

Laivo balastinio vandens valymo įrangos, veikiančios filtravimu ir ultravioletiniu spinduliavimu, analizė

Diana Šateikienė*

Lietuvos aukštoji jūrėivystės mokykla, Laivų energetikos katedra

El. paštas d.sateikiene@lajm.lt

(Gauta 2019 m. sausio mėn.; atiduota spaudai 2019 m. balandžio mėn.; prieiga internete nuo 2019 m. gegužės 10 d.)

Anotacija

Vandens invazinių mikroorganizmų rūšių plitimas iš laivų balastinio vandens yra viena rimčiausių problemų, kylančių šiandieninėje jūrų laivybos aplinkoje. Balastinio vandens valymas dabartiniu metu yra ypač aktualus dėl įsigaliojusios Balastinių vandenių tvarkymo konvencijos. Straipsnyje išanalizuota balastinio vandens valymas filtravimu ir UV spinduliavimu metodikų kombinacija. Atlikta balastinio vandens valymo įrangos techninių charakteristikų analizė, lyginant pagal pasirinktus kriterijus: našumą, plotą, aukštį, energijos sąnaudas.

Reikšminiai žodžiai: balastinio vandens valymas, valymo technologijos, filtravimas, UV sistemos.

Abstract

Wide spread of aquatic invasive microorganism species from ships ballast water is one of the most important problems that occurs in nowadays marine environment. The treatment of ballast water at present is particularly relevant due to the entry into force of the Ballast Water Management Convention. The article represents ballast water treatment by filtration and UV systems. An analysis of the technical characteristics of ballast water treatment equipment has been performed, comparing to the selected criteria: capacity, area, height, energy consumption.

Key words: Ballast water treatment, treatment technologies, filtration, UV systems

Įvadas

Invazinių rūšių plitimas susijęs ir su laivybos prekybos padidėjimu per pastaruosius dešimtmečius. Kiekybiniai duomenys rodo, kad invazinės rūšys plinta vis naujose vietose, o tai daro tiesioginį ar netiesioginį poveikį sveikatai ir žalą aplinkai (Drake et al., 2004; Miller et al., 2011; Hua et al., 2012; Fernandes et al., 2016).

Europoje aptinkamos 10 822 invazinės rūšys, apie 10–15 % iš jų daro neigiamą ekonominį arba ekologinį poveikį. Baltijos jūroje jau aptikta daugiau kaip 120 invazinių rūšių iš vidutinių platumų Europos, Šiaurės Amerikos bei Azijos pakrančių ir vidinių vandenių. Helsinkio konvencijos šalys pripažįsta, kad invazinių rūšių plitimą būtina kontroliuoti. Dalis naujų rūšių Baltijos jūroje įsikūrė nedarydamos jokios žalos, jos užima siaurą nišą. Nustatyta, kad nuo 3 iki 10 proc. rūšių plinta darydamos neigiamą poveikį aplinkai. Sparčiai plintantis Baltijos jūros naujakuris – juodažiotis grundulas, kuris atkeliavo laivais su balastiniais vandenimis iš Juodosios jūros ir daugiausiai minta dreisenomis ir midijomis (Gregg et al., 2009; Pauža, 2010; Werschkun et al., 2014).

2004 metais diplomatinėje Tarptautinėje jūrų organizacijos (angl. – IMO) konferencijoje buvo priimta Tarptautinė konvencija „Laivų balastinio vandens ir nuosėdų kontrolė bei valdymas“ (angl. BWM CONVENTION 2004). Konvenciją 2017 metais rugsėjo 8 dieną ratifikavo 52 jūrinės valstybės, kurių bendras prekybos laivų tonazas sudaro 35,1441 % nuo pasaulinio laivyno tonazo. 2018 gegužės 9 d. Lietuvoje įsigaliojus Tarptautinei konvencijai dėl laivų balastinių vandenių ir nuosėdų kontrolės ir valdymo, tarptautiniais maršrutais plaukiojančiuose laivuose balastiniai vandenys ir nuosėdos turi būti tvarkomi pagal laive patvirtintą balastinio vandens valdymo planą.

Pagal D-1 standartą balastinį vandenį laivai turi pasikeisti jūros vietose, nutolusiose nuo kranto mažiausiai 200 jūrmylių, kuriose gylis – ne mažesnis nei 200 m. Standartas D-2 – laive taikoma balastinio vandens valdymo sistema, kurioje naudojamos tam tikros veikliosios medžiagos (IMO, 2017).

