



16-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,
vykusios 2013 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 16th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'
TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 8 May 2013, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 16-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»
ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 8 мая 2013 г., Вильнюс, Литва

BALASTINIŲ VANDENŲ PRIEŽIŪROS SISTEMŲ DIEGIMO SAUSAKRŪVIUOSE LAIVUOSE DAUGIAKRITERINIS VERTINIMAS

Diana Šateikienė¹, Jolanta Janutėnienė²

Klaipėdos universitetas,

El. paštas: ¹diana.s@balticum-tv.lt, ²jolanta.januteniene@gmail.com

Santrauka. Vienas iš neigiamų veiklos pasekmių laivais gabenant krovinius yra laivų balastinio vandens užterštumas invaziniais organizmais. Iš laivų išleidžiamas balastinis vanduo turi atitikti keliamus Tarptautinės Jūrų Organizacijos (*International Maritime Organization* – IMO) reikalavimus. Šiame straipsnyje pateikiama balastinio vandens valymo įrangos techninių parametrų palyginamoji analizė. Nustatyta, kad vertinant šiuo metu taikomus valymo metodus bei įrangą geriausiomis techninėmis charakteristikomis užtikrinančiomis tinkamą balastinio vandens išvalymą pasižymi chloravimas bei elektrocheminis valymas.

Reikšminiai žodžiai: balastinė sistema, *balastinis vanduo*, daugiakriterinis vertinimas.

Įvadas

Vandens invazinių mikroorganizmų rūšių plitimas iš laivų balastinio vandens yra viena rimčiausių problemų kylančių šiandieninėje jūrų laivybos aplinkoje. Siekiant išvengti mikroorganizmų plitimo, visuose laivuose reikia įdiegti balastinio vandens valymo sistemą (Gollasch, S. *et al.* 2007; Matej, D.; Stephan, G. 2008).

Išvalytas vanduo turi atitikti keliamus Tarptautinės Jūrų Organizacijos (*International Maritime Organization* – IMO) reikalavimus ir jame turi būti:

Mažiau nei 10 gyvų organizmų kubiniame metre vandens, didesnių ar lygių minimaliam 50µm matmeniui.

Mažiau nei 10 gyvų organizmų mililitre vandens, kurių matmenys nuo 50 iki 10 µm.

Ribotas skaičius indikatorinių mikrobu (bakterijų) ne didesnės nei žemiau pateikta koncentracijos:

Toksiškų choleros vibronų bakterijų mažiau nei 1 koloniją sudarančių vienetų (KSV) šimte mililitrų vandens, arba mažiau nei 1 KSV vienam gramui (drėgno svorio) zooplanktono mėginių.

Žarninių lazdelių – mažiau nei 250 KSV šimte mililitrų vandens.

Žarninių enterokokų – mažiau nei 100 KSV šimte mililitrų vandens (Ballast water treatment technology. Germanischer Lloyd, 2010; Ballast water treatment technology. Lloyd's Register, 2010).

Aktuali ES problema laivyboje yra balastinio vandens valymo technologijų parinkimas taikymas naujai statomuose laivuose bei diegimas eksploatuojamuose laivuose. Įdiegiant valymo sistemą į eksploatuojamus laivus būtina optimaliai parinkti balastinio vandens valymo sistemą, kuri minimaliai keistų laivo konstrukcinius ir technologinius parametrus ir neturėtų įtakos jo stovumui.

Šiandieninėje rinkoje yra daug gamintojų siūlančių įvairių valymo įrangą, todėl siekiant užtikrinti balastinio vandens išvalymo kokybę, yra svarbu parinkti optimalių techninių parametrų įrangą skirtingų gabaritų ir paskirties laivams. Valymo metodo ir įrangos parinkimas priklauso nuo laivo tipo, balastinių cisternų talpumo, vandens valymui kokybės, svorio, našumo bei vietos, skirtos įrangai įmontuoti laive (Šateikienė, D.; Janutėnienė, J. 2012; Šateikienė, D.; Lekstutis, Š. 2012).

