

**KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS**

Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas

Jūrų inžinerijos katedra

Eglė Danasaitė

**BALASTINIŲ VANDENŲ VALYMO  
POVEIKIO LAIVINĖMS  
KONSTRUKCIJOMS TYRIMAS**

Laivų projektavimo ir statybos magistrantūros studijų programos  
(621H52001) baigiamasis darbas

Klaipėda, 2016

## SANTRAUKA

Magistranto moksliniame tiriamajame darbe pateikiamos balastinės sistemos funkcijos ir svarba laivo eksploatacijos metu. Apžvelgti balastinio vandens apdorojimo standartai, sutarčių datos, balastinio vandens pakeitimo procedūros. Pateikti standartų D-1 ir D-2 laikymosi reikalavimai, kurie yra nurodyti BWM konvencijos priimtuose nutarimuose. Išanalizuotos balastinio vandens valymo technologijos bei jų parinkimo kriterijai. Pateikti balastinio vandens valymo metodų privalumai ir trūkumai. Aprašomos balastinių vandenių valyme naudojamų veikliųjų medžiagų poveikis laivo konstrukcijoms. Pateikiami fizikiniai-cheminiai balastinių tankų dilimo būdai bei antikoroziškos prevencijos priemonės.

Taip pat šiame magistrantūros baigiamajame darbe pateikiamos atliktos mokslinės bei metodinės literatūros analizės apie balastinio vandens tankų koroziją ir naudojamų valymo technologijų poveikį korozijos parametrams.

Eksperimentinėje dalyje pateikiami tyrimo „Chloravimo įtaka laivo konstrukcijoms“ rezultatai. Tyrimui naudoti bandiniai išpjauti iš balastinių tankų ir padengti pagal PSPC standartą, bei cinko anodai. Nustatytas procentinis svorio pokytis tiriamiems bandiniams, atsižvelgiant į chloro jonų koncentracijas tirpaluose.

## SUMMARY

In this Master Work are presented the ballast system functions and their importance during vessel operating period. Also there are overviewed the ballast water treatment standarts, contract dates, the procedures of ballast exchange procedures. There are provided requirements of the D1 and D2 compliance, which are determined in the BWM Convention. There are analysed the ballast water treatment technologies and their selection criteria. There are presented advantages and disadvantages of methods of the ballast water treatment. There are described how the active used materials effect the vessel constructions. There are presented physico-chemical methods of ballast tank wear and anti-corrosion prevention measures. This Master Work contains scientific and methodical literature analysis of ballast water tank corrosion and impact of technology used in the treatment of corrosion parameters.

At the experimental part of the research there are presented results of "Chlorination Influence to the Vessel Structure" analysis. There were used samples, which were cut from ballast tanks and covered accordingly PSPC standart and also zinc anodes. There is determined the percentage change in weight to the tested samples, considering the chlorine ion concentration in the solution.

# **Laivų projektavimo ir statybos magistrantūros studijų (621H52001) programos baigiamasis darbas**

**Užduotis studentei:** Eglei Danasaitei

**Baigiamojo darbo temos pavadinimas:** Balastinių vandenių valymo poveikio laivinėms konstrukcijoms tyrimas

## **Darbo sudėtis**

### ĮVADAS

#### BALASTINIŲ VANDENŲ PROBLEMOS APŽVALGA

- 1.1 Balastinio vandens konvencija
- 1.2 Balastinio vandens valymo technologijos
- 1.3 Jūrinių laivų balastinės sistemos
  - 1.3.1 Balastinės sistemos sandara, funkcijos ir svarba
  - 1.3.2 Balastinių tankų plienas
  - 1.3.3 Fizikiniai - cheminiai balastinių tankų dilimo būdai
- 1.4 Balastinių tankų korozijos prevencija
  - 1.4.1 Apsauginės dangos
  - 1.4.2 Elektrocheminė apsauga

#### II. MOKSLINĖS LITERATŪROS ANALIZĖ APIE BALASTINIO VANDENS TANKŲ KOROZIJĄ IR VALYMO TECHNOLOGIJŲ POVEIKĮ KOROZIJOS PARAMETRAMS

#### III. METODINĖS LITERATŪROS ANALIZĖ APIE BALASTINIO VANDENS VALYMO BŪDŲ POVEIKIO LAIVO KONSTRUKCIJOMS VERTINIMĄ

- 3.1 Balastinio tanko dangos irimo mechanizmas
- 3.2 Balastinio tanko dangos irimo įvertinimas

#### IV. EKSPERIMENTAS- CHLORAVIMO ĮTAKOS BALASTINIŲ TANKŲ KONSTRUKCIJOMS VERTINIMAS

### IŠVADOS

### LITERATŪROS SĄRAŠAS

Darbo vadovas (-ė):

.....  
(vardas, pavardė, parašas)

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Balastinio vandens valymo įdiegimas .....	12
2 lentelė. Konvenciją ratifikavusios TJO narės.....	13
3 lentelė. Plieno S235 elementų cheminė sudėtis.....	24
4 lentelė. 1 litrui tirpalo paruošti reikalingas sudedamųjų medžiagų kiekis.....	50
5 lentelė. Tiriamųjų plokštelių išorinės aplinkos sąlygos.....	51
6 lentelė. Tiriamųjų plokštelių svoris gramais tyrimo eigoje .....	51
7 lentelė. Tiriamųjų plokštelių išorinės aplinkos sąlygos.....	54
8 lentelė. Tiriamųjų plokštelių svoris gramais tyrimo eigoje.....	54
9 lentelė. Tiriamųjų cinko anodų išorinės aplinkos sąlygos.....	58
10 lentelė. Cinko anodų svoris gramais tyrimo eigoje .....	59

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Alternatyvūs metodai balastinei sistemai.....	14
2 pav. Balastinio vandens valymo proceso technologiniai metodai .....	15
3 pav. Balastinio vandens tankas prastos būklės (paveiktas korozijos) .....	18
4 pav. Oksidatorių poveikis balastinių tankų dangoms .....	18
5 pav. Balastinės sistemos sandara.....	20
6 pav. Dugninio ir bortinio kingstono schema.....	20
7 pav. Balastavimo ir debalastavimo procesai .....	21
8 pav. Balastinių tankų rūšys.....	22
9 pav. Balastiniai tankai.....	22
10 pav. Purbe diagrama geležiai .....	24
11 pav. Druskos anijonų (halogenų) įtaka geležies korozijai vandeniniuose tirpaluose.....	25
12 pav. Ištininė korozija balastiniame tanke.....	27
13 pav. Vietinė korozija balastiniame tanke.....	28
14 pav. Geležies korozinio dilimo vandenyje priklausomybė nuo temperatūros .....	29
15 pav. Metalų korozijos greičio priklausomybė nuo vandens judėjimo greičio.....	30
16 pav. Aštrių kraštų šlifavimas (kairėje) ir užapvalinimas minimaliai iki 2 mm (dešinėje) .....	33
17 pav. Rankinis šlifavimas (karėje) ir kraštų apvalinimo mašina (dešinėje) .....	33
18 pav. Viso konstrukcijų bloko valymas iki Sa2,5 švarumo .....	33
19 pav. Dažytų, lakuotų dangų adhezijos matavimas .....	35
20 pav. Katodinė apsauga, naudojant aukojimo anodus.....	36
21 pav. Katodinė apsauga, naudojant srovę .....	37
22. pav. Elektrocheminio korozinio proceso schema.....	38
23 pav. Cinko anodas.....	38
24 pav. Sukorodavęs cinko anodas.....	39
25 pav. Metalų korozijos greičio priklausomybė nuo elektrolito pH .....	40
26 pav. Purbe diagrama cinkui.....	40
27 pav. Plieno plokštelės po valymo OceanSaver sistema.....	42
28 pav. Plieno plokštelių nuotraukos tyrimo eigoje.....	43
29 pav. Dangos degradacijos grafikas laivų balastinio tanko gyvavimo metu.....	45
30 pav. Balastinio tanko dangos ploto irimas iki tarnavimo laiko.....	45
31 pav. Rimtas korozijos padidėjimas tarp pagrindinio denio sijos ir išilginių skersinių sujungimų.....	46
32 pav. Dangos suirimo vertinimo skalės diagrama .....	47
33 pav. Linijinių įdubimų paplitimo diagrama .....	48

34 pav. Apibrėžtos dangos irimo paplitimo diagrama .....	48
35 pav. Eksikatorius, analitinės svarstyklės.....	50
36 pav. Tiriamų plieno plokštelių svorio pokyčiai.....	52
37 pav. Procentinis plieno plokštelių masės pokytis.....	53
38 pav. Plokštelių nuotraukos atlikus tyrimą.....	53
39 pav. Tiriamų plieno plokštelių svorio pokyčiai.....	55
40 pav. Procentinis plieno plokštelių masės pokytis.....	56
41 pav. Bandyamas siekiant nustatyti chloravimo įtaką protektoriaus ilgaamžiškumui.....	58
42 pav. Cinko anodų svorio pokyčiai.....	61
43 pav. Procentinis cinko anodų masės pokytis.....	62
44 pav. Cinko anodų nuotraukos atlikus tyrimą.....	63

# TURINYS

<b>IVADAS</b> .....	8
<b>I. BALASTINIŲ VANDENŲ PROBLEMOS APŽVALGA</b> .....	11
1.1 Balastinio vandens konvencija.....	11
1.2 Balastinio vandens valymo technologijos.....	14
1.3 Jūrinių laivų balastinės sistemos.....	19
1.3.1 Balastinės sistemos sandara, funkcijos ir svarba.....	19
1.3.2 Balastinių tankų plienas.....	23
1.3.3 Fizikiniai - cheminiai balastinių tankų dilimo būdai.....	25
1.4 Balastinių tankų korozijos prevencija.....	30
1.4.1 Apsauginės dangos.....	30
1.4.2 Elektrocheminė apsauga.....	36
<b>II. MOKSLINĖS LITERATŪROS ANALIZĖ APIE BALASTINIO VANDENS TANKŲ KOROZIJĄ IR VALYMO TECHNOLOGIJŲ POVEIKĮ KOROZIJOS PARAMETRAMS</b> .....	40
<b>III. METODINĖS LITERATŪROS ANALIZĖ APIE BALASTINIO VANDENS VALYMO BŪDŲ POVEIKIO LAIVO KONSTRUKCIJOMS VERTINIMĄ</b> ....	45
3.1 Balastinio tanko dangos irimo mechanizmas.....	45
3.2 Balastinio tanko dangos irimo įvertinimas.....	47
<b>IV. EKSPERIMENTAS- CHLORAVIMO ĮTAKOS BALASTINIŲ TANKŲ KONSTRUKCIJOMS VERTINIMAS</b> .....	49
<b>IŠVADOS</b> .....	65
<b>LITERATŪROS SĄRAŠAS</b> .....	67

## IVADAS

Nepaisant to, kad pasaulinės jūrų prekybos apimčių augimas lėtėja, kad užsakymų naujų laivų statybai skaičius dar nesiekia nė pusės ikikrizinio portfelio, pasaulinis laivynas nuosekliai didės, nes auga Žemės gyventojų skaičius. Ekspertai teigia, kad laivai taps autonominiai, valdomi nuotoliniu būdu, keisis jų dizainas, mažės poveikis aplinkai.[37] Net ir moderniausių laivų plaukiojimo saugumui bei efektyvumui būtinas balastas. TJO duomenimis, pasaulinis laivynas, perveždamas apie 80 proc. krovinių, kasmet į jūras išleidžia nuo 3 iki 5 mlrd. tonų balastinio vandens.[35] Kaip rodo mokslininkų atlikti tyrimai, tuo būdu į naujas teritorijas atkeliauja invazinės rūšys. Jos naikina ar išstumia vietines žuvis, moliuskus ir kitus organizmus. [36] Prie nepageidautinų "atėjūnų" galima priskirti prie Klaipėdos jūros vartų prieš daugiau kaip dešimtmetį apsigyvenusius grundulus - Juodosios jūros pakrančių žuvis.[10]

Todėl 2004 m. vasario mėn. TJO adaptavo tarptautinę konvenciją The International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments (BWM konvencija), reguliuojančią balastinio vandens išleidimą iš laivų, siekiant sumažinti invazinių rūšių iš laivų riziką. Konvencija įsigalios praėjus 12 mėnesių po to, kai ją ratifikavusių valstybių prekybinio laivyno tonažas pasieks 35 proc. nuo bendro pasaulinio prekybinio laivyno tonažo. Papildomai TJO parengė 15 komplektų gairių ir kitų dokumentų.[39] Lygiagrečiai laivų įrangos gamintojai kūrė technologijas balastinio vandens valymui, konstravo valymo įrangos modulius, testavo ir aprobavo juos pagal atitinkamas procedūras akredituotose įstaigose. TJO šalys pas save irgi pradėjo konvencijos ratifikavimo procedūras. Šiai dienai ratifikavusių valstybių prekybinio laivyno tonažas 35 proc. dar nesiekia.[39] Šalys taip pat turi teisę didinti reikalavimus išleidžiamo balastinio vandens kokybei. Pavyzdžiui, JAV taisyklės yra ženkliai griežtesnės už pasaulines, todėl dauguma pasaulyje aprobuotų balastinio vandens valymo sistemų JAV tarnybų aprobacijos nepraėjo.[6]

Iš 53 šiuo metu aprobuotų balastinio vandens valymo sistemų, trečdalis dezinfekcijai naudoja chloro junginius. [22] Chloro jonai skatina dažniausiai sutinkamą korpuso remonto priežastį - korozinį dilimą, nes jūrinių transportinių laivų korpusai statomi iš neatsparaus korozijai konstrukcinio plieno. Korozijos proceso vystymasis laivo korpusė ir konstrukcijose priklauso nuo plieno markės, suvirinimo siūlių kokybės, korpuso surinkimo technologijos, techninės priežiūros kokybės, apsauginių antikoroziinių dangų rūšies ir kokybės bei daugelio kitų faktorių.[11] Balastinių tankų dilimui didžiausią įtaką turi elektrocheminė korozija, kurios parametrų dydžiui įtaką daro jūros vanduo su 3,5-4,0% druskų (silpnai šarminis, pH = 7,2-8,6, NaCl ~ 78% ir MgCl<sub>2</sub>- ~ 11%). [4] Chloro jonai neleidžia susidaryti pasyvuojančioms plėvelėms, todėl procesas

yra aktyvus, ypač aeruojamame vandenyje. NaCl koncentracijai augant iki 3 proc., korozijos greitis irgi auga.

Laivų inžinierius neramina klausimai, ar dėl balastinių vandenų valymui naudojamų agresyvių medžiagų nedidės korozijos greitis, atsižvelgiant į tai, kad laivų korpusai pradėti statyti iš plonesnio konstrukcinio plieno. Pasitelkiant šiuolaikines projektavimo sistemas, identifikuojančias pavojingas įtempių koncentracijas ir jas susitipinant, galima ženkliai sumažinti laivo masę. Jei anksčiau tanklaivio korpuso vidutinis storis buvo 25 mm, šiandien jis siekia 14-16 mm. Įvertinant tai, kad naujųjų plienų atsparumas korozijai neišaugo, galime daryti prielaidą, kad korozijos poveikis dėl balastinio vandens chloravimo gali būti dar pavojingesnis nei anksčiau.

Tyrimo objektai: bandiniai, išpjauti iš balastinių tankų, iš vienos pusės padengti epoksidine danga pagal PSPC standartą bei cinko protektoriai.

Šio darbo tikslas - įvertinti balastinių vandenų chloravimo poveikį laivo korpuso konstrukcijų ilgaamžiškumui.

Uždaviniai:

- Išanalizuoti transportinių laivų balastinių sistemų sandarą ir joms keliamus reikalavimus;
- Atlikti BWM konvencijos analizę;
- Parengti mokslinės literatūros analizę apie balastinio vandens tankų koroziją ir valymo technologijų poveikį korozijos parametrui;
- Parengti metodinės literatūros analizę apie balastinio vandens valymo būdų poveikį laivo konstrukcijoms;
- Išanalizuoti įstatyminių ir norminių aktų bazę balastinio vandens valymo klausimais;
- Parengti eksperimentinio tyrimo planą;
- Atlikti eksperimentą ir išanalizuoti rezultatus;
- Parengti tyrimo metu gautų rezultatų išvadas bei rekomendacijas.

# I. BALASTINIŲ VANDENŲ PROBLEMOS APŽVALGA

## 1.1 Balastinio vandens konvencija

2004 metais diplomatinėje TJO konferencijoje priimta BWM (Balastinio vandens valdymo) konvencija. Konvencija buvo priimta todėl, kad mokslininkai pastebėjo, jog įvairiuose vandenyse atsiranda gyvų organizmų, visiškai nebūdingų vienam ar kitam regionui. Mokslininkai padarė išvadą, kad juos atplukdo laivai su balastiniu vandeniu. Šia konvencija buvo pristatytos pasaulinės taisyklės, kaip kontroliuoti invazinių vandens rūšių perkėlimą. Ateityje laivų savininkams neužteks tik vykdyti reikalavimą keisti balastinius vandenius, reikės aprūpinti laivą ir tam tikra vandens valymo įranga, kad būtų užkirstas kelias organizmų perdavimui per laivų balastinį vandenį.[40]

Šia konvencija įpareigojama, kad visuose laivuose, gabenančiuose balastinį vandenį, būtų įdiegtos valymo sistemos. Joje nurodomi balastinio vandens standartai, balastinio vandens pakeitimo procedūros bei numatytų standartų peržiūros, siekiant nuolat gerinti valymo technologijas [15].

Šioje konvencijoje nurodomi du standartai, kuriais siekiama sumažinti invazinių rūšių plitimą. Standartai privalo būti įgyvendinti naujuose laivuose, pastatytuose nuo 2009 metų ir vėliau, ir taip pat įdiegti senesniuose negu 2009 metų statybos laivuose. [15]

Įsigaliojus BWM konvencijai, laivai plaukiojantys su konvenciją priėmusių šalių vėliavomis, turi turėti Tarptautinius BWM D-1 (balastinio vandens keitimas) ar D-2 (valymas) sertifikatus. Laivai, plaukiojantys su kitų šalių vėliavomis, atliekantys debalastavimą konvenciją priėmusiose šalyse taip pat turi turėti atitinkamus sertifikatus su minėtais standartais [2].

Standartų D-1 ir D-2 laikymosi reikalavimai yra nurodyti BWM konvencijos priimtuose nutarimuose ir priklauso nuo laivo kylio paklojimo datos ir balastinių cisternų talpumo [17].

Siekiant gauti konvencijos sertifikatus arba atitikties sertifikatus laive turi būti:

- Įdiegta sistema ir patvirtintas ar išnagrinėtas balastinio vandens apdorojimo planas;
- laive turi būti balastinio vandens registravimo knyga;
- atlikta pirminė laivo apžiūra [2].

1 lentelė. Balastinio vandens valymo įdiegimas [16]

Laivų statybos metai	Cisternų talpumas, m <sup>3</sup>	2012	2013	2014	2015	2016
≥ 2009	< 5.000					
≥ 2009 < 2012	≥ 5.000					
≥ 2012	≥ 5.000					
< 2009	1.500 - 5.000					
< 2009	< 1.500 ir > 5.0000					

Laivai, atliekantys balastinio vandens pakeitimą pagal D-1 standartą, turi pakeisti ne mažiau kaip 95% balastinio vandens laive. Laikantis šio standarto laivo tankai turi būti ištuštinami ir pripildomi nauju vandenyno ar jūros vandeniu. Balastinio vandens keitimas aiškinamas tuo, kad organizmai, patekę į balastinius tankus ir išleisti vidury vandenyno, neišgyvena. Taip pat neišgyvena pakrančių organizmai, išleisti viduryje vandenyno dėl skirtingų sąlygų, tokių kaip druskingumas, temperatūra, gylis ir pan. Todėl laivai, keičiantys balastinį vandenį laikantis D-1 standarto, kai tai įmanoma, turi atlikti balastinio vandens keitimą ne arčiau kaip 200 jūrmylių nuo kranto, esant gyliui, ne mažesniame negu 200 metrų. Nesant balastinio vandens keitimo galimybei 200 jūrmylių atstumu, vanduo turi būti pakeičiamas kuo toliau nuo kranto, tačiau ne arčiau kaip 50 jūrmylių ir nemažesniame negu 200 metrų gylyje. Jeigu į uostą plaukiantis laivas dėl tam tikrų priežasčių negalės pasikeisti balastinio vandens, jo kapitonas turės apie tai nedelsdamas informuoti uosto administraciją, kuri, pasitarusi su regiono aplinkos apsaugos departamentu, gali nuspręsti nepriimti laivo. [2].

Atliekant balastinio vandens valymą, laivai naudoja valymo technologijas, kurios pašalina organizmus iš balastinio tanko arba juos išnaikina reiso metu sutinkamai su D-2 standarto reikalavimais. Balastinio vandens valymo sistemos pagrįstos fiziniu, mechaniniu arba cheminiu valymu. Sumontuoti BWT sistemą gali kilti problemų, nes šias valymo sistemas yra brangu įsigyti. Taip pat šios sistemos išlaikymas laive yra brangus, nes trūksta erdvės ir papildomos techninės priežiūros. [27]

Iki 2016 metų gegužės mėnesio pabaigos konvenciją ratifikavo 50 TJO narės, kurios sudaro 34,81 % pasaulio prekybinės laivybos tonažo.[39] Įsigaliojimo reikalavimams įvykdyti užtektų vienos ar dviejų valstybių, turinčių didesnę prekybinį laivyną, apsisprendimo ratifikuoti konvenciją.

2 lentelė. Konvenciją ratifikavusios TJO narės[42]

Nr.	Valstybė	Ratifikavimo data	Nr.	Valstybė	Ratifikavimo data
1	Maldyvai	2005-06-22	26	Kroatija	2010-06-29
2	Sent Kitsas ir Nevis	2005-08-30	27	Malaizija	2010-09-27
3	Sirijos Arabų Respublika	2005-09-02	28	Iranas	2011-04-06
4	Ispanija	2005-09-14	29	Mongolija	2011-09-28
5	Nigerija	2005-10-13	30	Palau	2011-09-28
6	Tuvalu	2005-12-02	31	Juodkalnija	2011-11-29
7	Kiribatis	2007-02-05	32	Libanas	2011-12-15
8	Norvegija	2007-03-29	33	Trinidadas ir Tobagas	2012-01-03
9	Barbadosas	2007-05-11	34	Niujė	2012-05-18
10	Egiptas	2007-05-18	35	Rusija	2012-05-24
11	Siera Leonė	2007-11-21	36	Danija	2012-09-11
12	Kenija	2008-01-14	37	Vokietija	2013-06-20
13	Meksika	2008-03-18	38	Šveicarija	2013-09-24
14	Pietų Afrika	2008-04-15	39	Kongas	2014-05-19
15	Liberija	2008-09-18	40	Jordanija	2014-09-09
16	Prancūzija	2008-09-24	41	Tonga	2014-04-16
17	Antigva ir Barbuda	2008-12-19	42	Japonija	2014-10-10
18	Albanija	2009-01-15	43	Turkija	2014-10-14
19	Švedija	2009-11-24	44	Gruzija	2015-01-12
20	Maršalo salos	2009-11-26	45	Marokas	2015-11-23
21	Korėjos Respublika	2009-12-10	46	Indonezija	2015-11-24
22	Kuko salos	2010-02-02	47	Gana	2015-11-26
23	Kanada	2010-04-08	48	Belgija	2016-03-07
24	Brazilija	2010-04-14	49	Fidžis	2016-03-08
25	Olandija	2010-05-10	50	Sent Lusija	2016-05-26

Lietuva dar nėra ratifikavusi 2004 m. Konvencijos dėl balastinių vandenių tvarkymo, tačiau joje numatytą dalies nuostatų pas mus laikomasi jau nuo 2015 metų gegužės 1 dienos. 2013 m. lapkričio 14 d. Lietuvos Respublikos susisiekimo, aplinkos ir sveikatos apsaugos ministrų įsakymu Nr. 3-577/D1-841/V-1038 patvirtintomis laivų balastinio vandens ir nuosėdų valdymo ir kontrolės priemonėmis, jūrų laivuose, plaukiojančiuose su LR vėliava, turės būti Balastinio vandens registravimo žurnalas bei Balastinio vandens valdymo planas [25]. Nuo šios datos laivai privalės laikytis nustatytos tvarkos, kaip elgtis su balastiniu vandeniu ir jo nuosėdomis. Į uostą plaukiantis laivas turės pasikeisti balastinį vandenį ne arčiau kaip 200 jūrmylių atstumu nuo artimiausio kranto vandenyse, kurių gylis ne mažesnis kaip 200 metrų. Taip pat numatytas reikalavimas, kad keičiant balastinį vandenį privalu pakeisti bent 95 proc. jo tūrio. Jeigu į uostą plaukiantis laivas dėl tam tikrų priežasčių negalės pasikeisti balastinio vandens, jo kapitonas turės

apie tai nedelsdamas informuoti uosto administraciją, kuri, pasitarusi su Klaipėdos regiono aplinkos apsaugos departamentu, gali nuspręsti nepriimti laivo į šį uostą. Ši tvarka nepalies laivų, dirbančių tik Baltijos jūroje. Kontrolę pavesta vykdyti Lietuvos saugios laivybos administracijai, Aplinkos ministerijos Klaipėdos regiono aplinkos apsaugos departamentui (RAAD) ir Klaipėdos visuomenės sveikatos centrai. Įsigaliojus konvencijai ir pasibaigus joje numatytam pereinamajam laikotarpiui bus pradėtas taikyti D2 standartas - laivai privalės įsirengti balastinio vandens valymo įrenginius, o išpilamas vanduo privalės būti dar kartą dezinfekuojamas.

