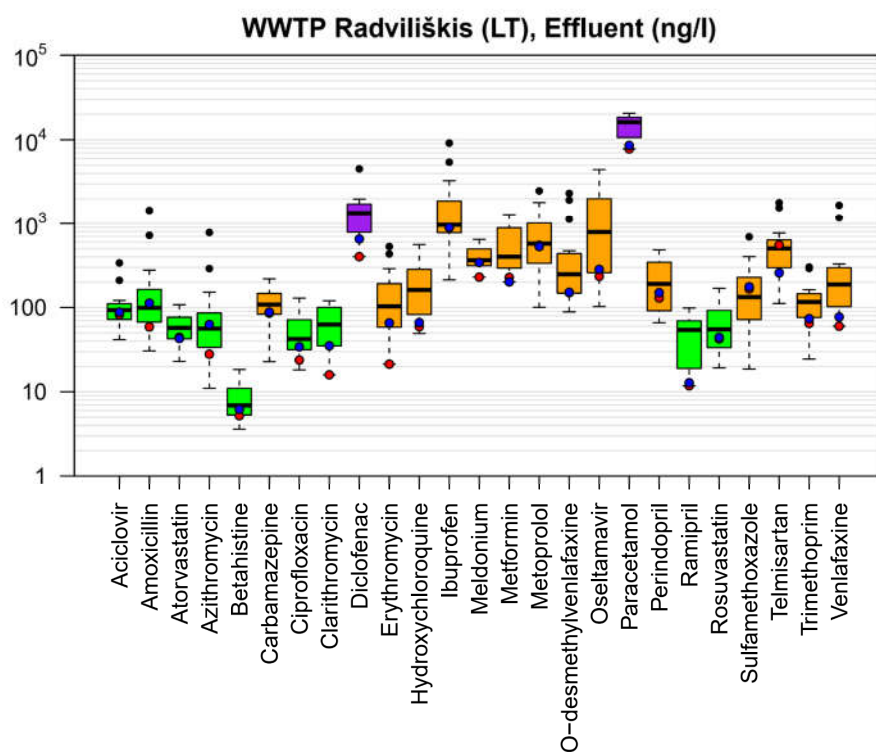
SI 6 lentelė: Bendras VFM pašalinimas iš Latvijos (LV) ir Lietuvos (LT) NV per vasaros ir žiemos mėginių ėmimo kampaniją. Spalvomis pažymėta, ar pašalinta < 40 % (oranžinė), nuo 40 iki 50 % (auksinė), nuo 50 iki 60 % (šviesiai žalia) arba daugiau kaip 60 % (žalia).

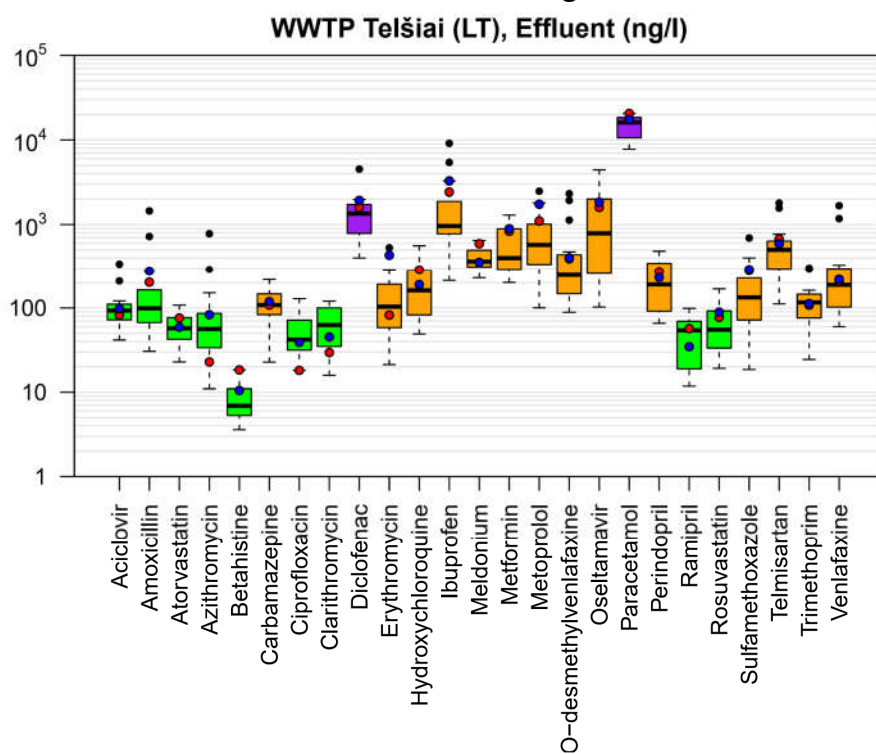
