



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

UV spinduliavimo ir ozonavimo procesų taikymas baseino modelinio vandens dezinfekavimui

Baigiamasis magistro projektas

Vilija Minikevičiūtė

Projekto autorė

Doc. Dalia Jankūnaitė

Vadovė

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas
Cheminės technologijos fakultetas

UV spinduliavimo ir ozonavimo procesų taikymas baseino modelinio vandens dezinfekavimui

Baigiamasis magistro projektas
Aplinkosaugos inžinerija (6211EX003)

Vilija Minikevičiūtė

Projekto autorė

Doc. Dalia Jankūnaitė

Vadovė

Dr. Vytautas Abromaitis

Recenzentas

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Vilija Minikevičiūtė

UV spinduliavimo ir ozonavimo procesų taikymas baseino modelinio vandens dezinfekavimui

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Vilijos Minikevičiūtės, baigiamasis projektas tema „UV spinduliavimo ir ozonavimo procesų taikymas baseino modelinio vandens dezinfekavimui“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Minikevičiūtė Vilija. UV spinduliavimo ir ozonavimo procesų taikymas baseino modelinio vandens dezinfekavimui. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. Dalia Jankūnaitė; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Aplinkos inžinerija, inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: pažangioji oksidacija, ozonas, UV spinduliuotė, dezinfekavimas.

Kaunas, 2019. 50 p.

Santrauka

Švarus ir kokybiškas vanduo yra svarbus visuomenės sveikatai užtikrinti. Rekreacinėms reikmėms, pavyzdžiui, baseinams, skirtas vanduo taip pat turi būti valomas ir atitikti keliamus reikalavimus. Baseinų tarša gali būti mikrobiologinė ir cheminė, o jai pašalinti reikia parinkti tinkamą metodą. Pažangioji oksidacija yra viena iš alternatyvų įprastiems baseino vandens valymo būdams.

Tyrimo metu naudojant pažangiosios oksidacijos procesus buvo atliekamas modelinio baseino vandens dezinfekavimas. Tirti šie procesai: ozonavimas (O_3), ultravioletinis (UV) spinduliavimas ir fotolitinis ozonavimas (O_3+UV). Nustatyta skirtingos ozono koncentracijos, kūno skysčių analogo ir mikrobiologinio užkrato įtaka vandens išvalymo efektyvumui. Pažangiosios oksidacijos įrenginio efektyvumas vertintas periodinio ir nuolatinio veikimo sąlygomis. Eksperimentų metu naudotas modelinis baseinų vanduo su kūno skysčių analogais ir mikrobiologiniu užkratu, siekiant imituoti baseino lankytojų sukeltą taršą. Vandens išvalymo efektyvumas vertintas pagal po dezinfekavimo išaugusių kolonijų skaičių mažėjimą.

Gauti rezultatai parodė, kad bakterijų inaktyvavimo efektyvumas yra didesnis, kai oksidacijos būdai taikomi kombinuotai, o ne atskirai. Kuo ozono koncentracija didesnė, tuo didesnis ir vandens išvalymo efektyvumas. Kūno skysčių analogo koncentracija ir pradinio užkrato kiekis tiriamajame vandenyje išvalymo efektyvumui turi nedidelę įtaką pirmosiomis proceso minutėmis. Taikant skirtingas metodų kombinacijas visais atvejais pasiekiamas didesnis nei 99,9 % modelinio vandens išvalymo efektyvumas, tačiau skiriasi dezinfekavimo trukmė. Periodinio veikimo įrenginyje modelinis vanduo iki reikiamo lygio išvalomas maždaug per 3 – 4 min., o nuolatinio veikimo sąlygomis – per 80 min.

Minikevičiūtė Vilija. Application of UV Radiation and Ozonation Processes for the Disinfection of Model Swimming Pool Water. Master's Final Degree Project / supervisor doc. Dalia Jankūnaitė, Faculty of Chemical technology, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Environmental Engineering, Engineering Sciences.

Keywords: advanced oxidation, ozone, UV irradiation, disinfection.

Kaunas, 2019. 50 p.

Summary

Quality of water is very important for people health and well-being. The quality of recreational water, for example, in swimming pools, must be as good as drinking water. Water hazards in swimming pool can be chemical and microbiological and therefore require appropriate treatment to remove disease-causing agents. Advanced oxidation processes are an alternative to classical water treatment methods.

This study demonstrates the reduction of bacteria from model swimming pool water when the water is treated with advanced oxidation processes, such as ozone (O₃), ultraviolet light (UV) and photolytic ozonation. Efficiency of the bench-scale advanced oxidation reactor was tested in conditions for periodic and continuous operation. An artificial body fluid analogue with addition of bacteria was used to simulate bather load. The performance was estimated in terms of microbial inactivation.

The results showed that bacteria inactivation efficiency of the combined O₃/UV process was higher when oxidation methods are used combined, not separated. The higher ozone concentration results the higher water treatment efficiency. The concentration of body fluid analogue and microbiological contamination has a small effect on water treatment efficiency during the first minutes of the process. Using different combinations of methods, in all cases, the efficiency of model water purification reaches 99,9%, but the duration of disinfection varies. In periodic operation the model water is cleaned up to the required level within 3 – 4 minutes, in continuous operation – within 80 minutes.

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslų sąrašas	8
Santrumpos	9
Įvadas	10
1. Literatūros apžvalga	11
1.1. Baseinų tipai ir paskirtis	11
1.2. Baseinų visuomenės sveikatos saugos reikalavimai	11
1.2.1. Baseinų vandens kokybės rodikliai	11
1.2.2. Pasaulio sveikatos organizacijos rekomendacijos.....	14
1.3. Baseinų vandens kokybė	14
1.3.1. Mikrobiologinė tarša	15
1.3.2. Cheminės medžiagos baseinų vandenyje	16
1.4. Baseinų vandens valymo metodų apžvalga.....	17
1.4.1. Vandens filtravimas.....	18
1.4.2. Vandens skaidrinimas atliekant koaguliaciją.....	19
1.4.3. Vandens dezinfekavimo būdai.....	20
1.5. Pažangioji oksidacija mikrobiologinės taršos šalinimui.	23
1.6. Šalutiniai dezinfekavimo produktai	24
1.7. Baseinų vandens valymo technologijų tyrimo aspektai	26
1.8. Kūno skysčių analogai.....	26
1.9. Literatūros apžvalgos apibendrinimas.....	27
2. Tyrimų metodika	28
2.1. Eksperimentinių tyrimų įranga ir eiga.....	28
2.1.1. Tyrimas periodinio veikimo sąlygomis	28
2.1.2. Tyrimas nuolatinio veikimo sąlygomis	30
2.2. Modelinis vanduo.....	31
2.3. Analizės metodai.....	32
2.3.1. Bendrojo mikroorganizmų skaičiaus vandenyje nustatymas.....	32
2.3.2. <i>E. coli</i> ir koliforminių bakterijų bendrojo skaičiaus nustatymas	33
2.3.3. Bendroji organinė anglis.....	33
3. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas	35
3.1. Skirtingų pažangiosios oksidacijos metodų taikymas užteršto vandens valymui.....	35
3.2. Organinių medžiagų įtaka fotolitinio ozonavimo efektyvumui.....	37
3.3. Mikroorganizmų kiekio įtaka vandens išvalymo efektyvumui.....	38
3.4. Pažangiosios oksidacijos taikymas modelinio baseino vandens valymui	40
3.4.1. Bendrojo mikroorganizmų skaičiaus kitimas nuolatinio veikimo pažangiosios oksidacijos įrenginyje.....	40
3.4.2. <i>E. coli</i> ir koliforminių bakterijų skaičiaus kitimas nuolatinio veikimo pažangiosios oksidacijos įrenginyje	41
Išvados ir apibendrinimai	45
Literatūros sąrašas	46

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Baseino vandens mikrobinės taršos, fizikiniai ir cheminiai rodikliai [4].....	12
1.1 lentelės tęsinys	13
1.2 lentelė. Baseino vandens pasikeitimo trukmės reikalavimai [4].....	14
1.3 lentelė. Skirtingų vandens dezinfekavimo būdų privalumai ir trūkumai [8, 22].....	20
2.1 lentelė. Dezinfekavimo metodų tyrimo sąlygos	29
2.2 lentelė. Sąlygos organinių medžiagų ir mikroorganizmų kiekio įtakos įvertinimui	30
2.3 lentelė. Nuolatinio veikimo įrenginio tyrimo sąlygos.....	30
2.4 lentelė. Modelinio vandens sudėtis	31
2.5 lentelė. Kūno skysčių analogo sudėtis [49]	32
3.1 lentelė. Skirtingų dezinfekavimo metodų efektyvumo palyginimas.....	37
3.2 lentelė. Vandens išvalymo efektyvumo priklausomybė nuo organikos kiekio ir pradinio užterštumo lygio	40
3.3 lentelė. Modelinio vandens išvalymo efektyvumas nuolatinio veikimo pažangiosios oksidacijos įrenginyje.....	42

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Potencialūs mikrobiologinės taršos sukėlėjai baseinuose ir panašioje aplinkoje [8, 12] ...	15
1.2 pav. Cheminių medžiagų patekimo būdai į baseino vandenį [8]	16
1.3 pav. Vandens valymo schema įprasto tipo baseine [8]	18
1.4 pav. Ozonavimo sistemos schema [27]	22
1.5 pav. Tipinio UV reaktoriaus schema [27]	23
1.6 pav. Pažangiosios oksidacijos procesai [33].....	24
2.1 pav. Pažangiosios oksidacijos įrenginio principinė schema[46]	28
2.2 pav. Modifikuota pažangiosios oksidacijos įrenginio schema	31
3.1 pav. Kolonijų skaičiaus kitimo dinamikos priklausomybė nuo dezinfekavimo būdo ir ozono koncentracijos	35
3.2 pav. Kolonijų skaičiaus kitimo dinamikos priklausomybė nuo dezinfekavimo tipo ir ozono koncentracijos, taikant kombinuotą metodą.....	36
3.3 pav. Kolonijų skaičiaus kitimo dinamikos priklausomybė nuo organinių medžiagų koncentracijos vandenyje	38
3.4 pav. Kolonijų skaičiaus kitimo dinamikos priklausomybė nuo mikroorganizmų kiekio pradiniuose mėginiuose.....	39
3.5 pav. Kolonijų skaičiaus kitimas nuolatinio reaktoriaus veikimo sąlygomis	40
3.6 pav. <i>E. coli</i> ir koliforminių bakterijų kiekio kitimas nuolatinio veikimo DBI įrenginyje.....	41
3.7 pav. Išaugusių ant chromogeninio agaro kolonijų vaizdas.....	43

Santrumpos

BOA – bendroji organinė anglis;

HAA – haloacetatinė rūgštis;

O₃ – ozonas;

THM – trihalometanas;

UV – ultravioletinė spinduliuotė.

Įvadas

Švarus ir kokybiškas vanduo yra svarbus visuomenės sveikatai užtikrinti. Valomas turi būti ne tik geriamasis, bet ir kitoms reikmės naudojamas vanduo, pavyzdžiui, baseinams. Baseino terpė yra palanki įvairiems mikroorganizmams daugintis, dėl to gali suprastėti vandens kokybė bei plisti ligos. Taip pat iš aplinkos patenka ir kiti teršalai, įvairios cheminės medžiagos.

Siekiant užtikrinti baseino vandens kokybę, reikia laikytis nustatytų higienos normų bei tinkamai valyti vandenį. Nors yra daug filtravimo bei dezinfekavimo būdų, ne visada vanduo išvalomas kokybiškai. Tam daro įtaką teršalų gausa bei ne iki galo ištyrinėta dezinfekcinių priemonių sąveika su cheminėmis medžiagomis, patenkančiomis į baseinų vandenį. Didelis dėmesys skiriamas ir valymo metu susidarantiems šalutiniams produktams, dėl to svarbu teisingai parinkti vandens valymo technologiją [1]. Be to, ne visi dezinfekavimo būdai yra efektyvūs šalinant mikrobiologinę taršą. Pastaruoju metu siekiama taikyti tokius valymo metodus, kurie būtų ne tik efektyvūs baseinų vandens taršos šalinimui, bet ir draugiški aplinkai.

Darbo tikslas – įvertinti kombinuotos vandens valymo technologijos tinkamumą modelinio baseinų vandens dezinfekavimui.

Uždaviniai:

1. apžvelgti baseinų vandens užterštumo problematiką ir atlikti vandens valymo metodų analizę;
2. ištirti atskirų oksidavimo veiksnių ir jų kombinacijos (O_3 , UV, O_3+UV) įtaką modelinio baseino vandens išvalymo efektyvumui;
3. įvertinti ozono koncentracijos, organinių medžiagų kiekio ir mikrobiologinio užterštumo įtaką dezinfekavimo efektyvumui;
4. ištirti ozonavimo ir UV spinduliavimo efektyvumą reaktoriui veikiant periodinio ir nuolatinio veikimo sąlygomis.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Baseinų tipai ir paskirtis

Yra daug baseinų tipų, nuo kurių priklauso ir valymo metodų pasirinkimas. Baseinai skiriasi savo funkcijomis (plaukimo, sportiniai, sveikatingumo, nardymo, skirti terapijai ar mokymui ir pan.), dydžiu, palaikomomis sąlygomis (vandens temperatūra, valymo mechanizmas). Jie gali būti vidaus ir lauko, vieši ir privatūs, pripildomi paviršiniu, gruntiniu, jūros ar terminiu vandeniu. Taip pat vienuose baseinuose vanduo nuolat atnaujinamas, papildomas šviežiu, o kituose vyksta vandens recirkuliacija (vanduo išvalomas ir gražinamas atgal į baseiną). Daugumoje viešųjų plaukimo baseinų vyksta vandens recirkuliacija [2].

Šiuo metu didėja ir natūraliųjų baseinų populiarumas. Tai lauko baseinai, kuriems valyti nenaudojamos cheminės medžiagos. Jie yra apsodinami įvairiais augalais, kurie sukuria valančią vandenį ekosistemą. Kadangi ekologiškuose baseinuose nenaudojama jokia chemija, jiems reikia išskirtinės priežiūros – kruopštaus įrengimo, aeracijos bei mechaninio valymo (valymo rankiniu būdu, filtravimo) [3].

1.2. Baseinų visuomenės sveikatos saugos reikalavimai

Siekiant užtikrinti plaukimo baseinų vandens kokybę yra taikomi griežti reikalavimai ir kontrolės priemonės. Baseinuose naudojamas vanduo turi atitikti Lietuvos higienos normos HN 109:2016 „Baseinų visuomenės sveikatos saugos reikalavimai“ (toliau HN 109:2016) reikalavimus [4].

Paslaugoms teikti naudojamas gėlas vanduo turi atitikti higienos normos HN 24:2017 „Geriamojo vandens saugos ir kokybės reikalavimai“ reikalavimus, t.y. neviršyti nustatytų mikrobiologinės ir toksinės (cheminės) taršos leistinų dydžių [5], o mineralinis ir jūros vanduo iki paruošimo turi atitikti reikalavimus, kurie pateikti higienos normoje HN 127:2010 „Mineralinis ir jūros vanduo išoriniam naudojimui. Sveikatos saugos reikalavimai“ [6].

1.2.1. Baseinų vandens kokybės rodikliai

Baseinų vandens kokybė nustatoma pagal mikrobinės taršos ir fizikinius bei cheminius rodiklius. Jie turi atitikti HN 109:2016 nurodytas reikšmes (žr. 1.1 lentelę). Baseino vanduo turi būti reguliariai papildomas šviežiu vandeniu.

Jeigu baseino vandens kokybės rodikliai neatitinka šios higienos normos reikalavimų (žr. 1.1 lentelę), turi būti nustatomos šių neatitikčių priežastys ir imamos priemonių vandens kokybei užtikrinti. Koregavimo priemonės vykdomos, kai baseine nėra paslaugų vartotojų [4].

1.1 lentelė. Baseino vandens mikrobinės taršos, fizikiniai ir cheminiai rodikliai [4]

Nr.	Rodiklio pavadinimas	Rodiklio reikšmė	Laboratorinių tyrimų atlikimo dažnis
	1	2	3
MIKROBINĖS TARŠOS RODIKLIAI			
1.	Koliforminių bakterijų bendras skaičius	mažiau nei 10 bakterijų 100 mL vandens	ne rečiau kaip vieną kartą per mėnesį
2.	Žarninės lazdelės (<i>Escherichia coli</i>)	neturi būti 100 mL vandens nustatant filtravimo metodu	ne rečiau kaip vieną kartą per mėnesį
		mažiau nei 1 bakterija, nustatant titrimetrijos metodu	ne rečiau kaip vieną kartą per mėnesį
3.	Auksinis stafilokokas (<i>Staphylococcus aureus</i>)	neturi būti 100 mL vandens	ne rečiau kaip vieną kartą per mėnesį
4.	Žaliamėlė pseudomona (<i>Pseudomonas aeruginosa</i>)	neturi būti 100 mL vandens	ne rečiau kaip vieną kartą per mėnesį
5.	Liamblijų cistos (<i>Giardia</i> spp.)	10 l neturi būti	ne rečiau kaip vieną kartą per ketvirtį
6.	Kriptosporidijų cistos (<i>Cryptosporidium</i> spp.)	10 L neturi būti	ne rečiau kaip vieną kartą per ketvirtį
7.	Helmintų kiaušinėliai	10 L neturi būti	ne rečiau kaip vieną kartą per ketvirtį
8.	Legionelės (<i>Legionella</i> spp.) (karšto vandens baseinuose, pvz., sūkurinėje vonioje ir pan.)	100 mL neturi būti	ne rečiau kaip vieną kartą per ketvirtį
FIZIKINIAI, CHEMINIAI RODIKLIAI			
9.	Vandenilio jonų koncentracija	pH 7,2 – 7,8, jeigu baseino vanduo dezinfekuojamas chloro junginiais	ne rečiau kaip vieną kartą per mėnesį
		pH 7,2 – 8,0, jeigu baseino vanduo dezinfekuojamas bromo junginiais	ne rečiau kaip vieną kartą per mėnesį
10.	Drumstumas	mažesnis nei 0,5 FNU (nefelometriniai drumstumo vienetai)	ne rečiau kaip vieną kartą per mėnesį
11.	Chloroformas (jeigu vandens dezinfekcijai naudojamas chloras ir ar jo junginiai)	ne daugiau 0,1 mg/L	ne rečiau kaip vieną kartą per ketvirtį
12.	Amoniakas (pagal NH ₄ ⁺)	ne daugiau 0,5 mg/L	ne rečiau kaip vieną kartą per mėnesį
13.	Ozonas	ne daugiau 0,1 mg/L	ne rečiau kaip vieną kartą per mėnesį

1.1 lentelės tęsinys

14.	Aktyvaus chloro liekanos	nuo 1,0 iki 3,0 mg/L gėlo vandens baseinuose	ne rečiau kaip vieną kartą per mėnesį
		nuo 0,5 iki 3,0 mg/L mineralinio vandens, skiesto gėlu vandeniu mineralinio vandens ar jūros vandens baseinuose	ne rečiau kaip vieną kartą per mėnesį
		nuo 0,5 iki 3,0 mg/L, jeigu kartu su chloro junginiais naudojamas ozonas ar ultravioletiniai spinduliai	ne rečiau kaip vieną kartą per mėnesį
15.	Bromo liekanos	nuo 2,0 iki 5,0 mg/L gėlo vandens baseinuose	ne rečiau kaip vieną kartą per mėnesį
		nuo 1,5 iki 2,0 mg/L mineralinio vandens, skiesto gėlu vandeniu mineralinio vandens ar jūros vandens baseinuose	ne rečiau kaip vieną kartą per mėnesį
		nuo 1,5 iki 2,0 mg/L, jeigu kartu su bromo junginiais naudojamas ozonas	ne rečiau kaip vieną kartą per mėnesį
16.	Vandenilio peroksidas (vandeniniu vandenilio peroksido tirpalu su sidabro nitratu dezinfekuojamame vandenyje)	50 – 80 mg/L	ne rečiau kaip vieną kartą per mėnesį
17.	Baseino vandens dezinfekcijai naudojami kiti biocidiniai produktai	biocidinio produkto specialiosiose autorizacijos sąlygose nurodyta liekamoji biocidinio produkto koncentracija	ne rečiau kaip vieną kartą per mėnesį

Baseino vanduo turi cirkuliuoti, būti skaidrus. Tam atliekama filtracija, dezinfekavimas, stebimas rūgštingumas (pH), o esant smulkioms dalelėms, kurių filtras nesulaiko, gali būti atliekama ir koaguliacija.

