

# LAIVO BALASTINIO VANDENS VALYMO ĮRANGOS EKONOMINIS VERTINIMAS

Diana Šateikienė<sup>1</sup>, Daiva Stanelytė<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Klaipėdos valstybinė kolegija, <sup>2</sup> Kauno technologijos universitetas

**Anotacija.** Balastinio vandens valymo technologijų diegimo aktualumas pagrįstas BMW (Management of Ships' Ballast Water and Sediments) konvencija. Taikant D-2 standartą privaloma įdiegti laivuose balastinio vandens valymo įrenginius ir išpilamas vanduo privalės būti išvalytas. Šiuo metu patvirtintas nemažas skaičius balastinio vandens valymo metodų, bet ne visi metodai yra efektyvūs, siekiant užtikrinti reikalaujamą vandens kokybę pagal IMO (Tarptautinė jūrų organizacija (angl. International Marine Organization)) reikalavimus. Siekiama, kad balastinio vandens valymo technologijos būtų nebrangios, kompaktiškos, o eksploatacija ir įdiegimas saugus. Straipsnyje pateikti ekonominio vertinimo kriterijai leidžiantys įvertinti vieno ar kito varianto diegimo sąnaudas ir nustatyti eksploatacinių sąnaudų srautų apimtį per ataskaitinį laikotarpį.

**Raktiniai žodžiai:** balastinis vanduo, valymo įranga, ekonominis vertinimas.

## 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 (Miller et al. 2011; Hua et al. 2012; Baoyi et al. 2017).

Baltijos jūra šiandien yra viena iš judriausių pasaulio jūrų su intensyviu laivų eismu ir itin tankiai apgyvendintomis pakrančių teritorijomis, todėl patenka invazinių rūšių, kurios puikiai pritampa Baltijos jūros vandenyse (Ruskyte et al. 2009).

Balastinio vandens valymas dabartiniu metu yra ypač aktualus dėl išsigaliojusios Balastinių vandenų tvarkymo konvencijos. Aprobuoti svetimų invazinių rūšių įvežimą laivais – užtikrinti tarptautinės Balastinių vandenų tvarkymo konvencijos vykdymą ir taikyti tokias priemones, kaip balastinio vandens valymą laive ir balastinio vandens surinkimo įrenginių įrengimą uostuose, per kuriuos eina svarbūs laivų eismo srautai iš Baltijos jūros ir į Baltijos jūrą.

Klaipėdos uoste transatlantiniai laivai nebegali laisvai išpilti balastinių vandenų. Šis reikalavimas netaikomas laivams, plaukiojantiems Baltijos jūroje. Jeigu laivas iš Viduržemio jūros su balastiniais vandenimis atplaukia į kurį nors Baltijos jūros uostą, o pradėjęs jį krauti, balastas išpumpuojamas į uosto akvatoriją, tada atsiranda galimybė patekti mūsų regionui nebūdingiems organizmams.

Šiuo metu eksploatuojami laivai, kuriuose nėra numatyta vandens valymo įranga projektavimo metu, vadovaujasi D-1 standarto reikalavimais. BMW konvencijai pasibaigus numatytam pereinamajam laikotarpiui bus taikomas D – 2 standartas. Naujai statomuose ir jau eksploatuojamuose laivuose turės būti įdiegti balastinio vandens valymo įrenginiai ir išpilamas tik išvalytas vanduo. D – 2 standarte yra

nurodytas leistinas organizmų kiekis išvalytame balastiniame vandenyje. Konvencija taikoma transatlantiniams laivams.

Šiandienė rinka siūlo rinktis iš 89 aprobuotų balastinio vandens valymo įrangos kombinacijų. Laivų savininkai rinkdamiesi balastinio vandens valymo įrangą susiduria su problema, kokia metodų kombinacija yra optimali naujai statomam ar eksploatuojamam laivui.

Balastinio vandens valymo įrangos pasirinkimas turi būti nebrangus, saugus ir kompaktiškas, o valymo kokybė turi atitikti IMO patvirtintus standartus (Lloyd's Register, 2012; Lloyd's Register, 2016).