Valstybės, remiančios šią konvenciją, gali:

- Pasirašyti, bet netaikyti ratifikavimo, priėmimo arba patvirtinimo dokumento;
- Pasirašyti ratifikavimo, priėmimo arba patvirtinimo dokumentą ir po konvencijos įsigaliojimo pradėti laikytis visų keliamų sąlygų;
- Prisijungti prie konvencijos.

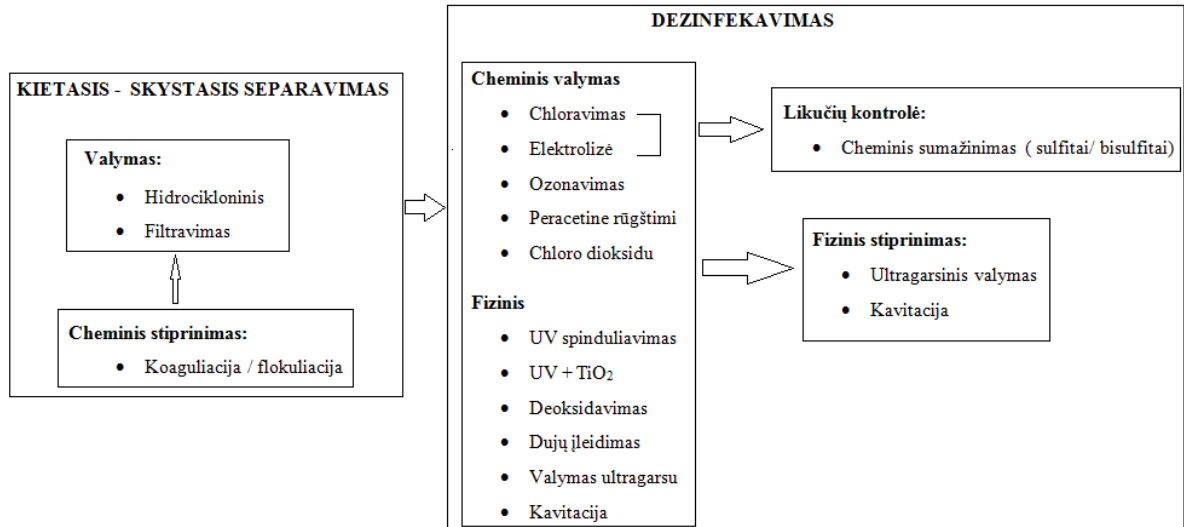
Galimi kiti sprendimai, nereikalaujantys balastinio vandens valymo ar keitimo technologijų: kietas balastas, bebalasčiai laivai, uždaros gėlo vandens balasto sistemos, atviros balastinės sistemos ir pan [6]. Su laiku dalis laivybos kompanijų rinksis naujo tipo laivus, kuriems balastinio vandens valymo technologijos nebus reikalingos.



1.pav. Alternatyvūs metodai balastinei sistemai[43]

## 1.2 Balastinio vandens valymo technologijos

Balastinių vandenų valymo sistemos atitinkančios Tapatutinės Jūrų Organizacijos (TJO) standartus, parenkamos laivuose priklausomai nuo kainos bei išvalymo efektyvumo. Dažniausiai naudojamos dvi pagrindinės balastinio vandens valymo proceso technologijos: kietasis-skystasis separavimas ir dezinfekavimas (2 pav.) [7].



2 pav. Balastinio vandens valymo proceso technologiniai metodai [7]

Kietasis-skystasis separavimas tai paprastas kietųjų medžiagų separavimas, įskaitant ir didelių mikroorganizmų bei sedimentų iš balastinio vandens separavimą. Šiai technologijai priskiriama filtravimas bei hidrocikloninis separavimas.

Filtravimo metu iš balastinio vandens pašalinami mikroorganizmai iki 20  $\mu\text{m}$ . Filtravimas, kaip balastinio vandens valymo metodas netenkina TJO keliamų reikalavimų, nes neišvalo mažesnių mikroorganizmų nei 20  $\mu\text{m}$  [38].

Hidrocikloninis separavimo metodas yra alternatyvus filtravimo metodui. Balastinio vandens valymo efektyvumas apdorojant mikroorganizmus iki 5  $\mu\text{m}$  skersmens yra tik 60%, todėl taip pat netenkina TJO keliamų reikalavimų.

Naudojami keli dezinfekavimo būdai, pašalinant ar dezaktyvuojant mikroorganizmus:

**Cheminė mikroorganizmų dezaktyvacija.** Jai priskiriami valymo metodai: chloravimas, elektrolizė, ozonavimas, valymas peracetine rūgštimi bei valymas chloro dioksidu.

Chloravimas - seniausias vandens dezinfekavimo metodas. Chloras, kaip oksiduojantis biocidas, patekęs į balastinį vandenį, ardo mikroorganizmų ląstelių sienelės ir jas naikina. Laivuose valant balastinį vandenį, chloras gali būti gaunamas elektrolizės būdu, generatoriais,

gaminančiais chloro dioksidą ( $\text{ClO}_2$ ), ar naudojant kitas vandenyje tirpstančias medžiagas ( natrio ar kalcio hipochoritas) [38].

Elektrolizės metodo efektyvumas priklauso nuo jūros vandens druskingumo. Kuo jis didesnis, tuo šis valymo procesas vyksta sparčiau. Elektrolizės procesas sukelia problemų, nes jūros vanduo be elektrolizės metu susidariusio chloro, gamina kalio ir magnio jonus, kurie stabdo elektrolizės veikimą. Elektrolizės metu kyla elektrolito temperatūra, kuri turi būti mažesnė negu  $35^\circ\text{C}$ , todėl reikia papildomai įdiegti šilumą reguliuojančią sistemą.

Šiuo dezinfekavimo metodu valymo procesas vyksta labai greitai, nereikia laikyti cheminių medžiagų laive, todėl nėra pavojų aplinkai bei laivo įgulai. Įranga nebrangi ir neužima daug vietos.

Mikroorganizmų naikinimo efektyvumas priklauso nuo chloro koncentracijos, aplinkos temperatūros, vandens druskingumo, pH ir poveikio laiko. Didesniam mikroorganizmų kiekiui sunaikinti reikalinga didesnė chloro koncentracija. Tačiau, esant didelei chloro koncentracijai, susidaro toksiškų medžiagų, o dėl aukšto pH- suaktyvėja cisternų korozija. Todėl vandens dezinfekavimui efektyviausias 20-60mg/l chloro kiekis [38].

Dezinfekavimo metodas chloru universalus tuo, kad galima dezinfekuoti ne tik balastinį vandenį, bet ir nutekamųjų vamzdinių vandenį. Tačiau, reikalingas išleidžiamo balastinio vandens neutralizavimas.

Ozonavimo valymo technologija yra veiksminga dezinfekuojant gėlą ir jūros vandenį. Gėlame vandenyje ozonas greitai suyra ir sudaro laisvuosius radikalus, kurie yra stiprūs antioksidantai, naikinantys organizmus. Jūros vandenį valant ozonu, inicijuojamos cheminės reakcijos, panašios į chloravimą. Šios reakcijos yra labai veiksmingos, nes susidariusi rūgštis naikina bakterijas. Balastinį vandenį valant ozonavimo technologija, yra sunaudojama daug elektros energijos, kuri reikalinga generatoriams. Ši sistema užima daug vietos, todėl geriausia naudoti didelio dedveito laivuose. Valymo procesas yra pakankamai brangus, o proceso metu yra išskiriamos cheminės medžiagos, kurias prieš pašalinimą iš laivo reikia neutralizuoti.[24]

**Fizikocheminis mikroorganizmų dezaktyvavimas.** Šiam metodui priklauso: ultragarsinis, kavitacinis, UV spinduliavimo bei deoksidavimo valymo metodai.

Valymas UV spinduliais yra skirtas skaidyti ląstelių membranas, taip žudant organizmus arba sunaikinant jų gebėjimą daugintis. Efektyvumas priklauso nuo balastinio vandens drumstumo: kuo drumstesnis vanduo, tuo žemesnis UV spinduliavimo efektyvumas. UV spinduliavimo technologija yra efektyvi dezaktyvuojant mikroorganizmus, virusus ir bakterijas, paveikiant jų ląstelių DNR.

Balastinio vandens valymui taikant kavitacijos technologiją naudojamas Venturio vamzdis, išprovokuojantis hidrodinaminę kavitaciją: dėl sumažėjusio skerspjūvio ploto padidėja greitis,

lydimas, remiantis pagrindine hidrodinamikos lygtimi, staigaus slėgio kritimo iki reikšmių, mažesnių už sočiųjų vandens garų slėgį. Prasideda intensyvus garavimas, dar vadinamas šaltuoju skysčio virimu. Skysčiui ištekant iš Venturio vamzdžio, slėgis auga, garų burbuliukuose garai kondensuojasi, o susidariusias tuštumas hidrodinaminio smūgio greičiais užpildo aplinkui esantis vanduo. Procesą lydi aukšta temperatūra, slėgio pulsacijos, triukšmas ir kietųjų paviršių erozinis dilimas. Balastinio vandens valymo metodas kavitacijos metodu yra veiksmingas, tačiau labai lėtas. Išvalyto vandens debitas yra mažesnis negu balastinio siurblio darbo našumas. Norint pagerinti šį valymo metodą, reikia kombinuoti su UV spinduliavimu. [24]

Deoksidavimo valymo technologija yra ištirpusio deguonies šalinimas, kurį cisternose pakeičia neaktyvios dujos. Valymo metu nesusidaro cheminės medžiagos, todėl laive nereikia kaupti jokių atliekų. Sistemos įranga yra sudėtinga ir brangi, o valymo efektyvumas reikalauja daug laiko. Laivams, plaukiojantiems trumpais atstumais, šis metodas nėra tinkamas, nes balastinio vandens valymas gali užtrukti keletą dienų.[24].

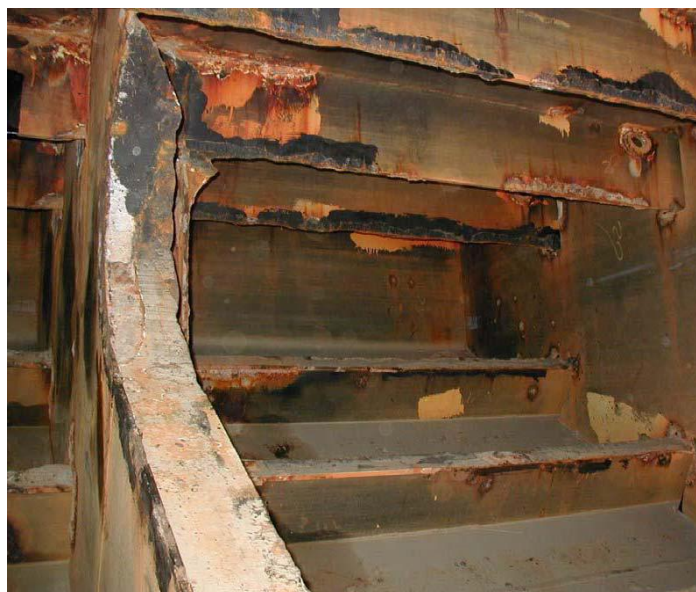
Visi balastinio vandens valymo būdai dezinfekuojant atliekami naudojant skirtingus produktus. Daugelio gamintojų siūlomą valymo sistemos įrangą sudaro du ar daugiau valymo etapų. Balastinio vandens filtravimas kombinuojamas su dezinfekavimo technologija. Siekiant suaktyvinti ultravioletinę spinduliuotę naudojamas titano dioksidas ( $\text{TiO}_2$ ). Gaminamos sistemos skiriasi pasirinkta dezinfekavimo technologija ir bendra sistemos konfigūracija (t.y. dalis dezinfekavimo sujungiama su kietuoju-skystuoju separavimu, jei toks naudojamas). Dauguma dezinfekavimo sistemų yra analogiškos pramonėje naudojamų, tokių kaip buitinio, pramoninio vandens tiekimo, nuotekų pagrindu. Tikimasi, kad jos bus veiksmingos valant ir balastinį vandenį, atsižvelgiant į išlaidas, sistemos dydį bei galimybes [9].

Kiekviena balastinio vandens valymo sistema apibūdinama našumu, kuris rodo kokį balastinio vandens kiekį sistema gali apdoroti per valandą. Parenkant valymo sistemą ši norma turi būti pakankama laivo balasto cisternų talpai užpildyti ir atitikti naudojamų siurbių našumą. Įdiegta valymo sistema gali užimti nuo 0,25 iki 145  $\text{m}^2$  plotą, priklausomai nuo jos pilnojo našumo. Valymo įrangos komponentai, kai laive nėra pakankamai vietos visai sistemai įrengti vienoje vietoje, gali būti išdėstomi atskirai. Valymo sistemos parinkimas priklauso nuo laivo tipo, techninių aplinkybių, našumo rodiklių ir kitų faktorių [32].

Balastinis vanduo yra vienas pagrindinių invazinių rūšių plitimo keliu visame pasaulyje. Dar nebuvo įrodyta, kad vienas balastinio vandens valymo būdas išvalo visus mikroorganizmus. Daromi tyrimai, tobulinami jau žinomi valymo būdai, ieškomi nauji. Tačiau, efektyviausia balastinio vandens valymo technologija – kombinuotas dviejų metodų valymas [5].

Šiuo metu jau yra 53 apčiuotų balastinio vandens valymo sistemų. Visi iš jų yra kombinuoti kelių valymo metodų. Trečdalis iš jų naudoja cheminius valymo metodus [22]. Jie

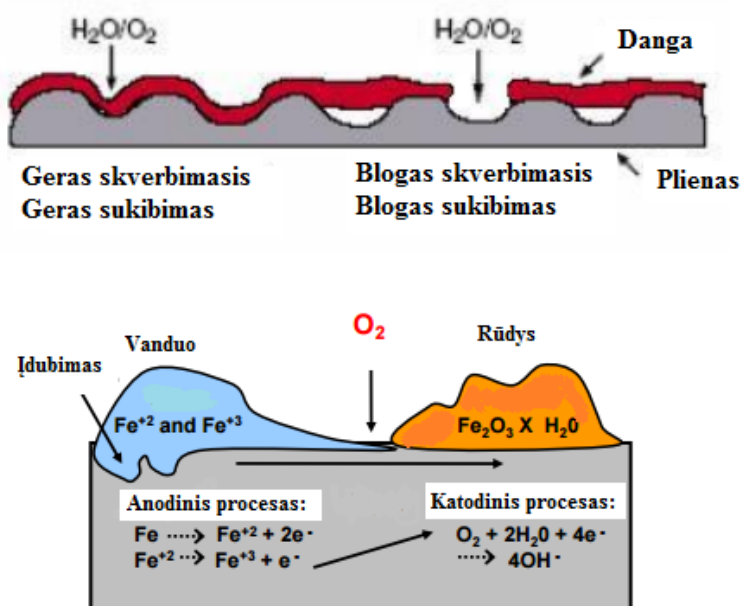
efektyviausiai naikina negadeidajamus mikroorganizmus, tačiau gali pažeisti laivines konstrukcijas. Balastiniai tankai paveikti cheminio valymo sistemų pavaizduoti 3 paveiksle.



3 pav. Balastinio vandens tankas prastos būklės (paveiktas korozijos) [29]

Mechaniniai balastinio vandens valymo būdai (filtravimas ir hidrocikloninis valymas) nedaro jokios įtakos balasto tankų dangoms. Skirtingi filtravimo metodai nepaveikia dangos ir nesukelia korozijos. Tačiau cheminis valymas su veikliomis medžiagomis ir preparatais kelia didžiausią grėsmę tankų dangoms. [3]

Tarptautinėje studentų mokslinėje konferencijoje nustatyta, kad kuo mažiau elektrolite yra deguonies jonų, tuo mažesnė žala balastinių tankų dangoms bei mažesnis cinko anodų svorio sumažėjimas. ISSC atlikti tyrimai parodė, kad oksidatoriai padidina koroziją iki 250% [32].



4 pav. Oksidatorių poveikis balastinių tankų dangoms [32]

Cheminiam valymui naudojamos medžiagos sukelia balasto tankų dangų koroziją. Cheminio valymo medžiagos, kurios turi didžiausią oksidacijos potencialą yra ozonas (2,07 V), vandenilio peroksidas (1,78 V), Chloro dioksidas (1,57 V) ir chloras (1,36 V).

Cheminio balastinio vandens valymo būdų keliama grėsmė balasto tankų dangoms: [28]

Vandenilio peroksidui skylant susidaro deguonis ir vanduo. Didesnis deguonies kiekis skatina koroziją plienui ir esamiems anodams. Vandenilio peroksidas yra oksidantas. Jis sukelia didelę žalą balastinių tankų dangoms.

Peroksido acto rūgštis ėsdina plieną, dangas ir esamus anodus.

Ozonas sukuria chloro ir bromo reakcijos produktus. Jie taip pat yra galingi antioksidantai, kurie ėsdina metalą, plastiką ir žaloja dangas.

Chloras, hipochloridas ir chloro dioksidas yra stiprūs oksidatoriai. Reaguoja su fenilo žiedu, kuris yra lyg stuburas epoksidinėms dangoms, taip sukeldami dangų minkštumą, skilinėjimą ir dangos degradaciją. Ėsdina plieną ir esamus anodus.

Apibendrinant šį skyrių galime daryti išvadą, kad cheminiam vandens valymui naudojamos medžiagos gali stipriai paveikti laivo konstrukcijas, todėl balastinių vandens valymo sistemų parinkimas yra labai rimtas ir atsakingas darbas.

## 1.3 Jūrinių laivų balastinės sistemos

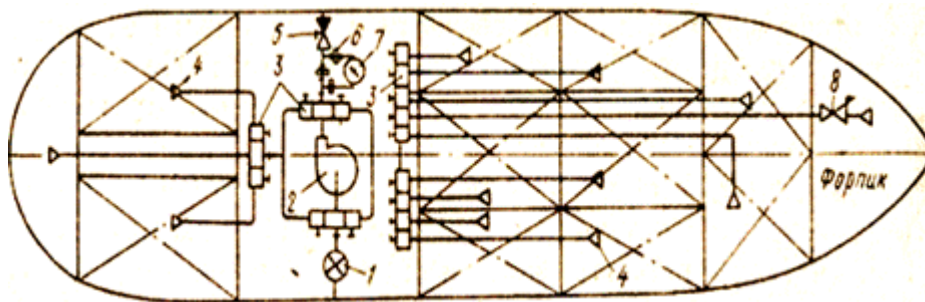
### 1.3.1 Balastinės sistemos sandara, funkcijos ir svarba

Balastinės sistemos laive naudojamos vandeniui priimti ir išpumpuoti, o kartu grimzlei, krenui ir diferentui reguliuoti. Jūriniuose laivuose be krovinio, vandens balastas padidina grimzlę, užtikrindamas reikiamas jūrines laivo savybes.

Balastinė sistema naudojama siurbti jūros vandenį arba iš jų balasto cisternų. Laivo balastas perkeliamas, nes pagerina laivo stabilumą, ypač tada, kai laivas nėra tinkamai pakrautas. Balastinė sistema kontroliuoja laivo pasvirimą pakrovimo bei iškrovimo metu.

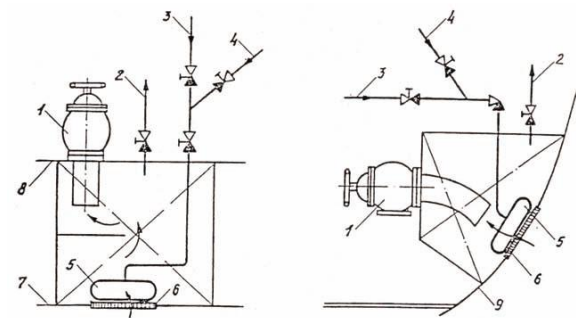
Balastiniam vandeniui dažniausiai naudojami laivagalio cisternos, gilūs tankai, dvigubodugno tankai.

Balastinė sistema sudaryta iš dugninio ir bortinių kingstonų (1), balastinės magistralės – vamzdyno, uždarojo vožtuvo dėžučių (3), siurblio (2), vamzdyno, sujungiančio balastinę magistralę su balastinėmis cisternomis (4). klinkėto (6), trijų vandenų separatoriaus (7) bei išleidimo vožtuvo su distanciniu valdymu (8).



5 pav. Balastinės sistemos sandara

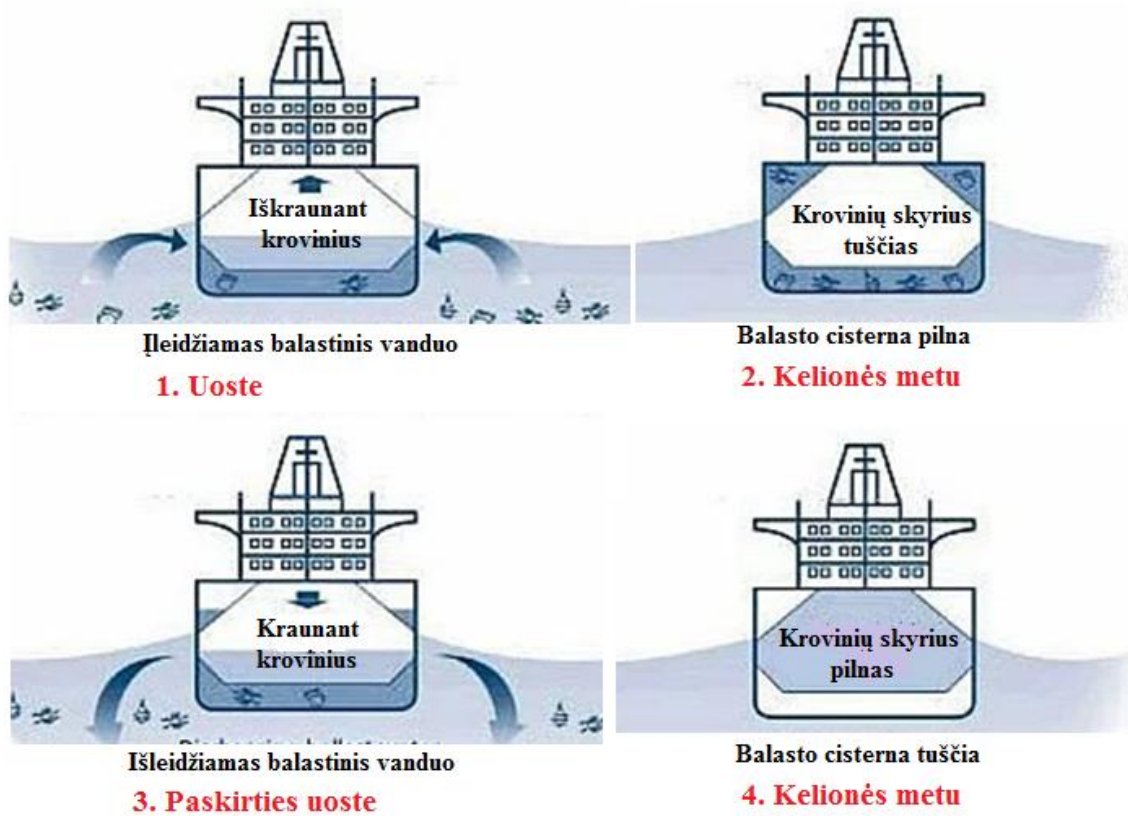
Kingstonai- tai vožtuvai povandeninėje laivo dalyje užbortiniam vandeniui įleisti(6 pav). Duginiai kingstonai naudojami tada, kai atstumas tarp laivo ir jūros dugno yra pakankamai didelis arba tada, kada negalima naudoti bortinių kingstonų. Bortiniai kingstonai naudojami tada, kai yra plaukiojama vidutinėse platumose, taip pat įplaukiant ir išplaukiant iš uostų.