Baseino vandens pasikeitimo trukmės pateiktos 1.2 lentelėje. Jei baseinas yra skirtingo gylio, tai vandens pasikeitimo trukmė nustatoma pagal mažiausią gylių.

Reikalavimai baseinų kokybei per laiką kinta. Pavyzdžiui, pagal senesnę higienos normos versiją HN 109:2005 „Baseinai. Įrengimo ir priežiūros saugos sveikatai reikalavimai“ Liamblijų cistų (*Giardia intestinalis*) ir Helmintų kiaušinėlių nebuvo galima aptikti 50 L vandens, o pagal HN 109:2016 vandens kiekis sumažintas iki 10 L [7].

1.2 lentelė. Baseino vandens pasikeitimo trukmės reikalavimai [4]

	Baseino tipas	Vandens pasikeitimo trukmė
1.	Baseinai, skirti plaukti:	
1.1	Nardymo ir (arba) šuolių į vandenį baseinas	4 – 8 val.
1.2	Sporto baseinas	3 – 4 val.
1.3	Kiti, skirti plaukti, trumpesni nei 25 m baseinai	2,5 – 3 val.
2.	Baseinai, neskirti plaukti (skirti gulėti, sėdėti, stovėti):	
2.1	iki 0,5 m gylio	10 – 45 min.
2.2	0,5 – 1 m gylio	0,5 – 1,25 val.
2.3	1 – 1,5 m gylio	1–2 val.
2.4	daugiau kaip 1,5 m gylio	2–2,5 val.

1.2.2. Pasaulio sveikatos organizacijos rekomendacijos

Pagal Pasaulio sveikatos organizacijos (PSO) rekomendacijas viešo ir dažno naudojimo baseinuose *E. coli* koncentracija turėtų būti tiriama kartą per savaitę. Bendras chloro kiekis vandenyje turi būti kuo mažesnis – idealiu atveju <0,2 mg/L [8]. Daugumos kitų rodiklių dydžiai atitinka nurodytus HN 109:2016.

Dezinfekavimo priemonėms parinkti svarbūs šie veiksniai:

- saugumas (svarbus veiksnys yra baseino darbuotojų sveikata);
- suderinamumas su tiekiamu vandeniu (būtina suderinti dezinfekavimo priemonės ir tiekiamo vandens rūgštingumą);
- baseino tipas ir dydis;
- dezinfekavimo priemonės gebėjimas likti vandenyje;
- baseino užimtumas;
- baseino priežiūros ir valdymo įgūdžiai.

1.3. Baseinų vandens kokybė

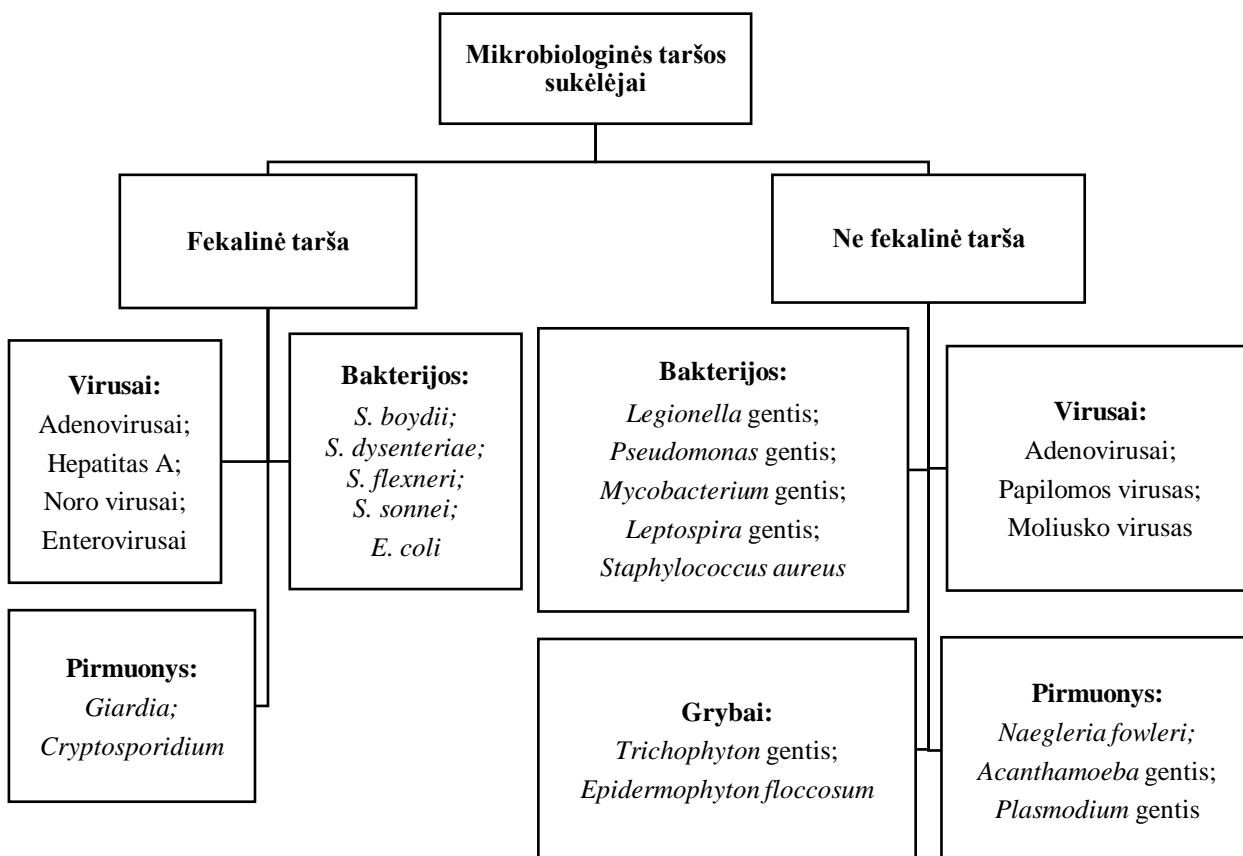
Nors yra nustatytos baseinų vandens kokybės rodiklių vertės, dažnai jos didesnės nei nurodyta. Baseinuose randami teršalai skirstomi į mikrobiologinius ir cheminius. Jie į baseinų vandenį gali patekti iš įvairių šaltinių: tiekiamo vandens, pačių baseino lankytojų (kūno išskyros, vaistiniai preparatai, losjonai ir kitos kosmetikos priemonės), pridėdant tiesioginiu būdu (dezinfekcinės priemonės, koagulantai, pH reguliatoriai). Dezinfekuojant vandenį chemiais bei fizikiniais metodais gali susidaryti platus spektras tarpinių junginių, kurie kartais yra pavojingesni už pirminius teršalus. Jų susidarymas priklauso nuo dezinfekcinių priemonių tipo bei dozės, vandens temperatūros, pH, lankytojų srauto, baseino tipo, patenkančių teršalų. Nors vandens dezinfekavimas yra svarbus siekiant sumažinti infekcijų ir ligų plitimą, papildomas dėmesys turi būti skiriamas tarpinių produktų susidarymui, nes jie yra potencialūs kitų ligų sukėlėjai [5,6].

Bėgant laikui teršalai gali kauptis vykstant vandens recirkuliacijai. Be to, šis procesas gali paskatinti tam tikrų lakiųjų cheminių junginių išsiskyrimą į aplinkos orą [9].

1.3.1. Mikrobiologinė tarša

Baseinų vandenyje randama įvairių mikroorganizmų (žr. 1.1 pav.). Dažniausiai ligų ir infekcijų rizika siejama su fekaline vandens tarša, kuri atsiranda dėl netinkamos baseino lankytojų higienos, naudojamo nekokybiško vandens, o lauko baseinuose ją gali sukelti paukščiai ar kiti gyvūnai [8].

Patogeninių organizmų šaltinis gali būti ir ne fekalinė tarša, pavyzdžiui, žmonių išskiriamos seilės ar odos likučiai. Taip gali plisti virusai ir grybelinės ligos [11]. Dauguma ne fekalinių bakterijų ir pirmuonių gali kauptis baseino įrengimuose – biofiltruose, šildymo, ventiliavimo bei oro kondicionavimo sistemose ar ant kitų drėgnų paviršių, dėl ko atsiranda rizika susirgti kvėpavimo, odos ar centrinės nervų sistemos ligomis [8].



1.1 pav. Potencialūs mikrobiologinės taršos sukėlėjai baseinuose ir panašioje aplinkoje [8, 12]

Atliekant viešbučių baseinų vandens tyrimą Kroatijoje buvo paimti 1329 mėginiai. 276 iš jų nustatyta padidėjusi mikrobiologinė tarša. Daugumoje iš kokybės neatitinkančių baseinų laisvo chloro koncentracija buvo mažesnė, nei 0,2 mg/L, dėl ko mikroorganizmai išliko gyvybingi. Mikrobiologinės analizės metu aptikti tokie mikroorganizmai kaip fekaliniai koliformai bei streptokokai, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Proteus* gentis [13]. Vandenyje esant *P. aeruginosa* ir *S. aureus* mikroorganizmams, kyla ausų, kvėpavimo ir šlapimo takų, ragenos ar nosies gleivinės infekcijų rizika. Fekalinei taršai nustatyti dažniausiai naudojamas indikatorius – *E.coli* bakterijos, paprastai aptinkamos žarnyne [14]. Nustačius šią bakteriją turėtų būti tobulinamas baseino vandens dezinfekavimo būdas. Svarbi ir tinkama baseino lankytojų higiena.

Ispanijoje atlikto tyrimo metu nustatyta, kad 3 iš 4 natūraliųjų plaukimo baseinų neatitinka mikrobiologinių reikalavimų. Juose *E. coli* ir enterokokų kiekis didesnis už leistiną. Tačiau nustatyta, kad bakterijos patenka ne tik iš žmonių virškinamojo trakto, bet ir iš paukščių bei kitų gyvūnų [15].

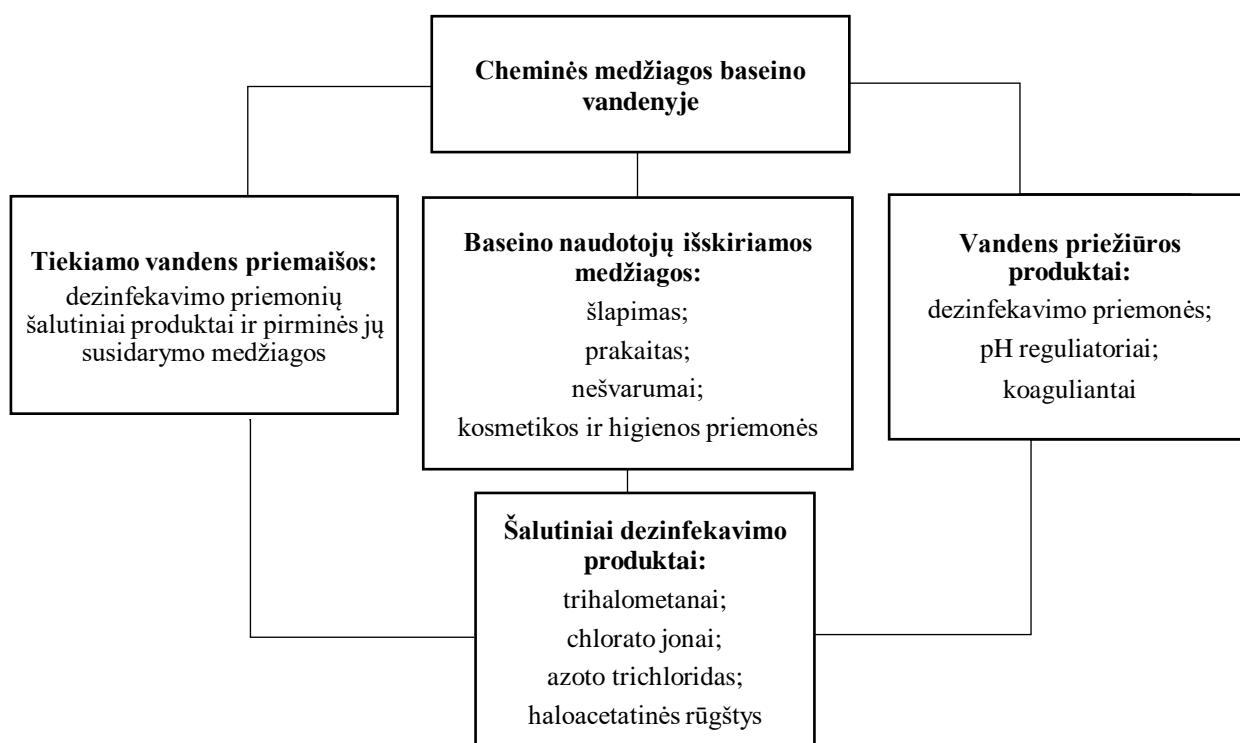
E. coli priskiriamos koliforminių bakterijų tipui. Jos yra atsparios rūgštims ir gali išgyventi tokiomis sąlygomis, kai aplinkos terpės $\text{pH} < 2$. Jos atsparios šalčiui (išlieka žemesnėje nei $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroje) bei geba įsitvirtinti žarnyne. Dažniausiai jų buvimas vandenyje rodo fekalinę taršą. [16]. Dauguma *E. coli* yra nepavojingos, tačiau kai kurios jų atmainos (verotoksinais) gali sukelti ligas ir rimtas infekcijas [17].

Kitos koliforminės bakterijos nebūtinai yra fekalinės taršos požymis, tačiau jų buvimas tiriamajame vandenyje rodo, kad valymo procesas turi trūkumų [18].

1.3.2. Cheminės medžiagos baseinų vandenyje

Cheminių medžiagų patekimo būdai į baseino vandenį pavaizduoti 1.2 pav.

Į baseinus tiekiamas pradinis vanduo gali savyje jau turėti chemikalų. Tiekiamas komunalinis geriamasis vanduo gali turėti humuso rūgšties, kalkių ir šarmų, fosfatų, monochloraminų priemaišų, įvairių tarpinių produktų, kurie susidaro dėl ankstesnių vandens dezinfekavimo procesų. Jūros vandenyje randama didelė bromidų koncentracija. Tam tikromis aplinkybėmis galima rasti ir radono, kuris patenka iš požeminio vandens [8].



1.2 pav. Cheminių medžiagų patekimo būdai į baseino vandenį [8]

Baseino lankytojai į vandenį išskiria įvairių organinių ir neorganinių medžiagų. Azoto junginiai į vandenį patenka per odą (prakaitas), šlapimą. Prakaite azotas yra karbamido, amoniako, aminorūgščių ir kreatinino pavidalu ir jo kiekis yra apie apie 1 g/L . Priklausomai nuo aplinkybių,

prakaito sudėtis gali labai skirtis. Šlapime maždaug 80 % viso azoto kiekio yra karbamido pavidalu [8].

Baseinų vandenyje gali būti randami parabenai, ultravioletinių (UV) spindulių filtrai, esantys asmens priežiūros produktuose (losjonuose ir kremuose nuo saulės) [9]. Ne visos medžiagos nustatomos esamais metodais. Atliekant tyrimus buvo nustatytos tokios medžiagos, kaip N,N-dietil-m-toluamidas, kofeinas, tri(2-chloretil)fosfatas, kurioms nustatyti reikia tam tikros koncentracijos [19].

Tiriant 17 baseinų vandenį Katalonijoje, Ispanijoje, buvo rasta įvairių vaistų likučių – atenolio, karbamazepino, ibuprofeno, hidrochlorotiazido, sulfametoksazolio, ofloksacino ir kt. Didžiausia nustatyta koncentracija buvo diuretikų hidrochlorotiazido, naudojamo širdies ir kraujagyslių ligoms gydyti. Jo nustatyta 904 ng/L. Dažniausiai nustatytas farmacinis preparatas buvo karbamazepinas, aptiktas 53 % tiriamųjų baseinų [20].

Jeigu šios medžiagos, patekusios į vandenį, nėra iki galo suskaidomos, formuojasi šalutiniai produktai, o vykstant vandens recirkuliacijai teršalų kiekis vis didėja. Dėl to svarbu baseino vandenį ne tik valyti, bet ir visiškai pakeisti nauju, praėjus tam tikram laikui [10].

Į vandenį su šlapimu taip pat gali patekti narkotinių medžiagų ar jų metabolitų. Atliekant nuotekų, paviršinio, gruntinio ir geriamojo vandens tyrimus Italijoje ir kitose Europos šalyse buvo rasta kokaino, amfetamino, kanapių ir opioidų pėdsakų. Remiantis šiais duomenimis nuspręsta ištirti ir baseinų vandenį. Tyrimas buvo atliekamas šiaurės Italijoje, jo metu tirta 10 baseinų ir jų vandenyje aptikta 11 rūšių farmacinių preparatų. Daugiausia iš jų – priešuždegiminiai vaistai, β -blokatoriai ir vaistai nuo traukulių. Iš narkotinių medžiagų buvo aptiktas kokainas ir jo metabolitai: (iki 49 ng/L) [10].

Nors vaistinių preparatų ir narkotinių medžiagų aptinkami kiekiai labai maži, tačiau jie vis tiek gali daryti įtaką žmonių sveikatai nurijus vandens ar sąlyčio su oda metu.

Tiriant baseinų užterštumą, didelis dėmesys skiriamas tarpinių dezinfekavimo produktų susidarymui. Reikia paminėti, kad kiti teršalai dar mažai ištirtinėti.

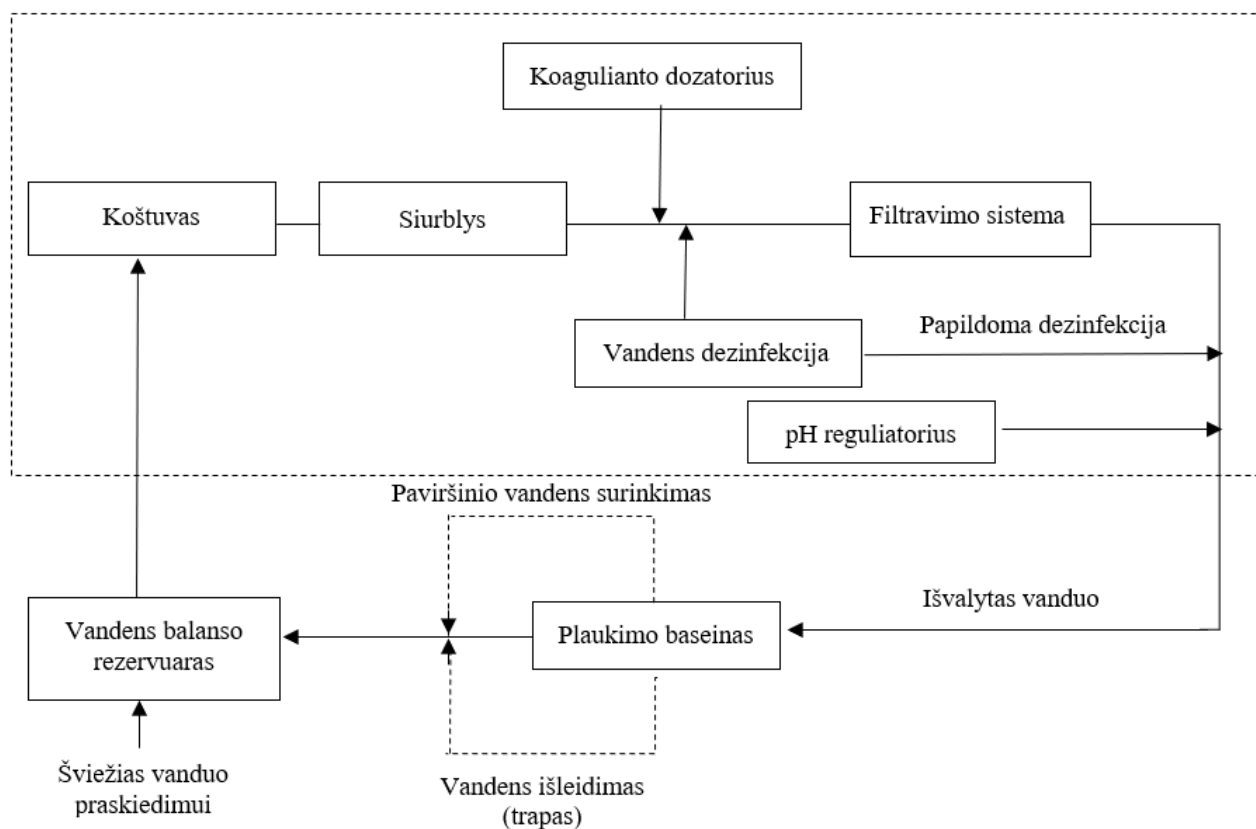
1.4. Baseinų vandens valymo metodų apžvalga

Baseinų vanduo turi būti valomas, kad išliktų skaidrus ir švarus, nebūtų užterštas mikrobais ir cheminiais teršalais. Baseino vandens valymo metodo pasirinkimas priklauso nuo baseino tipo [2].