Įgyvendinant D-2 standartą, šiandieninė rinka siūlo rinktis iš 89 aprobuotų balastinio vandens valymo įrangos kombinacijų, kurių našumas svyruoja nuo 17,5 m³/h iki 34000 m³/h, iš jų net 22

gamintojai siūlo įrangą su filtravimo ir UV spinduliavimo kombinacija, 8 – filtravimo ir elektrochloravimo kombinacija, 7 - filtravimo ir elektrolizės kombinacija.

Tyrimo tikslas – išanalizuoti balastinio vandens valymo įrangą, sudarytą iš filtravimo ir ultravioletinio spinduliavimo kombinacijos.

Uždaviniai:

- 1) atskleisti filtravimo technologijos taikymo ypatumus valant balastinį vandenį;
- 2) apibūdinti ultravioletinio spinduliavimo taikymą valant balastinį vandenį;
- 3) palyginti balastinio vandens valymo įrangos, sudarytos iš filtravimo ir ultravioletinio spinduliavimo kombinacijos, technines charakteristikas.

Tyrimo metodai

Darbo tikslui pasiekti naudoti šie metodai:

- mokslinės literatūros analizė, orientuota į balastinio vandens valymo problematiką eksploatuojamuose laivuose ir valymo technologijas. Daug mokslinių tyrimų atlikta susijusių su balastinio vandens valymo metodais (mechaniniai, fizikiniai, cheminiai) ir jų kombinacijomis: filtravimas (Champ et al., 2002; Tang et al., 2006; Tang et al., 2009; Balaji et al., 2011; Werschkun et al., 2012; Delacroix et al., 2013) ir hidrocikloninis separavimas (Hwang et al., 2016), deoksidacija (McCollin et al., 2007; Lafontaine et al., 2014; McCollin et al., 2007), ozonavimas (Oemcke et al., 2005; Perrins et al., 2006a; Perrins et al., 2006b), cheminiai dioksidai (Zhang et al., 2013; Werschkun et al., 2012; Maranda et al., 2013), UV (Wu et al., 2011a; Wu et al., 2011b; Casas-Monroy et al., 2018; Petersen et al., 2019), ultragarsas (Werschkun et al., 2014), elektrolizė (Zhang et al., 2016).
- gamintojų balastinio vandens valymo įrangos techninės dokumentacijos analizė. Balastinio vandens valymo įrangos gamybos įmonės kuria naujus balastinio vandens valymo metodus ir rinkai siūlo vis naujų balastinio vandens valymo įrangos kombinacijų. Įrangos gamintojai pateikia siūlomą balastinio vandens valymo įrangos modulių kombinacijas, atlieka su jais bandymus ir pateikia eksperimentinių balastinio vandens valymo įrangos tyrimų ataskaitas (Wärtsilä 2012; Wärtsilä 2014; LLOYD 2007; LLOYD 2012; LLOYD 2015; DNV 2011; DNV 2013; ABS 2014; Alfa Laval 2017).
- lyginamoji pasirinktų balastinio vandens valymo įrangos, sudarytos iš filtravimo ir ultravioletinio spinduliavimo kombinacijos techninių charakteristikų, analizė, lyginant pagal pasirinktus kriterijus: našumą, plotą, aukštį, energijos sąnaudas.

Tyrimo rezultatai

Balastinio vandens valymas naudojant filtravimo technologiją. Šiuo metu patvirtintas nemažas skaičius balastinio vandens valymo metodų, bet vieno metodo nepakanka, kad išvalytas vanduo atitiktų Tarptautinės jūrų organizacijos (TJO) reikalavimus, naudojamos kelių metodų kombinacijos, o įrangą gaminančios įmonės ieško naujų balastinio vandens valymo sprendimo būdų (Champ et al., 2002; Balaji et al., 2011; Werschkun et al., 2012; Delacroix et al., 2013).

Filtravimas – tai pirminis balastinio vandens valymo būdas. Filtruojant vandenį įsiurbimo metu pašalinami didesni organizmai nei 20 µm, sumažinamas sedimentų kiekis, patenkantis į cisternas. Tokiu būdu į cisternas nepatekę organizmai lieka laivo balastavimo vietoje (Tang et al., 2006; Tang et al., 2009).