6 pav. Duginio ir bortinio kingstono schema

Pripildytos balastinės cisternos užtikrina būtiną laivo stovumą vežant krovinius, sukrautus viršutiniame denyje, o taip pat ir iškraunant krovinius uoste. Cisternų pripildymas balastiniu vandeniu vadinamas balastavimu. Kai laivas plaukia su kroviniu, laivo stabilumas priklauso nuo gabenamo krovinio kiekio (7 pav.) . Šiuo atveju balastinis vanduo išleidžiamas iš cisternų – šis procesas vadinamas debalastavimu[34].

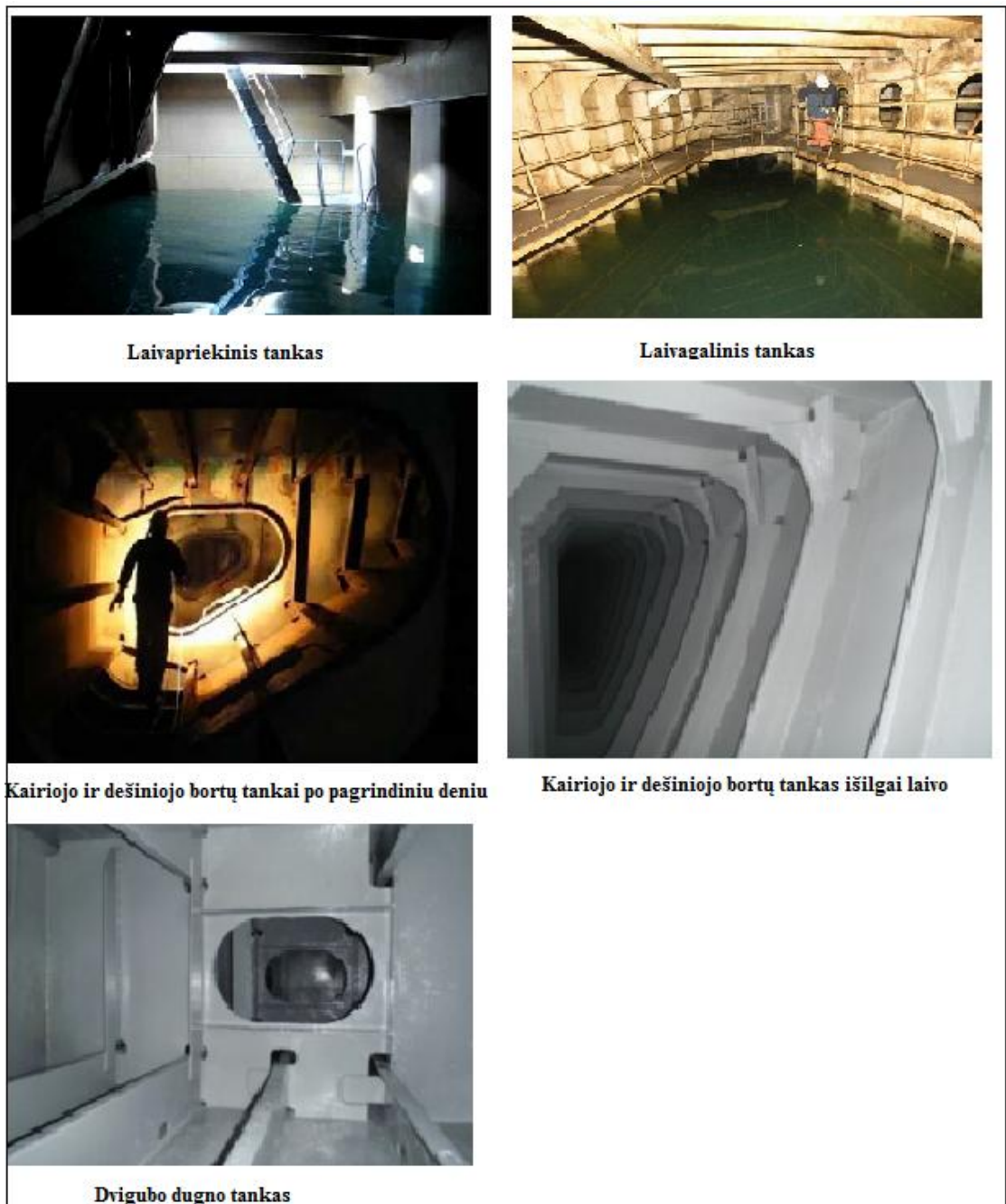
Balastas yra jūros vanduo, kuris yra pumpuojamas į balasto tankus (cisternas). Balastinių tankų skaičius, apimtis ir paskirstymas priklauso nuo laivo tipo ir dydžio.



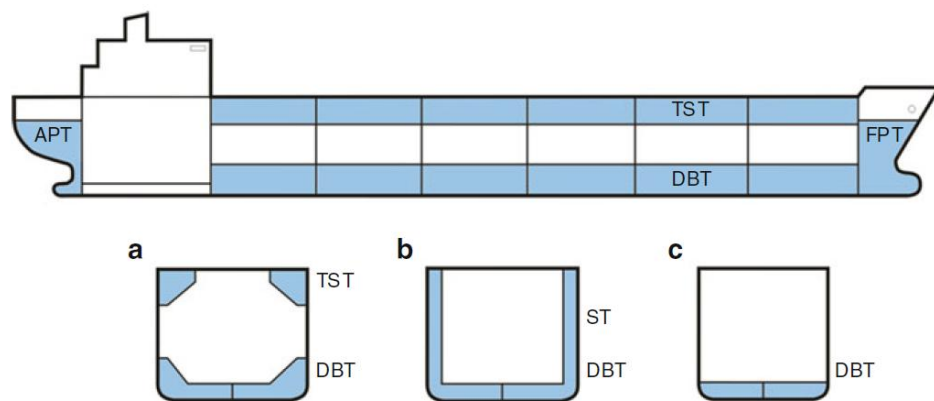
7 pav. Balastavimo ir debalastavimo procesai [34]

Balastinė sistema paprastai dirba debalastuojant vandenį. Šis vanduo yra pašalinamas per borto išleidimo vožtuvus, kurie dažniausiai būna išsidėstę žemiau vandens lygio. Kai kurių laivų balastinio vandens išleidimas yra įrengtas virš vandens lygio. Daugiausiai tai būna balkeriuose, iš kurių vanduo išleidžiamas tiesiogiai iš šoninio tanko. Balastinio vandens pakrovimo ir iškrovimo operacijos valdomos iš centrinės balasto stebėjimo ir valdymo stoties. Balasto siurbliai pašalina didžiąją dalį balastinio vandens. [18]

Balastinių tankų rūšys pavazduotos 8 paveiksle bei schematiškai yra pateiktos 9 paveiksle.



8 pav. Balastinių tankų rūšys



9 pav. Balastiniai tankai: a) balkerinių laivų; b) tankerių ir konteinerinių laivų; c) Ro – Ro ir generalinių krovinių laivų [12]

### 1.3.2 Balastinių tankų plienas

Tiek dabar, tiek ir artimiausioje ateityje pagrindine medžiaga, iš kurios gaminamas laivo korpusas, yra plienas.

Tarptautinė klasifikacinių bendrovių asociacija (IACS) numatė bendrus reikalavimus, taikomus plienui – pagrindinei laivų korpuso statybos medžiagai. Plienų klasifikavimą ir žymėjimą Europos Sąjungoje reglamentuoja LST EN 10027-1, LST EN 10027-2 ir LST 1585 (CR 10260) [31].

Pagal minėtus standartus plieno markės skirstomos į dvi pagrindines grupes:

- Pirma grupė: plienai, žymimi pagal savo paskirtį ir mechanines ar fizines savybes.
- Antra grupė: plienai, žymimi pagal savo cheminę sudėtį ir skirstomi į keturis pogrupius.

Konstrucinių plienų markėse gali būti nurodyta papildoma informacija. Žymėjimo pavyzdžiai: S355JR, S355JRG3, S355NL. Pagal mechanines savybes ir cheminę sudėtį plienas dar skirstomas į dvi grupes:

- Įprastas, anglies priemaišų turintis plienas;
- Padidinto tvirtumo plienas.

Pagrindinė plieno tvirtumo charakteristika yra jo takumo riba. Minimali riba siekia 235 MPa, o maksimali riba yra 315 MPa, 355 MPa ir 390 MPa. Plieno kategorija nustatoma ir pagal jo cheminę sudėtį, reikalavimui oksidacijos proceso atžvilgiu, pavyzdžių bandymų kiekį. Mažiausi reikalavimai taikomi A kategorijos plienui, o aukščiausi – E kategorijos plienui. Atitinkamų reikalavimų nuorodos pateikiamos Rusijos Jūrų Registro numatytose Laivų statymo taisyklėse [41].

Pagrindiniai reikalavimai korpuso elementų jungčių matmenims numatyti laivų statybos taisyklėse, yra taikomi, kai jų gamybai naudojamas įprastinis (t.y. turintis anglies priemaišų) plienas. Realus naudojamo laivų statyboje plieno tvirtumas apskaičiuojamas taikant koeficientą  $\eta$ . Šio koeficiento reikšmės pateikiamos žemiau [41].

- Plieno takumo riba  $\sigma_T$ , MPa.....235, 315, 355, 390 14
- Koeficiento  $\eta$  reikšmė..... 1 0,78 0,72 0,68

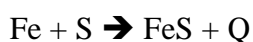
Laivų statyboje, prieš parenkant korpuso medžiagą, iš pradžių yra apskaičiuojama pagal visus duotus laivo parametrus, koks turėtų būti laivo tvirtumas, o tada, atsižvelgiant į apskaičiuotą tvirtumą, yra parenkama plieno markė. Dažniausiai plieniniams laivo korpusams yra taikoma A plieno markė, kurios takumo riba yra 235 MPa. Šio plieno cheminė sudėtis pateikta lentelėje (3 lent).

3 lentelė. Plieno S235 elementų cheminė sudėtis

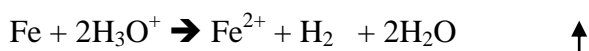
Sąlyginis plieno pavadinimas	Elementų kiekis, %							
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
	ne daugiau ar ribose							
S235	0,22	0,6	0,05	0,05	0,04	0,3	0,3	0,3

Plieno cheminės savybės:

Plienas drėgname ore rūdija, o kaitinamas reaguoja beveik su visais nemetalais:

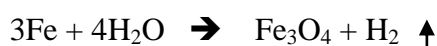


Geležis lengvai tirpsta stipriose praskiestose rūgštyse ir išstumia vandenilį:



Įkaitinta geležis reaguoja su vandens garais:

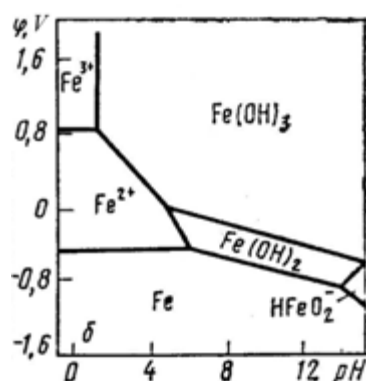
<570 °C



>570 °C



Plieno stacionariojo elektrodo potencialo reikšmė jūros vandenyje yra nuo -0,25 iki -0,20, tai pagal Pourbe diagramą (metalo potencialas – terpės pH) gaunama išsamesnė informacija apie plieno termodinaminį stabilumą, esant skirtingam vandeninio tirpalo rūgštingumui ir skirtingiems metalo potencialams[4].



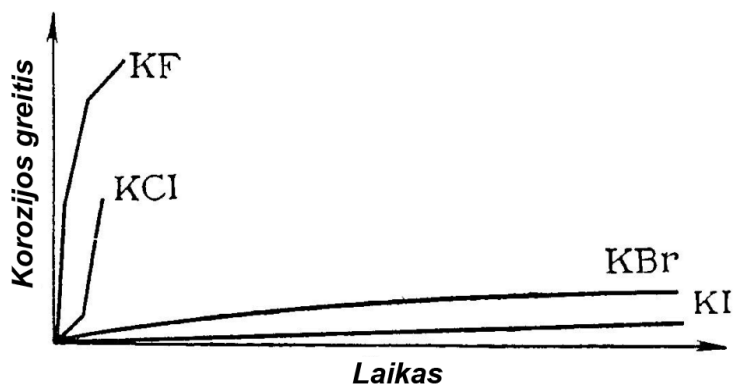
10 pav. Pourbe diagrama geležiai [4]

Fe(OH)<sub>3</sub> – pasyvinė sritis; Fe<sup>+3</sup>, Fe<sup>+2</sup> – korozijos sritis; Fe – stabilumo sritis

(pagal Žuk N. P.)

Kadangi jūros vandens pH yra apie 7-8, plienas apsemtas jūros vandens iš pradžių nekoroduoja (nes metalas yra pasyvioje būsenoje). Tačiau pasyvią būseną sutrikdo tirpale esantys vandenilio bei chlorido jonai, dėl kurių korozijos procesai suaktyvėja.

Anijonai-aktyvatoriai:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{Br}^-$  gali suardyti metalo pasyvią būklę (fazinę oksido plėvelę) arba palengvinti metalo jonizaciją, sudarydami tirpius (kompleksinius tirpius) junginius.



11 pav. Druskos anijonų (halogenų) įtaka geležies korozijai vandeniniuose tirpaluose  
(pagal Malachov A. I.)

11 paveiksle atsispindi, kad jei vandeniniuose tirpaluose yra chloro jonų, tuo plieno korozijos greitis yra didesnis. Todėl valant balastinių tankų vandenį chloravimu metodu (naudojant chloro dioksidą arba natrio hipochloritą) gali padidėti rizika laivo konstrukcijų ilgaamžiškumui.

### 1.3.3 Fizikiniai - cheminiai balastinių tankų dilimo būdai

Dilimas suprantamas, kaip statybinių matmenų (metalo storio) sumažėjimas laikui bėgant.

Korozinis-mechaninis dilimas atsiranda mechaninių jėgų sąveikoje su cheminiu arba elektrocheminiu poveikiu. Dažniausiai nusidėvėjimas pasireiškia esant korozijos reiškiniams. Korozijos atsiradimas laivo konstrukcijose priklauso nuo metalo ir suvirinimo siūlių kokybės. Taip pat nuo korpuso surinkimo technologijos, technologinio priežiūros lygio, nuo rūšies ir kokybės apsauginių sluoksnių ir daugelio kitų faktorių. Išskirtinė tokios korozijos savybė – korozijos procesas gali vystytis pats, be išorinių jėgų pagalbos, naudodamas tik vidinę metalo energiją. Tuo tarpu kiti dilimo tipai reikalauja papildomos energijos [11]. Pagal veikimo charakterį korozijos procesus galima išskirti į du tipus: cheminę ir elektrocheminę. [4]

**Cheminės korozijos** atveju metalo paviršiuje vyksta sąveika su supančios aplinkos komponentais pagal cheminių - heterogeninių reakcijų mechanizmą: metalo oksidacija ir terpės komponentų redukcija vyksta vienu metu ir vienoje vietoje. Dažniausiai cheminė korozija yra dujinė, vykstanti metalui reaguojant su deguonimi. Dėl to susidaro oksidinės plėvelės. Kai kurių metalų plėvelės ( $ZnO$ ,  $Al_2O_3$ ) yra ištisinės, tankios, neleidžia korozijai išplisti. Geležies oksido plėvelė yra puri ir nuo korozijos neapsaugo.

**Elektrocheminės korozijos procesui** reikalingas elektrolitas (užbortinis vanduo) ir katodinis – anodinis pasiskirstymas, kurį lemia daug faktorių:

- Liekamieji vidiniai įtempimai metalo paviršiuje;
- Fizinės sąlygos (temperatūra, vandens greitis ir t.t.);
- $O_2$  kiekis vandenyje;
- Metalų lydinio cheminė sudėtis;
- Yra ar nėra kontaktas tarp skirtingų metalų;
- Kokio tipo mechaniniai įtempimai veikia laivo konstrukcijas laivo eksploatacijos metu.

**Elektrocheminė metalų korozija** – tai tokia metalo ir korozinės terpės (elektrolito tirpalo) sąveika, kai metalo atomų jonizacija ir korozinės terpės besioksiduojančio komponento redukcija vyksta atskirai vietas ir laiko atžvilgiu [4]. Šiame procese vyksta ne mažiau dviejų susijusių reakcijų, dalyvaujant laisviems elektronams:

- metalo oksidacija:  $Me \rightarrow Me^{n+} + ne^-$
- oksidatoriaus redukcija:  $D + ne^- \rightarrow D \cdot ne^-$  (redukuota forma)

Proceso greitį lemia metalo *elektrodinio potencialo dydis* ir kiti faktoriai. Elektrocheminės korozijos tipiški pavyzdžiai:

- Laivo korpuso (plieno) korozija jūros vandenyje
- Plieno korozija išlydytame natrio chloride (lydale).

Jūros ir upių vanduo yra geras elektrolitas, laivo korpuso metalas savo ruožtu turi cheminį ir struktūrinį nevienodumą. Priklausomai nuo laivo korpuso apsauginio sluoksnio storio skirtingos laivo korpuso dalys turi nevienodą absorbcijos koeficientą. Dėl to laivo korpusas tampa panašus į daugiaelektrocinę sistemą, sudarytą iš anodinių ir katodinių zonų. Taip susidaro mikrogalvaniniai elementai. Veikiant korozinės elektros įtampai, vyksta metalo tirpimas ir susidaro korozinės duobės.

Korozijos vykimo mechanizmas konkrečioje aplinkoje, veikiant daugeliui faktorių, gali būti skirtingas proceso pradžioje ir proceso eigoje[4].

Veikiant daugeliui išorinių ir vidinių faktorių, vyksta nuolatinis katodinių ir anodinių vietų pasikeitimas. Keičiantis įtempimų koncentracijai laivo korpusė, keičiasi ir katodo su anodo buvimo vietos. Todėl atskirų korpuso zonų korozinis nusidėvėjimas tampa tolygesnis. Pagal aplinkos sąlygas laivo koroziniai korpuso dilimo procesai skirstomi į dujinius ir atmosferinius.

Korozinis laivo korpuso dilimas atsiranda biokorozijos, plyšinės korozijos, įtempimų korozijos pavidalu. Laivo korpuso tvirtumo pasikeitimas dėl korozijos priklauso nuo korozijos tipo. Laivuose, plaukiojančiuose upėse, praktiškai pasitaiko visų tipų korozijos. Pagal metalo nusidėvėjimo pobūdį korozija skirstoma į ištisinę, bendrą ir vietinę.

Ištisinė korozija – tai toks korozijos tipas, kuris vienodai pasiskirsto visame laivo korpuso elemento ilgyje (12 pav).



*12 pav. Ištisinė korozija balastiniame tanke*

Vietinė korozija atsiranda tik atskirose laivo konstrukcijos vietose (13 pav). Tokio tipo korozija būdinga laivui, eksploatuojamam pirmus 10 metų. Laikui bėgant, vietinių korozijos vietų

atsiranda vis daugiau. Susijungus vietinės korozijos šaltiniams, korozija virsta ištisine. Dažniausiai laivuose, kurie ilgą laiką eksploatuojami, pasireiškia netolygi ištisinė korozija.



13 pav. Vietinė korozija balastiniame tanke[6]

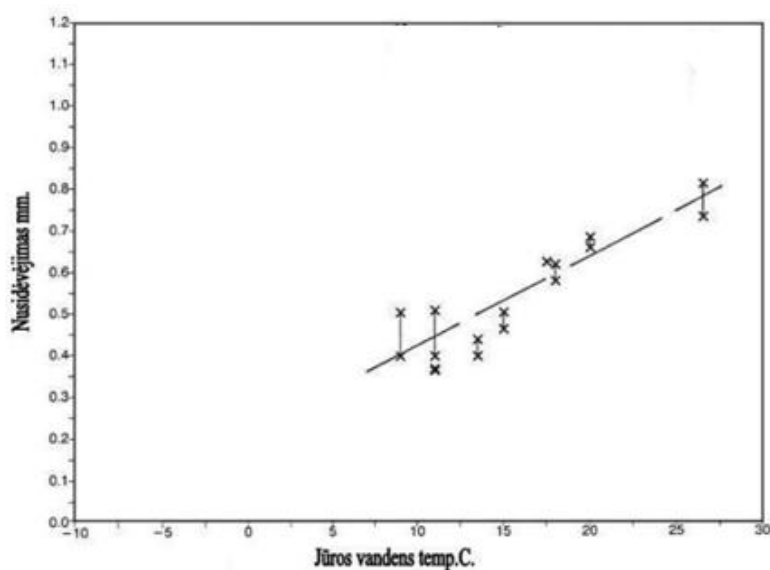
Jūros vandenyje yra 3,5-4,0% druskų (NaCl -78% ir MgCl<sub>2</sub>- ~11%). Jūros vandenyje esantys chlorido jonai aktyvina korozijos procesą. Kadangi jūros vandens paviršius prisodrintas deguonies, metalai (išskyrus Mg) koroduoja su deguonine depoliarizacija. Jūros vanduo banguoja, pagreitėja difuzija, todėl intensyviai koroduoja ir nejudančios metalinės konstrukcijos. Įvairių metalų ir jų lydinių stacionarieji elektrocheminiai potencialai jūros vandenyje labai skiriasi. Jų dydžiai priklauso nuo metalo grynumo, jūros vandens sudėties, labiausiai - nuo aeravimo ir metalų paviršiaus būklės, todėl gali kisti.

Kadangi korozijos procese dalyvauja du komponentai - metalas ir supanti aplinka, reikia įvertinti tiek metalo, tiek supančios aplinkos savybes. Laivo korpusas gaminamas iš paprasto plieno, todėl jo korozinis atsparumas jūros vandenyje yra mažas (-3% NaCl tirpale).

Korozijos greitis jūros vandenyje priklauso nuo plieno cheminės sudėties. Paprasto anglinio plieno korozijos greitis - 0,09 mm/metus; turinčio 9% vario - 0,08 mm/metus; turinčio 3,8% nikelio - 0,07 mm/metus. Plienai, kurių sudėtyje be vario yra ir šiek tiek chromo, nikelio bei aliuminio, yra 25-30% atsparesni jūros vandeniui negu mažai legiruotieji ar angliniai plienai.[6]

Mažai legiruotojo plieno korozijos greitis įvairiuose vandeniniuose tirpaluose labai skiriasi: jūros vandenyje - 0,108 mm/metus; geriamajame vandenyje - 0,043 mm/metus; gėlame upės vandenyje - 0,010-0,068 mm/metus. Netgi jūros vandens druskingumas bei temperatūra, turi

didelę įtaką korozijos spartai. [11]. Geležies korozinio dilimo vandenyje priklausomybė nuo temperatūros pavaizduota 14 pav [12].