Dažniausiai atliekami šie vandens apdorojimo etapai: filtravimas, koaguliacija ir dezinfekavimas. Pirmiausiai vanduo tiekiamas į vandens valymo įrenginį, kur yra filtruojamas. Jei vandenyje yra smulkiųjų dalelių, kurių filtras nesulaiko, įdedama koagulianto. Tada atliekamas vandens dezinfekavimas – mikroorganizmų pašalinimas. Šis procesas gali būti atliekamas ir prieš filtravimo etapą.

Tam, kad nešvarumai nesikaupytų ir neterštų vandens, specialiais siurbliais ir siurbimo pirtais turi būti valomas ir baseino dugnas bei šonai. Kartą per 3 mėnesius reikia išleisti vandenį iš baseino vandens balanso rezervuaro, jį išvalyti ir dezinfekuoti [4].

Įprasto tipo baseinų vandens valymo schema pateikta 1.3 pav.



1.3 pav. Vandens valymo schema įprasto tipo baseine [8]

1.4.1. Vandens filtravimas

Filtravimas – tai mechaninis vandens valymas. Pagrindinė filtravimo funkcija – pašalinti vandens drumstumą, kad būtų pasiektas reikiamas skaidrumas [8]. Tinkamai parinkus filtrą pašalinamos beveik visos kietosios dalelės – tai įvairūs nešvarumai, šiukšlės, koaguliotos teršalų dalelės. Netinkamai filtruojamas vanduo taptų drumstas, neskaidrus [21]. Filtruojant sulaikomi teršalai, galintys sukelti ligas, taip pat užtikrinamas geras matomumas vandenyje, kuris svarbus dėl plaukikų saugumo [8].

Filtravimui dažniausiai naudojami trijų rūšių filtrai: kasetiniai, smėlio ir diatominės žemės.

- **Kasetiniai filtrai**

Kasetiniai filtrai būna sudaryti iš pinto audinio, dažniausiai iš poliesterio arba apdoroto popieriaus, kuris išdėstomas cilindro formoje aplink standžią šerdį. Pluoštas sulaiko nešvarumus, patenkančius iš išorės, o išfiltruotas vanduo grąžinamas atgal į baseiną pro centrinę šerdį. Sulaikomų nešvarumų dydis gali būti iki 7 μm [13, 5].

Šių filtrų pagrindinis pranašumas yra tas, kad jie neužima daug vietos ir yra lengvai valomi ar pakeičiami. Tinkamai prižiūrint jie tarnauja ilgą laiką, svarbu reguliariai kasetes skalauti ir periodiškai atlikti giluminį valymą, tam naudojant specialius valiklius. Jie dažnai naudojami mažuose baseinuose ir sūkurinėse voniose, pavyzdžiui, gyvenamuosiuose namuose [21].

• Smėlio filtrai

Tai vidutinio dydžio filtrai. Jų yra keletas tipų, tačiau visų veikimo principas tas pats – filtruojamoji medžiaga (smėlis) patalpinama į filtro talpą, vandens srautas teka per smėlį veikiant slėgiui arba vakuumui. Nešvarumai įstringa tarp smėlio dalelių. Kadangi filtras per laiką užsikemša, jis praranda gebėjimą valyti vandenį. Tai pastebima iš slėgio pokyčių arba sumažėjus vandens srautui. Užsikimšus filteriui atliekamas atgalinis plovimas [21], kurio metu vanduo teka per filtrą iš apačios į viršų ir surinkti nešvarumai išnešami į kanalizaciją [22]. Padidinti efektyvumui dažnai naudojami koagulantai, kurių dėka lengviau pašalinti labai smulkius teršalus ir tam tikrus mikroorganizmus [13, 5].

Filtravimui dažniausiai naudojamas kvarcinis smėlis. Jis yra chemiškai grynas, dėl to nemažina vandens kokybės, nereaguoja su teršalais, rūgštimis ar organiniais tirpikliais. Teršalai pašalinami efektyviai dėl vienodos kvarco dalelių formos ir dydžių pasiskirstymo [23]. Tinkamai parinktas kvarcinis smėlis efektyviai filtruoja 35 – 40 μm dydžio ir stambesnes priemaišas.

• Diatominės žemės filtrai

Diatominė žemė – tai iš žemės išgautas natūralusis smėlis, kurį sudaro mikroskopinių organizmų, gyvenusių prieš milijonus metų, skeletai (diatomai) [24]. Diatomai padengiami audiniu ir skverbiantis vandeniui surenka nešvarumus. Filteriui užsikimšus nešvarumai išplaunami iš audinio, o diatominė žemė pakeičiama nauja [21].

Filterių privalumas yra tas, kad jie gali pašalinti teršalus, kurių dydis iki 1 – 2 μm . Vienas iš trūkumų – filtro medžiaga turi būti švari, nes ant jos patekus riebalams diatomai nesilaikys tinkamai, dėl ko gali suprastėti nešvarumų šalinimo efektyvumas [21].

Tai yra pagrindiniai filtrai, naudojami baseinų vandeniui, tačiau gali būti naudojamos ir ultrafiltracijos, atvirkštinio osmoso sistemos. Filtrai gali būti papildomi aktyvinta anglimi, efektyvesniam valymui pasiekti [22, 25]. Vietoj smėlio galima naudoti stiklo granules. Jos tarnauja ilgiau, nei smėlis, taip pat jas galima perdirbti [25].

1.4.2. Vandens skaidrinimas atliekant koaguliaciją

Teršalų dalelės vandenyje gali būti įvairių dydžių ir konsistencijos. Kuo dalelės didesnės, tuo lengviau jos pašalinamos filtruojant. Kita vertus, mažų dalelių filtras gali nesulaikyti, todėl yra naudojami koagulantai (flokuliantai) toms dalelėms sujungti – padidinti. Šios medžiagos destabilizuoja dalelių elektrinius krūvius, kad būtų pakeistos traukos jėgos. Tokiu būdu smulkūs teršalai padidėja ir juos galima pašalinti filtravimo metu [26].

Svarbu žinoti, kad tam tikri mikroorganizmai (pavyzdžiui, kriptosporidijos) gali būti atsparūs dezinfekavimo priemonėms, o norint juos pašalinti reikalingas koaguliacijos procesas. Dėl šios priežasties koagulantus rekomenduojama naudoti viešuosiuose baseinuose [8,9].

Dažniausiai koaguliacijai naudojamos šios medžiagos: polielektrolitai (polialiuminio chloridas, polialiuminio sulfo silikatas), metalų jonai, aliuminio sulfatas [28].

Koagulianto efektyvumas priklauso nuo vandens pH, kuris turi būti reguliuojamas [8].

1.4.3. Vandens dezinfekavimo būdai

1.3 lentelė. Skirtingų vandens dezinfekavimo būdų privalumai ir trūkumai [8, 22]

Dezinfekavimo priemonė	Privalumai	Trūkumai
Chloras	Gerai suprantamos dezinfekavimo galimybės; Žinoma dozavimo technologija	Šalutiniai produktai, skonio ir kvapo problemos; Neefektyvus prieš <i>Cryptosporidium</i> ; Po tam tikro laiko liekamosios dezinfekacijos efektas mažėja
Chloraminai	Mažiau skonio ir kvapo problemų, lyginant su chloru; Nekyla problemų dėl šalutinių produktų; Liekamasis efektas	Žymiai mažesnis veiksmingumas nei dezinfekuojant chloru; Ne visada praktiška naudoti kaip pirminį dezinfekantą; Kapų ir skonio susidarymui išvengti reikalinga efektyvi kontrolė
Chloro dioksidas	Gali būti veiksmingesnis už chlorą didesniame pH; Mažiau kvapo, skonio ir tarpinių produktų problemų; Liekamasis efektas	Silpnesnis oksidantas už ozoną ir chlorą; Limituota dozė dėl neorganinių šalutinių produktų – chlorato ir chlorito.
Ozonas	Stiprus oksidantas, efektyvesnis už chlorą; Gali skaidyti organinius mikroteršalus (pesticidus, skonio ir kvapų komponentus); Mažiau jautrus pH pokyčiams nei chloras; Neįtakoja THM ir HAA šalutinių produktų susidarymo	Sudėtinga, brangi ir daug energijos reikalaujanti įranga, lyginant su chloravimu; Bromo šalutiniai produktai; Neliekamoji dezinfekcija; Patekęs į aplinkos orą ozonas yra kenksmingas
UV spinduliuotė	Dažniausiai daug efektyvesnis dezinfekavimo būdas šalinant pirmuonis, bakterijas ir daugumą virusų, ypač <i>Cryptosporidium</i> ; Nėra reikšmingų šalutinių produktų susidarymo pasekmių	Mažiau efektyvus šalinant virusus, lyginant su chloravimu; Neliekamoji dezinfekcija; Skyla esant aukštam pH
Ozonas/UV	Didesnis išvalymo efektyvumas, lyginant su kitais dezinfekavimo būdais; Mažesnis šalutinių produktų susidarymas; Platus išvalomų teršalų spektras	Neliekamoji dezinfekcija

Dezinfekavimas – tai vandens mikroorganizmų inaktyvavimas. Jo metu pašalinamos bakterijos, virusai, dumbliai, pelėšiai ar kiti grybeliai, kurie gali sukelti ligas. Dezinfekavimas padeda išvengti ir kvapų ar nemalonaus skonio, susidarančių dėl mikroorganizmų veiklos. Jis atliekamas cheminiais ir fizikiniais metodais [28].

Plačiausiai naudojamų vandens dezinfekavimo būdų privalumai ir trūkumai pateikti 1.3 lentelėje.

Dezinfekavimas gali būti pirminis ir antrinis. Pirminio dezinfekavimo metu siekama sumažinti patogeninių mikroorganizmų kiekį iki reikiamo lygio. Tam atlikti naudojami tiek cheminiai, tiek fizikiniai dezinfekavimo būdai.

Antrinis dezinfekavimas naudojamas po visų apdorojimo procesų į išvalytą vandenį pridedant cheminių medžiagų, turinčių išliekamąjį dezinfekavimo efektą. Tokiu būdu reikiama vandens kokybė

palaikoma visoje sistemoje. Tam dažniausiai naudojamas chloras ar jų junginiai. Kartais gali būti naudojami ir junginiai su bromu [8].

- **Chloras ir jo junginiai**

Plačiausiai naudojamas cheminis dezinfekantas vandens valymui yra chloras. Dažniausiai jis naudojamas suskystintų chloro dujų, natrio arba kalcio hipochlorito tirpalo pavidalu. Jis gali būti naudojamas ir kaip pirminis, ir kaip ilgalaikis dezinfekantas, veikiantis ilgą laiką. Daugeliu atvejų tai yra svarbus veiksnys formuojantis šalutiniams chlorintiems produktams [27].

Leidžiamas chloro kiekis skirtingose šalyse skiriasi. Pavyzdžiui, mažesnė nei 1 mg/L koncentracija yra leidžiama kai kuriose šalyse, tačiau kitur ji turi būti aukštesnė. Šiltame vandenyje (sūkurinėje vonioje) chloro reikia daugiau, nei įprastuose baseinuose. Naudojant mažą dezinfekantų su chloru koncentraciją efektyvumui užtikrinti vanduo prieš turi būti tinkamai filtruotas, kartu galima naudoti ir ozoną UV spinduliuotę [8].

- **Chloro dioksidas**

Chloro dioksidas nepriskiriamas chloro dezinfekcinėms medžiagoms, nes jam reaguojant su teršalais neišsiskiria laisvas chloras. Jis skyla į chlorito ir chlorato jonus. Chloro dioksidas yra stipresnis už chlorą, tačiau ir brangesnis [27].

- **Monochloraminas**

Jis formuojasi amoniakui reaguojant su chloru esant tam tikroms sąlygoms. Dėl lengvos proceso kontrolės išvengiama nemalonaus skonio ir šalutinių produktų susidarymo [27].

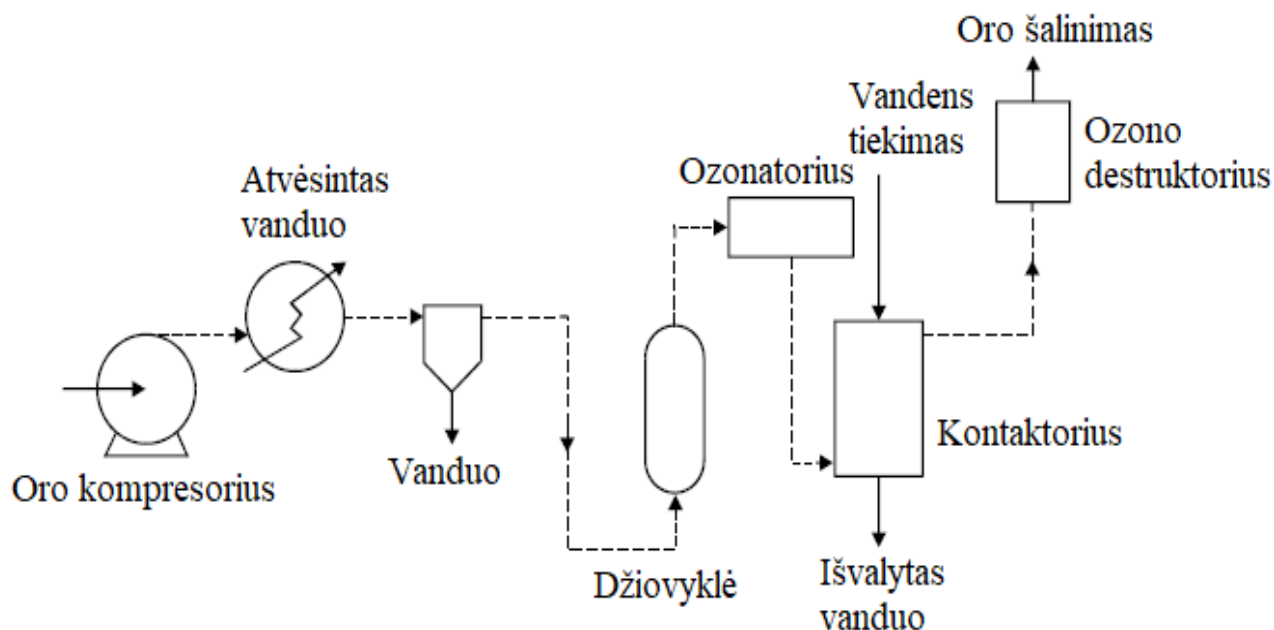
- **Junginiai su bromu**

Dezinfekavimas skystu bromu yra naudojamas retai, dažniau naudojami produktai su juo (bromochlorodimetilhidantionas ir natrio bromidas kartu su oksidatoriumi, dažniausiai su hipochloritu). Dezinfekavimo savybės panašios į chloro. Be to, jis mažiau agresyvus už chlorą, kas labiau priimtina baseino lankytojams [29]. Bromo junginiai neefektyvūs dezinfekuojant lauko baseinus, nes veikiant saulei jie greit išsikvojami [8].

- **Ozonas**

Kai kurie dezinfekantai, tokie kaip ozonas ir UV spinduliuotė, žudo ar inaktyvuoja mikroorganizmus, bet neturi ilgalaikio dezinfekavimo poveikio. Taigi, naudojant šiuos metodus, dažnai kartu taikomos ir chloro ar bromo dezinfekavimo priemonės, kurios išlieka vandenyje ilgą laiką.

Ozonas vandenyje yra nestabilus ir dezinfekavimo metu iš oro patekęs į apdorojamą vandenį jis greitai skyla. Įprasto tipo ozonavimo sistemos schema pateikta 1.4 pav.



1.4 pav. Ozonavimo sistemos schema [27]

Ozonas, lyginant su chloru ar chloro dioksidu, yra labai stiprus dezinfekantas. Jis efektyviai inaktyvuoja *Giardia* ir *Cryptosporidium* mikroorganizmus smarkiai nedidinant dozės [27]. Kadangi ozonas dirgina kvėpavimo takus, dėl to svarbu tinkamai vėdinti patalpas arba atlikti deozonavimą [8].

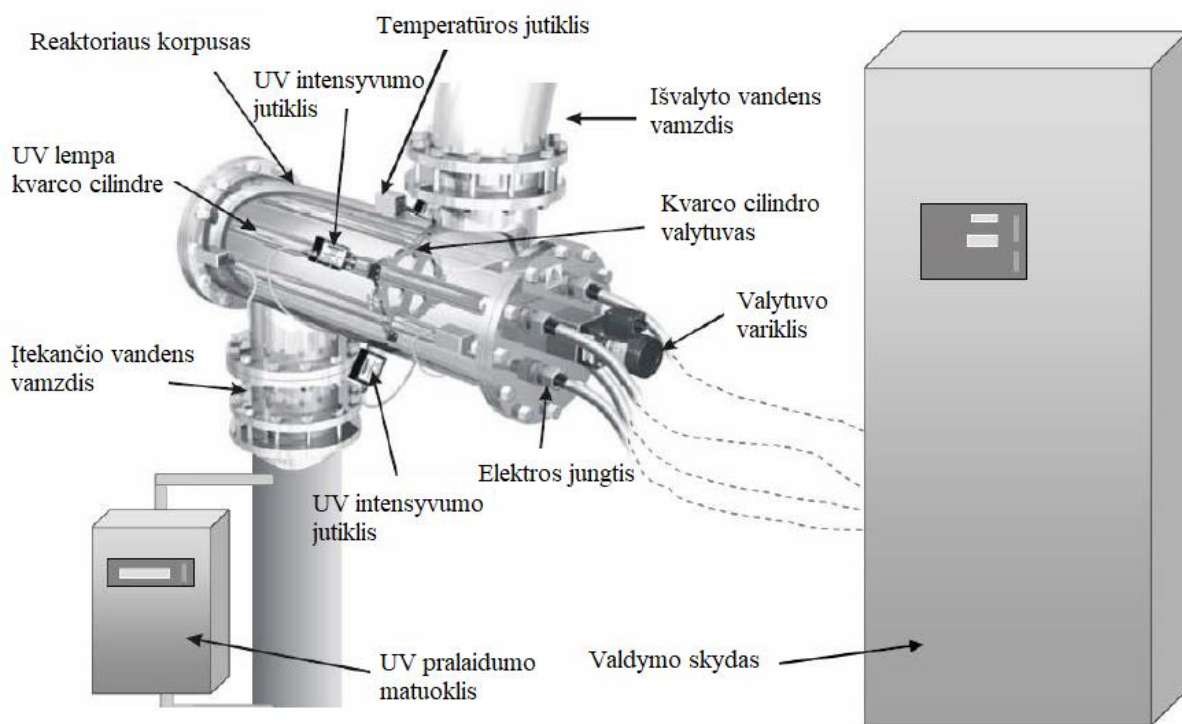
Deozonavimas atliekamas terminiu arba katalitiniu būdu. Naudojant terminį metodą dujos kaitinamos 400 °C temperatūroje ir ozono destrukcija įvyksta beveik akimirksniu. Deozonuojant katalitiškai reakcijos kamera pripildoma medžiaga, katalizuojančia ozono skilimą žemesnėje temperatūroje. Išankstinis pašilimas reikalingas drėgmei sumažinti, siekiant išvengti kondensavimosi ant katalizatoriaus [27].