Filtravimo technologijoje dažniausiai naudojami filtrai, iš balastinio vandens galintys pašalinti mikroorganizmus iki 50 µm. Įdiegus membraninius filtrus, galima pašalinti mikroorganizmus bei bakterijas iki 20 µm. Tačiau mažesnių mikroorganizmų ir kietųjų dalelių šalinimas filtravimo

technologija daro didelę įtaką srautui, jį slopina, todėl smulkesnių dalelių filtravimas neefektyvu. Filtravimo efektyvumas priklauso nuo darbinio slėgio ir filtro pratakumo, t. y. nuo jo švaros, todėl filtrai turi būti nuolatos valomi. Mechaniniai filtrai gali būti granuliniai, tinkleliniai (diskiniai). Granuliniai filtrai šalina kietąsias daleles, organizmus, nuosėdas. Pastarieji palengvina balastinio vandens dezinfekavimą, atlikdami biologinio filtro funkciją (Jezowska et al., 2009; Castaing et al., 2009; Guilbaud et al., 2015).

Filtravimo proceso metu jūros vanduo teka per diskus į filtro vidurį. Kietosios dalelės nusėda ant diskų paviršiaus, dėl to toliau vykstant filtravimo procesui sulaikomos dalelės pamažu užkemša filtrą ir susidaro didelis slėgio skirtumas. Pasiėkus iš anksto nustatytą maksimalų slėgio skirtumą, suveikia automatika, ir filtrai praplaunami reversuota švaraus vandens srove (Smailys ir kt., 2012).

Filtravimas palengvina vandens dezinfekciją tolesniame procese, nes po filtravimo reikia mažesnių cheminių preparatų dozių. Filtravimo procesas dažnai derinamas su papildomais vandens valymo būdais: ultravioletiniu spinduliavimu, kavitacija, aktyviųjų medžiagų naudojimu ir kt.

Balastinio vandens valymas naudojant ultravioletinio spinduliavimo technologiją. Dezinfekcija ultravioletiniais spinduliais yra labiausiai išstobulinta ir dažniausiai naudojama tiek municipalinių, tiek ir pramoninių vandenų dezinfekcijai, kurios metu pažeidžiama mikroorganizmų DNR ir sutrikdomas jų atsinaujinimas. Ultravioletinio spinduliavimo valymo proceso metu spinduliuojamos įvairaus ilgio ir intensyvumo UV bangos, efektyviausios nuo 200 iki 280 nm (Smailys ir kt., 2012; Martknez et al., 2013).

UV bangos ilgių dažniai: mikrobangos, gama ir ultravioletiniai spinduliai. Ultravioletinio spinduliavimo technologija efektyvi deaktivuojant mikroorganizmus, virusus ir bakterijas, įskaitant ir cistas, tačiau tai priklauso nuo UV skvarbos. UV spinduliavimas yra dviejų pakopų valymo procesas su slėgio filtru, kuris šalina nuosėdas ir didesnius organizmus. Šis valymo būdas neįturi temperatūros pokyčiams, o efektyvumas kinta priklausomai nuo mikrobu tipo. UV dezinfekcijos efektyvumas priklauso nuo vandens skaidrumo (Sutherland et al., 2001; Penru et al., 2012; Li et al., 2013; Martinez et al., 2013; Ren et al., 2016; Olsen et al., 2016; Sun et al., 2017).

Siekiant suaktyvinti UV valymo technologiją galima kombinuojant šį būdą su kitais valymo metodais, tokiais kaip ozonas (O_3), vandenilio peroksidas (H_2O_2) ir titano dioksidas (TiO_2). Naudojamos vienu metu šios priemonės duoda gerokai didesnę efektą (Wu et al., 2011a; Wu et al., 2011b; Casas-Monroy et al., 2018; Petersen et al., 2019).