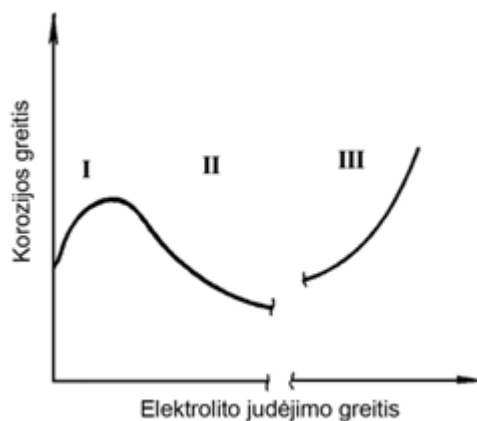


14 pav. Geležies korozinio dilimo vandenyje priklausomybė nuo temperatūros [12]

Jūros vandenyje greičiausiai korozija vyksta vaterlinijos zonoje, kur veikia intensyvūs fizikiniai veiksniai, t. y. fazių sąlyčio jūros vanduo-metalas riboje. Nustatyta, kad visiškai į jūros vandenį panardinto plieno korozijos greitis yra 0,18 g/(m<sup>2</sup> val.), o zonoje, kurios nesiekia pūrsalai ir bangos, - 0,01-0,05 g/( m<sup>2</sup> val.)[6]

Vandens greitis turi įtakos korozijos greičiui: didesnis greitis gerina aeraciją, be to didina erozinį paviršiaus dilimą, todėl ties vaterlinija korozija yra aktyviausia. Vandenyje panardintos konstrukcijos apauga jūros flora ir fauna, kurios gyvavimo produktai ardo konstrukcijų antikorozinę apsaugą. Taigi, laivų balastiniuose tankuose papildomai pasireiškia ir biologinė korozija.[6]

Didėjant skysčio judėjimo greičiui, padidėja deguonies padavimas link metalo paviršiaus (I stadija). Iš korozijos produktų susidaro oksido plėvelė, kuri apsaugo metalą (II stadija). Greitai judantis srautas mechaniškai pašalina plėvelę (erozija), todėl korozija paūmėja (III stadija) (15 pav). [4]



15 pav. Metalo korozijos greičio priklausomybė nuo vandens judėjimo greičio[4]

Korozija, kurios priežastimi yra aerobiniai arba anaerobiniai mikroorganizmai, vadinama biologine arba biochemine. Aerobinės bakterijos būna dviejų rūšių. Vienu, gyvenančių rūgščioje  $\text{pH} = 3-6$  terpėje, gyvavimo produktas yra sieros rūgštis, kurios koncentracija vietomis gali pasiekti 10 proc., kas spartina koroziją. Kitos bakterijos, gyvenančios  $\text{pH} = 4-10$  terpėje ir geležies jonus perdirbančios į netirpius geležies junginius, kurių sankaupos didina plieninių paviršių heterogeniškumą, t.y. susiskirstymą į katodines ir anodines zonas, ir taip skatina koroziją. Anaerobinės bakterijos gyvena  $\text{pH} = 5,5-8$  terpėje ir perdirba sulfatus į sierą, išskirdamos deguonį, kuris dalyvauja katodiniame procese, paviršiuje formuojančiame purų sieros sulfido sluoksnį.[6]

Jei balastas krovos metu imamas uoste, kurio akvatorijoje gausu naftos produktų ir kitų teršalų, reiso metu vandenyje atsiranda daugialąsčių bakterijų, ėdančių antikorozinę dangą ir taip spartinančių koroziją. Biologinė korozija atskiruose laivų taškuose gali siekti iki 2 mm per metus (tai lokaliai pasireiškiantis gylis). Balastinio tanko konstrukcija gali būti tokia, kad kai kuriose vietose vanduo užsistovi, balastiniuose tankuose kaupiasi sedimentai, o juose - mikroorganizmai, kurių poveikis jau aptartas. Taip pat svarbus kriterijus yra balastavimo laikas. Dieną visi mikroorganizmai būna nugrimzdę gilyn, o naktį iškyla į paviršių. Pagal galimybes reikėtų vengti balastinių operacijų naktį, sekliose vietose, kur laivo sraigtas iškelia dumblą į paviršių, arba žydinčio vandens, miesto nutekamųjų vandenių įtekėjimo vietų ir pan.[6]

## 1.4 Balastinių tankų korozijos prevencija

### 1.4.1 Apsauginės dangos

Apsauga nuo korozijos yra pagrindinis ir reikšmingiausias priežiūros rodiklis visoje jūros pramonėje. Norint veiksmingai taikyti ir prižiūrėti laivo dangas, kad jos tarnautų kuo ilgiau, reikia skirti didžiulį dėmesį apsaugai nuo korozijos. Žmogaus gyvybės apsaugos jūroje taisyklės, pagal Tarptautinės jūrų organizacijos (angl. *IMO - International Maritime Organization*) standartus MSC.215 (82) ir MSC.291 (87) įvedė eksploatacinių charakteristikų pakeitimus susijusius su apsaugine danga. Pakeitimuose minima, kad visuose specializuotose laivo vietose yra reikalingos apsauginės dangos. [42]

Balastinių tankų konstrukcijų dangos turi būti paruoštos pagal „IMO MSC.215 (82) Performance Standard for Protective Coatings for water ballast tanks“ standartą. Šis standartas yra skirtas norint pasiekti tikslesnę dangos tarnavimo laiką (apie 15 metų) specialiuose jūros laivų balastų tankuose. PSPC standartas buvo patvirtintas 2008 m. gruodžio 8 d. ir taikomas visiems naujų laivų balastinių tankų dangoms. [7]

Daugelis skirtingų laivų statyklių įsidiėgė savo kokybės kontrolės sistemas, todėl kiekvienos laivų statyklos PSPC reikalavimai gali skirtis. Pažengusios laivų statyklos, laikydamosios TJO PSPC reikalavimų, gali pagerinti dažymo našumą ir potencialiai sumažinti dangos eksploatacinės priežiūros ir remonto dažnį. Taip pat standartizuoti PSPC reikalavimai suteikia galimybę geriau kontroliuoti išlaidas statybos metu ir eksploatuojant laivą. [42]

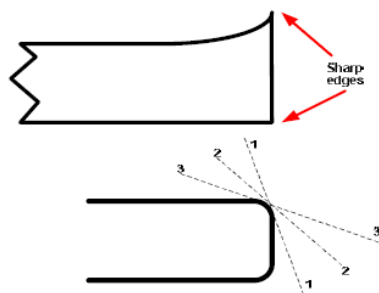
Svarbiausios sritys, kurios turi įtakos PSPC įgyvendinimo kokybei: trišalė sutartis, kvalifikuotas dangų inspektorius, pirminis paviršiaus paruošimas, plieno apdirbimas, antrinis dangos paruošimas, konstrukcijų montavimas, baigiamasis dangos taisymas, laivo dangos techninė priežiūra ir remontas, dangos techninė byla. [42]

**Trišalė sutartis** yra skirta, kad trys šalys susitartų prieš pradėdant įgyvendinti PSPC projektą, kaip patenkinti visus reikalavimus ir pasiekti geresnes dangos savybes. Tarptautinė jūrų organizacija reikalauja, kad trys šalys (laivų statykla, dangos gamintojas ir savininkas) pasirašydamos sutartį, aptartų visas dangos dengimo detales nuo paviršiaus paruošimo iki dengimo proceso patikrinimo. Ši sutartis skirta padidinti dangos dengimo atitiktį, nuspėjamumą bei padidinti produktyvumą. Pasirašytoje sutartyje turi būti sutarta dėl padengimo vietos, dangos sistemos parinkimo ir padengimo inspektoriaus kvalifikacijos. Trišalėje sutartyje turi būti nurodyta, kokie ir kokių formų dokumentai bei duomenys yra reikalingi. Iš šių duomenų sukomplektuojama dangos techninė byla, kaip reikalauja TJO. [42]

**Kvalifikuotas dangų inspektorius** atlieka patikrinimus, kad dangos dengimas būtų atliekamas pagal TJO PSPC. Inspektorius turi būti sertifikuotas Nacionalinės korozijos inžinierių asociacijos (angl. *NACE - National Association of Corrosion Engineers*), Dangų inspektoriaus programos 2 lygio (angl. *CIP – Coating Inspector Program*), Norvegijos profesionalaus švietimo tarnybos ir sertifikuota inspektorių paviršių tyrimams – inspektorius 3 lygio (angl. *FROSIO - Norwegian Professional Council for Education and Certification of Inspectors for Surface Treatment*). Svarbu, kad dangų inspektorius būtų ne tik kvalifikuotas, bet ir turėtų jūrinių objektų dangos inspektoriaus patirties. Dangos inspektorius tikrina, ar dangos gamintojo dengimo techniniai duomenys suderinti su PSPC reikalavimais. Jis turi tikrinti kiekviename dangos etape: tiek paviršiaus paruošimo, tiek maišymo operacijoje, tiek padengimo etape. Inspektoriui negali leisti nukrypti nuo specifikacijos. Tačiau jeigu nustato, kad kažkurios šalies patvirtintas procesas yra neįgyvendinamas arba nepraktiškas, turi daryti pakeitimą dalyvaujant visoms trišalės sutarties narėms. Nukrypimai nuo PSPC reikalavimų yra neleidžiami. Dangos kokybės patikrinimas yra pagrindas, leidžiantis įvertinti dangos ilgaamžiškumą. [42]

**Pirminis paviršiaus paruošimas** yra svarbus ir laikomas visų dangų dengimo pagrindu. Teigiama, kad apie 70% visų pirmalaikių dengimo nesėkmių priežastis yra netinkamas paviršiaus padengimas. PSPC tikslas yra toks, kad danga pasiektų 15 metų tarnavimo laiką, būtų geros būklės ir nesuirytų. Atliekant išankstinį paviršiaus valymą, svarbu, kad būtų laikomasi PSPC reikalavimų (paviršiaus švarumas - Sa2,5 ir paviršiaus šiurkštumas – 30-75 mikronų). [35] Prieš pradėdant dengti apsaugines dangas bet kokiame statybos etape, laivų statykla, remiantis trišale sutartimi, turi nuspręsti, kokia dengimo sistema bus naudojama. Jeigu gruntas buvo išbandytas ir tipas pasirinktas kaip dalis pasirinktos dangos sistemos, tai gruntas gali būti valomas abrazyviniu būdu arba aukšto slėgio vandens srove. [42]

**Plieno apdirbimas** yra vienas iš svarbesnių dalykų, kuris pagerina dažymo našumą. TJO PSPC teigia, kad dangos našumą didina naudojant valcavimo profilius, išvengiant sudėtingų geometrinių konfigūracijų, sumažinant dantytų kraštų, teikiant lengvą paviršiaus paruošimą, dangų dengimą ir patikrinimą. Priklausomai nuo laivo dizaino, yra naudojamos T formos standumo briaunos arba profiliuoto standumo briaunos. Visos aštrios briaunos iš kiaurymių arba konstrukcijų kraštų turi būti užapvalintos minimum 2 mm spinduliu. Šis apvalinimo procesas atliekamas šlifavimo būdu. Briaunų apvalinimui gali būti naudojama kraštų apvalinimo mašina, tačiau taip galima apdirbti tik ilgas ir lygiagrečias briaunas. Šis būdas paspartina užapvalinimą, nors prieš juo naudojantis vis tiek reikia rankinio paruošimo. Visos suvirinimo siūlės, defektai ir tarša iš suvirinimo turi atitikti ISO 8501-2 P2 reikalavimus [42]. Plieno apdirbimo būdai ir reikalavimai pavaizduoti 16 ir 17 paveiksluose.



16 pav. Aštrių kraštų šlifavimas (kairėje) ir užapvalinimas minimaliai iki 2 mm (dešinėje) [42]



17 pav. Rankinis šlifavimas (kairėje) ir kraštų apvalinimo mašina (dešinėje) [42]

**Antrinis dangos paruošimas** priklauso nuo pirminės dangos padengimo kokybės ir nuo paviršiaus būklės statybos metu. Paviršiaus danga turi atitikti TJO PSPC reikalavimus. Mechanškai ar kaip kitaip pažeistas paviršius suvirinimo siūlėse ir kraštuose turi būti nuvalytas abrazyvu iki Sa 2,5 paviršiaus švarumo. Nepažeistą dangą galima iškart klasifikuoti kaip dalį dangos ir valomas tik aukšto slėgio vandeniu, siekiant pagerinti sukibimą su epoksidine danga. Dauguma laivų statyklų, remdamosi TJO PSPC reikalavimais, atlieka abrazyvinį valymą visam konstrukcijos blokui. Pirmasis - nepalieka jokių šlifavimo pėdsakų ant plieno paviršiaus, nes naudojamas abrazyvinis valymas. Antrasis – paviršius tolygiai apdorojamas iki Sa 2,5 švarumo ir jeigu liko kokių defektų po pirminio paviršiaus paruošimo, tai pilnai galima juos pašalinti antrinio dangos paruošimo metu. [42]



18 pav. Viso konstrukcijų bloko valymas iki Sa 2,5 švarumo [42]

**Montuojant konstrukcijas** ir sujungiant į blokus dauguma konstrukcijų būna nudažytos ir padengtos danga. Visos konstrukcijų sritys, montavimo sujungimai ir suvirinimų jungtys turi būti gerai apsaugotos ir padengtos tinkama danga. Norint įsitikinti, kad konstrukcijos gerai sujungtos reikia atlikti vandens – sandarumo testus. Montavimo sujungimuose turi būti naudojama izoliacinė juosta užtikrinanti sandarumą. Norint pataisyti suvirinimo vietas elektriniais įrankiais galima tik galines suvirinimo jungtis montavimo metu. Tačiau šlifavimas elektriniais prietaisais gali padaryti mažas dengimo vietų žalas ir taip pakenkti suvirinimo jungčių sandarumui. Abrazyvinio valymo metodui visada teikiamas pirmumas norint pataisyti jungtis, tačiau ne visada tai įmanoma. Pagal PSPC reikalavimus atliekant šlifavimo darbus, padaryta žala negali viršyti 3% viso tanko dangos ploto, siekiant išlaikyti geros būklės dangą ir gyvavimo laikotarpį 15 metų [42].

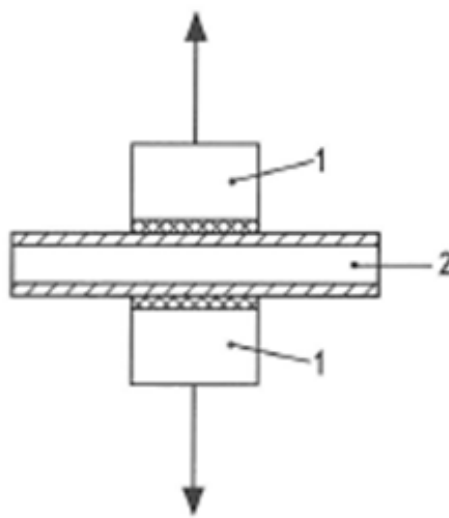
**Baigiamasis dangos taisymas** yra atliekamas iki galutinio patikrinimo. Kai tankas yra baigtas, yra atliekamas galutinis patikrinimas pagal laivų statyklos kokybės kontrolę. Dangos inspektorius, laivo savininko atstovai ir dangos gamintojai patikrina, kad visi dangos plotai būtų sutvarkyti. Atliekamas paskutinis sausos plėvelės storio matavimas ir užregistruojamas žurnale. Visų matavimų žurnalas turi būti pasirašytas ir priimtas visoms trimis šalims [42].

**Laivo dangos techninė priežiūra ir remontas** yra labai svarbu, kad danga išliktų geros būklės per 15 metų gyvavimo ciklą. Dangos priežiūrą atlieka laivo įgula pagal dangos techninį dokumentą. Kai dangos būklė yra bloga laivas turi būti remontuojamas, kad atstatyti dangos kokybę. Šis remontas yra kapitalinis ir yra atliekamas laivų statyklose. Remonto atveju reikalingi visi dangos techniniai dokumentai, kaip ir vykdant naują statybą. Klasių organizacija reikalauja, kad tarpiniai dangos patikrinimai būtų atliekami kas 5 metus, kol dar dangos būklė yra pakankamai gera. Tai suteikia laivo savininkui ir operatoriams išlaikyti laivą kuo ilgiau geros būklės iki pristatant laivą remontui [42].

**Dangos techninė byla** turi būti laikoma laive visą laivo gyvavimo laiką. TJO PSPC reikalauja kad dangos techninė byla būtų baigta laivų statyklos ir peržiūrima laivo vėliavos valstybės prieš išduodant pažymėjimą. Dangos techninė byla suteikia saugesnį laivo eksploatavimą [42].

Įvertinti dangos kokybę atliekamas adhezijos bandymas. Europos standartas EN ISO 4624:2003 (Adhezijos bandymas atplėšiant) turi ir Lietuvos standarto statusą. Europos standartizacijos komiteto (CEN/TC 139) Europos standartą EN ISO 4624:2003 Lietuvos standartizacijos departamentas (LST TK 7) patvirtinimo būdu perėmė kaip Lietuvos standartą, kuris galioja nuo 2003 m. gruodžio 28d. [14].

Pagrindinis adhezijos tikrinimo metodas pavaizduotas 19 paveiksle. Iš adhezijos bandymams skirto paviršiaus (gali būti plienas arba aliuminis, kuris specialiai paruoštas tempimo testams) išpjunami bandinių plotai (skritulys, kurio minimalus diametras 30 mm arba kvadratas, kurio minimalus kraštinės igis 30 mm) (1). Įsitikinama, kad abu išpjauti paviršiai yra nepažeisti ir neiškreipti. Abu vienodo skersmens paviršiai yra švariai nuvalomi spiritu (ar pan.) ir sušiurkštinami. Tada sumaišomi adhezijai vertinti skirti klijai ir užtepami plonu sluoksniu ant bandinuko paviršiaus ir priklijuojami prie tiriamos dangos (2). Bandinukai yra laikomi suspausti kol klijai sukietėja. Sukietėjus klijams abu bandinukai nuplėšiami nuo tiriamos dangos paviršiaus.



19 pav. Dažytų, lakuotų dangų adhezijos matavimas [14]

Adhezijos metodo esmė - nustatyti didžiausius įtempius, kuriems esant danga yra atplėšiama nuo pagrindo jam statmena kryptimi. Atlikus adhezijos matavimus, yra įvertinama ar danga yra geros būklės.

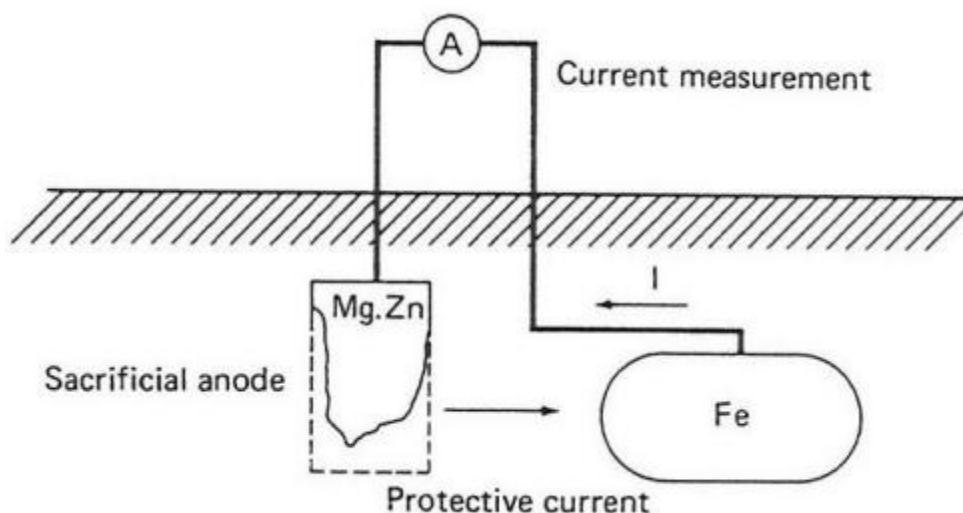
## 1.4.2 Elektrocheminė apsauga

Geriausiai laivų korpusą apsaugo dangos ir elektrocheminė sauga. Taikant tokį mišrų metodą povandeninė korpuso dalis apsaugoma apie 15 metų.

Elektrocheminės apsaugos būdu naudojimo sritys yra skirtingos. Protektorinė apsauga yra neveiksminga gėlame vandenyje, kur yra nedidelis druskų kiekis.

Protektoriai naudojami laivuose, kurių talpa siekia iki 5000 t. Jie būna iš Al, Zn, Mg arba jų lydinų, juose ribojamas naudingų priedų (Pb, Jn, Cu, Fe ir kt.) kiekis. Geležies (Fe) kiekis neturi viršyti 0,003%, jei siekia 0,01% protektoriaus, apsauginis poveikis sumažėja iki 73,6%, nes protektorius savaime iš dalies ištirpsta [1].

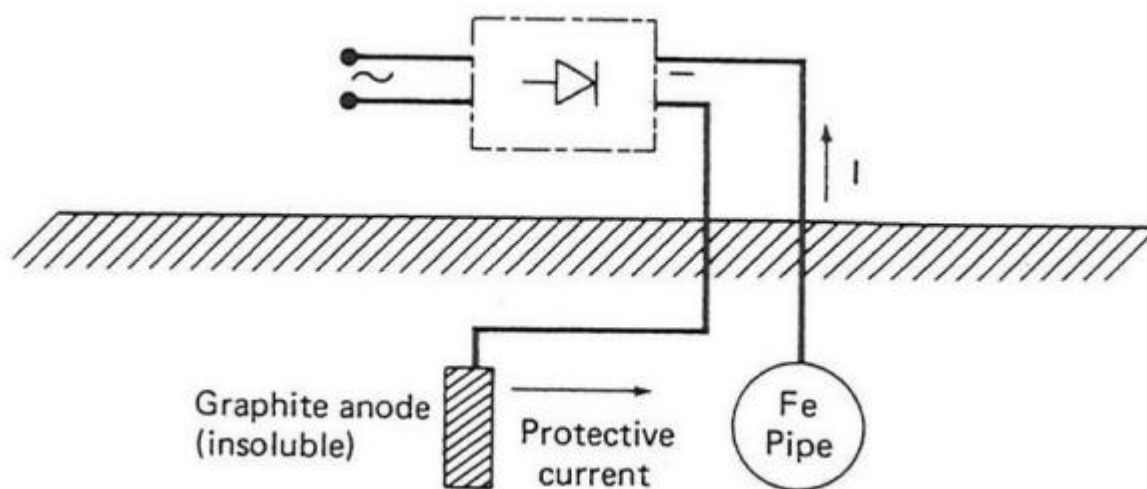
Siekiant apsaugoti riboto dydžio objektus esančius gerai laidžioje aplinkoje (laivų korpusai) pirmenybė teikiama galvaniniam elementui t.y. elektrocheminei apsaugai (20pav.) [21]. Elektroneigiamesnis metalas (įprastai magnis arba cinkas: anodas) prijungiamas elektra prie elektroteigiamesnio metalo, kurį norima apsaugoti (įprastai plienas: katodas). Elektronai teka iš anodo izoliuotu elektros laidininku į katodą, taip apsaugodami metalą nuo korozijos. Cheminiai reiškiniai, kurie vyksta esant elektrocheminiams procesams, dabar vyksta ant anodo, kuris pamažu ištirpsta arba sukoroduoja. Kadangi tokie anodai pamažu ištirpsta, jie vadinami aukojimo anodais. Paprastai jų tarnavimo laikotarpis yra ne mažiau kaip 10 metų. Dėl ekonominių priežasčių naudojama papildoma pasyvioji apsauga nuo korozijos nudažant konstrukciją, todėl pasyvioji apsauga naudojama ten, kur pasyvioji apsauga yra žalinga.



20 pav. Katodinė apsauga, naudojant aukojimo anodus [21]

Laivams, kurių talpa daugiau kaip 500 t, rekomenduojama katodinė elektrinė apsauga su netirpstančiais elementais, nes tirpstančių elektrodų keitimas yra brangus.

Siekiant apsaugoti didelius objektus, pirmenybė teikiama katodinei apsaugai su nuolatine srove, naudojant lygintuvus, maitinamus iš pagrindinės elektros linijos (21 pav.) [21]. Šis metodas naudojamas vamzdynams, paklotiems grunte. Vieno apsauginės srovės prietaiso pakanka 30 – 40 km vamzdynų ilgio. Dėl ekonominių priežasčių taip pat naudojama pasyvioji apsauga (pavyzdžiui, vamzdis dengtas plastiką). Tai žymiai sumažina srovės poreikį ir su juo susijusias eksploatacijos išlaidas. Norint paskaičiuoti ir sukonstruoti katodinę apsaugą, reikalingos specialios techninės žinios, taip pat reikalinga speciali įranga. Tokius darbus turi atlikti tik kvalifikuotos specializuotos įmonės.



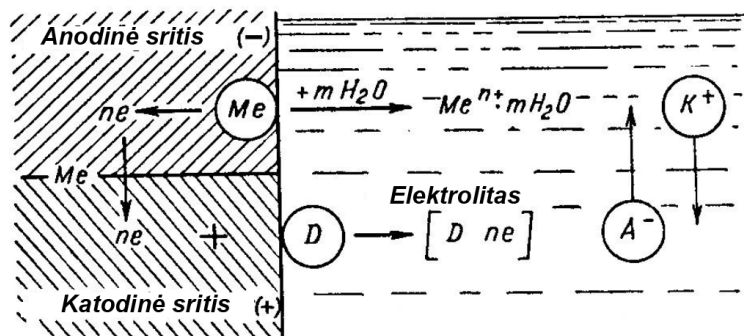
21 pav. Katodinė apsauga, naudojant srovę [21]

Dėl jūros vandens korozinio agresyvumo, kurį labiausiai veikia vandenyje esantys skvarbūs chloridai (Cl), laivo konstrukcijų apsaugai nuo korozijos dažnai taikoma kompleksinė sauga, derinanti įvairius būdus:

- dažymas, katodinė ir protektorinė apsauga;
- suvirinimo medžiagų, legiruočių nikelio, naudojimas (korpuso povandeninei daliai, suvirinimo siūlėms);
- dažymas, plyšių sandarinimas konstrukcijų sujungimo vietose, galvaninės dangos (konstrukcijoms, esančioms virš vandens, vidinėms konstrukcijoms);
- dažymas, elektrocheminė apsauga; besiliečiančių detalių plyšių sandarinimas, dažymas (įvairių rūšių metalų ir lydinių mazgams);
- dažymas, inhibitorinė ir protektorinė apsauga (balastinis skyrius ir dvigubasis dugnas); - dažymas, padengimas metalais, anodiniai protektoriai, inhibitoriai (vamzdžiams).[28]

**Elektrocheminei apsaugai dažniausiai naudojami cinko anodai.** Cinko anodas yra sparčiai koroduojantis metalas, apsaugantis su juo elektriškai sujungtą saugomą konstrukciją nuo korozijos (cinko anodas apsaugo plieninį laivo korpusą).