- **UV spinduliuotė**

UV spinduliai efektyvūs prieš bakterijas, dumblius bei virusus, tinkamai parinkus dozę neinicijuoja šalutinių organinių produktų susidarymo, procesui vykdyti pakanka mažai vietos ir lyginant su ozonavimu bei membranine filtracija įrangai reikia daug mažiau išlaidų [27]. Naudojamos UV lempos galingumas priklauso nuo bangos ilgio (ilgas, vidutinis, trumpas). Trumpos bangos turi daugiausiai energijos ir didžiausią germicidinį poveikį [30]. Tipinio UV reaktoriaus schema pavaizduota 1.5 pav.

Nors UV spinduliai yra efektyvūs dezinfekuojant vandenį, tačiau ne visi mikroorganizmai gali būti pašalinti. Tiriant antibiotikams atsparias bakterijas nustatyta, kad UV spinduliai prieš dalį iš jų nėra veiksmingi [31].

Tipinio UV reaktoriaus schema pavaizduota 1.5 pav.



1.5 pav. Tipinio UV reaktoriaus schema [27]

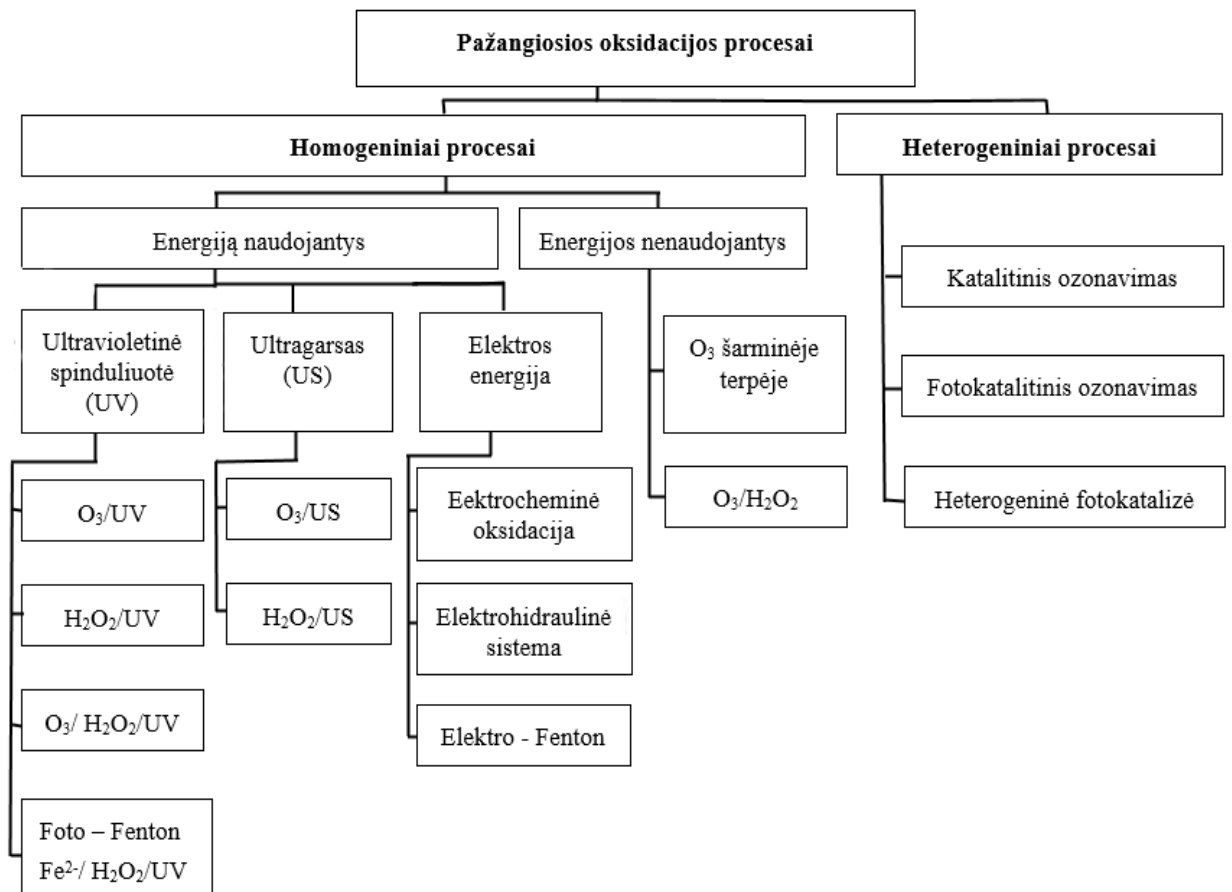
• Kiti dezinfekavimo būdai

Be čia išvardintų būdų yra naudojami ir kiti, mažiau populiarūs arba dar mažai ištirti. Legionelėms naikinti naudojami sidabro ir vario jonai. Patekę į ląstelę jonai inaktyvuoja fermentus ir kitus baltymus, atsakingus už medžiagų pernašą. Vario jonai jungiasi su fosfato grupėmis, kurios yra DNR dalis, ir sutrikdo DNR spiralių sukimąsi, dėl ko molekulė žūsta. Skirtingai nuo chloro, sidabro ir vario jonai nesudaro tarpinių produktų, jie yra stabilūs.

Taikant skirtingus dezinfekcijos metodus kartu pasiekiamas geresnis rezultatas. Pavyzdžiui, veikiant vandenį ozonu organiniai teršalai susilpnėja, o po to taikoma UV spinduliuotė yra efektyvesnė. Skirtingi mikroorganizmai yra nevienodai atsparūs skirtingiems dezinfekcijos metodams, dėl to kombinuojant kelias dezinfekavimo priemones taip pat pasiekiamas didesnis išvalymo efektyvumas [27].

1.5. Pažangioji oksidacija mikrobiologinės taršos šalinimui.

Baseinų vandens valymui yra naudojama daug technologijų. Norint pasirinkti efektyvų ir aplinkai draugišką būdą reikia atsižvelgti į tam tikrus veiksnius. Tradiciniai būdai, pavyzdžiui, chloro junginių ir ozono naudojimas, efektyviai šalina mikroorganizmus, bet gali sudaryti kenksmingus šalutinius produktus. Ultravioletinė spinduliuotė tinkama norint išvengti šių produktų, tačiau kai kurie mikroorganizmai yra jai atsparūs ir gali sėkmingai ataugti po tokio dezinfekavimo [32].



1.6 pav. Pažangiosios oksidacijos procesai [33]

Pastaruju metu populiarėja pažangiosios oksidacijos procesų taikymas vandens dezinfekavimui. Šie metodai yra labai efektyvūs ir nekenksmingi aplinkai. Pavyzdžiui, O_3 ir UV spinduliuotę taikant kartu galima pasiekti didesnę išvalymo efektyvumą, nei metodus taikant atskirai, ir išvengti šalutinių produktų susidarymo. Atlikti tyrimai parodė, kad O_3+UV naudojimas žymiai sumažino THM ir HAA susidarymo potencialą bei nulėmė bendrosios organinės anglies kiekio sumažėjimą [34].

Tai draugiškas aplinkai dezinfekavimo būdas, o sinergetinis O_3+UV poveikis pastaruju metu aprašomas vis dažniau [26, 27]. Ši kombinuota technologija jau kurį laiką taikoma nuotekų valymui, tačiau populiarėja ir jos pritaikymas baseinų vandens dezinfekavimui.

Kartu su ozonu ir UV spinduliuote gali būti naudojami ir reakcijas pagreitinantys katalizatoriai arba vandenilio peroksidas. Susisteminti pažangiosios oksidacijos būdai pateikti 1.6 pav. [33]

1.6. Šalutiniai dezinfekavimo produktai

Dezinfekavimo priemonės yra skirtos apsaugai nuo mikrobu, tačiau jas naudojant susidaro ir šalutiniai produktai, kurie gali pakenkti žmogaus sveikatai [1].

Tarpiniai produktai susidaro dezinfekcinėms priemonėms reaguojant su organinėmis medžiagomis, kurios dažniausiai į vandenį patenka nuo baseinu besinaudojančių žmonių (tai kūno skysčiai, plaukų ir kūno priežiūros priemonės ir kt.). Kuo organinių medžiagų kiekis didesnis, tuo daugiau susidaro ir tarpinių produktų [9].

Organinio azoto junginiai gali reaguoti su chloru, sudarydami organinius chloramino junginius, kurie neturi biocidinio efekto. Taip pat gali susidaryti lakūs neorganiniai chloraminai ir kiti oksidacijos produktai, kurie turi chloro kvapą. Didėjant ištirpusių dalelių kiekiui didėja ir

dezinfekuojančios medžiagos (pvz. chloro) kiekis. Kuo baseine maudosi daugiau žmonių, tuo intensyvesnis ir chloro kvapas dėl susidariusių chloraminų [37]. Po vandens dezinfekavimo chloro junginiais papildomai naudojant UV spinduliuotę chloraminų koncentracija sumažėja, bet formuojasi daugiau trihalometano [38].

Dezinfekuojant bromo junginiais susidaro įvairūs bromo ar bromo-chloro šalutiniai produktai, kurie yra labiau toksiški už analogiškus chloro junginius. Į tai svarbu atsižvelgti dezinfekuojant jūros vandenį, kuriame jau savaime yra bromo [1].

Uždari baseinai kelia ypatingą susirūpinimą, nes jie naudojami reguliariai ištisus metus, o lakūs junginiai gali patekti į kitas patalpas. Kuo didesnė lakių šalutinių produktų koncentracija baseine, tuo ji didesnė ir aplinkos ore. Lokieji junginiai daro įtaką ne tik plaukikų, bet ir kitų žmonių, pavyzdžiui, baseino darbuotojų, sveikatai [1].

Tyrimais patvirtinta, kad Šalutiniai plaukimo baseinų produktai turi genotoksinį, citotoksinį ir mutageninį poveikį [39] yra potencialūs kraujo vėžio, plaučių ir inkstų ligų sukėlėjai [40].

• Šalutiniai chloro ir bromo junginiai

Veikiant chloro ar bromo pagrindu sudarytoms dezinfekavimo priemonėms susidaro hipochloro (HOCl) ir hipobromo (HOBr) rūgštys. Šios rūgštys reaguoja toliau ir gali sudaryti hipochlorito ir hipobromito jonus (-OCl⁻/-OBr⁻). Susidariusios rūgštys ir jonai gali inaktyvuoti mikroorganizmus ir reaguoti su organinėmis medžiagomis, taip susidarant šalutiniams organiniams produktams, chlorido ir bromido jonams (Cl⁻, Br⁻) [1].

• Chloraminai

Chloraminai susidaro chlorui reaguojant su įvairiais teršalais, į vandenį patenkančiais dažniausiai nuo žmogaus. Vienas iš chloraminų – trichloraminas. Jis labai lakus, smarkiai dirgina akis ir kvėpavimo takus, kaip ir dauguma kitų lakių šalutinių produktų, gali pažeisti plaučių epitelį [38].

Trichloramino koncentracija ore dažniausiai nėra ribojama, nors kai kurios šalys, pavyzdžiui, Prancūzija, rekomenduoja neviršyti NCl₃ m⁻³ ribos. Tyrimai parodė, kad neorganinius chloraminus veikiant UV šviesa, jie skyla į neorganinius jonus ir nitrito jonus.

• Trihalometanai

Trihalometanas yra vienas iš labiausiai žinomų šalutinių dezinfekavimo produktų. Jo koncentracija priklauso nuo oksiduojančio medžiagos vandenyje koncentracijos, pH, temperatūros, laisvo chloro koncentracijos, bet nepriklauso nuo chlorinimui naudojamos medžiagos tipo. Ši medžiaga yra laki, todėl randama ne tik baseino vandenyje, bet ir aplinkos ore [8].

Trihalometanu vadinami šie junginiai:

- Bromoformas (tribromometanas);
- Dibromochlorometanas;

- Bromodichlormetanas;
- Chloroformas (trichlorometanas) [27].

Siekiant išvengti šalutinių dezinfekavimo produktų susidarymo, reikia derinti valymo metodus, riboti laisvo chloro kiekį, dažniau dezinfekavimui naudoti chloraminus, nes jie nesudaro šalutinių produktų, stengtis išlaikyti žemą pH [27]. Kadangi šalutiniai produktai susidaro reaguojant dezinfekantams su organiniais teršalais, visų pirma reikia siekti, kad pirminiai teršalai iš baseino būtų kuo efektyviau pašalinti. Tam reikia efektyvios filtravimo sistemos. Taip pat svarbi ir pačių baseino lankytojų higiena – prieš einant į baseiną reikia pasinaudoti dušu, kad nuo odos būtų nuplauti nešvarumai, įvairios kosmetikos priemonės.

1.7. Baseinų vandens valymo technologijų tyrimo aspektai

Siekiant ištirti baseinų vandens valymo procesų efektyvumą, tyrimai gali būti atliekami imant mėginius iš pačio baseino, kuriame sumontuota valymo įranga. Norint stebėti įvairių parametrų įtaką vandens išvalymo efektyvumui, dažnai konstruojami laboratoriniai baseino modeliai, kuriems naudojamas modelinis vanduo. Tai leidžia lengviau keisti tiriamą dezinfekavimo būdą ir reguliuojant įvairius parametrus nustatyti optimalias baseino vandens valymo sąlygas.

Tyrimus atliekant realiomis sąlygomis vanduo imamas, kai baseine yra paslaugų vartotojų arba iš karto jiems išlipus [4]. Mėginiai turi būti analizuojami iš karto, nes kuo ilgiau delsiama, tuo mažiau tikslūs gaunami rezultatai. Dažniausiai mėginiai imami ne tik iš pačio baseino, bet ir iš kitų jo dalių, pavyzdžiui, vandens tiekimo, recirkuliacinių sistemų [8].

Tiriant chemines medžiagas į mėginį įdedama įvairių reagentų, siekiant sustabdyti vykstančias chemines reakcijas. Mėginiams analizuoti naudojami skirtingi būdai ir prietaisai. Yra analizės rinkinių, kuriuos galima naudoti iš karto baseine, jie užima mažai vietos. Pavyzdžiui, iš reagentais suvilgytų juostelių spalvos galima spręsti apie vandenyje esančius teršalus. Juostelėmis greitai nustatoma ir pH vertė. Šie metodai neparodo tikslios vandens kokybės, nes kiekvienas spalvą suvokia skirtingai, be to, įtaką daro ir apšvietimas. Yra paprastų prietaisų laisvo chloro ir bromo nustatymui [41]. Norint gauti tikslesnius rezultatus, atliekami rimtesni laboratoriniai tyrimai (chromatografija, spektroskopija).

Bakteriologiniai tyrimai, siekiant nustatyti mikrobu rūšis, jų kiekį, atliekami kultūras auginant lėkštelėse [42]. Mikroorganizmų kolonijos gali būti auginamos ant skirtingų agarų. Vieni skirti bendram mikroorganizmų skaičiaus nustatymui, kitų sudėtis pritaikyta tam tikroms rūšims išauginti. Vanduo sėjamas tiesiai į lėkštelę arba į ją dedama membrana, jei atliekamas membraninis filtravimas [18].

1.8. Kūno skysčių analogai

Baseinų vandens dezinfekavimo metodų efektyvumas dažniausiai tiriamas imant mėginius iš pačio baseino. Taip pat mėginiai gali būti padaromi laboratorijoje iš žinomų koncentracijų medžiagų.

Besimaudantieji baseinuose į vandenį išskiria organines ir neorganines medžiagas, pavyzdžiui, prakaitą, šlapimą, seiles, o kartu į vandenį patenka įvairios plaukų ir odos priežiūros priemonės, farmacijos produktai. Šios medžiagos, bendrai vadinamos kūno skysčiais, sukelia cheminius baseinų vandens kitimus [43].

Tobulinant baseinų vandens valymo metodus, reikia žinoti cheminių medžiagų, kurios patenka į baseinus, sudėtį. Tam yra kuriami „kūno skysčių analogai“ [37]. Naudojant tokius mišinius galima nustatyti, kokią įtaką kūno skysčiai turi šalutinių produktų formavimuisi, ypač kai vandenyje yra laisvo chloro ar kitų cheminių medžiagų, skirtų dezinfekavimui atlikti. Literatūroje aprašyti įvairūs analogų mišiniai, tačiau jų sudėtis yra panaši. Didžiausia dalis naudojamų komponentų – tai organinės ir aminorūgštys. Atliekant tyrimus nustatyta, kad vidutiniškai per valandą besimaudantieji išskiria apie 50 mL/m³ šlapimo ir 200 mL/m³ prakaito santykiu 1:4 [38, 39].

Kūno skysčių analogai ir kiti dirbtiniai mišiniai naudingi tiriant ir tobulinant teršalų valymo metodus. Juos naudojant žinoma tiksli mėginio sudėtis, tačiau gauti rezultatai gali nesutapti su rezultatais, gautais tiriant mėginius, paimtus iš baseino. Be to, baseinuose gali būti ir tokių teršalų, kurie neįeina į dirbtinių mišinių sudėtį, dėl to atsiranda netikslumai.

1.9. Literatūros apžvalgos apibendrinimas

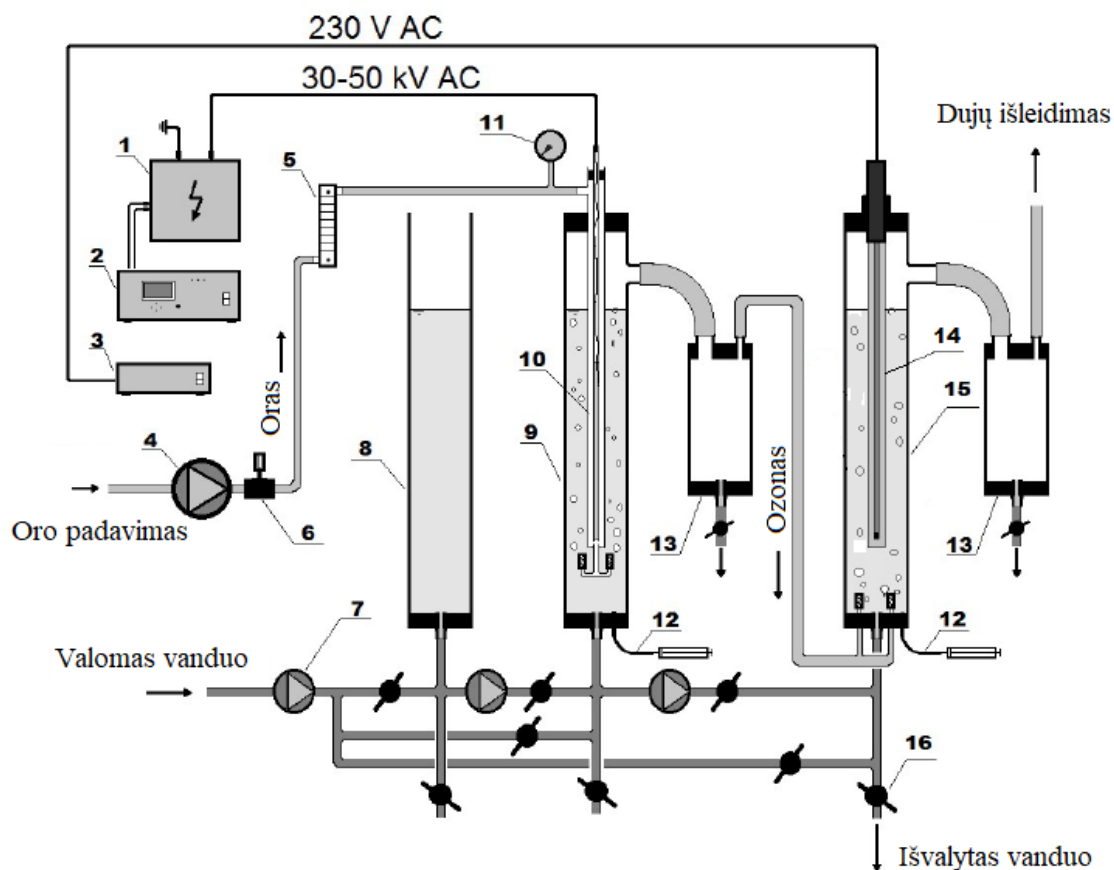
1. Plaukimo baseinų vandenyje randamų teršalų leistini kiekiai nurodyti Lietuvos higienos normoje HN 109:2016 „Baseinų visuomenės sveikatos saugos reikalavimai“. Jie beveik sutampa su Pasaulio sveikatos organizacijos rekomendacijomis.
2. Baseino vandens teršalai gali būti mikrobiologiniai (bakterijos, virusai, grybeliai, dumbliai) ir cheminiai (patenkantys su vandentiekio vandeniu, pridedami tiesiogiai ar nuo baseino vartotojų kūno). Dezinfekavimo priemonėms reaguojant su baseine esančiais teršalais gali susidaryti šalutiniai dezinfekavimo produktai, kurie kartais yra kenksmingesni už pradinį teršalą.
3. Vanduo valomas šiais etapais – filtracija, koaguliacija, dezinfekavimas. Yra daug skirtingų valymo technologijų, kurios turi savų trūkumų ir privalumų. Valymo būdas pasirenkamas atsižvelgiant į baseino tipą, kainą bei norimą gauti rezultatą.
4. Baseinų vandens kokybė ne visada atitinka keliamus reikalavimus, dėl to reikia imtis priemonių problemai spręsti. Norint išvengti mikrobiologinės ir cheminės taršos reikia teisingai parinkti valymo metodus. Pastaruoju metu populiarėja pažangiosios oksidacijos pritaikymas baseinų vandeniui, kai dezinfekuojama ozonu ir UV spinduliuote.

