

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS

Jūrų technikos fakultetas

Laivo inžinerijos katedra

Arūnas Mikaločius

**TARNYBINŲ LAIVŲ KORPUSO LOKALAUŠ
KOROZINIO DILIMO TYRIMAS**

Laivų projektavimo ir statybos studijų programos
magistro baigiamasis darbas

Klaipėda, 2013

MAGISTRO BAIGIAMOJO DARBO LYDRAŠTIS

Pildo magistro baigiamojo darbo autorius

.....
(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė)

.....
(magistro baigiamojo darbo pavadinimas lietuvių kalba)

Patvirtinu, kad magistro baigiamasis darbas parašytas savarankiškai, nepažeidžiant kitiems asmenims priklausančių autorių teisių, visas baigiamasis magistro darbas ar jo dalis nebuvo panaudotas Klaipėdos universitete ir kitose aukštosiose mokyklose:

.....
(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė ir parašas)

Sutinku, kad magistro baigiamasis darbas būtų naudojamas neatlygintinai 5 m. Klaipėdos universiteto studijų procese:

.....
(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė ir parašas)

Pildo magistro baigiamojo darbo vadovas

Magistro baigiamąjį darbą ginti

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

.....
(data)

.....
(magistro baigiamojo darbo vadovo vardas, pavardė ir parašas)

Pildo katedros, kuriojančios studijų programą, administratorė

Baigiamasis darbas įregistruotas katedroje

(data)

.....
(katedros administratorės vardas, pavardė ir parašas)

Pildo Laivo inžinerijos katedros, kuriojančios studijų programą, vedėjas

Magistro baigiamąjį darbą ginti

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

.....
(data)

.....
(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

Recenzentais skiriu

(įrašyti recenzento vardą,
pavardę)

.....
(įrašyti recenzento vardą,
pavardę)

.....
(data)

.....
(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

SANTRAUKA

Mikaločius A. Laivų projektavimo ir statybos studijų programos magistro baigiamasis darbas. Darbo vadovė R. Mickevičienė, Klaipėdos universitetas, Jūrų technikos fakultetas: Klaipėda, 2013.

Magistro baigiamajame darbe analizuojamas vienos serijos šiaurės jūroje esančios naftos platformos budinčių, saugos laivų korpuso korozinis dilimas dešimtajame užbortinio vandens balastiniame tanke ir jo priežastys, pateikiami defektacijos metodai, vertinami eksperimentinių matavimų metu gauti rezultatai.

Baigiamasis darbas susideda iš teorinės, eksperimentinės ir praktinės dalies. Teorinėje dalyje apžvelgti moksliniai straipsniai korozijos tema, laivo korpuso nusidėvėjimo problemos, apžvelgti klasifikacinių bendrovių reikalavimai laivo korpuso būklei, išnagrinėtos laivo korpuso remonto technologijos.

Eksperimentinėje dalyje pateikti vienos serijos šiaurės jūroje esančios naftos platformos budinčių, saugos laivų dešimtojo užbortinio vandens balastinio tanko išilginės pertvaros liekamojo storio matavimo ultragarsiniu stomačiu rezultatai, palyginti matavimų duomenys su kitų tos pačios serijos laivų duomenimis, nustatyta, kad korozinis išdilimas pasireiškęs visuose tos pačios serijos laivuose toje pačioje konstrukcijos vietoje.

Praktinėje baigiamojo darbo dalyje atlikti skaičiavimai, siekiant nustatyti korozinio dilimo priežastį toje pačioje vietoje vienos serijos laivuose. Gauti duomenys buvo palyginti su kitais tos pačios serijos laivais tam, kad būtų įmanoma išanalizuoti dilimo priežasčių atsiradimą ir pateikti bendras išvadas.

SUMMARY

Mikaločius A. Ship design and construction of master's degree thesis. Labour leader R. Mickevičienė, University, Faculty of Marine Engineering: Klaipeda, 2013th.

Master's thesis analyzed a series of North Sea oil platform located on duty, safety hull corrosion wear tenth seawater ballast tank and the reasons presented fault detection techniques, measured experimental results obtained during the measurement. The final work consists of theoretical, experimental and practical parts.

The theoretical part of an overview of scientific articles corrosion issue, hull wear and tear issues, a review of the classification societies requirements for hull condition, examining the hull repair technology.

The experimental section presents a series of North Sea oil platform located on duty, the safety of ships tenth seawater ballast tank residual longitudinal septum thickness measurement by ultrasonic callipers results of the measurements are compared with other ships of the same series, it was found that the corrosion abrasion occurred in all of the series the border board in the same construction spot.

The practical part of the calculations to determine the cause of corrosion wear the same site of a series of ships. The data obtained were compared with others of the same series ships in order to analyze the possible reasons for the appearance of wear and make general conclusions.



Laivų projektavimo magistro studijų (621H52001) baigiamasis darbas

Užduotis studentui:Arūnas Mikaločius.....

Temos pavadinimas: TARNYBINŲ LAIVŲ KORPUSO LOKALAUŠ KOROZINIO DILIMO TYRIMAS.....

Darbo sudėtis

Įvadas

Darbo tikslas ir uždaviniai

Analitinė dalis, skirta laivų konstrukcijų korozinio dilimo priežastims ir prevencijos apžvalgai.

Eksperimentinė dalis, skirta eksperimentinių duomenų surinkimo metodų ir priemonių apžvalgai bei duomenų analizei.

Gautų duomenų statistinis palyginimas bei vertinimas.

Išvados ir rekomendacijos

Literatūra

Priedai

Darbo vadovas (-ė):

(vardas, pavardė, parašas)

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 Lentelė. Koefficiento a reikšmės , kai kuriems metalams ir lydiniams.....	24
2 Lentelė.Laivo "Grampian Sprite" išilginės pertvaros storio matavimų vertinimas.....	43
3 Lentelė. Laivo "Grampian Haven" išilginės pertvaros storio matavimų vertinimas.....	45
4 Lentelė. Laivo "Grampian Venture" išilginės pertvaros storio matavimų vertinimas.....	47
5 Lentelė. Laivo "Grampian Falcon" išilginės pertvaros storio matavimų vertinimas.....	49
6 Lentelė. Ryšys pagal defekto gylį ir defekto vietą.....	59
7 Lentelė. Atsitikrinių dydžių vertinimo rodiklių reikšmės.....	60
8 Lentelė. Nusidėvėjimo gylio pasikartojimo dažnis.....	60
9 Lentelė. Nusidėvėjimo gylio pasikartojimo dažnis.....	60
10 Lentelė. Atsitikrinių dydžių vertinimo rodiklių reikšmės.....	62
11 Lentelė. Nusidėvėjimo gylio pasikartojimo dažnis.....	62
12 Lentelė. Nusidėvėjimo gylio pasikartojimo dažnis.....	62
13 Lentelė. Atsitikrinių dydžių vertinimo rodiklių reikšmės.....	64
14 Lentelė. Nusidėvėjimo gylio pasikartojimo dažnis.....	64
15 Lentelė. Nusidėvėjimo gylio pasikartojimo dažnis.....	64
16 Lentelė. Atsitikrinių dydžių vertinimo rodiklių reikšmės.....	66
17 Lentelė. Nusidėvėjimo gylio pasikartojimo dažnis.....	66
18 Lentelė. Nusidėvėjimo gylio pasikartojimo dažnis.....	66
19 Lentelė.. Atsitikrinių dydžių vertinimo rodiklių reikšmės.....	68
20 Lentelė. Nusidėvėjimo gylio pasikartojimo dažnis.....	68
21 Lentelė. Nusidėvėjimo gylio pasikartojimo dažnis.....	68
22 Lentelė.. Tikimybės, kad sienelės storis mažesnis už ribinę reikš.....	70
23 Lentelė.Defekto gylio santykiniai dažniai.....	70

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Laivas "Grampian Sprite".....	14
2 pav. Laivas "Grampian Haven".....	15
3 pav. Laivas "Grampian Venture".....	16
4 pav. Laivas "Grampian Falcon".....	17
5 pav. Laivo elektrokoroziija esant vienalaidei elektros tiekimo schemai.....	25
6 pav. Laivo elektrokoroziija esant vienalaidei elektros.....	25
7 pav. laivo elektrokoroziija esant elektros tiekimui dviem.....	25
8 pav. Laivo elektrokoroziija atliekant suvirinimo darbus krante su vienalaide schema.....	26
9 pav. Drenažinių laidų veikimo schema.....	27
10 pav. Leistinas potencialų skirtumas tarp laivo korpuso ir gretimo objekto ir vandens sūrumo kvatorijoje.....	27
11 pav. principinė sauso elemento schema.....	28
12 pav. Elektrocheminė koroziija.....	29
13 pav. Purbe diagramos cinkui.....	39
14. pav. Mikrokorozinių galvaninių elementų susidarymo priežastys ir jų tipai.....	30
15 pav. Anodinės (1) ir katodinės (2) poliarizacijos priklausomybė nuo srovės dydžio.....	31
16 pav. Metalų katodinės (a, b) ir anodinės (c) poliarizacijos elektrolituose principinės kreivės.....	33
17 pav. Ultragarsinio stormačio veikimo principas.....	36
18 pav. Ultragarsinis storio matuoklis.....	37
19 pav. Ultragarsinio storio matuoklio kalibravimas.....	38
20 pav. Laivo korpuso pjūvio ultragarsinių storio matavimų schema.....	39
21 pav. Trijų taškų lakšto storio matavimo schema.....	39
22 pav. Septynių taškų matavimo schema.....	40
23 pav. Laivų serijos išilginės pertvaros matavimų schema.....	41
24 pav. Laivo "Grampian Sprite" išilginės pertvaros remontas kairiajame borte.....	42
25 pav. Laivo "Grampian Sprite" išilginės pertvaros remontas dešiniajame borte.....	43
26 pav. Laivo "Grampian Haven" išilginės pertvaros remontas kairiajame borte.....	44
27 pav. Laivo "Grampian Haven" išilginės pertvaros remontas dešiniajame borte.....	45
28 pav. Laivo "Grampian Venture" išilginės pertvaros remontas kairiajame borte.....	46
29 pav. Laivo "Grampian Venture" išilginės pertvaros remontas dešiniajame borte.....	47
30 pav. Laivo "Grampian Falcon" išilginės pertvaros remontas kairiajame borte.....	48
31 pav. Laivo "Grampian Falcon" išilginės pertvaros remontas dešiniajame borte.....	49
32 pav. Laivų serijos tankų išdėstymas laive.	50

33 pav. Nuotraukoje matomas laivo "Grampian Falcon" kairiojo borto dešimtojo tanko išilginės pertvaros korozinis nusidėvėjimas.....	51
34 pav. Elektros įrenginių schema ant išilginės pertvaros.....	51
34 pav. Požymio histograma ir poligonas.....	54
35 pav. Parametro x sutikimas su specifikacija.....	55
36 pav. Bandymo duomenų sklaidos diagrama.....	56
37 pav. Reikšmių dažnių pasiskirstymo histograma dešiniajame borte.....	61
38 pav. Reikšmių dažnių pasiskirstymo histograma kairiajame borte.....	61
39 pav. Reikšmių dažnių pasiskirstymo histograma kairiajame borte.....	63
40 pav. Reikšmių dažnių pasiskirstymo histograma dešiniajame borte.....	63
41 pav. Reikšmių dažnių pasiskirstymo histograma kairiajame borte.....	65
42 pav. Reikšmių dažnių pasiskirstymo histograma dešiniajame borte.....	65
43 pav. Reikšmių dažnių pasiskirstymo histograma kairiajame borte.....	67
44 pav. Reikšmių dažnių pasiskirstymo histograma dešiniajame borte.....	67
45 pav. Reikšmių dažnių pasiskirstymo histograma kairiajame borte.....	69
46 pav. Reikšmių dažnių pasiskirstymo histograma dešiniajame borte.....	69

TURINYS

IVADAS	11
TYRIMO OBJEKTAI IR JŲ DUOMENYS	14
1. KOROZIJOS PROBLEMA LAIVUOSE	18
1.1 Fizikiniai - cheminiai laivo korpuso dilimo būdai.....	18
1.2 Metalų korozijos rodikliai.....	22
1.3 Korozija dėl klaidžiojančios elektros srovės.....	23
1.4 Elektrocheminė korozija.....	27
1.4.1 Elektrocheminės korozijos mechanizmas.....	29
1.4.2 Elektrodinių procesų poliarizacija.....	31
1.4.3 Poliarizacijos reiškinių panaudojimas apsaugai nuo elektrocheminės korozijos.....	32
1.4.4 Metalo saugos nuo korozijos būdai.....	33
2. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI	36
2.1 Tyrimų įranga.....	36
2.2 Korpuso liekamojo storio nustatymo schema.....	38
2.3 Eksperimentinio tyrimo rezultatai.....	41
2.2 Keturių vienos serijos laivų dešimtojo balastinio tanko išilginės pertvaros remonto schemos ir išsidėvėjimo duomenys.....	42
3. TYRIMO DUOMENŲ STATISTINIS VERTINIMAS IR METODIKA	52
3.1 Statistinio tyrimo sąlygos.....	52
3.1.1 Išankstinis bandymų duomenų paruošimas.....	52
3.1.2 Nepatikimų imties reikšmių patikrinimas.....	53
3.1.3 Pasiskirstymo dažnių histograma.....	53
3.1.4 Normalaus pasiskirstymo hipotezės tikrinimas.....	54
3.1.5 Technikos objekto specifikacija ir jo statistinės charakteristikos.....	55
3.1.6 Porinės priklausomybės.....	56
3.1.7 Porinė koreliacija. Porinės koreliacijos ir regresijos statistinis įvertinimas.....	58
3.2 Visų laivų porinės koreliacijos ir regresijos statistinis vertinimas.....	59
3.2.1 Laivo "Grampian Sprite" duomenų statistinis įvertinimas.....	60
3.2.2 Laivo "Grampian Haven" duomenų statistinis įvertinimas.....	62
3.2.3 Laivo "Grampian Venture" duomenų statistinis įvertinimas.....	64
3.2.4 Laivo "Grampian Falcon" duomenų statistinis įvertinimas.....	66
3.2.5 "Grampian" serijos laivų duomenų statistinis įvertinimas.....	68

3.2.6 "Grampian" serijos laivų likutinio storio vertinimas	70
IŠVADOS	71
LITERATŪRA	71

IVADAS

Tarnybinis naftos platformas aptarnaujantis laivas (Safety Standby Vessel) - tai naftos platformas aptarnaujantis laivas budintis aplink naftos platformą, operatyviai reaguojantis į pranešimus apie avariją naftos platformoje ar šalia jos. Šie laivai dar panaudojami nedidliam kroviniui pristatyti, tokiam kaip maistas, būtiniosios priemonės, atsarginės dalys, įgulos pamaina ar aptarnaujančių specialistų pristatymas į platformą ir iš jos. Budintis saugos laivas vykdo gelbėjimo operacijas įvairiais avarijos atvejais, talpina iki 100 išgelbėtų žmonių, suteikiamos saugios ir šiltos sąlygos, pilnas pirmosios pagalbos inventorių, turi išorinius gaisro gesinimo įrenginius vandeniui ir putomis, įrengta hidraulinė strėlė nuleidžianti greito reagavimo katerį talpinantį iki 20 žmonių.

Pagrindinės jūrinio laivo korpuso pažeidimų priežastys yra korozinis ir erozinis dilimas, susilpninantis konstrukcijas. Taip pat nereti ir eksploataciniai bei avariniai korpuso pažeidimai. Eksploataciniai korpuso pažeidimai (įtrūkimai, deformacijos) atsiranda eksploatuojant laivą sunkiomis laivybos sąlygomis. Avariniai – įvairių avarių metu (susidūrus laivams, sėdus jiems ant seklumos, dėl sprogimų ar gaisrų). Eksploataciniai pažeidimai gali atsirasti dėl ledų poveikio intensyvios navigacijos arktinėse trasose, padidėjusių laivų greičių jose, slemingo, denio užpylimo, korpuso vibracijos, vietinės korpuso konstrukcijų perkrovos. Visi pažeidimai nustatomi periodinės laivo apžiūros metu, o šalinami specializuotose laivų remonto įmonėse.

Techninę laivo korpuso priežiūrą gali atlikti organizacija, pripažinta klasifikacinės bendrovės, turinti atitinkamą sertifikatą ir atestuotus specialistus. Pažeisto korozijos korpuso likutinio storio matavimus gali atlikti ir klasifikacinių bendrovių inspektoriai.

Laivo korpuso defektacija yra brangi ir techniškai sunkiai vykdoma, reikalauja aukšto lygio specialistų ir techniškai sudėtingų įrenginių panaudojimo. Taip pat reikalauja laivo eksploatacijos sustabdymo, kas mažina įmonės gaunamas pajamas.

Laivo rentabilumui padidinti aktualia laikoma laivo korpuso likutinio storio matavimo analizė bei korpuso einamojo nusidėvėjimo metodikos kūrimas. Naudojantis sukurta statistinių duomenų baze, galima įvertinti ir prognozuoti išorinio korpuso nusidėvėjimą laivams, kurių eksploatacijos laikotarpis yra didesnis nei 20 metų, taip pat priimti galutinį sprendimą dėl laivo tolimesnio eksploatavimo, remonto arba nurašymo.

Korozija veikia visus juoduosius metalus ir kai kuriuos spalvotuosius metalus: aliuminį, varį, magnį ir kt. Korozija yra ypač aktuali problema komponentų iš juodųjų metalų patikimumui. Koroziją gali pagreitinti aplinkos cheminis užterštumas, pvz., padidėjęs druskos kiekis jūros pakrantės ore.

Korozija - tai oksidavimosi procesas. Kai kurių metalų, pvz., aliuminio oksidai suformuoja labai kietą paviršiaus sluoksnį ir taip apsaugo pagrindinį metalą nuo tolesnės oksidacijos. Tačiau

juodieji metalai nepasižymi tokia savybe, todėl juodųjų metalų korozija yra nenutrūkstamas procesas, o daroma žala vis didėja.

Galvaninė korozija yra viena iš korozijos rūšių. Ši korozija pasireiškia tada, kai kontaktuoja du skirtingi metalai. Tada ant metalų paviršiaus susiformuoja skirtingi potencialai ir susidaro sąlygos tekėti elektros srovei. Vėliau kontakto zonoje susiformuoja metalų mišinio (korozijos produkto) plėvelė ir paskatina kitų nepageidautinų cheminių procesų tarp kontaktuojančių paviršių suaktyvėjimą. Elektrolitinė korozija pasireiškia elektros ir elektronikos sistemose.

Korozija silpnina metalų paviršių ir tuo palengvina mikroįtrūkimų atsiradimą, veikiant išorinėms darbinėms apkrovoms.

Projektuojant laivą korozijos poveikį galima sumažinti šiais metodais:

1. parinkti tinkamas medžiagas;
2. parinkti paviršiaus apsaugos būdus, tokius kaip dažymas, cinkavimas, chromavimas, nikeliavimas, taip pat užtepimas tepalo sluoksniu;
3. parinkti papildomas apsaugos nuo aplinkos poveikio priemones vykdant apsaugos procedūras, pvz., džiovinimą;
4. vengti situacijų, kai gali pasireikšti galvaninė ar elektrolitinė korozija.

Tinkama priežiūra yra svarbiausia priemonė, užtikrinant korozijos veikiamų komponentų patikimumą.

Baigiamojo darbo objektas: Keturi vienos serijos tarnybiniai naftos platformas aptarnaujantys laivai: „Grampian Falcon“, „Grampian Haven“, „Grampian Sprite“, „Grampian Venture“.

Baigiamojo darbo temos aktualumas: Atlikus keturių vienos serijos laivų visų korpuso konstrukcijų ultragarsinis likutinio storio matavimus, nustatyta, kad dešimto užbortinio vandens balastinio tanko išilginės pertvaros korozinis išdilimas nebeatitinka eksploatacinių normų. Tokia situacija visuose keturiuose laivuose. Tokie lokalūs specifiniai koroziniai išdilimai laivų serijai reikalauja analizės ir prevencinių sprendimų.

Baigiamojo darbo tikslas: remiantis atliktų matavimų rezultatais, atlikti naftos platformas aptarnaujančių laivų korozinio dilimo analizę, tyrimą, išnagrinėti nusidėvėjimo priežastis ir nustatyti kokią prevenciją taikyti.

Baigiamojo darbo uždaviniai:

- Išnagrinėti korozijos problemą laivuose.
- Nustatyti tyrimo objektų korozinio dilimo priežastis.
- Išnagrinėti ultragarsinio storio matavimo prietaiso veikimo principą.
- Atlikti reglamentuotų klasifikacinių bendrovių laivo korpuso likutinio storio matavimų taisyklių analizę.

- Remiantis gautais eksperimentinių objektų tyrimų duomenimis, atlikti laivų lokalaus specifinio korozinio išdilimo palyginimą ir vertinimą.
- Atlikti gautų rezultatų statistinę analizę.
- Pateikti išvadas ir rekomendacijas kaip pristabdyti laivų serijos korozinį dilimą.

TYRIMO OBJEKTAI IR JŲ DUOMENYS

Laivas "Grampian Sprite"



1 pav. Laivas "Grampian Sprite"

Pagrindiniai laivo duomenys:

Laivo tipas: Naftos platformas aptarnaujantis laivas

Plaukiojimo rajonas: Šiaurės jūra

Vėliava: Jungtinė Karalystė

Statykla: Glasgow, Jungtinė Karalystė.

IMO: 8104345

Pastatymo metai: 1983 m.

Bendras ilgis L: 52 m.

Plotis B: 11 m.

Grimzlė: 3,6 m.

Vandentalpa: 766 t.

Dedveitas: 955 t.

Max. greitis: 8,1 knt.

Laivas "Grampian Haven"



2 pav. Laivas "Grampian Haven"

Pagrindiniai laivo duomenys:

Laivo tipas: Naftos platformas aptarnaujantis laivas

Plaukiojimo rajonas: Šiaurės jūra

Vėliava: Jungtinė Karalystė

Statykla: Glasgow, Jungtinė Karalystė.

IMO: 8104321

Pastatymo metai: 1982 m.

Bendras ilgis L: 52 m.

Plotis B: 11 m.

Grimzlė: 3,6 m.

Vandentalpa: 769 t.

Dedveitas: 949 t.

Max. greitis: 7,8 knt.

Laivas "Grampian Venture"



3 pav. Laivas "Grampian Venture"

Pagrindiniai laivo duomenys:

Laivo tipas: Naftos platformas aptarnaujantis laivas

Plaukiojimo rajonas: Šiaurės jūra

Vėliava: Jungtinė Karalystė

Statykla: Glasgow, Jungtinė Karalystė.

IMO: 8104333

Pastatymo metai: 1982 m.

Bendras ilgis L: 52 m.

Plotis B: 11 m.

Grimzlė: 3,6 m.

Vandentalpa: 766 t.

Dedveitas: 955 t.

Max. greitis: 8,6 knt.

Laivas "Grampian Falcon"



4 pav. Laivas "Grampian Falcon"

Pagrindiniai laivo duomenys:

Laivo tipas: Naftos platformas aptarnaujantis laivas

Plaukiojimo rajonas: Šiaurės jūra

Vėliava: Jungtinė Karalystė

Statykla: Glasgow, Jungtinė Karalystė.

IMO: 8104319

Pastatymo metai: 1982 m.

Bendras ilgis L: 52 m.

Plotis B: 11 m.

Grimzlė: 3,6 m.

Vandentalpa: 769 t.

Dedveitas: 949 t.

Max. greitis: 7,2 knt.

1. KOROZIJOS PROBLEMA LAIVUOSE

1.1 Fizikiniai - cheminiai laivo korpuso dilimo būdai

Korozinis dilimas (nusidėvėjimas) suprantamas kaip statybinių matmenų (metalo storio) sumažėjimas laikui bėgant.

Laivo korpusas – tai sudėtingas inžinerinis įrenginys, kuris pastatymo, eksploatacijos ir remonto metu veikiamas daugelio išorinių jėgų. Eksploatacijos metu prie tokių jėgų galima priskirti vandens slėgio poveikį, užplaukus laivui ant seklos, įvykus laivo susidūrimui su laivu arba koku nors plaukiojančiu objektu, švartavimo operacijų metu ir kt. Taip pat nemažą poveikį sudaro ir elektrocheminė, cheminė korozija bei supančios aplinkos biologinis poveikis. Esant išoriniams poveikiams, atsiranda įvairiausi korpusinių konstrukcijų defektai. Jų intensyvumas ir greitis priklauso nuo konstrukcijų kokybės. Visa defektų aibė skirstoma į dvi dalis: dilimas ir pažeidimai. (Гуральник Б. 2001)

Erozinis dilimas – tai mechaninis nusidėvėjimas, kai laivo korpusą veikia vandens tekėjimo ir dujų slėgis. Dažniausiai atsiranda laivagalyje, sraigto komplekso dalyje.

Abrazyvinis dilimas atsiranda dėl laivo korpuso susilietimo su jūros dugnu, krantinių įrenginiais arba šliuzu. Tokio pobūdžio defektas atsiranda ant laivo dugno, dažniausiai randamas ant laivų, kurie eksploatuojami sekliuose plaukiojimo rajonuose, upėse, ežeruose, įlankose. Taip pat tokio tipo defektus galima aptikti ant borto, laivuose, kurie dažnai plaukioja per šliuzus.