Balastiniame tanke vyksta elektrocheminė reakcija. Cinkas yra anodas, nes jo potencialas yra elektroneigiamesnis, o katodas yra plienas, nes jo potencialas elektrateigiamesnis.



22 pav. Elektrocheminio korozinio proceso schema

(pagal Žuk N. P.) [4]

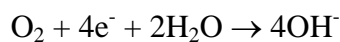
Vyksta trys pagrindiniai procesai:

anodinis.



elektronų tekėjimas metale iš anodinių plotelių į katodinius, ir anijonų ( $A^-$ ) bei katijonų ( $K^+$ ) maišymasis elektrolite.

Katodinis - deguoninė depoliarizacija šarminėje terpėje:



Protektorių išdėstymo schemas rengiamos atsižvelgiant į balastinių tankų paviršių konfigūraciją. Šios schemas turi būti laikomos laive ir naudojamos apžiūrų ir remontų metu. Protektoriai tvirtinami horizontaliuose dvitėjinių sijų paviršiuose, prie stringerių, todėl protektorių konstrukcijos dydis ir forma būna tokia, kad jie pakankamai priglustų prie paviršių, tolygiai išsidėstytų. Protektorinės apsaugos pavyzdys yra pavaizduotas 23 paveiksle. Išilgai protektoriaus yra įtvirtinta plieninė plokštelė (armatūra).



23 pav. Cinko anodas

Protektorinė sistema neveikia, kai tankas neužpildytas balastu ir tankuose, kuriuose šis laikas neviršija 20%. Taip pat sistema neveikia, jei vandens druskingumas mažesnis nei 12%. Tokiais atvejais protektorių paviršius padengiamas korozijos ir pasyvuojančiais produktais.

Grynas cinkas kalus, aukštesnėje kaip 200 °C temperatūroje – trapus. Cinko lydymosi temperatūra – 419,5 °C, o virimo – 907 °C. Pakaitintas cinkas dega.

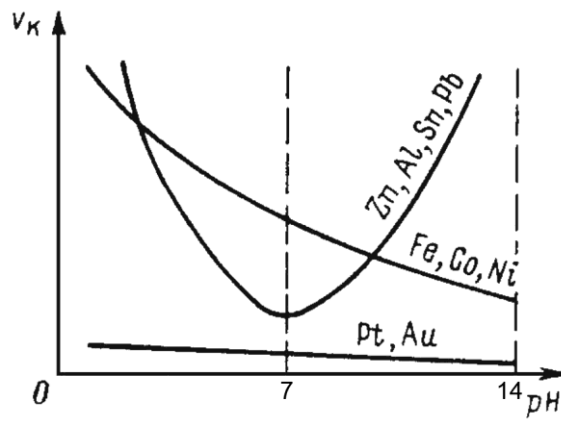
Vanduo cinko beveik neveikia. Vandenyje cinkas stabilus iki 55 °C temperatūros. Korozijos greitis auga iki 70 °C temperatūros, o viršijus šią temperatūrą vėl mažėja. Žemesnėje nei 50 °C, ir didesnėje nei 95 °C temperatūroje ant cinko paviršiaus susidaro tanki apsauginė plėvelė. Nuo 55 iki 65 °C temperatūroje ant cinko paviršiaus susidaro purūs produktai. Prie 100 °C temperatūros apsauginė plėvelė tankėja, nes deguonis pasišalina iš tirpalo.

Atsižvelgiant į tai, kad balastiniai tankai gali būti šalia mazuto bako, kur temperatūra siekia 70-80 °C, arba šalia patalpos, kurioje yra šildomi kroviniai (temperatūra 30-70 °C), galima teigti, kad cinko anodai šiose vietose koroduos greičiau [19]. Sukorodavęs cinko anodas pavaizduotas 24 paveiksle.



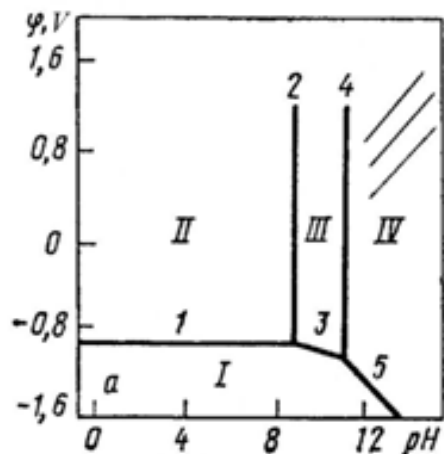
24 pav. Sukorodavęs cinko anodas

Cinkas taip pat lengvai tirpsta rūgštyse bei šarmuose kaip amfoterinis metalas, Cinkas koroduoja tiek su vandeniline, tiek ir su deguonine depoliarizacija. 25 paveiksle pavaizduota, kad cinkas nekoroduoja tik neutralioje terpėje (pH=7). Vykstant deguoninei depoliarizacijai susidaro cinko hidroksidų apsauginė plėvelė.



25 pav. Metalų korozijos greičio priklausomybė nuo elektrolito pH (pagal Chonikevič A. A.) [4]

Šarminėje terpėje cinkas nėra stabilus ir pereina į tirpalą cinkatų pavidalu ( $\text{Na}_2\text{ZnO}_2$ ). Kadangi cinko stacionariojo elektrodinio potencialo reikšmė yra  $-0,76\text{ V}$ , o 3% NaCl tirpale  $-0,83\text{ V}$ , tai pagal Purbe diagramą (metalo potencialas – terpės pH) gaunama išsamesnė informacija apie cinko termodinaminį stabilumą, esant skirtingam vandeninio tirpalo rūgštingumui ir skirtingiems metalo potencialams[4].



26. pav. Purbe diagrama cinkui[4]

a) I – imuninė sritis (stabili); II, IV – korozijos sritis; III – pasyvinė sritis  
(pagal Žuk N. P.)

Atmosferinėje ir jūrinėje aplinkoje cinkas pasidengia korozijos produktais (cinko hidroksidais). Jei terpė užteršta  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ , HCl priemaišomis, tada cinko stabilumas ženkliai mažėja.

Rūgštinėse terpėse korozijos greičiui ženkliai įtaką turi kadmio, švino priemaišos. Jei cinko lydinyje yra 0,002-0,005% geležies ar vario koncentracija, korozijos greitis didėja apie dešimt kartų.

## **II. MOKSLINĖS LITERATŪROS ANALIZĖ APIE BALASTINIO VANDENS TANKŲ KOROZIJĄ IR VALYMO TECHNOLOGIJŲ POVEIKĮ KOROZIJOS PARAMETRAMS**

Balastinio vandens valymas (BWT) keičia vandens ir aplinkos cheminę kompoziciją tankuose ir tai priklauso nuo balastinio vandens valymo sistemos tipo. Dėl to gali pasikeisti antikorozinės dangos savybės. Kiekvienas valymo metodas sukuria skirtingą grėsmę tankų dangai, tačiau didžiausią potencialią grėsmę sudaro cheminio valymo metodai, sukeliantys greitą didžiosios dalies epoksidinių dangų irimą. Viena iš TJO patvirtinto protokolo proceso dalių yra ta, kad tiekėjas turi atlikti BWT įrangos suderinamumo su tankų dangomis bandymus. Visi atlikti bandymai ir gauti rezultatai turi būti pateikiami vartotojams arba dažymo įmonėms, kad būtų žinoma kokia balastinio vandens valymo sistemos (BWTS) įtaka balasto tankų dangoms.

Mokslinės literatūros apžvalgoje pateikta mokslinių straipsnių analizė apie balastinių vandenų valymo technologijų poveikį korozijos parametrui bei balastinių tankų koroziją jūros vandenyje. Mokslininkai savo darbe mėgina išanalizuoti laivo konstrukcijų dilimo priežastis ir bando nustatyti, kaip jas sumažinti iki minimumo.

Pirmame moksliniame darbe „Naujų technologijų dažai“ (aut. Gavrilcik L. D. ir Zabacev J. E.) pasakojama apie naujas laivų dažų technologijas, jų struktūrą, kad naudojant naujesnių technologijų dažus korozijos atsparumas padidėja ir laivo povandeninės dalies apaugimas jūros flora ir fauna sumažėja. [28]

Moksliniame darbe, kurio autoriai yra Markovic R. ir Sominskaja E. analizuojamos padidėjusios korozijos atsiradimo priežastys laivo balastiniuose tankuose, nagrinėjama, kokia technologija būtų galima pasinaudoti, kad išvengtų korozijos. Mokslinio straipsnio pavadinimas „Apsauga nuo korozijos balastiniuose tankuose“ [43].

Soljanik N. H. ir Žerlicina O.V. mokslininkų darbas „Įtrūkimų atsiradimo tikimybė esant korozijos ir nuovargio poveikiui“ aprašomos įtrūkimų atsiradimo priežastys ir tikimybės vidiniame laivo korpuse ir jo konstrukcijose. Mokslininkai padarė išvadą, kad tikimybė atsirasti plyšiumi 25 metų senumo laivui yra žymiai didesnė negu 15 metų laivui [20].

Kitas apžvelgtas darbas - tai New Castle Techninio universiteto Robert E. Melchers savo darbe pavadinimu „Korozija ir jos modeliavimas metalo konstrukcijose“ aprašo korozijos poveikį metalo konstrukcijoms, esančioms vandenyje arba vandens-oro zonoje. Taip pat nagrinėjamas temperatūros poveikis korozijai bei korozinio nusidėvėjimo sparta skirtingose klimato zonose. Mokslininkas, atlikęs duomenų analizę, teigia, kad padidėjus užbortinio vandens temperatūrai, korozijos vystymosi greitis didėja. Pvz., korozijos greitis bus didesnis prie Australijos krantų negu prie Anglijos netgi dviem kartais [30].

Safihna and DNV- nepriklausoma, akredituota įstaiga, kuri puikiai išmano balastinių cisternų paviršiaus dangas bei balastinių tankų koroziją, atliko kelis bandymus su plieno plokštėmis, kurios yra padengtos epoksidine danga pagal PSPC standartą. Pirmas testas buvo atliekamas laive „Hoeg Trooper“. 12 mėnesių 8 plieno plokštelės buvo tiriamos skirtingose balastinio tanko vietose. Bandymai buvo atliekami viename balastiniame tanke, kurio vanduo valomas su OceanSaver sistema (Balasto vandens valymo sistema pagrįsta pirminio filtravimo ir dezinfekcijos principu, su pasirinkamu azoto prisotinimo kiekiu), ir kitame balastiniame tanke kurio vanduo nevalomas. Antras testas atliktas laive „Federal Welland“. 6 mėnesius buvo tiriamos 8 plieno plokštelės, taip pat padengtos epoksidine danga. Vienos plokštelės buvo tiriamos balastiniame tanke, o kitos atitinkamuose rezervuaruose, kuriuose buvo imituojamos balastinio tanko korozijos sąlygos. [29]



27 pav. Plieno plokštelės po valymo OceanSaver sistema [29]

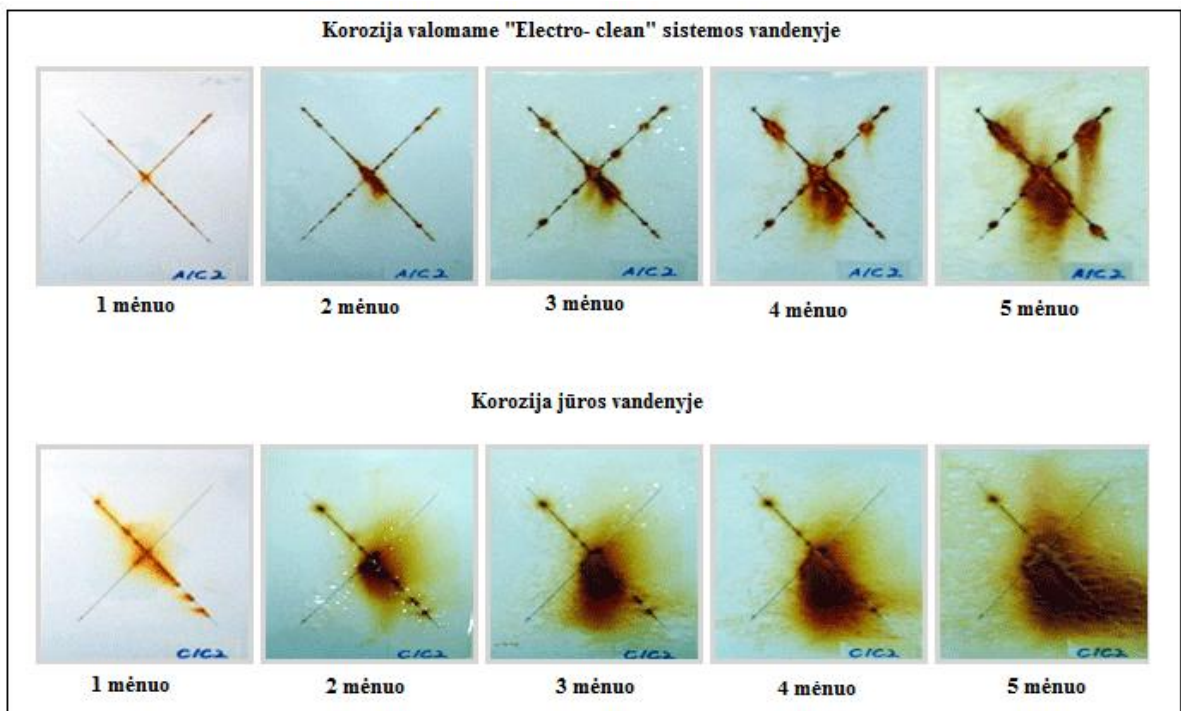
Atlikus šiuos bandymus padarytos išvados, kad testavimo periodas buvo per trumpas įvertinti reikšmingus korozijos poveikio skirtumus plieno plokštelėms panardintoms neapdorotame vandenyje ir valomame „OceanSaver“ sistemos vandenyje, tačiau pastebėta, kad svorio sumažėjimas anodams labiau pasireiškė tuose balastiniuose tankuose, kurių vanduo nebuvo valomas [29].

Safihna and DNV / Marintek atliko bandymą laive „Federal Welland“, kur buvo testuojamos 44 plieninės bandymo plokštės, padengtos pagal PSPC standartą. Testas vyko 15 mėnesių, ten buvo imituojamos balastinio tanko korozijos sąlygos. Atlikus šį testą, padarytos išvados:

- Ant plokštelių nebuvo susidariusi nei viena pūslė;

- OceanSaver" valymas nedaro neigiamos įtakos balastinių tankų dangoms;
- Buvo pastebėtas 11 % cinko anodo masės sumažėjimas.
- Nustatyta, kad balastiniuose tankuose, kuriuose nevalomas vanduo korozijos dydis yra 0,383mm/m, o naudojant OceanSaver valymo sistemą korozijos dydis tik 0,039 mm/m [29].

Kitas korozijos tyrimas buvo atliktas "Techross 'R&D" Centro. Buvo tiriamos dvi plieno plokštelės. Viena plokštelė buvo panardinta vandens talpoje, kuris buvo valomas pagal „Electro-Clean“ sistemą (valymo sistema naudojanti elektrolizės technologijas), o kita plokštelė panardinta nevalomame vandens rezervuare. Tyrimas truko 5 mėnesius. Tyrimu nustatyta, kad šis „Electro-Clean“ valymo būdas neturi įtakos balastinių tankų dangų korozijai, tik tuo atveju jeigu aktyviųjų oksidatorių kiekio koncentracija tirpale yra mažesnė arba lygi 10mg/l. [8]. Manoma, kad naudojant didesnės koncentracijos tirpalus, korozijos procesai vyktų greičiau.



28 pav. Plieno plokštelių nuotraukos tyrimo eigoje [8]

IPPIC (Pasaulinė dažų ir dangų pramonės rinka) atliko balastinių tankų plokštelių korozijos tyrimą, naudojant chlorą, kaip veikliąją medžiagą vandens valymui. Atlikus tyrimą padaryta išvada, kad 8mg/l arba mažesnės koncentracijos chloras, esantis balastinių tankų vandenyse, nesukelia žalingo poveikio balastinių tankų dangų sistemoms [19].

Korozijos bandymus vandenų valymui, naudojant chlorą kaip veikliąją medžiagą, 2010-2011 metais atliko ir GL Noble Denton (Tarptautinė nepriklausoma korozijos testavimo įstaiga). Buvo tiriamos keturios plokštelės: struktūrinio plieno, vario-nikelio lydinio, žalvario bei struktūrinio plieno plokštelė, padengta apsauginiu dažų sluoksniu. Vienos plokštelės buvo pilnai panardintos, o kitos nepilnai į trijų rūšių tirpalus: natūralaus jūros vandens, natūralaus jūros

vandens su 2 mg/l aktyviojo chloro koncentracija ir 8 mg/l chloro koncentracija. Bandymas truko 6 mėnesius kambario temperatūroje. Atlikus bandymus trijose skirtingose aplinkose, vertinant plokštelių suskilinėjimą, pūslių susidarymus, rūdžių kiekį reikšmingo skirtumo ant vario-nikelio lydinio ir žalvario plokštelių nebuvo pastebėta. Taip pat nebuvo didelio skirtumo ir atlikus adhezijos bandymą. Tačiau pastebėtas didesnis korozijos greitis plieninėms plokštelėms. Atlikus tyrimą apskaičiuota, kad korozijos greitis plieninėms plokštelėms natūraliame jūros vandenyje yra 0,059 mm / m, vandenyje su 2mg/l aktyviojo chloro koncentracija -0,077 mm/m, o su 8mg/l chloro koncentracija 0,086 mm /m [6]. Atlikus šiuos tyrimus korozijos reikšmes palygino su knygoje (Korozija Handbook. Autorius Kreysa. R, 1992 ir „Metalų korozija jūros aplinkoje, autorius Revie, 2000) aprašytomis normomis. Korozijos lygis knygoje svyravo nuo 0,053 iki 0,188 mm /m, todėl padaryta išvada, kad toks chloro kiekis neturi didelės reikšmės korozijos greičiui balastinio tanko cisternoms [6].

Tačiau kiti mokslininkai, tokie kaip Matheickal J. ir Raaymakers S. eksperimentų metu nustatė, koks chloro kiekis reikalingas, jog vandenyje esantys mikroorganizmai žūtų per 24 valandas. Rezultatai parodė, kad beveik visas bakterijas sunaikina 20 mg/l ir didesnės koncentracijos chloras. [26]

Apibendrinant mokslininkų atliktus tyrimus chloravimo metodu, galima daryti išvadą, kad balastinių tankų valymui naudojamas chloras, kaip veiklioji medžiaga, daro įtaką balastinio tanko dangos paviršiams, nes efektyviam valymui turi būti naudojamas ne mažesnis nei 20 mg/l chloro kiekis. O kaip rodo tyrimai, balastinių tankų nepažeidžia tik 8-10 mg/l arba mažesnis chloro kiekis.

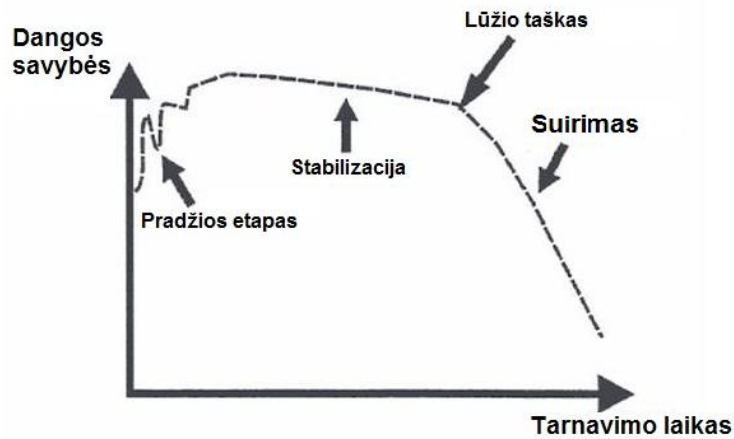
Atlikus šių mokslinių darbų analizę, galima pabrėžti, kad laivų balastinių tankų priežiūra ir monitoringas yra labai svarbus ir atsakingas darbas, reikalaujantis daug pastangų ir viso pasaulio mokslininkų mokslinių žinių.

Įsigaliojus Balastinio Vandens Valymo konvencijai, visi laivai privalės įsidiesti valymo sistemas, iš kurių daugelis naudoja chemines medžiagas, kurios spartina korozijos procesus. Todėl balastinių tankų dangos turės būti dar labiau prižiūrimos.

### III. METODINĖS LITERATŪROS ANALIZĖ APIE BALASTINIO VANDENS VALYMO BŪDŲ POVEIKIO LAIVO KONSTRUKCIJOMS VERTINIMĄ

#### 3.1 Balastinio tanko dangos irimo mechanizmas

Balastinio vandens pasikeitimas yra kenksmingas laivo korpusui, ypač kai balasto cisterna pirmiausia ištuštinama ir pripildoma. Kai yra atliekamas balastinio vandens pasikeitimas siurbiant vandenį į balastinius tankus, tada tankuose prisikaupia šviežias jūros vanduo. Šiame jūros vandenyje yra daug deguonies, kuris turi įtakos laivo dangų ilgaamžiškumui. 29 paveiksle pavaizduota, kaip balastinio tanko dangos veikiamos įvairių veiksnių degraduoja ir praranda ilgaamžiškumą. [1]



29 pav. Dangos degradacijos grafikas laivų balastinio tanko gyvavimo metu[1]

Dangos ilgaamžiškumo savybės suskirstytos į tris pagrindinius etapus. Pradžios etapas, kuris trunka apie 6 mėnesius nuo dangos padengimo. Stabilizacijos etapas trunka nuo 6 iki 20 mėnesių. Suirimo etapas dažniausiai prasideda po 6 metų nuo dangos padengimo. 30 paveiksle pateikiamas grafikas su pagrindiniais dangos gyvavimo etapais.



30 pav. Balastinio tanko dangos ploto irimas iki tarnavimo laiko[1]

Dangų irimas yra viena iš didžiausių problemų. Pastebėta, kad rimčiausias dangų irimas vyksta suvirinimo kritiniuose sujungimuose, konstrukcijų kraštuose, standumo briaunuose ir sijose. Pagrindinių konstrukcijų dangų irimas pavaizduotas 31 paveiksle. [1]



*31 pav. Rimtas korozijos padidėjimas tarp pagrindinio denio sijos ir išilginių skersinių sujungimų[1]*

Balastinio tanko dangos irimų ir defektų yra daugybė rūšių. Dauguma defektų rezultatai yra susiję su dažų ir dangų atsiskyrimu. Dažnai dangų irimai įvyksta dėl įvairių priežasčių, kurias gali nustatyti tik patyrę ekspertai.

Dažniausiai pasitaikančios dangų skilimo ir irimo rūšys:

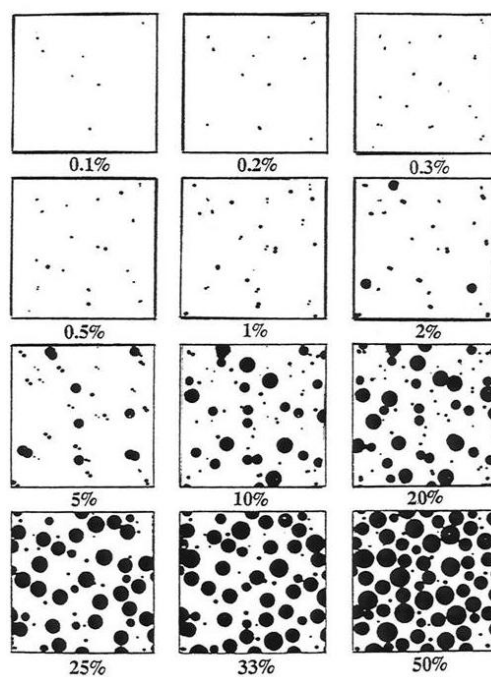
- Pūslės;
- Irimas po dangos plėvele;
- Kiaurymių kraštų irimas;
- Suvirintų sujungimų korozija;
- Kalkių apsinešimas ant dangų;
- Prastas dangos paruošimas;
- Dangos skilinėjimai nuo dumblo ar purvo;
- Įtempimų sukelti dangos gedimai.