2. Tyrimų metodika

2.1. Eksperimentinių tyrimų įranga ir eiga

2.1.1. Tyrimas periodinio veikimo sąlygomis

Tyrimė naudojamas dielektrinio barjero išlydžio (DBI) plazma reaktorius (žr. 2.1 pav.), kuriame generuojama oksiduojanti terpė. Tai pažangiosios oksidacijos sistema, sukurta Kauno technologijos universitete, Aplinkosaugos technologijos katedroje. Ją sukūrė Martynas Tichonovas. Įrenginio veikimas pagrįstas plazmos-UV-katalizės veikimo principais vandens teršalų šalinimui [46].



2.1 pav. Pažangiosios oksidacijos įrenginio principinė schema. 1 – aukštosios įtampos transformatorius; 2 – galios valdiklis; 3 – UV lempos valdiklis; 4 – orapūtė; 5 – oro srauto matuoklis; 6 – oro srauto reguliatorius; 7 – vandens siurblys; 8 – buferinis indas; 9 – DBI reaktoriaus indas; 10 – DBI reaktorius; 11 – slėgio matuoklis; 12 – mėginių ėmiklis; 13 – putų surinktuvas; 14 – UV lempa; 15 – UV/fotolizės reaktorius; 16 – vandens išleidimo vožtuvai [46]

Šiame įrenginyje yra du 2 L talpos stikliniai indai – reaktoriai. Pirmajame gaminamas ozonas (9), o antrajame (15) įmontuota UV lempa (14). Procesams pagreitinti galima papildomai naudoti ir katalizatorių.

Užterštas vanduo paduodamas iš buferinio indo (8). DBI plazmos reaktorius (10) susideda iš dvigubo kvarco vamzdžio, įrengto indo centre. Jame yra aukštos įtampos centrinis elektrodas, užpildytas 100 g/L natrio chlorido (NaCl) tirpalu. Reaktorius įmontuotas į didesnę stiklinę vamzdį, kuris užpildomas vandeniu. Vanduo šiame inde yra įžemintas ir kartu veikia kaip vėsinanti terpė. Oras į reaktorių

paduodamas orapūte (4). Dėl aukštos įtampos susidaro dielektrinis barjerinis išlydis ir tiekiamame ore esantis deguonis paverčiamas ozonu. Ozonas ir nedidelis kiekis kitų susidariusių dujų keramikiniais difuzoriais išpučiamas į vandenį ir toliau tiekiamas į antrąją reakcijos indą (15), užpildytą valomu vandeniu.

Antrojo reaktoriaus centre įmontuota UV lempa. Šiame reaktoriuje vanduo veikiamas ozonu ir ultravioletine spinduliuote. Mėginiai imami švirkštu (12). Papildomai įrenginyje sumontuoti putų surinktuvai (13), oro srauto ir UV lempos valdikliai, kurių dėka galima keisti darbinus parametrus.

Ozono koncentracija keičiama reguliuojant įrenginio galią. UV lempos galingumas – 40 W.

Veikimo mechanizmas:

Ultravioletiniams spinduliams veikiant ozoną susidaro vandenilio peroksidas (H₂O₂):



H₂O₂ veikiant UV spinduliais, susidaro 2 hidroksilo radikalai:



H₂O₂ taip pat reaguoja su ozonu:



Šių reakcijų metu susidaręs HO• radikalas ir yra atsakingas už teršalų šalinimą [36,37].

Bandymuose naudoto vandens sudėtis aprašyta 2.2. poskyryje.

Pirmojo eksperimento metu buvo nustatoma skirtingų dezinfekavimo būdų įtaka modeliniam vandeniui su užkratu. Šio eksperimento sąlygos nurodytos 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Dezinfekavimo metodų tyrimo sąlygos

Bandymo Nr.	Dezinfekavimo metodas	DBI reaktoriaus galia, W	UV lempos galingumas, W	Ozono koncentracija, mg/L	Mėginių paėmimo laikas, min.
1	O ₃	28,8	-	1,8	0; 1; 2; 3; 5; 10; 20
2		54,7		2,7	
3		90,0		4,0	
4	UV	-	40	-	
5	O ₃ +UV	28,8		1,8	
6		54,7		2,7	
7		90,0		4,0	

Vienu metu dezinfekuojamo vandens kiekis – 2 L. Mėginiai analizei imami nurodytais laiko intervalais. Jie pilami į sterilius mėgintuvėlius (jei atliekami skiedimai) arba iš karto sėjami į Petri lėkštes. Prieš paaimant mėginį, švirkštas (ėmiklis), kelis kartu praplaunamas vandeniu iš reaktoriaus. Reaktorius veikia periodiniu režimu, t.y., išvalius vandenį jis išpilamas iš sistemos. Bandymuose išvalymo efektyvumas vertintas pagal po dezinfekavimo išaugusių mikroorganizmų kolonijų skaičių.

Nustatomi indikatoriniai mikroorganizmai – tai heterotrofinė mezofilinė mikroflora. Skaičiuojamas bendras kolonijų skaičius.

Naudojant DBI įrenginį vanduo gali būti dezinfekuojamas ozonui ir UV spinduluotei veikiant ir kartu, ir atskirai. Optimalios proceso sąlygos nustatomos keičiant ozono koncentraciją.

Antrojo eksperimento metu pasirinkus optimaliausią dezinfekavimo metodą buvo tiriama organinių medžiagų ir mikroorganizmų kiekio įtaka išvalymo efektyvumui. Tiriami mėginiai, kurie skiriasi organinių medžiagų ir mikroorganizmų kiekiu (žr. 2.2 lentelę).

2.2 lentelė. Sąlygos organinių medžiagų ir mikroorganizmų kiekio įtakos įvertinimui

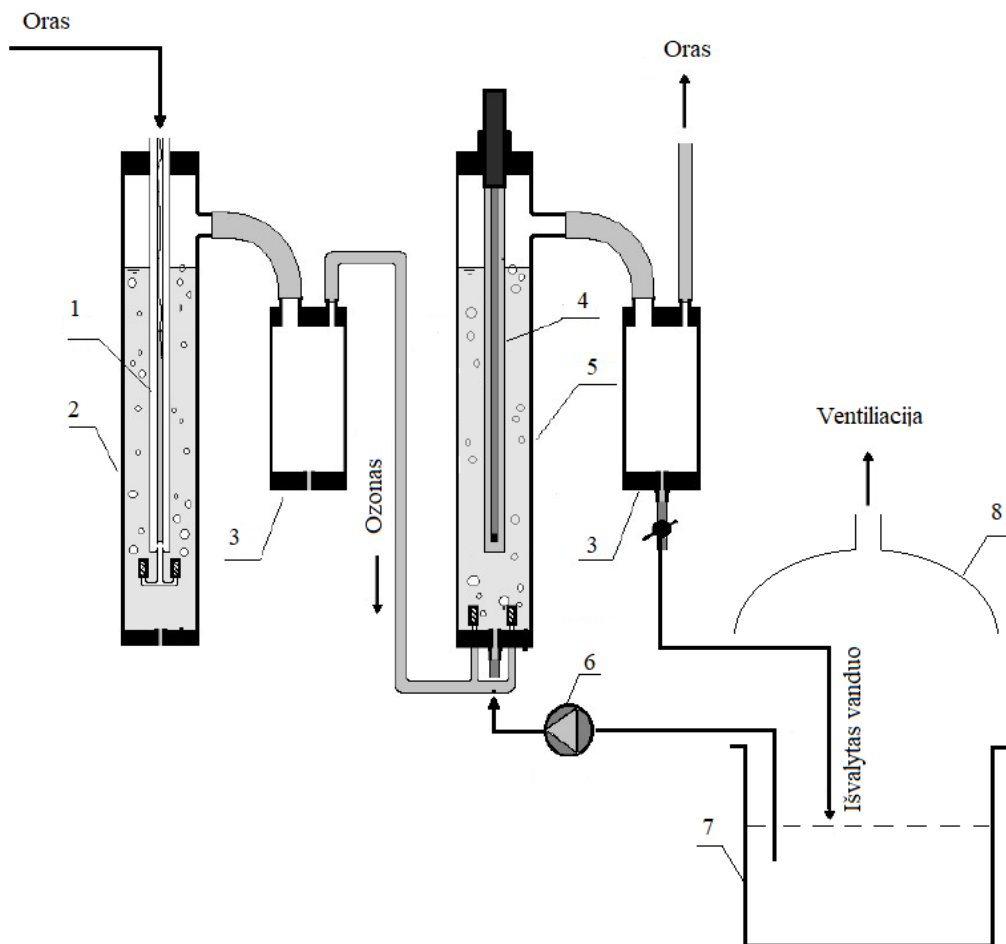
Bandymo Nr.	Organinių medžiagų kiekis, mg/L BOA	Papildomo užkrato kiekis, %	Ozono koncentracija, mg/L	Mėginių paėmimo laikas, min.	Kas nustatoma
1	1	-	2,7	0; 1; 2; 3; 5	Bendras kolonijų skaičius
2	10				
3	50				
4	10	10			
5		25			
6		50			

2.1.2. Tyrimas nuolatinio veikimo sąlygomis

Imituojant tikrą baseiną, tolimesniuose bandymuose prie pažangiosios oksidacijos įrenginio, pavaizduoto 2.1 pav., prijungiama 60 L talpa (7) su modeliniu baseino vandeniu (žr. 2.2 pav.). Siurbliu (6) vanduo tiekiamas į reaktorių (5), ten išvalomas ir grąžinamas atgal. Kadangi valomajame vandenyje gali užsilikti šiek tiek ozono, virš talpos pritvirtinamas ventiliacijos gaubtas (8). Procesas vyksta vandeniui cirkuliuojant 4 L/min debitu. 2.3 lentelėje pateikti duomenys, bandymus atliekant aprašytame įrenginyje

2.3 lentelė. Nuolatinio veikimo įrenginio tyrimo sąlygos.

Bandymo Nr.	Dezinfekavimo metodas	Pradinio užkrato užterštumas, KSV/mL	Kas nustatoma	Ozono koncentracija, mg/L	Mėginių paėmimo laikas, min.
1	O ₃ +UV	~1,24×10 ⁵	Bendras kolonijų skaičius	2,7	0; 5; 10; 20; 30; 40; 50; 60; 80; 100; 120
2		~1,22×10 ⁵	<i>E. coli</i>		
			Koliforminės bakterijos		
			Bendras kolonijų skaičius		



2.2 pav. Modifikuota pažangiosios oksidacijos įrenginio schema: 1 – DBI reaktorius; 2 – DBI reaktoriaus indas; 3 – putų surinktuvas; 4 – UV lempa; 5 – UV/fotolizės reaktorius; 6 – siurblys; 7 – valomo vandens indas; 8 – ventiliacijos gaubtas

2.2. Modelinis vanduo

Eksperimentams ruošiamas kelių rūšių modelinis vanduo (žr. 2.4 lentelę).

2.4 lentelė. Modelinio vandens sudėtis

Bandymo Nr.	Vandentiekio vanduo, L	Mikrobiologinis užkratas, mL	Mikroorganizmų kiekis užkrate, KSV/mL	BOA kiekis, mg/L
1	12	120	3×10^6	-
2	12	200	$1,35 \times 10^6$	1; 10; 50
3	60	1000	$1,24 \times 10^5$	1
4	60	1000	$1,22 \times 10^5$	1

Norint, kad tyrimo metu sąlygos būtų kuo panašesnės į realias, pagal specialią receptūrą, aprašytą 2.5 lentelėje, gaminamas kūno skysčių analogas su įvairiomis neorganinėmis druskomis ir metabolinės kilmės organinėmis medžiagomis. Lentelėje pateikta 1 L kūno skysčių analogo sudėtis. Pagal šį receptą siūloma į 6,6 L talpos reaktorių pilti 15 mL šio mišinio, tokiu būdu imituojant 20 besimaudančiųjų išskiriamus kūno skysčius per dieną, kai baseino talpa yra 26000 L [49].

Norint imituoti mikrobiologinę taršą, į vandenį pilamas užkratas – filtratas iš nuotekų valyklos. Nuotekose yra didelis kiekis įvairių mikroorganizmų. *Pseudomonas aeruginosa*, *E. coli*, koliforminių bakterijų ar kitų mikroorganizmų skaičius yra nustatomas tiriant baseino vandens kokybę [4]. Šie mikroorganizmai bei daugelis kitų, randamų nuotekose, gali būti aptinkami ir plaukimo baseinuose [15], dėl to šis užkratas puikiai tinka norint pagaminti modelinį baseino vandenį.

2.5 lentelė. Kūno skysčių analogo sudėtis [49]

Komponentas	Koncentracija, mg/L
Karbamidas	62,6
Albuminas	9,7
Kreatininas	4,3
Pieno rūgštis	3,3
Šlapimo rūgštis	1,5
Gliukurono rūgštis	6,7
NH ₄ Cl	7,0
NaCl	22,1
Na ₂ SO ₄	35,3
NaHCO ₃	6,7
K ₃ PO ₄	11,4
K ₂ SO ₄	10,1

2.3. Analizės metodai

2.3.1. Bendrojo mikroorganizmų skaičiaus vandenyje nustatymas

Norint nustatyti mikroorganizmų skaičių dezinfekuotame vandenyje, atliekami šie etapai:

1. Mitybinės terpės paruošimas ir indų sterilinimas.

Naudojama agarizuota mitybinė terpė – „Milk Plate Count Agar“ arba „Plate Count Agar“.

Reikiamas kiekis terpės pasveriamas, supilamas į stiklo buteliuką, užpilamas distiliuotu vandeniu ir ištirpinamas.

Išplauti ir išdžiovinti mėgintuvėliai užkemšami vatinais kamščiais arba uždengiami folija. Mitybinė terpė ir indai autoklavuojami 121 °C temperatūroje 15 min. 1 atm slėgyje. Kartu sterilizuojami ir pipečių antgaliai bei distiliuotas vanduo, naudojamas skiedimams. Išautoklavuota mitybinė terpė supilstoma į sterilias Petri lėkšteles ir paliekama sustingti.

2. Išsėjimas.

Mėginiai išsėjami paviršiniu būdu. Sterilia pipete imama 0,5 – 1 mL tiriamo vandens ir tolygiai paskirstoma Petri lėkštelėje ant mitybinės terpės. Lėkštelės paliekamos pastovėti, kol vanduo susigeria į terpę. Tiksliesniems rezultatams gauti atliekami sėjimų pakartojimai.

Tada lėkštelės apverčiamos dugnais į viršų ir dedamos į termostatą. Temperatūra nustatoma atsižvelgiant į inkubavimo laiką ir gali svyruoti nuo 22 iki 36 °C.

Tiriant labai užterštą vandenį ir norint gauti izoliuotas kolonijas, mėginiai skiedžiami steriliu distiliuotu vandeniu reikiamu santykiu.

3. Rezultatų skaičiavimas.

Bakterijų kolonijos dažniausiai skaičiuojamos po 24 – 72 val. inkubacijos termostate. Bakterijų skaičius viename mililitre vandens apskaičiuojamas nustatčius vidutinį išaugusių kolonijų skaičių lėkštelėse ir įvertinus praskiedimą.

2.3.2. *E. coli* ir koliforminių bakterijų bendrojo skaičiaus nustatymas

E. coli ir koliforminių bakterijų bendrojo skaičiaus nustatymui naudojamas specialus agaras „Chromogenic Coliform Agar“. Metodas tinkamas naudoti mažai užterštiems mėginiams tirti, pavyzdžiui, geriamajam ar baseinų vandeniui. Jo veikimas pagrįstas fermentinėmis reakcijomis, dėl kurių ieškomi mikroorganizmai nusidažo tam tikra spalva [41, 42].

1. Mitybinės terpės paruošimas.

Reikiamas kiekis terpės ištirpinamas šaltame distiliuotame vandenyje. Kaitinama iki užvirimo, kol terpė visiškai ištirpsta. Kartais pamaišoma. Negalima autoklavuoti ir perkaitinti. Terpei šiek tiek atvėsus ji išpilstoma į Petri lėkšteles ir paliekama sustingti.

Sėjimui naudojami indai sterilinami autoklavuojant, kaip aprašyta 2.3.1 poskyryje.

2. Išsėjimas.

Mėginiai išsėjami paviršiniu būdu, kaip aprašyta anksčiau. Petri lėkštelės inkubuojamos 18 – 24 val. 36 ± 2 °C temperatūroje.

3. Rezultatų skaičiavimas.

Praėjus nustatytam laikui pagal spalvas skaičiuojamos užaugusios mikroorganizmų kolonijos. *E. coli* kolonijos nusidažo mėlyna ar violetine spalvomis, koliforminės bakterijos – nuo rožinės iki raudonos spalvos. Kitos bakterijos, dažniausiai gram-neigiamos, lieka bespalvės.

2.3.3. Bendroji organinė anglis

Bendras organinės anglies kiekis (BOA) nusako organinės anglies koncentraciją tiriamajame vandens mėginyje. Matuojant BOA vandens mėginys yra oksiduojamas iki anglies dvideginio deginant ar pridėjus atitinkamą oksidantą.

Tiriant BOA kiekį vandeniniame mėginyje, jis švirkštu suleidžiamas į analizatorių, ten mėginys sudeginamas platinos katalizatoriumi. Degimo proceso metu palaikoma 850 °C temperatūra. Susidariusi CO₂ koncentracija tokioje aukštoje temperatūroje išmatuojama naudojant detektorius. Vienas metodo trukdžių – neorganinės anglies (karbonatų) buvimas mėginyje, todėl prieš analizę vykdomas mėginių paruošimas – burbuliuojant įleidžiamos azoto dujos, panaikinančios karbonatus. Eksperimentui naudojamas bendrosios organinės anglies analizatorius *Shimadzu TOC-L* (*Shimadzu corp.*, Japonija).

Prieš analizuojant mėginius reikia paruošti:

- 10 mL mėginio filtruojama siekiant pašalinti skendinčias daleles;
- parūgštinama 1 mL sieros rūgštis;
- norint pašalinti neorganinę anglį (pvz., anglies dvideginį ar karbonato rūgšties jonus), pro parūgštintą mėginį apie 5 min .burbuliuojant leidžiamos inertinės dujos.