Korozinis-mechaninis dilimas atsiranda mechaninių jėgų sąveikoje su cheminiu arba elektrocheminiu poveikiu.

Dažniausiai nusidėvėjimas pasireiškia esant korozijos reiškiniams, todėl darbe yra nagrinėjamas laivo korpuso konstrukcijų dilimas dėl korozijos poveikio bei priežastys, darančios įtaką šiam procesui. Korozijos atsiradimas laivo korpuse ir 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. (Блинов Э.К, 1994)

Pagal veikimo charakterį korozijos procesus galima išskirti į du tipus: cheminę ir elektrocheminę.

Cheminė korozija gali vykti mašinų įrenginių skyriuose ir įrengimuose, kur nėra drėgmės. Ji vyksta metalams sąveikaujant su sausosiomis dujomis ir nelaidžiais elektros srovei skysčiais. 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.

Elektrocheminė korozija - tai metalų irimas laidžioje elektros srovei aplinkoje, kai susidaro galvaninės poros, vadinamos koroziniais galvaniniais elementais, pavyzdžiui, metalų irimas drėgname ore, jūros vandenyje, grunte, rūgščiu, šarmų ir druskų tirpaluose. Tokias galvanines poras gali sudaryti du metalai arba metalas ir jo priemaiša (pvz., anglis metale). 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 duobutės.

Veikiant daugeliui išorinių ir vidinių faktorių, vyksta nuolatinis katodinių ir anodinių vietų pasikeitimas. Keičiantis įtempimų koncentracijai laivo korpuse, 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.

Dujinė korozija – metalų korozija dujose, esant aukštoms temperatūroms (pvz. anglies komponento pliene netekimas ar oksidacija kaitinant).

Atmosferinė korozija – korozija ore, metalo paviršiuje susikaupus kondensatui arba susidarius labai plonai vandens plėvelei. Arba metalų korozija oro atmosferoje, drėgnų dujų atmosferoje (pvz. plieninių konstrukcijų rūdijimas atviraime ore ar sandėlyje).

Korozija neelektrolitų tirpaluose: brome, išlydytoje sieroje, organiniuose tirpikliuose, skystame kure.

Korozija elektrolitų tirpaluose:

- rūgštiniame, šarminame, druskiname (skystose) terpėse,
- jūros ar upių vandenyje,
- išlydytose druskose ir šarmuose.

Priklausomai nuo vykimo sąlygų korozija vyksta skirtingai maišant ir nemišant terpę, pilnai ar nepilnai patalpinant metalą į terpę.

Požeminė korozija – metalų korozija dirvose, gruntuose (pvz. plieninių vamzdžių rūdijimas žemėje).

Biokorozija – metalų korozija mikroorganizmų gyvybinės veiklos įtakoje (pvz. plieno korozijos paūmėjimas grunte dėl sulforedukuojančių bakterijų poveikio)

Korozija, veikiant elektros srovei (išorinei ar klaidžiojančioms elektros srovėms)

Kontaktinė korozija – elektrocheminė korozija dėl metalų, turinčių skirtingus potencialus elektrolite, kontakto (pvz. plieno plokštės, vario kniedės).

Įtrūkinė (plyšinė) korozija – korozijos paūmėjimas metalų plyšiuose, nesandariuose

kontaktuose su inertine medžiaga).

Įtempties korozija – korozijos paūmėjimas kartu veikiant korozinei terpei ir mechaniniams įtempimams.

Kavitacinė korozija – metalo suardymas dėl korozijos ir smūginio poveikio skysčio turbulentiame sraute.

Erozinė korozija – metalo irimas kartu veikiant korozijai ir trinčiai.

Vibracinė korozija – metalo korozijos paūmėjimas dėl vibracijos poveikio.

Pagal metalo suardymo pobūdį korozija klasifikuojama:

- Ištisinė arba bendra korozija, apimanti visą metalo paviršių. Ištisinė korozija gali būti tolygi, netolygi ir išrankinė (selektyvioji).

- Tolygi korozija viso metalo paviršium vyksta vienodu greičiu (pvz. anglinio plieno korozija H_2O_4 tirpaluose; plieno lakštų rūdijimas sandėliuose).

- Netolygios korozijos greitis nevienodas metalo paviršiuje (pvz. anglinio plieno korozija jūros vandenyje).

- Selektvios korozijos atveju suyra viena lydinio struktūrinė komponentė (pvz. ketaus grafitizacija).

Dėmėtoji korozija – metalas suardomas atskirose vietose negiliai ir užima didelį metalo paviršiaus plotą.

Žaizdinė korozija – charakteringi pakankamai gilūs metalo pakenkimai nedideliame plote.

Taškinė (pitinginė) korozija – (charakteringas atskirose vietose taškinis suardymas, galintis pereiti į kiauryminį suirimą)

Kiauryminė korozija metalo suardymas kiaurai – tai taškinės ar žaizdinės korozijos paūmėjimo forma.

Siūlinė korozija – siūlo formos suirimai atsiranda metalo paviršiuje po apsauginėmis dangomis, pvz po lako danga.

Popaviršinė korozija – korozija prasideda metalo paviršiuje, bet procesas vyksta po metalo paviršiumi, korozijos produktai susikaupia metalo viduje, todėl metalas gali išsipūsti, sueižėti.

Tarpkristalinė korozija – charakteringa selektyvi korozija pagal metalo kristalų sienelės, korozijos priežastis – padidintas kristalų sienelių tirpimo greitis, todėl suyra kristalo struktūra.

Peilinė korozija – tarpkristalinės korozijos atvejis, kai atsiranda peilio pavidalo plyšys prie suvirinimo zonos.

Korozinis sueižėjimas – veikiant korozinei terpei ir mechaniniams įtempimams metalo viduje susidaro transkristaliniai ar interkristaliniai plyšiai.

Korozinis trapumas – veikiant korozinei terpei metalas įgauna trapumą ir gali suirti net be mechaninės jėgos poveikio, pvz. plienas sieros vandenilio aplinkoje įgauna vandenilinį trapumą.

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.

Vietinė korozija atsiranda tik atskirose laivo konstrukcijos vietose. 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.

Jūros vandenyje yra 3,5-4,0% druskų (NaCl -78% ir MgCl₂- ~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.

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.

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/(m² val.), o zonoje, kurios nesiekia purlai ir bangos, - 0,01-0,05 g/(m² val.). [Paulauskas V.,2008]

1.2 Metalų korozijos rodikliai

Korozijos procesas gali būti įvertintas kokybiškai, kai vizualiai įvertinamas korozijos židinių atsiradimas, jų paplitimas, spalva. Gali būti įvertintas laikas iki pirmo korozijos židinio atsiradimo, korozijos žaizdų ar taškų skaičius ploto vienetu.

Vizualiniams metodams priskiriamas klasikinis cheminis metodas, kai specialiu reagentu išryškinama koroduojanti anodo zona ir katodiniai plotai. Šis būdas taikytinas ir vamzdžių suvirinimo siūlių tinkamo metalo parinkimui ir kontrolei.

Korozijos procesas kiekybiškai įvertinamas dviem pagrindiniais rodikliais – korozijos nuostoliai ir korozijos greitis.

Korozijos nuostoliais vadinami visi ekonominiai ir medžiaginiai nuostoliai dėl korozijos arba metalo kiekis m , virstantis korozijos produktu, paskaičiuotas sukorodavusio paviršiaus plotui S :

$$N = \frac{\Delta m}{s}, \quad (1)$$

Korozijos greitį galima įvertinti tiesiogiai ir netiesiogiai. Korozijos greitis nustatomas pagal metalo savybių pasikeitimą ar pagal korozijos procesą lydinčių faktorių kitimą per laiko tarpą (sekundes, valandas, metus).

Tiesioginiu būdu nustatomi šie dydžiai:

1. Bandinio masės pokytis (Δm) per laiką

$$K_m = \frac{\Delta m}{s \tau}, \quad (2)$$

2. Išsiskyrusių (absorbuotų)dujų tūris (Δv) per laiką:

$$K_v = \frac{\Delta v}{s \tau}, \quad (3)$$

Pvz., rūgštinėje terpėje (HCl) išsiskiria vandenilio (H_2) dujos, neutralioje terpėje sugeriamas (absorbuojamas) iš tirpalo deguonis (O_2).

3. Korozinio suardymo gylis (įsiskverbimas) π :

$$K_\pi = \frac{\pi}{\tau}, \quad (4)$$

Be to, galima stebėti korozijos židinių atsiradimo laiką τ , bandinio visiško suirimo laiką ir t. t. Tarp masinio (svorinio) korozijos greičio rodiklio ir giluminio rodiklio, esant tolygiai korozijai, nustatyta priklausomybė (geležiai):

$$K_{\pi} = \frac{8.76K_m}{\rho_{Me}}, \quad (5)$$

čia ρ_{Me} – metalo tankis

Elektrocheminės korozijos atveju korozijos greitį charakterizuoja tekanti korozinė srovė, kuri nulemia metalo kiekio perėjimą į tirpalą anodinio proceso metu. Pagal Faradėjaus dėsnį:

$$m = \frac{QA_{Me}}{Fn} = \frac{I\tau A_{Me}}{Fn} \quad (6)$$

kur Q elektros srovės kiekis kulonais, pratekantis tarp anodinės ir katodinės srities per laiką τ

Korozijos masinis (svorinis) greitis yra lygus:

$$K_m = \frac{\Delta m}{s\tau} = \frac{IA}{Fns} \quad (7)$$

čia: I – srovės stiprumas (amperai)

F – Faradėjaus konstanta

n – metalo valentingumas

A_{Me} – metalo atominė masė

s – anodinių sričių plotas m^2

τ – korozijos laikas (3600sek= 1 val.).

Korozijos giluminis rodiklis gali būti įvertintas balais (nuo 1 iki 10), atitinkamai įsiskverbimo gyliui, nurodant metalo atsparumo grupę.

Apie korozijos greitį galima spręsti ir iš kitų savybių pasikeitimo, pvz., mechaninių (stiprumo ribos), elektrinės varžos, laidumo ir pan.

Korozijos greičio nustatymui ir įvertinimui reikalinga turėti papildomą informaciją:

Korozijos standartai ir korozijos greičio nustatymo prietaisai. [Жук Н.И., 1976]

1.3 Korozija dėl klaidžiojančios elektros srovės

Elektrokoroziija - elektrostatinis metalo tirpimas esant anodinei poliarizacijai veikiant elektros srovei nuo išorinio šaltinio.

Metalinių konstrukcijų elektrokoroziija atsiranda esant elektros srovės nutekėjimui nuo metalo paviršiaus į srovei laidžią aplinką. Atsiradus elektros tekėjimui, o taip pat veikiant klaidžiojančioms elektros srovėms. Pirmuoju atveju, objektas turi kontaktą su teigiamu srovės

šaltinio poliu, antruoju atveju objektas neturi kontakto su srovės šaltiniu, bet randasi klaidžiojančių elektros srovių lauke. [В.Д. Пирогов, 2002]

1.3.1. Elektrokorozija veikiant nutekančioms srovėms

Anodinio metalo tirpimo intensyvumas yra nustatomas pagal Faradėjaus dėsnį.

$$K_a = ai_a \quad (8)$$

čia K_a – anodinio metalo tirpimo greitis, mm/metai;

a – koeficientas, $\text{mm} \cdot \text{m}^2 / \text{A} \cdot \text{metai}$;

i_a – anodinės poliarizacijos srovės tankis, A/m^2 ;

A – srovės stiprumas amperais.

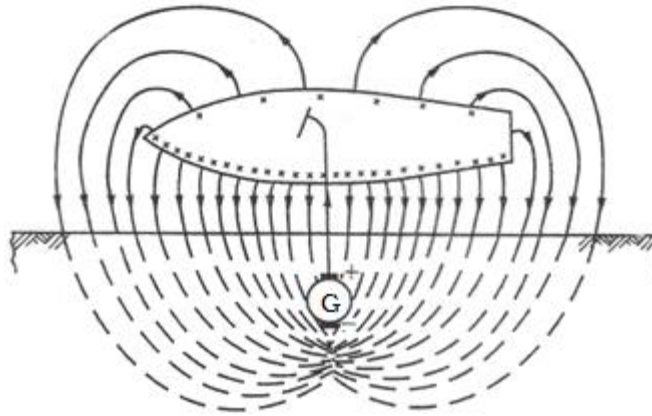
Koeficiento a reikšmės, kai kuriems metalams ir lydiniams

1 Lentelė

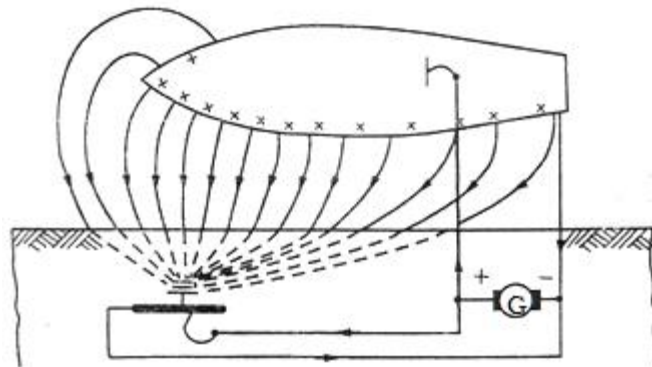
Medžiaga	Reikšmė, a
anglinis plienas	1,14
aliuminis	1,1
varis	2,35
cinkas	1,5
titanas	0,87
korozijai atsparus plienas 18 – 8	1.1

Kaip matome iš formulės (8) elektrokorozijos greitis yra tiesiogiai proporcingas anodinės poliarizacijos srovės tankiui ir esant realiam srovės tankiui objekto povandeniniame arba požeminiame paviršiuje korozijos greitis gali dešimt kartų padidėti palyginus su natūralia korozija. Pavyzdžiui, esant anodinių srovių tankiui paviršiuose $5 \text{ A}/\text{m}^2$ metalo tirpimo su natūralia korozija jūros vandenyje. Todėl, kad anodinės srovės koncentruojasi paviršiuje su pažeistų dažų sluoksniu, tas veda prie intensyvių vietinių korozinių metalo irimų.

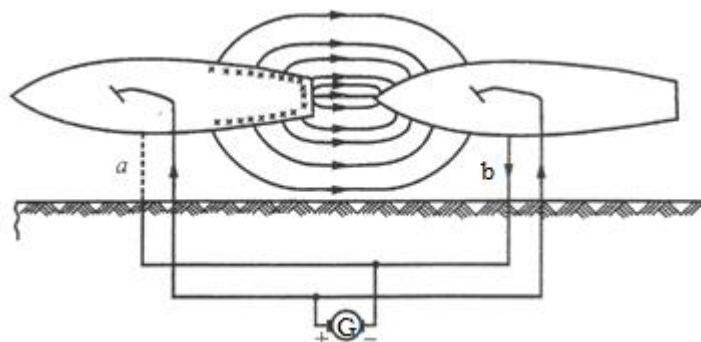
Labiausiai pavojingas elektros tiekimo taisyklių pažeidimas yra vienalaidė elektros srovės tiekimo schema naudotojams, pagrindiniai tai suvirinimo darbai. (pav. 5). [В.Д. Пирогов, 2002]



5 pav. Laivo elektrokoroziija esant vienalaidei elektros tiekimo schemai: ženklų (+) pažymėtos anodinės poliarizacijos vietos. [В.Д. Пирогов, 2002]



6 pav. Laivo elektrokoroziija esant vienalaidei elektros tiekimo schemai laive ir krante nuo vieno srovės šaltinio. [В.Д. Пирогов, 2002]



7 pav. Laivo elektrokoroziija esant elektros tiekimui dviem laivams nuo vieno maitinimo šaltinio pažeidžiant minusinio laido kontaktą. [В.Д. Пирогов, 2002]

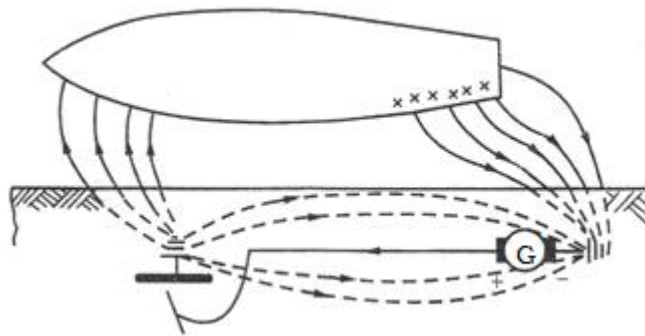
1.3.2. Elektrokoroziija veikiant klaidžiojančioms elektros srovėms

Klaidžiojančios elektros srovės sukuriamos įvairiais elektros įrenginiais, kurie naudoja elektrai laidžią aplinką (žemę, jūros vandenį), kaip elektros laidininką.

Natūralių klaidžiojančių srovių šaltiniais gali būti žemės magnetinio lauko variacijos, žaibų iškvos ir kiti gamtiniai reiškiniai.

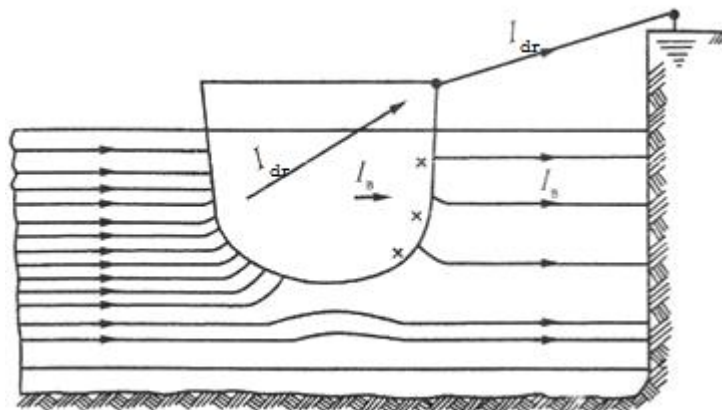
Natūralių elektros laukų didžiausia įtampa neviršija 150 mV/km, todėl akivaizdu, kad jie neturi praktinio korozijos pavojaus.

Gamybines klaidžiojančias sroves sukuria elektrotransporto linijos, nuolatinės elektros srovės įžeminimas, katodinės apsaugos sistemos ir kiti elektros įrenginiai. Klaidžiojančios srovės šiais atvejais gali būti labai reikšmingas ir atnešti rimtus nuostolius metaliniams įrenginiams, kurie randasi jų veikimo zonoje. Tipinės elektrokorozijs gaunamos veikiant klaidžiojančių srovių atvejai pavaizduoti ir 8 pav.



8 pav. Laivo elektrokorozijs atliekant suvirinimo darbus krante su vienalaide schema.

Elektrokorozijs srovės drenavimas (nuvedimas) yra atliekamas tuo atveju, kada objektas yra išdėstytas klaidžiojančių srovių zonoje.



9 pav. Drenažinių laidų veikimo schema

I_{dr} – srovės drenažiniame laide; I_A – srovė, nutekanti nuo laivo korpuso į vandenį.

[В.Д. Пирогов, 2002]

Drenavimo efektyvumas yra nustatomas santykiu tarp drenažinio laido varžos ir varžos tarp objekto ir įžeminimo kontūro. Būtino drenažinio laido skerspjūvio skaičiavimas yra atliekamas analizuojant ekvivalentinę elektrinę schemą. Už pagrindą imamas korozijos greitis 0,1 mm/metams,

kuris yra apytikriai lygus plieno korozijos greičiui jūros vandenyje. Skaičiuojant drenažinio laido skerspjūvį galima naudoti empirinę formulę:

$$S_{dr} = l\gamma F/L, \quad (9)$$

čia l – drenažinio laido ilgis, m;

γ – specifinis vandens elektros laidumas, Cm/m;

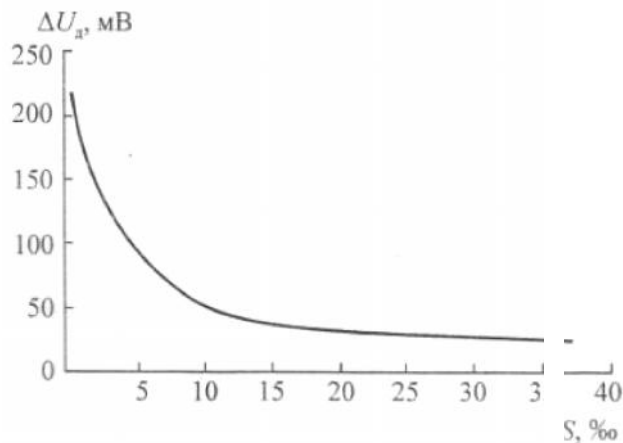
F – povandeninio laivo korpuso plotas, m²;

L – laivo korpuso ilgis, m.

Reikia įvertinti tai, kad drenažinį laidą tarp įrenginių negalima statyti jeigu įrenginiai yra pagaminti iš skirtingų metalų (pavyzdžiui, tarp laivo pagaminto iš aliuminio lydinio ir plieninės priekplaukos) dėl kontaktinės korozijos pavojaus.

Naudojant katodinę apsaugą jos galia yra nustatoma tokia, kad kompensuoti galimą anodinę poliarizaciją nuo išorinio srovės šaltinio.

Laivo apsaugos kontrolė nuo elektrokorozijos yra atliekama pagal potencialų skirtumą ΔU tarp laivo korpuso ir kranto įžeminimo kontūro arba tarp greta stovinčių laivų korpusų. Leistinos ΔU_d reikšmės esant įvairioms vandens sūrumo reikšmėms yra pavaizduotos 10 pav. [B.Д. Пирогов, 2002]



10 pav. Leistinas potencialų skirtumas tarp laivo korpuso ir gretimo objekto ir vandens sūrumo akvatorijoje [B.Д. Пирогов, 2002]

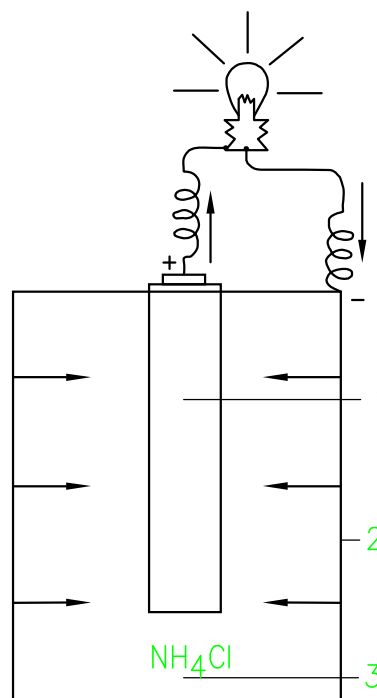
1.4 Elektrocheminė korozija

Elektrocheminė korozija vyksta, kai metalo paviršių drėkina elektrai laidus skystis -elektrolitas (vanduo, įvairūs tirpalai, išlydytos druskos, rūgštys, šarmai). Metalo paviršiuje susiformuoja anodiniai ir katodiniai ploteliai, pradeda veikti daugybė mikrogalvaninių elementų. Atsiranda elektros srovė. Elektrocheminė korozija vyksta metalui liečiantis su elektrolitu. Paprasčiausias

elektrocheminės korozijos procesas - kišeninio žibinto baterijos elementas. Jis susideda iš dviejų elektrodų: anglies - katodo ir cinko - anodo, atskirtų elektrolitu. Elektros energija susidaro vykstant cheminei reakcijai. Katode - redukcija (jonų prisijungimas), anode - oksidacija (jonų atidavimas - cinko tirpimas). Kad toks procesas vyktų ir galvaninis elementas dirbtų, būtina sujungti grandinę. Lemputė, sujungta su dviem elektrodais, dega. Juo didesnė elektros srovė, juo greičiau cinkas tirpsta (Faradėjaus dėsnis) (11 pav.).

Cinkas gali pradėti tirpti ir nesujungus grandinės. Tokiu atveju katodo vaidmenį atlieka smulkiausias priemaišos mikrokoroziniai (mikrogalvaniniai) elementai.

Jie atlieka svarbų vaidmenį elektrocheminėje korozijoje. Visų metalų paviršius yra heterogeninis (nevienalytis), jį sudaro daugybė sujungtų mikroelektrodiniių elementų.



11 pav. Principinė sauso elemento schema

1- anglis, 2- cinkas, 3- elektrolitas.[Гуральник Б. С, 2001]

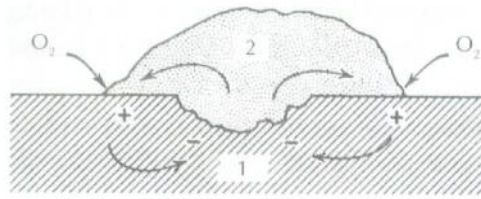
Liesdamasi su elektrolito tirpalu elementų mikrokorozinė sistema pradeda veikti, o tai sukelia metalo paviršiaus irimą (koroziją.)

Metalo ir elektrolito sąlyčio vietoje susidaro potencialų skirtumas, vadinamas elektrodiniu potencialų skirtumu. Šie potencialai - korozinių procesų priežastis.

Geležis yra aktyvesnė negu cementitas ar grafitas, todėl mikrogalvaninėse porose ji būna anodu (tirpsta): $Fe - 2e \longrightarrow Fe^{2+}$

Geležies jonai jungiasi su OH^- ir sudaro $Fe(OH)_2$, kuris, veikiamas deguonies, toliau oksiduojasi: $4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 4Fe(OH)_3$ Elektronai pereina į plieno paviršiuje esančius ir teigiamesnę potencialą turinčius cementito ir grafito grūdėlius - katodus (6 pav.).