Šio straipsnio tikslas: atlikti balastinių vandenų priežiūros sistemų diegimo sausakrūviuose laivuose daugiakriterinį vertinimą.

Daugiakriterijinio vertinimo metodai

Atrankos procesas yra labai svarbus kuriant naujus metodus ir technologijas. Esant daugybei įvairių atrankos variantų sunku nustatyti vieną, kuris vienareikšmiškai tiktų laivo balastinio vandens priežiūros sistemos parinkimui.

Pastaruoju metu pasaulyje sprendimo priėmimo sistemose vis plačiau taikomi daugiakriteriniai metodai. Metodų taikymo tikslas yra geriausios alternatyvos iš keleto pasiūlytų pasirinkimas arba alternatyvų rangavimas nagrinėjamo tikslo atžvilgiu.

Vertinimo kriterijus – rodiklis, suteikiantis informaciją apie valdymo srities plėtros strategijos, programos tikslo ar uždavinio įgyvendinimą. Vertinimo kriterijų parinkimas yra svarbus alternatyvų vertinimo etapas, nes teisingai pasirinkti kriterijai užtikrina strateginių tikslų pasiekimą.

Kiekybinių daugiakriterinių metodų pagrindą sudaro kriterijų (rodiklių), charakterizuojančių nagrinėjamą procesą sprendimo priėmimo matrica $R = \|r_{ij}\|$ ir rodiklių reikšmingumą (svorių) vektorius $\Omega = \|\omega_i\|$ ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$), čia m – rodiklių skaičius, n – lyginamų objektų (alternatyvų) skaičius ($\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$) (Podvezko, V. 2012).

Rodikliai maksimizuojamojo arba minimizuojamojo tipų, t. y. jų geriausia reikšmė nagrinėjamo tikslo atžvilgiu gali būti didžiausia arba mažiausia. Atskirų rodiklių (kriterijų) įtaka nagrinėjamam tikslui skirtinga, taip pat skiriasi ir kriterijų matavimo vienetai. Kiekybiniai daugiakriteriniai metodai apjungė kriterijų normalizuotas reikšmes \tilde{r}_{ij} ($0 \leq \tilde{r}_{ij} \leq 1$) ir jų svorius ω_i į metodo vertinimo kriterijų (Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2005; Ginevičius, R.: Vaitkūnaitė, V. 2006; Podvezko, V. 2012).

Pagal SAW (*Simple Additive Weighting*) metodą, vertinimo kriterijus skaičiuojamas pagal formulę

$$S_j = \sum_{i=1}^m \omega_i r_{ij} \quad (1)$$

Kitas būdas alternatyvų vertinimui yra PROMETHEE (*Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluation*) metodas. Vietoje kriterijų normalizuotų reikšmių \tilde{r}_{ij} formulėje (1) taikomos prioritėtų funkcijos $p(d)$ reikšmės, kur funkcijos argumentas d yra rodiklio (kriterijaus) reikšmių skirtumas $d_i(A_j, A_k) = r_{ij} - r_{ik}$.

Taikomas svorinių koeficientų reikšmių parinkimo būdas, kai sprendimų priėmėjas pats parenka svorinių koeficientų reikšmes, atsižvelgdamas į sprendžiamo už-

davinio specifiką, įvertinant tai, kad svarbiausias parametras yra išvalymo kokybė, jei jis netenkinamas, kitų parametų analizė neturi prasmės.

Prioritetų funkcijos reikšmės rodo vienos alternatyvos svarbumo (prioritetiškumo) laipsnį kitos alternatyvos atžvilgiu ir priklauso nuo funkcijos parametru q ir s (Podvezko, V. 2012).