Taip paruoštas mėginys toliau analizuojamas bendrosios organinės anglies analizatoriuje. Rezultatai gaunami mg/L matavimo vienetais [51].

3. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

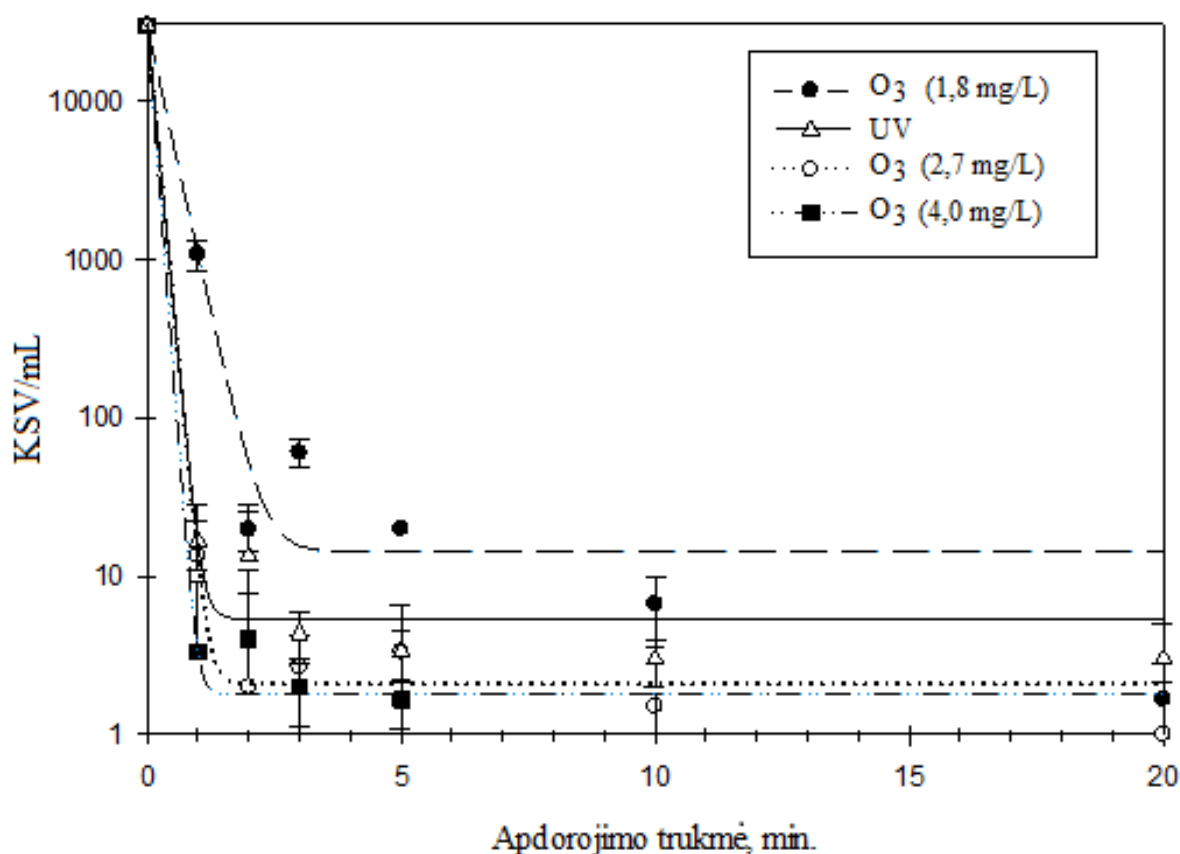
3.1. Skirtingų pažangiosios oksidacijos metodų taikymas užteršto vandens valymui

Siekiant nustatyti tinkamiausią būdą užteršto vandens valymui, vandens mėginiai apdorojami šiais būdais:

1. O₃
2. UV
3. O₃ + UV

Eksperimento metu keičiama ozono koncentracija, reguliuojant DBI reaktoriaus galią.

3.1 pav. pavaizduotas kolonijų skaičiaus kitimas vandenį veikiant skirtingos koncentracijos ozonu ir ultravioletine spinduliuote atskirai. Kolonijų skaičius išreikštas logaritminėje skalėje. Iš paveikslo galima matyti, kad kuo ozono koncentracija didesnė, tuo geriau išvalomas užterštas vanduo. Dezinfekuojuojant UV spinduliuote, vanduo išvalomas geriau, nei veikiant mažiausios koncentracijos ozonu (1,8 mg/L), tačiau valymas padidinus ozono kiekį yra veiksmingesnis už valymą tik UV spinduliuote.



3.1 pav. Kolonijų skaičiaus kitimo dinamikos priklausomybė nuo dezinfekavimo būdo ir ozono koncentracijos

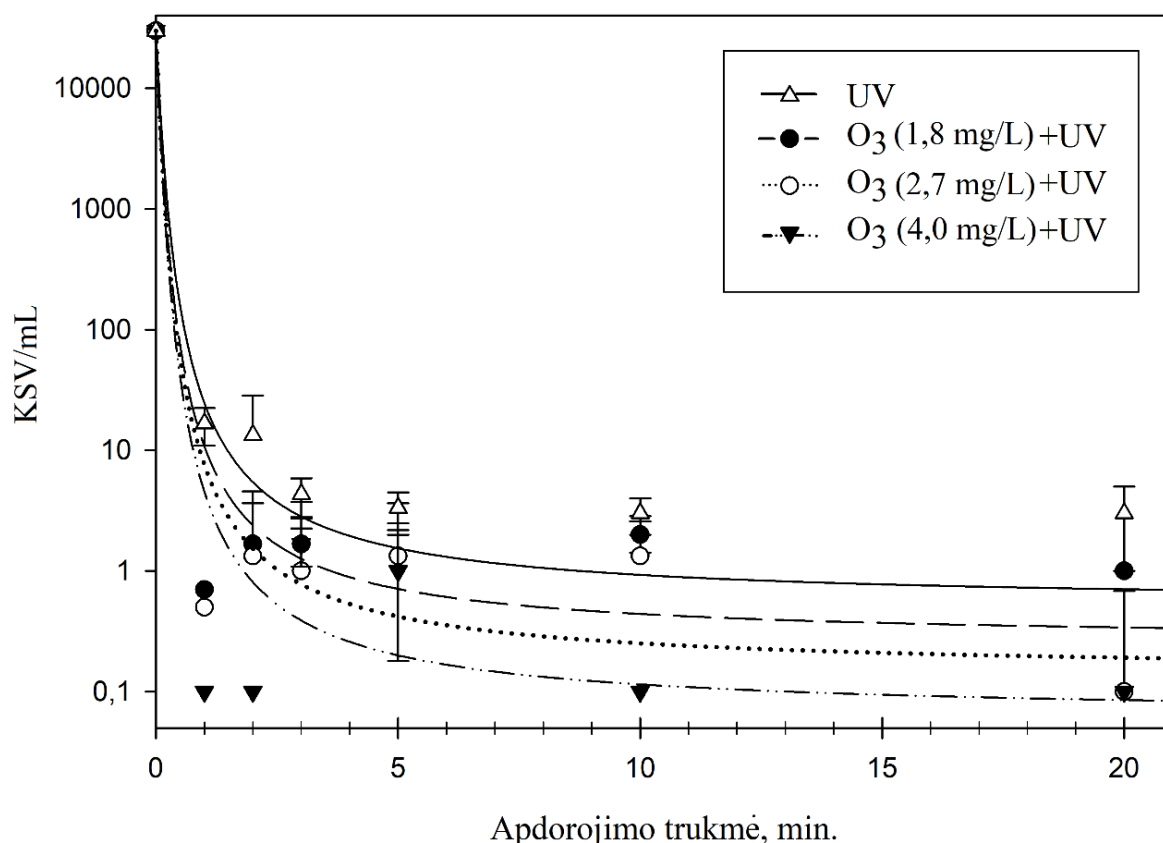
Jau pirmosiomis dezinfekavimo minutėmis pastebimas staigus užterštumo sumažėjimas. Dezinfekuojuojant didžiausios koncentracijos ozonu, kai DBI reaktoriaus galia siekia 90 W, po pirmosios minutės kolonijų skaičius ženkliai sumažėja ir nesiekia 10 KSV/ml.

Praėjus 3 minutėms nuo proceso pradžios, pastebimas nežymus kolonijų skaičiaus padidėjimas. Taip galėjo nutikti dėl to, kad pirmieji mėginiai, praėjus 1 ir 2 minutėms, buvo skiedžiami 10 kartų ir tik tada sėjami į Petri lėkšteles. Sekantys mėginiai skiedžiami nebuvo.

Praėjus 20 minučių nuo proceso pradžios, valant tiek skirtingos koncentracijos ozonu, tiek UV spinduliuote, vanduo išvalomas iki panašaus lygio, aptinkamos pavienės kolonijos, kurios gali būti atsiradusios ir dėl atsitiktinio užteršimo sėjimo metu.

Kai naudojama mažiausia ozono koncentracija, proceso efektyvumas po pirmosios minutės siekia 96,4 % (žr. 3.1 lentelę), taikant UV efektyvumas tuo pačiu laiko momentu yra 99,8 %, o kai ozono koncentracija didesnė, praėjus 1 min pasiekiamas 99,9 % efektyvumas. Tyrimo metu taikant atskirus praėjus 20 min. vis dar aptinkamos pavienės kolonijos.

3.2 pav. lyginamas vandens išvalymo efektyvumas valant tik su UV bei taikant kombinuotą dezinfekcijos metodą – O₃ + UV. Čia galima matyti, kad vandenį veikiant ozonu ir UV spinduliuote tuo pačiu metu, mėginys išvalomas veiksmingiau, nei veikiant vien tik su UV. Kaip ir pirmojo bandymo metu (žr. 3.1 pav.), didėjant ozono koncentracijai, didėja ir išvalymo efektyvumas, tačiau pasiekiamas geresnis rezultatas, nes ozonas vienu metu veikia su UV spinduliuote.



3.2 pav. Kolonijų skaičiaus kitimo dinamikos priklausomybė nuo dezinfekavimo tipo ir ozono koncentracijos, taikant kombinuotą metodą

Kombinuoti metodai su skirtingomis ozono koncentracijomis yra efektyvesni už fotolitinį dezinfekavimą. Lyginant su 3.1 pav. pavaizduotais metodais, vandens užterštumas mažėja sparčiau ir jau po pirmosios minutės pasiekiamas 100 % efektyvumas. Kaip ir pirmojo bandymo metu, praėjus pirmosioms minutėms mėginiai buvo skiedžiami, dėl to vėliau pastebimas nežymus efektyvumo sumažėjimas.

3.1 lentelė. Skirtingų dezinfekavimo metodų efektyvumo palyginimas

Apdorojimo trukmė, min.	Išvalymo efektyvumas, %						
	O ₃ (1,8 mg/L)	O ₃ (2,7 mg/L)	O ₃ (4,0 mg/L)	UV	O ₃ (1,8 mg/L) + UV	O ₃ (2,7 mg/L) + UV	O ₃ (4,0 mg/L) + UV
0	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	0,0	0,0
1	96,4	99,9	99,9	99,8	100,0	100,0	100,0
2	99,9	99,9	100,0	99,9	100,0	100,0	100,0
3	99,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
5	99,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
10	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
20	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Taikant kombinuotą technologiją mikrobais užterštas vanduo išvalomas efektyviau dėl sinergetinio UV ir O₃ poveikio. Gauti rezultatai sutampa su aprašytais literatūroje [27, 48]. Atliekant užteršto vandens fotokatalinio ozonavimo tyrimą nustatyta, jog tiriamos patogeninės bakterijos visiškai inaktyvuojamos dezinfekavimo metodus taikant kartu. Gauti geresni rezultatai, nei procesus naudojant atskirai. Be to, taikant fotokatalitinį ozonavimą 50 – 70 % sumažėjo dezinfekacijai reikiamo kontakto laikas, lyginant su fotokatalize ir ozonavimu atskirai. Taip pat praėjus 24 – 48 val. bakterijos neataugo, o tai gali pasitaikyti, kai metodai taikomi atskirai. Sinergetinis efektas sukėlė negrįžtamą žalą ląstelėms [36].

Tiriant OH• radikalo įtaką *Bacillus subtilis* sporų šalinimui, kai naudojamas ozonas, UV spinduliuotė ir skirtingos jų kombinacijos nustatyta, kad geriausias sinergetinis efektas pasiekiamas kombinuotame O₃/UV procese [52].

Esant didelei mikroorganizmų įvairovei kombinuoti metodai efektyvesni. Pavyzdžiui, vienas bakterijas geriau inaktyvuoja ozonas, kitas – UV spinduliai, todėl jei dezinfekuojama tik vienu būdu, atsparesnės bakterijos gali išlikti [27]. Taip pat įrodyta, kad taikomas ozonas ir UV sėkmingai inaktyvuoja chlorui atsparius patogenus, pavyzdžiui, *Cryptosporidium* oocistas ir *Giardia* cistas, o chloruotame vandenyje mažina tarpinių skilimo produktų susidarymą [53].

Taigi, išnagrinėjus gautus rezultatus ir palyginus juos su aprašytais literatūroje, galima daryti išvadą, kad kombinuotas pažangiosios oksidacijos metodas, taikant ozonavimą ir UV spinduliavimą vienu metu, yra labai efektyvus šalinant taršą iš mikrobais užteršto vandens.

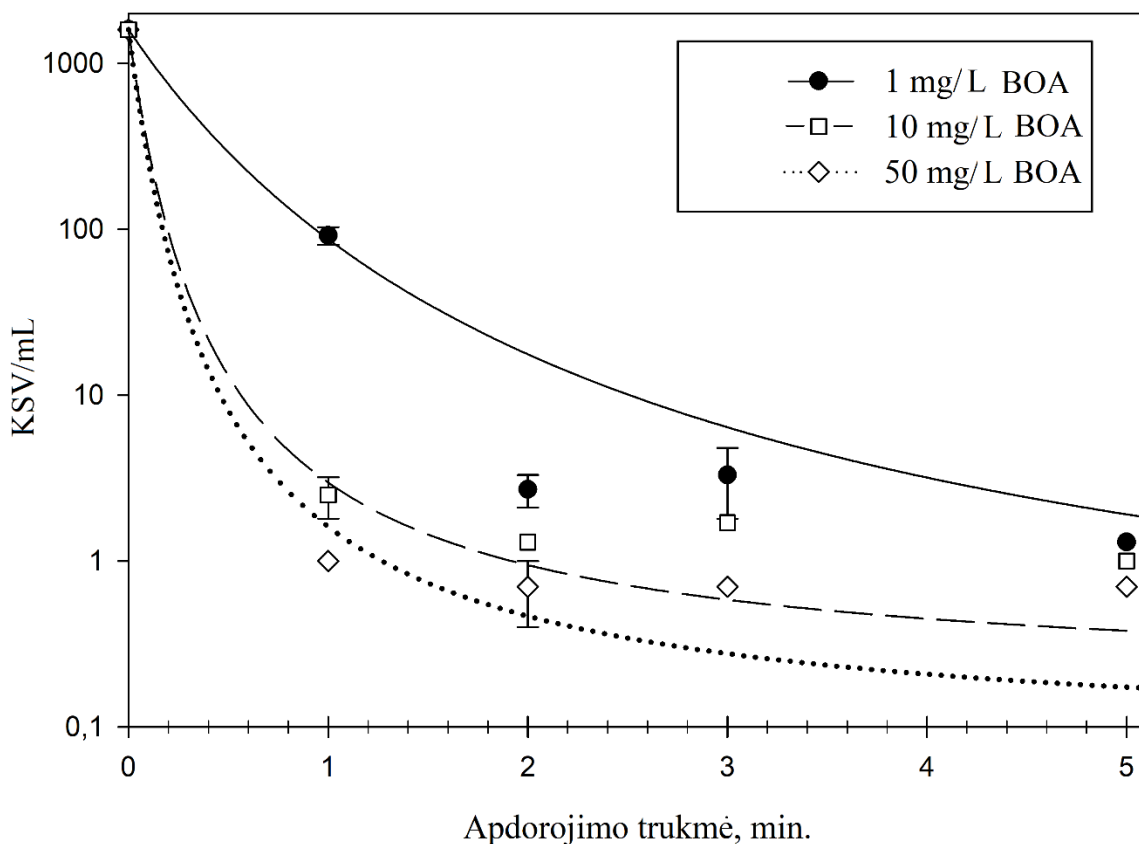
3.2. Organinių medžiagų įtaka fotolitinio ozonavimo efektyvumui

Pirmojo bandymo rezultatai rodo, kad kombinuotas valymo metodas yra efektyvesnis, dėl to tolimesniuose bandymuose nuspręsta naudoti vandens apdorojimą ozonu (2,7 mg/L) ir UV. Ozono koncentracija parinkta atsižvelgiant į tai, jog esant didžiausiai jo koncentracijai (4,0 mg/L) pasiekiamas panašus išvalymo lygis, kaip ir esant 2,7 mg/L koncentracijai.

Tiriamas vanduo su užkratu, pridant skirtingą kiekį organinių medžiagų.

Iš gautų rezultatų galima matyti, jog esant mažam organikos kiekiui (1 mg/L BOA), vandens mėginys išvalomas šiek tiek lėčiau. Praėjus 1 min. nuo proceso pradžios pasiekiamas 94,2 % efektyvumas

(žr. 3.2 lentelę). Organinių medžiagų kiekį didinant, mėginiai išvalomi efektyviau ir po pirmosios minutės užauga tik pavienės mikroorganizmų kolonijos bei pasiekiamas 99,8 – 99,9 % efektyvumas.



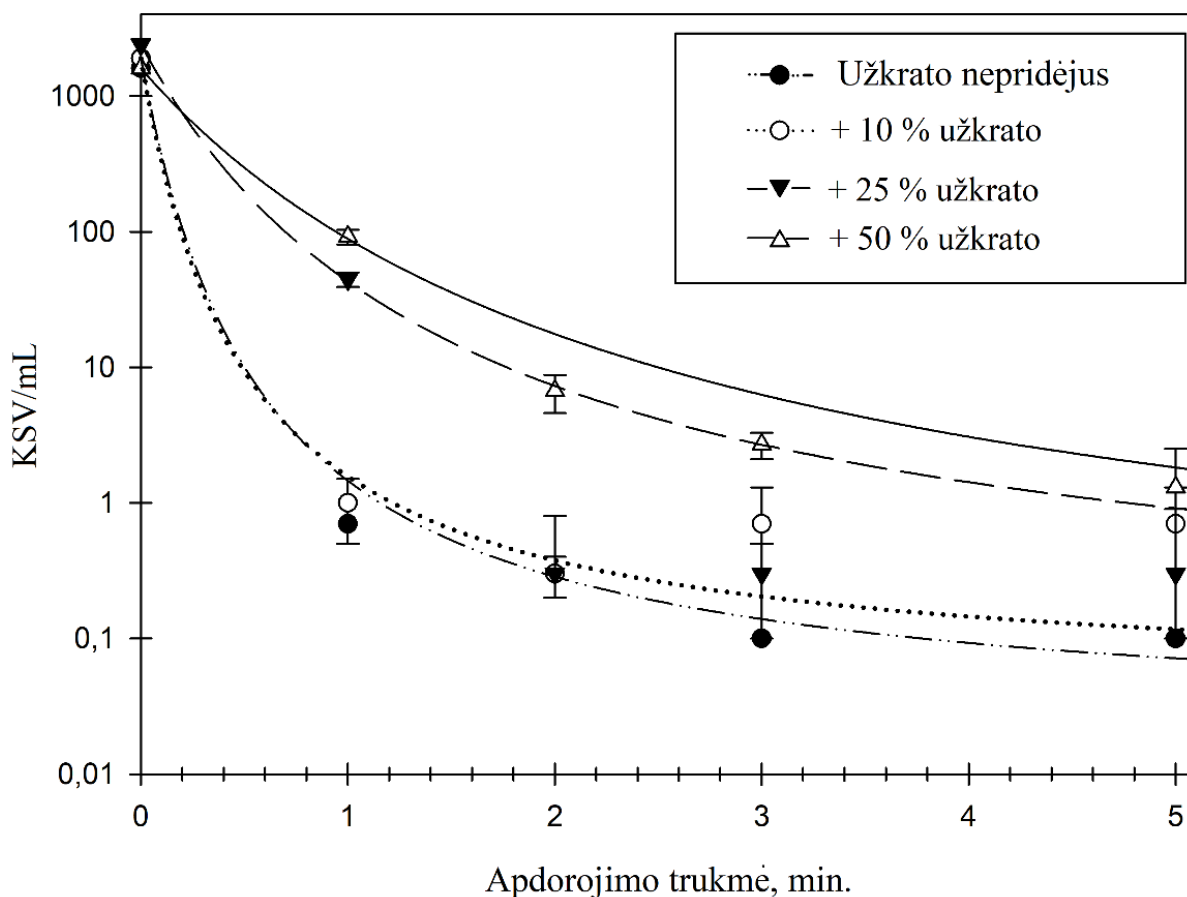
3.3 pav. Kolonijų skaičiaus kitimo dinamikos priklausomybė nuo organinių medžiagų koncentracijos vandenyje

Pagal kitų autorių atliktus tyrimus, žmogaus išskiriami skysčiai, kuriuose yra įvairių organinių medžiagų, gali daryti įtaką tarpinių produktų formavimuisi [54]. Nors taikant pažangiosios oksidacijos metodus šalutinių produktų susiformuoja mažiau, nei, pavyzdžiui, chloruojant vandenį, tačiau esant didelei organinių medžiagų koncentracijai susiformavę produktai gali daryti įtaką mikroorganizmams. 3.3 pav. galima matyti, jog mikroorganizmų skaičius mėginiuose mažėja greičiau esant didesnėms organinių medžiagų koncentracijoms. Šis skirtumas pastebimas lėkštelėse su mėginiais, paimtais praėjus 1 min nuo dezinfekavimo pradžios. Vėliau kolonijų skaičius supanašėja.