Elektrocheminė korozija pasireiškia ten, kur metalo paviršius drėksta: atmosferoje, žemėje, vandenyje [Гуральник Б. С, 2001].



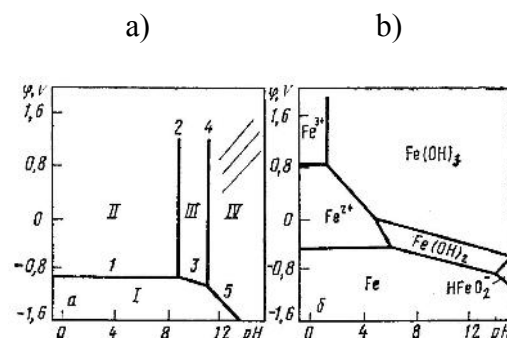
12 pav. Elektrocheminė korozija 1- plienas, 2- rūdys. [Гуральник Б. С, 2001]

1.4.1 Elektrocheminės korozijos mechanizmas

Pirminė metalų korozijos priežastis yra daugumos metalų termodinaminis neatsparumas kontakte su supančia aplinka esamose sąlygose. Metalui kontaktuojant su vandeniu ar elektrolitais metalai savaime tirpsta, pereidami į pastovesnę oksiduotą (joninį) būvį. Metalų savaiminio tirpimo tyrimas pagal elektrocheminės korozijos mechanizmą turi teorinę ir praktinę reikšmę.

Apie metalų korozijos tikimybę galima spręsti pagal Gibso energijos pokytį, pagal metalų standartinius potencialus, įvertinus korozinės terpės rūgštingumą bei korozijos produktų apsauginį poveikį (Purbe diagramas).

Pagal Purbe diagramas (metalo potencialas – terpės pH) gaunama išsamesnė informacija apie atskiro metalo termodinaminį stabilumą, esant skirtingam vandeninio tirpalo rūgštingumui ir skirtingiems metalo potencialams. Purbe diagramos sudarytos daugeliui metalų, esančių skirtingos anijoninės sudėties. vandeninėse terpėse. Pagal šias diagramas pakankamai tiksliai ir vaizdžiai galima įvertinti metalo stabilumą prie skirtingų pH ir nustatyti metalo pasyvumo zonas, jei dėl anodinio metalo tirpimo proceso susidaro netirpūs korozijos produktai ant metalo paviršiaus (ne tirpale). Atskirų sričių susidarymas priklauso nuo anijonų įtakos korozijos produktų susidarymui.



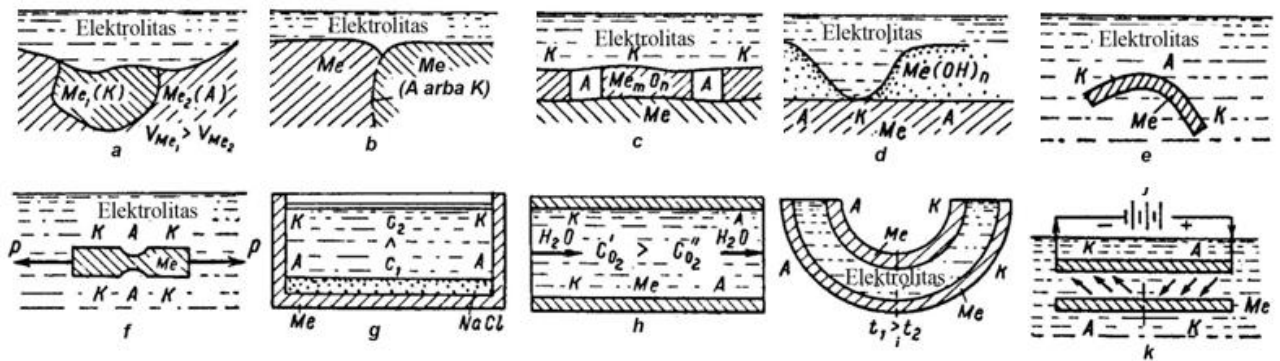
13 pav. Purbe diagramos cinkui (a) ir geležiai (b): [Шлугер М., 1984]

- a) I – imuninė sritis (stabili); II, IV – korozijos sritis; III – pasyvinė sritis;
 b) Fe(OH)₃ – pasyvinė sritis; Fe⁺³, Fe⁺² – korozijos sritis; Fe – stabilumo sritis

Pagal elektrocheminės metalų korozijos heterogeninio modelio traktuotę, atskiruose metalo paviršiaus plotuose susidaro makrogalvaniniai ar mikrogalvaniniai elementai.

Makrogalvaniniai elementai susidaro dėl to paties metalo kontakto su skirtingomis terpėmis (smėlis, molis) arba tos pačios terpės skirtingais parametrais (temperatūra, drėgmė). Mikrokoroziniai elementai susidaro dėl skirtingų priežasčių, kurios nulemia metalo struktūros ar supančios terpės netolygumus. Tais atvejais yra galimybė susidaryti heterogeninei situacijai, ir metalė susidaro atskiros anodo bei katodo zonos. Elektrocheminės korozijos vykimo homogeninė traktuotė daugiau taikytina labai grynų metalų ar amalgamų korozijai aiškinti.

Mikrokorozinių galvaninių elementų susidarymo priežastys ir jų tipai parodyti 7 paveiksle.



14. pav. Mikrokorozinių galvaninių elementų susidarymo priežastys ir jų tipai: [Шлыгер М., 1984]

1. Dėl metalo fazės ar paviršiaus nevienalytiškumo (K – katodas su didesniu potencialu, A – anodas su mažesniu potencialu)

- a) makrointarpai ir mikrointarpai
- b) kristalitų grūdelių ir blokų ribos
- c) makro- ir mikroporos oksidinėse plėvelėse
- d) netolygus antrinių korozijos produktų sluoksnis: po juo metalas anodas
- e) netolygi deformacija: daugiau deformuoti plotai yra anodai
- f) nevienodai įtempti plotai: daugiau įtempti plotai – anodai

2. Dėl skystos fazės nevienalytiškumo

g) neutralių druskų koncentracijų nevienodumas: metalo plotas, kontaktuojantis su koncentruotu tirpalu, turinčiu aktyvų anijoną, yra anodas

h) deguonies koncentracijos nevienodumas: metalo paviršius, kontaktuojantis su didesnės aeracijos tirpalu yra katodas

3. Dėl fizinių savybių nevienodumo

j) temperatūros nevienodumas: didesnės temperatūros metalo paviršius yra anodas

k) išorinio elektros lauko nevienodumas: metalo paviršius, kur katijonai išeina į elektrolitą, yra anodas. [Шлыгер М., 1984]

1.4.2 Elektrodinių procesų poliarizacija

Elektrocheminės korozijos procesas, kai metalas sąveikauja su supančios terpės elektrolitu, vyksta pagal elektrocheminės kinetikos dėsnius. Elektrocheminė korozija yra tipinis procesas, kai cheminių virsmų pasekmėje susidaro elektros energija. Elektrocheminiam procesui yra būdingas reakcijoje dalyvaujančių dalelių erdvinis pasiskirstymas – procesai vykstantys elektrolite ir metale.

Elektrocheminės korozijos procesas, kai metalas kontaktuoja su elektrolitu, yra lydimas elektros srovės tekėjimo: metale – iš anodo srities į katodo sritį juda elektronai, o elektrolite – iš katodo srities į anodo sritį juda jonai. Proceso varančioji jėga yra stacionariųjų potencialų skirtumas tarp katodo ir anodo.

Korozinės srovės stiprumas grandinės sujungimo momentu nustatomas pagal Omo dėsnį:

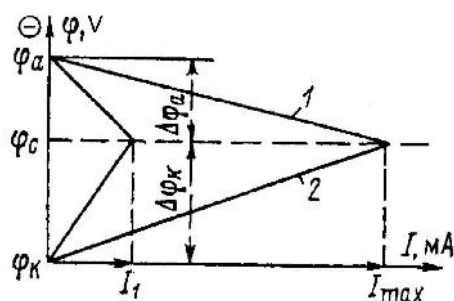
$$I_{\text{pradinė}} = (\varphi_k^0 - \varphi_a^0) / R \quad (10)$$

Vykstant korozijos procesui, t. y. grandinei užsidarius ir tekant išorinei srovei per elektrodus, įvyksta potencialų poslinkiai, todėl sumažėja korozinės srovės stiprumas. Darant prielaidą, kad ominė varža praktiškai nesikeitė, korozinės srovės sumažėjimas aiškinamas pradinių potencialų reikšmių pasikeitimu iki efektyviųjų reikšmių φ_k ir φ_a tokiu būdu, kad jų skirtumas sumažėjo.

Katodo potencialo pasikeitimas į neigiamesnę pusę vadinamas katodine poliarizacija $\Delta\varphi_k$, t. y. $\varphi_k = \varphi_k^0 - \Delta\varphi_k$. Anodo potencialo pasikeitimas į teigiamesnę pusę vadinamas anodine poliarizacija $\Delta\varphi_a$, t. y. $\varphi_a = \varphi_a^0 + \Delta\varphi_a$.

Korozinio elemento pirminių potencialų reikšmių skirtumo sumažėjimas dėl elektrodų potencialų pasikeitimų (poslinkių) tekant srovei, kai sumažėja korozinės srovės dydis ir tuo pačiu korozijos greitis, vadinamas poliarizacija.

Poliarizacijos reiškinių schema parodyta 15 pav. Korozinės srovės dydis priklauso nuo poliarizacinių kreivių polinkio kampo ($\Delta\varphi_k$, $\Delta\varphi_a$).



15 pav. Anodinės (1) ir katodinės (2) poliarizacijos priklausomybė nuo srovės dydžio.

I_{max} – maksimali korozijos srovė

I_1 – korozinės srovės sumažėjimas

φ_{st} – stacionarinis (kompromisinis) potencialas [Плудек В., 1980]

Poliarizacijos reiškinys - mažina korozijos greitį, priešingas reiškinys – depoliarizacija skatina koroziją. Poliarizacija – tai pasekmė reiškinio, kai elektronų judėjimo greitis yra didesnis nei elektrodiniai procesai koroziniame galvaniniame elemente dėl įvairių pasipriešinimų, priklausančių nuo įvairių faktorių.

1. ominė poliarizacija - atsirandanti dėl elektrolito sluoksnio varžos ar dėl metalo kristalinės gardelės varžos (tai įtampos kritimas IR).
2. koncentracinė poliarizacija – tai pasipriešinimai dėl tirpalo jonų koncentracijos netolygaus pasiskirstymo ir difuzijos greičio nevienodumo.
3. aktyvacijos poliarizacija – pasipriešinimas elektronų asimiliavimo procesui arba jonų perėjimui į tirpalą.

Poliarizacijos reiškinys korozijos procesuose turi teigiamą reikšmę, nes katodo ir anodo potencialams suartėjus, korozinio elemento EVJ sumažėja, o korozija sulėtėja. Kuo didesnė poliarizacija, tuo lėčiau vyksta korozija. [Плудек В.,1980]

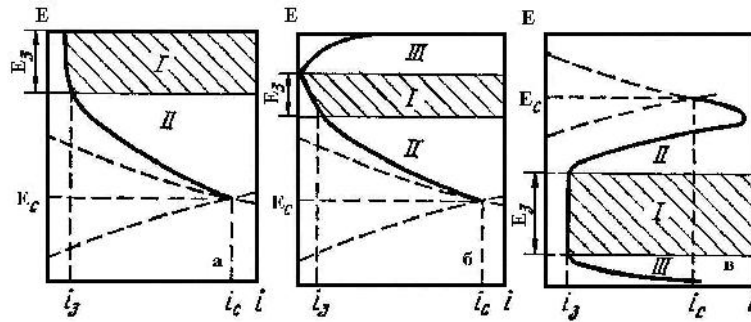
1.4.3 Poliarizacijos reiškinio panaudojimas apsaugai nuo elektrocheminės korozijos

Elektrocheminiai saugos metodai pagrįsti sudarymu korozinio galvaninio elemento, kuriame katodu tampa apsaugojamasis metalas (konstrukcija, detalė) arba tas metalas pervedamas į pasyvią būklę. Jei elektrocheminės saugos sistemą prilyginti koroziniam galvaniniam elementui, tai elektrocheminės saugos efektyvumą ir mechanizmą galima įvertinti, pasiremiant korozijos poliarizacinėmis kreivėmis.

Pagal Evanso diagramas įvertinamas tiriamo metalo vyraujantis poliarizacijos tipas. Jei tiriamo metalo katodinė poliarizacija yra didesnė už anodinę poliarizaciją, metalui būdinga katodinė kontrolė. Anodinės kontrolės atveju anodinę poliarizacija yra didesnė už katodinę. Metalo apsaugai nuo korozijos parenkamas efektyvesnis būdas.

Metalų korozinis irimo greitis, išreikštas elektriniais vienetais, dažnai vadinamas vidine korozine srove. Veikiant šiai srovei tirpsta(koroduoja) pats elektrodas. Pratekant per tirpstantį elektrodą išorinei poliarizacinei srovei, pasikeičia vidinė korozinė srovė. Išorinę poliarizuojančią srovę galima sukurti prijungus antrą elektrodą (metalą), turintį kitą potencialą arba prijungus prie pastovios elektros srovės šaltinio atitinkamo poliaus.

Labiausiai efektyvus saugos būdas parenkamas pagal poliarizacijos kreives. Jos iliustruoja elektrocheminės saugos principinę galimybę ir jos panaudojimo sritį (16 pav.).



16 pav. Metalų katodinės (a, b) ir anodinės (c) poliarizacijos elektrolituose principinės kreivės:
 I – saugos sritis, II – aktyvaus tirpimo sritis, III – perpasivycijos sritis [Плудек В.,1980]

Katodinė sauga gali būti panaudota be apribojimų, vykstant katodo potencialo pokyčiui – katodinei poliarizacijai (a). Tai būdinga daugeliui plienų. Siauras apsauginių potencialų intervalas katodinės poliarizacijos atveju būdingas metalams, linkusiems pasyvuotis, pvz. aliuminio lydiniams, o taip pat metalams, neatspariems vandeniliniui trapumui (b). Analogiškais elgesys būdingas metalams oksidinančiose terpėse, esant anodinei poliarizacijai (c). [Плудек В.,1980]

1.4.4 Metalo saugos nuo korozijos būdai

Statant ir eksploatuojant laivus, taikomi įvairūs apsaugos nuo korozijos būdai. Siekiant padidinti laivų korpuso atsparumą korozijai, didelis dėmesys skiriamas plieno paviršiaus apdorojimui. Pirmiausia jis nuvalomas abrazyvų srove, tada padengiamas grunto ir dažų dangomis. Plieno paviršių galima nuvalyti ir aukšto slėgio vandens srove (300 MPa), bet šio valymo būdo kokybė prastesnė. Nuvalytas plieno paviršius padengiamas epoksidinėmis, chlorkaučiuko ar vinilinėmis dangomis. Dangų storis - 10-200 μm .

Geriausiai laivų korpusą apsaugo dangos ir elektrocheminė sauga. Taikant tokį mišrų metodą konstrukcija apsaugoma maždaug 10 metų. Laivų konstrukcijoms apsaugoti kartu taikomi keli metodai. Be to, prieš naudojant pagrindinę apsaugos priemonę paruošiamas metalo paviršius, nuvalomi savaiminiai korozijos produktai. Pavyzdžiui, prieš dažant mechaniškai ar chemiškai nuvalomas rūdžių sluoksnis arba rūdys modifikuojamos fosforo rūgštimi („surišamos“). Siekiant apsaugoti nuo biokorozijos, laivo korpusas, ypač dugnas, dažomas dažais, kurie turi Cu, Zn, As, Sn organinių junginių, pasižymi baktericidinėmis savybėmis.

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

Protektoriai naudojami laivuose, kurių talpa siekia iki 5000 t. Jie būna iš Al, Zn, Mg arba jų lydinių, juose ribojamas naudingų prieraišų (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.

Laivams, kurių talpa daugiau kaip 5000 t, rekomenduojama katodinė elektrinė apsauga su netirpstančiais elementais, nes tirpstančių elektrodų keitimas yra brangus.

Metalų saugai nuo korozijos naudojami įvairūs būdai ir priemonės, priklausomai nuo paties metalo savybių ir eksploatacijos sąlygų. Todėl saugos būdų sistema gali būti skirtinga įvairiose pramonės šakose. Visas praktiškai naudojamas priemones galima suskirstyti į grupes pagal jų poveikio mechanizmą ir charakterį metalui, korozinei terpei ir gaminio konstrukcijos. ypatybėms.

Metalų legiravimas - tai metalo savybių gerinimas, įvedant į geležies ar kitų metalų lydinius legiruojančių metalų: chromo, nikelio, kobalto, molibdeno, titano. Dažniausiai legiruojamas plienas. Apsaugai nuo cheminės dujinės korozijos naudojami legiruoti karščiui atsparūs ir karštyje patvarūs plienai. Nerūdyjantys plienai – tai legiruoti plienai, skirti apsaugai nuo elektrocheminės korozijos elektrolitų tirpaluose.

Apsauginės dangos : metalinės, nemetalinės ir cheminės.

Metalinės dangos (cinko, alavo ir kt.) gaunamos įvairiais būdais. Jos apsaugo pagrindinį metalą elektrochemiškai ar mechaniškai, priklausomai nuo pagrindinio metalo elektroneigiamumo (anodinė arba katodinė danga).

Nemetalinės dangos pagal cheminę prigimtį skirstomos į neorganines (emalinės, cementinės) ar organinės kilmės dangas (tepalai, dervos, dažai, guma).

Cheminės dangos (oksidinės, fosfatinės) gaunamos sudarant metalo paviršiuje netirpias metalų junginių (fosfatų, oksidų) plėveles, kurios pasyvina metalo paviršių.

Inhibitoriai ir specialūs apsauginiai tepalai - naudojami eksploatacijos ar saugojimo sąlygose. Inhibitorinės medžiagos (skystos ar dujinės) lėtina metalų koroziją. Jų veikimas aiškinamas įvairiai: metalo potencialas tampa teigiamesnis arba dėl adsorbcijos susidaro metalą izoliuojanti plėvelė. Šios saugos priemonės lengvai pašalinamos ar vėl atnaujinamos, t. y. jos neturi stipraus sukibimo su metalinių detalių paviršiumi.

Elektrocheminė sauga yra 3 rūšių protektorinė, elektrinė katodinė ir elektrinė anodinė. Jos naudojamos įvairiose elektrai laidžiose terpėse, panaudojant išorinę anodinę ar katodinę poliarizaciją. [Kaesche H., 2003]

Pagrindinis saugos nuo klaidžiojančių srovių tikslas - vengti jų nutekėjimo iš metalo ir metalų anodinio irimo. Tai pasiekama sudarius metalo kontaktą tarp vamzdžio ir neigiamo elektros sistemos, sukeliančios korozinį procesą, poliūmi. Ši priemonė vadinama elektros drenažu. Esant tiesioginiam elektros drenažui, išskyrus varžą sujungimas neturi reguliuojančių prietaisų. Šis būdas naudojamas tuomet, kai klaidžiojančios srovės teka viena kryptimi. Jei klaidžiojančios srovės dažnai keičia savo stiprumą ir kryptį, tuomet naudoja poliarizuotą arba priverstinį elektros drenažą. Esant

poliarizuotam elektros drenažui, sujungime naudojamas lygintuvas (Si arba Ge diodas), kuris srovę praleidžia viena kryptimi. Kai sujungime naudojamas elektros srovės šaltinis, suteikiantis saugomam objektui palyginus su supančia objektą aplinka elektroneigiamesnę potencialą, toks drenažas vadinamas priverstiniu. Šiuo atveju srovė nuolat reguliuojama panaudojus vario sulfato lyginamąjį elektrodą ir potenciometrą. Taip saugojamam objektui suteikiamas reikiamos vertės potencialas. [Šulčius A., 2006]

2. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

2.1 Tyrimų įranga

Ultragarsiniai storio matuokliai veikia aukšto dažnio garso diapazone. Aukštesni dažniai naudojami, kai reikia išmatuoti plonesnius bandinius, nes aukštų dažnių ultragarso bangos praeina trumpesnį kelią ir išsisklaido. Žemesnių dažnių ultragarso bangos leidžia išmatuoti storesnius mėginius, nes jos išsisklaido, nuėjus ilgesnį kelią. Garso bangos nepraeina efektyviai per orą, todėl būtinas specialus gelis ar kitoks skystis tarp keitiklio ir bandinio, kad būtų kokybiškai atlikta operacija.

Prietaisai buvo sukurti, kai buvo pastebėta, kad ultragarsinės bangos keliauja metalais tam tikrais būdingais greičiais. Taigi, atsižvelgiant į šią informaciją, galima apskaičiuoti ultragarsinių bangų nueitą atstumą naudojant šią paprastą formulę:

$$L_b = ct / 2 \quad (11)$$

čia L_b – bandinio storis, mm;

c – garso greitis konkrečioje medžiagoje, m/s;

t – laikas, s.

Formulėje įvestas vardiklis 2, nes paprastai prietaisu dirbama iš vienos pusės, todėl ultragarso banga, atsispindėjusi nuo kito tankio terpės grįžta atgal, t.y. du kartus kerta bandinį.

Ultragarsinio storio matavimo metodo privalumai:

- neardomas metodas;
- nereikalauja prieigos iš abiejų bandinio pusių;
- geras tikslumas (nuo 0,1 mm).
- nešiojamas, nebūtinos laboratorinės sąlygos.

Trūkumai:

- reikalingas kalibravimas kiekvienai medžiagai;
- reikalingas geras kontaktas su tiriamą medžiaga, todėl, dirbant senesnės kartos prietaisais reikia šlifuoti paviršių;

išlieka subjektyvus klaidų faktorius, nes, dirbant su senesnės kartos prietaisais, duomenys užrašomi ranka. [Jonušas R.2004]



17 pav. Ultragarsinio storio matavimo veikimo principas [<http://ultrasonicthicknessgauge.org/>]

Nors ultragarsinių stormačių antgaliai yra skirtingų dydžių ir formos, jų vidaus konstrukcija yra panaši, ir veikimo principas yra vienodas - paprastai aktyvaus elemento daviklyje tikslas yra paversti aukšto dažnio elektros energiją į mechaninę energiją, kitaip sakant, ultragarsą į virpesius.

Naudotas prietaisas:

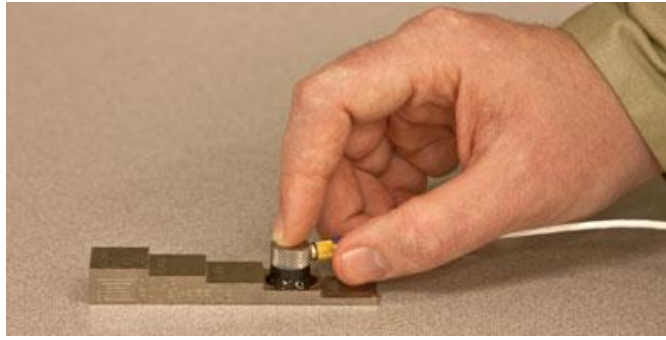
Storio matavimai buvo atliekami ultragarsiniu storio matuokliu "Krautkramer DM 4" 18 pav. Stormatis veikia aido principu. Stormačio paklaida 0,1 mm. Maksimalus ultragarso bangų įsiskverbimas į medžiagą 25 mm. Pjezo elemento ultragarso bangų sklaidimo dažnis 5 MHz. Pjezo elemento diametras 12,0 mm. Prietaiso darbo temperatūra nuo -10°C iki $+50^{\circ}\text{C}$. Galimybė matuoti per paviršiaus apsauginę dangą (dažai). Naudotas specialus vandens pagrindo kontaktinis gelis "Sonatest" jis yra pilnai pasyvus metalo atžvilgiu ir nepakenkia metalui, lengvai nuvalomas, nepalieka riebalinių plėvelių.



18 pav. Ultragarsinis storio matuoklis "Krautkramer DM4"[<http://www.hi1718.com>]

Ultragarso matuoklis įvertina bandinio storį labai tiksliai išmatuodamas laiką, per kurį garsas praeina mėginiu. Siekiant paversti šį laiko matavimą į storio matavimą, matuoklis turi būti užprogramuotas garso ir bandomosios medžiagos greičiu. Tam atliekant kalibraciją, kuri yra reikalaujama vykdant tokius tyrimus. Šis gana paprastas ir nesudėtingas procesas paprastai vadinamas ultragarsinio matuoklio kalibravimu, kuris pavaizduotas 19 pav.