Ultravioletiniai spinduliai skirstomi pagal bangos ilgį į 3 svarbiausias zonas: UV-A (380–315 nm), UV-B (315–280 nm) ir UV-C (<280 nm). Vieni gamintojai savo įrangoje naudoja aukšto slėgio UV lempas, UV spinduliuotės bangos ilgis yra nuo 254 nm iki 264 nm. Kiti gamintojai - mažo slėgio lempas, nes jos praleidžia daugiau spindulių ir yra laikomos efektyviomis dezinfekuojant balastinį vandenį. UV lempų eksploatacinis laikas priklauso ir nuo to, kiek kartų tenka valymo įrangą įjungti ir išjungti. Jei laive balastinio vandens valymas per metus vyktų 25 kartus, kurių kiekviena bus 90 % bendro balasto talpos, reikės pakeisti UV lempas po maždaug 233 operacijų arba po 9 metų (Šateikienė ir kt., 2017).

Pagrindinis principas yra tas, kad UV spinduliavimas yra efektyvesnis gėlame vandenyje, kur yra mažai nuosėdų, o mažiau efektyvus drumzliname vandenyje, kuriame yra be galo daug nuosėdų, žymiai padidėja UV lempų eksploatacinis laikas.

UV spinduliavimas naudojamas kaip antrinis balastinio vandens valymo metodas po filtravimo arba separavimo. Pirminiame valymo etape pagerinamas vandens skaidrumas, nes išvalomi didesni organizmai.

Balastinio vandens valymo įrangos techninių charakteristikų lyginamoji analizė. Šiandieninė rinka siūlo rinktis iš 89 aprobuotų balastinio vandens valymo įrangos modulių. Siūlomi įrangos moduliai skiriasi savo metodų kombinacijomis techninėmis charakteristikomis. Daugiausia yra net septynių gamintojų patvirtinta balastinio vandens valymo įranga, kurią sudaro kombinuotas būdas: filtravimas ir ultravioletinis spinduliavimas (Lentelė) (Loyds registre marine, 2018).

Lentelė. Balastinio vandens valymo įrangos filtravimo ir ultravioletinio spinduliavimo kombinacijos techninės charakteristikos

Table. Technical characteristics of the combination of ballast water treatment equipment filtration and ultraviolet radiation

Skirtingų gamintojų balastinio vandens valymo įranga	Įrangos parametrai, matavimo vienetai								
	Debitas, m ³ /h		Užimamas plotas, m ²		Maksimalus įrangos aukštis, m		Energijos sąnaudos, kWh		Slėgis, bar
	min	max	500 m ³ /h	5000 m ³ /h	500 m ³ /h	5000 m ³ /h	500 m ³ /h	5000 m ³ /h	
Filtravimas + Ultravioletinis spinduliavimas	21	250	12.4	-	<2.1	-	83	-	
	75	2000	4.07-5.75	-	2.4	-	128	-	<0.7
	500	2400	9	25.5 ²	2.75	3.4 ²	85.5-107.5	171-234 ²	-
	250	500	1.6 ¹	-	1.8	-	63	-	<0.8
	150	2880	3.5	9.7	2.1	2.1	77	770	0.5
	100	2400	9.6	N/A	2.5	-	53	-	0.5 max
	50	1000	5	43.3	2.12	2.53	68	520	<0.8

¹ – nuo 250m³

² - nuo 1200 m³

Filtravimo ir UV spinduliavimo moduluose pirminis vandens apdorojimas vyksta filtruose, antrinis apdorojimas – UV sterilizacijos sekcijoje, kurioje neutralizuojami mažesni organizmai, bakterijos ir kiti patogenai

Mechaninių ir fizikinių valymo metodų įranga: filtravimo, separavimo ir UV spinduliavimo įrenginiai dažniausia yra sumontuoti įleidimo ir išleidimo vamzdynuose, šios įrangos techninių charakteristikų svarbiausias parametras yra įrangos debitas.

1 lentelėje pateikta septynių skirtingų gamintojų balastinio vandens valymo įrangos, sudarytos iš filtravimo ir UV spinduliavimo, techninės charakteristikos. Įrangos užimamas plotas, maksimalus aukštis ir energijos sąnaudos pateikta esant skirtingam įrangos našumui: 500 m³/h ir 5000 m³/h.

Kiekviena balastinio vandens valymo įranga apibūdinama našumu, kuris rodo kokį balastinio vandens kiekį valymo įrangos sistema gali apdoroti per valandą. Parenkant valymo įrangos sistemą ši norma turi būti pakankama laivo balasto cisternų talpai užpildyti ir atitikti naudojamų siurblių našumą. Atlikus techninių charakteristikų analizę nustatyta, kad filtravimo ir ultravioletinio spinduliavimo modulyje debitas svyruoja nuo 21 m³/h iki 2880 m³/h.

