

**KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS**

Jūrų technikos fakultetas

Laivo inžinerijos katedra

Oleg Smolij

**BALKERIŲ KORPUSO KOROZINIO  
DILIMO TYRIMAS**

Laivo inžinerijos studijų programos magistro baigiamasis darbas

Klaipėda, 2013

# MAGISTRO BAIGIAMOJO DARBO LYDRAŠTIS

## Pildo magistro baigiamojo darbo autorius

.....Oleg Smolij.....  
(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė)  
.....BALKERIŲ KORPUSO KOROZINIO DILIMO TYRIMAS.....  
(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.**

.....Oleg Smolij.....  
(magistro baigiamojo darbo autorius ir parašas)  
**Sutinku, kad bakalauro/magistro baigiamasis darbas būtų naudojamas neatlygintinai 5 m. Klaipėdos universiteto studijų procese.**

.....Oleg Smolij.....  
(magistro baigiamojo darbo autorius ir parašas)

## Pildo bakalauro/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, administratorius (sekretorius)

Baigiamasis darbas įregistruotas katedroje .....  
(data) .....  
.....  
(katedros sekretorės vardas, pavardė ir parašas)

## Pildo katedros, kuriojančios studijų programą, vedėjas

**Magistro baigiamąjį darbą ginti** .....  
(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)  
.....  
.....  
(data ) .....  
(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

## **Recenzentu (-ais) skiriu**

.....  
.....  
(įrašyti recenzento (ų) vardą, pavardę)  
.....  
.....  
(data ) .....  
(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

## SANTRAUKA

Smolij O. Balkerių korpuso korozinio dilimo tyrimas. Laivų projektavimo studijų programos magistrantūros baigiamasis darbas. Darbo vadovas L. Turkina, Klaipėdos universitetas: Klaipėda, 2013. – 55 p.

Magistratūros baigiamajame darbe buvo analizuojamas jūrinio transportinio laivo korpuso korozinis dilimas ir jo priežastys, pateikiami defektacijos metodai, vertinami eksperimentinių matavimų metu gauti rezultatai.

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

Eksperimentinėje dalyje pateiktos balkerio „LEDI CHRIS“ korpuso konstrukcijų liekamojo storio matavimo ultragarsiniu stormačiu rezultatai, palyginti matavimų duomenys, gauti laivo korpuso defektacijos tyrimo metu 2002, 2007 ir 2012 m., nustatytos labiausiai korozinio proceso paveiktos laivo konstrukcijos.

Praktinėje baigiamojo darbo dalyje buvo atlikti skaičiavimai, siekiant nustatyti laivo korpuso lakštu stiprumą po korozijos poveikio ir apskaičiuota tikimybes analize.

Raktažodžiai: korozija, dilimas, ultragarsinis storio matavimas, gniuždymas, gedimai.

## SUMMARY

Smolij O. Investigation of bulck carriers hull corrosion erosion. Master's thesis, part of the ship design academic program. Supervisor L. Turkina, University of Klaipeda: Klaipeda, 2013. – 55 p.

The master's thesis analyses the causes of the corrosive wear in marine transport ships. It is further followed by the examples of the flaw detection methods and the assessment of the results obtained through experimental measurements.

The thesis has theoretical, experimental and practical parts to it. The theoretical part entails the review of the issues related to the depreciation of the ship's hull. Moreover, the theory includes the overview of the requirements imposed by the classification society in regards to the condition of the ship's hull. The thesis also brings forth the examination of the repair technology that is being used in connection to such issues.

The experimental section of the thesis entails the residual thickness measurements of the hull structures obtained through the ultrasonic calipers that were applied on the bunker „LEDI CHRIS“. The comparison of the measurements' results is also provided, based mainly on the data taken from the flaw detection test that was administered in the years 2002, 2007 and 2012. Additionally, the thesis identifies the structures of the ship that were impacted the most by the process of the corrosion.

Last but not least, the practical part of the thesis presents calculations that were conducted in order to determine the durability of the ship's hull plating that was affected by the corrosion. The thesis concludes with the probability analysis of the corrosion causes.

Keywords: corrosion, waning, ultrasonic thickness measurement, compression, deteriorations.

# DARBO UŽDUOTIS

Oleg Smolij TMLI-11 gr.

Tema: Balkerių korpuso korozinio dilimo tyrimas.

Įvadas

Darbo tikslas ir uždaviniai

Mokslinių straipsnių apžvalga.

Analitinė dalis, skirta sausakrūvių laivų konstrukcijų, medžiagų, dilimo ir jo vertinimo bei pažeistų konstrukcijų remonto apžvalgai.

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

Praktinė dalis, skirta skirtingų laivo konstrukcinių elementų korozinio dilimo spartai vertinti.

Išvados ir rekomendacijos

Literatūra

Priedai

Užduotis išduota: Darbo vadovė: doc. dr. L. Turkina.

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Gedimo tikimybės klasifikacija	48
2 lentelė. Pasekmių tikimybės klasifikacija	49
3 lentelė. Rizikų lentelė	50
4 lentelė. Kilinės K lakštų juostos gedimų tikimybė	50
5 lentelė. Dugno A lakštų juostos gedimų tikimybė	50
6 lentelė. Dugno B lakštų juostos gedimų tikimybė	51
7 lentelė. Pereinamos C lakštų juostos gedimų tikimybė	51
8 lentelė. Borto D lakštų juostos gedimų tikimybė	51
9 lentelė. Borto E lakštų juostos gedimų tikimybė	52

## PAVEIKSLŲ SARASAS

1 pav. Geležies korozinio nudilomo vandenyje priklausomybė nuo temperatūros	16
2 pav. Kavitacijos mechanizmas	19
3 pav. Metalų korozijos greičio priklausomybė nuo vandens judėjimo greičio	19
4 pav. Pažeistas laivagalys	20
5 pav. Laivapriekis, pažeistas kavitacinės erozijos	20
6 pav. Laivagalio pažeidimai	20
7 pav. Laivaprekių pažeidimai	20
8 pav. Suvirinimo siūlės defektai	21
9 pav. Ultragarso bangų taikymas	23
10 pav. Ultragarso stomačio veikimo principas	24
11 pav. Skenavimo režimas	24
12 pav. Ultragarso matuoklio kalibravimas	25
13 pav. Sausakrūvio laivo korpuso ultragarsinių storio matavimų schema	26
14 pav. Ultragarsinių liekamojo storio matavimų schema kitame sausakrūvio pjūvyje	27
15 pav. Trijų taškų lakšto storio matavimo schema	28
16 pav. Septynių taškų matavimo schema	28
17 pav. Laivo borto apsiuvas	29
18 pav. Laivo denis	29
19 pav. Laivaprekių konstrukcija	30
20 pav. Triumo liukai ir komingsai	30
21 pav. Ventiliacijos vamzdžiai	30
22 pav. Laivagalio lakštai.	30
23 pav. Vaterlinijos juosta	31
24 pav. Kiliniai lakštai	31
25 pav. Denio danga	32
26 pav. Detalės laivagalio dalyje	32
27 pav. Detalės laivaprekių dalyje	32
28 pav. Sausakrūvis laivas „LEDI CHRIS“	33
29 pav. Kilinės juostos skaičiavimų rezultatai	34
30 pav. Kairiojo borto pereinamos juostos skaičiavimų rezultatai	34
31 pav. Dešiniojo borto pereinamos juostos skaičiavimų rezultatai	35
32 pav. Lakštų, išdėstytų žemiau vaterlinijos juostos, skaičiavimų rezultatai (kair. bortas)	35
33 pav. Lakštų, išdėstytų žemiau vaterlinijos juostos, skaičiavimų rezultatai (deš. bortas)	36
34 pav. Vaterlinijos juostos skaičiavimų rezultatai (kairysis ir dešinysis bortas)	36

35 pav. Aukščiau vaterlinijos juostos išdėstytų lakštų skaičiavimu rezultatai (deš. bortas)	37
36 pav. Aukščiau vaterlinijos juostos išdėstytų lakštų skaičiavimų rezultatai (kair. bortas)	37
37 pav. Labiausiai veikiamos korozijos zonos kairiajame ir dešiniajame borte	38
38 pav. Laivo lakštų padėtis	39
39 pav. Laivo lakštų matmenys	39
40 pav. Laivapriekio pjūvis	41
41 pav. Laivapriekio pjūvio duomenys	41
42 pav. Laivo lakšto storio sumažėjimas	43
43 pav. Labiausiai veikiamos korozijos zonos	44
44 pav. Labiausiai veikiamos korozijos zonos	45

## TURINYS

<b>IVADAS</b>	9
<b>1. MOKSLINIŲ STRAIPSNIŲ APŽVALGA</b>	11
<b>2. LAIVO KORPUSO DILIMAS EKSPLOTACIJOS METU</b>	13
2.1. Statybinis laivo korpuso plienas	13
2.2. Fizikiniai - cheminiai laivo korpuso dilimo būdai ir jų prevencija	14
2.3. Vizualines kontroles apžvalga	21
2.4. Likutinio metalo storio nustatymo metodai	22
2.4.1. Ultragarsinių stomačių veikimo principas	22
2.4.2. Ultragarsinių stomačių pažangumas	24
2.4.3. Ultragarsinio matuoklio kalibravimas	25
2.4.4. Korpuso liekamojo storio nustatymo schemas	26
<b>3. EKSPERIMENTINIŲ DUOMENŲ APDOROJIMAS</b>	33
3.1. Tiriamo objekto duomenis	33
3.2. Duomenų statistinis apdorojimas ir analizė	34
<b>4. LYGINAMOJI ANALIZĖ STIPRUMO MAŽINIMO DEL KOROZIJOS POVEIKIO</b>	39
4.1. Kilinio lakšto stiprumo skaičiavimai	39
4.2. Laivo borto stiprumo skaičiavimai, laivapriekio dalyje	41
4.3. Laivo borto stiprumo skaičiavimai, laivagalio dalyje	44
<b>5. LAIVO KORPUSO LAKŠTŲ GEDIMŲ TIKIMYBĖS ANALIZĖ</b>	11
<b>IŠVADOS</b>	53
<b>LITERATŪRA</b>	54
<b>PRIEDAI</b>	56

## IVADAS

Laivo techninio veiklumo užtikrinimas, laivo statybos ir klasifikacinių bendrovių reikalavimų laikymasis bei gera laivo būklė laikomos pagrindinėms sąlygomis, norint efektyviai eksploatuoti laivą. Laivo korpuso techninių charakteristikų praradimą įtakoja korozija ir laivo korpuso nusidėvėjimas, kas pasėkoje skatina laivo korpuso defektų atsiradimą. Atsiradę defektai neigiamai įtakoja laivo mechanizmų veiklą. Todėl laivo korpuso nusidėvėjimo problema tampa vis aktualesnė. Kalbant apie naftos tanklaivius ir laivus, gabenančius chemines medžiagas, yra labai svarbus aplinkos apsaugos aspektas.

Pagrindinės jūrinio laivo korpuso pažeidimų priežastys yra korozinis ir erozinis dilimas, susilpninantis konstrukcijas bei mechaninis jų paviršiaus nutrynimas. Taip pat nereti ir eksploataciniai bei avariniai korpuso pažeidimai. Eksploataciniai korpuso pažeidimai (įtrūkimai, deformacijos) atsiranda eksploatuojant laivą sunkiomis laivybos sąlygomis. Avariniai – įvairių avarijų metu (susidūrus laivams, sėdus jiems ant sekumos, dėl sproginų 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 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.

**Magistro baigiamojo darbo tyrimo objektas** – laivas „LEDI CHRIS“.

**Magistro baigiamojo darbo tyrimo tikslas** – remiantis atliktų matavimų rezultatais, atlikti sausakrūvio laivo korozinio dilimo analizę ir išnagrinėti nusidėvėjimo priežastis.

**Darbo uždaviniai:**

- Išnagrinėti laivo korpuso statybai naudojamo plieno reikalavimus.
- Išnagrinėti ultragarsinio storio matavimo prietaiso veikimo principą.

- Remiantis eksperimentinio tyrimo duomenų susisteminiu, apibendrinimu ir analize, suformuoti laivo korpuso nusidėvėjimo prognozę.
- Atlikti reglamentuotų klasifikacinių bendrovių laivo korpuso likutinio storio matavimų taisyklių analizę.
- Įvertinti ir patikslinti pažeistų korozijos korpuso konstrukcijų remonto technologinį procesą.
- Remiantis gautais eksperimentinio objekto tyrimo duomenimis, atlikti laivo korpuso korozinio dilimo įvertinimą.
- Remiantis turimais duomenimis atlikti lakštu stiprumo analize prieš korozija ir po jos.
- Atlikti laivo korpuso lakštu tikimybes analize ir nustatyti kokia yra rizikos tikimybę.

# 1. MOKSLINIŲ STRAIPSNIŲ APŽVALGA

Šitiems straipsniams mokslinėje literatūroje skiriama svarbi vieta, nes pagrindinė problema, su kuria susiduria laivo savininkai, yra laivo metalo konstrukcijų dilimas. Mokslininkai savo darbe mėgina išanalizuoti korpuso konstrukcijų dilimo priežastis ir sumažinti jį iki minimumo.

Pirmame moksliniame darbe aprašoma laivo kavitacinė korozija, straipsnis vadinasi „Kavitacinės erozijos veikiamų laivo konstrukcijų skaičiavimo metodai“; autoriai Pogodaev L. I. ir Kuzmin A. A. Straipsnyje išsamiai paaiškinta, dėl ko atsiranda kavitacija, pateiktas jos veikimo principas, apžvelgtos laivo vietos, kurios labiau veikiamos kavitacijos. [20]

Kitam apžvelgtame darbe, kurio pavadinimas būtų „Suvirinimo siūlių defektai ir defektų pašalinimas“. Straipsnio autoriai Vozniuk R.G ir Bahmatov P.V. išaiškino priežastis, dėl kurių atsiranda defektai suvirinimo sujungimuose, kokios problemos gali atsirasti, jeigu bus nepašalinti defektai. [21].