Ultragarsinio matuoklio atmintyje gali būti išsaugomi ir greitai prisiminti skirtingų kalibravimo medžiagų ir keitiklių duomenys. Labai svarbu atsiminti, kad ultragarsinį matuoklį reikia kalibruoti iš naujo, kai tiriamoji medžiaga arba daviklis yra pakeistas, arba, jei bandomosios medžiagos temperatūra pasikeitė. Be to, periodiškai taip pat reikia atlikti patikrinimus.[NDT resource center. 2005]



19 pav. Ultragarsinio storio matuoklio kalibravimas [<http://ultrasonicthicknessgauge.org/>]

2.2 Korpuso liekamojo storio nustatymo schema

Remiantis laivų projektavimo ir eksploatacijos patirtimi, yra nustatyti ir patvirtinti skyriai ir pjūviai detaliam liekamųjų storių patikrinimui. Skersiniuose pjūviuose daromi matavimai tokiose vietose, kurios yra labiausiai paveiktos korozijos (triumai, tankai ir sanitarinės, buitinės ir gyvenamosios patalpos). Pjūvių pasirinkimas priklauso nuo korozijos ir vizualiai pastebimų defektų, todėl parenkamos tokios vietos, kurios yra labiausiai nusidėvėjusios.

Pasirenkant vietas storio matavimams, turi būti atsižvelgta į tai, kad korozijos intensyvumui įtaką daro:

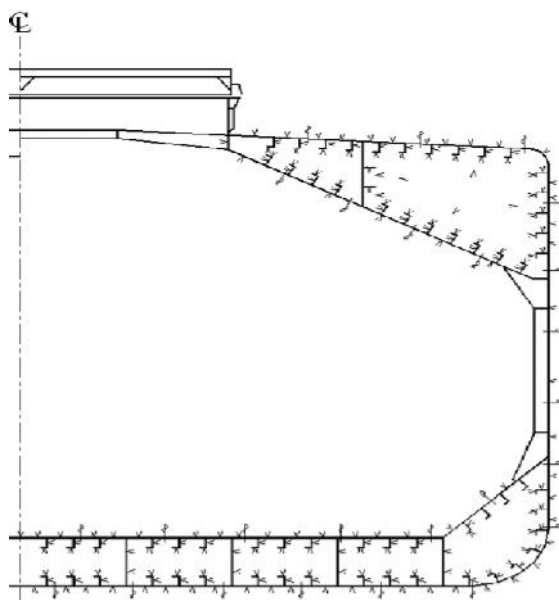
1. krovinių, gabenamų triumuose (anglis, mineralinės trąšos, rūda, ir įvairių naftos produktų, druskos, chemijos, rūgštys, žuvų, statinės, ir t.t.) rūšis;
2. konstrukcijos tipas ir patalpų išdėstymas laive (dvigubo dugno skyriai, pagal katilų ar rezervuarų, pakaitomis naudojamos skystojo kuro ir balastų);
3. užsistovėjusio vandens, kondensato galimybė (laivo korpuso apkala, denis).

Labiau linkusios į greitą korozijos procesą detalės, kurioms buvo priimtas subtilesnis pastatymo storis (ypač priekinėje ir galinėje dalyje kintančios vaterlinijos, suvirinti vamzdžiai, vožtuvai ir t.t.), taip pat išilginių ir skersinių rinkinių sijų sankirtos.

Paprastai pagal klasifikacinių bendrovių reikalavimus inspekcijai parenkami šie pjūviai:

1. ties laivo mideliu, iki 0,25 L, į laivapriekį ir laivagalį;
2. laivapriekinėje dalyje - 0,30 L laivo ilgio dalyje, esančioje laivagalyje už priekinio statmens;
3. laivagalinėje dalyje - 0,30 L laivo ilgio dalyje, esančioje laivapriekyje už galinio statmens.

[Bureau Veritas, 2005]



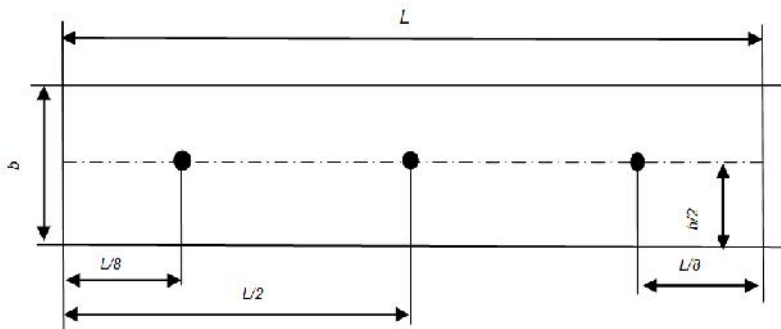
20 pav. Laivo korpuso pjūvio ultragarsinių storio matavimų schema [Bureau Veritas, 2005]

Atliekant matavimus paminėtuose pjūviuose, kiekvienoje lakštinėje ir profilineje detalėje matuojamas storis ne mažiau kaip 3 taškuose.

Jei nustatyta, kad vieno ar daugiau skerspjūvio metalo likutinė vertė neatitinka stiprumo reikalavimams, skerspjūvio matavimų taškų kiekis turi būti padidintas pagal aplinkybes. 20 pav. pateiktos pjūvių vietos, kuriose daromi ultragarsiniai matavimai.

Šioje schemoje (21 pav.) pateiktos privalomos ultragarsinių matavimų vietos, nustatytos registro, kai ant kiekvieno privirinto lakšto daromi mažiausiai trys matavimai. Jeigu akivaizdžiai matosi defektai, taškų skaičius didinamas, todėl gali būti išmatuota visa konstrukcija. Triumuose plieno konstrukcijos dažniausiai būna stipriausiai paveiktos korozijos, todėl kai kurių konstrukcijų nusidėvėjimas leidžiamas iki 35%.

Vidutinis metalo lakštų nusidėvėjimas S_1 mm yra apibrėžiamas kaip matavimų vidurkis, neatsižvelgiant į storio matavimus taškuose, esančiuose linijinio ir griovinio korozinio dilimo vietose.



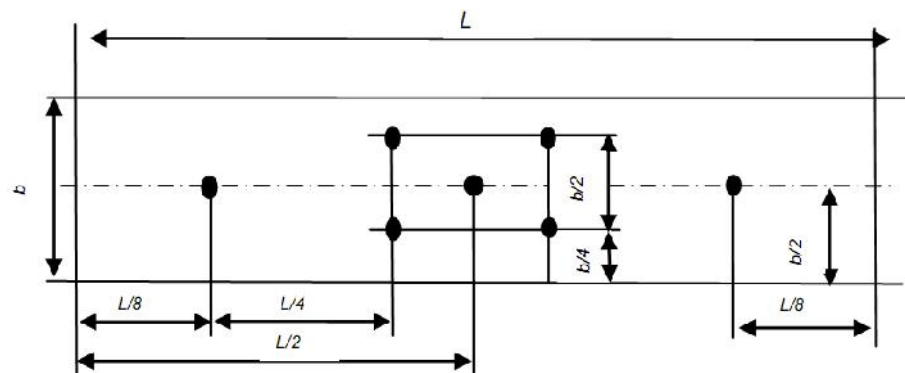
21 pav. Trijų taškų lakšto storio matavimo schema [Bureau Veritas, 2005]

Kaip mes matome iš schemos (21 pav.), lakštų matavimai turėtų būti atliekami laivapriekinėje, vidurinėje, laivagalinėje lapo pusėje, ne mažiau 3 taškų viename lape arba 1 taškas 5 m² lapo plote, žiūrint į tai kuris didesnis.

Jeigu vienas lapas priskiriamas dviem balasto ar degalų cisternoms, leidžiama atlikti matavimus atskirai. Jeigu lapas dalinai pakeistas, reikia atkreipti dėmesį į tai, kad matavimai turi būti atlikti ir sename, ir naujame lape.

Taškų kiekis storio matavimams, kurį matome žemiau pavaizduotame 22 pav., yra tik pavyzdys ir gali būti naudojamas tais atvejais, kai skirtumas tarp išmatuotų likutinių storių, yra mažesnis už 1,5 mm.

Jeigu skirtumas didesnis kaip 1,5 mm, bet mažesnis už 3 mm, matavimų kiekis padidėja nuo 3 taškų iki 5-7 taškų. Padidintas matavimo taškų kiekis turi būti iš anksto aptartas su registru.



22 pav. Septynių taškų matavimo schema[Bureau Veritas, 2005]

Pasirinktų taškų kiekis lape nustatomas atsižvelgiant į likutinių storių vertes. Jeigu maksimalus skirtumas išmatuotų storių lape lyginant su originaliais storiais yra 15%, tai skaitome, kad šita zona yra priimtina, o jeigu nusidėvėjimas viršija 25%, tai matavimų kiekis lape su minimalia likutine verte turi būti padidintas pagal septynių taškų schemą. Į matavimų kiekį turi būti įtraukti ir matavimai su dėmėtu nusidėvėjimu. Šiuo atveju vidutinis likutinis storis skaičiuojamas kaip metalo storio dėmių vietose vidurkis.

Ataskaitoje registruojamas vidutinis išmatuotas likutinis storis.

Jeigu vietinis nusidėvėjimas apima daugiau nei 40 proc. lapo, taškų kiekis turėtų būti padidintas dvigubai. Ataskaitoje taip pat registruojamas vidutinis išmatuotas likutinis storis.

Jeigu rasta taškinė korozija, storio matavimų rezultatai turi būti užregistruoti atskirai specialioje formoje su pateiktu matavimo vietų eskizu, taip pat nurodant tokios korozijos dydį ir procentinį plotą. Inspektorius turi būti informuotas apie tai. [Bureau Veritas, 2005]

Vidutinis likutinis storis, kai yra nusidėvėjimas dėmėmis ir linijinis, skaičiuojamas kaip matavimo vidurkis. Vietos kur atliekama defektacija, patvirtintos registro.

Atlikus visus laivo korpuso matavimus, rezultatai įrašomi į reglamentuotas klasifikacinės bendrovės lenteles. Tokioje lentelėje nurodoma kiekvieno pamatuoto taško koordinatė ir buvimo vieta laive. Taip pat įrašomi originalaus, t.y. pastatymo, elemento storio reikšmė, pamatuoto elemento storio reikšmė, apskaičiuojami leistini nusidėvėjimo storiai, išreikšti procentais ar skaičiais.

Ataskaita būtinai perduodama laivo savininkui ir laivą prižiūrinčiai klasifikacinei bendrovei. [Bureau Veritas, 2005]

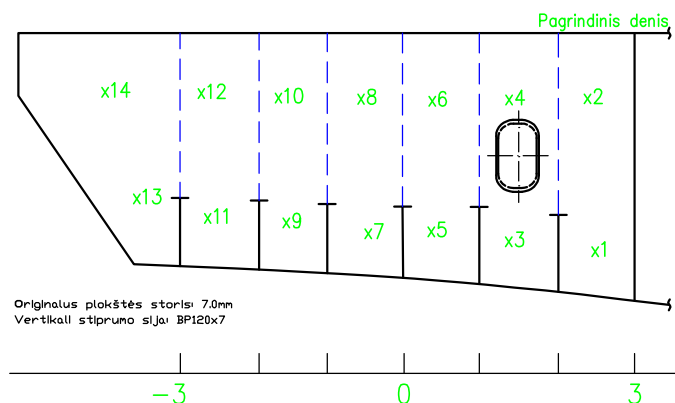
2.3 Eksperimentinio tyrimo rezultatai

Remiantis laivų projektavimo ir eksploatacijos patirtimi, yra nustatyti ir patvirtinti skyriai ir pjūviai detaliam liekamųjų storių patikrinimui. Skersiniuose pjūviuose daromi matavimai tokiose vietose, kurios yra labiausiai paveiktos korozijos (triūmai, tankai ir sanitarinės, buitinės ir gyvenamosios patalpos). Pjūvių ar konstrukcijų pasirinkimas priklauso nuo korozijos ir vizualiai pastebimų defektų, todėl parenkamos tokios vietos, kurios yra labiausiai nusidėvėjusios.

Pasirenkant vietas storio matavimams, turi būti atsižvelgta į tai, kad korozijos intensyvumui įtaką daro:

1. krovinių, gabenamų triūmuose (anglis, mineralinės trąšos, rūda, ir įvairių naftos produktų, druskos, chemijos, rūgštys, žuvų, statinės, ir t.t.) rūšis;
2. konstrukcijos tipas ir patalpų išdėstymas laive (dvigubo dugno skyriai, pagal katilų ar rezervuarų, pakaitomis naudojamų skystojo kuro ir balastų);
3. užsistovėjusio vandens, kondensato galimybė (laivo korpuso apkala, denis).

Labiau linkusios į greitą korozijos procesą detalės, kurioms buvo priimtas subtilesnis pastatymo storis (ypač priekinėje ir galinėje dalyje kintančios vaterlinijos, suvirinti vamzdžiai, vožtuvai ir t.t.), taip pat išilginių ir skersinių rinkinių sijų sankirtos. [Bureau Veritas, 2005]

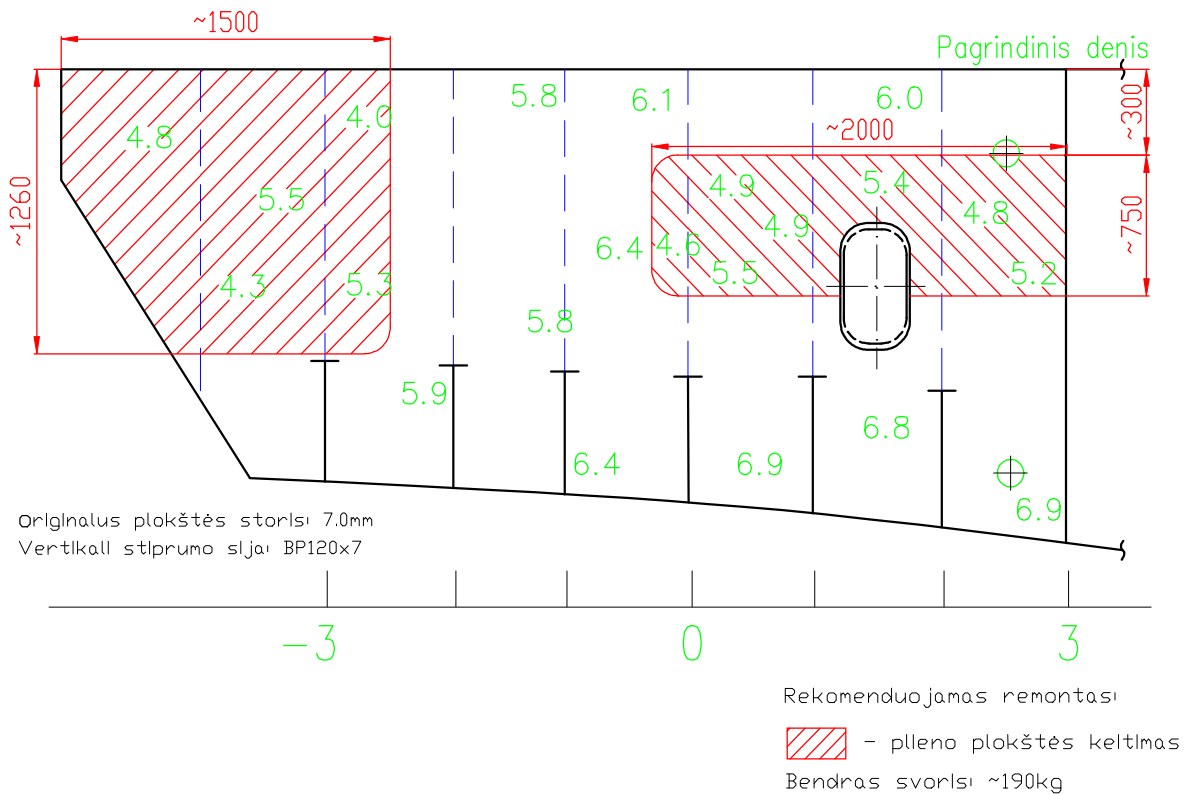


23 pav. Laivų serijos išilginės pertvaros matavimų schema

[UAB "Harbort Klaipėda" archyvas]

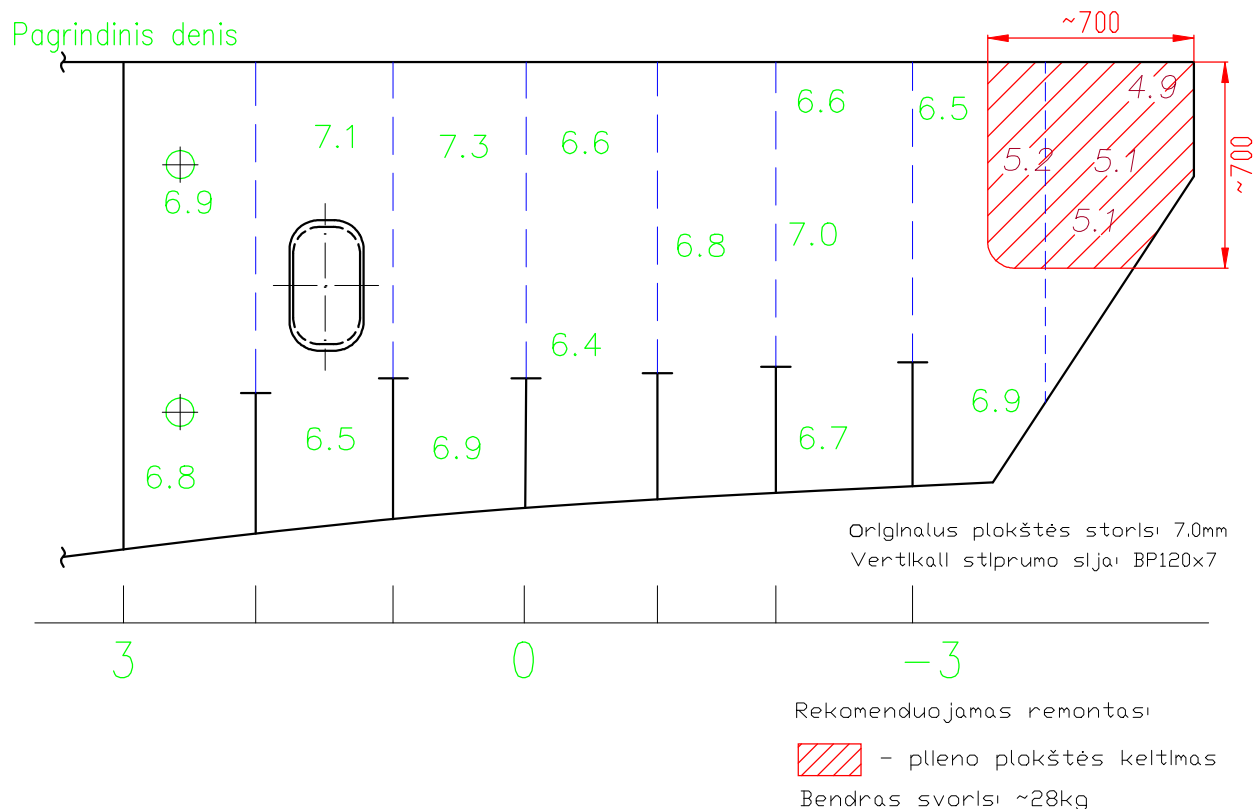
Šioje schemoje (24 pav.) pateiktos privalomos ultragarsinių matavimų vietos, nustatytos "Buerou Veritas" registro, kai ant kiekvieno privirinto lakšto daromi mažiausiai 5 matavimai. Jeigu akivaizdžiai matosi defektai, taškų skaičius didinamas, todėl gali būti išmatuota visa konstrukcija. Triumuose plieno konstrukcijos dažniausiai būna stipriausiai paveiktos korozijos, todėl kai kurių konstrukcijų nusidėvėjimas leidžiamas iki 35%.

2.2 Keturių vienos serijos laivų dešimtojo balastinio tanko išilginės pertvaros remonto schemos ir išsidėvėjimo duomenys



24 pav. Laivo "Grampian Sprite" išilginės pertvaros remonto kairiajame borte [UAB "Harbort Klaipėda" archyvas]

Laivo "Grampian Sprite" dešimtojo užbortinio vandens balastinio tanko išilginės pertvaros kairiajame borte remontas aptiktas dvejose pertvaros vietose. Remontas nustatytas atlikus 22 matavimus. Remonto matmenys laivapriekinėje pertvaros dalyje yra 2000x750 mm. t.y. 1,5 m². Remonto matmenys laivagalinėje pertvaros dalyje 1500x1260 mm. t.y. 1,98 m². Bendras metalo svoris remontui - 190 kg. Matavimų vertinimas atliktas lentelėje 2. Registro duomenimis leidžiamas maksimalus nusidėvėjimas yra 25 % nuo originalaus konstrukcijos metalo storio.



25 pav. Laivo "Grampian Sprite" išilginės pertvaros
remontas dešiniajame borte
[UAB "Harbort Klaipėda" archyvas]

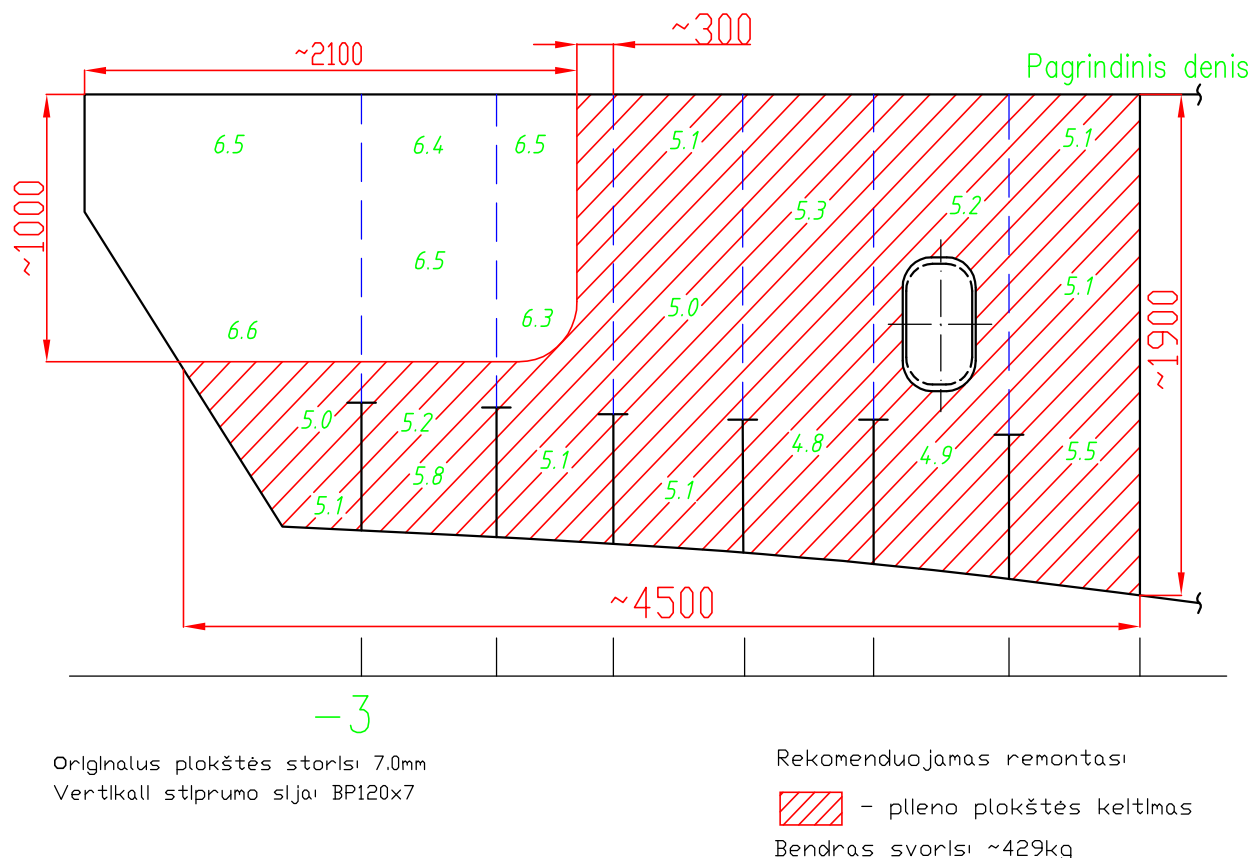
Laivo "Grampian Sprite" dešimtojo užbortinio vandens balastinio tanko išilginės pertvaros dešiniajame borte remontas aptiktas laivagalinėje pertvaros dalyje. Remontas nustatytas atlikus 18 matavimų. Remonto matmenys laivagalinėje pertvaros dalyje 700x700 mm. t.y. 0,49 m². Bendras metalo svoris remontui - 28 kg. Matavimų vertinimas atliktas lentelėje 2. Registro duomenimis leidžiamas maksimalus nusidėvėjimas yra 25 % nuo originalaus konstrukcijos metalo storio.