### 3.2 Balastinio tanko dangos irimo įvertinimas

Savininkai, statytojai ir dangų gamintojai laivo statybos metu privalo įvertinti dangą naujame laive. Šios trys šalys turi sekti nustatytas dangų procedūras, kad sutartų dėl esamos dangos. Kad visos šalys rastų bendrą sprendimą, jos tiesiog turi laikytis nustatytos dangų procedūros IACS SC 122. Bet kokie pasikeitimai planavime gali padaryti įtaką galutinei dangos kokybei. Planavimo ir išankstinės kokybės dengimo įrenginių pagrindinis faktorius yra danga. Danga turi būti tikrinama siekiant užtikrinti kad ji yra visiškai suderinta su laboratorijos bandymų protokolais sprendžiant ypatingos dangos formulavimą. [1]

Per pirmuosius kelerius tarnavimo metus susidaro plieno susiraukšlėjimas ir šlytis. Daroma išvada, kad veikiant šlyties ir lenkimo poveikiui konkrečiai suvirinimo siūlei ar plokštei pasireiškia dangos suirimas atitinkamais etapais. [1]

Nustatyti dangos irimo veikimą balastiniuose tankuose yra labai sudėtinga, kadangi šis veikimas yra elektrocheminio pobūdžio [1]. 32 paveiksle pateikiama korozijos ir dangos irimo įvertinimo pasiskirstymo diagrama pagal dabartinius nuostatus.

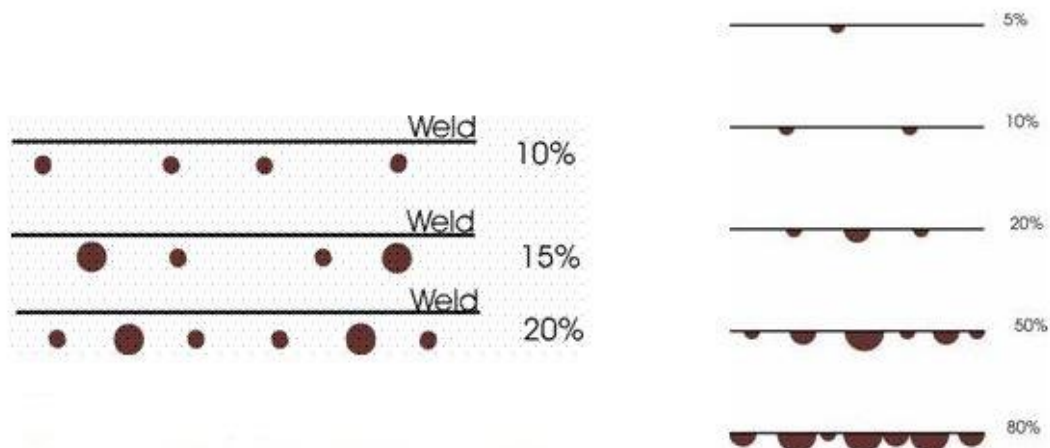


32 pav. Dangos suirimo vertinimo skalės diagrama [1]

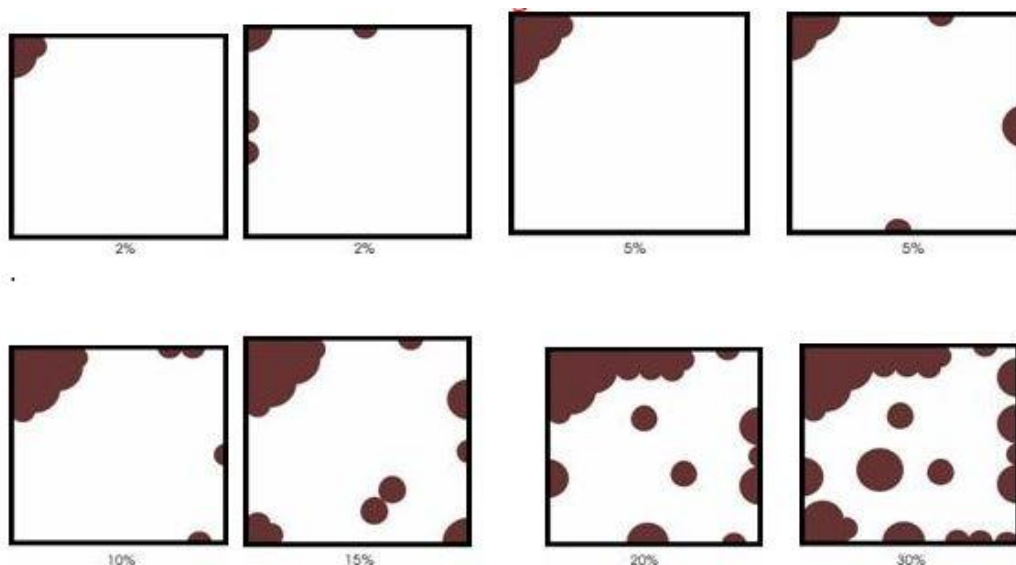
Paplitusi korozijos koncentracija papildomai veikiama aukštos įtampos sąlygų sukels dangų irimą pažeidžiamiausiuose konstrukcijų plotuose. Viena iš pažeidžiamiausių konstrukcijų vietų yra pavaizduota 35 paveiksle. Norint išvengti tokių pažeidimų reikia užtikrinti, kad visi konstrukcijų kraštai ir suvirintos jungtys būtų tinkamai padengtos (bent dviguba juostelių danga).

Dangos irimo vertinimas balastiniuose tankuose yra reglamentuojamas Tarptautinės klasifikacinių bendrovių asociacijos (angl. IACS - International Association of Classification

*Societies*) remiantis dangos suirimo vertinimo skalės diagramomis, kurios pateiktos 36 paveiksle. Pagal šią diagramą nustatomi pagrindiniai defektai. Jei defektų taip paprastai negalima identifikuoti, tada jas galima nustatyti naudojant naujos apimties diagramą, skirtą vertinti korozijos įvertinimui konstrukcijų kraštuose ir suvirinimo jungtyse [1]. Ši diagrama yra pateikiama 33 ir 34 paveiksluose.



33 pav. Linijinių įdubimų paplitimo diagrama [1]



34 pav. Apibrėžtos dangos irimo paplitimo diagrama [1]

Sprendžiant dangų irimo problemą, kuri gali sukelti visišką dangų degradaciją, reikia reikšmingai sumažinti plieno suvirinimo substrato kiekį. Visa pateikta informacija gali būti sujungta į konkretų protokolą. Pagal šį protokolą būtų galima nustatyti dangų irimo tipą, korozijos apimtį, substrato sumažėjimą ir anodo suvartojimą. Visa tai gali būti pateikta skaitmeninėje formoje. Tai gali įvertinti vizualines dangų kliūtis visumoje ir suteikti daugiau žinių dangų gamintojams, tiekėjams, laivų savininkams ir operatoriams apie korozijos tipą ir paplitimo problemą balastinio tanko dangoms. [1]

## IV. EKSPERIMENTAS – CHLORAVIMO ĮTAKOS BALASTINIŲ TANKŲ KONSTRUKCIJOMS VERTINIMAS

Chloravimas – cheminis balastinio vandens valymo metodas. Chloras, kaip oksiduojantis biocidas, patekęs į balastinį vandenį ardo mikroorganizmų ląstelių sienelės ir jas naikina.

Gerai valymo rezultatai pasiekiami didelio drumstumo vandenyse, nes chloro dioksidas nesąveikauja su organiniais junginiais ir nesusidaro halogeniniai šalutiniai produktai.

Balastinio vandens valymui naudojamas didelės koncentracijos chloras dėl aukšto pH sukelia koroziją balasto cisternose. Korozijos reakcijos greitis priklauso nuo vandens temperatūros pokyčio, pH.

Balastinio vandens valymo procese naudojant chlorą, išvalymo rezultatas priklauso nuo vandens pH, organizmų ir temperatūros kiekio esančios vandenyje. Norint užtikrinti aukštą valymo efektyvumą turėtų būti naudojama 20-60 mg/l chloro.

Balastinio vandens valymo chloru sistemoms yra reikalingi neutralizatoriai. Prieš išpilant išvalytą balastinį vandenį už borto, jis turi būti neutralizuojamas nuo likusių cheminių medžiagų. Neutralizavimas naikina galimus toksinius produktus, neutralizuodamas balastiniame vandenyje likusį chlorą po chloravimo. Chloro neutralizavimui dažniausiai naudojama natrio sulfito druska, nes natrio bisulfito ir natrio metabisulfito druskų valymo efektyvumai yra žemi [16].

Tyrimui buvo pasirinkta tirti:

- Aštuonias plienines balastinių tankų plokšteles, kurios iš vienos pusės buvo padengtos epokside danga pagal PSPC standartą;
- Aštuonis cinko protektorius.

**Pirmasis tyrimas** buvo atliekamas su plieno plokštelėmis. Keturiuose penkių litrų talpos induose su Viduržemio jūros vandeniu (druskingumas ~38 promilės), kuris buvo apdorotas natrio hipochloritu ir pasiektos chloro koncentracijos 0 mg/l, 30 mg/l, 60 mg/l ir 120 mg/l buvo panardintos keturios plieno plokštelės (Plokštelė Nr. 1, plokštelė Nr. 3, plokštelė Nr. 5 ir plokštelė Nr.7). Indai laikomi tamsoje, siekiant imituoti realias sąlygas laivo balastiniuose tankuose (reiso metu neapšviečiamos ir neventilijuojamos patalpos). Tyrimas truko 12 savaičių, kas savaitę stebint plieno plokštelių svorio masės pokyčius.

Tirpalai buvo ruošiami naudojant 100% jūros druską, bei 12% natrio hipochlorito (NaClO) tirpalą. Tinkamos tirpalų koncentracijos buvo išgautos, naudojant atitinkamus reagentų kiekius, kurie pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė. 1 litrui tirpalo paruošti reikalingas sudedamųjų medžiagų kiekis

<b>Aktyviojo chloro koncentracija tirpale mg/l</b>	<b>0</b>	<b>30</b>	<b>60</b>	<b>120</b>
Jūros druskos (NaCl) kiekis, g	38	38	38	38
12 % natrio hipochlorito (NaOCl) kiekis, g	0,00	0,52	1,05	2,10

Kiekvieną savaitę panardinti mėginiai buvo ištraukiami iš tirpalų, išdžiovinami eksikatoriuje ir pasveriami analitinėmis svarstyklėmis (35 pav).



35 pav. Eksikatorius, analitinės svarstyklės

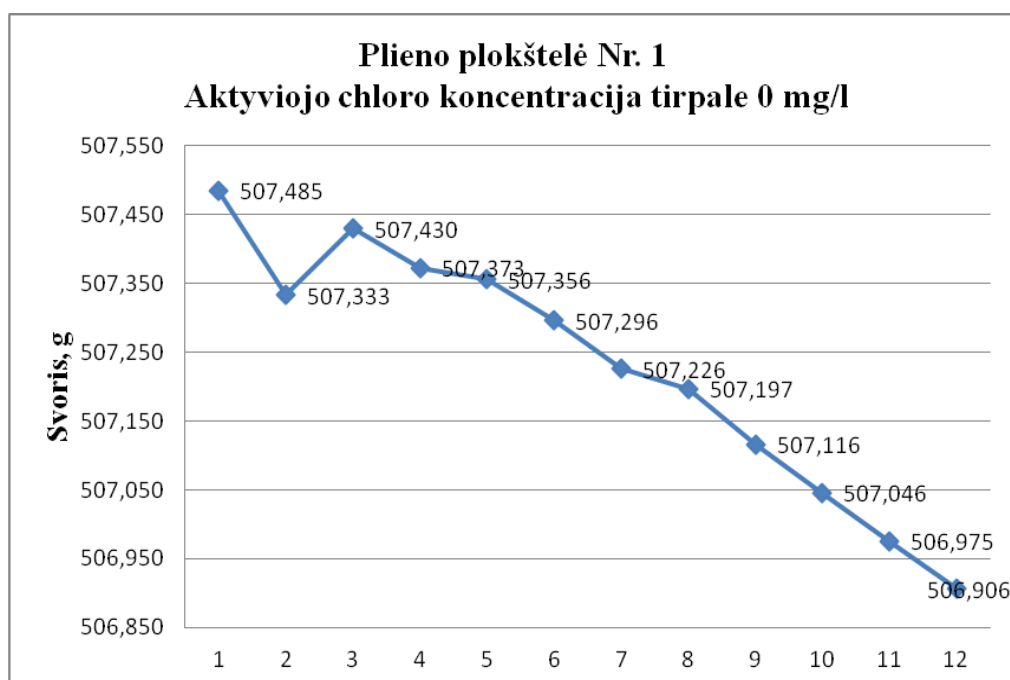
Tyrimo sąlygos pateiktos 5 lentelėje. Plieno plokštelių svorio pokyčiai tyrimo eigoje pavaizduoti 6 lentelėje, bei atvaizduoti 36 paveiksle.

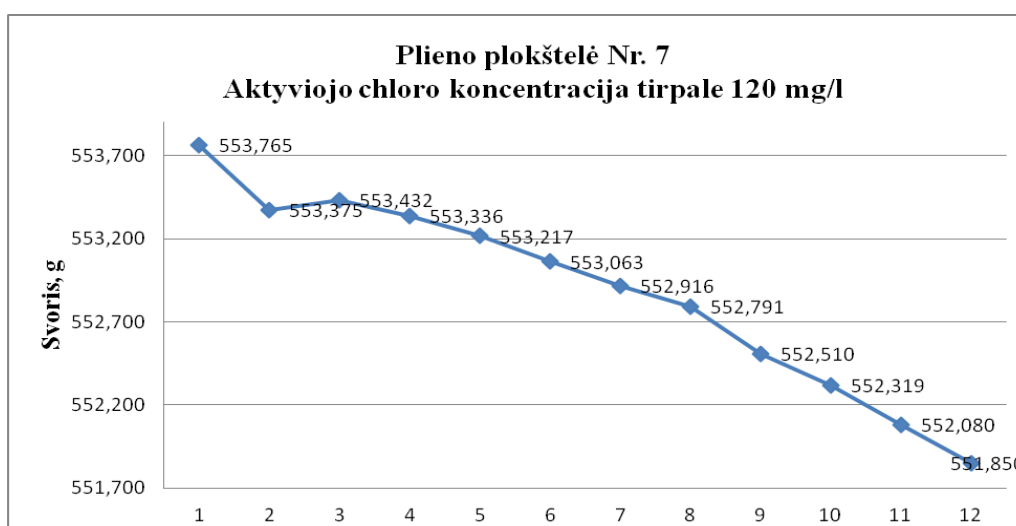
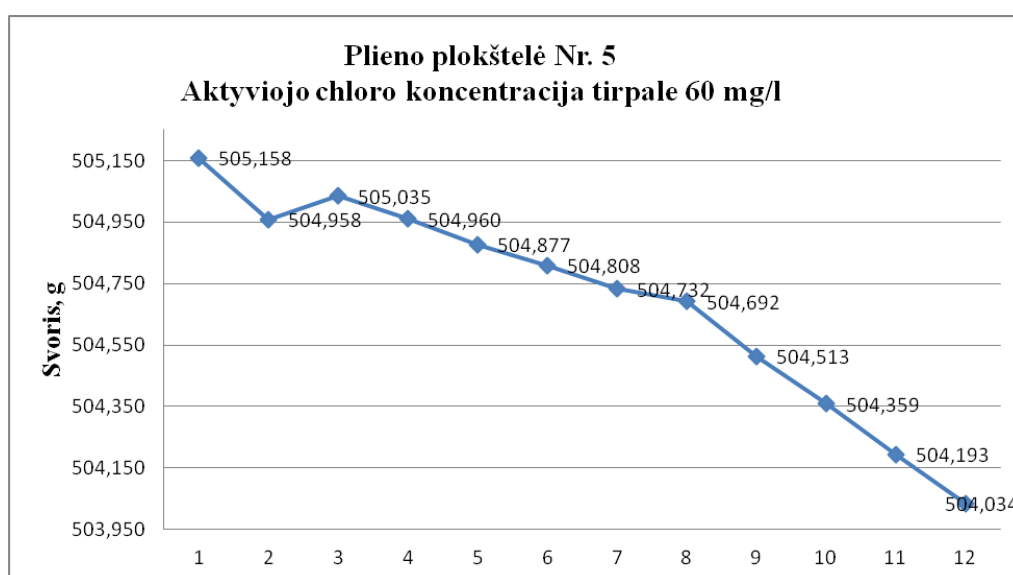
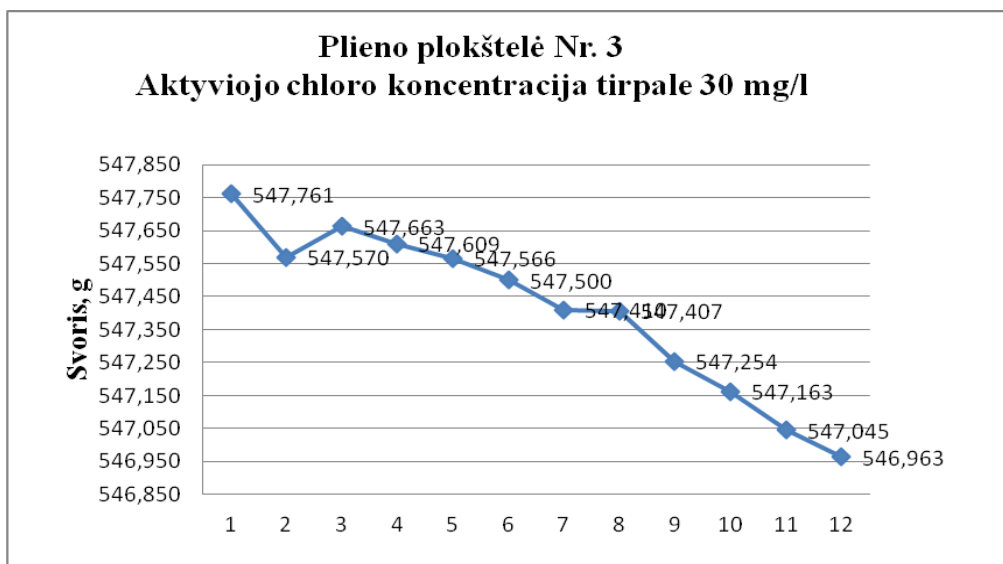
5 lentelė. Tiriamųjų plokštelių išorinės aplinkos sąlygos

Plokštelės Nr.	1	3	5	7
Chloro koncentracija tirpale	0 mg/l	30 mg/l	60 mg/l	120 mg/l
Tirpalų Ph	7	8	9	10
Išorės aplinkos temperatūra pirmąją tyrimo savaitę	22 °C			
Išorės aplinkos temperatūra nuo antros tyrimo savaitės	13 °C			

6 lentelė. Tiriamųjų plokštelių svoris gramais tyrimo eigoje

Data /Plokštelės Nr.	1	3	5	7
2016.02.03	507,49	547,76	505,16	553,77
2016.02.10	507,33	547,57	504,96	553,38
2016.02.17	507,43	547,66	505,04	553,43
2016.02.24	507,37	547,61	504,96	553,34
2016.03.02	507,36	547,57	504,88	553,22
2016.03.09	507,30	547,50	504,81	553,06
2016.03.16	507,23	547,41	504,73	552,92
2016.03.24	507,20	547,41	504,69	552,79
2016.03.31	507,12	547,25	504,51	552,51
2016.04.06	507,05	547,16	504,36	552,32
2016.04.13	506,98	547,05	504,19	552,08
2016.04.20	506,91	546,96	504,03	551,85

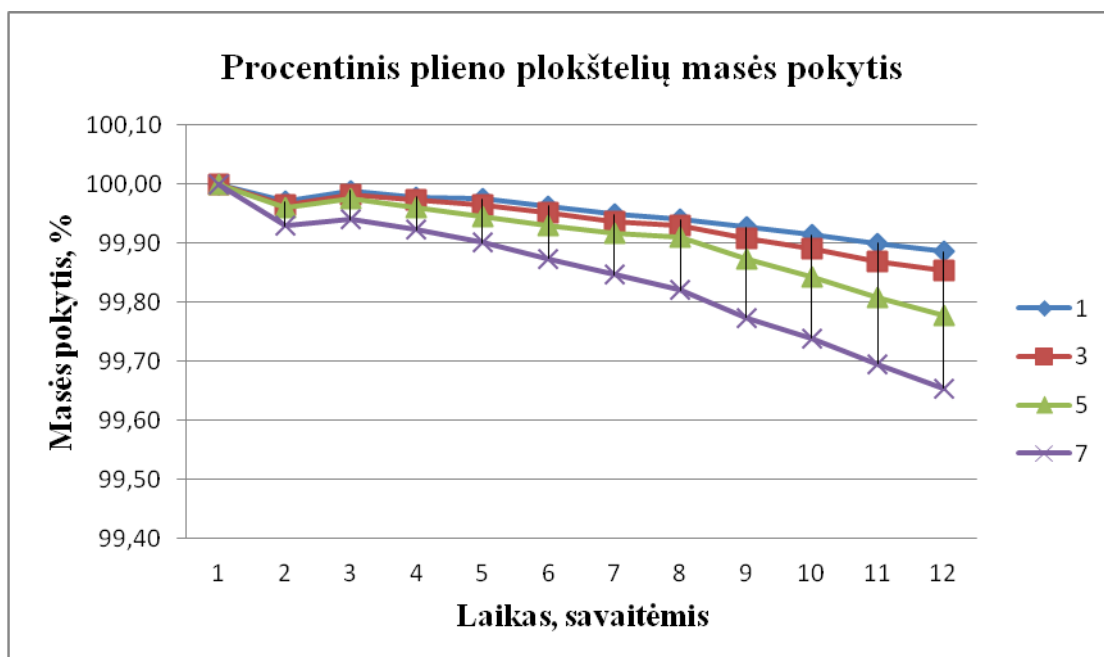




*36 pav. Tiriamų pieno plokštelių svorio pokyčiai*

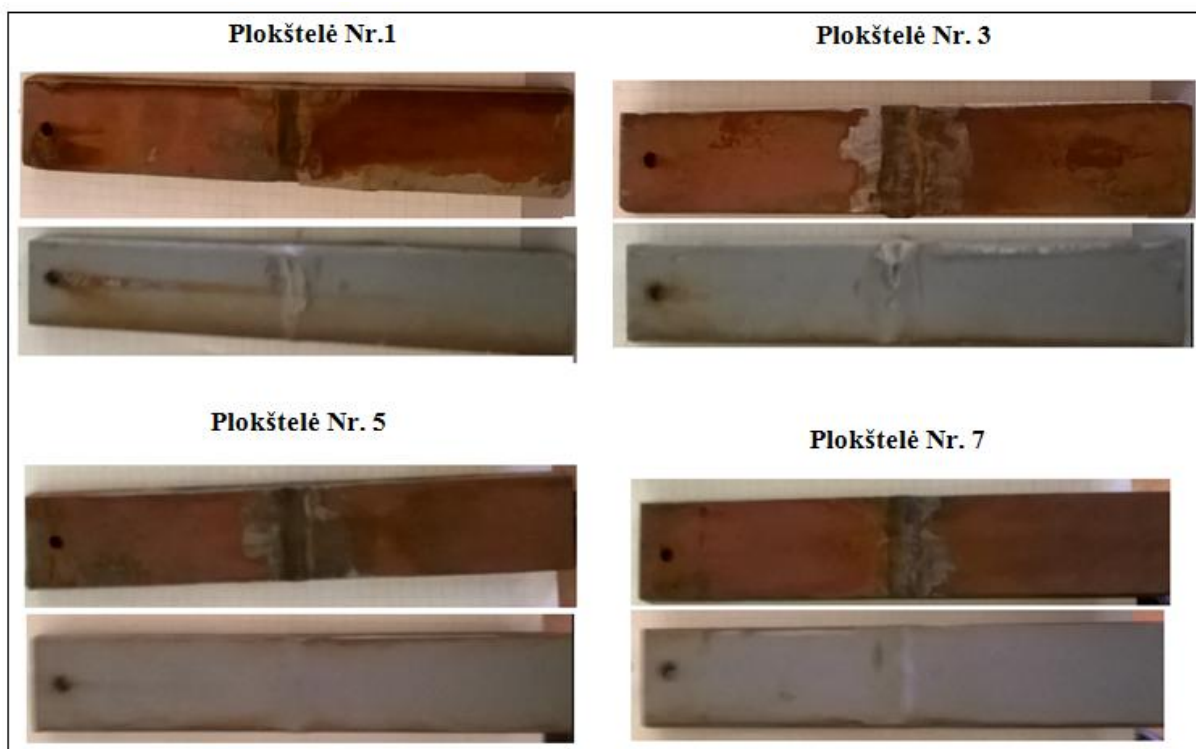
Pagal nustatytas svorių reikšmes, apskaičiuotas procentinis pieno plokštelių svorių sumažėjimas. Visų keturių tiriamų plokštelių procentinis masės pokytis pavaizduotas 37

paveiksle. Grafike matosi, kad daugiausiai svorio prarado ta plokštelė, kuri buvo panardinta į tirpalą, kuriame chloro jonų koncentracija didžiausia, t.y 120 mg /l.



37 pav. Procentinis plieno plokštelių masės pokytis

Atlikus tyrimą, akivaizdžiai pastebimas rūdžių susidarymas ant tos plokštelių pusės, kuri nebuvo dengta epokside danga. Ypač korozija pasireiškė ties suvirinimo siūlėmis (38 paveikslas).