Trečiame moksliniame darbe „Naujų technologijų dažai“, kurio autoriai yra Gavrilcik L. D. ir Zabacev J. E., pasakojama apie naujas laivų dažų technologijas, jų struktūrą, kad naudojant naujesniu technologijų dažus, korozijos atsparumas padidėja ir laivo povandeninės dalies apaugimas sumažėja. [22]

Moksliniame darbe, kurio autoriai yra Markovic R. ir Sominskaja E. analizuojamos padidėjusios korozijos atsiradimo priežastys laivo balastiniuose tankuose, nagrinėjama, kokia technologija galima būtų pasinaudoti, kad išvengtų korozijos. Mokslinio straipsnio pavadinimas „Apsauga nuo korozijos balastiniuose tankuose“. [23]

Moksliniame darbe, kurio pavadinimas „Senų laivų korpuso techninės būklės įvertinimas“, autorius Osniac A. A. išaiškino priežastis, kodėl laivas kai kuriose dalyse yra stipriau veikiamas korozijos ir apkrovų. Buvo palyginti du skirtingų tipų, bet vieno plaukiojimo rajono laivai, ir analizuojamos jų apkrovų bei korozijos priežastys [24].

Solianik N. H. ir Žerlicina O.V. mokslininkų darbas „Įtrūkimų atsiradimo tikimybė esant korozijos ir nuovargio poveikiui“ aprašomos įtrūkimų atsiradimo priežastys ir tikimybės vidiniame laivo korpuso ir jo konstrukcijose. Išanalizavus didelį kiekį informacijos ir laivų defektacijos ataskaitų, mokslininkai padarė išvadą, kad tikimybė atsirasti plyšiui didėja 25 metų senumo laivui žymiai didesnė negu 15 metų laivui [25].

Kitas apžvelgtas darbas - tai New Castle Techninio universiteto Robert E. Melchers savo darbe pavadintu „Korozija ir jos modeliavimas metalo konstrukcijose“ aprašo korozijos poveikį metalo konstrukcijoms, esančioms vandenyje arba vandens-oro zonoje. Taip pat nagrinėjamas temperatūros poveikis korozijai bei korozinio nusidėvėjimo sparta skirtingose klimato zonose. Mokslininkas, atlikęs duomenų rinkimą, teigia, kad padidėjus užbortinio vandens temperatūrai,

korozijos vystymosi greitis didėja. Pvz., korozijos greitis bus didesnis prie Australijos krantų negu prie Anglijos netgi dviem kartais. [26]

„Metalų nuovargio atsiradimo problemos laivų pramonėje“ šitame moksliniame darbe T. Jayakumar, M. Thavasimuthu išanalizavo, kaip veikia bangos laivo korpusą, išaiškino, kokių principų vyksta laivo korpuso konstrukcijų nuovargis dėl bangų veikimo. [27]

Autoriai Luis S. Rosado, Telmo G. Santos ir Pedro M. Ramos savo moksliniame darbe „Near-domų metodų parinkimas“, analizavo, koks neardomas metodas geriausiai tiktų defektuojant suvirinimo siūles. Padarę keleto eksperimentų išvadas, jie nustatė, kad ultragarsinis matavimas yra efektyvesnis, nes jis tiksliai nurodo defektų vietas, ir net pagal skalę galima sužinoti, kokiam gylyje randasi defektas. [28]

A.A. Corvalio ir kitų mokslininkų „Distancinio-automatinio metalo storio matavimo procedūrų pritaikymas laivuose ir naftos platformose“ aprašomi metalo konstrukcijų defektacijos būdai, defektai, defektacijai atlikti naudojama technika, nagrinėjama galimybė pasinaudoti automatizuotais ultragarsiniais metalo storio matavimo kompleksais siekiant sutrumpinti defektacijos laiką, palengvinti darbo sąlygas specialistams. Atlikę savo mokslinius tyrimus, šie mokslininkai teigia, kad dideliuose naftos tanklaivuose, balkeriuose, konteinervežiuose įmanoma atlikti išorinio korpuso defektaciją kokybiškai ir greitai pasinaudojant automatiniais kompleksais, kas ateityje gali sutaupyti laivo savininko pinigus. [29]

Paskutinis iš nagrinėtų mokslinių straipsnių autorius Hoang Minh Son išanalizavo rizikos lygį laive jo eksploatacijos metu. Rizika, kurią nagrinėjo autorius, yra susijusi ne tik su žmogaus ir aplinkos sauga, bet dar ir su ekonominiu efektu. [30]

Atlikus šių mokslinių darbų analizę, galima pabrėžti, kad laivų korpuso monitoringas ir priežiūra yra labai svarbus ir atsakingas darbas, reikalaujantis daug pastangų ir viso pasaulio mokslininkų mokslinių žinių. Praktiškai kiekvienas Europos bei pasaulio valstybių techninis universitetas užimtas korozijos ir korozinio nusidėvėjimo problemos analize. Daug finansinių lėšų skiriama eksperimentams atlikti, statomos naujos metalo tyrimų laboratorijos.

Visi aukščiau paminėti mokslininkai stengiasi kuo tiksliau ištirti korozijos atsiradimo priežastis, nustatyti laivo korpuso defektus, įdiegti naujas technologijas laivo korpuso defektacijos srityje, prognozuoti gamtos jėgų poveikį ir galimas pasekmes.

## 2. LAIVO KORPUSO DILIMAS EKSPLOTACIJOS METU

### 2.1. Statybinis laivo korpuso plienas

Tiek dabar, tiek ir artimiausioje ateityje pagrindine medžiaga, iš kurios gaminamas laivo korpusas, yra plienas. Lengvųjų metalų lydiniai, įvairių rūšių plastmasė, medis bei kitos medžiagos yra naudojamos atskirų konstrukcijų (pvz., antstato) ir mažųjų bei pramoginių laivų statybai.

Remontuojant (ypač – užsienio šalyse, o ne jį pastačiusioje šalyje) laivo korpusą, susiduriama su problema – kaip pasirinkti tokias medžiagas remontui, kurios atitiktų jo pastatymui naudotąsias. Tarptautinė klasifikacinių bendrovių asociacija (IACS) numatė bendrus reikalavimus, taikomus plienui – pagrindinei laivų korpuso statybos medžiagai. Plienų klasifikavimą ir žymėjimą Europos Sąjungoje reglamentuoja LST EN 10027-1, LST EN 10027-2 ir LST 1585 (CR 10260) [12].

Pagal minėtus standartus plieno markės skirstomos į dvi pagrindines grupes:

1 grupė: plienai, žymimi pagal savo paskirtį ir mechanines ar fizines savybes.

2 grupė: plienai, žymimi pagal savo cheminę sudėtį ir skirstomi į keturis pogrupius.

Konstrukcinių plienų markėse gali būti nurodyta papildoma informacija. Žymėjimo pavyzdžiai: S355JR, S355JRG3, S355NL.

Pagal mechanines savybes ir cheminę sudėtį plienas dar skirstomas į dvi grupes:

1) įprastas, anglies priemaišų turintis plienas (ang. mild steel);

2) padidinto tvirtumo plienas (PTP) (ang. high tensile steel). Užsienietiškuose šaltiniuose tokios plieno rūšys žymimos raide „H“. „Mild steel“ dar skirstomas pagal savo klampumo kategorijas, o „high tensile steel“ – pagal savo klampumo ir tvirtumo kategorijas.

Pagrindinė plieno tvirtumo charakteristika yra jo takumo riba. „Mild steel“ atveju minimali riba siekia 235 MPa, o „high tensile steel“ atveju toji riba yra 315 MPa, 355 MPa ir 390 MPa. „Mild steel“ plienui yra numatytos keturios takumo kategorijos – A, B, D, E. „High tensile steel“ (takumo riba 315 MPa ir 355 MPa – trys kategorijos (A, D, E), o „high tensile steel“ su 390 MPa turi dvi tokias kategorijas (D ir E). Plieno kategorija nustatoma ir pagal jo cheminę sudėtį, reikalavimui oksidacijos proceso atžvilgiu, pavyzdžių bandymų kiekį. Mažiausi reikalavimai taikomi A kategorijos plienui, o aukščiausi – E kategorijos plienui. Atitinkamų reikalavimų nuorodos pateikiamos Rusijos Jūrų Registro numatytose Laivų statymo taisyklėse [2].

Pagrindiniai reikalavimai korpuso elementų jungčių matmenims numatyti laivų statybos taisyklėse, yra taikomi, kai jų gamybai naudojamas įprastinis (t.y. turintis anglies priemaišų) plienas. Realus naudojamo laivų statyboje plieno tvirtumas apskaičiuojamas taikant koeficientą  $\eta$ . Šio koeficiento reikšmės pateikiamos žemiau [2].

Plieno takumo riba  $\sigma_T$ , MPa.....235, 315, 355, 390

Koeficiento  $\eta$  reikšmė..... 1 0,78 0,72 0,68

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

## 2.2. Fizikiniai - cheminiai laivo korpuso dilimo būdai ir jų prevencija

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 ar kito kieto kūno poveikį, užplaukus laivui ant seklumos, įvykus laivo susidūrimui su laivu arba kokiu nors plaukiojančiu objektu, švartavimo operacijų metu ir kt. Taip pat nemažą poveikį sudaro ir elektrocheminė, cheminė korozija bei supančios aplinkos biologinis poveikis. Esant išoriniam poveikiui, atsiranda įvairiausi korpusinių konstrukcijų defektai. Jų intensyvumas ir greitis priklauso nuo konstrukcijų kokybės. Visa defektų aibė skirstoma į dvi dalis: dilimas ir pažeidimai. [1]

**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 išorinio korpuso 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.[1]

Pagal veikimo charakterį korozijos procesus galima išskirti į du tipus: cheminę ir elektrocheminę. [16]

**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<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 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** – tai metalo cheminė korozija dujose esant aukštai temperatūrai.

**Atmosferinė korozija** – korozija ore, metalo paviršiuje susikaupus kondensatui arba susidarius labai plonai vandens plėvelei.

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.

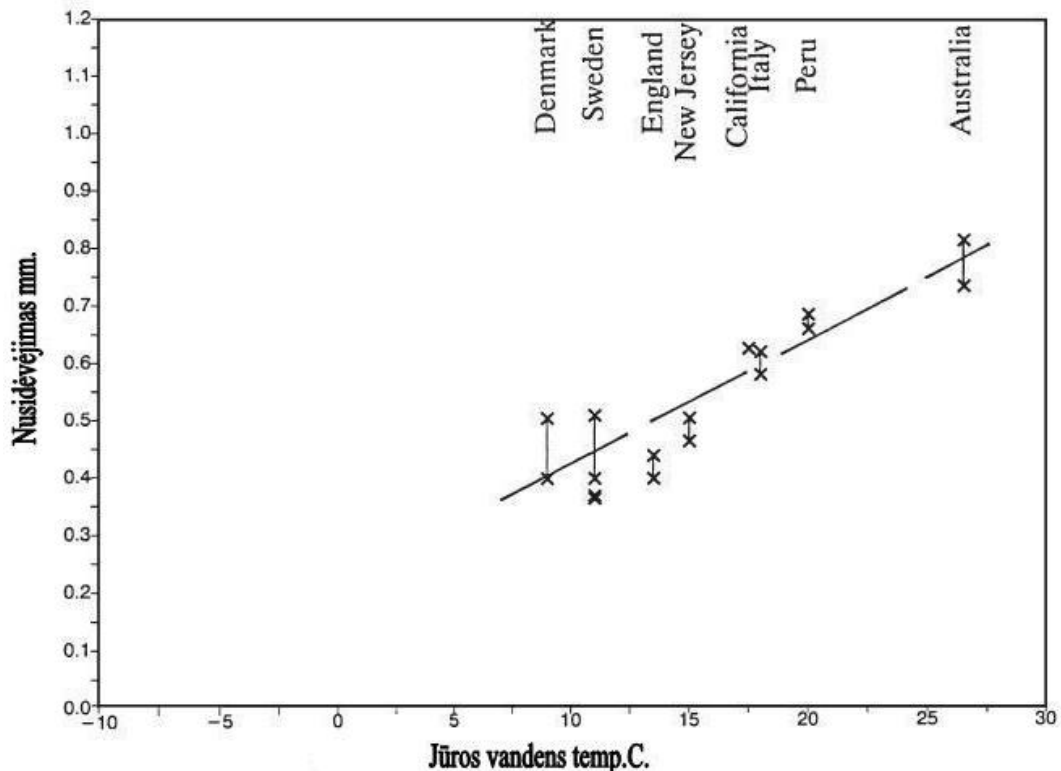
Jūros vandenyje yra 3,5-4,0% druskų (NaCl -78% ir MgCl<sub>2</sub>- ~11%). Jūros vandenyje esantys chlorido jonai aktyvina korozijos procesą. Kadangi jūros vandens paviršius prisodrintas deguonies, metalai (išskyrus Mg) koroduoja su deguonine depoliarizacija. Jūros vanduo banguoja, pagreitėja difuzija,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

nuo metalo grynumo, jūros vandens sudėties, labiausiai - nuo aeravimo ir metalų paviršiaus būklės, todėl gali kisti.