Prioritetų funkcijos turi tenkinti tam tikras savybės (Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2005). Vertinant PROMETHEE metodu dviejų alternatyvų A_j ir A_k palyginimo kriterijus $\pi(A_j; A_k)$ skaičiuojamas pagal formulę:

$$\pi(A_j; A_k) = \left(\sum_{i=1}^m \omega_i p_i(d_i(A_j; A_k)) \right), \quad (2)$$

čia ω_i – i-jo rodiklio R_i svoris; $p_i(d) = p_i(d_i(A_j, A_k))$ – t-oji (viena iš pasiūlytų) prioritėtų funkcija, pasirinktoji į jam rodikliui.

Nuo kitų daugiakriterinių metodų šie metodai skiriasi tuo, kad vietoj kriterijų normalizuotų reikšmių taikomos specialiai parinktų funkcijų (prioritetų, sutarimo ir nesutarimo) reikšmės.

Balastinio vandens valymo metodų ir įrangos rodiklių palyginamoji analizė

Kriterijai buvo grindžiami atsižvelgiant: į balastinio vandens valymo įrangos našumą minimalių svorio ir dydžio charakteristikų reikalavimus; balastinio vandens valymo kokybę; mažas elektros energijos sąnaudas. Kriterijai buvo parinkti su sąlyga, kad jie nėra sudėtiniai, įvertinti kiekybiniu požiūriu ir yra suprantami.

Balastinio vandens valymo metodų ir įrangos kriterijai yra pateikti 1 lentelėje, remiantis surinkta informacija, kuri buvo gauta iš valymo įrenginių gamintojų ir tiekėjų, įrenginių techninės dokumentacijos analizės (Šateikienė, D., Janutėnienė, J. 2012; Šateikienė, D., Lekstutis, Š. 2012).

Balastinio vandens valymo metodų ir įrangos išskirti svarbiausius, esminius kriterijus yra labai svarbus, siekiant tinkamai parinkti įrangą sausakrūviams laivams. Vertinimas priklauso nuo Tarptautinės Jūrų Organizacijos keliamų reikalavimų, įtakos laivo konstrukcijai ir eksploatacijai. Valymo metodas ir įranga, netenkinantys bent vieno iš šios kategorijos kriterijų ribinės reikšmės, traktuotini kaip netinkami. Pirminis vertinimas pagal siūlomus esminius kiekybinius kriterijus leidžia atmesti netinkamus balastinio vandens valymo metodus ir įrangos variantus jau pradiniam vertinimo etape. Kokybės aspektus apimančių kriterijų ribinės reikšmės reglamentuotos norminiuose dokumentuose (IMO). Likusių esminių

1 lentelė. Balastinio vandens valymo metodai ir įrangos maksimalios rodiklių reikšmės

Nr.	Valymo įrangos parametrai	Matavimo vienetai	Valymo metodai					
			Filtravimas	Ozonavimas	Chloravimas	Elektrocheminis	Filtavimas-UV	Ozonavimas UV
1.	Našumas	m ³ /h	2400	3000	9600	2600	3000	300
2.	Gabaritai, tūris	m ³	11	18,7	23	5,2	13,9	16,8
3.	Įrangos masė	kg	2436	2750	7520	3400	3770	13034
4.	Išvalymo kokybė. Invazinė rūšis >50 μm (Zooplanktonas)	< 10 vnt/m ³	0	0,2	10	10	0,39	0,17
5.	Išvalymo kokybė. Invazinė rūšis 10–50 μm (Fitoplanktonas)	< 10 vnt/ml	5	18	10	10	0,2	0,18
6.	Išvalymo kokybė. Bakterijos: Generinė Vibrio Cholerae	< 1 KSV/100 ml	3	0	1	1	1	1
7.	Išvalymo kokybė. Bakterijos: E-coli	< 250 KSV/100ml	880	10	250	250	250	10
8.	Išvalymo kokybė. Bakterijos: Enterococci	< 100 KSV/100 ml	320	10	100	100	100	10
9.	Energijos sąnaudos	kW	170	282	23,3	300	338	336

kriterijų ribinės reikšmės yra individualios, atsižvelgiant į sausakrūvį laivą.