Balastinio vandens valymo įranga yra projektuojama ir gaminama įvairių formų ir dydžių. Eksploatuojamame laive parenkant balastinio vandens valymo įrangą yra svarbus įrangos užimamas plotas ir jos aukštis, nes laivo projektavimo ir statymo metu nebuvo numatyta vieta jai įdiegti, todėl sumontuoti ir eksploatacijos metu aptarnauti didelių gabaritų įrangą mašinų skyriuje yra sudėtinga. Pavyzdžiui, filtravimo su UV spinduliavimo modulio užimamas plotas svyruoja nuo 1,6 m² iki 43,3 m², o įrangos aukštis nuo 1,8 – 3,4 m². Šie geometriniai parametrai tiesiogiai nepriklauso nuo įrangos našumo.

Balastinio vandens valymo įrangos energijos suvartojimas yra vienas iš reikšmingiausių faktorių parenkant valymo modulį laivui, labiausiai tai aktualu laivams, kurie turi didelių tūrių balastines cisternas. Išanalizavus lentelėje pateiktas technines charakteristikas nustatyta, kad filtravimo ir UV spinduliavimo modulių energijos sąnaudos svyruoja nuo 53–770 kWh, 5000 m³ balastinio vandens išvalymui. Jei balastinio vandens valymo įrenginiai veiks kartu su kitais energiją vartojančiais įrenginiais, laivo jėgainė negalės generuoti tiek elektros ir gali atsirasti elektros trūkumas. Įdiegiant šią metodų kombinaciją į eksploatuojamus laivus, be valymo įrangos gali tekti įdiegti ir papildomus generatorius.

Viena iš pagrindinių techninių problemų susijusių su balastinio vandens valymu – slėgio kritimas sistemoje. Balastinio vandens valymo sistema, kurioje balastinis vanduo yra filtruojamas,

separuojamas arba teka „Venturi“ vamzdžiu, sukuria papildomą pasipriešinimą tekėjimui, todėl slėgis balastinio vandens sistemoje gali kristi. Pagal techninius reikalavimus, daugumoje valymo įrangos sistemų reikalaujama, kad slėgis būtų palaikomas nuo 1 baro iki 2 barų. Norint įdiegti balastinio vandens valymo įrangą, jau eksploatuojamuose laivuose, valymo įrangai sumontuoti reikalingi papildomai vamzdiniai, armatūra, o jų sumontavimas tiesiogiai daro įtaką slėgio kitimui sistemoje, nes laivo projektavimo ir statymo metu tai nebuvo numatyta ir įvertinta.

Esant sistemos papildomo pasipriešinimo lygiui, gravitacinis balasto išleidimas gali būti neįmanomas, nes pasireiškia slėgio skirtumas su jūros vandeniu ir reikalingas vandens išleidimo srauto stiprumo sumažėjimas. Dalies gamintojų siūlomų balastinio vandens valymo įrangos filtravimo sistemų negali veikti nesukeldami papildomo slėgio kritimo. Tokiais atvejais, padidėja reikalingos galios panaudojimas, nes balastinės vandens sistemos siurbliai turės pumpuoti ilgiau.

Balastinį vandenį valant filtravimo ir UV spinduliavimo įranga nenaudojamos cheminės medžiagos, valymas vyksta tiesiogiai balastavimo, debalastavimo metu.

Išvados

Balastinio vandens filtravimas yra pirminis vandens valymo procese. Filtravimo metu apdorotas vanduo yra išvalomas nuo didžiausių kietųjų dalelių ir organizmų. Dėl šios priežasties kitas fizikinis ar cheminis balastinio vandens valymo būdas turi pašalinti tik likusias kietąsias daleles ir organizmus. Atliekant filtravimą, valymo kokybė tiesiogiai priklauso nuo vandens užterštumo, šiam procesui naudojami dviejų tipų filtrai: granuliniai ir tinkleliniai.