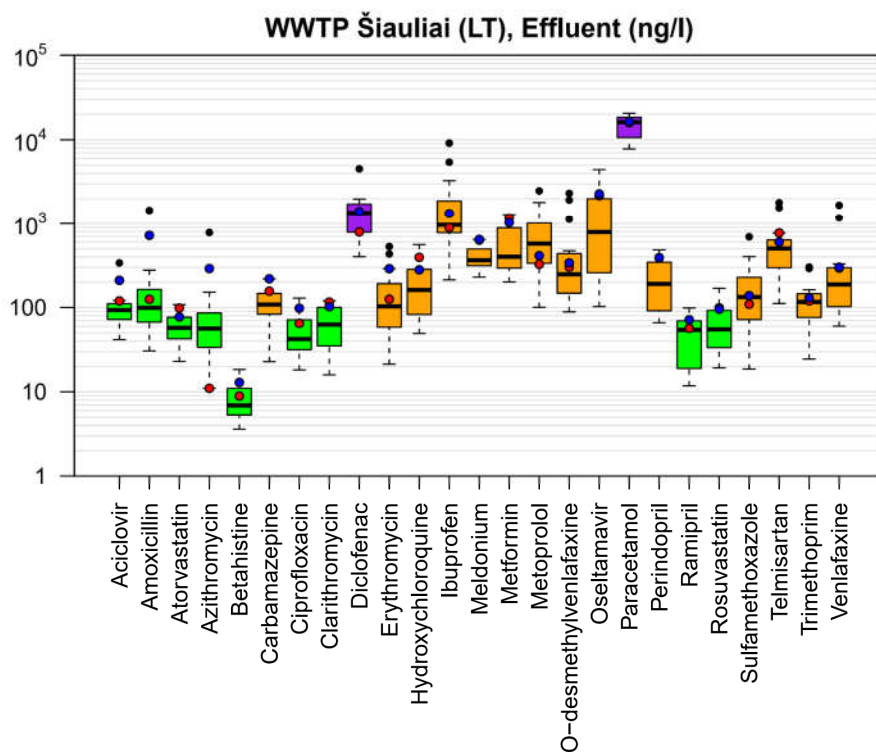
NV	Šalis	Vasara	Žiema	Vidurkis
Telšiai	LT	39.6%	46.2%	42.9%
Mažeikiai	LT	42.1%	43.9%	43.0%
Rokiškis	LT	40.7%	45.7%	43.2%
Radviliškis	LT	45.0%	45.7%	45.4%
Šiauliai	LT	47.0%	45.0%	46.0%
Kuldyga	LV	43.3%	49.9%	46.6%
Kretinga	LT	44.3%	49.1%	46.7%
Joniškis	LT	47.6%	47.4%	47.5%
Liepoja	LV	48.6%	49.5%	49.1%
Daugpilis	LV	48.7%	49.8%	49.3%