38 pav. Plokštelių nuotraukos atlikus tyrimą

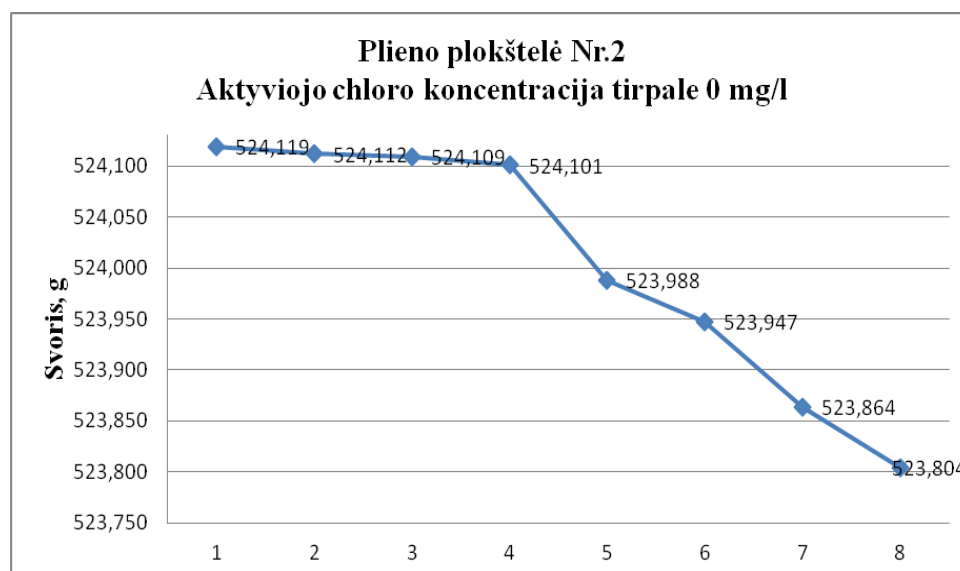
Nuo penktos savaitės tokiomis pačiomis sąlygomis buvo tiriamos dar keturios plokštelės (plokštelė Nr. 2, plokštelė Nr.4 , plokštelė Nr.6 ir plokštelė Nr.8). Tyrimo sąlygos pateiktos 7 lentelėje. Plieno plokštelių svorio pokyčiai tyrimo eigoje pavaizduoti 8 lentelėje, bei atvaizduoti 39 paveiksle.

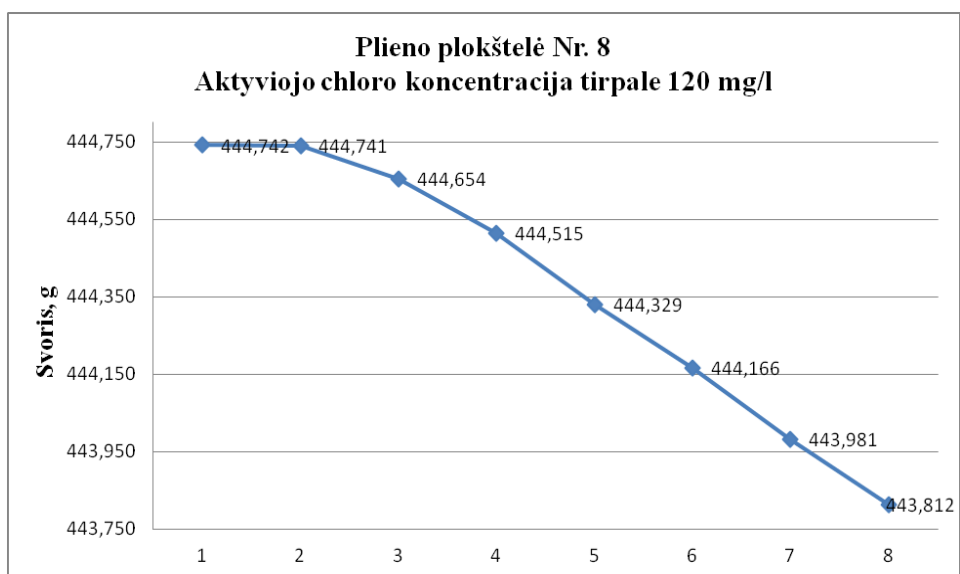
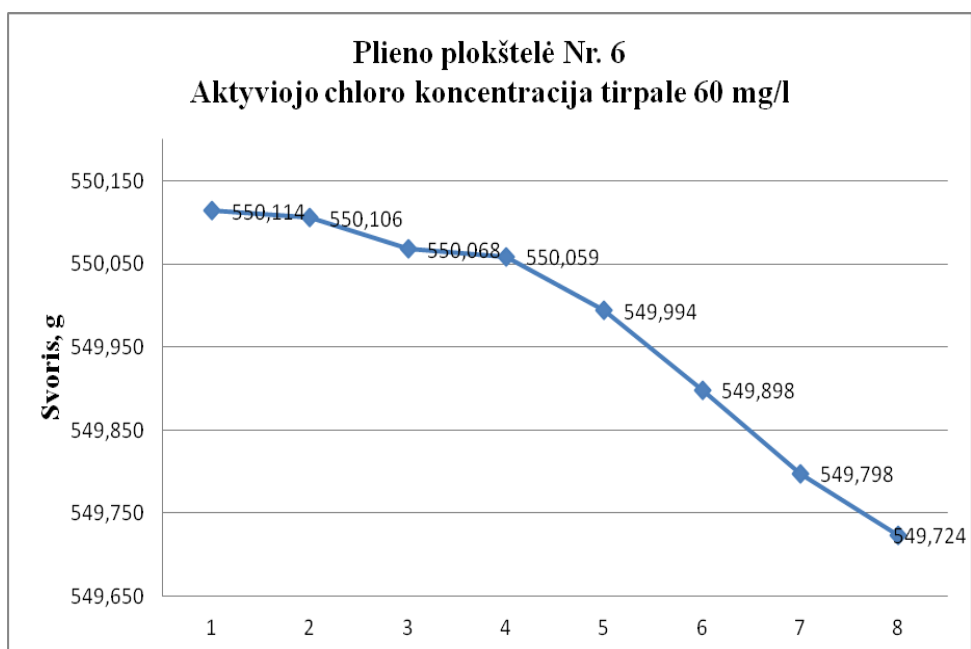
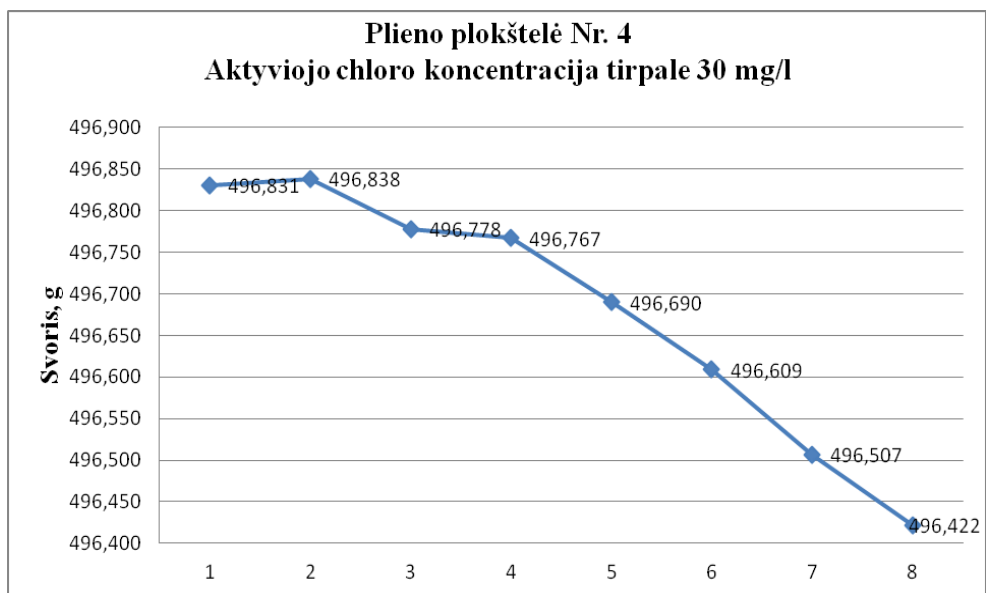
7 lentelė. Tiriamųjų plokštelių išorinės aplinkos sąlygos

Plokštelės Nr.	2	4	6	8
Chloro koncentracija tirpale	0 mg/l	30 mg/l	60 mg/l	120 mg/l
Tirpalų Ph	7	8	9	10
Išorės aplinkos temperatūra	22 ° C			

8 lentelė. Tiriamųjų plokštelių svoris gramais tyrimo eigoje

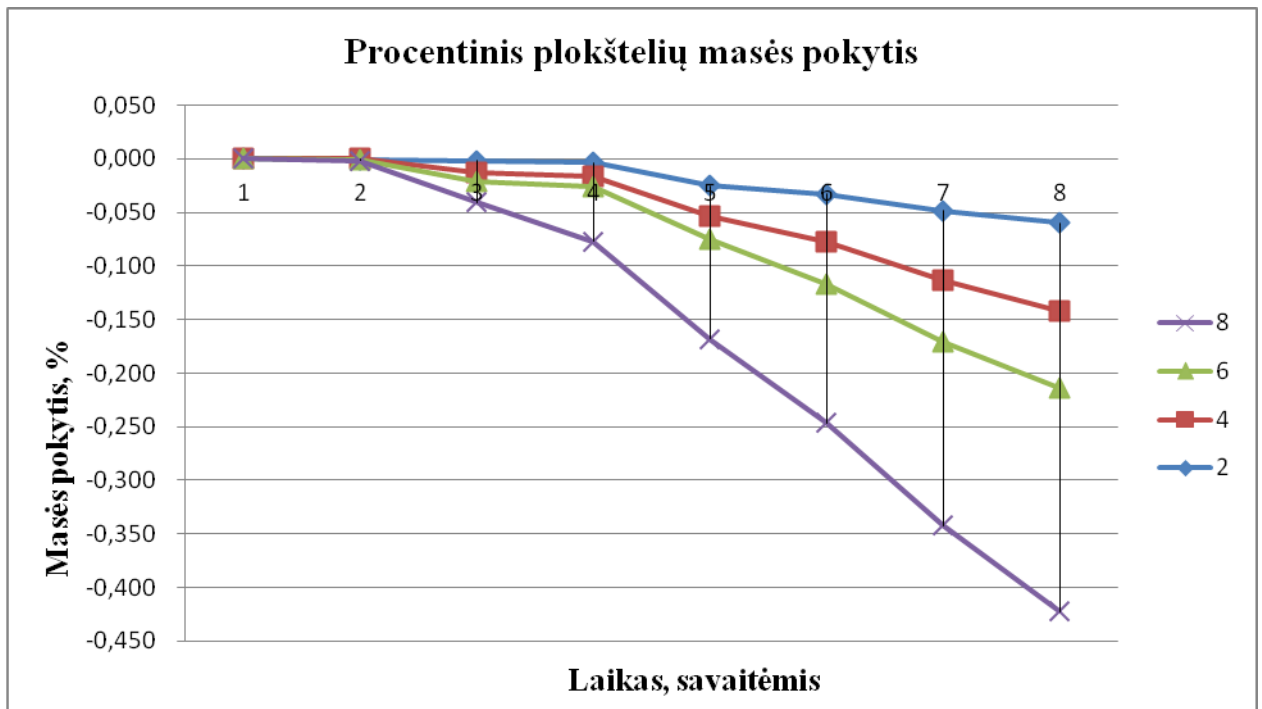
Data / Plokštelės Nr.	2	4	6	8
2016.03.02	524,12	496,83	550,11	444,74
2016.03.09	524,11	496,84	550,11	444,74
2016.03.16	524,11	496,78	550,07	444,65
2016.03.24	524,10	496,77	550,06	444,52
2016.03.31	523,99	496,69	549,99	444,33
2016.04.06	523,95	496,61	549,90	444,17
2016.04.13	523,86	496,51	549,80	443,98
2016.04.20	523,80	496,42	549,72	443,81





39 pav. Tiriamų plieno plokštelių svorio pokyčiai

Pagal nustatytas svorių reikšmes apskaičiuotas procentinis pieno plokštelių svorių sumažėjimas. Visų keturių tiriamų plokštelių procentinis masės pokytis pavaizduotas 40 paveiksle. Iš grafiko matosi, kad daugiausiai svorio prarado taip pat ta plokštelė, kuri buvo panardinta į tirpalą, kuriame chloro jonų koncentracija didžiausia, t.y 120 mg /l.



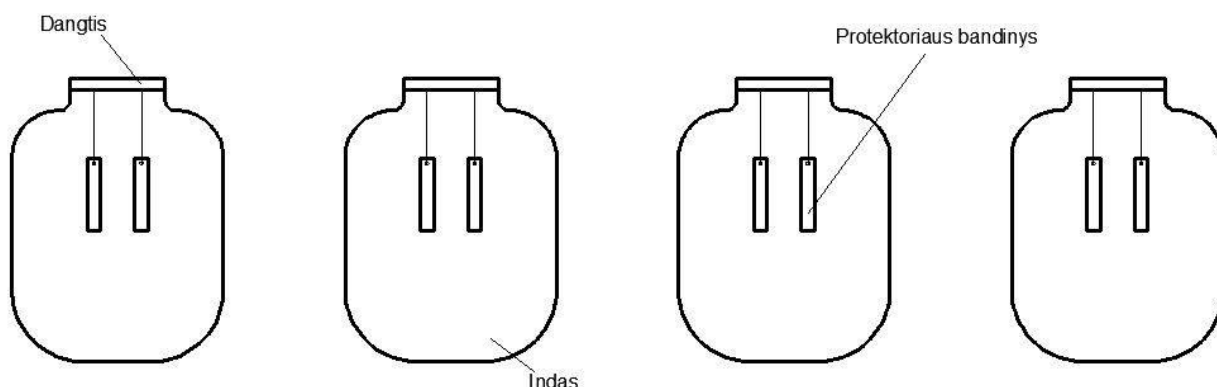
40 pav. Procentinis pieno plokštelių masės pokytis

### **Pirmojo tyrimo išvados:**

1. Pagal nustatytas tirpalų pH reišmes, plienas turėtų būti pasyvinėje srityje ir nekoroduoti. Tačiau pasyvią būseną sutrikdė tirpaluose esantis didelis chloro jonų kiekis. Atlikus tyrimą nustatyta, kad kuo didesnė chloro jonų koncentracija tirpale, tuo korozijos greitis didesnis.
2. Pirmąją savaitę aplinkos temperatūra buvo 22 °C, o sekančiomis savaitėmis 13 °C. Pastebėta, kad prie aukštesnės temperatūros korozijos procesai vyko greičiau.
3. Įvertinus korozijos nuostolius plokštelėms (Nr.1, Nr.3, Nr.5 ir Nr.7) apskaičiuota, kad per 12 savaičių pirmųjų tiriamųjų plokštelių svoris sumažėjo:
  - 1 plokštelė -0,11 %
  - plokštelė -0,15 %
  - plokštelė -0,22 %
  - 7 plokštelė -0,35 %
4. Įvertinus korozijos nuostolius plokštelėms (Nr.2, Nr.4, Nr.6 ir Nr.8) apskaičiuota, kad per 7 savaites antrųjų tiriamųjų plokštelių svoris sumažėjo:
  - plokštelė – 0,06 %
  - plokštelė – 0,08 %
  - 6 plokštelė – 0,07 %
  - 8 plokštelė – 0,20 %
5. Atlikus plieno plokštelių tyrimus keturiuose skirtingų koncentracijų tirpaluose, galima daryti išvadą, kad chloro jonai esantys tirpale greitina korozijos procesus balastiniuose tankuose.
6. Taip pat pastebėta, kad korozijos parametrai pastebimi tik tose plokštelių pusėse, kurios nėra padengtos epokside danga pagal PSPC standartą ir labiausiai pasireiškia ties suvirinimo siūlėmis.

**Antrasis tyrimas buvo atliekamas su cinko anodais.** Keturiuose dviejų litrų talpos induose su Viduržemio jūros vandeniu (druskingumas ~38 promilės), kuris buvo apdorotas natrio hipochloritu ir pasiektos chloro koncentracijos 0 mg/l, 30 mg/l, 60 mg/l ir 120 mg/l buvo panardinti cinko anodai. Tyrimas vyko 13 savaitių, kas savaitę stebint cinko anodų svorio masės pokyčius.

Į kiekvieną indą patalpinta po 2 bandinius, išpjautus iš cinko protektoriaus, kuriuose galvaninė pora susidaro tarp plieno armatūros ir protektoriaus medžiagos. Prieš patalpinimą į elektrolitą (jūros vandenį su atitinkamomis chloro koncentracijomis), bandiniai buvo pasverti analitinėmis svarstyklėmis. Indai laikomi tamsoje, uždaryti plastmasiniais dangčiais, siekiant imituoti realias sąlygas laivo balastiniuose tankuose (reiso metu patalpos neapšviečiamos ir neventiliuojamos). Bandiniai buvo sveriami kas savaitę ir taip nustatoma jų dilimo priklausomybė nuo chloro koncentracijos.



41 pav. Bandyamas siekiant nustatyti chloravimo įtaką protektoriaus ilgaamžiškumui

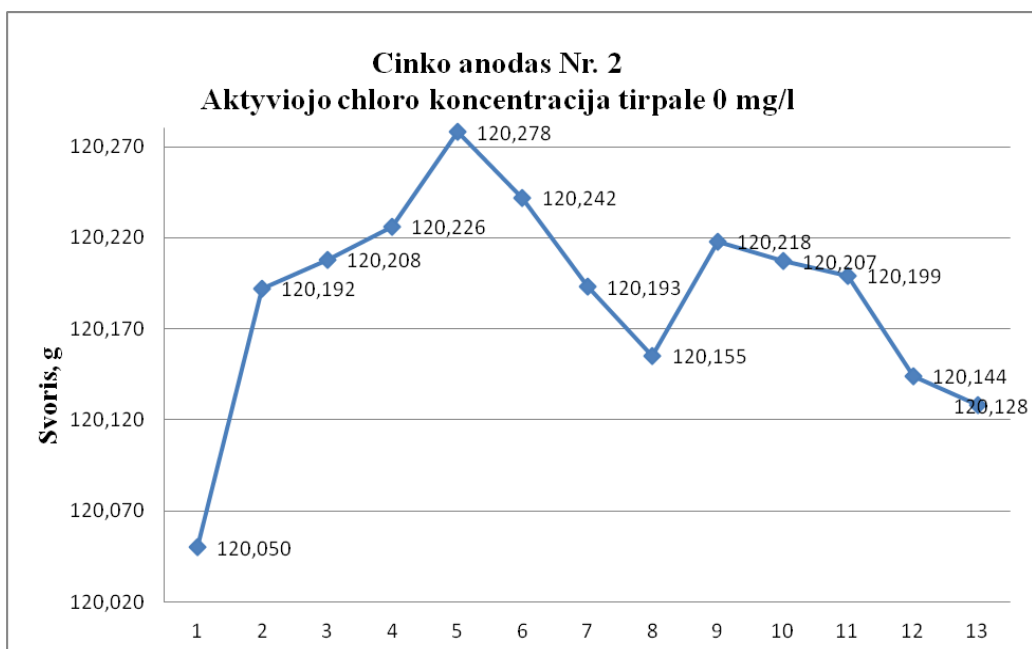
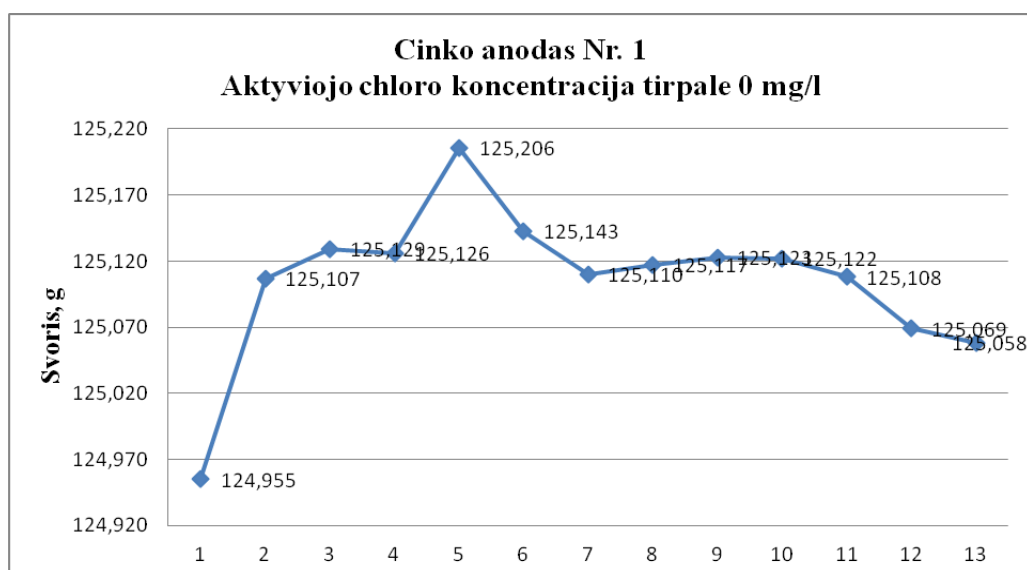
Tyrimo sąlygos pateiktos 9 lentelėje. Cinko anodų svorio pokyčiai tyrimo eigoje pavaizduoti 10 lentelėje bei atvaizduoti 42 paveiksle.