Siekiant tenkinti IMO reikalavimus kokybei, dauguma balastinio vandens valymo įrangos gamintojų laivų savininkams siūlo kombinuotus įrangos modulius, kurie susideda iš dviejų, ar daugiau valymo metodų. Cheminio valymo metodai dažniausiai kombinuojami su mechaniniais metodais, kurie veikia kaip pirminis apdorojimas.

Šiandienė rinka siūlo įvairių balastinio vandens valymo įrangą, todėl laivų savininkams ir projektuotojams reikia parinkti optimalią įrangą ir metodų kombinacijas atsižvelgiant į ekonominius kriterijus, kurie leidžia įvertinti vieno ar kito balastinio vandens valymo metodo rentabilumą ir nustatyti pinigų srautų apimtį per ataskaitinį laikotarpį.

**Objektas** – laivo balastinio vandens valymo įranga.

**Tikslas** – išskirti balastinio vandens valymo įrangos parinkimo ekonominio vertinimo kriterijus.

### Uždaviniai:

1. Apibūdinti balastinio vandens valymo įrangos parinkimo aspektus.
2. Identifikuoti balastinio vandens valymo įrangos sąnaudų pagrindines dedamąsias.
3. Išanalizuoti balastinio vandens valymo įrangos gyvavimo ciklo sąnaudas.

**Tyrimo metodai** – mokslinės literatūros analizė, kokybinis – dokumentų analizė.

### **Balastinio vandens valymo įrangos parinkimo aspektai**

Šiuo metu eksploatuojami laivai, kuriuose nėra numatyta vandens valymo įranga projektavimo metu, vadovaujasi D-1 standarto reikalavimais. Paminėtina, kad „ES biologinės įvairovės strategija iki 2020 metų“ numato sustabdyti ES biologinės įvairovės nykimą ir ekosistemų funkcijų blogėjimą bei jas atkurti tiek, kiek įmanoma, kartu didinant Europos Sąjungos indėlį siekiant sustabdyti visuotinį biologinės įvairovės nykimą (Biologinės įvairovės strategija iki 2020 metų, 2011).

Tarptautinė jūrų organizacija 2016 metų rugsėjo mėnesį sulaukė pakankamo ratifikavimų skaičiaus, kad įsigaliojūt dar 2004 metais priimta konvencija dėl laivų balastinio vandens ir nuosėdų kontrolės bei valdymo. Ši konvencija nustato taisykles, kaip turi būti vykdomos operacijos su laivų balasto vandeniu ir cisternų nuosėdomis, kad būtų išvengta ar iki minimumo sumažinta galimybė perkelti ir paskleisti kenksmingus vandens organizmus ir patogenus į naują aplinką. Konvencija įsigaliojo nuo 2017 metų rugsėjo 8 dienos, nes ją ratifikavo 52 jūrinės valstybės, kurių bendras prekybos laivų tonažas sudaro 35,1441 proc. nuo pasaulinio laivyno tonažo.

Lietuva neratifikavo 2004 metų Konvencijos dėl balastinių vandenų tvarkymo. Kadangi konvencijoje nustatyti reikalavimai susiję su naujų technologijų balastinio vandens valymo srityje taikymu, Konvencijoje esančių reikalavimų vykdymas yra didelis iššūkis tiek laivybos verslui, tiek laivybos kontrolę vykdančioms institucijoms.

Taikant D-2 standartą privaloma įdiegti laivuose balastinio vandens valymo įrenginius ir išpilamas vanduo privalės būti išvalytas. Laivuose gali būti diegiama tik aprobuota balastinio vandens valymo įranga. Kiekvienos įrangos, turinčias balastinio vandens valymo technologijų kombinacijas, įdiegimas su niuansais leidžia pasiekti reikiamą balastinio vandens išvalymo kokybę, tačiau įrangos parinkimas turi būti vertinamas atsižvelgiant į eksploatuojamo laivo charakteristiką (Sohanur, 2017; Hristos, 2017).

Balastinio vandens valymo įrangos sistema atlieka valymo funkciją skirtingu valymo metodu. Valymo metodo pasirinkimas gali kisti nuo cheminio apdorojimo proceso iki mechaninio filtravimo (Berntzen et al.10).