Balastinio vandens valymo metodų ir įrangos vertinimo kriterijų svorio koeficientai pateiktas 2 lentelėje.

Kiekvienos nagrinėjamo balastinio vandens valymo metodo ir įrangos parametru santykinis reikšmingumas apskaičiuojamas atsižvelgiant į minimizuojančių ir maksimizuojančių normalizuotų kriterijų reikšmių sumas.

Gautos reikšmės padaugintos iš atitinkamo svorio koeficiento. Šiuo atveju domina mažiausi bakterijų kiekiai, mažiausios energijos sąnaudos bei mažiausi įrangos gabaritai ir svoris.

2 lentelė. Balastinio vandens valymo metodų ir įrangos vertinimo kriterijai

Vertinimo kriterijai	Svorio koeficientas, ω_i
Našumas	0,20
Gabaritai, tūris	0,13
Įrangos masė	0,07
Išvalymo kokybė. Invazinė rūšis >50 μm (Zooplanktonas)	0,33
Išvalymo kokybė. Invazinė rūšis 10 – 50 μm (Fitoplanktonas)	
Išvalymo kokybė. Bakterijos: Generinė Vibrio Cholerae	
Išvalymo kokybė. Bakterijos: E-coli	
Išvalymo kokybė. Bakterijos: Enterococci	
Energijos sąnaudos	0,27

Atlikus skaičiavimus pagal (1) formulę, nustatyta, kad iš šiuo metu gaminamos balastinio vandens valymo įrangos, minimalius eksploatacinius parametrus $S_{\min} = 0,093$ užtikrina vandens chloravimo metodas (3 lentelė). Rezultatų analizė parodė, kad šiuo metodo grindžiamos įrangos našumas yra didžiausias, tenkina

IMO reikalavimus, o balasto sistemose siurblių našumas siekia 100–400 m³/h.

Kiekvienam laivui labai svarbu papildomai montuojamos įrangos svoris, kad nesumažėtų laivo dedveito tonažas (angl. *deadweight tonnage* – DWT) – dydis, rodantis kokios masės krovinį laivas gali saugiai gabenti. Chloravimo valymo metodo ir įrangos svoris lyginant su kitais metodais yra didelis.

Valymo technologija chloro dioksidu (ClO₂) efektyvi naikinant bakterijas, patogeninius ir kitus mikroorganizmus. Šios valymo technologijos įranga tinka įvairaus dydžio laivams, o įrangos matmenų įvairovė sudaro konkurenciją didesnei, o kartu ir brangesnei, kitos sistemos įrangai. Šis būdas veiksmingas valant drumstą vandenį, tačiau valymo proceso metu susidaro pavojingos cheminės medžiagos.

Remiantis valymo technologijos tyrimų rezultatais, mikroorganizmų naikinimo efektyvumas priklauso nuo chloro koncentracijos, aplinkos temperatūros, vandens druskingumo, pH ir poveikio laiko. Didesniam mikroorganizmų kiekiui sunaikinti reikia didesnės chloro koncentracijos. Tačiau esant didelei chloro koncentracijai susidaro toksiškos medžiagos, o dėl aukšto pH suaktyvėja cisternų korozija. Todėl vandeniui dezinfekuoti efektyviausias 20–60 mg/l chloro kiekis.

Išvados

Pagal Tarptautinės Jūrų Organizacijos Konvencijos reikalavimus, po 2016 metų visi laivai privalės turėti balastinio vandens valymo sistemą.