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

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

Mažai legiruotojo plieno korozijos greitis įvairiuose vandeniniuose tirpaluose labai skiriasi: jūros vandenyje - 0,108 mm/metus; geriamajame vandenyje - 0,043 mm/metus; gėlame upės vandenyje - 0,010-0,068 mm/metus. Netgi jūros vandens druskingumas bei temperatūra, turi didelį įtaką korozijos spartai. [1]



1 pav. Geležies korozinio dilimo vandenyje priklausomybė nuo temperatūros [3]

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

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, povandeninė korpuso dalis 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. Projektorinė 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 priedų (Pb, Jn, Cu, Fe ir kt.) kiekis. Geležies (Fe) kiekis neturi viršyti 0,003%, jei siekia 0,01% protektoriaus, apsauginis poveikis sumažėja iki 73,6%, nes protektorius savaime iš dalies ištirpsta.

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

Vamzdžių, nutiestų jūros vandenyje, apsauga nuo korozijos yra gana sudėtinga: būtinas protektorinis cinko gruntas, po to jie dengiami bitumine ir gumine danga.

Apsauga inhibitoriais plačiai naudojama statant ir naudojant laivus. Inhibitoriai gali būti universalūs ir specialūs, įvairios agregatinės būklės ir cheminės prigimties. Inhibitoriai naudojami:

- ėsdinant metalą rūgštimis - garo generatorių vamzdžių apsaugai nuo šarminio trapumo;
- konservuojant dirbinius - plieninių vamzdžių vidinių ertmių apsaugai, jei jie ilgai laikomi sandėlyje;
- apsaugant vertikalias naftos tankų sienelės - ant jų sudaromas hidrofobinis sluoksnis.

Dėl jūros vandens korozinio agresyvumo, kurį labiausiai veikia vandenyje esantys skvarbūs chloridai (Cl), laivo konstrukcijų apsaugai nuo korozijos dažnai taikoma kompleksinė sauga, derinanti įvairius būdus: dažymas, katodinė ir protektorinė apsauga; suvirinimo medžiagų, legiruotų nikelio, naudojimas (korpuso povandeninei daliai, suvirinimo siūlėms);

- dažymas, plyšių sandarinimas konstrukcijų sujungimo vietose, galvaninės dangos (konstrukcijoms, esančioms virš vandens, vidinėms konstrukcijoms);

- korozijai ir kavitacijai atsparių metalų ir lydinių naudojimas laivo sraigtui.
- korozijai ir erozijai atsparių metalų naudojimas, dažymas, elektrocheminė apsauga, plazminiai padengimai (povandeniniams sparnams);
- dažymas, elektrocheminė apsauga; besiliečiančiu detalių plyšių sandarinimas, dažymas (įvairių rūšių metalų ir lydinių mazgams);
- dažymas, elektrocheminė apsauga, inhibitoriai, oro ertmių užpildymas inertinėmis dujomis (laivų naftos tankams);
- dažymas, inhibitorinė ir protektorinė apsauga (balastinis skyrius ir dvigubasis dugnas);
- dažymas, padengimas metalais, anodiniai protektoriai, inhibitoriai (vamzdžiams).[2]

Vandeniui aptekant laivo korpusą vietomis susidaro dideli greičiai, todėl gali prasidėti kavitacija, sumažėja slėgis.

Kavitacija - tai garų burbuliukų susidarymas skystyje dėl vakuuminio slėgio poveikio. Pats terminas buvo įvestas apie 1894 m. britų inžinieriaus R. Frudo. Jeigu slėgis tam tikrame skysčio taške pasidaro žemesnis nei šio skysčio sočiųjų garų slėgis, tai skystis šitoj vietoj plyšta ir prisikaupia garų. Susidaro garų burbuliukas. Kaip pavyzdį galima paanalizuoti vandens virimą. Kaitinant vandenį, prikaitinto garo slėgis didėja. Kada pasiekama virimo temperatūra, garo slėgis pasidaro lygus supančios aplinkos slėgiui ir vandenyje pasirodo garo burbulai.

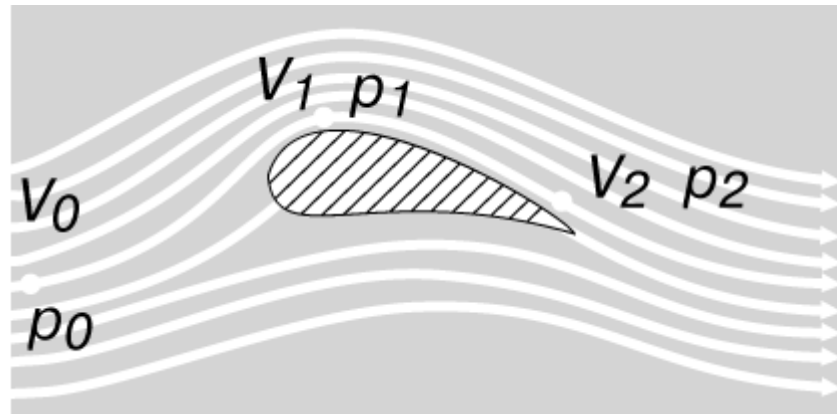
Garų burbuliukai lengviau susidaro esant mažam slėgiui. Kada supančios aplinkos slėgis pasidaro didesnis, garas burbuliuke akimirksniu kondensuojasi. Susidariusią tuštumą kumuliacinėmis srovėmis užpildo aplinkui esantis skystis hidraulinio smūgio greičiu. Jei procesas vyksta prie kieto paviršiaus, poveikis prilygsta deimantinės adatos dūriui. Paviršius plastiškai deformuojamas, varginamas, kol galų gale ištrupa. [3]

Pagal Bernulio teoriją, idealiam skystyje energija yra pastovi visoje skysčio judėjimo atkarpoje. Tai galima išreikšti tokia lygybe:

$$p_0 + \frac{1}{2} \rho v_0^2 = p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 = \text{const}, \quad (1)$$

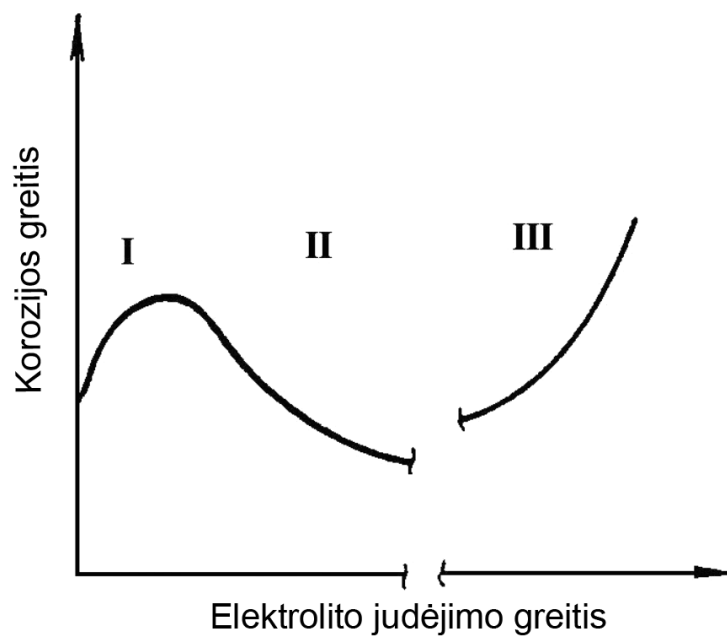
čia  $p$  – slėgis,  $\rho$  – tankis,  $v$  – greitis, dimensijos.

Indeksai 0, 1 ir 2 prilygsta prie bet kokių trijų laisvai išrinktų taškų šitoje atkarpoje. Šita pateikta lygybė reiškia, kad didėjant tekėjimo greičiui, sumažėja vietinis slėgis (proporcingai greičio kvadratui). Bet kokia skysčio molekulė, judanti pagal išlenktą trajektoriją (2 pav.) greitėja, todėl slėgis mažėja. Toks kavitacijos mechanizmas atsiranda laivų sraigčiuose, hidrauliniuose mechanizmuose, vamzdynuose ir korpusuose. [3]



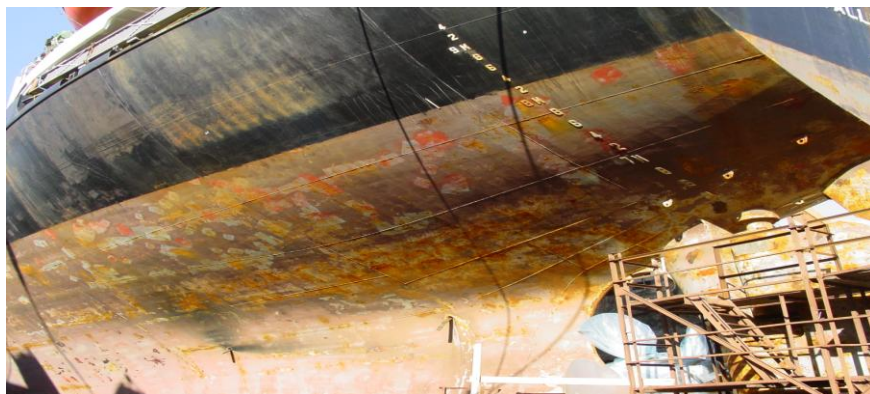
2 pav. Kavitacijos mechanizmas:  $p$  – slėgis,  $V$  – greitis

Paprastai tekėjimo greitis pakankamai greitai kinta prie profilio galinės dalies. Čia skysčio slėgis tampa didesnis negu garo slėgis. Kai tik sąlygos, tenkinančios kavitaciją, keičiasi, garo burbuliukai kondensuojasi. Taigi energija, kuri išsilaisvina, yra gana didelė. Labai dažnai kavitacinė erozija veikia tandemu su elektrochemine korozija (pav. 2).



3 pav. Metalų korozijos greičio priklausomybė nuo vandens judėjimo greičio [3]

Didėjant skysčio judėjimo greičiui, padidėja deguonies padavimas link metalo paviršiaus (I stadija). Iš korozijos produktų susidaro oksido plėvelė, kuri apsaugo metalą (II stadija). Greitai judantis srautas mechaniškai pašalina plėvelę (erozija), todėl korozija paūmėja (III stadija). [3]



4 pav. Pažeistas laivagalis



5 pav. Laivapriekis, pažeistas kavitacinės erozijos

Kavitacinė erozija – tai didelė energija, išsilaisvinanti, kai kavitacinis burbuliukas kondensuojasi. Tokia energija aktyviai ardo paviršių, mažina jo liekamąjį storį, kas gali privesti prie povandeninių konstrukcijų deformacijų. Tokio efekto mastai gali būti nuo taškinių laivo korpuso pažeidimų iki visos konstrukcijos suirimo. Kavitacinės erozijos poveikis pavaizduotas (pav. 6 ir pav. 7).



6 pav. Laivagalio pažeidimai



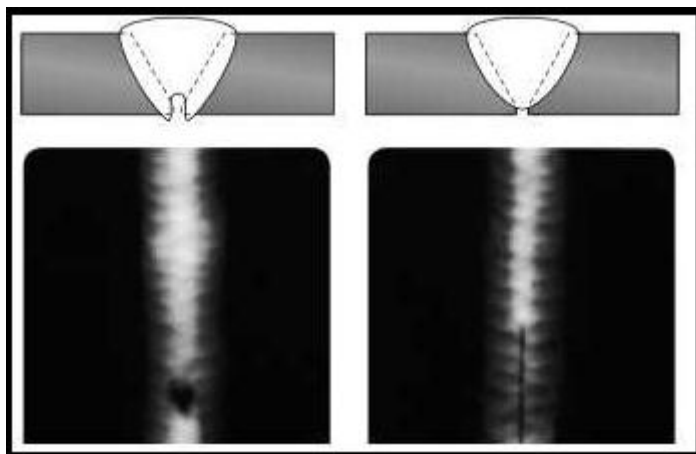
7 pav. Laivaprečio pažeidimai

(5,6 ir 7 pav.) pavaizduotos erozijos poveikis susidaro dėl kavitacijos reiškinių. Pagal laivo savininko duomenis, visi šios serijos laivai turi panašias problemas, nes pastatymo metu buvo naudojamas metalas iš vienos gamyklos, kuri pateikė nekokybišką metalą.

### 2.3. Apžiūrimoji kontrolė.

Prieš pradėdant ultragarsini storių nustatymą, daugeliu atveju atliekama apžiūrimoji kontrolė, kuriai keliami šie reikalavimai: rekomenduojamas apšvietimas turi būti ne mažesnis kaip 500 lx, prieinamumas prie detalių turi būti pakankamas, atstumas iki apžiūrimojo objekto ne didesnis kaip 600 mm; kontroliuojamo paviršiaus apžiūros kampas ne mažesnis kaip 30 laipsnių, svarbus aspektas, kad kontroliuojamas paviršius būtų švarus ir nepadengtas dažais.

Atliekant vizualinę kontrolę, susiduriama su tokiais defektais kaip plyšiai, tuštumos (8 pav.), kietieji intarpai, nesulydimas ir neįvirinimas, formos ir matmenų defektai, dar egzistuoja dauguma įvairių kitų defektų.



8 pav. Suvirinimo siūlės defektai

Plyšių atsiradimo priežastis yra metalo aušinimo metu išaugę įtempiai arba kai metalo konstrukcijos yra veikiamos įtampių eksploatacijos metu.

Tuštumos – atsiranda nespėjus pašalinti dujoms iš suvirinimo siūlės iki kristalizacijos.

Kietieji intarpai atsiranda dėl šlako, įsiterpusio į suvirinimo siūlės metalą. Intarpai gali būti skirtingų rūšių: oksido, fluoso ir metaliniai intarpai.