Šiandienė rinka siūlo balastinio vandens valymo įrangos kombinacijų, kurių našumas svyruoja nuo 17,5 m<sup>3</sup>/h iki 34000 m<sup>3</sup>/h, iš jų 22 gamintojai siūlo įrangą su filtravimo ir UV spinduliuavimo kombinacija, 8 – filtravimo ir elektrochloravimo

kombinacija, 7 – filtravimo ir elektrolizės kombinacija.

Balastinį vandenį valant mechaniniais metodais (filtravimu ir hidrocikloniniu), fizikiniais (kavitacija, deoksidavimu, UV) nenaudojamos cheminės medžiagos. Todėl šie valymo metodai nedaro cheminės įtakos laivo konstrukcijoms, nesukelia korozijos balasto cisternoms, vamzdynams. Cheminis valymas veikliomis medžiagomis ir preparatais kelia didžiausią grėsmę balastinės sistemos cisternų dangoms (Balaji et al. 2011; Werschkun et al. 2012; Delacroix et al. 2013).

Nepriklausomai nuo valymo metodo, kiekviena balastinio vandens valymo įranga yra apibūdinama įrangos našumų, užimamu įrangos plotu ir maksimaliu aukščiu bei energijos sąnaudomis. Balastinio vandens valymo metodų įvairovė leidžia eksploatuojamuose laivuose įdiegti tinkamiausią, priklausomai nuo laivo tipo, dydžio ir plaukiojimo rajono.

Laivų savininkai rinkdamiesi balastinio vandens valymo įrangą susiduria su problema, kurio gamintojo įrangą rinkti, kokia metodų kombinacija yra optimali naujai statomam ar eksploatuojamam laivui, kokias įrangos technines charakteristikas ir eksploatacinius rodiklius reikia įvertinti renkantis įrangą. Todėl renkant optimalią balastinio vandens valymo įrangą būtina įvertinti technologines charakteristikas ir ekonominius kriterijus.

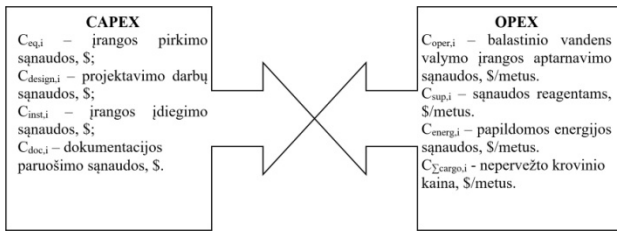
### **Balastinio vandens valymo įrangos sąnaudos**

Investicijos į balastinio vandens valymo įrangą nėra nukreiptos pelnui gauti. Technologijos diegimas siejamas su pinigų investavimu, siekiant gauti teigiamą efektą – šiuo atveju, tai IMO reikalavimų atitikimas ir investavimo sąnaudų mažinimas, pasirenkant konkrečiam laivui optimalią technologiją.

Balastinio vandens valymo įrangoje naudojamų medžiagų skaičiavimo principą priklausomai nuo balastinio vandens valymo metodo, o sąnaudos daro tiesioginę įtaką krovinių gabenimo tarifams (Fernandes et al. 2016; Moreno–Andrés et al. 2016).

Pagrindiniai techniniai sistemos parametrai, susiję su balastinio vandens valymu, yra debitas, bendras sistemos dydis ir sąnaudos.

Sąnaudos apima diegimo sąnaudas (CAPEX – Capital expenditures) ir eksploatacinės sąnaudas (OPEX) (1 paveikslas) (Lloyd's Register, 2007; Lloyd's Register, 2012).



**1 pav.** Diegimo (CAPEX) ir eksploatacinių (OPEX) sąnaudų dedamosios

Balastinio vandens valymo įrangos pasirinkimą ekonominiu aspektu nulemia eksploatacinės sąnaudos ir diegimo sąnaudos.