Laivo "Grampian Sprite" išilginės pertvaros storio matavimų vertinimas. 2 Lentelė

Elementų grupė: IŠILGINĖ PERTVARA 2250 NUO DP											
Struktūrų Elementas	Element/Španto No.	Tank/Triumo/Spec. No.	Origin. mm	Min stor. mm	Matavimai (bortai)		Pasikeitimas				
					Kairė	Dešinė	Kairė		Dešinė		
					mm	mm	mm	%	mm	%	
lakštas, matavimas x1	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.9	6.8	0.10	1.4%	0.20	2.9%	
lakštas, matavimas x2	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.2	6.9	1.80	25.7%	0.10	1.4%	
lakštas, matavimas x3	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.8	6.5	2.20	31.4%	0.50	7.1%	
lakštas, matavimas x4	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.8	7.1	0.20	2.9%	0.00	0.0%	
lakštas, matavimas x5	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.4	6.9	1.60	22.9%	0.10	1.4%	
lakštas, matavimas x6	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.0	7.3	1.00	14.3%	0.00	0.0%	
lakštas, matavimas x7	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.9	6.4	0.10	1.4%	0.60	8.6%	
lakštas, matavimas x8	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.5	6.6	1.50	21.4%	0.40	5.7%	
lakštas, matavimas x9	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.5	6.8	2.50	35.7%	0.20	2.9%	
lakštas, matavimas x10	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.9	6.7	2.10	30.0%	0.30	4.3%	
lakštas, matavimas x11	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.9	7.0	2.10	30.0%	0.00	0.0%	
lakštas, matavimas x12	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.4	6.6	0.60	8.6%	0.40	5.7%	

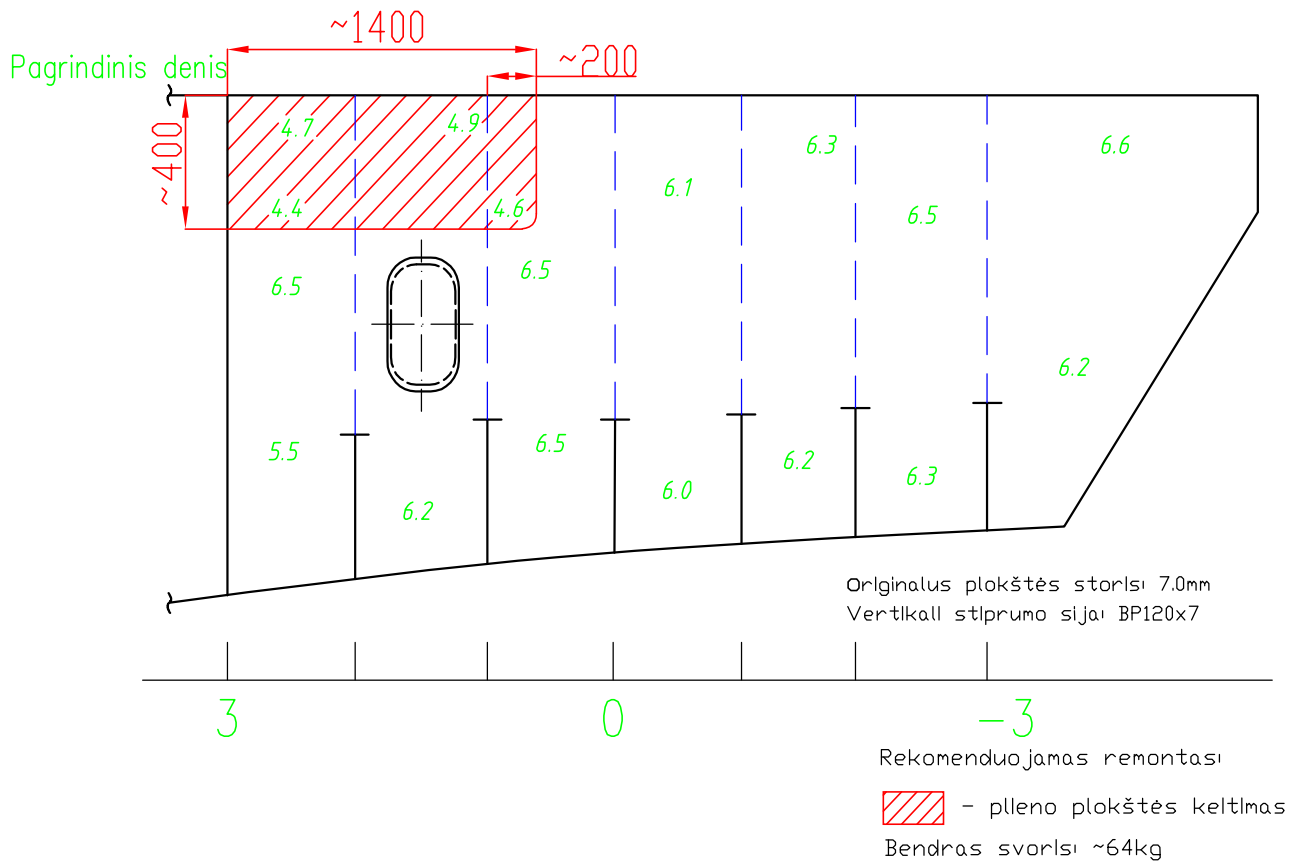
lakštas, matavimas x13	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.4	6.9	0.60	8.6%	0.10	1.4%
lakštas, matavimas x14	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.1	6.5	0.90	12.9%	0.50	7.1%
lakštas, matavimas x15	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.8	5.2	1.20	17.1%	1.80	25.7%
lakštas, matavimas x16	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.8	5.1	1.20	17.1%	1.90	27.1%
lakštas, matavimas x17	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.9	5.1	1.10	15.7%	1.90	27.1%
lakštas, matavimas x18	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.2	4.9	1.80	25.7%	2.10	30.0%
lakštas, matavimas x19	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.0		3.00	42.9%		-
lakštas, matavimas x20	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.3		2.70	38.6%		-
lakštas, matavimas x21	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.5		1.50	21.4%		-
lakštas, matavimas x22	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.8		2.20	31.4%		-

Paryškinti langeliai parodo koks metalo storio pakitimas procentais nuo originalaus metalo storio.



26 pav. Laivo "Grampian Haven" išilginės pertvaros
remontas kairiajame borte
[UAB "Harbort Klaipėda" archyvas]

Laivo "Grampian Haven" dešimtojo užbortinio vandens balastinio tanko išilginės pertvaros kairiajame borte remontas aptiktas laivapriekinėje pertvaros dalyje. Remontas nustatytas atlikus 21 matavimą. Remonto matmenys laivapriekinėje pertvaros dalyje 1900x4500 mm. atimant nekečiamąją dalį t.y. 6,45 m². Bendras metalo svoris remontui - 429 kg. Matavimų vertinimas atliktas lenteleje 3. Registro duomenimis leidžiamas maksimalus nusidėvėjimas yra 25 % nuo originalaus konstrukcijos metalo storio.



27 pav. Laivo "Grampian Haven" išilginės pertvaros
remontas dešiniajame borte
[UAB "Harbort Klaipėda" archyvas]

Laivo "Grampian Haven" dešimtojo užbortinio vandens balastinio tanko išilginės pertvaros dešiniajame borte remontas aptiktas laivapriekinėje pertvaros dalyje. Remontas nustatytas atlikus 17 matavimų. Remonto matmenys laivagalinėje pertvaros dalyje 1400x400 mm. t.y. 0,56 m². Bendras metalo svoris remontui - 64 kg. Matavimų vertinimas atliktas lentelėje 3. Registro duomenimis leidžiamas maksimalus nusidėvėjimas yra 25 % nuo originalaus konstrukcijos metalo storio.

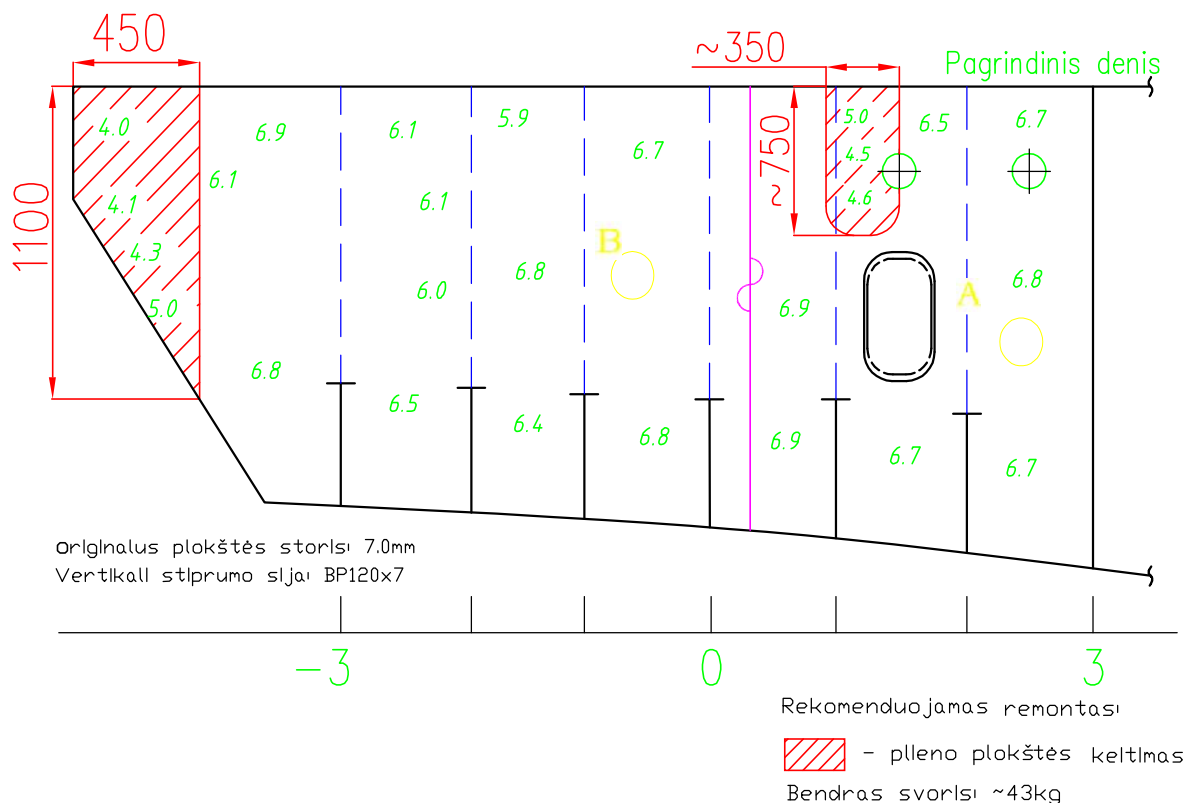
Laivo "Grampian Haven" išilginės pertvaros storio matavimų vertinimas.

3 Lentelė

Elementų grupė: IŠILGINĖ PERTVARA 2250 NUO DP										
Struktūrų Elementas	Element/Španto No.	Tank/Triumo/Spec. No.	Origin. mm	Min stor. mm	Matavimai (bortai)		Pasikeitimas			
					Kairė	Dešinė	Kairė		Dešinė	
					mm	mm	mm	%	mm	%
lakštas, matavimas x1	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.5	5.5	1.50	21.4%	1.50	21.4%
lakštas, matavimas x2	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.1	6.5	1.90	27.1%	0.50	7.1%
lakštas, matavimas x3	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.1	4.4	1.90	27.1%	2.60	37.1%
lakštas, matavimas x4	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.9	4.7	2.10	30.0%	2.30	32.9%
lakštas, matavimas x5	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.2	6.2	1.80	25.7%	0.80	11.4%
lakštas, matavimas x6	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.8	4.9	2.20	31.4%	2.10	30.0%
lakštas, matavimas x7	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.3	6.5	1.70	24.3%	0.50	7.1%

lakštas, matavimas x8	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.1	6.5	1.90	27.1%	0.50	7.1%
lakštas, matavimas x9	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.0	4.6	2.00	28.6%	2.40	34.3%
lakštas, matavimas x10	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.1	6.0	1.90	27.1%	1.00	14.3%
lakštas, matavimas x11	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.1	6.1	1.90	27.1%	0.90	12.9%
lakštas, matavimas x12	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.8	6.2	1.20	17.1%	0.80	11.4%
lakštas, matavimas x13	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.8	6.3	1.20	17.1%	0.70	10.0%
lakštas, matavimas x14	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.1	6.3	1.90	27.1%	0.70	10.0%
lakštas, matavimas x15	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.0	6.5	2.00	28.6%	0.50	7.1%
lakštas, matavimas x16	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20		6.2		-	0.80	11.4%
lakštas, matavimas x17	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20		6.6		-	0.40	5.7%

Paryškinti langeliai parodo koks metalo storio pakitimas procentais nuo originalaus metalo storio.



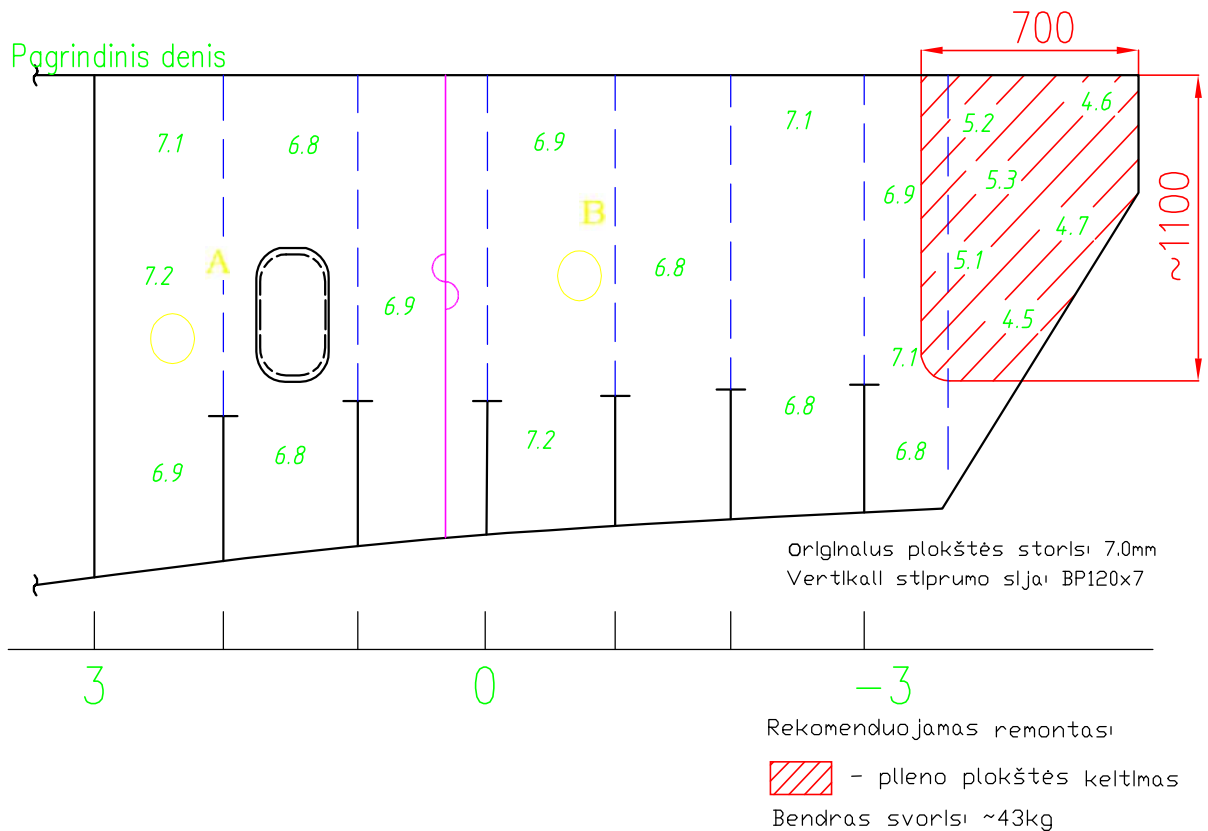
28 pav. Laivo "Grampian Venture" išilginės pertvaros

remontas kairiajame borte

[UAB "Harbort Klaipėda" archyvas]

Laivo "Grampian Venture" dešimtojo užbortinio vandens balastinio tanko išilginės pertvaros kairiajame borte remontas aptiktas laivapriekinėje ir laivagalinėje pertvaros dalyje. Pertvara jau buvo remontuota ir ji padalinta į dvi dalis lapas "A" ir lapas "B". Remontas nustatytas atlikus 26 matavimus. Remonto matmenys laivapriekinėje pertvaros dalyje lapas "A" 750x350 mm. t.y. 0,26 m². Remonto matmenys laivagalinėje pertvaros dalyje lapas "B" 1100x400 mm. t.y. 0,44 m². Bendras metalo svoris remontui - 43 kg. Matavimų vertinimas atliktas lentelėje 4. Registro

duomenimis leidžiamas maksimalus nusidėvėjimas yra 25 % nuo originalaus konstrukcijos metalo storio.



29 pav. Laivo "Grampian Venture" išilginės pertvaros
remontas dešiniajame borte
[UAB "Harbort Klaipėda" archyvas]

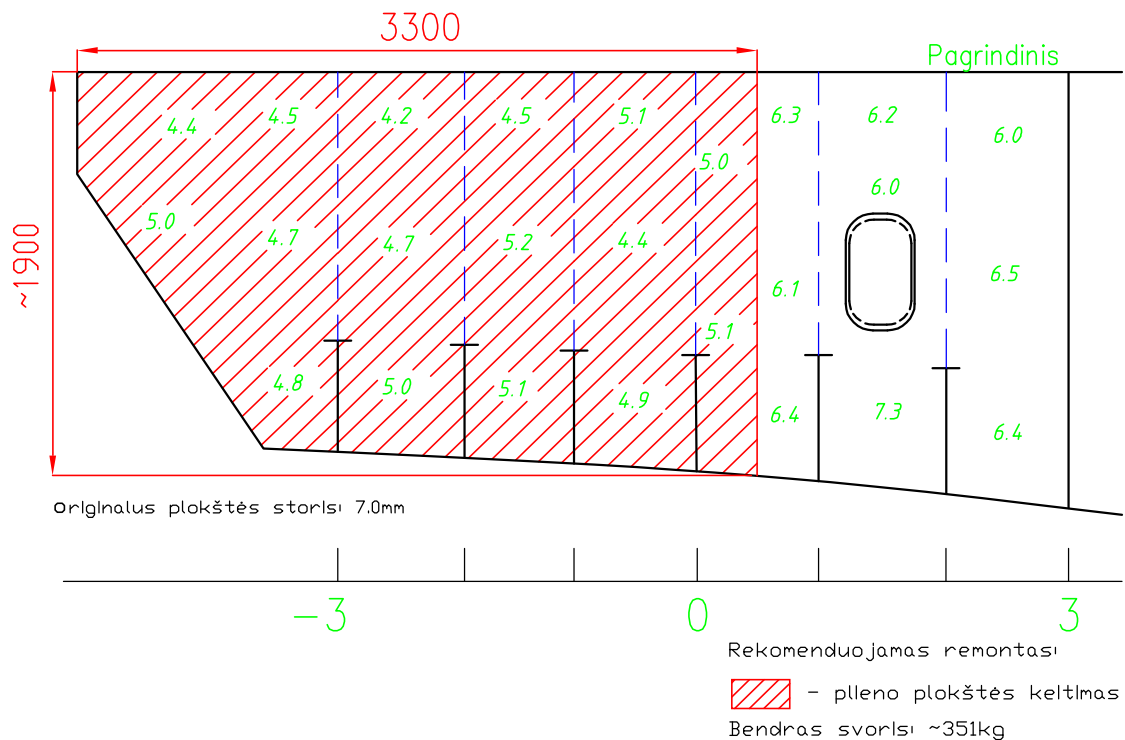
Laivo "Grampian Venture" dešimtojo užbortinio vandens balastinio tanko išilginės pertvaros dešiniajame borte remontas aptiktas laivagalinėje pertvaros dalyje. Remontas nustatytas atlikus 20 matavimų. Remonto matmenys laivagalinėje pertvaros dalyje 1100x700 mm. t.y. 0,77 m². Bendras metalo svoris remontui - 43 kg. Matavimų vertinimas atliktas lentelėje 4. Registro duomenimis leidžiamas maksimalus nusidėvėjimas yra 25 % nuo originalaus konstrukcijos metalo storio.

Laivo "Grampian Venture" išilginės pertvaros storio matavimų vertinimas. 4 Lentelė

Elementų grupė: IŠILGINĖ PERTVARA 2250 NUO DP										
Struktūrų Elementas	Element/Španto No.	Tank/Triumo/Spec. No.	Origin. mm	Min stor. mm	Matavimai (bortai)		Pasikeitimas			
					Kairė	Dešinė	Kairė		Dešinė	
					mm	mm	mm	%	mm	%
lakštas A, matavimas x1	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.7	6.9	0.30	4.3%	0.10	1.4%
lakštas A, matavimas x2	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.8	7.2	0.20	2.9%	0.00	0.0%
lakštas A, matavimas x3	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.7	7.1	0.30	4.3%	0.00	0.0%
lakštas A, matavimas x4	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.7	6.8	0.30	4.3%	0.20	2.9%
lakštas A, matavimas x5	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.5	6.8	0.50	7.1%	0.20	2.9%
lakštas A, matavimas x6	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.6	6.9	2.40	34.3%	0.10	1.4%

lakštas A, matavimas x7	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.5		2.50	35.7%		-
lakštas A, matavimas x8	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.0		2.00	28.6%		-
lakštas A, matavimas x9	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.9		0.10	1.4%		-
lakštas A, matavimas x10	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.9		0.10	1.4%		-
lakštas B, matavimas x1	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.8	7.2	0.20	2.9%	0.00	0.0%
lakštas B, matavimas x2	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.7	6.9	0.30	4.3%	0.10	1.4%
lakštas B, matavimas x3	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.4	6.5	0.60	8.6%	0.50	7.1%
lakštas B, matavimas x4	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.8	6.8	0.20	2.9%	0.20	2.9%
lakštas B, matavimas x5	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.9	7.1	1.10	15.7%	0.00	0.0%
lakštas B, matavimas x6	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.5	6.8	0.50	7.1%	0.20	2.9%
lakštas B, matavimas x7	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.0	7.1	1.00	14.3%	0.00	0.0%
lakštas B, matavimas x8	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.1	6.9	0.90	12.9%	0.10	1.4%
lakštas B, matavimas x9	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.1	4.5	0.90	12.9%	2.50	35.7%
lakštas B, matavimas x10	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.5	5.1	0.50	7.1%	1.90	27.1%
lakštas B, matavimas x11	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.1	5.3	0.90	12.9%	1.70	24.3%
lakštas B, matavimas x12	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.9	5.2	0.10	1.4%	1.80	25.7%
lakštas B, matavimas x13	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.0	4.7	2.00	28.6%	2.30	32.9%
lakštas B, matavimas x14	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.3	4.6	2.70	38.6%	2.40	34.3%
lakštas B, matavimas x15	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.1		2.90	41.4%		-
lakštas B, matavimas x16	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.0		3.00	42.9%		-

Paryškinti langeliai parodo koks metalo storio pakitimas procentais nuo originalaus metalo storio.



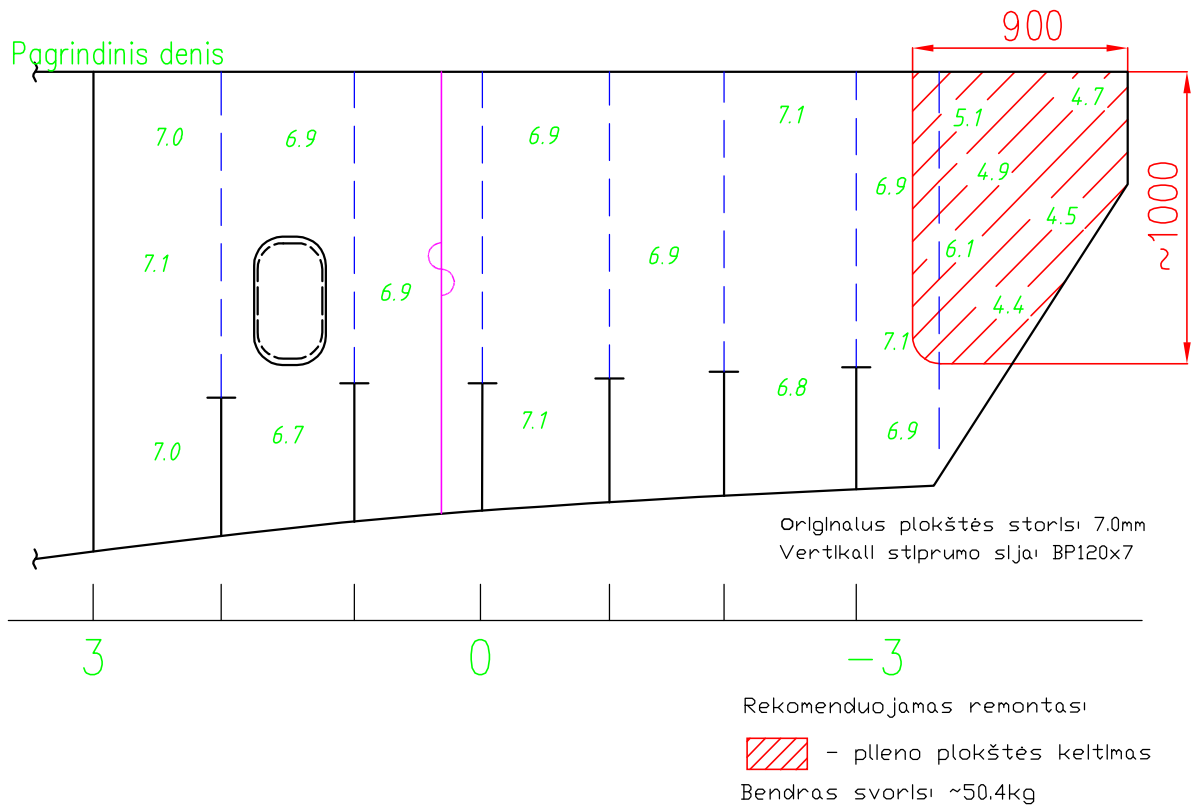
30 pav. Laivo "Grampian Falcon" išilginės pertvaros

remontas kairiajame borte

[UAB "Harbort Klaipėda" archyvas]

Laivo "Grampian Falcon" dešimtojo užbortinio vandens balastinio tanko išilginės pertvaros kairiajame borte remontas aptiktas laivagalinėje pertvaros dalyje. Remontas nustatytas atlikus 25 matavimus. Remonto matmenys laivagalinėje pertvaros dalyje 3300x1900 mm. t.y. 6,27 m². Bendras metalo svoris remontui - 351 kg. Matavimų vertinimas atliktas lentelėje 5. Registro

duomenimis leidžiamas maksimalus nusidėvėjimas yra 25 % nuo originalaus konstrukcijos metalo storio.