Nesulydymas ir neįvirinimas – nepakankamas siūlės ir pagrindinio metalo arba atskirų siūlės sluoksnių ryšys. Šio defekto atmainos: nepakankamas šoninės sienelės sulydymas, nepakankamas siūlės ėjimų sulydymas, nepakankamas šaknies įvirinimas.

Formos ir matmenų defektai – netobula siūlės išorinio paviršiaus forma arba geometrinė sujungimo forma, netaisyklingas griovelis ėjimo siūlės pakraščiuose pagrindiniame metale arba anksčiau prilydytame metale. [5]

Matavimo priemonės, kurias naudoja atliekant apžiūrimąją kontrolę:

- Tiesioji liniuotė arba ruletė su 1 mm ar smulkesnėmis padalomis
- Slankmatis su nonijumi pagal ISO 3599
- Tarpumatis su pakankamu plokštelių skaičiumi matmenimis nuo 0,1 mm iki 3 mm, matuoti ne didesniu kaip 0,1 mm žingsniu
- Suapvalinimų spindulio tikrinimo šablonas
- Didinamieji stiklai su didinimu nuo 2x iki 5x; pageidautina, kad stiklai turėtų skalę.

Reikalavimai personalui, kuris atlieka apžiūrimąją kontrolę:

- Turi būti susipažinęs su tiesiogiai susijusiais standartais, taisyklėmis ir techniniais reglamentais
- Turi būti informuotas apie taikytiną suvirinimo procedūrą
- Turi turėti gerą regėjimą pagal EN 473 reikalavimus, kuris turi būti tikrinamas kas 12 mėnesių.

## **2.4. Likutinio metalo storio nustatymo metodai**

Laivas dažnai susiduria su agresyvia aplinka, jį veikia daug išorinių jėgų. Laivo korpusas patiria dideles deformacijas, korozijos poveikį. Netgi patys geriausi dažai negali užtikrinti patikimos apsaugos nuo kavitacijos ir elektrocheminės korozijos poveikio.

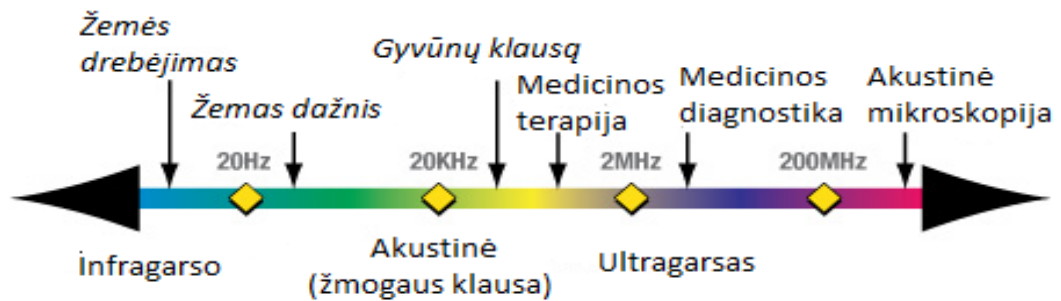
Tam, kad sužinoti apie laivo korpuso techninę būklę arba, kitaip tariant, likutinę laivo korpuso techninę būklę, yra sukurti specialūs metodai, įranga ir technologijos.

Pats moderniausias yra ultragarsinis liekamojo konstrukcijų storio matavimo metodas. Pagrindinis jo privalumas lyginant su aukščiau paminėtais - tai neardomas defektacijos metodas.

### **2.4.1. Ultragarsinių stormačių veikimo principas**

Jau daugiau nei penkiasdešimt metų kokybės kontrolės specialistai naudoja ultragarsinius storio matuoklius. Pastaraisiais metais, kai ir programinės įrangos vystymas tapo pažangesnis, taip ir ultragarsiniai matuokliai tapo patikimesni ir patogesni.

Garso bangos supa mus taip kaip oras ar vanduo. Ultragarsas apima dažnius, aukštesnius už viršutinę žmogaus klausos ribą, t.y. didesnius nei 20 KHz, ir dažniausiai svyruoja nuo 500 kHz iki 20 MHz (9 pav.). Aukštesni ir žemesni dažniai kartais yra naudojami taip pat. Tikslus bandymų dažnis bus pasirinktas atsižvelgiant į konkrečias medžiagas.



9 pav. Ultragarso bangų taikymas [13]

Aukštesni dažniai naudojami, kai reikia išmatuoti plonesnius bandinius, nes aukštų dažnių ultragarso bangos praeina trumpesnę kelią ir išsisklaido. Žemesnių dažnių ultragarsas leidžia išmatuoti storesnius mėginius, nes jis išsisklaido, nuėjęs ilgesnį kelią. Garso bangos nepraeina efektyviai per orą, todėl būtinas specialus gelis ar kitoks skystis tarp keitiklio ir bandinio, kad būtų kokybiškai atlikta operacija. [5]

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:

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

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 paviršius;

- išlieka subjektyvus klaidų faktorius, nes, dirbant su senesnės kartos prietaisais, duomenys užrašomi ranka.



10 pav. Ultragarsinio stormačio veikimo principas [6]

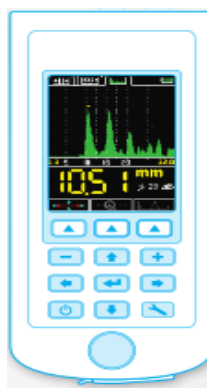
Nors ultragarsinių stormačių antgaliai yra skirtingų dydžių ir formos, jų vidaus konstrukcija yra panaši, ir veikimo principas yra vienodas - paprastai aktyvaus elemento daviklyje tikslas yra paversti aukšto dažnio elektros energiją į mechaninę energiją, kitaip sakant, ultragarsą į virpesius (pav. 10.). [5]

#### 2.4.2. Ultragarsinių stormačių pažanga

Pastaruojų metu technologijos vystosi labai greitai ir tai yra susiję su likutinę storį nustatančiais prietaisais. Gamintojai gali pasiūlyti didelį pasirinkimą ultragarsiniu stormačių, viskas priklauso nuo darbo srities (pav. 11).

Ultragarsiniai storio matuokliai yra mažų gabaritų, jų korpusas yra iš lengvo atsparaus dūžiams plastiko, jais paprasta naudotis derinant efektyvumą ir matavimų tikslumą. Matuokliai gali būti įkraunami nuo elektros tinklo arba nuo kompiuterio, per USB kabelį.

Jeigu atkreipti dėmesų į ultragarsinių storių matuoklių savybes, galima išskirti tris režimus.



11 pav. Skenavimo režimas. [13]

Atminties režimas – naudojamas nustatant objekto storį su ankstesniais parodymais ant prietaiso ekrano, jį galima koreguoti anksčiau padarytus matavimus, jeigu patikrinimo metu atsirado klaidų.

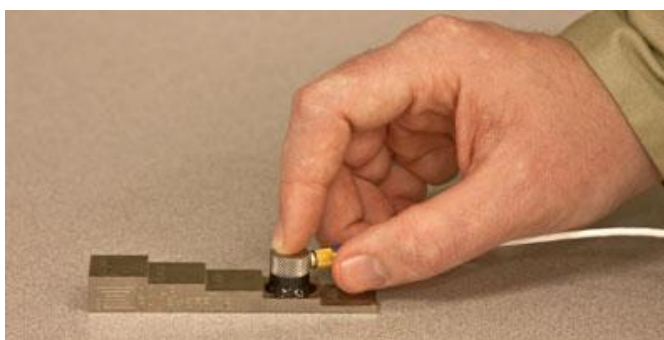
Skenavimo režimas – naudojamas atlikti matavimus su grafiškais parodymais ant prietaiso ekrano; režimas pašalina matavimų netikslumus, kurie atsiranda dėl svetimkūnių atsiradimo. Šitas režimas naudojamas patikrinti suvirinimo siūlų kokybę.

Leistinių ribų režimas naudojamas greitai nustatyti nukrypimus nuo originalaus gaminio storio. Šitas režimas yra patogus kai reglamentuotose dokumentuose yra leistini nukrypimai.[6]

### 2.4.3. Ultragarso matuoklio kalibravimas

Ultragarso matuoklis įvertina bandinio storį labai tiksliai išmatuodamas laiką, per kurį garso praena mėginiu. Siekiant paversti šį laiko matavimą į storio matavimą, matuoklis turi būti užprogramuotas garso ir bandomosios medžiagos greičiu. Tam atliekama kalibracija, būtina vykdant tokius tyrimus. Šis gana paprastas ir nesudėtingas procesas paprastai vadinamas ultragarso matuoklio kalibravimu, kuris pavaizduotas (pav. 12). Ultragarso matavimo tikslumas bus geras tik tuo atveju, jeigu kalibravimas buvo atliktas su tuo pačiu mėginiu, ant kurio vyks tolesni matavimai. Neteisingas kalibravimo rezultatas - netikslūs storio rodmenys. [5]

Ultragarso matuoklio atmintyje gali būti išsaugomi ir greitai prisiminti skirtingų kalibravimo medžiagų ir keitiklių duomenys. Labai svarbu atsiminti, kad ultragarso 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.



12 pav. Ultragarso matuoklio kalibravimas [4]

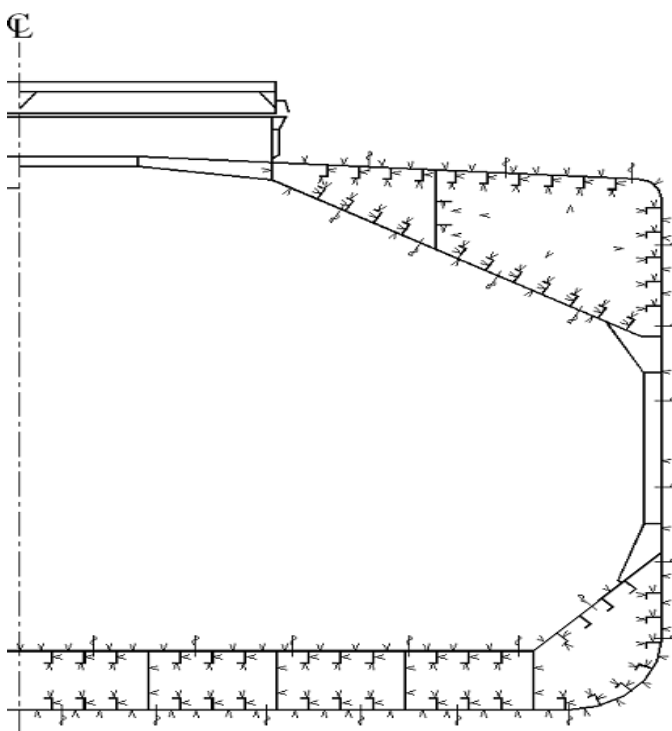
Laivo korpuso defektacija atliekama kas 2,5 ir 5 metus. 5 metų defektacija yra laikoma detalesnė. O defektacijos, kuri atliekama kas 2,5 metų, metu yra tikrinamos tik pasirinktos laivo dalys. Dažniausiai kas 2,5 metų matuojami 2 laivo pjūviai nuo laivo centro į laivapriekį ir laivagalį. Taip pat egzistuoja ir pjūvių matavimo schema, kurioje matuojami 2 arba 3 korpuso pjūviai, kurie yra daugiausiai veikiami apkrovų.

Metalo storio matavimai gali būti atliekami kaip iš vidaus, taip ir iš išorės.

Ultragarso principu veikiantis prietaisas gali pamatuoti bet kokio storio metalinę konstrukciją. Šiuolaikiniai prietaisai leidžia tai daryti netgi per dažus. Tai nereikalauja papildomų darbo jėgos pastangų dažų nuvalymui. [6]

#### 2.4.4. Korpuso liekamojo storio nustatymo schemas

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 tyrimai parenkamos tokios vietos, kurios yra labiausiai nusidėvėjusios.



13 pav. Sausakrūvio laivo korpuso ultragarsinių storio matavimų schema

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.

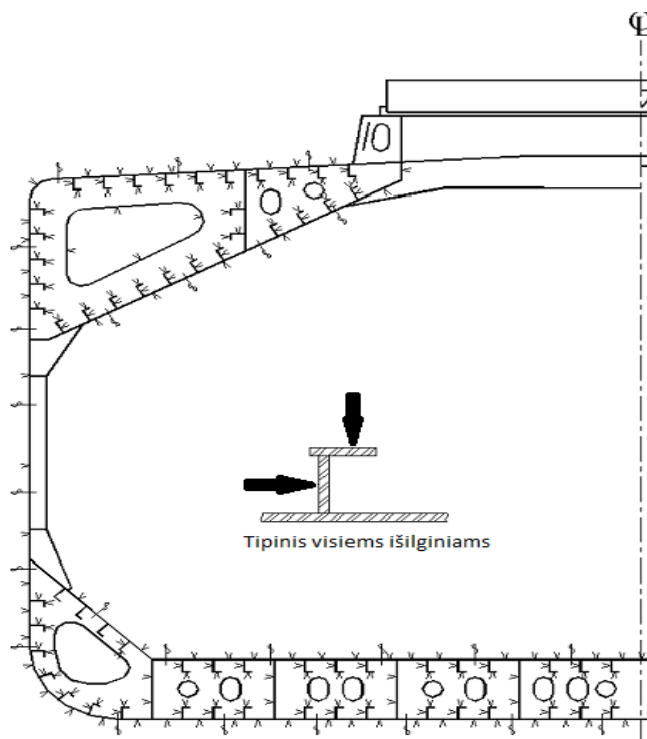
Paprastai pagal klasifikacinių bendrovių reikalavimus inspekcijai parenkami šie pjūviai:

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.