3.3. Mikroorganizmų kiekio įtaka vandens išvalymo efektyvumui

3.4 pav. ir 3.2 lentelėje pateikti rezultatai, rodantys kolonijų skaičiaus kitimą bei išvalymo efektyvumą, kai pradinių mėginių užterštumas yra skirtingas. Palyginimui naudojamas mėginys, kurio užterštumas toks, kaip aprašyta 3.2 poskyryje, o bendrosios organinės anglies kiekis yra 10 mg/L.

Papildomai pridėjus 10 % užkrato gauti rezultatai mažai skiriasi nuo kontrolinio bandymo. Abiem atvejais praėjus 1 min jau gaunamas 99,9 % efektyvumas.



3.4 pav. Kolonijų skaičiaus kitimo dinamikos priklausomybė nuo mikroorganizmų kiekio pradinuose mėginiuose

Užkrato dedant daugiau (25 ir 50 %) mėginys dezinfekuojamas lėčiau. Praėjus 1 min. lėkštelėse aptinkamų kolonijų skaičius yra apie 100 KSV/mL. Esant didžiausiam papildomo užkrato kiekiui proceso efektyvumas šiek tiek sumažėja (98,1 % praėjus 1 min.). Dezinfekuojant toliau gauti duomenys beveik išsilygina, aptinkamų kolonijų skaičius yra mažesnis nei 10 KSV/mL arba jų visai neaptinkama, išvalymo efektyvumas siekia 99,9–100 %.

Esant skirtingam mėginių pradiniam užterštumui juose mikroorganizmų skaičius svyruoja maždaug nuo 1600 iki 2400 KSV/mL. Veikiant DBI reaktoriui jau po pirmųjų 2 min. vanduo išvalomas iki panašaus lygio, todėl galima daryti išvadą, kad mikroorganizmų kiekis valomajame mėginyje išvalymo efektyvumą šiek tiek įtakoja pirmosiomis minutėmis, o vėliau įtaka sumažėja.

Kitų autorių atlikti tyrimai taip pat rodo, kad esant dideliame vandens užterštumui bakterijų skaičius, dezinfekuojant ozonu bei UV vienu metu, greitai mažėja [47]. Priklausomai nuo parinktos ozono koncentracijos ir UV lempos galingumo, vandens išvalymo efektyvumas gali siekti 99 % ir daugiau jau po 15 sekundžių nuo apdoravimo pradžios [55].

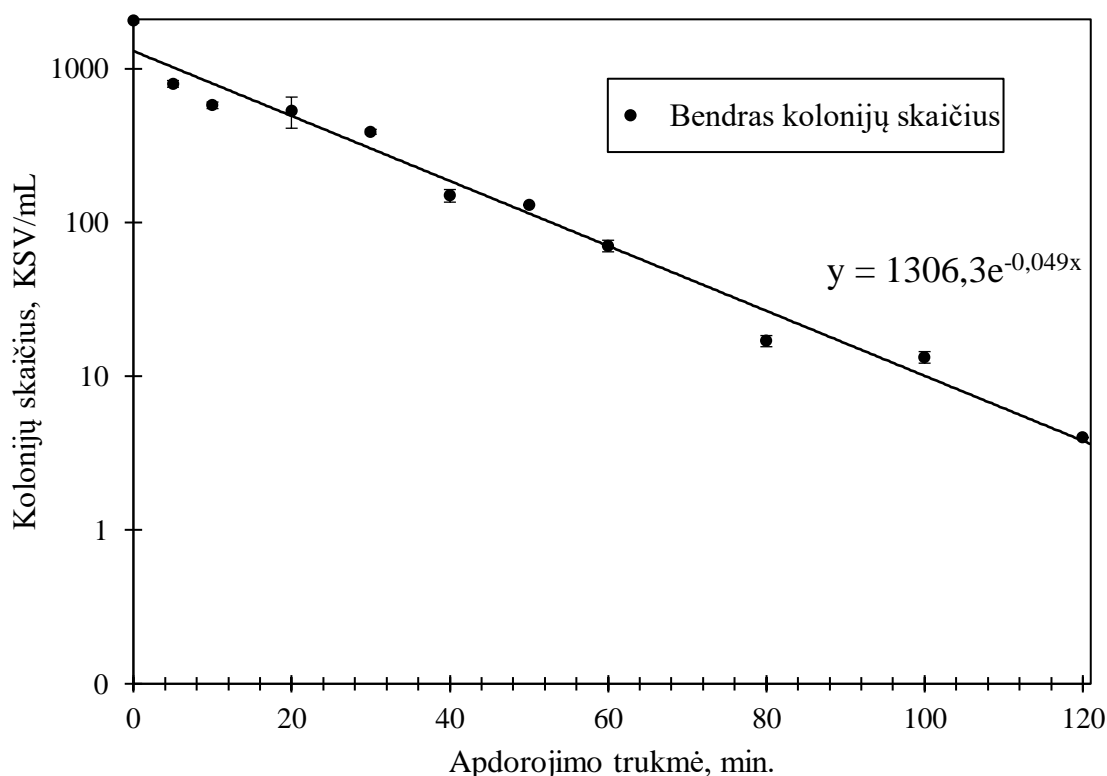
3.2 lentelė. Vandens išvalymo efektyvumo priklausomybė nuo organikos kiekio ir pradinio užterštumo lygio

Apdorojimo trukmė, min.	Išvalymo efektyvumas, %					
	1 mg/L BOA	10 mg/L BOA	50 mg/L BOA	+ 10 % užkrato	+ 25 % užkrato	+ 50 % užkrato
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	94	99,9	99,8	99,9	99,8	98,1
2	99	100,0	99,9	100,0	100,0	99,9
3	100,0	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9
5	100,0	100,0	99,9	100,0	100,0	100,0
10	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
20	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

3.4. Pažangiosios oksidacijos taikymas modelinio baseino vandens valymui

Tiriant nuolatinio veikimo pažangiosios oksidacijos įrenginio efektyvumą atliekami 2 eksperimentai su 2.2 pav. pavaizduota įranga. Pirmąjį kartą stebimas bendro kolonijų skaičiaus pokytis, antrąjį – mėginiai sėjami ant specialaus agaro, siekiant nustatyti ne tik bendrąjį mikroorganizmų skaičių, bet ir *E. coli* bei koliforminių bakterijų skaičiaus kitimą.

3.4.1. Bendrojo mikroorganizmų skaičiaus kitimas nuolatinio veikimo pažangiosios oksidacijos įrenginyje



3.5 pav. Kolonijų skaičiaus kitimas nuolatinio reaktoriaus veikimo sąlygomis

Pirmojo eksperimento metu vykstant cirkuliacijai modelinis baseino vanduo pastoviai tiekiamas į reaktorių, ten išvalomas ir grąžinamas atgal į bendrą talpą, kurioje susimaišo su nevalytu vandeniu.

Vienu metu valomas ne visas vanduo, o tik jo dalis, dėl to reikia daugiau laiko tinkamam išvalymo lygiui pasiekti. Bendrojo kolonijų skaičiaus kitimas pavaizduotas 3.5 pav.

Bakterijų skaičius vandenyje mažėja iš lėto, praėjus 50 min. jų aptinkama virš 100 KSV/mL. Po 120 min. kolonijų skaičius sumažėja iki 4 KSV/mL, todėl galima daryti prielaidą, kad dezinfekuojuojant dar kelias minutes bakterijos išnyks visiškai.

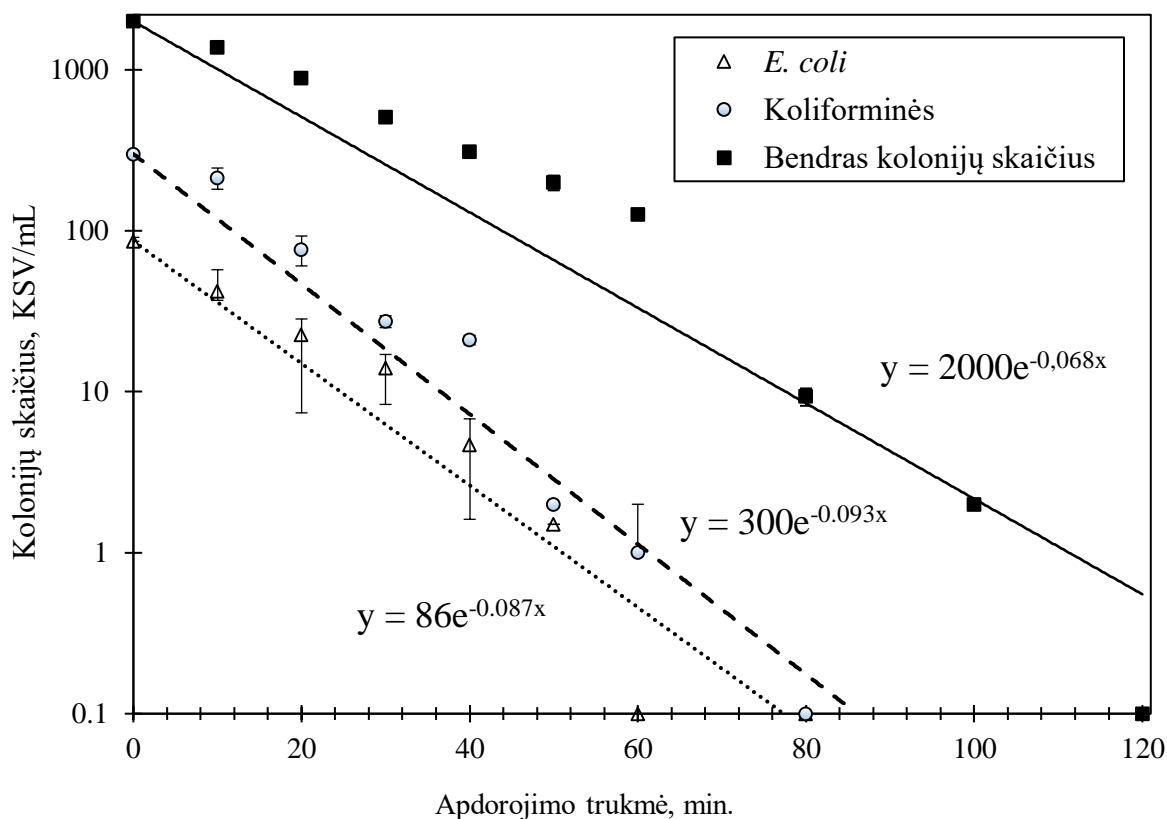
Praėjus 5 min. nuo proceso pradžios pasiekiamas 61 % išvalymo efektyvumas (žr. 3.3 lentelę), o po 80 min. jis siekia jau 99 %. Dezinfekuojuojant toliau efektyvumas vis didėja, aptinkamos tik pavienės kolonijos.

Laikui bėgant dezinfekuojuojamo vandens pokyčiai pastebimi ir vizualiai – jis nuskaidrėja, įgauna šiek tiek melsvą atspalvį.

3.4.2. *E. coli* ir koliforminių bakterijų skaičiaus kitimas nuolatinio veikimo pažangiosios oksidacijos įrenginyje

Ant specialaus agaru išaugusios kolonijos identifikuojamos pagal spalvą, jų skaičiaus pokytis dezinfekavimo metu pateiktas 3.6 pav.

Iš gautų rezultatų galima matyti, jog praėjus 60 min. *E. coli* bakterijų nebeaptinkama, o po 80 min. pašalinamos ir kitos koliforminės bakterijos. Taigi, *E. coli* ir koliforminių bakterijų inaktyvavimo efektyvumas pasiekia 100 % praėjus nurodytam laikui (žr. 3.3 lentelę).



3.6 pav. *E. coli* ir koliforminių bakterijų kiekio kitimas nuolatinio veikimo DBI įrenginyje

Be paminėtų bakterijų mėginiuose yra ir daug kitų rūšių bakterijų, kurių skaičius mažėja lėčiau. Praėjus 80 min jų skaičius jau mažesnis nei 10 KSV/mL, proceso efektyvumas – 100%. Praėjus 120 min. neišauga nei viena bakterija ir išvalymo efektyvumas pasiekia 100 %.

Abiejų eksperimentų rezultatus lyginant tarpusavyje matoma, kad pirmojo bandymo metu vanduo dezinfekuojamas greičiau. Praėjus 10 min. jau pasiekiamas 72% efektyvumas, o antrojo bandymo metu praėjus tam pačiam laikui efektyvumas yra tik 32 %. Dezinfekavimą atliekant toliau išvalymo lygis supanašėja ir po 80 min. jau gaunamas 99 – 100 % efektyvumas.

3.5 ir 3.6 pav. pateiktos ir dezinfekavimo greičio konstantos. Pirmojo bandymo metu bendrojo kolonijų skaičiaus inaktyvavimo eksponentinio pobūdžio konstanta $k=0,049 \text{ min}^{-1}$. Antrojo bandymo *E. coli* inaktyvinimo konstanta $k=0,087 \text{ min}^{-1}$, koliforminių bakterijų – $k=0,093 \text{ min}^{-1}$, o bendrojo kolonijų skaičiaus – $k=0,068 \text{ min}^{-1}$. Tarpusavyje konstantas sunku palyginti, nes skiriasi pradinių bandinių užterštumas

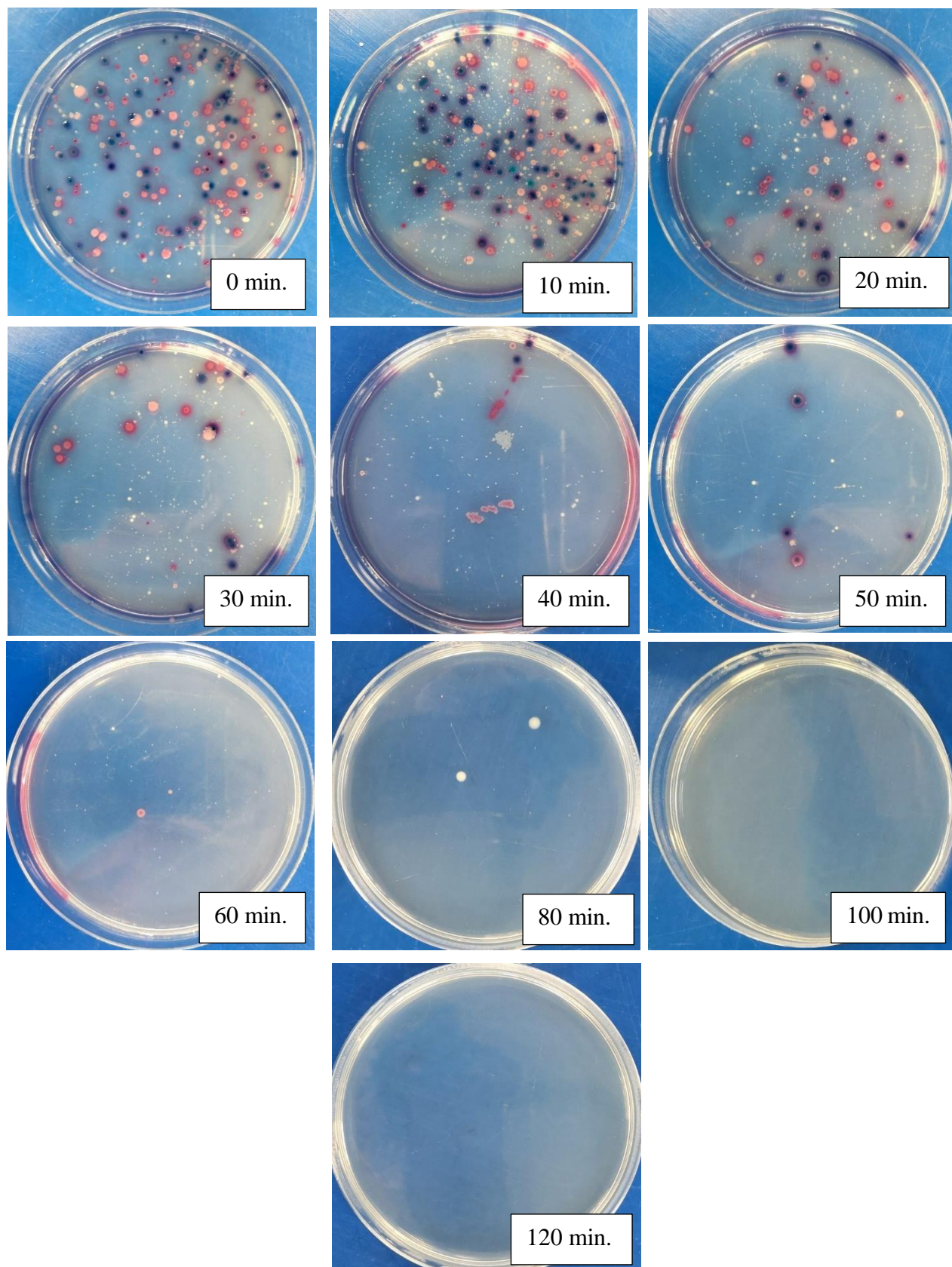
3.3 lentelė. Modelinio vandens išvalymo efektyvumas nuolatinio veikimo pažangiosios oksidacijos įrenginyje

Apdoravimo trukmė, min.	Išvalymo efektyvumas, %			
	I eksperimentas	II eksperimentas		
	Heterotrofinė mezofilinė mikroflora	<i>E.coli</i>	Koliforminės	Heterotrofinė mezofilinė mikroflora
0	0	0	0	0
5	6	-	-	-
10	72	51	29	32
20	74	73	74	56
30	81	84	91	75
40	93	95	93	85
50	94	98	99	90
60	97	100	100	94
80	99	100	100	100
100	99	100	100	100
120	100	100	100	100

Lėkštelių su išaugusiomis kolonijomis vaizdas pateiktas 3.7 paveiksle.

E. coli bakterijos nusidažiusios mėlyna bei violetine spalvomis, koliforminės – rožine spalva, o likusios bakterijos – bespalvės. Vizualiai galima matyti, kaip kolonijų skaičius laikui bėgant mažėja, o paskutinė lėkštelė po 120 min. – tuščia.