31 pav. Laivo "Grampian Falcon" išilginės pertvaros
remontas dešiniajame borte
[UAB "Harbort Klaipėda" archyvas]

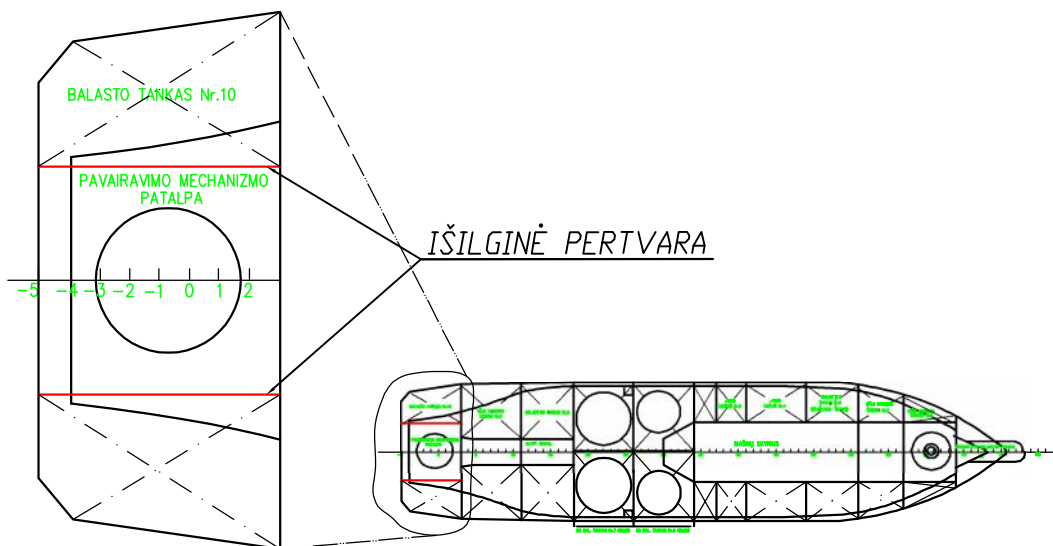
Laivo "Grampian Falcon" dešimtojo užbortinio vandens balastinio tanko išilginės pertvaros dešiniajame borte remontas aptiktas laivagalinėje pertvaros dalyje. Remontas nustatytas atlikus 20 matavimų. Remonto matmenys laivagalinėje pertvaros dalyje 1000x900 mm. t.y. 0,9 m². Bendras metalo svoris remontui - 50 kg. Matavimų vertinimas atliktas lentelėje 5. Registro duomenimis leidžiamas maksimalus nusidėvėjimas yra 25 % nuo originalaus konstrukcijos metalo storio.

Laivo "Grampian Falcon" išilginės pertvaros storio matavimų vertinimas. 5 Lentelė

Elementų grupė: IŠILGINĖ PERTVARA 2250 NUO DP										
Struktūrų Elementas	Element/Španto No.	Tank/ Triumo/ Spec. No.	Origin. mm	Min stor. mm	Matavimai (bortai)		Pasikeitimas			
					Kairė	Dešinė	Kairė		Dešinė	
					mm	mm	mm	%	mm	%
lakštas, matavimas x1	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.4	7.0	0.60	8.6%	0.00	0.0%
lakštas, matavimas x2	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.5	7.1	0.50	7.1%	0.00	0.0%
lakštas, matavimas x3	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.0	7.0	1.00	14.3%	0.00	0.0%
lakštas, matavimas x4	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	7.3	6.7	0.00	0.0%	0.30	4.3%
lakštas, matavimas x5	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.0	6.9	1.00	14.3%	0.10	1.4%
lakštas, matavimas x6	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.2	7.1	0.80	11.4%	0.00	0.0%
lakštas, matavimas x7	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.4	6.9	0.60	8.6%	0.10	1.4%

lakštas, matavimas x8	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.1	6.9	0.90	12.9%	0.10	1.4%
lakštas, matavimas x9	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	6.3	6.8	0.70	10.0%	0.20	2.9%
lakštas, matavimas x10	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.1	7.1	1.90	27.1%	0.00	0.0%
lakštas, matavimas x11	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.0	6.9	2.00	28.6%	0.10	1.4%
lakštas, matavimas x12	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.9	7.1	2.10	30.0%	0.00	0.0%
lakštas, matavimas x13	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.4	6.9	2.60	37.1%	0.10	1.4%
lakštas, matavimas x14	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.1	4.4	1.90	27.1%	2.60	37.1%
lakštas, matavimas x15	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.1	6.1	1.90	27.1%	0.90	12.9%
lakštas, matavimas x16	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.2	4.9	1.80	25.7%	2.10	30.0%
lakštas, matavimas x17	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.5	5.1	2.50	35.7%	1.90	27.1%
lakštas, matavimas x18	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.0	4.5	2.00	28.6%	2.50	35.7%
lakštas, matavimas x19	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.7	4.7	2.30	32.9%	2.30	32.9%
lakštas, matavimas x20	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.2		2.80	40.0%		-
lakštas, matavimas x21	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.8		2.20	31.4%		-
lakštas, matavimas x22	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.7		2.30	32.9%		-
lakštas, matavimas x23	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.5		2.50	35.7%		-
lakštas, matavimas x24	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	5.0		2.00	28.6%		-
lakštas, matavimas x25	Šp. 3-(-5)	B.T. Nr.10	7.00	5.20	4.4		2.60	37.1%		-

Paryškinti langeliai parodo koks metalo storio pakitimas procentais nuo originalaus metalo storio.



32 pav. Laivų serijos tankų išdėstymas laive.

Pilno dydžio tankų planas 1 priede.

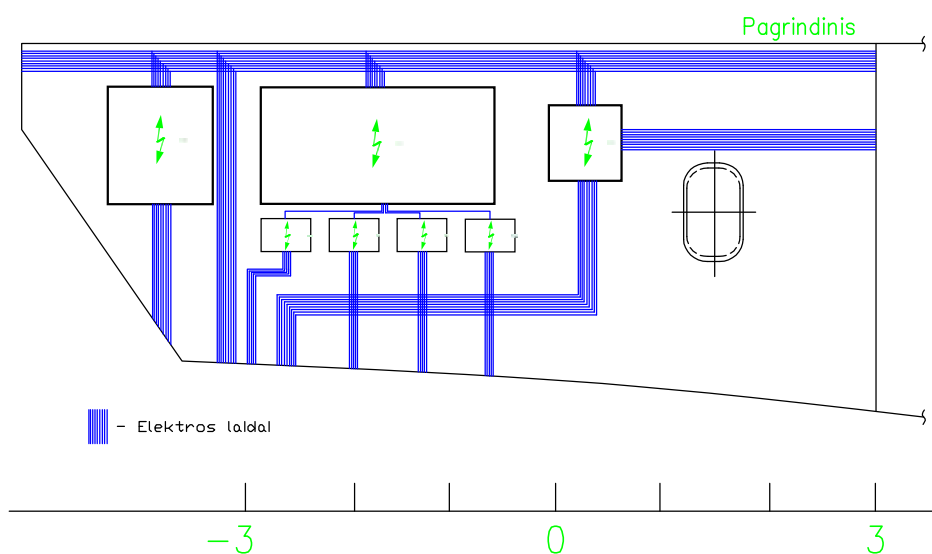
[UAB "Harbort Klaipėda" archyvas]

Laive yra dešimt porų tankų. Tai yra simetriškai išdėstyti abėjuose bortuose. Šešios poros iš jų yra užbrinio vandens balastiniai tankai, vienas laivapriekio balastinis tankas, o likusieji yra kuro tankai, gėlo vandens tankai ir nuotekų tankai. Išskeltiniame vaize matomi dešimtieji balastiniai tankai ir intensyvios korozijos veikiamos išilginės pertvaros.



33 pav. Nuotraukoje matomas laivo "Grampian Falcon" kairiojo borto dešimtojo tanko išilginės pertvaros korozinis nusidėvėjimas
[UAB "Harbort Klaipėda" archyvas]

Kaip matoma iš situacijos aprašymo, visų keturių vienos serijos laivų išilginės pertvaros kairiajame borte labiau paveiktos korozijos nei dešiniajame borte. Arba jos jau yra remontuotos, bet jau paveiktos korozijos. Tai matoma iš to, kad pagal konstrukcinius brėžinius ši pertvara turi būti išpjauta iš vientiso 7 mm. storio metalo lakšto. O kai kurių laivų pertvaros susideda iš dviejų metalo lakštų.



34 pav. Elektros įrenginių schema ant išilginės pertvaros [Autoriaus brėžinys]

Kairiajame borte ant išilginės pertvaros iš pavairavimo mechanizmo patalpos pusės sumontuota daug elektros įrangos prietaisų. Tai yra pavairavimo mechanizmo valdymo ir hidraulių siurblių valdymo laidai ir elektros laidų susikirtimo skydinės, patalpų apšvietimo laidai ir skydinės, brašpilio maitinimo ir valdymo laidai, ir daug kitų laidų magistralių. 34 pav.

3. TYRIMO DUOMENŲ PRIKLAUSOMYBĖS STATISTINIS ĮVERTINIMAS IR METODIKA

3.1 Statistinio tyrimo sąlygos

Vykdamas eksperimentinius tyrimus, buvo atliekami įvairių proceso parametrų (požymių) reikšmių matavimai. Šių matavimų duomenys apskritai gali būti kvalifikuojami kaip tam tikrų duomenų generalinė aibė, kurios kiekvienas narys yra atsitiktinis dydis. Tarp matavimo rezultatų yra ir mus specialiai dominančių požymių reikšmės. Preliminariai yra spėjama, kad požymių reikšmių sklaidos charakteris atitinka normalaus ar jam artimo pasiskirstymo dėsnį.

Reikia nustatyti, ar yra koreliacinis ryšys tarp šių požymių, o jeigu yra, tai koks šio ryšio stiprumas ir jo įvertinimo statistinis patikimumas.

Iš generalinės aibės išrinkta požymių tarpusavyje susijusių matavimo rezultatų imtis. Duomenų imties aibės dydis n . [V.Smailys, 2007]

3.1.1 Išankstinis bandymų duomenų paruošimas

Atsitiktinių dydžių vertinimo rodiklių apskaičiavimas:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}, \quad (12)$$

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (13)$$

$$\bar{S}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad (14)$$

$$\nu = \frac{\bar{S}_x}{\bar{x}}, \quad (15)$$

čia: \bar{x} - tiriamų objektų imties vidurkis (aritmesnis vidurkis);

\bar{S}^2 - imties dispersijos; dispersijos nusako požymių reikšmių sklaidą arba išsibarstymą apie imties vidurkį;

\bar{S} - imties vidutiniai kvadratiniai arba standartiniai nuokrypiai; standartiniai nuokrypiai parodo vidutinį imties variantų nukrypimą nuo jų vidurkių (kuo didesnis standartinis nuokrypis, tuo didesnė požymio sklaida);

ν - variacijos koeficientas - tai santykinis variacijos rodiklis, kuriuo galima palyginti atskirų imčių variaciją. [Smailys V., 2007]

3.1.2 Nepatikimų imties reikšmių buvimo patikrinimas

Patikrinimas atliekamas žinant imties aritmetinį vidurkį \bar{x} ir jo standartinį nuokrypį \bar{S} . Jeigu imties požymio reikšmė tenkina sąlygą $(\bar{x} - 3\bar{S}) < x_i < (\bar{x} + 3\bar{S})$, tai daroma išvada, kad šioje imtyje nepatikimų variantų nėra, t.y. visos variantų reikšmės yra patikimos. Jeigu kuri nors reikšmė išsėina iš šių ribų, jos yra atmetamos, ir imties vidurkis bei vidutinis kvadratinis nuokrypis apskaičiuojami iš naujo, nenaudojant atmetusių variantų. [Smailys V., 2007]

3.1.3 Pasiskirstymo dažnių histograma

Surašant nesutvarkytos eilutės narių reikšmes didėjimo ar mažėjimo tvarka sudaroma ranginė variacinė eilutė.

Grupuojant variacinės eilutės narius į lygius reikšmių intervalus, nurodant tų intervalų pradžią ir pabaigą, taip pat į konkrečius intervalus patenkančių narių skaičių, kuris vadinamas dažniu f , sudaroma intervalinė variacinė eilutė.

Sudarant intervalines variacines eilutes:

- atsižvelgdami į narių kiekį imtyje n pasirenkame intervalų skaičių;
- apskaičiuojame intervalo ilgį h ;
- apskaičiuojame kiekvieno intervalo pradžią ir pabaigą;
- nustatome narių pasikartojimo intervaluose dažnius;
- gautus duomenis įrašome į variacinės eilutės lentelę.

Optimalus intervalų skaičius k intervalinėje variacinėje eilutėje priklauso nuo tyrimo duomenų variantų kiekio n , todėl jį patariama rinkti pagal tokią formulę:

$$k \approx 1 + 3.32 \log_{10} n, \quad (16)$$

Intervalo ilgis h apskaičiuojamas pagal formulę:

$$h = \frac{R}{k}, \quad (17)$$

čia: $R = x_{\max} - x_{\min}$, variacinis plotis;

$x_{\max} (y_{\max})$ - didžiausia variacinė reikšmė;

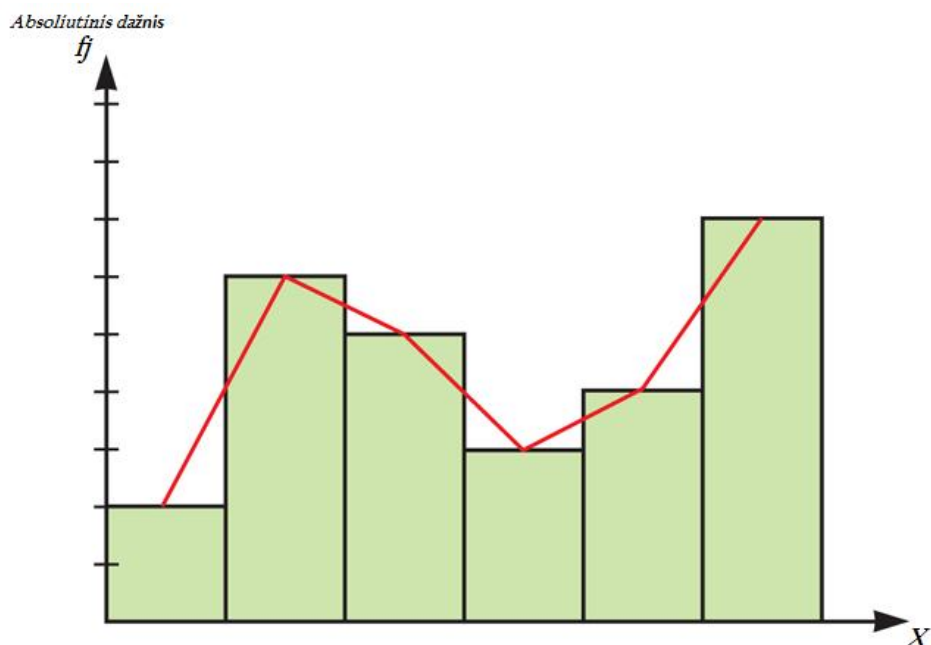
x_{\min} (y_{\min}) - mažiausia variacinės eilutės nario reikšmė;

k - pasirinktų intervalų skaičius.

Intervalo ilgį h galima apvalinti. Tai daroma didinant apvalinamą apskaičiuotąją reikšmę, nes jeigu ją mažinsime, ne visi variantai tilps paskutiniame intervale.

Žinant intervalo ilgį h , apskaičiuojamos intervalų pradžios ir pabaigos reikšmės. Požymio X atveju pirmojo intervalo pradžia laikoma varianto x_{\min} reikšmė, jo pabaiga randama prie x_{\min} , pridėjus intervalo ilgio h dydį. Pirmojo intervalo pabaiga laikoma antrojo intervalo pradžia ir t.t. Nariai, sutampantys su vieno intervalo pabaiga, o kito pradžia, priskiriami pirmajam intervalui. Tokiu būdu apskaičiuojamos visų intervalų pabaigos ir jų reikšmėmis užpildoma variacinės eilutės lentelė.

Pagal šių lentelių duomenis nustatomi absoliutūs ir santykiniai požymių reikšmių dažniai, kurių pagrindu sudaroma požymio reikšmių dažnių pasiskirstymo histograma ir braižomi jo poligonas (34 pav.) [Smailys V., 2007]



34 pav. Požymio histograma ir poligonas [<http://sbinfo.ro>]

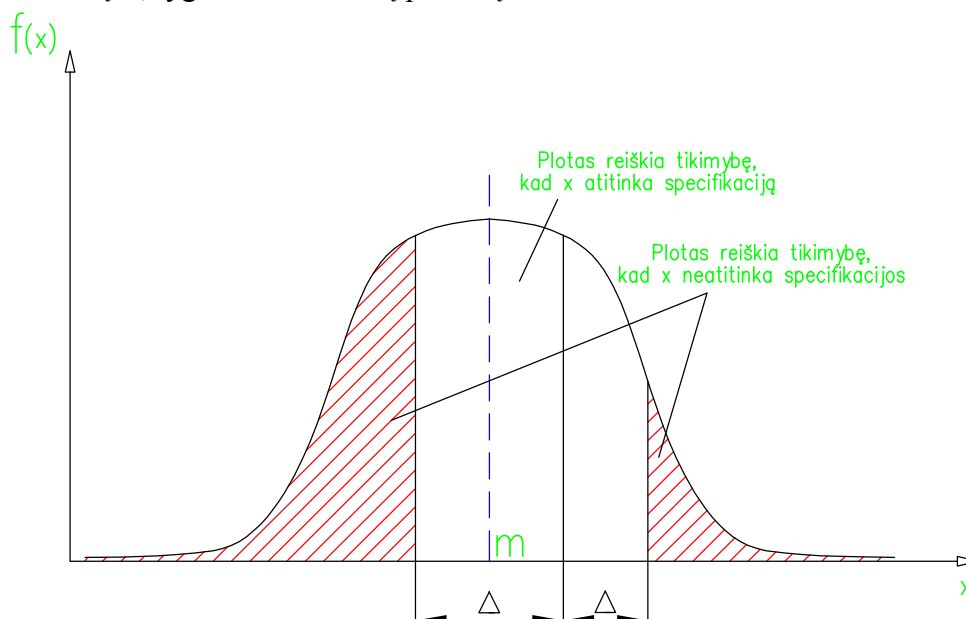
3.1.4 Normalaus pasiskirstymo hipotezės tikrinimas

Jis atliekamas tik tais atvejais, kai variacijos koeficientas $\nu < 0,33$. Jeigu imties reikšmių skaičius (imties tūris) $n < 120$, tai spėjama normaliojo pasiskirstymo hipotezės tikrinimas gali būti nustatomi pagal vieną iš metodų, pavyzdžiui, panaudojus variacijos plotį $R = x_{\max} - x_{\min}$.

Apskaičiuojami santykiai R/\bar{S}_x ir palyginami su šio santykio kritinėmis viršutinėmis ir apatinėmis ribomis. Jeigu R/\bar{S} mažesnis už apatinę arba didesnis už viršutinę ribą, tai reiškia, kad normalaus pasiskirstymo nėra. [Smailys V., 2007]

3.1.5 Technikos objekto specifikacija ir jo statistinės charakteristikos

Parodytus 35 pav. tam tikro produkto charakteristikos x statistinis pasiskirstymas ir kaip ta charakteristika atitinka gaminio specifikaciją. Charakteristikos x sklaidą apibūdina normalinio tikimybės pasiskirstymo tankio funkcija, kurios vidurkis m ir standartas σ . Gaminio specifikacijoje nurodyta parametro vertė x_T , ir jo tolerancija $\pm \Delta$. Tikimybė, kad kuris nors konkretus gaminys neatitiks specifikacijos, lygi užbrūkšniuotų plotelių sumai.



35 pav. Parametro x sutikimas su specifikacija [http://sbinfo.ro]

Paprastai technikos objektas apibūdinamas parametru aibe $\{x\}$, ir tikimybė P turi būti skaičiuojama kiekvienam parametru. Tokiam skaičiavimui reikia žinoti specifikuojamas parametru vertes $\{x_T\}$, jų tolerancijas $\{\Delta\}$, statistinius vidurkius $\{m\}$ ir standartinius nuokrypius $\{\sigma\}$. Skaičiavimų rezultatas bus aibė tikimybių verčių $\{P\}$, kurių kiekviena reikš tikimybę, kad parametras neatitinka specifikacijos. Technikos objektas visiškai neatitiks specifikacijos, jei bent vienas parametras neatitiks specifikacijos. Tokio įvykio tikimybė P_V bus lygi tikimybei

P_1 , kad X_1 neatitinka specifikacijos, arba

P_2 , kad X_2 neatitinka specifikacijos, arba

P_3 , kad x_3 neatitinka specifikacijos ir t.t.

Tarus, kad tikimybė, jog keli to paties gaminio parametrai tuo pat metu neatitinka specifikacijos, lygi nuliui, bendra gaminio neatitikimo tikimybė gali būti apskaičiuota taip: [H. Medekšas, 2003]

$$P_V = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N. \quad (18)$$

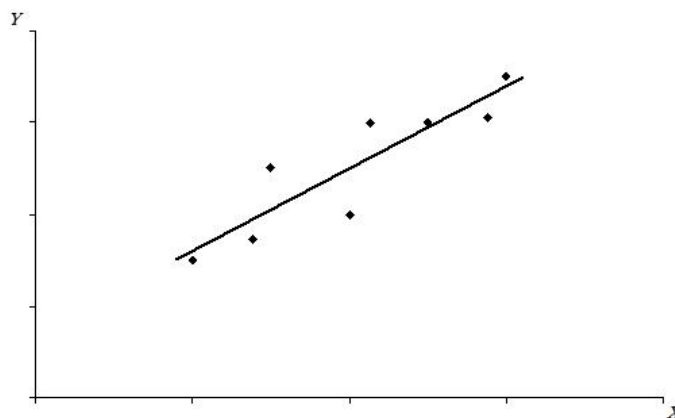
3.1.6 Porinės priklausomybės regresijos ir koreliacijos uždavinio sprendimas

Šiame darbo etape vykdome tokias operacijas:

- taikant mažiausiųjų kvadratų metodą, sudaroma tiesioginė $y = f(x)$ ir atvirkštinė $x = f(y)$ regresijos lygtys bei pateikiama jų geometrinė interpretacija;
- apskaičiuojamas porinės koreliacijos koeficientas r ;
- atliekamas porinės koreliacijos ir regresijos statistinis įvertinimas.

Mažiausiųjų kvadratų metodas dvimatės erdvės atveju (plokštumoje). Regresijos lygtis

Porinės priklausomybės labiausiai paplitusios tikslųjų ir technologijos mokslų srityse. Sudarant tokias priklausomybes, taikomas porinės regresinės analizės metodas. Tarkime, bandymų metu stebimos dydžių X ir Y porinės priklausomybės. Grafiniam šių duomenų atvaizdavimui naudojama plokščia Dekarto koordinatinių sistema (36 pav.).



36 pav. Bandymo duomenų sklaidos diagrama[V.Smailys, 2007]

Matome, kad pakitus požymio X reikšmei kinta ir Y reikšmė. Priklausomybę tarp y ir x reikšmių galima užrašyti analitiškai. Taikomas mažiausiųjų kvadratų (tiesinės regresinės analizės) metodas.

Tiesinės regresinės analizės metodo esmė yra vienintelės tiesės kuri kisdama grafiškai atvaizduotų tyromo duomenų lauką ir tenkintų sąlygą, kad visų patikimų taškų nuokrypių nuo šios tiesės kvadratų suma yra mažiausia iš visų galimu. Šios sąlygos geometrinė interpretacija parodyta 36 pav., o metodo analitinis mechanizmas gali būti išreikštas nesudėtingomis formulėmis.

Tariama, kad ieškomos tiesės lygtis turės formą

$$y = b_0 + b_1x; \quad (19)$$

čia: b_0 ir b_1 yra pirmojo laipsnio polinomo koeficientai

Taško i nuokrypis nuo tiesės bus

$$\Delta = y_i - (b_0 + b_1x_i), \quad (20)$$

o nuokrypio kvadratas atitinkamai

$$\Delta_i^2 = [y_i - (b_0 + b_1 x_i)]^2, \quad (21)$$

Tuomet nuokrypių kvadratų suma U turės išraišką

$$U = \sum_{i=1}^n [y_i - (b_0 + b_1 x_i)]^2, \quad (22)$$

Mažiausių kvadratų U_{\min} sąlygą tenkins tiesė, kurios nuokrypių kvadratų suma bus mažiausia, t.y.

$$U = \left(\sum_{i=1}^n \Delta_i^2 \right)_{\min}, \quad (23)$$

Sprendžiant uždavinį analitiniu metodu, ieškome tokių koeficientų b_0 ir b_1 , reikšmių, kurios duoda mažiausią iš visų galimų U_{\min} , reikšmę.