Balastinio vandens valymo proceso metu naudojant UV valymo technologiją, spinduliuojamos įvairaus ilgio ir intensyvumo UV bangos. Naudojant šį metodą vandens išvalymo kokybė nepriklauso nuo vandens temperatūros, bet priklauso nuo vandens skaidrumo. Valymo metu balastiniame vandenyje sunaikinami mikroorganizmai, bakterijos ir virusai. Siekiant suaktyvinti UV valymo technologiją galima kombinuoti su cheminiais balastinio vandens valymo metodais.

Išanalizavus balastinio vandens valymo įrangą, sudarytą iš filtravimo ir UV spinduliavimo kombinacijos, išskirtos ir įvertintos pagrindinės techninės charakteristikos: įrangos debitas, užimamas plotas ir aukštis, reikalingos energijos sąnaudos eksploatacijos metu bei slėgis. Naudojant šių metodų kombinacijas įrangos našumas yra nedidelis, o energijos sąnaudos ir įrangos užimamas plotas labai dideli. Šie faktoriai yra svarbūs parenkant balastinio vandens valymo įrangą eksploatuojamuose laivuose, kuriuose ši įranga nebuvo numatyta projektavimo ir statymo metu.

Literatūra

1. ABS. *Ballast Water Treatment Advisory*. Houston, 2014.
2. Alfa Laval. *Ballast water anagement: An overview of regulations and ballast water treatment technologies*. 2017.
3. Balaji, R., Yaakob, O. 2011. Emerging ballast water treatment technologies: a review. *Journal of Sustainability Science and Management*, 6(1). 2011. P.126–138.
4. Casas-Monroy, O., Linley, R.D., Po-ShunChan, Kydd, J., Byllaard,t J.V., Bailey, S. Evaluating efficacy of filtration + UV-C radiation for ballast water treatment at different temperatures. *Journal of Sea Research*, 133. 2018. P. 20-28
5. Castaing, J.B., Massé, A., Pontié, M., Séchet, V., Haure, J., Jaouen, P.. Investigating submerged ultrafiltration (UF) and microfiltration (MF) membranes for seawater pretreatment dedicated to total removal of undesirable micro-algae. *Desalination*, 253 (1–3). 2009. P.71–77.
6. Champ, M.A. Marine Testing Board for certification of ballast water treatment technologies. *Marine Pollution Bulletin*, 44. 2002. P.1327–1335.
7. Delacroix, S., Vogelsang, C., Tobiesen, A., Liltved, H. Disinfection by-products and ecotoxicity of ballast water after oxidative treatment – Results and experiences from seven years of full-scale testing of ballast water management systems. *Marine Pollution Bulletin*, 73. 2013. P. 24–36.
8. DNV. *Ballast Water Management Convention Status, installation on tankers and technologies*. Norway. 2011.
9. DNV. *DNV Guidance - approval of retrofit installations of ballast water treatment systems*. Norway. 2013.