Įsigijimo sąnaudos yra visiems gerai žinomos, nes kiekvienas balastinės įrangos pardavėjas jas pateikia. Į įrangos kainą yra įskaičiuota sąnaudos moksliniams tyrimams, technologijų plėtrai, patvirtinimo ir sertifikavimo sistemos. Montavimo sąnaudos yra sunkiai įvertinamos, nes jos priklauso nuo kiekvieno laivo ir balastinio vandens valymo įrangos. Montavimo sąnaudas apima: esamo vamzdyno pakeitimas, įrangos ir tiesioginio įrenginio montavimas, pajungimas, paleidimas, bandymai ir tyrimai pagal patvirtintą instituciją. Daugumai sistemų bus reikalingas aptarnavimo laikas, norint galutinai užbaigti montavimo darbus, tačiau gali prireikti sausojo doko.

Didžiąją dalį eksploatacinių sąnaudų sudaro energijos sąnaudos naudojant UV, elektrolizės ar oksidavimo procesus. Naudojant cheminius balastinio vandens valymo metodus energijos sąnaudos yra nedidelės.

Metinės eksploatacinės sąnaudos gali svyruoti nuo 3 proc. iki 15 proc. nuo kapitalo sąnaudų balastinio vandens valymo įrangai. Dažniausiai eksploatacinės sąnaudos su kiekvienais metais auga, nes reikalingas įrangos sudedamųjų dalių atnaujinimas. Balastinio vandens valymo įrangos eksploatacinės sąnaudos gali būti minimizuojamos, pavyzdžiui, valant balastinį vandenį UV tipinės lempos eksploatacijos laikas yra apie 4000 val., o naudojant Solo lempas eksploatacijos laikas pailgėja iki 10000 val., t.y. daugiau nei 10 laivo eksploatacijos metų.

Norint įvertinti galimas eksploatacines sąnaudas sistemoje reikėtų atsižvelgti į:

- energijos suvartojimą reikalingai sistemai, įskaitant elektros energiją ir kurą naudojamą valyti;
- eksploatacines sistemos medžiagas (cheminės medžiagos, filtrų elementai ir t.t.);
- įgulą skirtą darbui atlikti ir palaikyti sistemos darbui (įskaitant mokymus).

Investicijų sąnaudos bus vienas iš svarbiausių kriterijų norint pasirinkti sistemą. Tačiau eksploatacijos sąnaudos yra iš dalies mažos ir turės minimalų poveikį laivo eksploatacijai.

Balastinio vandens valymo įrangos gyvavimo ciklas yra laikomas 25 metai. Analizuojant gyvavimo ciklo sąnaudas už metrinę toną (1000 kg) išvalyto balastinio vandens nustatytas sąnaudų pasiskirstymas atsižvelgiant į laivo tipą ir valymo metodų kombinaciją pateiktas 1 lentelėje.

**1 lentelė.** Balastinio vandens valymo įrangos gyvavimo ciklo sąnaudos už metrinę toną išvalyto vandens (\$) (King et al. 2012)

Laivo tipas	Filtravimas UV	Filtravimas Cheminiai preparatai	Deoksidacija Kavitacija	Elektrolizė Elektrochloravimas
Balkeriai, Capesize	0.14-0.15	0.36-0.38	0.27-0.28	0.14-0.16
Balkeriai, Panamax	0.25-0.29	0.51-0.55	0.36-0.39	0.27-0.30
Konteineriniai, 2500 TEU	0.34-0.39	0.61-0.67	0.44-0.47	0.32-0.37
Konteineriniai, 8000 TEU	0.15-0.17	0.38-0.41	0.29-0.31	0.14-0.16
Sausakrūvis, generaliniams kroviniams	0.67-0.75	1.00-1.12	0.70-0.77	0.65-0.74
Sausakrūvis, Ro-Ro	0.45-0.51	0.74-0.83	0.53-0.59	0.44-0.51
Tankeriai, TAPS trade	0.10-0.11	0.31-0.33	0.24-0.25	0.11-0.12
Tankeris VLCC (Very Large Crude Carriers)	0.07-0.08	0.28-0.29	0.22-0.23	0.08-0.09

Išanalizavus gyvavimo ciklo sąnaudas nustatyta, kad visų laivų tipams didžiausios sąnaudos filtruoti yra cheminiais preparatais, o mažiausios – UV spinduliavimu arba elektrolizės/elektrochloravimo priklausomai nuo laivo tipo.