3 lentelė. Balastinio vandens valymo metodų ir įrangos vertinimas

Nr	Valymo įrangos parametrai	Matavimo vienetai	Valymo metodų ir įrangos reikšmingumo koeficientai, r_i						
			Optimizavimo kryptis	Filtravimas	Ozonavimas	Chloravimas	Elektrocheminis	Filtravimas-UV	Ozonavimas UV
1.	Našumas	m ³ /h	max	0,25	0,31	1,00	0,27	0,31	0,03
2.	Gabaritai, tūris	m ³	min	0,48	0,81	1,00	0,23	0,60	0,73
3.	Įrangos masė	kg	min	0,19	0,21	0,58	0,26	0,29	1,00
4.	Išvalymo kokybė. Invazinė rūšis >50 μm (Zooplanktonas)	< 10 vnt/m ³	min	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5.	Išvalymo kokybė. Invazinė rūšis 10–50 μm (Fitoplanktonas)	< 10 vnt/ml	min	0,28	1,00	0,56	0,56	0,56	0,56
6.	Išvalymo kokybė. Bakterijos: Generinė Vibrio Cholerae	< 1 KSV/100 ml	min	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
7.	Išvalymo kokybė. Bakterijos: E-coli	< 250 KSV/100ml	min	1,00	0,01	0,28	0,28	0,28	0,28
8.	Išvalymo kokybė. Bakterijos: Enterococci	< 100 KSV/100 ml	min	1,00	0,03	0,31	0,31	0,31	0,31
9.	Energijos sąnaudos	kW	min	0,50	0,83	0,07	0,89	1,00	0,99
			S min	0,494	0,296	0,093	0,332	0,406	0,525

Tyrimams pasirinktų sausakrūvių laivų balastinio vandens valymo įrangos ir metodo svarbiausi parinkimo kriterijai yra vandens išvalymo kokybė tenkinanti IMO reikalavimus, išvalymo greitis – įrangos našumas, reikalingas plotas įrenginiui laive įdiegti, įrangos svoris.

Atlikus balastinio vandens valymo metodų ir įrangos rodiklių palyginamąją analizę gauti rezultatai parodė, kad valymo įranga pagrįsta chloravimo metodu yra našiausia ir energijos sąnaudos mažiausios bei naikina visų dydžių ir tipų mikroorganizmus, bakterijas. Valymo efektyvumas šiuo atveju priklauso nuo chloro koncentracijos, aplinkos temperatūros, vandens druskingumo, pH ir poveikio laiko.

Sekanti alternatyva pagal įrangos techninius parametrus ir būtiną vandens išvalymo kokybę yra elektrocheminis valymas.

Literatūra

- Ballast water treatment technology*. Germanischer Lloyd. 2010. Hamburg: Brooktorkai: 18. 33 p.
- Ballast water treatment technology*. Lloyd's Register. 2010. London: 71 Fenchurch Street. 36 p.
- Gollasch, S.; David, M.; Voigt, M.; Dragsund, E.; Hewitt, C.; Fukuyo, Y. 2007. *Critical review of the IMO international convention on the management of ships' ballast water and sediments*. Harmful Algae 6: 585-600.
- Matej, D.; Stephan, G. 2008. EU shipping in the dawn of managing the ballast water issue. *Marine Pollution Bulletin* 56: 966-1972.

Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2005. Daugiakriterinio vertinimo rodiklių sistemos formavimas. *Verslas: teorija ir praktika* 6(4): 199-207.

Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2007. Some problems of evaluating multicriteria decision methods. *International Journal of Management and Decision Making* 8(5/6): 527-539.

Ginevičius, R.; Vaitkūnaitė, V. 2006. Analysis of organizational culture dimensions impacting performance. *Journal of Business Economics and Management* 7(4): 201-211.

Podvezko, V. 2012. Dominuojančių alternatyvų daugiakriteriniai metodai. *Lietuvos matematikos rinkinys* 53: 96-101.

Šateikienė, D.; Janutėnienė, J. 2012. Ballast water treatment technologies comparative analysis. *Transport means. Proceedings of 16th International Conference*, 2012, Klaipėda, Lietuva: 241-244.

Šateikienė, D.; Lekstutis, Š. 2012. Balastinio vandens valymo įrangos analizė. *Technologijos mokslo darbai Vakarų Lietuvoje*. 2012, Klaipėda, Lietuva: 100-104.