10. Drake, J.M., Lodge, D.M. Global hot spots of biological invasions: evaluating options for ballast-water management. *Proc Biol Sci*, 22. 2004. P.575–580.
11. Fernandes, J.A., Santos, L., Vance, T., Fileman, T., Smith, D., Bishop, J.D.D., Viard, F., Queirós, A.M., Merino G., Buisman, E., Austen, M.C. Costs and benefits to European shipping of ballast-water and hull-fouling treatment: Impacts of native and non-indigenous species. *Marine Policy*, 64. 2016. P.148–155.
12. Hua, J., Hwang, W. H. Effects of voyage routing on the survival of microbes in ballast water. *Ocean Engineering*, 42. 2012. P.165–175.
13. Hwang, Y., Maeng, M., Dockko S. Development of a hybrid system for advanced wastewater treatment using high-rate settling and a flotation system with ballasted media. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 113. 2016. P. 256–256.
14. Gregg, M., Rigby, G., Hallegraef, G. M. Review of two decades of progress in the development of management options for reducing or eradicating phytoplankton, zooplankton and bacteria in ship's ballast water. *Technical report*, 4(3). 2009. P. 521-565.
15. Guilbaud, J., Massé, A., Wolff, F.C. Jaouen, P. Porous membranes for ballast water treatment from microalgae-rich seawater. *Marine Pollution Bulletin*, 101(2). 2015. P.612–617.
16. IMO Frequently Asked Questions Implementing the Ballast Water Management Convention. 2017. [interactive]. Internet link: <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Documents/FAQ%20-%20Implementing%20the%20Ballast%20Water%20Management%20Convention.pdf>
17. Jezowska, A., Bottino, A., Capannelli, G., Fabbri, C., Migliorini, G. Ultrafiltration as direct pre-treatment of seawater: a case study. *Desalination*, 245(13). 2009. P.723–729.
18. Lafontaine, Y., Chambers, Y., Despatie, S.P., Gagnon, C., Blaise, C. Effectiveness and potential environmental impact of a yeast-based deoxygenation process for treating ships' ballast waters. *Water Quality Research Journal of Canada*, 48. 2014. P. 55–75.
19. Li, M., Qiang, Z., Wang, Ch., Bolton, J.R., Lian, J. Development of monitored tunable biosimetry for fluence validation in an ultraviolet disinfection reactor. *Separation and Purification Technology*, 117. 2013. P. 12-17.
20. Lloyd's Register. Ballast water treatment technology. Current status. UK. 2007.
21. Lloyd's Register. Ballast water treatment technologies and current system availability. UK. 2012.
22. Lloyd's Register. Understanding ballast water management. UK. 2015.
23. Maranda, L., Cox, A.M., Campbell, R., Smith, D.C. Chlorine dioxide as a treatment for ballast water to control invasive species: Shipboard testing. *Marine Pollution Bulletin*, 75(1–2). 2013. P. 76–89.
24. Martknez, L.F., Mahamud, M.M., Lavkn, A., Bueno, J.L. The regrowth of phytoplankton cultures after UV disinfection. *Marine Pollution Bulletin*, 67. 2013. P.152–157.
25. Miller, A.W., Minton, M.S., Ruiz, G.M. Geographic limitations and regional differences in ships' ballast water management to reduce marine invasions in the contiguous United States. *BioScience*, 61. 2011. P.880–887.
26. McCollin, T., Quilez-Badia, G., Josefsen, K.D., Gill, M.E., Mesbahi, E., Frid, C.L. Ship board testing of a deoxygenation ballast water treatment. *Marine Pollution Bulletin*, 54. 2007. P. 1170–1178.
27. Oemcke, D.J., Leeuwen, J.H. Ozonation of the marine dinoflagellate alga *Amphidinium* sp.— implications for ballast water disinfection. *Water Research*, 39. 2005. P. 5119–5125.
28. Olsen, R.O., Hoffmann, F., Hess-Erga, O.K., Larsen, A., Thuestad, G., Hoell U.A. Ultraviolet radiation as a ballast water treatment strategy: Inactivation of phytoplankton measured with flow cytometry. *Marine Pollution Bulletin*, 103(1–2). 2016. P.270–275.
29. Pauža, D. H. Lietuvos ekosistemas: klimato kaita ir žmogaus poveikis (biologinės invazijos ir arialų kaita). Vilnius: Lietuvos mokslo taryba. 2010.
30. Penru, Y., Guastalli, A.R., Esplugas, S., Baig, S. Application of UV and UV/H₂O₂ to seawater: disinfection and natural organic matter removal. *Journal of photochemistry and photobiology. A, Chemistry*, 233. 2012. P.40–45.
31. Perrins, J.C.; Cooper, W.J.; Leeuwen, J. Herwig, R.P. Ozonation of seawater from different locations: Formation and decay of total residual oxidant—implications for ballast water treatment. *Marine Pollution Bulletin*, 52. 2006a. P.1023–1033.
32. Perrins, J.C., Cordell, J.R., Ferm, N.C., Grocock, J.L., Herwig, R.P. Mesocosm experiments for evaluating the biological efficacy of ozone treatment of marine ballast water. *Marine Pollution Bulletin*, 52. 2006b. P.1756–1767.
33. Petersen, N.B., Madsen, T., Glaring, M.A., Dobbs, F.C., Jørgensen, N.O.G. Ballast water treatment and bacteria: Analysis of bacterial activity and diversity after treatment of simulated ballast water by electrochlorination and UV exposure. *Science of The Total Environment*, 648. 2019. P. 408-421.
34. Ren, Z., Zhang, L., Shi, Y., Leng, X., Shao, J. Effect and mechanism of a High Gradient Magnetic Separation (HGMS) and Ultraviolet (UV) composite process on the inactivation of microbes in ballast water. *Marine Pollution Bulletin*, 108. 2016. P.180–185.
35. Smailys, V., Strazdauskienė, R., Bereišienė, K. Laivų aplinkos apsauga. Klaipėdos universiteto leidykla. 2012.
36. Sutherland, T.F., Levings, C.D., Elliott, C.C., Hesse, W.W. Effect of ballast water treatment system on survivorship of natural populations of marine plankton. *Marine Ecology Progress Series*, 210. 2001. P.139-148.