[5]

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

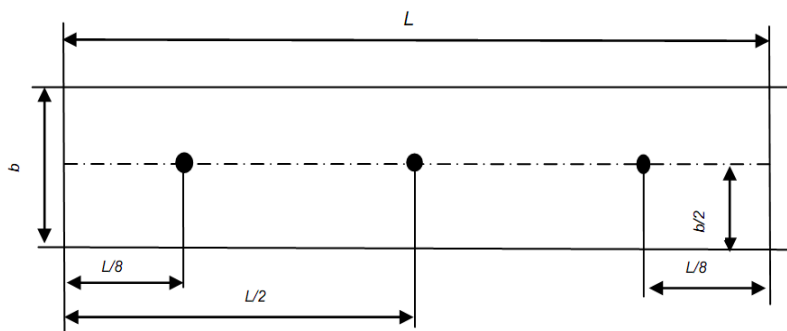
Jei nustatyta, kad vieno ar daugiau skerspjūvio metalo likutinė vertė neatitinka stiprumo reikalavimams, skerspjūvio matavimų taškų kiekis turi būti padidintas pagal aplinkybes. (13 pav). pateiktos pjūvių vietos, kuriose daromi ultragarsiniai matavimai.



14 pav. Ultragarsinių liekamojo storio matavimų schema kitame sausakrūvio pjūvyje

Šioje schemoje (14 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.



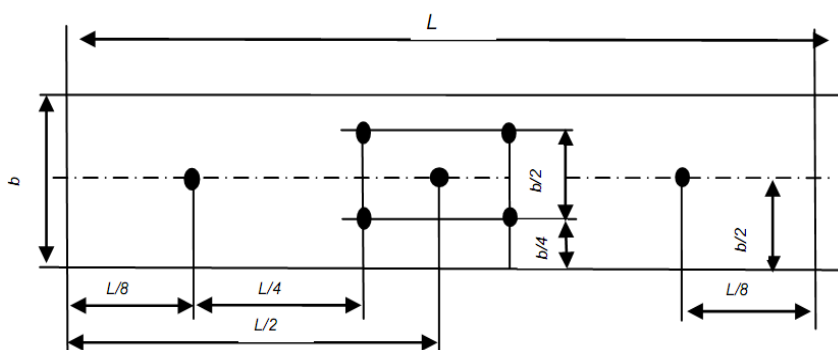
15 pav. Trijų taškų lakšto storio matavimo schema

Kaip mes matome iš schemos (pav.15), lakštų matavimai turėtų būti atliekami laivapriekinėje, vidurinėje, laivagalinėje lapo pusėje, ne mažiau 3 taškų viename lape arba 1 taškas  $5 \text{ m}^2$  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 16 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.



16 pav. Septynių taškų matavimo schema

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 iki 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.

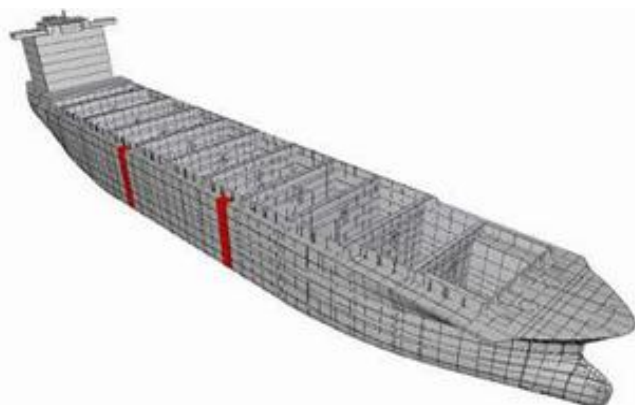
Jeigu vietinis nusidėvėjimas apima daugiau nei 40 proc. lapo, taškų kiekis turėtų būti padidintas dvigubai. Ataskaitoje taip pat registruojamas vidutinis išmatuotas likutinis storis.

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. [5]

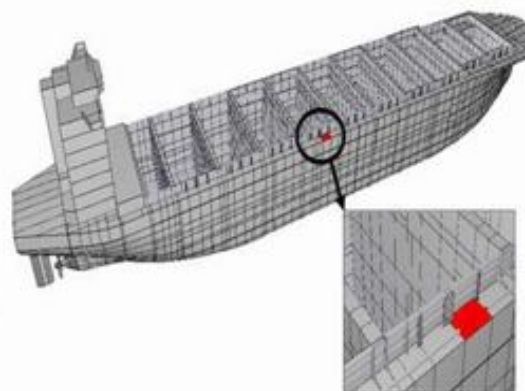
Vidutinis likutinis storis, kai yra nusidėvėjimas dėmėmis ir linijinis, skaičiuojamas kaip matavimo vidurkis. Vietos, kur atliekama defektacija, patvirtintos registro ir pateiktos priede Nr.1.

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 būtina perduodama laivo savininkui ir laivą prižiūrinčiai klasifikacinei bendrovei. [6]

Storio matavimo vietos turėtų būti pasirinktos siekiant užtikrinti geriausias reprezentatyviosios atrankos teritorijas. Tos vietos gali būti labiausiai veikiamos korozijos, atsižvelgiant į išdėstymus ir apsauginės dangos būklę. Žymiau pateikti DNV registro reikalavimai laivo korpuso konstrukcijų liekamojo storio nustatymui priklausomai nuo laivo amžiaus.

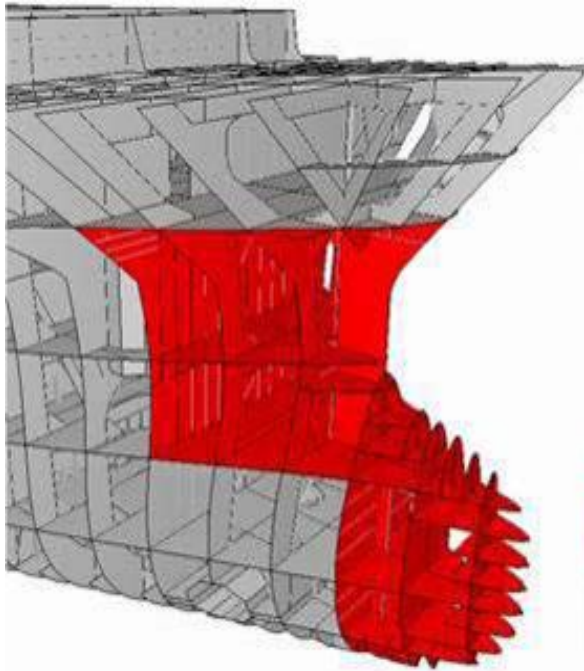


17 pav. Laivo borto apsiuvas.

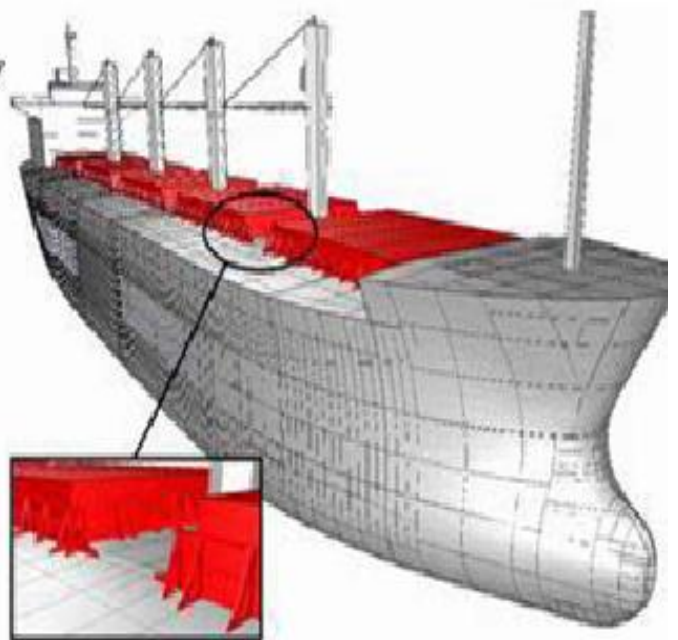


18 pav. Laivo denis.

Iš aukščiau pateiktų paveikslų matosi, kad turi būti atlikti matavimai dviejuose pjūviuose 0,5L laivo ilgio (17 pav.) ir išmatuotos įtartinios vietos ant pagrindinio denio (18 pav.)



19 pav. Laivapriekio konstrukcija.

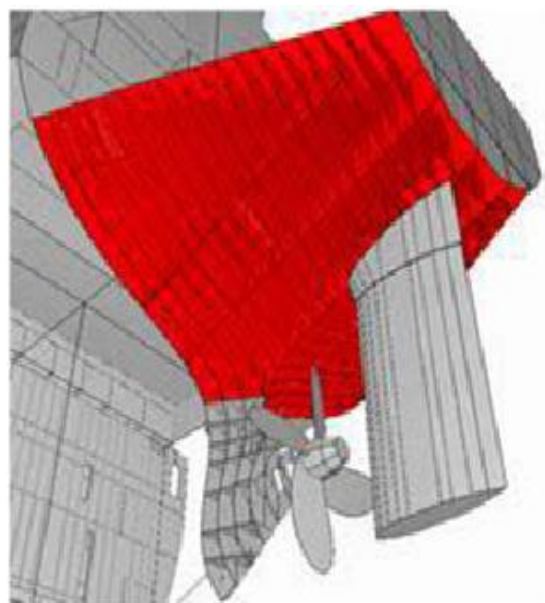


20 pav. Triumo liukai ir komingsai

Apžvelgiant (19 pav.) matosi, kad laivaprekiu dalyje matavimai turi būti atlikti ant visų detalių, esančių laivaprekiu konstrukcijoje, iš (20 pav.) - pagal klasifikacinių bendrovių taisykles matavimai turi būti atlikti visiems triumo dangčiams ir komingsams.

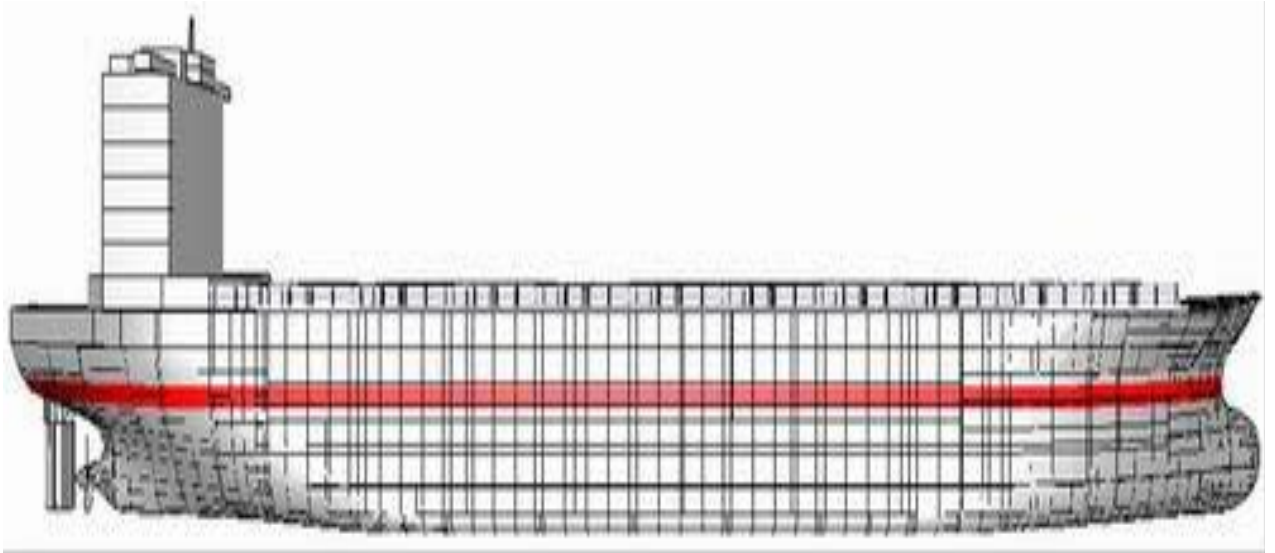


21 pav. Ventiliacijos vamzdžiai.



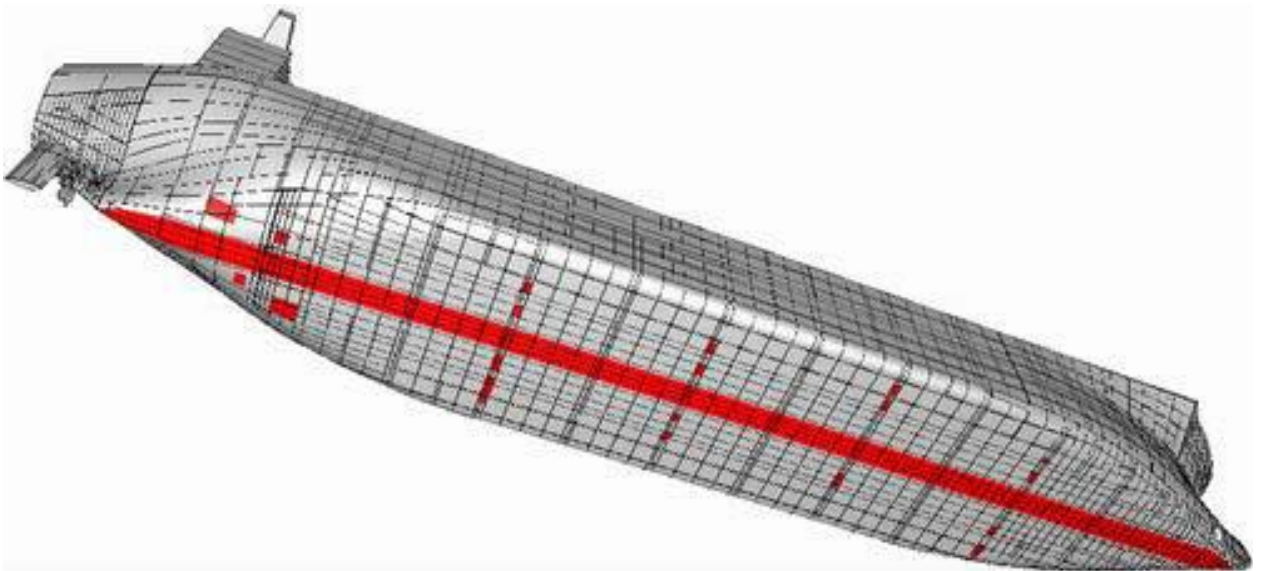
22 pav. Laivagalio lakštai.