Bauskė	LV	54.1%	48.3%	51.2%
Klaipėda	LT	52.4%	50.1%	51.3%
Saldus	LV	55.1%	49.7%	52.4%
Talsai	LV	54.5%	54.3%	54.4%
Aizputė	LV	59.2%	53.0%	56.1%
Duobelė	LV	66.3%	54.0%	60.2%
Vidurkis LT:		44.8%	46.6%	45.7%
Vidurkis LV:		53.7%	51.1%	52.4%

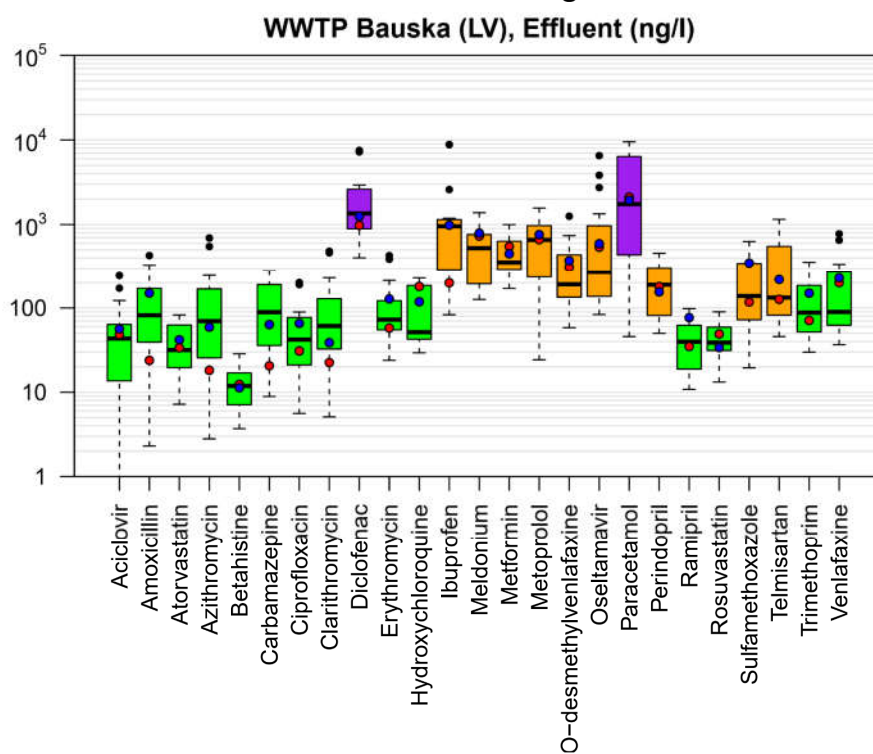
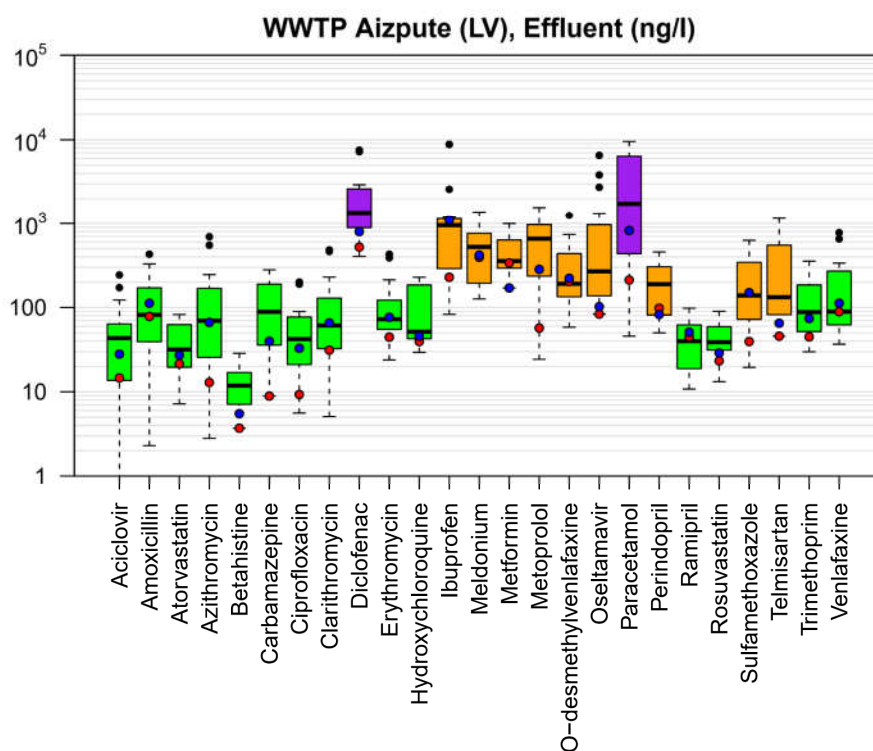