Praėjus 60 min. matomos tik rožinės (koliforminės) bakterijos, *E. coli* nebeaptinkama. Po 80 min. matomos išaugusios tik kelios bespalvės bakterijų kolonijos.



3.7 pav. Išaugusių ant chromogeninio agaro kolonijų vaizdas

D. Wu atlikto tyrimo metu buvo vertinamas kombinuotos UV/O₃ vandens dezinfekavimo technologijos efektyvumas. Tirtas *E. coli* inaktyvavimo mechanizmas. Nustatyta, kad UV ir ozonas sukelia ne tik DNR pakitimus, bet taip pat naikina ir ląstelės sienelę, dėl ko nuslopinama bakterijos

galimybė ataugti [47]. Be to, reakcijų metu susidaręs $\text{OH}\cdot$ radikalas yra daug stipresnis už patį ozoną [56].

Išanalizavus gautus rezultatus ir palyginus juos su aprašytais literatūroje, galima daryti išvadą, jog kombinuotos dezinfekavimo technologijos taikymas yra efektyvus siekiant sumažinti mikrobiologinį užterštumą. Taikant kombinuotą metodą taip pat sumažėja reikiamo ozono ir UV spinduliavimo dozės, lyginant su metodų taikymu atskirai [47].

Realiomis sąlygomis tikrame baseine vanduo yra teršiamas periodiškai, nes vyksta baseino lankytojų kaita, todėl vanduo turi cirkuliuoti ir būti valomas nuolatos.

Pagal HN 109:2016 bendras koliforminių bakterijų skaičius baseino vandenyje turi neviršyti 10 KSV/100 mL, o *E. coli* negali būti. Ozonavimo ir UV spinduliavimo metu nuolatinio veikimo sąlygomis praėjus 80 min. išvalyto vandens kokybė atitinka reikalavimus. Reikiamas vandens išvalymo efektyvumas pasiekiamas tiek ozoną ir UV spinduliavimą taikant atskirai, tiek kombinuotai, tačiau skiriasi proceso trukmė.

Išvados ir apibendrinimai

1. Baseinų vandens valymo metodai yra cheminiai, fizikiniai arba kombinuoti. Pažangioji oksidacija ozonu ir ultravioletine spinduliuote yra alternatyvus būdas, norint išvengti neigiamo chloro ir jo junginių poveikio. Taikant šią technologiją iš vandens efektyviai pašalinami mikrobinės taršos sukėlėjai ir išvengiama, arba ženkliai sumažinama, cheminė tarša.
2. Įvertinus ozonavimo ir UV spinduliuavimo procesų efektyvumą nustatyta, kad geriausiai vanduo išvalomas šiuos metodus taikant vienu metu. Ozoną ir ultravioletinę spinduliuotę taikant atskirai po pirmosios proceso minutės mėginiuose dar aptinkama maždaug nuo 10 iki 1000 kolonijų viename mililitre mėginio, priklausomai nuo pasirinkto dezinfekavimo būdo ir ozono koncentracijos. Taikant kombinuotą technologiją praėjus minutei pasiekimas 100,0 % išvalymo efektyvumas, mikroorganizmų mėginiuose aptinkama mažiau nei 10 KSV/mL.
3. Įvertinus ozono koncentracijos įtaką nustatyta, kad kuo ozono koncentracija didesnė, tuo didesnis ir vandens išvalymo efektyvumas. Taikant kombinuotą technologiją esant didesnei ozono koncentracijai vanduo išvalomas greičiau, tačiau pastebimas skirtumas nėra didelis, nes visais atvejais užaugusių kolonijų skaičius yra mažesnis nei 10 KSV/mL. Dezinfekavimui naudojant tik ozoną, skirtumas yra didesnis. Esant 1,8 mg/L ozono koncentracijai, pavienės kolonijos mėginiuose aptinkamos praėjus 5 min nuo proceso pradžios, o kai ozono koncentracija siekia 2,7 arba 4,0 mg/L, laikas sumažėja atitinkamai iki 2 ir 1 min.
4. Keičiant organikos kiekį vandenyje pastebima, kad esant didesnei koncentracijai, mėginys išvalomas šiek tiek greičiau. Pridėjus papildomai 25 – 50 % užkrato kolonijų skaičius po pirmosios proceso minutės yra apie 100 KSV/mL didesnis, nei užkrato ne pridėjus. Tačiau skirtumas matomas tik pirmosiomis proceso minutėmis.
5. Ozonavimo ir UV spinduliuavimo metodas tinkamas taikyti tiek periodinio, tiek nuolatinio srauto sąlygomis. Nuolatinio veikimo įrenginyje mikrobinis užterštumas mažėja palaipsniui. Praėjus 60 min nuo proceso pradžios vandenyje aptinkamų kolonijų skaičius siekia 100 KSV/mL. 100 % vandens išvalymo efektyvumas pasiekiamas praėjus 120 min. Po 80 min jau neaptinkama *E. coli* ir kitų koliforminių bakterijų.

Literatūros sąrašas

1. CARTER, Rhys AA; JOLL, Cynthia A. Occurrence and formation of disinfection by-products in the swimming pool environment: A critical review. *Journal of Environmental Sciences*[interaktyvus]. 2017, 58: 19-50 [žiūrėta 2018-06-11]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.06.013>
2. Lenntech BV, „Swimming pool water treatment“ [žiūrėta 2018-06-19]. Prieiga per internetą: <https://www.lenntech.de/prozesse/desinfektion/swimming-pool-treatment.htm>.
3. EKO baseinai „Tvenkiniai | Tvenkinių įranga ir įrengimas,” 2016. Prieiga per internetą: <http://tvenkiniu-projektai.lt/telkiniu-tipai/eko-baseinai/>
4. LIETUVOS HIGIENOS NORMA HN 109:2016. *Baseinių visuomenės sveikatos saugos reikalavimai*“, 81: 1–18, 2017.
5. LIETUVOS HIGIENOS NORMA HN 24:2017. *Geriamojo vandens saugos ir kokybės reikalavimai*“, 81: 1–18, 2017.
6. LIETUVOS HIGIENOS NORMA HN 127:2010. *Mineralinis ir jūros vanduo išoriniam naudojimui. Sveikatos saugos reikalavimai*, 56. 2–5, 2010.
7. LIETUVOS HIGIENOS NORMA HN 109:2005. *Baseinai. Įrengimo ir priežiūros saugos sveikatai reikalavimai*, 390. Vilnius, p. Nr. V-572, 2005.
8. WORLD HEALTH ORGANIZATION, et al. Guidelines for safe recreational water environments: swimming pools and similar environments. In: *Guidelines for safe recreational water environments: swimming pools and similar environments* [interaktyvus]. 2006. ISBN 9241546808
9. TEO, Tiffany LL; COLEMAN, Heather M.; KHAN, Stuart J. Chemical contaminants in swimming pools: Occurrence, implications and control. *Environment International* [interaktyvus]. 2015, 76: 16-31 [žiūrėta 2018-12-10]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.012>
10. FANTUZZI, G., et al. Illicit drugs and pharmaceuticals in swimming pool waters. *Science of the Total Environment* [interaktyvus]. 2018, 635: 956-963. [žiūrėta 2018-06-11]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.155>
11. SISTI, Maurizio, et al. Inactivation of pathogenic dermatophytes by ultraviolet irradiation in swimming pool thermal water. *International journal of environmental health research* [interaktyvus]. 2014, 24.5: 412-417. [žiūrėta 2019-05-27]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1080/09603123.2013.835034>
12. BRIANCESCO, Rossella, et al. Non-tuberculous mycobacteria, amoebae and bacterial indicators in swimming pool and spa. *Microchemical Journal* [interaktyvus]. 2014, 113: 48-52. [žiūrėta 2019-05-27]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2013.11.003>
13. BILAJAC, Lovorka, et al. Microbiological and chemical indicators of water quality in indoor hotel swimming pools before and after training of swimming pool operators. *Journal of water and health*, 2012, 10.1: 108-115. [žiūrėta 2019-05-10]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.2166/wh.2011.125>
14. AKEJU, Tolutope Oluseyi. Enumeration of coliform bacteria and characterization of *Escherichia coli* isolated from Staff Club swimming pool in Ile-Ife, Nigeria. *bioRxiv* [interaktyvus]. 2015, 018127. [žiūrėta 2019-05-09]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1101/018127>
15. CASANOVAS-MASSANA, Arnau; BLANCH, Anicet R. Characterization of microbial populations associated with natural swimming pools. *International journal of hygiene and*

- environmental health* [interaktyvus]. 2013, 216.2: 132-137. [žiūrėta 2018-06-05]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2012.04.002>
16. POND, Kathy. *Water recreation and disease: plausibility of associated infections: acute effects, sequelae, and mortality*. World Health Organization, 2005. ISBN 1843390663
 17. EUROPOS MAISTO SAUGUMO TARNYBA. *EMST aiškina apie zoonotines ligas*. ISBN: 978-92-9199-386-4 Prieiga per doi: 10.2805/88026
 18. LANGE, B.; STRATHMANN, M.; OßMER, R. Performance validation of chromogenic coliform agar for the enumeration of *Escherichia coli* and coliform bacteria. *Letters in applied microbiology* [interaktyvus]. 2013, 57.6: 547-553. [žiūrėta 2018-12-10]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1111/lam.12147>
 19. WENG, ShihChi, et al. The presence of pharmaceuticals and personal care products in swimming pools. *Environmental Science & Technology Letters* [interaktyvus]. 2014, 1.12: 495-498. [žiūrėta 2018-06-01]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1021/ez5003133>
 20. EKOWATI, Yuli, et al. Occurrence of pharmaceuticals and UV filters in swimming pools and spas. *Environmental science and pollution research* [interaktyvus]. 2016, 23.14: 14431-14441. ISSN 1614-7499. [žiūrėta 2018-05-19]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6560-1>
 21. PUETZ, John D. *Swimming Pool Water Chemistry. The Care And Treatment Of Swimming Pool Water*. *Advantis Technologies* [interaktyvus]. 2013.
 22. Baseino filtravimo sistemos paleidimas ir jos veikimas. [žiūrėta 2018-12-10] Prieiga per internetą: http://www.expresspool.net/images/Userfiles/Baseinas_instrukcijos/BASEINO_FILTRAVIMO_SISTEMOS_PALEIDIMAS_IR_JOS_VEIKIMAS.pdf
 23. Baseinų filtrų užpildai. Užpildai baseinų filtrams | Kvarcinis smėlis. [Interaktyvus], [žiūrėta 2019-05-12] Prieiga per internetą: <http://baseinuiranga.eu/baseinu-iranga/vandens-filtrai/baseinu-filtru-priedai>.
 24. Moterų Žurnalas Apie Santykius Ir Sveikatai. Kas yra diatominės žemės privalumai? [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2019-03-06]. Prieiga per internetą: <https://lt.alfawoman.com/what-are-benefits-of-diatomaceous-earth-192>.
 25. TANG, Hao L.; XIE, Yuefeng F. Biologically active carbon filtration for haloacetic acid removal from swimming pool water. *Science of the Total Environment* [interaktyvus]. 2016, 541: 58-64. [žiūrėta 2018-12-15]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.059>
 26. EKINS, D. Swimming pool filters: sand vs glass vs OC-1 filter media,” 2017. [žiūrėta 2019-04-26]. Prieiga per internetą: <https://eagleleisure.co.uk/comparing-swimming-pool-filters-sand-glass-oc-1/>.
 27. EUSA. Technical paper – Water Treatment. *Domestic Swimming Water Treatment*. 2010.
 28. Water Treatment Manual : Disinfection. *Environmental Protection Agency*, 2013. ISBN: 978-184095-421-0
 29. Lovibond; Tintometer GmbH, “Swimming pool water treatment,” 2011. [žiūrėta 2019-03-14]. Prieiga per internetą: <https://www.lovibond.com/en/PW/Water-Testing/Applications/Pool-Water-Treatment>
 30. HOFFMANN, Matthias. Ozone-Bromine Treatment–Water Treatment in Public Pools without Chlorine: A New Standard?. *Ozone: Science & Engineering* [interaktyvus]. 2015, 37.5: 456-466. [žiūrėta 2018-12-15]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1080/01919512.2015.1053014>

31. CHAN, E. T. A Guide to Swimming Pool Maintenance and Filtration Systems: An Instructional Know-How on Everything You Need to Know. *Partridge*. 2015. ISBN: 978-1-4828-3164-1 (sc)
32. STANGE, C., et al. Comparative removal of antibiotic resistance genes during chlorination, ozonation, and UV treatment. *International journal of hygiene and environmental health* [interaktyvus]. 2019. [žiūrėta 2019-05-20]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.02.002>
33. GUO, Meiting, et al. UV inactivation and characteristics after photoreactivation of *Escherichia coli* with plasmid: health safety concern about UV disinfection. *Water research* [interaktyvus]. 2012, 46.13: 4031-4036. [žiūrėta 2019-04-20]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.05.005>
34. TIJANI, Jimoh O., et al. A review of combined advanced oxidation technologies for the removal of organic pollutants from water. *Water, Air, & Soil Pollution* [interaktyvus]. 2014, 225.9: 2102. [žiūrėta 2019-05-21]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2102-y>
35. CHIN, August; BÉRUBÉ, P. R. Removal of disinfection by-product precursors with ozone-UV advanced oxidation process. *Water Research* [interaktyvus]. 2005, 39.10: 2136-2144. [žiūrėta 2019-05-20]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.03.021>
36. BUSTOS, Yaneth A., et al. Disinfection of a wastewater flow treated by advanced primary treatment using O₃, UV and O₃/UV combinations. *Journal of Environmental Science and Health Part A* [interaktyvus]. 2010, 45.13: 1715-1719. [žiūrėta 2019-05-14]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1080/10934529.2010.513241>
37. MECHA, Achisa C., et al. Evaluation of synergy and bacterial regrowth in photocatalytic ozonation disinfection of municipal wastewater. *Science of the Total Environment* [interaktyvus]. 2017, 601: 626-635. [žiūrėta 2019-04-19]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.204>
38. BRADFORD, Wesley Lamont. What bathers put into a pool: a critical review of body fluids and a body fluid analog. *International Journal of Aquatic Research and Education* [interaktyvus]. 2014, 8.2: 6. eSearch and Education: Vol. 8 : No. 2 , Article 6. [žiūrėta 2019-03-26]. Prieiga per doi: 10.25035/ijare.08.02.06
39. CIMETIERE, Nicolas; DE LAAT, Joseph. Effects of UV-dechloramination of swimming pool water on the formation of disinfection by-products: A lab-scale study. *Microchemical Journal* [interaktyvus]. 2014, 112: 34-41. [žiūrėta 2019-05-24]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2013.09.014>
40. ŁASKAWIEC, Edyta; DUDZIAK, Mariusz; WYCZARSKA-KOKOT, Joanna. Ultrafiltration for purification and treatment of water streams in swimming pool circuits. *Journal of Ecological Engineering* [interaktyvus]. 2018, 19.3. [žiūrėta 2019-05-14]. Prieiga per doi: [10.12911/22998993/85451](https://doi.org/10.12911/22998993/85451)
41. VILLANUEVA, Cristina M., et al. Bladder cancer and exposure to water disinfection by-products through ingestion, bathing, showering, and swimming in pools. *American journal of epidemiology* [interaktyvus]. 2006, 165.2: 148-156. [žiūrėta 2019-05-14]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1093/aje/kwj364>
42. STEPHENS, A. Methods and Limitations of Routine Pool Water Testing, Pool and SPA News Exclusive. 2013. Prieiga per internetą:

- https://www.poolspanews.com/facilities/maintenance/methods-and-limitations-of-routine-pool-water-testing_o
43. DALLOLIO, L., et al. Hygienic surveillance in swimming pools: assessment of the water quality in Bologna facilities in the period 2010–2012. *Microchemical Journal* [interaktyvus]. 2013, 110: 624-628. [žiūrėta 2019-05-18]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2013.07.013>
 44. SKIBINSKI. B. „Development of a pool-model to study the impact of different treatment processes on disinfection by-products, [interaktyvus]. 176-182,” 176–182.
 45. JUDD, S. J.; BLACK, S. H. Disinfection by-product formation in swimming pool waters: a simple mass balance. *Water research* [interaktyvus]. 2000, 34.5: 1611-1619. [žiūrėta 2019-05-18]. Prieiga per doi: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00316-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00316-4)
 46. BORGMANN-STRAHSEN, Renate. Comparative assessment of different biocides in swimming pool water. *International Biodeterioration & Biodegradation* [interaktyvus]. 2003, 51.4: 291-297. [žiūrėta 2019-05-15]. Prieiga per doi: [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(03\)00040-4](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(03)00040-4)
 47. TICHONOVAS, Martynas, et al. Ozone-UV-catalysis based advanced oxidation process for wastewater treatment. *Environmental Science and Pollution Research* [interaktyvus]. 2017, 24.21: 17584-17597. Online ISSN 1614-7499. [žiūrėta 2019-02-25]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9381-y>
 48. WU, Donghai, et al. Disinfection characteristics of the combined ultraviolet radiation and ozone process using Escherichia coli as a probe. *Water Science and Technology: Water Supply* [interaktyvus]. 2016, 16.1: 163-170. [žiūrėta 2019-05-17]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.2166/ws.2015.123>
 49. SIMOR, Andrew E.; LOUIE, Marie; LOW, Donald E. Canadian national survey of prevalence of antimicrobial resistance among clinical isolates of Streptococcus pneumoniae. Canadian Bacterial Surveillance Network. *Antimicrobial agents and chemotherapy* [interaktyvus]. 1996, 40.9: 2190-2193. [žiūrėta 2019-05-18]. Prieiga per doi: 10.1128/AAC.40.9.2190
 50. GOERES, Darla M., et al. Evaluation of disinfectant efficacy against biofilm and suspended bacteria in a laboratory swimming pool model. *Water research* [interaktyvus]. 2004, 38.13: 3103-3109.“ [žiūrėta 2019-03-15]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.04.041>
 51. PANREACH APPLICHEAM. CCA Agar Chromogenic ISO 9308-1:2014. Prieiga per internetą: <https://www.itwreagents.com/rest-of-world/en/product/search?term=CCA+Agar+Chromogenic+>
 52. NACIONALINĖ STANDARTIZACIJOS INSTITUCIJA LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS, [EN 1484:2002]. *Vandens tyrimas. Nurodymai, kaip nustatyti bendrąją organinę anglį (TOC) ir ištirpusią organinę anglį (DOC)*. 2000-12-11.
 53. JUNG, Yeon Jung; OH, Byung Soo; KANG, Joon-Wun. Synergistic effect of sequential or combined use of ozone and UV radiation for the disinfection of Bacillus subtilis spores. *Water research* [interaktyvus]. 2008, 42.6-7: 1613-1621. [žiūrėta 2019-05-10]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.10.008>
 54. EKOWATI, Yuli, et al. Application of UVOX Redox® for swimming pool water treatment: Microbial inactivation, disinfection byproduct formation and micropollutant

- removal. *Chemosphere* [interaktyvus]. 2019, 220: 176-184. [žiūrėta 2019-05-21]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.126>
55. KANAN, Amer; KARANFIL, Tanju. Formation of disinfection by-products in indoor swimming pool water: The contribution from filling water natural organic matter and swimmer body fluids. *Water Research* [interaktyvus]. 2011, 45.2: 926-932. [žiūrėta 2019-05-18]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.09.031>
56. FANG, Jingyun, et al. E. coli and bacteriophage MS2 disinfection by UV, ozone and the combined UV and ozone processes. *Frontiers of Environmental Science & Engineering* [interaktyvus]. 2014, 8.4: 547-552. Online ISSN 2095-221X [žiūrėta 2019-05-10]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1007/s11783-013-0620-2>
57. HOLLENDER, Juliane, et al. Elimination of organic micropollutants in a municipal wastewater treatment plant upgraded with a full-scale post-ozonation followed by sand filtration. *Environmental science & technology* [interaktyvus]. 2009, 43.20: 7862-7869. [žiūrėta 2019-03-11]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1021/es9014629>