37. Sun, Z., Blatchley, E.R. Tetraselmis as a challenge organism for validation of ballast water UV systems. *Water Research*, 121. 2017. P. 311-319
38. Šateikienė, D., Masiulytė, V. Laivo balastinio vandens valymo technologijų ekonominė analizė. *Verslas, technologijos, biomedicina: inovacijų išvalgos*, 1(9). 2018. P. 297-306.
39. Tang, Z., Butkus, M.A., Xie, Y.F. Crumb rubber Filtration: A potential technology for ballast water treatment. *Marine Environmental Research*, 61. 2006. P.410–423.
40. Tang, Z., Butkus, M.A., Xie, Y.F. Enhanced performance of crumb rubber filtration for ballast water treatment. *Chemosphere*, 74. 2009. P.1396–1399.
41. Wärtsilä. Ballast water management systems Q&A booklet. Finland. 2012.
42. Wärtsilä. Wärtsilä Corporation Annual Report. Finland. 2014.
43. Werschkun, B., Banerji, S., Basurko, O.C., David, N., Fuhr, F., Gollasch, S., Grummt, T., Haarich, M., Jha, A.N., Kacan, S., Kehrler, J. A., Linders, J., Mesbahi, E., Pughic, D., Richardson, S.D., Schwarz-Schulz, B., Shah, A., Theobald, N., Gunten, U., Wieck, S., Höfe, T. Emerging risks from ballast water treatment: The run-up to the International Ballast Water Management Convention. *Chemosphere*, 112. 2014. P. 256–266.
44. Werschkun, B., Sommer, Y., Banerji, S. Disinfection by-products in ballast treatment: an evaluation of regulatory data. *Water research*, 46. 2012. P. 4884-4901.
45. Wu, D., You, H., Zhang, R., Chen, Ch., Lee, D.J. Ballast waters treatment using UV/Ag–TiO₂ + O₃ advanced oxidation process with Escherichia coli and Vibrio alginolyticus indicator microorganisms. *Chemical Engineering Journal*, 174(2–3). 2011a. P.714–718.
46. Wu, D., You, H., Zhang, R., Chen, Ch., Lee, D.J. Inactivation of Amphidinium sp. in ballast waters using UV/Ag–TiO₂ + O₃ advanced oxidation treatment. *Bioresource Technology*, 102(21). 2011b. P.9838–9842.
47. Zhang, N., Ma, B., Li, J., Zhang, Z. Factors affecting formation of chemical by-products during ballast water treatment based on an advanced oxidation process. *Chemical engineering journal*, 231. 2013. P.427–433.
22. Zhang, N., Wang, Y., Xue, J., Yuana, L., Wang, O., Liu, L., Wu, H., Huc, K. Risk assessment of human health from exposure to the discharged ballast water after full-scale electrolysis treatment. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 77. 2016. P.192–199.

Analysis into the Selection of a Ship Ballast Water Treatment Filtration and UV Radiation System

(Received in January, 2019; Accepted in April, 2019; Available Online from 10th of May, 2019)

Summary

Nowadays ships ballast water treatment problematic have become very important. In order to protect territorial waters from invasive species, IMO (International Maritime Organization) requirements are admitted that regulate quality parameters of discharged ballast water from ships. Filtration is the primary method of purifying ballast water. Water is filtered off by suction and large organisms are removed. The efficiency of the filtration depends on the working pressure and the pollution of the ballast water. Microorganisms, bacteria and viruses are destroyed using UV radiation to purify ballast water. UV radiation is more effective in fresh water where there is little sediment. The article presents a comparative analysis of technical parameters for ballast water treatment filtration and UV disinfection equipment. The combination of filtering and UV radiation techniques has shown that the equipment performance is rather low and the energy consumption and area occupied by the equipment are very high. Energy consumption is one of the most important technical features of selecting equipment. The technical characteristics are important for the selection of ballast water treatment equipment on existing vessels that were not designed during the design and construction phase.