Visi oro vamzdžiai ir ventiliatoriai ant pagrindinio denio į laivapriekį 25% nuo laivo ilgio, mašinos skyriaus ir kitų skyrių turi būti išmatuoti (21 pav.), lakštai, kurie randasi prie vairo plunksnos, taip pat turi būti pilnai išmatuoti (22 pav.).



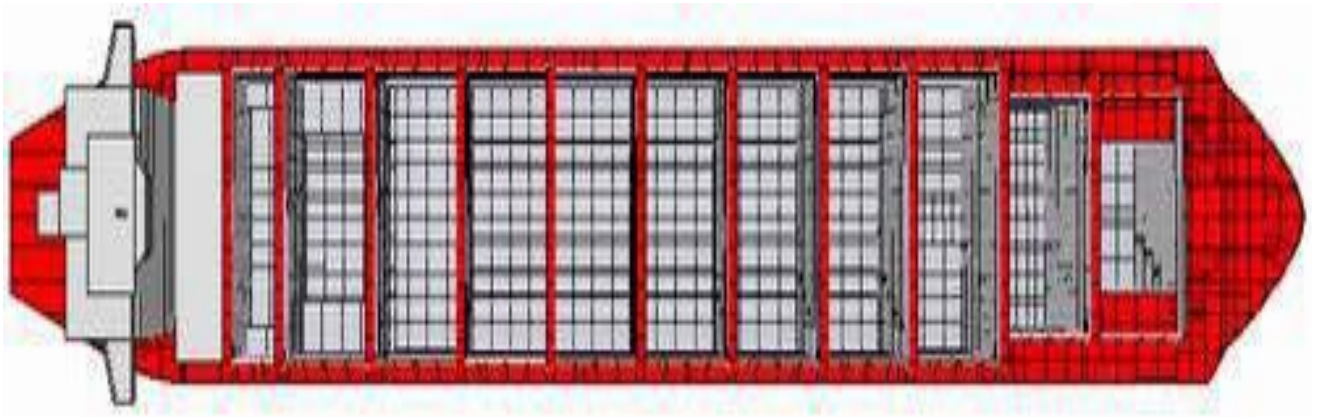
23 pav. Vaterlinijos juosta

Visa vaterlinijos juosta (pagal visą perimetrą) turi būti pilnai išmatuota, nes viena iš pagrindinių korozijos priežasčių yra temperatūrų skirtumas, iššaukiantis rasos susidarymą. Iš išorės laivagalio zona veikiama sūraus vandens, kas ir sudaro didžiausią nusidėvėjimo dalį (23 pav.)



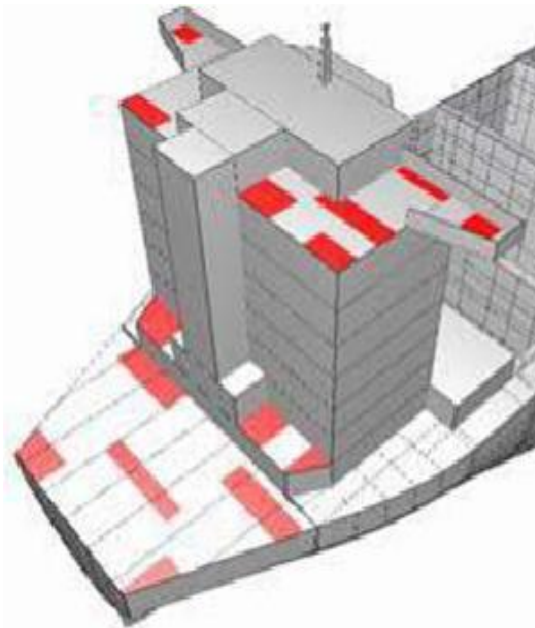
24 pav. Kiliniai lakštai

Visi kiliniai lakštai per visą laivo ilgį, be to, papildomos dugno plokštės, naudojamos kaip užtūros mašinų skyriaus ir galinėje dalyje laivo tankų turi būti išmatuotos kaip matosi paveiksle (24 pav.).

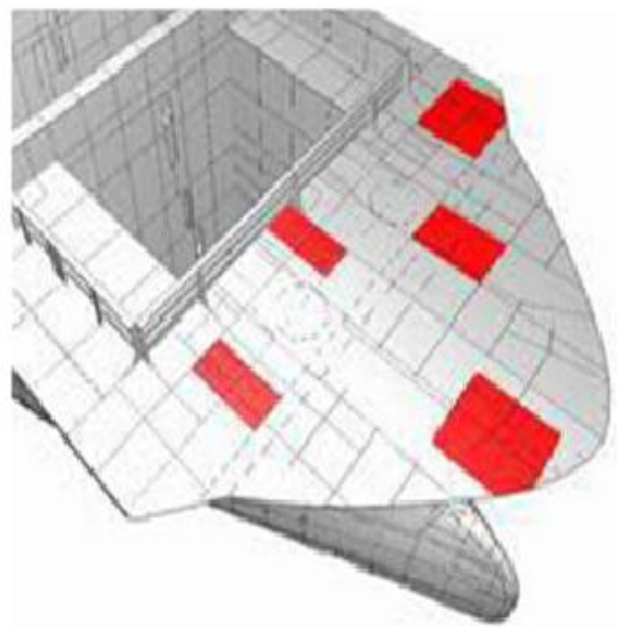


25 pav. Denio danga.

Visos atviros dalys ant pagrindinio denio apkalos per visą laivo ilgį turi būti išmatuotos (25 pav.).



26 pav. Detalės laivagalio dalyje



27 pav. Detalės laivapriekio dalyje

Atskiri lakštai laivapriekyje, laivagalyje ir laivo antstate turi būti išmatuoti (26 pav. ir 27 pav.).

### 3.EKSPERIMENTINIŲ DUOMENŲ APDOROJIMAS

#### 3.1 Tiriamo objekto duomenys

Tyrimo objektu buvo pasirinktas balkerio tipo laivas „LEDI CHRIS“. Duomenys panaudoti iš likutines vertes nustatančių ataskaitų. Laivo korpuso defektacija buvo atliekama 2002, 2007 ir 2012 metais, pagal šituos duomenis ir nagrinėtos labiausiai korozijos veikiamos vietos laivo išorinėje apkaloje.

Laivo duomenys:

Ilgis – 108 m

Plotis – 16 m

Grimzlė – 4,8 m

Dedveitas – 5375 t

Pastatytas 1985 metais

Klasifikacinė bendrovė: Germanischer Lloyd

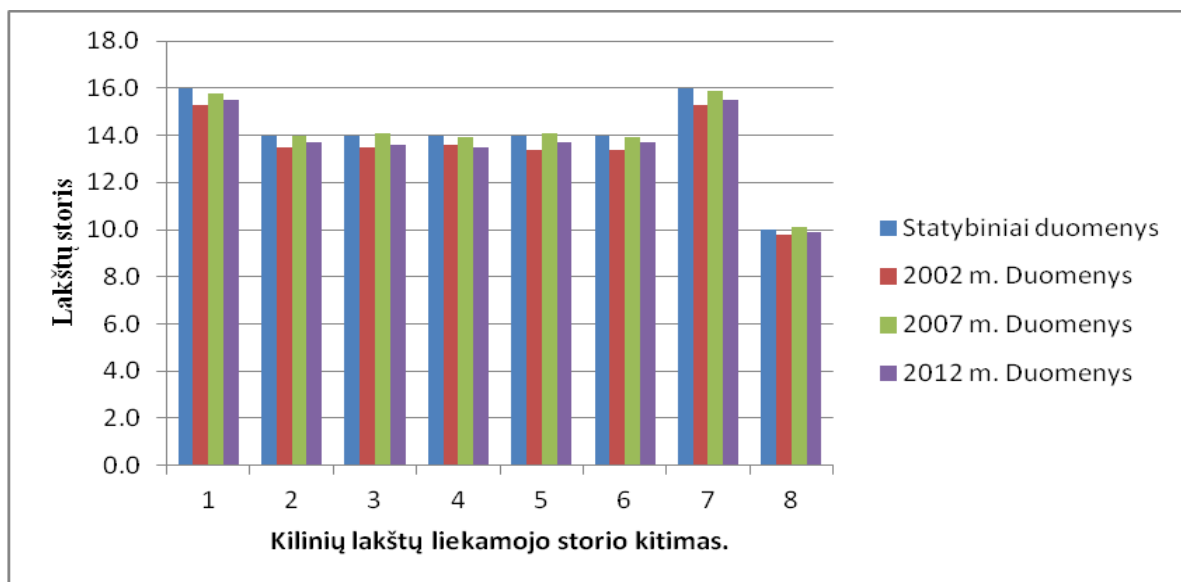


28 pav. Sausakrūvis laivas „LEDI CHRIS“

### 3.2 Duomenų statistinis apdorojimas ir analizė

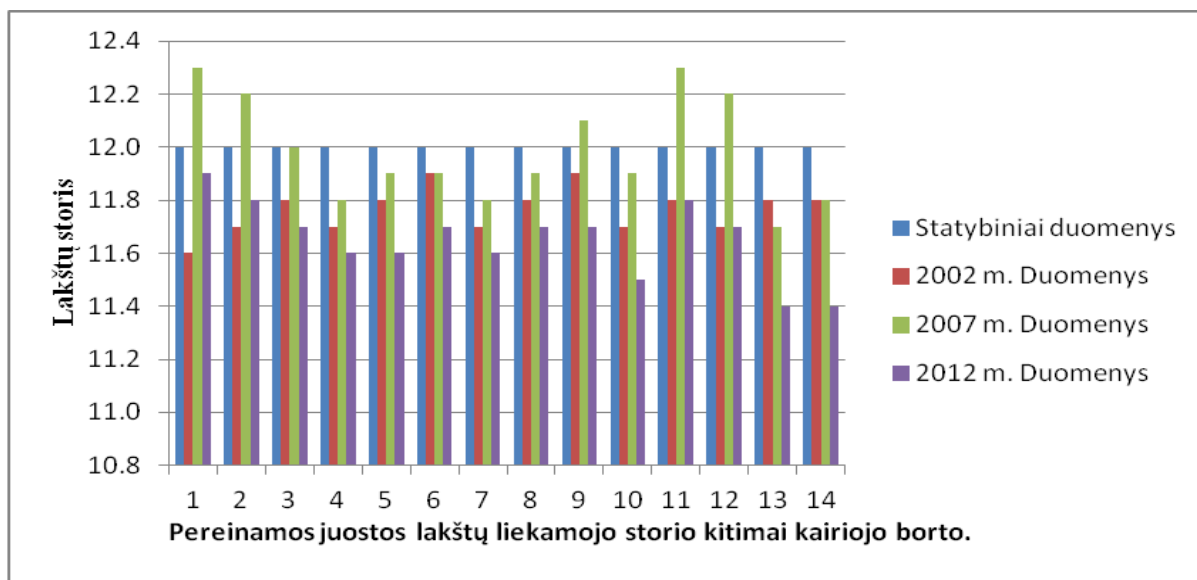
Darbe naudoti išorinio korpuso storio matavimo 2002, 2007 ir 2012 metais duomenys. Šiuos duomenis palyginsime su laivo pastatymo duomenimis, sudarysim grafikus, ir akivaizdžiai matysime, kurios zonos laivo išorinėje apkaloje yra labiausiai veikiamos korozijos eksploatacijos metu.