Įrangos priežiūra, daviklių kontrolė, mėginių ėmimas iš balastinio vandens prieš jį išleidžiant už borto yra priskiriama prie eksploatacinių sąnaudų. Įdiegus balastinio vandens valymo įrangą būtina įvertinti galimų problemų atsiradimą eksploatacijos metu, kurios gali daryti neigiamą poveikį valymo procesui, pvz.: nuosėdų atsiradimas, cheminių veikliųjų medžiagų poveikis balastinės sistemos konstrukcijų sandarumui ar cisternų dangoms ir vamzdynams. Būtinai visų šių procesų nuolatinis stebėjimas, o tai reikalauja nuolatinių eksploatacinių sąnaudų. Eksploatacinių sąnaudų kiekis tiesiogiai priklauso nuo laivo plaukiojimo rajono, nes mikroorganizmų kiekis yra nevienodas skirtinguose plaukiojimo rajonuose, todėl vandeniui išvalyti reikia skirtingo medžiagų kiekio.

## Išvados

1. Balasto vandens tvarkymo konvencijos D – 1 standarte numatytas saugaus balasto vandens pakeitimas, o D – 2 standarte numatytas balastinio vandens valymas laive naudojant įrangą. Šiuo metu patvirtintas nemažas skaičius balastinio vandens valymo metodų, bet vieno metodo nepakanka, kad išvalytas vanduo atitiktų IMO reikalavimus, naudojamos kelių metodų kombinacijos. Todėl parenkant balastinio vandens valymo įrangą transatlantiniams laivams laivų savininkai ir projektuotojai turi atsižvelgti į įrangos technologinius ir ekonominius kriterijus.
2. Balastinio vandens valymo įrangos pasirinkimą ekonominiu aspektu nulemia eksploatacinės

šnaudos ir diegimo šnaudos. Įdiegimo šnaudas sudaro šnaudos moksliniams tyrimams, technologijų plėtrai, sistemos patvirtinimui ir sertifikavimui skirtos lėšos, įrangos montavimui. Eksploatacinės šnaudas sudaro energijos šnaudos naudojant UV, elektrolizės ar oksidavimo procesus, valymui naudojant cheminius valymo metodus energijos šnaudos yra nedidelės.

3. Balastinio vandens valymo įrangos gyvavimo ciklas šnaudos priklauso nuo laivo tipo ir valymo metodų kombinacijos. Visų laivų tipams didžiausios šnaudos yra filtruoti cheminiais preparatais. Mažiausios – UV spinduliavimu balkeriams ir tankeriams, o elektrolizės/elektrochloravimo – konteineriniams ir sausakrūviams laivams.