Nesigilindami į detales, pažymėsime, kad ieškodami U_{\min} naudojamas funkcijos U pirmosios išvestines šaknų paieškos metodu, sudarydami dviejų lygčių sistemą [V.Smailys, 2007]

$$\begin{cases} \frac{dU}{db_0} = 0 \\ \frac{dU}{db_1} = 0 \end{cases}, \quad (24)$$

Jį išsprendę gauname nesudėtingas praktines formules

$$b_{0(yx)} = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum xy \sum x}{n \sum xy - \sum x \sum y}, \quad (25)$$

$$b_{1(yx)} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}, \quad (26)$$

Aritmetiniai vidurkiai

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}, \quad (27)$$

Skaičiavimams patikrinti galima naudoti išraišką

$$\sum x^2 + 2 \sum xy + \sum y^2 = \sum (x + y)^2, \quad (28)$$

3.1.7 Porinė koreliacija. Porinės koreliacijos ir regresijos statistinis įvertinimas

Skiriamos dvi atsitiktinių dydžių tarpusavio priklausomybės: funkcinė ir statistinė (stochastinė). Jeigu visi 8 taškai, būtų išsidėstę regresijos lygties tiesėje, turėtume tiesinę funkcinę priklausomybę $y = f(x)$. Kai yra funkcinė priklausomybė, koreliacijos sąvoka neturi prasmės, nes šiuo atveju porinės koreliacijos koeficientas yra visada lygus 1. Esant statistiniam y ir x ryšiui, porinės koreliacijos koeficiento r apskaičiavimas ir jo statistinis įvertinimas yra svarbus veiksnys, leidžiantis spręsti apie šio ryšio glaudumą. Koeficientas r gali keistis nuo (-1) iki $(+1)$. Kuo arčiau prie 1 reikšmė r , tuo labiau nagrinėjamoji priklausomybė priartėja prie funkcinės. Kai y ir x atitinka normaliojo duomenų pasiskirstymo dėsnį tai gali būti nagrinėjamos dvi regresijos lygtys: tiesioginė ir atvirkštinė. Mūsų jau išnagrinėta tiesioginė regresija nustato priklausomybę nuo x ir atvirkštinė - x : priklausomybę nuo y :

$$x = b_{0(xy)} + b_{1(xy)}y \quad (29)$$

Tiesioginės ir atvirkštinės regresijos lygčių tiesės susikerta svorio centre $(\bar{x}; \bar{y})$ ir sudaro „žirkles“. Kuo siauresnės „žirklės“, t. y. kuo mažesnis kampas θ tarp tiesioginės ir atvirkštinės regresijos tiesių $y = f(x)$ ir $x = f(y)$, tuo arčiau statistinis ryšys prie funkcinio. Esant funkciniam ryšiui, abi regresijos tiesės susilieja (kampas $\theta = 0$). Kai $\theta = 90^\circ$, y ir x yra visiškai nepriklausomi.

Atvirkštinės regresijos lygties koeficientai randami tokiu pat būdu, kaip ir tiesioginės, tik šiuo atveju nuokrypiai nustatomi ir jų kvadratų mažiausia suma ieškoma ne ašies O_y , bet ašies O_x atžvilgiu.

Skaičiavimuose, pagal analogiją, naudojamos formulės

$$b_{0(xy)} = \frac{\sum y \sum y^2 - \sum xy \sum y}{n \sum y^2 - (\sum y)^2}, \quad (30)$$

$$b_{1(xy)} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum y^2 - (\sum y)^2}, \quad (31)$$

Gauti koeficientai įstatomi į (29) lygtį.

Atvirkštinės regresijos priklausomybės charakteris (funkcinis ar statistinis) taip pat vertinamas analogiškai kaip ir tiesioginės regresijos atveju.

Porinės regresijos koeficientas r , panaudojus vidurkių \bar{x} ir \bar{y} reikšmes, apskaičiuojamas pagal formulę. [Smailys V., 2007]

$$\hat{r} = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}, \quad (32)$$

3.2 Visų laivų porinės koreliacijos ir regresijos statistinis vertinimas

Bandant nustatyti visų "Grampian" serijos laivų dešimtojo užbortinio vandens balastinio tanko išilginės pertvaros tarpusavio ryšį tarp visų keturių laivų matavimo duomenų. Darbe bandyta išanalizuoti porinės koreliacijos statistinį ryšį tarp visų keturių laivų, pagal matavimo koordinates ir likutinį storį, likutinio storio matavimus grupuojant pagal špacijos ilgį. Tarpusavio priklausomybė tarp korozijos matavimo rezultatų tarp visų keturių laivų nenustatyta. Kadangi koreliacijos koeficiento r reikšmės gali svyruoti nuo (-1) iki (+1). Kuo arčiau r reikšmė priartėja prie 1 tuo didesnė funkcinė priklausomybė. O kadangi r reikšmės lyginant visus laivus yra nuo (-0,17) iki (-0,06) tai rodo, jog ryšio pagal defekto gylį ir defekto vietą nėra. Duomenys matomi 6 lentelėje.

Ryšys pagal defekto gylį ir defekto vietą

6 Lentelė

Špacija	"Grampian Sprite"	"Grampian Haven"	"Grampian Venture"	"Grampian Falcon"
(-5) -- (-4)	4.8	6.5	4	4.4
(-5) -- (-4)			4.1	5
(-5) -- (-4)			4.3	
(-5) -- (-4)			5	
(-4) -- (-3)	5.5	6.6	6.9	4.5
(-4) -- (-3)	4.3	5	6.1	4.7
(-4) -- (-3)		5.1	6.8	4.8
(-3) -- (-2)	4	6.4	6.1	4.2
(-3) -- (-2)	5.3	6.5	6.1	4.7
(-3) -- (-2)	5.9	5.2	6	5
(-3) -- (-2)		5.8	6.5	
(-2) -- (-1)	5.8	6.5	5.9	4.5
(-2) -- (-1)	5.8	6.3	6.8	5.2
(-2) -- (-1)		5.1	6.4	5.1
(-1) -- 0	6.1	5.1	6.7	5.1
(-1) -- 0	6.4	5	6.8	4.4
(-1) -- 0	4.6	5.1		4.9
(-1) -- 0	6.4			
0 -- 1	4.9	5.3	6.9	6.3
0 -- 1	4.9	4.8	6.9	5
0 -- 1	5.5			6.1
0 -- 1	6.9			5.1
0 -- 1				6.4
1 -- 2	6	5.2	5	6.2
1 -- 2	5.4	4.9	4.5	6
1 -- 2	6.8		4.6	7.3
2 -- 3	4.8	5.1	6.7	6
2 -- 3	5.2	5.1	6.8	6.5
2 -- 3	6.9	5.5	6.7	6.4
r , reikšmė		-0.06	-0.173	-0.106

3.2.1 Laivo "Grampian Sprite" duomenų statistinis įvertinimas

Duomenys matomi 7 lentelėje yra laivo "Grampian Sprite" kairiojo ir dešiniojo borto dešimtojo tanko išilginių pertvarų išankstinis duomenų paruošimas ir atsitiktinių dydžių vertinimo rodiklių reikšmės.

7 Lentelė

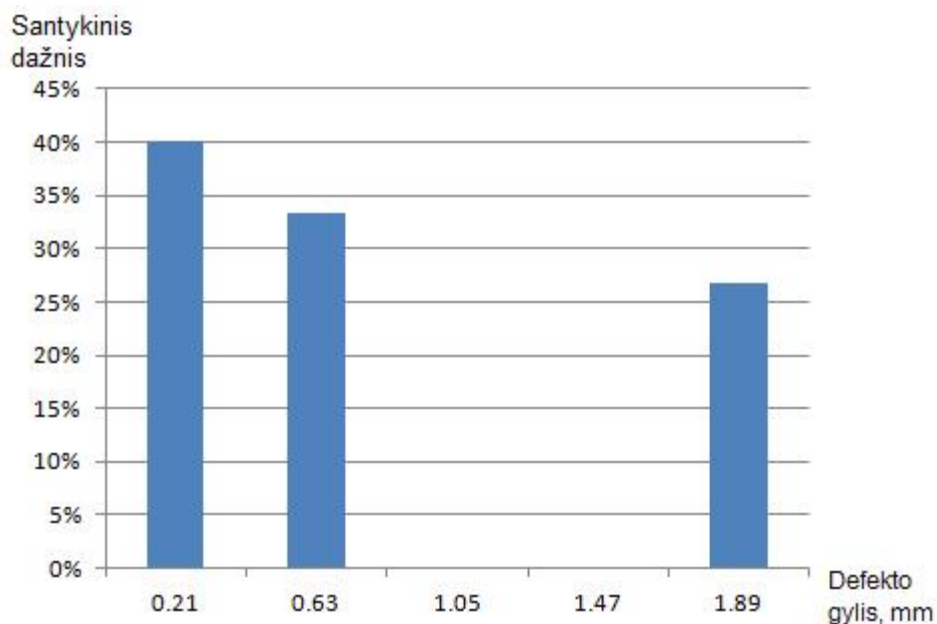
	Kairysis bortas	Dešinysis bortas
Imties vidurkis, mm	1,45	0,62
standartas	0,83	0,73
Varijacijos koef.	57,54	120,61
Kitimo intervalas	2,9	2,10
Intervalas	0,58	0,42
Intervalų sk., k	5,45 ~ 5	5,16 ~ 5

Duomenys matomi 8 lentelėje yra laivo "Grampian Sprite" dešimtojo užbortinio vandens tanko kairiajame borte išilginės pertvaros korozinio nusidėvėjimo gylio pasikartojimo dažnis.

Kairysis bortas		8 Lentelė	
Intervalo numeris	Intervalai	Intervalo vidurkis	Dažnis
1	0,1 - 0,68	0,39	5
2	0,68 - 1,26	0,97	5
3	1,26 - 1,84	1,55	3
4	1,84 - 2,42	2,13	6
5	2,42 - 3,0	2,71	3

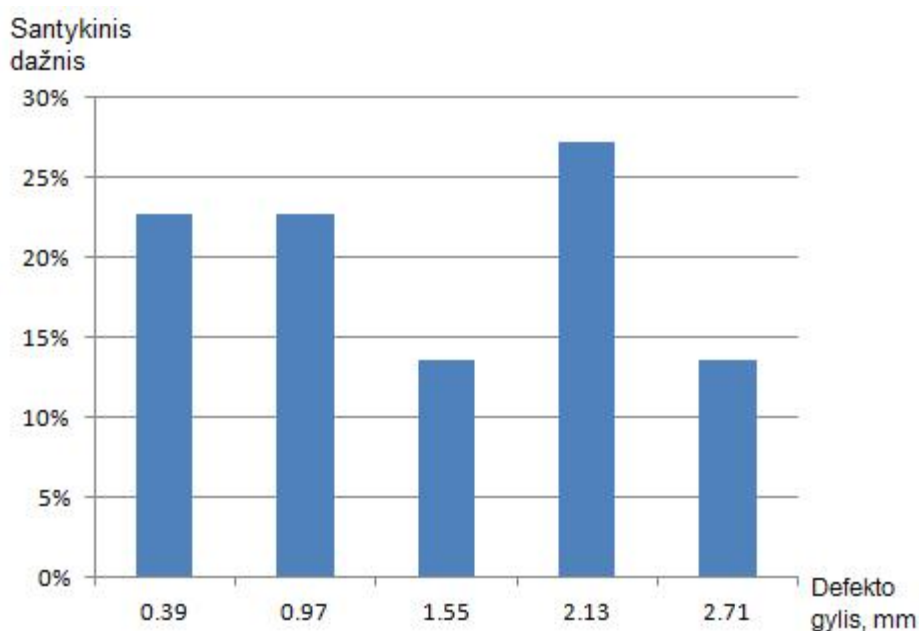
Duomenys matomi 9 lentelėje yra laivo "Grampian Sprite" dešimtojo užbortinio vandens tanko dešiniajame borte išilginės pertvaros korozinio nusidėvėjimo gylio pasikartojimo dažnis.

Dešinysis bortas		9 Lentelė	
Intervalo numeris	Intervalai	Intervalo vidurkis	Dažnis
1	0 - 0,42	0,21	6
2	0,42 - 0,84	0,63	5
3	0,84 - 1,26	1,05	0
4	1,26 - 1,68	1,47	0
5	1,68 - 2,1	1,89	4



37 pav. Reikšmių dažnių pasiskirstymo histograma dešiniajame borte

Histogramoje 37 pav. matome, kad dažniausiai pasikartojantis defekto gylis svyruoja nuo 0 mm iki 0,42 mm tokių defektų yra 6. O giliausi pasikartojantys matavimai yra 4 ir reikšmės svyruoja nuo 1,68 mm. iki 2,1 mm.



38 pav. Reikšmių dažnių pasiskirstymo histograma kairiajame borte

Histogramoje 38 pav. matome, kad dažniausiai pasikartojantis defekto gylis svyruoja nuo 1,84 mm iki 2,42 mm tokių defektų yra 6. O giliausi pasikartojantys matavimai yra 3 ir reikšmės svyruoja nuo 2,42 mm. iki 3,0 mm.

3.2.2 Laivo "Grampian Haven" duomenų statistinis įvertinimas

Duomenys matomi 10 lentelėje yra laivo "Grampian Haven" kairiojo ir dešiniojo borto dešimtojo tanko išilginių pertvarų išankstinis duomenų paruošimas ir atsitiktinių dydžių vertinimo rodiklių reikšmės.

10 Lentelė

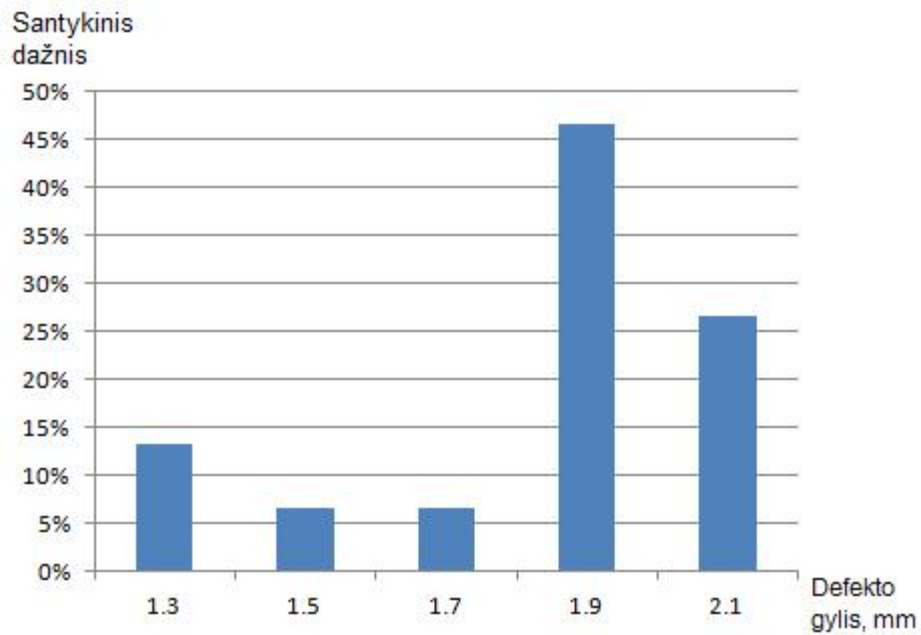
	Kairysis bortas	Dešinysis bortas
Imties vidurkis, mm	1,81	1,12
Sigma standartas	0,29	0,75
Varijacijos koef.	16,26	67,49
Kitimo intervalas	1,00	2.2
Intervalas	0,2	0,44
Intervalų sk.,k	4,9 ~ 5	5,08 ~ 5

Duomenys matomi 11 lentelėje yra laivo "Grampian Haven" dešimtojo užbortinio vandens tanko kairiajame borte išilginės pertvaros korozinio nusidėvėjimo gylio pasikartojimo dažnis.

Kairysis bortas	11 Lentelė		
Intervalo numeris	Intervalai	Intervalo vidurkis	Dažnis
1	1,2 - 1,4	1,3	2
2	1,4 - 1,6	1,5	1
3	1,6 - 1,8	1,7	1
4	1,8 - 2	1,9	7
5	2 - 2,2	2,1	4

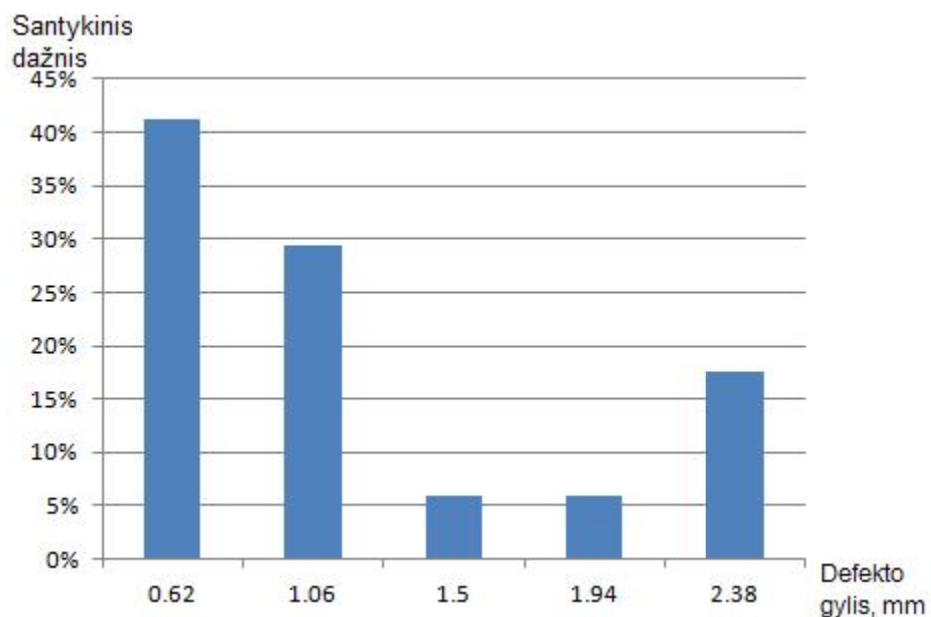
Duomenys matomi 12 lentelėje yra laivo "Grampian Haven" dešimtojo užbortinio vandens tanko dešiniajame borte išilginės pertvaros korozinio nusidėvėjimo gylio pasikartojimo dažnis.

Dešinysis bortas	12 Lentelė		
Intervalo numeris	Intervalai	Intervalo vidurkis	Dažnis
1	0,4 - 0,84	0,62	7
2	0,84 - 1,28	1,06	5
3	1,28 - 1,72	1,5	1
4	1,72 - 2,16	1,94	1
5	2,16 - 2,6	2,38	3



39 pav. Reikšmių dažnių pasiskirstymo histograma kairiajame borte

Histogramoje 39 pav. matome, kad dažniausiai pasikartojantis defekto gylis svyruoja nuo 1,8 mm iki 2,0 mm tokių defektų yra 7. O giliausi pasikartojantys matavimai yra 4 ir reikšmės svyruoja nuo 2,0 mm. iki 2,2 mm.



40 pav. Reikšmių dažnių pasiskirstymo histograma dešiniajame borte

Histogramoje 40 pav. matome, kad dažniausiai pasikartojantis defekto gylis svyruoja nuo 0,4 mm iki 0,84 mm tokių defektų yra 7. O giliausi pasikartojantys matavimai yra 3 ir reikšmės svyruoja nuo 2,16 mm. iki 2,6 mm.

3.2.3 Laivo "Grampian Venture" duomenų statistinis įvertinimas

Duomenys matomi 13 lentelėje yra laivo "Grampian Venture" kairiojo ir dešiniojo borto dešimtojo tanko išilginių pertvarų išankstinis duomenų paruošimas ir atsitiktinių dydžių vertinimo rodiklių reikšmės.

13 Lentelė

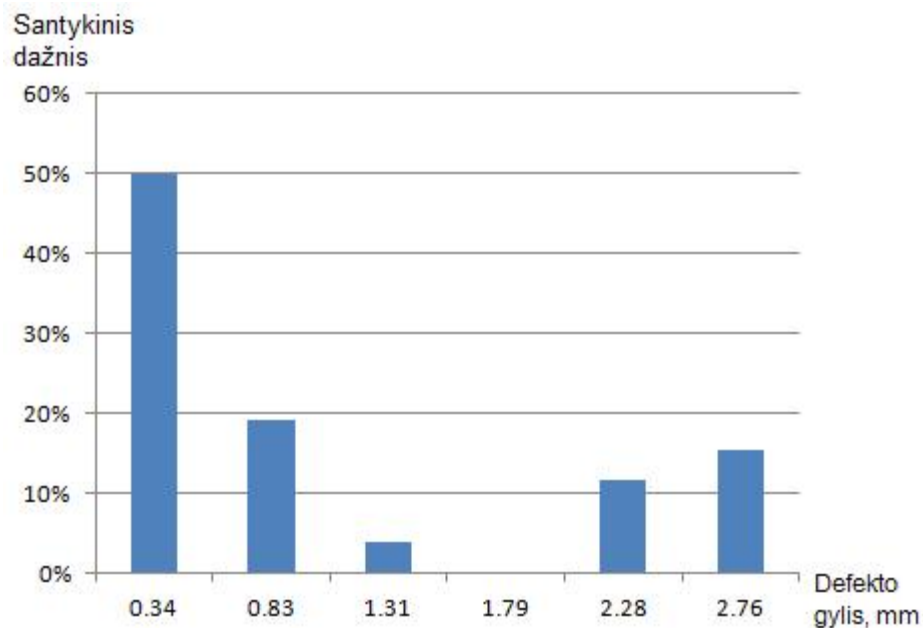
	Kairysis bortas	Dešinysis bortas
Imties vidurkis, mm	1.02	0,72
Sigma standartas	0.97	0,95
Varijacijos koef.	96.05	133,32
Kitimo intervalas	2.9	2,5
Intervalas	0.48	0,5
Intervalų sk., k	5,69 ~ 6	5,31 ~ 5

Duomenys matomi 14 lentelėje yra laivo "Grampian Venture" dešimtojo užbortinio vandens tanko kairiajame borte išilginės pertvaros korozinio nusidėvėjimo gylio pasikartojimo dažnis.

Kairysis bortas		14 Lentelė	
Intervalo numeris	Intervalai	Intervalo vidurkis	Dažnis
1	0,1 - 0,58	0.34	13
2	0,58 - 1,07	0.83	5
3	1,07 - 1,55	1.31	1
4	1,55 - 2,03	1.79	0
5	2,03 - 2,52	2.28	3
6	2,52 - 3	2.76	4

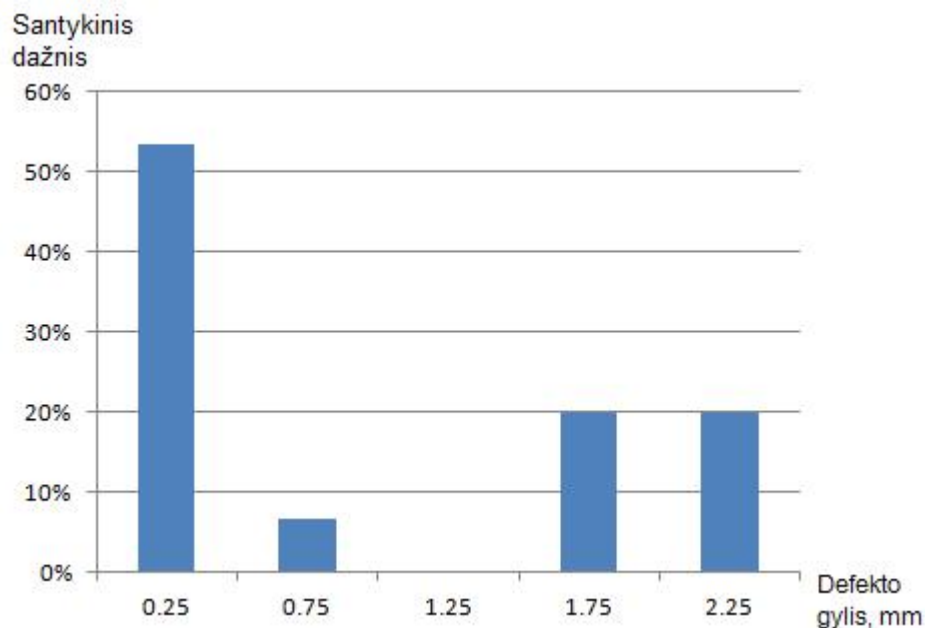
Duomenys matomi 15 lentelėje yra laivo "Grampian Venture" dešimtojo užbortinio vandens tanko dešiniajame borte išilginės pertvaros korozinio nusidėvėjimo gylio pasikartojimo dažnis.