Laivo išorinis korpusas yra suvirintas iš plieno lakštų. Kiekvienas plieno lakštas turi savo vietą ir žymėjimą. (Priedas Nr.1)

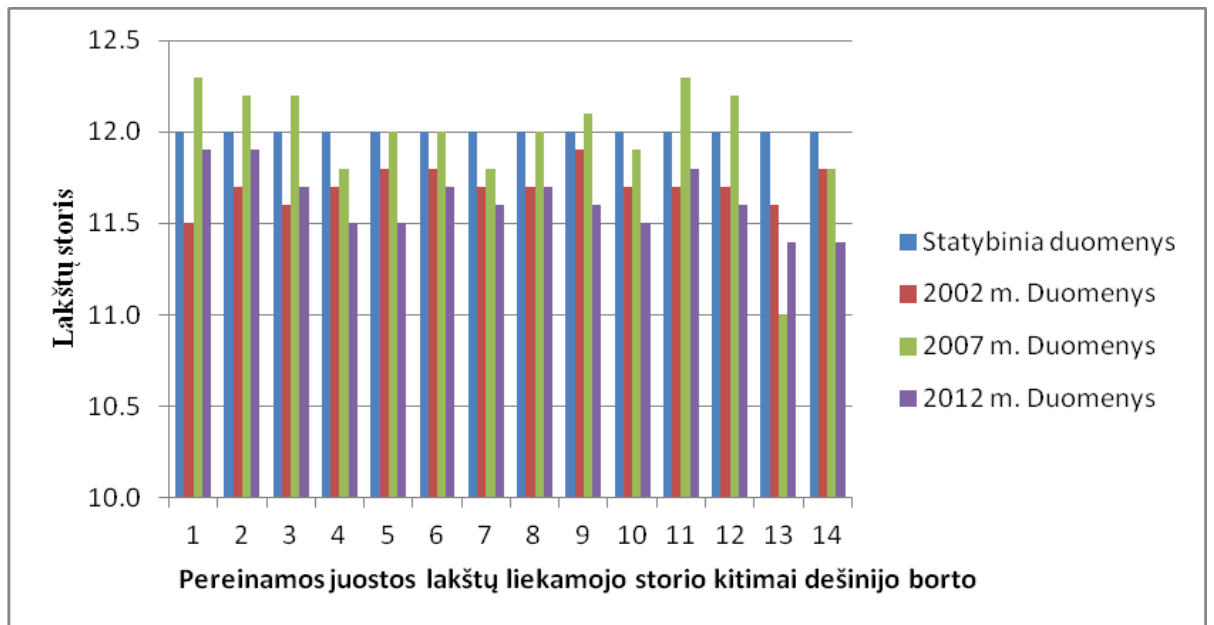


29 pav. Kilinės juostos skaičiavimų rezultatai

Išanalizavus laivo išorinės apkalos kilinius plieno lakštus, galima teigti, kad korozija vyksta sparčiau laivaprečio zonoje, nes 1-mo, 2-ro ir 3-čio lakšto matavimai skiriasi nuo kitų parodymų. Viena iš priežasčių gali būti kavitacijos poveikis laivo korpusui.

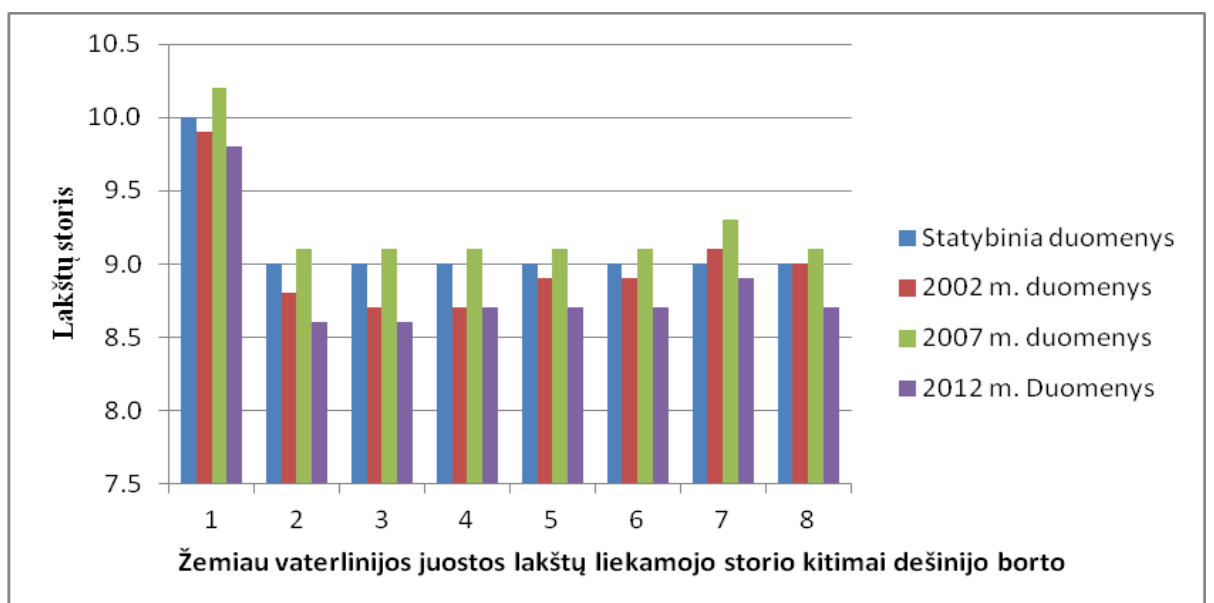


30 pav. Kairiojo borto pereinamos juostos skaičiavimų rezultatai



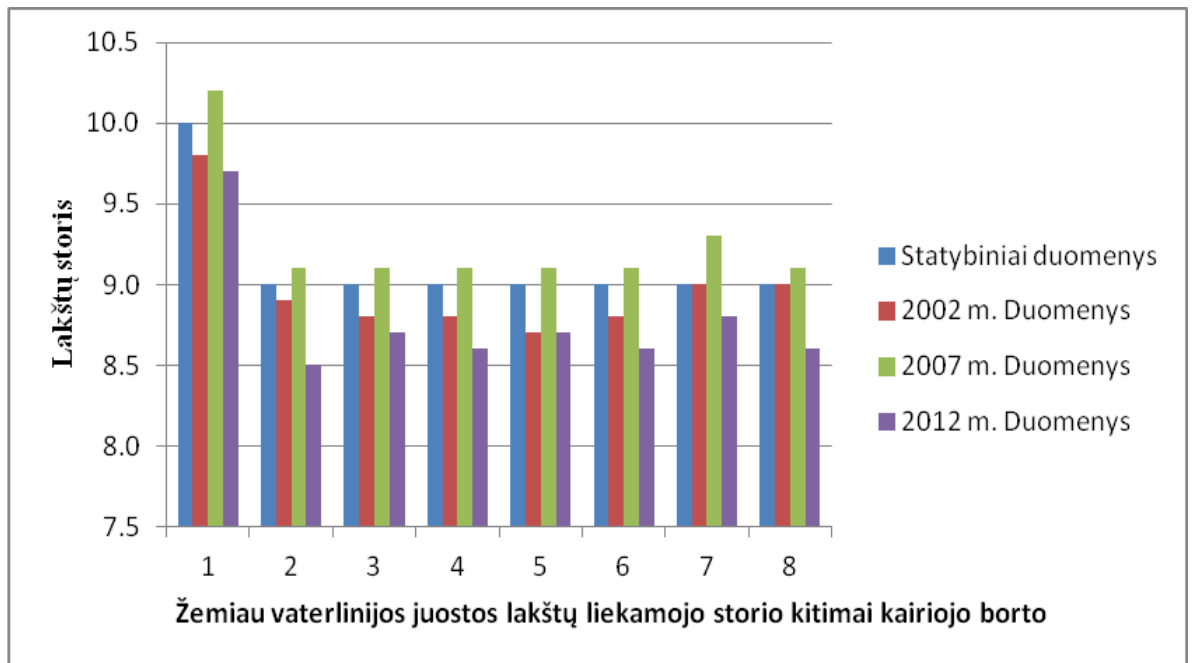
31 pav. Dešiniojo borto pereinamos juostos skaičiavimų rezultatai

Jeigu palyginti kairiojo ir dešiniojo borto pereinamos juostos duomenis, galima teigti, kad metalo lakšto dilimas vyksta tolygiai, bet iš tiriamų duomenų akivaizdžiai matosi, kad laivaprekių zonoje metalo lakštai yra labiau veikiami korozijos.



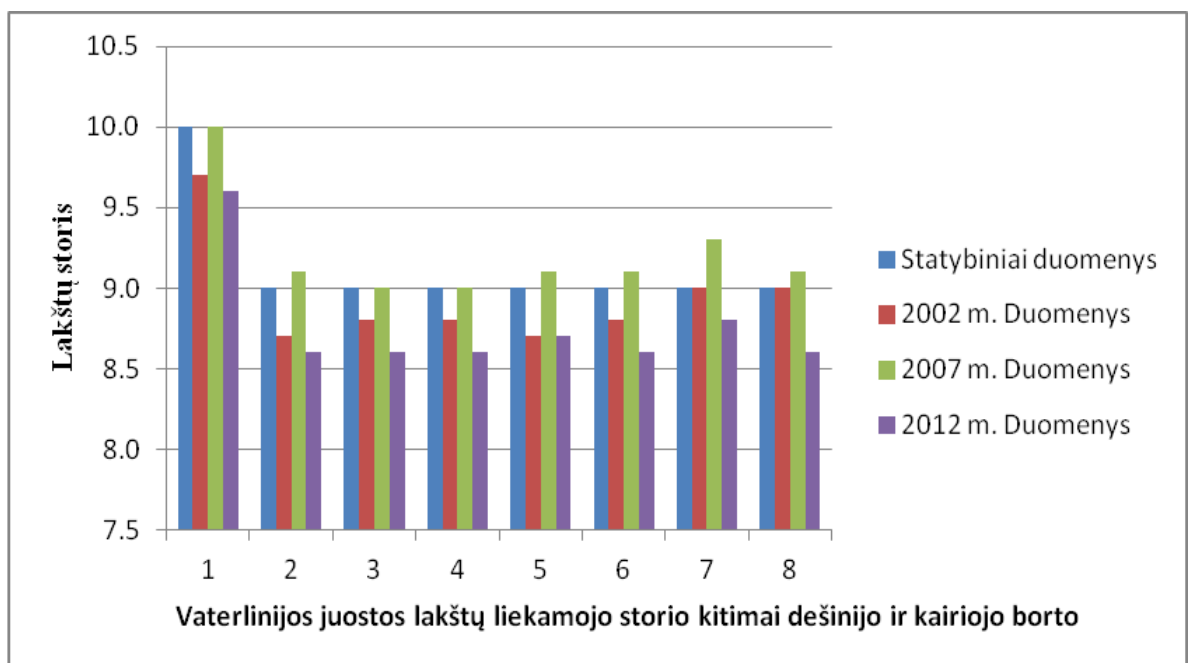
32 pav. Lakštų, išdėstytų žemiau vaterlinijos juostos, skaičiavimų rezultatai (kairysis bortas)

Jeigu atsižvelgti į gautus duomenis iš metalo lakštų, išdėstytų žemiau vaterlinijos juostos, galima teigti, kad korozija sparčiau vyksta laivagalio dalyje. Viena iš pagrindinių tokio nusidėvėjimo laivagalyje priežasčių, palyginus su laivo centrinės dalies nusidėvėjimu, yra temperatūros skirtumas, kas iššaukia rasos susidarymą. Iš išorės laivagalio zona veikiamas sūrus vandens, kas ir sudaro didžiausią nusidėvėjimo dalį.



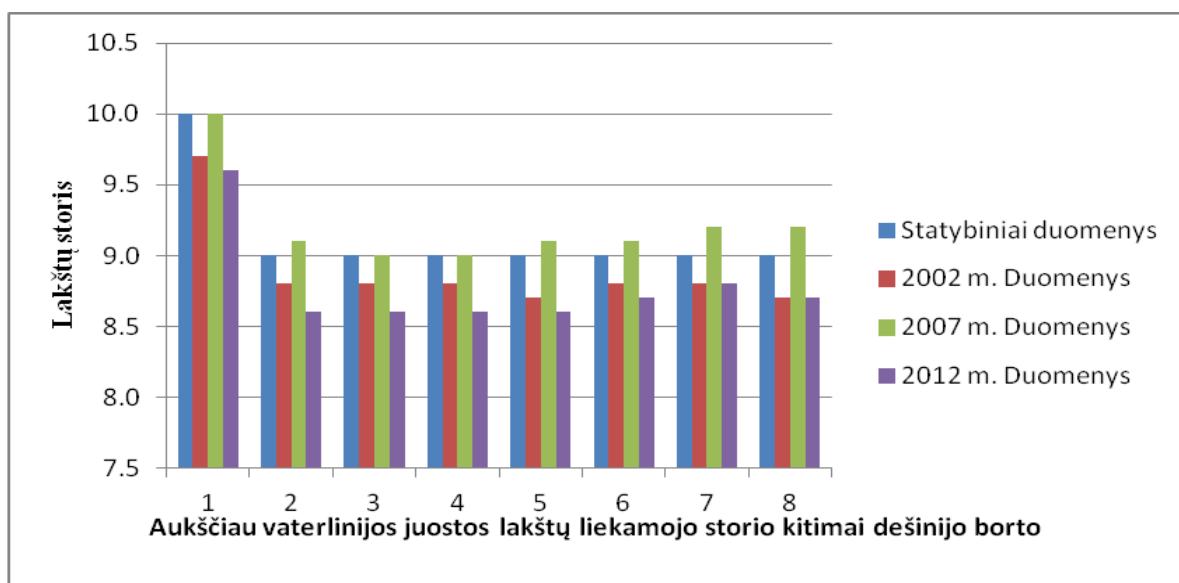
33 pav. Lakštų, išdėstytų žemiau veterlinijos juostos, skaičiavimų rezultatai (dešinys bortas)

Analogiškus rezultatus gavome ir dešiniajam bortui. Esantis liekamojo storio skirtumas paaiškinamas tuo, kad dešinė laivo borto pusė buvo remontuota.