## Literatūra

1. Baoyi, L.; Yuxue, C.; Wen, T.; Daolun, F. (2017). Composition and influencing factors of bacterial communities in ballast tank sediments: Implications for ballast water and sediment management. *Marine Environmental Research* 132: 14-22.
2. Balaji, R.; Yaakob, O. (2011). Emerging ballast water treatment technologies: a review. *Journal of Sustainability Science and Management* 6(1): 126–138.
3. Biologinės įvairovės strategija iki 2020 metų. (2011). Europos komisija. 6p.
4. Berntzen, M. 2010. Guidelines for selection of a ship ballast water treatment system: Master thesis in Marine Systems Design. Norwegian university of science and technology. 84p.
5. Delacroix, S.; Vogelsang, C.; Tobiesen, A.; Liltved, H. 2013. 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: 24–36.
6. 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. (2016). Costs and benefits to European shipping of ballast-water and hull-fouling treatment: Impacts of native and non-indigenous species. *Marine Policy* 64: 148–155.
7. Hristos, K. The application of the AHP-TOPSIS for evaluating ballast water treatment systems by ship operators. *Transportation Research Part D* 52: 172-184.
8. Hua, J.; Hwang, W. H. (2012). Effects of voyage routing on the survival of microbes in ballast water. *Ocean Engineering* 42: 165–175.
9. Jee, J.; Lee, S. (2017). Comparative feasibility study on retrofitting ballast water treatment system for a bulk carrier. *Marine Pollution Bulletin* 119: 17-22.
10. Lloyd's Register. (2016). Understanding ballast water management. UK. 28 p.
11. Lloyd's Register. (2012). Ballast water treatment technologies and current system availability. UK. 22 p.
12. Lloyd's Register. (2007). Ballast water treatment technology. Current status. UK. 32 p.
13. Miller, A.W.; Minton, M.S.; Ruiz, G.M. (2011). Geographic limitations and regional differences in ships' ballast water management to reduce marine invasions in the contiguous United States. *BioScience* 61: 880–887.
14. King, D.M.; Hagan, P.T.; Riggio, M.; Wright, D.A. (2012). Preview of global ballast water treatment markets. *Journal of Marine Engineering and Technology* 1: 3-15.
15. Moreno-Andrés, J.; Romero-Martínez, L.; Acevedo-Merino, A.; Nebot, E. (2016). Determining disinfection efficiency on *E. faecalis* in saltwater by photolysis of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: Implications for ballast water treatment. *Chemical Engineering Journal* 283: 1339–1348.
16. Ruskyte, A.; Kuris, M.; Leiputė, G.; Vetemaa, M.; Zableckis, Š. (2009). Atrask Baltijos jūrą. Baltijos aplinkos forumas – Latvija. 82 p.
17. Sohanur, R. (2017). Implementation of Ballast Water Management Plan in Ships Through Ballast Water Exchange System. *Procedia Engineering* 194: 323-329.
18. Werschkun, B.; Banerji, S.; Basurko, O.C.; David, N.; Fuhr, F.; Gollasch, S.; Grummt, T.; Haarich, M.; Jha, A.N.; Kacan, S.; Kehrerj, A.; Linders, J.; Mesbahi, E.; Pughiuc, D.; Richardson, S.D.; Schwarz-Schulz, B.; Shah, A.; Theobald, N.; Gunten, U.; Wieck, S.; Höfe, T. (2014). Emerging risks from ballast water treatment: The run-up to the International Ballast Water Management Convention. *Chemosphere*. 112: 256–266.

## ECONOMIC VETTING OF WATER BALLAST WATER TREATMENT EQUIPMENT

### Summary

Relevance of deployment of ballast water treatment technologies is based on the BWM convention. When applying regulation D-2, ballast water treatment equipment must be installed in vessels, and discharged water must undergo treatment. At the moment, a significant number of ballast water treatment methods have been approved. However, it is not enough to apply one method so that treated water would comply with IMO requirements. Thus, a combination of several methods is used. For this reason, when choosing ballast water treatment equipment for transatlantic vessels, owners and design engineers of the vessels have to take into account the technological and economic criteria of the equipment.

The choice of the ballast water treatment equipment in economic terms is determined by operating expenses and deployment costs. Deployment costs are comprised of the costs incurred for scientific research, development of technologies, approval and certification of the system, and installation of the equipment. Operating expenses consist of energy costs when using UV, electrolytic or oxidation processes; when using chemical treatment methods, energy costs are not high.

The life cycle of the ballast water treatment equipment and costs depend on the type of a vessel and the combination of treatment methods. For all types of vessels, the costs of filtration using chemicals are the highest. For bulk carriers and tankers, filtration using UV radiation is the cheapest, and container ships and dry cargo vessels incur the lowest costs when applying electrolysis/electrochlorination.

### Informacija apie autorius

**Diana Šateikienė.** Klaipėdos valstybinės kolegijos Elektros ir mechanikos inžinerijos katedros lektorė.  
Mokslinių tyrimų laukas: mechanika, transportas.

El. pašto adresas: d.sateikienė@kvk.lt

**Daiva Stanelytė.** Klaipėdos valstybinės kolegijos Elektros ir mechanikos inžinerijos katedros lektorė.  
Mokslinių tyrimų laukas: informatika, elektra, energetika, mechanika.

El. pašto adresas: d.stanelyte@kvk.lt