SI 3 pav.: VFM koncentracijos vienoje konkrečioje NV, lyginant su visų Latvijos ir Lietuvos NV VFM koncentracijų diapazonu, išmatuotu vykdant MEDWwater projektą. Raudoni taškai rodo vasaros mėginių ėmimo kampaniją, o mėlyni - žiemos mėginių ėmimo kampaniją. Spalvomis pažymėti skirtingi koncentracijos lygiai, atsižvelgiant į koncentracijos medianą: > 1000 ng/l (violetinė), 100-1000 ng/l (oranžinė) ir < 100 ng/l (žalia).

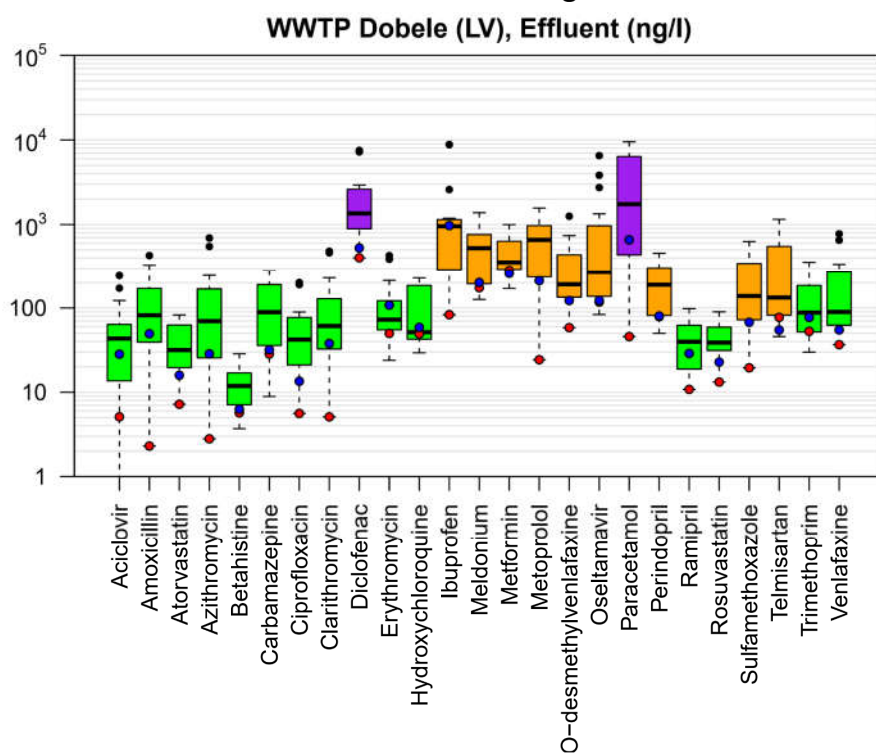
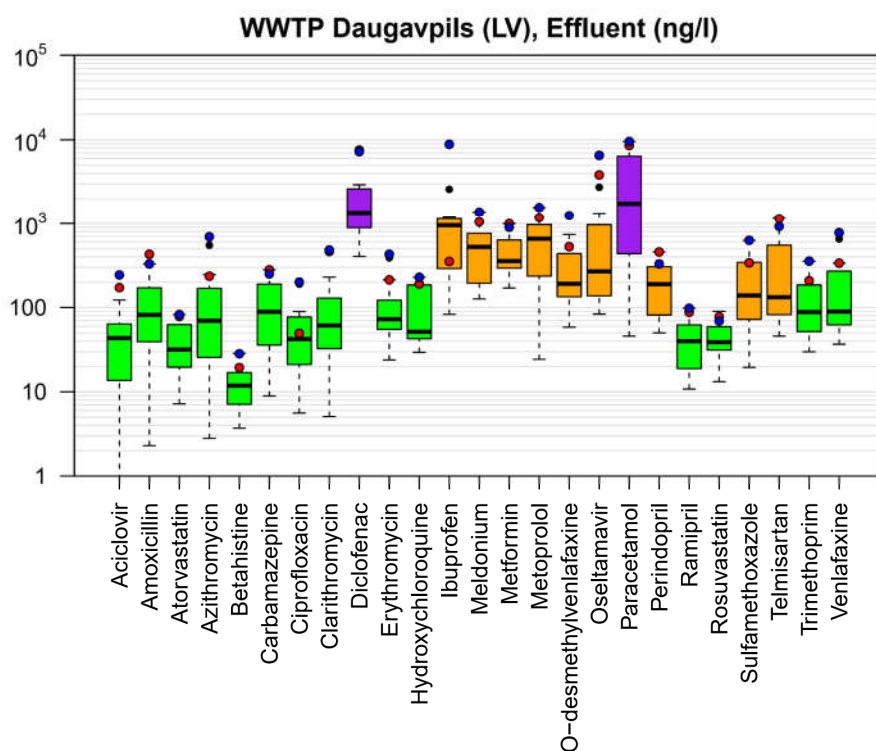


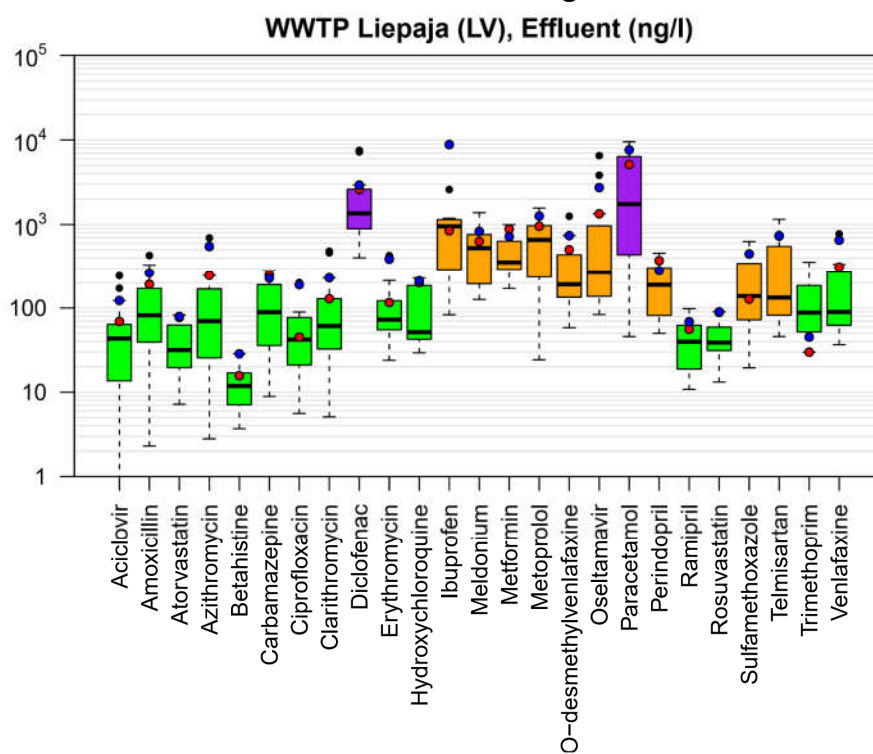
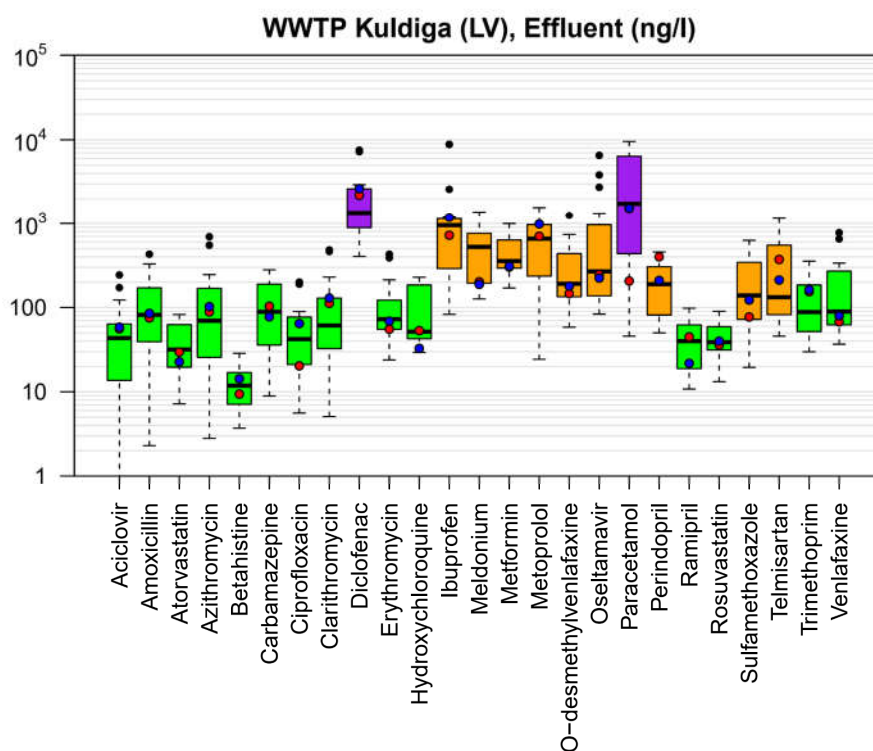


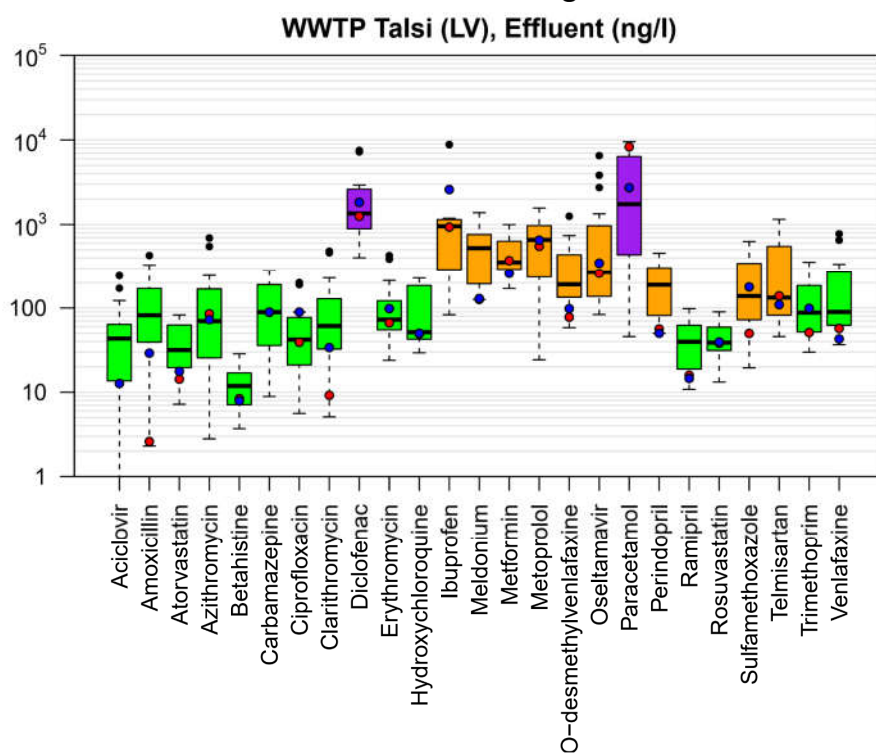
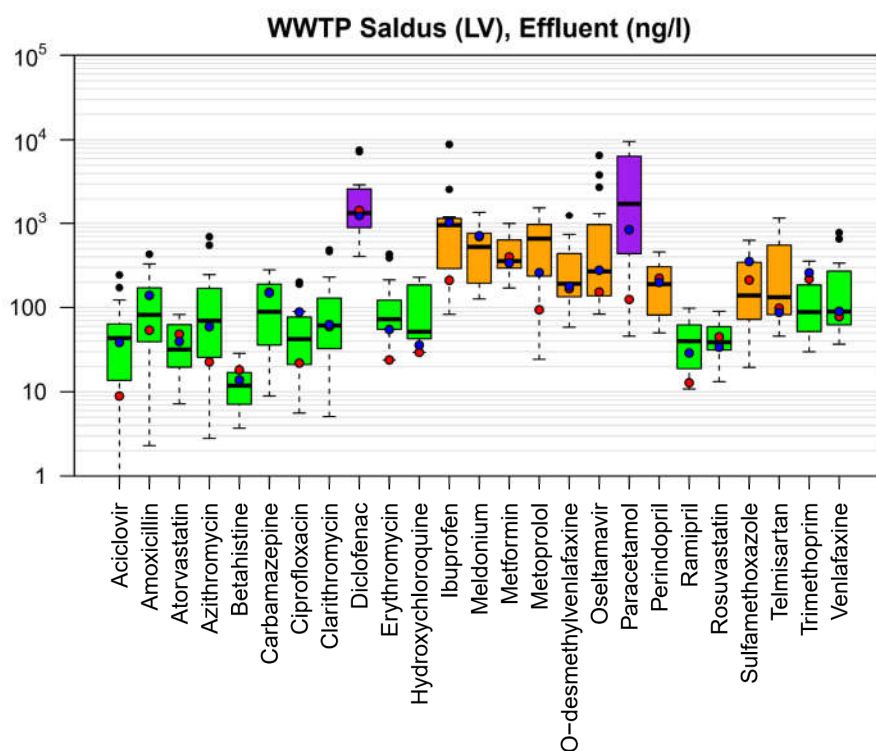












SI-Lentelė 7. VFM pašalinimo įprastiniu biologiniu valymu Kretingos ir Klaipėdos nuotekų valyklose palyginimas, pateiktas projektuose MORPHEUS (Langas ir kt., 2019) , "Less is More" (Gražinskas, 2021) ir šiame tyrime ("MEDWwater", vasaros ir žiemos mėginių ėmimo kampanijos vidutinis sumažėjimas).

	Kretinga			Klaipėda		
	MORPHEUS	Less Is More	MEDWwater	MORPHEUS	Less Is More	MEDWwater
Azitromicinas	96%	83%	40%	77%	-	60%
Karbamazepinas	-2%	10%	37%	-6%	-	69%
Ciprofloksacinas	96%	91%	23%	99%	-	75%
Klaritromicinas	90%	64%	43%	48%	-	61%
Diklofenakas	29%	19%	47%	23%	-	60%
Ibuprofenas	100%	100%	98%	100%	-	79%
Metoprololis	70%	39%	34%	22%	-	51%
Paracetamolis	100%	100%	28%	100%	-	58%
Sulfametoksazolas	83%	88%	53%	47%	-	49%
Trimetoprimas	-	82%	42%	-	-	40%
Venlafaksinas	-	-23%	46%	-	-	55%