Dešinysis bortas		15 Lentelė	
Intervalo numeris	Intervalai	Intervalo vidurkis	Dažnis
1	0 - 0,5	0.25	8
2	0,5 - 1	0.75	1
3	1 - 1,5	1.25	0
4	1,5 - 2	1.75	3
5	2 - 2,5	2.25	3



41 pav. Reikšmių dažnių pasiskirstymo histograma kairiajame borte

Histogramoje 41 pav. matome, kad dažniausiai pasikartojantis defekto gylis svyruoja nuo 0,1 mm iki 0,58 mm tokių defektų yra 13. O giliausi pasikartojantys matavimai yra 3 ir reikšmės svyruoja nuo 2,0 mm. iki 2, mm.



42 pav. Reikšmių dažnių pasiskirstymo histograma dešiniajame borte

Histogramoje 42 pav. matome, kad dažniausiai pasikartojantis defekto gylis svyruoja nuo 0 mm iki 0,5 mm tokių defektų yra 8. O giliausi pasikartojantys matavimai yra 3 ir reikšmės svyruoja nuo 2,0 mm. iki 2,5 mm.

3.2.4 Laivo "Grampian Falcon" duomenų statistinis įvertinimas

Duomenys matomi 16 lentelėje yra laivo "Grampian Falcon" kairiojo ir dešiniojo borto dešimtojo tanko išilginių pertvarų išankstinis duomenų paruošimas ir atsitiktinių dydžių vertinimo rodiklių reikšmės.

16 Lentelė

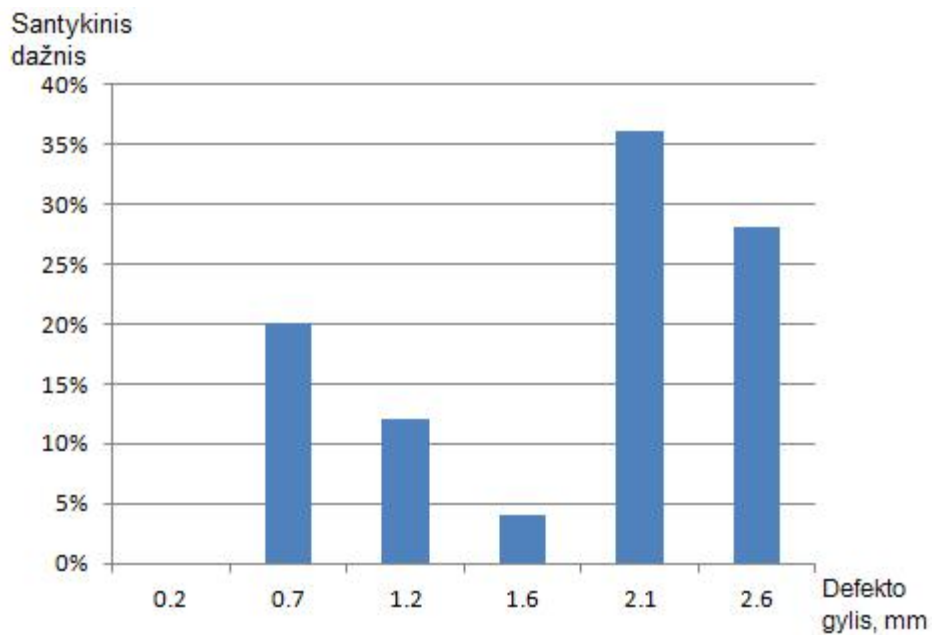
	Kairysis bortas	Dešinysis bortas
Imties vidurkis, mm	1,4	0,9
Sigma standartas	0,73	1,18
Varijacijos koef.	51,41	139,07
Kitimo intervalas	2,8	3,7
Intervalas	0,46	0,74
Intervalų sk., k	5,58 ~ 6	5,31 ~ 5

Duomenys matomi 17 lentelėje yra laivo "Grampian Falcon" dešimtojo užbortinio vandens tanko kairiajame borte išilginės pertvaros korozinio nusidėvėjimo gylio pasikartojimo dažnis.

Kairysis bortas		17 Lentelė	
Intervalo numeris	Intervalai	Intervalo vidurkis	Dažnis
1	0 - 0,46	0,2	0
2	0,46 - 0,93	0,7	5
3	0,93 - 1,4	1,2	3
4	1,4 - 1,86	1,6	1
5	1,86 - 2,33	2,1	9
6	2,33 - 2,8	2,6	7

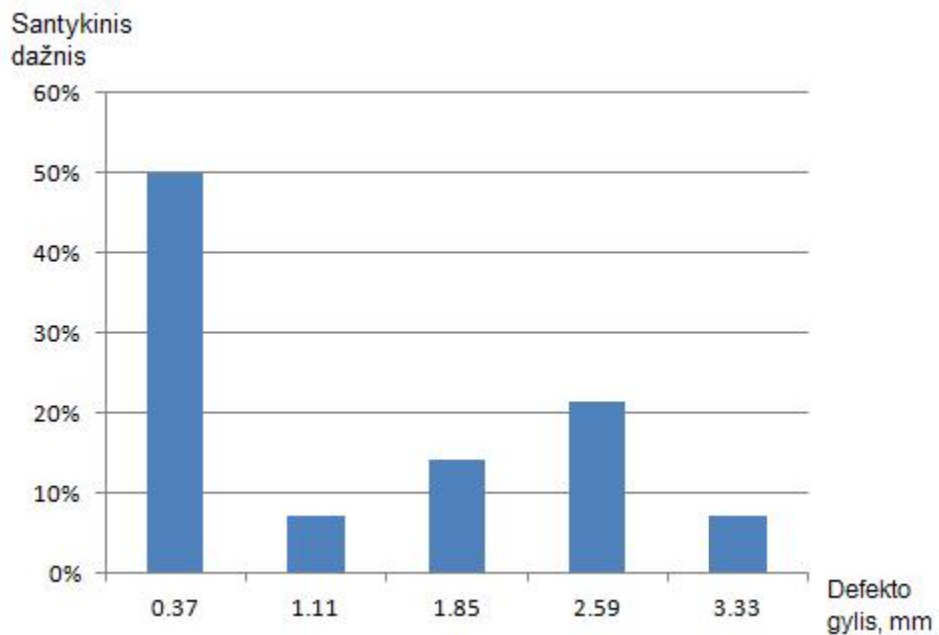
Duomenys matomi 18 lentelėje yra laivo "Grampian Falcon" dešimtojo užbortinio vandens tanko dešiniajame borte išilginės pertvaros korozinio nusidėvėjimo gylio pasikartojimo dažnis.

Dešinysis bortas		18 Lentelė	
Intervalo numeris	Intervalai	Intervalo vidurkis	Dažnis
1	0 - 0,74	0,37	7
2	0,74 - 1,48	1,11	1
3	1,48 - 2,22	1,85	2
4	2,22 - 2,96	2,59	3
5	2,96 - 3,7	3,33	1



43 pav. Reikšmių dažnių pasiskirstymo histograma kairiajame borte

Histogramoje 43 pav. matome, kad dažniausiai pasikartojantis defekto gylis svyruoja nuo 1,86 mm iki 2,33 mm tokių defektų yra 9. O giliausi pasikartojantys matavimai yra 7 ir reikšmės svyruoja nuo 2,33 mm. iki 2,8 mm.



44 pav. Reikšmių dažnių pasiskirstymo histograma dešiniajame borte

Histogramoje 44 pav. matome, kad dažniausiai pasikartojantis defekto gylis svyruoja nuo 0 mm iki 0,74 mm tokių defektų yra 7. O giliausias matavimas yra 1 ir siekia nuo 2,96 mm. iki 3,7 mm.

3.2.5 Visų laivų duomenų statistinis įvertinimas

Duomenys matomos 19 lentelėje yra visų laivų kairiojo ir dešiniojo borto dešimtojo tanko išilginių pertvarų išankstinis duomenų paruošimas ir atsitiktinių dydžių vertinimo rodiklių reikšmės.

19 Lentelė

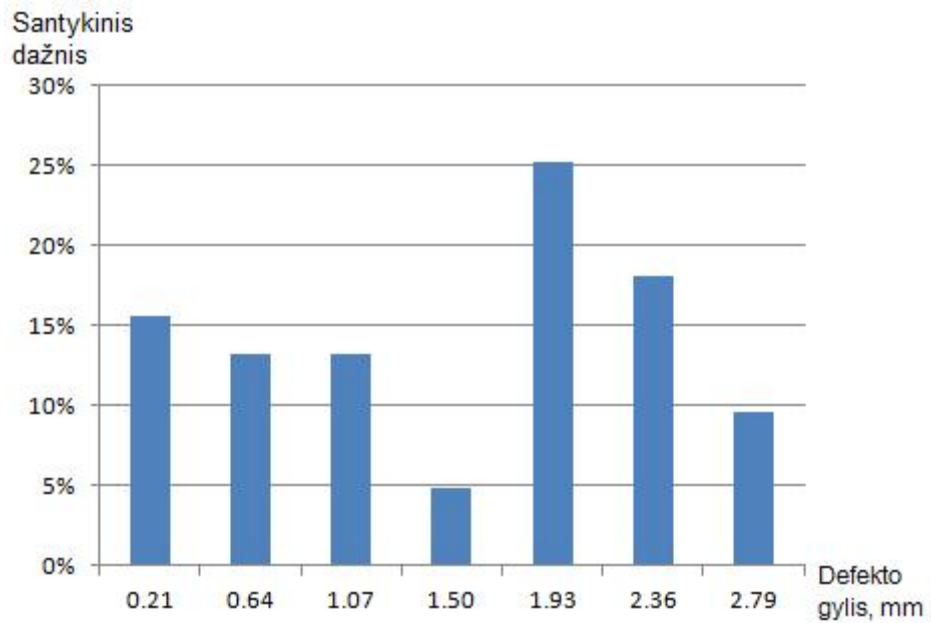
	Kairysis bortas	Dešinysis bortas
Imties vidurkis, mm	1,44	0,82
Sigma standartas	0,85	0,93
Varijacijos koef.	59,14	114,3
Kitimo intervalas	3,00	3,7
Intervalas	0,42	0,52
Intervalų sk., k	7,45 ~ 7	7,22 ~ 7

Duomenys matomi 20 lentelėje yra visų laivų dešimtojo užbortinio vandens tanko dešiniajame borte išilginės pertvaros korozinio nusidėvėjimo gylio pasikartojimo dažnis.

Dešinysis bortas		20 Lentelė	
Intervalo numeris	Intervalai	Intervalo vidurkis	Dažnis
1	0 - 0,53	0,26	24
2	0,53 - 1,06	0,79	16
3	1,06 - 1,59	1,32	1
4	1,59 - 2,11	1,85	7
5	2,11 - 2,64	2,38	10
6	2,64 - 3,17	2,91	2
7	3,17 - 3,70	3,44	1

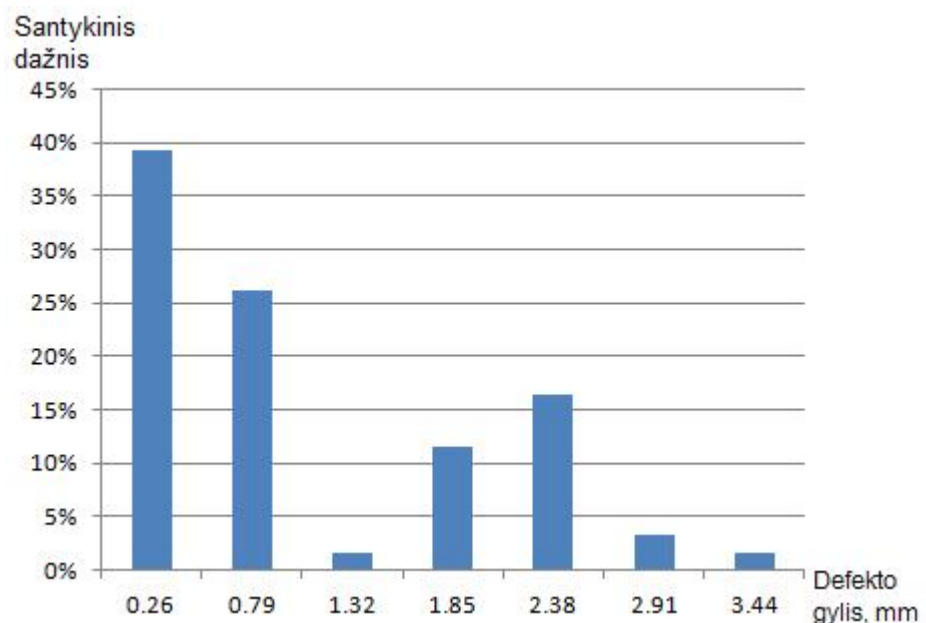
Duomenys matomi 21 lentelėje yra visų laivų dešimtojo užbortinio vandens tanko kairiajame borte išilginės pertvaros korozinio nusidėvėjimo gylio pasikartojimo dažnis.

Kairysis bortas		21 Lentelė	
Intervalo numeris	Intervalai	Intervalo vidurkis	Dažnis
1	0 - 0,43	0,21	13
2	0,43 - 0,86	0,64	11
3	0,86 - 1,29	1,07	11
4	1,29 - 1,71	1,5	4
5	1,71 - 2,14	1,93	21
6	2,14 - 2,57	2,36	15
7	2,57 - 3,00	2,79	8



45 pav. Reikšmių dažnių pasiskirstymo histograma kairiajame borte

Histogramoje 45 pav. matome, kad dažniausiai pasikartojantis defekto gylis svyruoja nuo 1,71 mm iki 2,14 mm tokių defektų yra 21. O giliausi pasikartojantys matavimai yra 8 ir reikšmės svyruoja nuo 2,57 mm. iki 3,0 mm.



46 pav. Reikšmių dažnių pasiskirstymo histograma dešiniajame borte

Histogramoje 46 pav. matome, kad dažniausiai pasikartojantis defekto gylis svyruoja nuo 0 mm iki 0,53 mm tokių defektų yra 24. O giliausias matavimas yra 1 ir svyruoja nuo 3,17 mm. iki 3,7 mm.

3.2.6 Visų laivų likutinio storio vertinimas

Duomenys pateikti 22 lentelėje rodo kiekvieno laivo dešimtojo užbortinio vandens balastinio tanko kairiojo ir dešiniojo borto išilginių pertvarų likutinio storio tikimybes, kad sienelės storis bus mažesnis už ribinę reikšmę (pagal normalinį dėsnį).

Tikimybės, kad sienelės storis mažesnis už ribinę reikšmę 22 lentelė

Borto pusė	"Grampian Falcon"	"Grampian Haven"	"Grampian Sprite"	"Grampian Venture"
Kairysis bortas	$P \{-0,38\} = 0,35 \cdot 100 = \mathbf{35\%}$	$P \{0,02\} = 0,50 \cdot 100 = \mathbf{50\%}$	$P \{-0,41\} = 0,34 \cdot 100 = \mathbf{34\%}$	$P \{-0,80\} = 0,21 \cdot 100 = \mathbf{21\%}$
Dešinysis bortas	$P \{-0,81\} = 0,20 \cdot 100 = \mathbf{20\%}$	$P \{-0,90\} = 0,18 \cdot 100 = \mathbf{18\%}$	$P \{-1,57\} = 0,05 \cdot 100 = \mathbf{5\%}$	$P \{-1,14\} = 0,12 \cdot 100 = \mathbf{12\%}$
Kairysis bortas	$P \{-0,41\} = 0,34 \cdot 100 = \mathbf{34\%}$			
Dešinysis bortas	$P \{-1,04\} = 0,15 \cdot 100 = \mathbf{15\%}$			

Duomenys pateikti 23 lentelėje rodo visų laivų defektų gylio (korozijos nuostolio) santykinį dažnį. Santykinį dažnį matavimo reikšmių iki 1,8 mm ir virš 1,8 mm. Tai yra ribinis defekto gylis nuo 7 mm storio išilginės pertvaros ribojančios balastinį tanką ir pavairavimo įrenginio patalpą.

Defekto gylio santykiniai dažniai 23 Lentelė

	"Grampian Falcon"		"Grampian Haven"		"Grampian Sprite"		"Grampian Venture"		Visi laivai	
	<1,8 mm	>1,8 mm	<1,8 mm	>1,8 mm	<1,8 mm	>1,8 mm	<1,8 mm	>1,8 mm	<1,8 mm	>1,8 mm
Riba, mm										
Kairysis bortas	36%	64%	26%	74%	58%	42%	72%	28%	45%	55%
Dešinysis bortas	54%	46%	76%	14%	73%	27%	78%	22%	74%	26%

Atlikus statistinę analizę nustatyta, kad koreliacinio ryšio pagal likutinio storio matavimus ir matavimo vietą tarp visų keturių "Grampian" serijos laivų nėra. Visos matavimo vertės išsibarsčiusios atsitiktine tvarka. Nustatyta, kad pagal defekto gylį pertvara kairiajame borte yra labiau veikiama korozijos. Nors nėra žinoma, ar prieš tai buvo atlikti remonto darbai, tačiau statistinės analizės rezultatai rodo jog kairioji balastinio tanko pertvara stipriau koroduoja.

Kadangi šios rūšies laivų kairėje balastinės talpos pusėje yra daug elektros įrangos prietaisų, bei daug elektros instaliacijos magistralių tai daroma prielaida, kad korozijos procesą paspartina elektrokoroziija.

IŠVADOS

1. Atlikus elektrokorozijos veikimo analizę nustatyta, kad intensyviausiai dylančių korpuso korozija atsiranda dėl dviejų priežasčių elektros srovės nutekėjimo nuo metalo paviršiaus į srovei laidžią aplinką bei elektros srovių poveikio. Pirmuoju atveju objektas turi kontaktą su teigiamu srovės šaltinio poliui, antruoju atveju objektas neturi kontakto su srovės šaltiniu, bet randasi klaidžiojančių elektros srovių lauke. Elektrokorozijos greitis yra tiesiogiai proporcingas anodinės poliarizacijos srovės tankiui, todėl povandeniniame arba požeminiame paviršiuje korozijos greitis gali dešimtį kartų padidėti, palyginus su natūralia korozija.
2. Eksperimentiniui tyrimui naudotas ultragarsinis storio matuoklis "Krautkramer DM4". Stormačio paklaida 0,1 mm. Maksimalus ultragarso bangų įsiskverbimas į medžiagą 25 mm, specialus kontaktinis gelis "Sonatest", kalibravimo blokas "Reference block 1".
3. Apžvelgtos "Bureau Veritas" klasifikiacinės bendrovės likutinio storio matavimų taisyklės ir metodika. Nustatyta kad labiau linkusios į greitą korozijos procesą detalės, kurioms buvo priimtas subtilesnis pastatymo storis (ypač priekinėje ir galinėje dalyje kintančios vaterlinijos, suvirinti vamzdžiai, vožtuvai ir t.t.), taip pat išilginių ir skersinių rinkinių sijų sankirtos.

Laivams senesniems nei 15 metų ir laivo ilgis neviršija 90 metrų paprastai pagal klasifikacinių bendrovių reikalavimus inspekcijai parenkami šie pjūviai:

- ties laivo mideliu, iki 0,25 L, į laivapriekį ir laivagalį;
 - laivapriekinėje dalyje - 0,30 L laivo ilgio dalyje, esančioje laivagalyje už priekinio statmens;
 - laivagalinėje dalyje - 0,30 L laivo ilgio dalyje, esančioje laivapriekyje už galinio statmens.
4. Atlikus eksperimentinius keturių naftos platformas aptarnaujančių laivų balastinių cisternų likutinio storio matavimus nustatyta, kad:
 - po 30-32 metų eksploatacijos visuose laivuose balastinės talpos pertvarų likutinis storis yra mažesnis nei reikalaujamas:
 - Tirtų laivų kairėje pusėje dominuoja didesni korozijos židinių gyliai nuo iki 0,53 mm iki 3,7 mm.
 - Dešinėje pusėje dominuoja mažesno gylio korozijos židiniai nuo 0,43 mm iki 3 mm.
 - Atlikus duomenų statistinę analizę nustatyta: defektai tiek kairėje, tiek dešinėje balastinių talpų pertvarų pusėje išsidėstę atsitiktinai, nes apskaičiuotas koreliacijos koeficientas tarp skirtingų laivų defektų vietos artimas nuliui.

- Pagal normalinio dėsno hipotezę apskaičiuota tikimybė, kad balastinės talpos pertvara po 30 metų eksploatacijos neatitiks specifikacijos. Tirtų 4 laivų tikimybė, kad kairė pusė neatitiks specifikacijos svyruoja nuo 21 % iki 50 % , dešinė nuo 5% iki 20 %.

- Vertinant, kad visų laivų kairės pusės korozijos židinių gyliai yra žymiai didesni, daroma pagrįsta prielaida, kad tam turi įtakos elektros įrenginiai esantys iš kitos pertvaros pusės. Todėl būtina numatyti papildomas apsaugos priemones nuo elektrocheminės bei elektrokorozijs korozijos.

5. Siūlomi prevencijos būdai:

- Vienas iš pasiūlymų kokią prevenciją taikyti elektrokorozijs poveikiui sumažinti yra racionalus elektros įrangos išdėstymas laive. Elektros įrenginių, valdymo blokų bei elektros magistralės reiktų perkelti ant kitų konstrukcijų, kurios neturi tiesioginio sąlyčio su elektrolitu (šiuo atveju tai yra balastinis vanduo).

- Alternatyvus pasiūlymas būtų saugojamai pertvarai suteikti reikiamos vertės potencialą. Tai pasiekama įrengiant elektros drenažą, kuris naudojamas tuomet, kai klaidžiojančios srovės teka viena kryptimi. Jei klaidžiojančios srovės dažnai keičia savo stiprumą ir kryptį, tuomet naudojamas poliarizuotas arba priverstinis elektros drenažas. Esant poliarizuotam elektros drenažui, sujungime naudojamas lygintuvas (Si arba Ge diodas), kuris srovę praleidžia viena kryptimi. Jei sujungime bus naudojamas elektros srovės šaltinis, suteikiantis pertvarai palyginus su supančia objektą aplinka elektroneigiamesnę potencialą, tuomet reikės priverstinio drenažo. Galutiniam sprendimui priimti reikėtų išsiaiškinti kokia srovė (kintama ar pastovi) praeina per pavairavimo mechanizmo valdymo ir hidraulių siurblių valdymo laidus, elektros laidų susikirtimo skydines, patalpų apšvietimo laidus ir skydines, brašpilio maitinimo ir valdymo laidus, ir daug kitų laidų magistralių.

- Įmontuoti elektrocheminę apsaugą, kuri gali būti trijų rūšių - protektorinė, elektrinė katodinė ir elektrinė anodinė, ši apsauga naudojama įvairiose elektra laidžiose terpėse.

LITERATŪRA

1. Medekšas H., Gaminių kokybė ir patikimumas, 2003.
2. Жук Н.П. Курс теории и защиты металлов.- М., Металлургия, 1976.
3. Пирогов В.Д., Техническое обслуживание и ремонт судов. 2002
4. Šulčius A. Metalų korozija ir sauga. Kaunas, 2006
5. Гуральник Б. С., Маслюк Е. В. Определение остаточного ресурса обшивки корпуса в задачах оценки рыночной стоимости судов. 2001
6. Шлугер М. А., Ажогин Ф. Ф., Ефимов Е. А.- Коррозия и защита металлов.- М., Металлургия, 1981.
7. Плудек В. Защита от коррозии на стадии проектирования.- М., Мир, 1980.
8. Kaesche H. "Corrosion Metals.- Springer" 2003.
9. Garbatov Y., Guedes C., Soares Maritime industry, Ocean Engineering and Coastal Resources, 2008
10. Блинов Э.К., Розенберг Г.Ш. Определение технического состояния корпусов морских судов, Техническое обслуживание и ремонт судов по состоянию: Справочник судостроения, 1992.
11. Телянер Б. Е., Турмов Г. П., Финкель Г. Н. Технология ремонта корпуса судна. Судостроение. Ленинград, 1984.
12. Bureau Veritas, Guideline for ultrasonic thickness measurements of ships 2005.
13. Балякин. О. К. Технология судоремонта, Транспорт 1983.
14. Paulauskas V., Banaitis J., Barzdžiukas R., ir kiti. Jūrininkystės technologija. 2008.
15. Smailys V., Lebedevas S., Daukšas K., Juščenko N., Mokslinių tyrimų pagrindai, 2007.
16. NDT resource center. 2005. Introduction to ultrasonic testing.
17. Jonušas R. ir kt.. Koncentruotos energijos metodų taikymas apdirbant medžiagas Kaunas: Technologija, 2004.
18. Janutėnienė J., Inžinerinių sistemų patikimumas, 2008.
19. http://www.ndted.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/cc_ut_index.htm [interaktyvus]. [Žiūrėta 2013 m. sausio 5 d.].
20. http://www.ieo.dit.ie/technical_ndt.html [Žiūrėta 2013 m. sausio 5 d.].
21. Ultrasonic thickness measurement [interaktyvus]. [Žiūrėta 2012 m. gruodžio 17d.]. Prieiga per internetą: <http://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasonic_thickness_measurement>.
22. Ultrasonic thickness gauge [interaktyvus]. [Žiūrėta 2013 m. sausio 8 d.]. Prieiga per internetą: <<http://ultrasonicthicknessgauge.org/>>.

23. Ultrasonic thickness software [interaktyvus]. [Žiūrėta 2012m gruodžio 12 d].
<<http://www.hi1718.com/showroom/435135.html>>

PRIEDAI

BALASTINIŲ CISTERNU PLANAS LAIVE