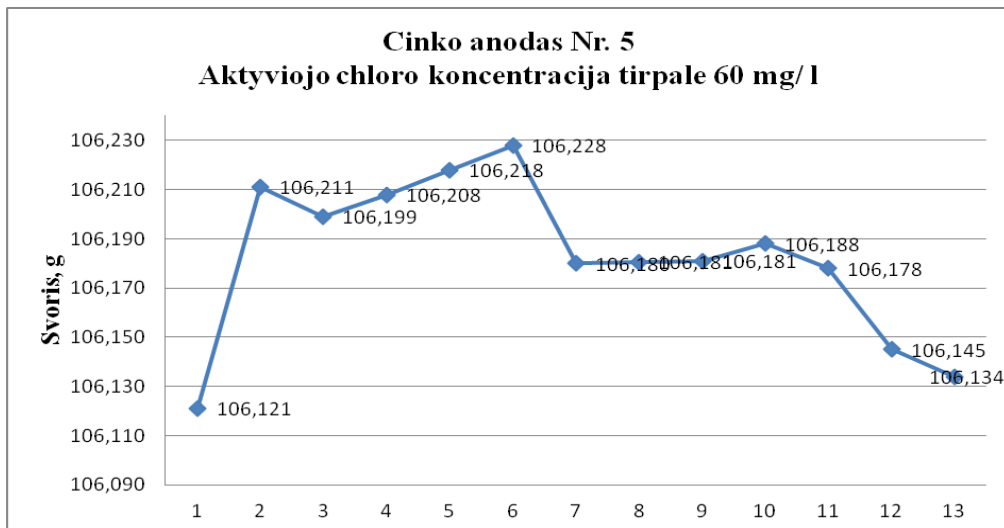
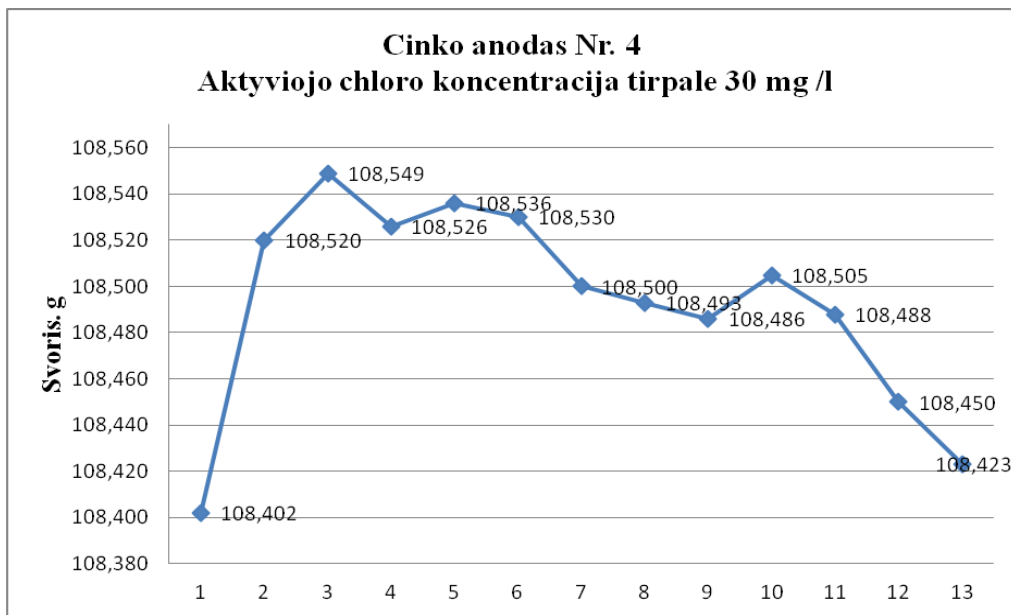
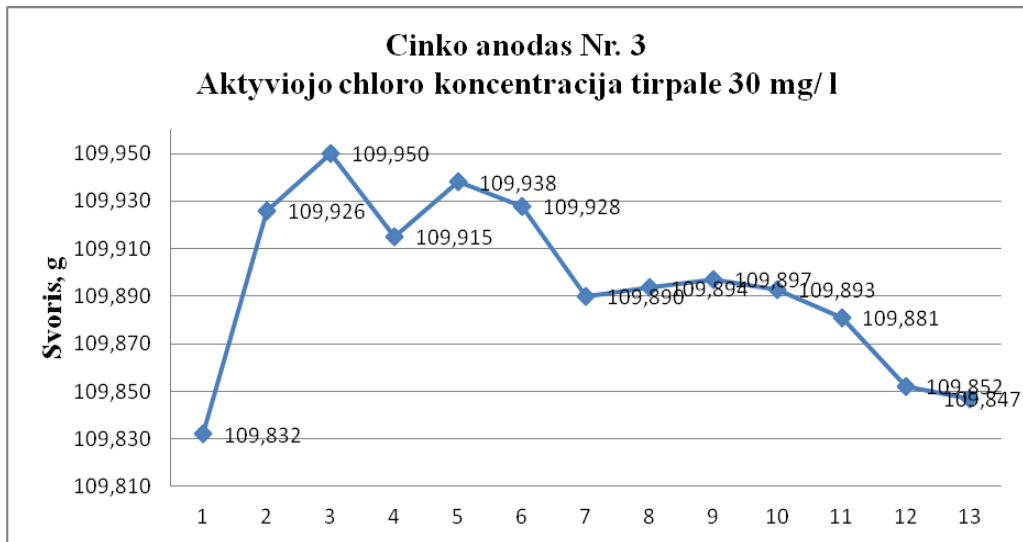
9 lentelė. Tiriamųjų cinko anodų išorinės aplinkos sąlygos

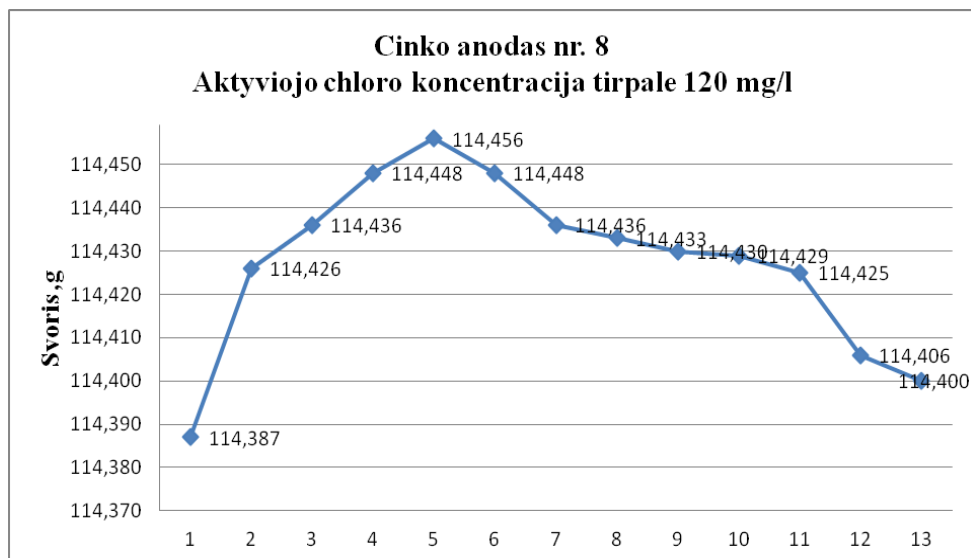
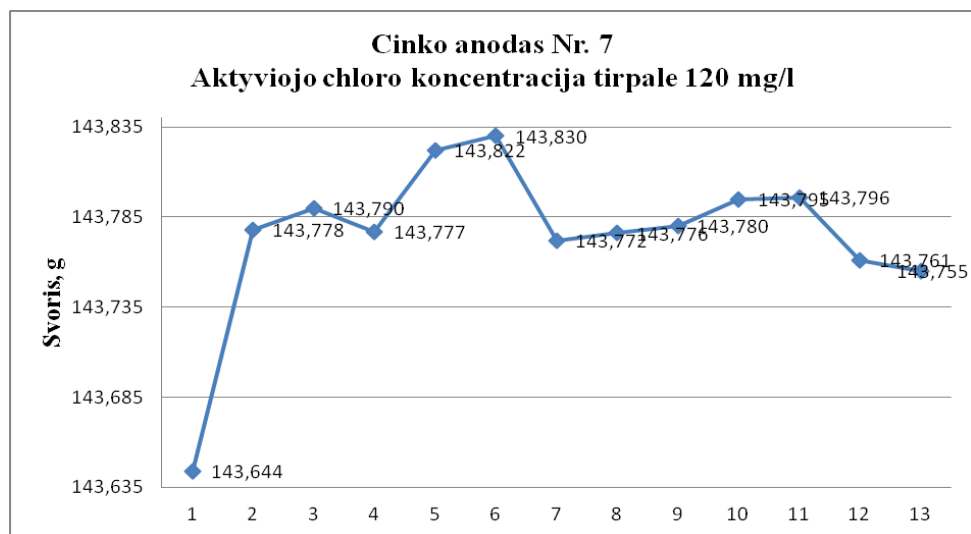
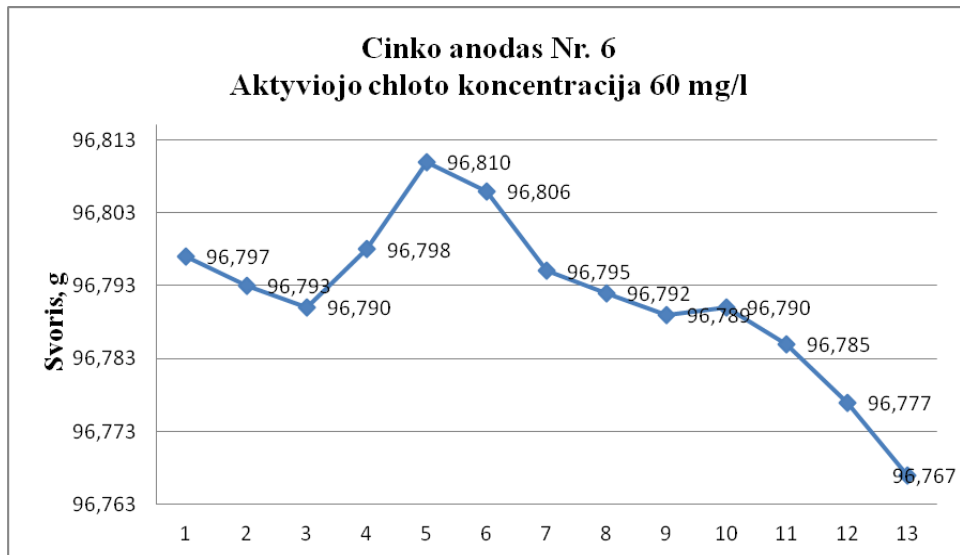
<b>Cinko anodo Nr.</b>	<b>1,2</b>	<b>3,4</b>	<b>5,6</b>	<b>7,8</b>
Chloro koncentracija tirpale	0 mg/l	30 mg/l	60 mg/l	120 mg/l
Tirpalų Ph	7	8	9	10
Išorės aplinkos temperatūra pirmąją tyrimo savaitę	22 °C			
Išorės aplinkos temperatūra nuo antros tyrimo savaitės	13 °C			

10 lentelė. Cinko anodų svoris gramais tyrimo eigoje

Data / Plokštelės Nr	1	2	3	4	5	6	7	8
2016.02.03	124,955	120,050	109,832	108,402	106,121	96,797	143,644	114,387
2016.02.10	125,107	120,192	109,926	108,520	106,211	96,793	143,778	114,426
2016.02.17	125,129	120,208	109,950	108,549	106,199	96,790	143,790	114,436
2016.02.24	125,126	120,226	109,915	108,526	106,208	96,798	143,777	114,448
2016.03.02	125,206	120,278	109,938	108,536	106,218	96,810	143,822	114,456
2016.03.09	125,143	120,242	109,928	108,530	106,228	96,806	143,830	114,448
2016.03.16	125,110	120,193	109,890	108,500	106,180	96,795	143,772	114,436
2016.03.24	125,117	120,155	109,894	108,493	106,181	96,792	143,776	114,433
2016.03.31	125,123	120,218	109,897	108,486	106,181	96,789	143,780	114,430
2016.04.06	125,122	120,207	109,893	108,505	106,188	96,790	143,795	114,429
2016.04.13	125,108	120,199	109,881	108,488	106,178	96,785	143,796	114,425
2016.04.20	125,069	120,144	109,852	108,450	106,145	96,777	143,761	114,406
216.05.19	125,058	120,128	109,847	108,423	106,134	96,767	143,755	114,400

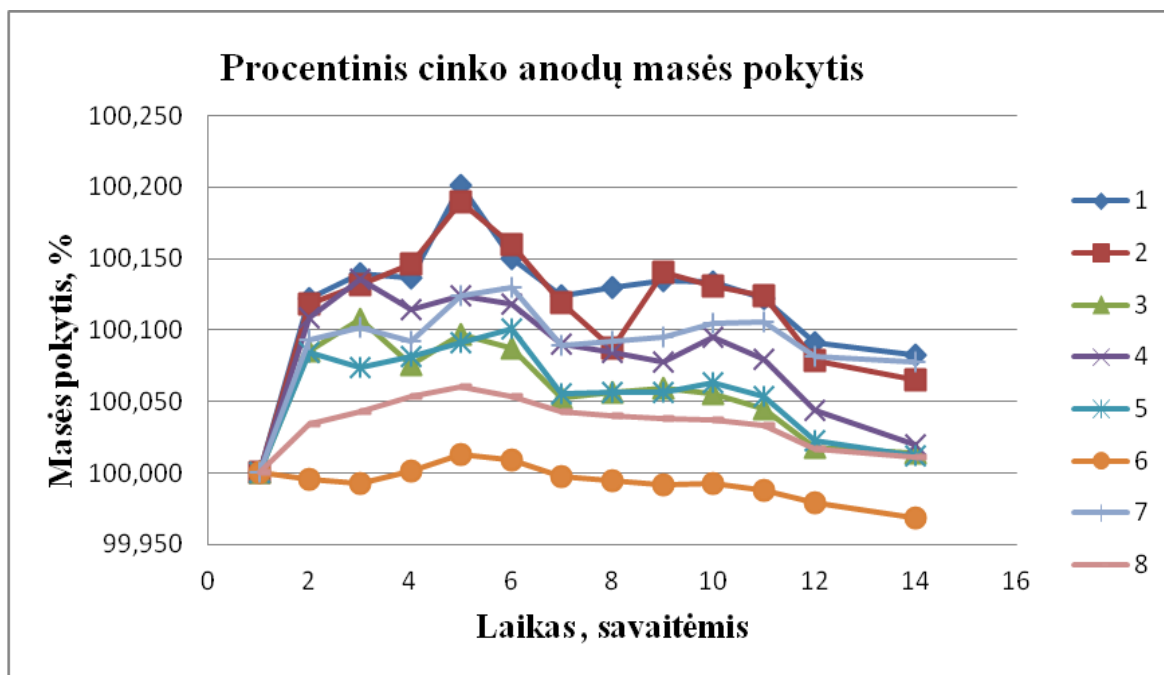






*42 pav. Cinko anodų svorio pokyčiai*

Pagal nustatytas cinko anodų svorių reikšmes apskaičiuotas procentinis svorių pokytis. Visų aštuonių cinko anodų procentinis masės pokytis pavaizduotas 43 paveiksle.



43 pav. Procentinis cinko anodų masės pokytis

Iš grafiko matome, kad cinko anodų svoriai keičiasi netolygiai. Chloro jonai reikšmingos įtakos cinko anodų dilimui nedaro. Tiriamų mėginių nuotraukos padarytos atlikus tyrimą pateiktos 44 paveiksle.



44 pav. Cinko anodų nuotraukos atlikus tyrimą

### **Antrojo tyrimo išvados:**

1. Įvertinus korozijos nuostolius apskaičiuota, kad per 13 savaičių tiriamųjų protektorių svoris pasikeitė:
  - 1 protektorius : +0,08%
  - 2 protektorius: +0,07 %
  - 3 protektorius : +0,01%
  - protektorius: +0,02 %
  - protektorius : +0,01%
  - 6 protektorius: -0,03 %
  - 7 protektorius : +0,08%
  - 8 protektorius: +0,01 %
2. Atlikus šį tyrimą, pastebėta, kad visų cinko anodų svoriai padidėjo minimaliai, nepriklausomai nuo to, kokia chloro jonų koncentracija buvo tirpaluose. Pagal nustatytas pH reikšmes tirpaluose galima teigti, kad cinko anodai Nr.1 ir Nr. 2, kurie buvo panardinti į neutralų tirpalą (pH 7), pasidengė apsaugine cinko hidroksidų plėvele, o likusieji anodai kurie buvo panardinti į silpnai šarminius tirpalus (pH 8-10) taip pat nežymiai pasunkėjo, dėl vizualiai pastebimų druskų pasidengimo ( t.y.  $\text{Na}_2\text{ZnO}_2$ ).
3. Devintąją tyrimo savaitę bandiniai buvo pradėti judinti ant specialaus stendo, spėjant, kad tirpalo judėjimas gali pažeisti apsauginę cinko hidroksidų plėvelę, dėl ko paspartėtų korozija. Specialiame stende buvo imituojamas bangų smūgis laivo korpusui, dėl kurio chloruotas vanduo inde judėjo vidutiniu 0,13 m/s greičiu. Po periodinio dviejų savaičių trukmės judinimo stende nustatyta, kad skysčio judėjimas vidutiniu 0,13 m/s greičiu įtakos korozijos vyksmui praktiškai neturėjo.

## IŠVADOS

1. BWM konvenciją yra patvirtinusios 49 TJO narės, tačiau šių šalių laivyno tonažas sudaro 34,82% pasaulinio laivyno tonažo. Trūksta 0,18 %, kad įsigaliotų balastinio vandens valymo reikalavimai.
2. Balastinių tankų dilimui didžiausią įtaką turi elektrocheminė korozija, kurios parametrų dydžiui įtaką daro jūros vanduo su 3,5-4,0% druskų (silpnai šarminis, pH = 7,2-8,6, NaCl ~ 78% ir MgCl<sub>2</sub>- ~ 11%). Chloro jonai neleidžia susidaryti pasyvuojančioms plėvelėms, todėl procesas yra aktyvus, ypač aeruojamame vandenyje.
3. Iš 53 šiuo metu aprobuotų balastinio vandens valymo sistemų, trečdalis, dezinfekcijai naudoja chloro junginius, skatinančius dažniausiai sutinkamą korpuso remonto priežastį - korozinį dilimą, nes jūrinių transportinių laivų korpusai statomi iš neatsparaus korozijai konstrukcinio plieno.
4. Mechaniniai balastinio vandens valymo būdai nedaro jokios įtakos balasto tankų dangoms. Skirtingi filtravimo metodai nepaveikia dangos ir nesukelia korozijos. Tačiau cheminis valymas su veikliomis medžiagomis ir preparatais kelia didžiausią grėsmę tankų dangoms.
5. Balastiniai tankai be kokybiškos apsauginės dangos privalo turėti protektorinę apsaugą. Efektyvi protektorinė balastinių tankų apsauga yra ypač svarbi, nes balastinio tanko dangos būklės įvertinimo ir atstatymo procedūros yra imlios laikui dėl griežtų reikalavimų paviršių paruošimui prieš dažymą.
6. Daugelis skirtingų laivų statyklų įsidiegė savo kokybės kontrolės sistemas, todėl kiekvienos laivų statyklos PSPC reikalavimai gali skirtis. Pažengusios laivų statyklos, laikydamosios TJO PSPC reikalavimų, gali pagerinti dažymo našumą ir potencialiai sumažinti dangos eksploatacinės priežiūros ir remonto dažnį. Taip pat standartizuoti PSPC reikalavimai suteikia galimybę geriau kontroliuoti išlaidas statybos metu ir eksploatuojant laivą.
7. Atlikus 12 savaičių trukmės tyrimą su plieno plokštelėmis, patalpintomis į skirtingų koncentracijų tirpalus (visų druskingumas ~38 promilės, o chloro koncentracijos: 0 mg/l, 30 mg/l, 60 mg/l, 120 mg/l) nustatyta, kad tiriamųjų plokštelių svoris sumažėjo nuo 0,11 % iki 0,35 %. T.y. korozijos sparta yra proporcinga chloro koncentracijai tirpale.
8. Atlikus cinko anodų tyrimą pastebėta, kad visų cinko anodų svoriai keitėsi minimaliai (t.y. nuo -0,03 % iki +0,08 %) nepriklausomai nuo to kokia chloro koncentracija buvo tirpaluose. Pagal nustatytas pH reikšmes tirpaluose, galime teigti, kad cinko anodai Nr.1 ir Nr.2, kurie buvo panardinti į neutralų tirpalą (pH 7), pasidengė apsaugine cinko hidroksidų

plėvele, o likusieji anodai, kurie buvo panardinti į silpnai šarminius tirpalus (pH 8-10) taip pat nežymiai pasunkėjo, dėl vizualiai pastebimų druskų pasidengimo (t.y.  $\text{Na}_2\text{ZnO}_2$ ).

9. Apibendrinant atliktų tyrimų rezultatus, galime teigti, kad kokybiškai pagal PSPC standartą padengtiems balastinio tanko paviršiams chloravimas įtakos neturi. Pažeidus antikorozonę dangą korozinis dilimas proporcingas chloro kiekiui tirpale. Cinko anodų tirpimui chloruotame neutraliame (pH 7) ir silpnai šarminiame tirpale (pH 8-10) chloro jonai įtakos neturi, nes susidaro pasyvuojanti plėvelė. Bandinių, patalpintų tirpale judinimas specialiame stende, vidutiniu 0,13 m/s greičiu šios plėvelės nepažeidė.
10. Ateityje reikėtų sumodeliuoti balastinio vandens judėjimo greitį tanke ir nustatyti, ar didesnis tirpalo greitis gali pažeisti susidariusią pasyvuojančią plėvelę, dėl ko cinko anodų tirpimas paspartėtų.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Amtec Corrosion And Coatings Consultants. Prieiga per internetą: <http://www.amteccorrosion.co.uk/coatingbreakdown.html>
2. Application of the Ballast Water Management (BWM) Convention to ships sailing in the Baltic Sea and North Sea and on short voyages, 2011
3. Argo Navis. „Ballast Water Management Systems- More Questions than Answers: Question 2 Impact of BWMS’s to ballast tank coatings“. Prieiga per internetą: <http://argonavis.gr/newsarticle-8.html>
4. Aušrienė M., 2006. Metalų korozija ir sauga. – Klaipėda: KU leidykla
5. Ballast Water Treatment. R&D Directory. International Maritime Organization. August, 2002. 74p.
6. Ballast Water Treatment Corrosion Scopy Study. Interim report. October 2011.
7. Ballast water treatment systems. Lloyd’s Register September 2010. 16 p.
8. Ballast Water Treatment system research. Prieiga per internetą: [http://techcross.com/eng\\_html/RnD/btws.asp](http://techcross.com/eng_html/RnD/btws.asp)
9. Ballast water treatment Technology, 2010. Lloyds Register. London.
10. Baltic Sea Alien Species Database. Prieiga internetu: <http://www.corpi.ku.lt/nemoBWM> Convention and Guidelines. Prieiga internetu: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Pages/BWMConventionandGuidelines.aspx>
11. Блинов Э.К., Розенберг Г.Ш. Определение технического состояния корпусов морских судов, Техническое обслуживание и ремонт судов по состоянию: Справочник судостроения ,1992.
12. Čerka J. Laivo teorija. Klaipėda, 1997. ISBN 9986-505-62-3
13. David, M. Vessels and ballast water. Springer Science + Business Media Dordrecht, 2015.
14. Dažai ir lakai. Adhezijos bandymas atplėšiant (ISO 4624: 2002). Lietuvos standartizacijos departamentas.
15. Encyclopedia of earth. Prieiga per internetą: <http://www.eoearth.org>
16. EPA. 2000. Wastewater Tehnology Fact Sheet Dechlorination. Prieiga per internetą: [http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2002\\_06\\_28\\_mtb\\_dechlorination.pdf](http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2002_06_28_mtb_dechlorination.pdf)
17. Erma First. Prieiga per internetą: <http://ermafist.com/ballast-water/>
18. International Marine Coatings. Prieiga per internetą: <http://www.international-marine.com/marinehome.aspx>

19. IPPIC. Prieiga per internetą:  
<http://www.ippic.org/site/assets/docs/Public%20PSPC/TUV%20Comparison%20of%20test%20methods%20on%20coatings%20for%20water%20ballast%20treatment%20systems%20using%20chlorine%20and%20proposal%20for%20test%20methodology.pdf>
20. Классификация и причины возникновения дефектов в деталях судовых механизмов и конструкциях. (2012.12.13)  
[http://www.confcontact.com/2012\\_03\\_15/tn2\\_garkusha.php](http://www.confcontact.com/2012_03_15/tn2_garkusha.php)
21. Knöfel, D. Corrosion of building materials. – Florence: Van Nostrand Reinhold, 1978. – 107 p.
22. Latest Information of Approval of Ballast Water Management System, 2015. Prieiga per internetą:  
[https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/activities/statutory/ballastwater/approval\\_ballast\\_e.pdf](https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/activities/statutory/ballastwater/approval_ballast_e.pdf)
23. Lietuvos saugios laivybos administracija. Prieiga per internetą:  
<http://www.msa.lt/lt/naujienos/istaigos-naujienos/archive/p35/isigalios-nuostatos-del-7a9g.html>
24. Lloyd's Register. Ballast water treatment technology. Londonas, 2010.
25. Lloyd's Register. Prieiga per internetą: <http://www.lr.org/en/>
26. Matheickal, J., Raaymakers, S. 2003. Global Ballast Water Management Programme. R&D Symposium Treatment.
27. Meer, R. Ballast water risk assessment in the North Sea. Centrum voor Energie en Milieukunde, IVEM, 2012.
28. Новые лаколрасочные покрытия. (2012.11.27)  
<http://www.internevod.com/rus/academy/sci/04/novie.shtml>
29. Ocean Saver. „About Corrosion and Ballast Water Treatment Systems“ Prieiga per internetą:  
<http://www.atenanazionale.it/sezioni/napoli/2011/20110119shortaboutcorrosion.pdf>
30. Оценка компетентности лабораторий неразрушающего контроля: аттестация или аккредитация. (2012.12.17) <http://www.vestipb.ru/articles4481.html>
31. Плескунин В. И., Воронина Е. Д., Теоретические основы организации и анализа выборочных данных в эксперименте. Издательство Ленинградского университета, Ленинград, 1979.
32. Prieiga per internetą: <http://blog.lr.org>.
33. Prieiga per internetą : <http://events.nace.org/conferences/IMCS2008/papers/28.pdf>
34. Prieiga per internetą: <http://www.marineinsight.com>
35. Prieiga per internetą: <http://www.pkharbour.org>

36. Prieiga per internetą: <http://www.emsa.europa.eu>
37. SEA EUROPE SHIPBUILDING MARKET MONITORING REPORT 38 OF APRIL 2015, p.2
38. Stanelytė, D., Šateikienė, D. 2013. Laivo balastinio vandens valymo metodų analizė ir parinkimo kriterijai. Technologijos mokslai. Apžvalginiai. p. 138-142.
39. Status of Conventions. [žiūrėta 2016.05.29] Prieiga internetu:  
<http://www.imo.org/en/About/Conventions/StatusOfConventions/Pages/Default.aspx>
40. Understanding ballast water management, 2014. Lloyds Register. p.11,
41. Телянер Б. Е., Турмов Г. П., Финкель Г. Н. Технология ремонта корпуса судна. Судостроение. Ленинград, 1984.
42. Wei, C., Eliasson, J., Jansen, E., Wang, G., Basu, R. IMO PSPC implementation and 15 years of target useful coating life. Northchase Drive, Houston, Texas, 2011.
43. Защита от коррозии балластных танков морских судов. (2012.12.02)  
[http://www.tspc.ru/about/lit/zashita\\_ot\\_korrozii\\_ballastnih\\_tankov/](http://www.tspc.ru/about/lit/zashita_ot_korrozii_ballastnih_tankov/)