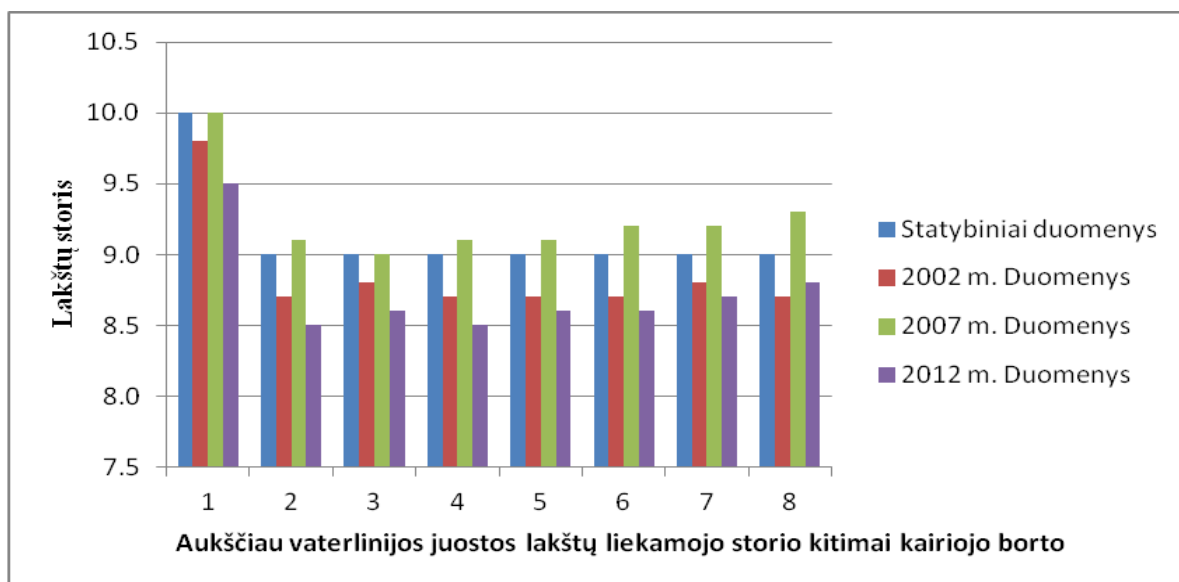
34 pav. Vaterlinijos juostos skaičiavimų rezultatai (kairysis ir dešinysis bortas)

Ypač sparčiai veikia korozija vandens-oro juostoje. Pagrindiniai faktoriai, dėl kurių atsiranda metalo lakštų dilimas šitoj zonoj yra šie: temperatūrinis, elektrocheminė korozija ir skirtingi vandens srautai. Analogišką situaciją gaunama ir dešiniajam bortui.



35 pav. Aukščiau vaterlinijos juostos išdėstytų lakštų skaičiavimu rezultatai (dešinysis bortas)

Išanalizavus analogiškai 7 ir 8 lentelę, galima pareikšti, kad korozija vyksta tolygiai, nes panašiai vyksta metalo lakštų dilimas per visą laivo korpuso ilgį.

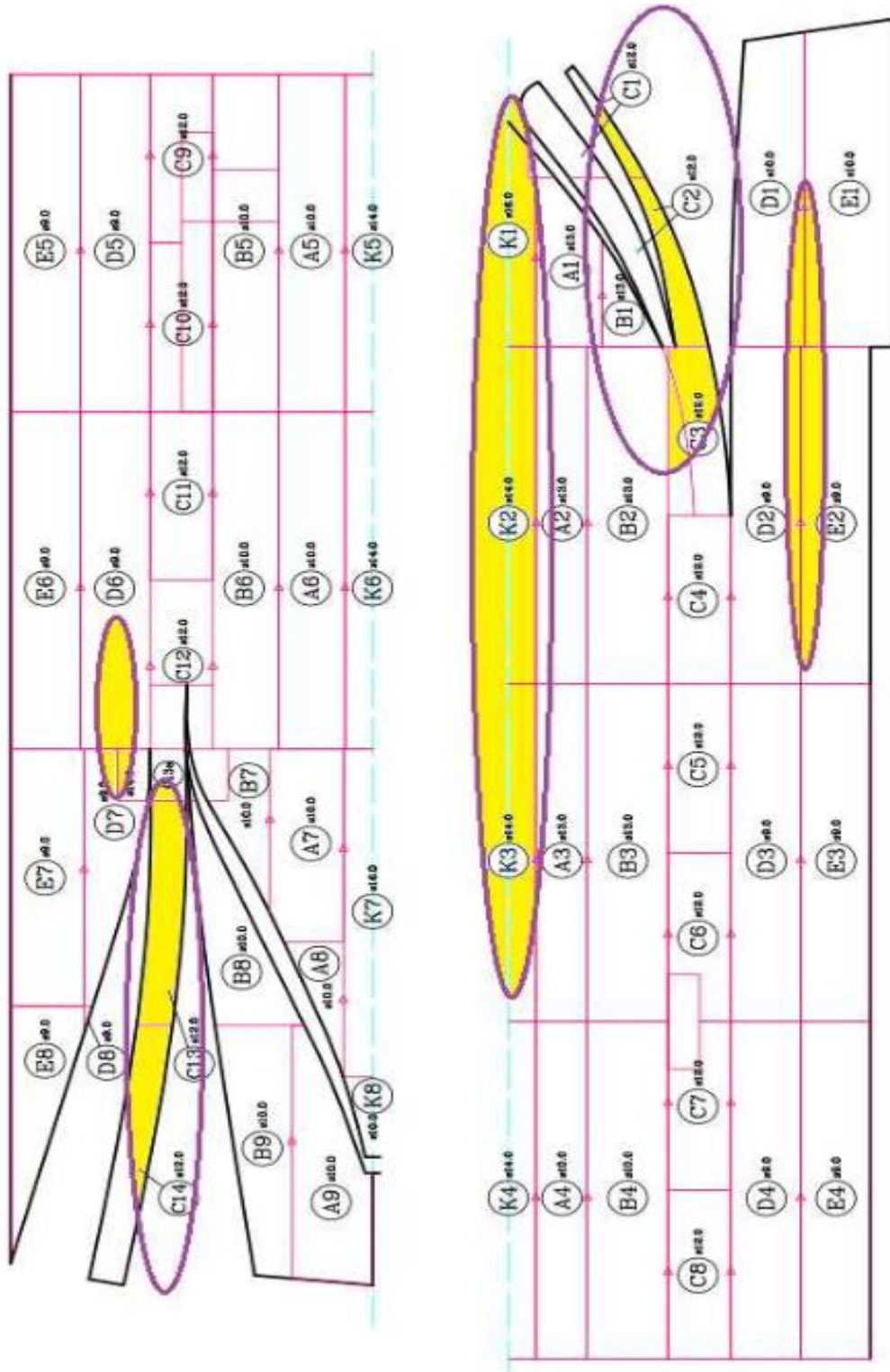


36 pav. Aukščiau vaterlinijos juostos išdėstytų lakštų skaičiavimų rezultatai (kairysis bortas)

Dažniausiai laivuose, ilgą laiką esančiuose eksploatacijoje, dominuoja ištisinė netolygi korozija. Didelę grėsmę laivo eksploatacijai sukelia paviršinė korozija. Tokio tipo koroziją sunku aptikti, nes nėra paviršinių jos požymių. Tačiau, kad išanalizuoti laivo korpuso techninę būklę, neužtenka tik tai kokybinių duomenų. Reikia žinoti ir korozinio - erozinio proceso kiekybinę

išraišką. Prie kiekybinės charakteristikos priskiriamas vidutinis laivo korpuso išsidėvėjimas, kuris skaičiuojamas: atėmus iš statybinių laivo storio lakštus likutinius lakšto storius.

Žemiau pateiktam paveiksle mes galime pastebėti, kuriose vietose sparčiausia vyksta metalo lakštų dilimas. Priežastys, dėl kurių vyksta metalo lakštų dilimas, jau buvo paminėtos.



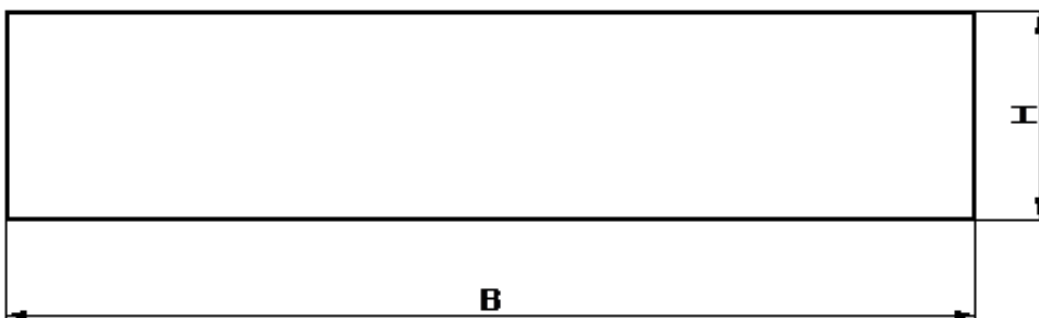
37 pav. Labiausiai veikiamos korozijos zonos kairiajame ir dešiniajame borte

## 4. LYGINAMOJI LAKŠTO STIPRUMO SUMAŽĖJIMO DĖL KOROZIJOS POVEIKIO ANALIZĖ

### 4.1. Kilinio lakšto stiprumo skaičiavimas

Pradinė šio darbo idėja – palyginti, ar sukorodavę lakštai, tenkinantys registro reikalavimus, tenkina ir stiprumo sumažėjimo reikalavimus. Gali būti, kad tolimesnė laivo korpuso eksploatacija yra susijusi su tam tikra rizika.

Duomenys kilinio lakšto stiprumo skaičiavimui paimti iš pastatymo dokumentų ir defektacijos ataskaitų. [9]

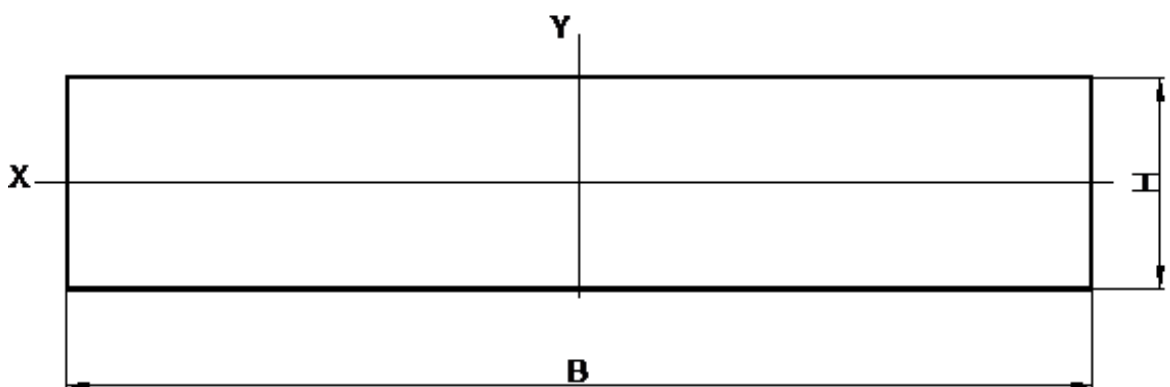


38 pav. Laivo lakštų padėtis

$B = 1300\text{mm}$ ,  $H = 14\text{mm}$  - Kilinio lakšto matmenys iki laivo korpuso eksploatacijos.

$B' = 1300\text{mm}$ ,  $H' = 13,6\text{mm}$  - Kilinio lakšto matmenys po laivo korpuso eksploatacijos.

Kilinio lakšto stiprumo patikrinimas, lakšto duomenys:



39 pav. Laivo lakštų matmenys

Atsparumo momentas ašies „X“ atžvilgiu, prieš laivo korpuso eksploataciją:

$$W_x = \frac{BH^2}{6} = \frac{1.3 \cdot 0.014^2}{6} = 4.24 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \quad (3)$$

Atsparumo momentas ašies „X“ atžvilgiu, po laivo korpuso eksploatacijos:

$$W'_x = \frac{B'(H')^2}{6} = \frac{1.3 \cdot 0.0136^2}{6} = 4.12 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Lenkimo įtempimai yra nustatomi pagal šią formulę;

$$\sigma_x = \frac{M_x}{W_x}; \quad (4)$$

Santykinis sumažėjimas atsparumo momentu ir atitinkamai padidinti lenkimo streso ašies „X“ atžvilgiu.

$$\Delta_x \% = \frac{W_x - W'_x}{W_x} = \frac{4.24 - 4.12}{4.24} 100\% = 2.83\% \quad (5)$$

Atsparumo momentas ašies „Y“ atžvilgiu, prieš laivo korpuso eksploataciją:

$$W_y = \frac{B^2 H}{6} = \frac{1.3^2 \cdot 0.014}{6} = 0.0039 \text{ m}^3 \quad (6)$$

Atsparumo momentas ašies „Y“ atžvilgiu, Po laivo korpuso eksploataciją:

$$W'_y = \frac{B'(H')^2}{6} = \frac{1.3^2 \cdot 0.0136}{6} = 0.0038 \text{ m}^3 \quad (7)$$

Santykinis sumažėjimas atsparumo momentu ir atitinkamai padidinti lenkimo streso ašies „Y“ atžvilgiu.

$$\Delta_y \% = \frac{W_y - W'_y}{W_y} = \frac{39 - 38}{39} 100\% = 2.56\% \quad (8)$$

Bendras sumažinimas atsparumo momento ir taip pat lenkimo stresą padidėjimą atsižvelgiant abiejų plokštumų diapazonu:

$$\Delta\% = \sqrt{(\Delta_x \%)^2 + (\Delta_y \%)^2} = \sqrt{2.83^2 + 2.56^2} = 3.81\% \quad (9)$$

Paprastai viršyti leistiną apkrovą leidžiama iki 3%. Mūsų atveju 3,81%. Tai reiškia kad būtina sustiprinti kilinio lakšto plotą kuris yra susilpnėjęs dėl korozijos.

Taip pat patikrinsim kilinius lakštus ant sukimo momento.

Atsparumo momento formulė kai atliekamas sukimas:

$$W_k = \alpha \cdot B \cdot H^2 \quad (10)$$

Čia,

$$\alpha = 0.333 - \text{koeficientas priklausomai nuo santykio } \frac{B}{H} = \frac{1.3}{0.014} \geq 10$$

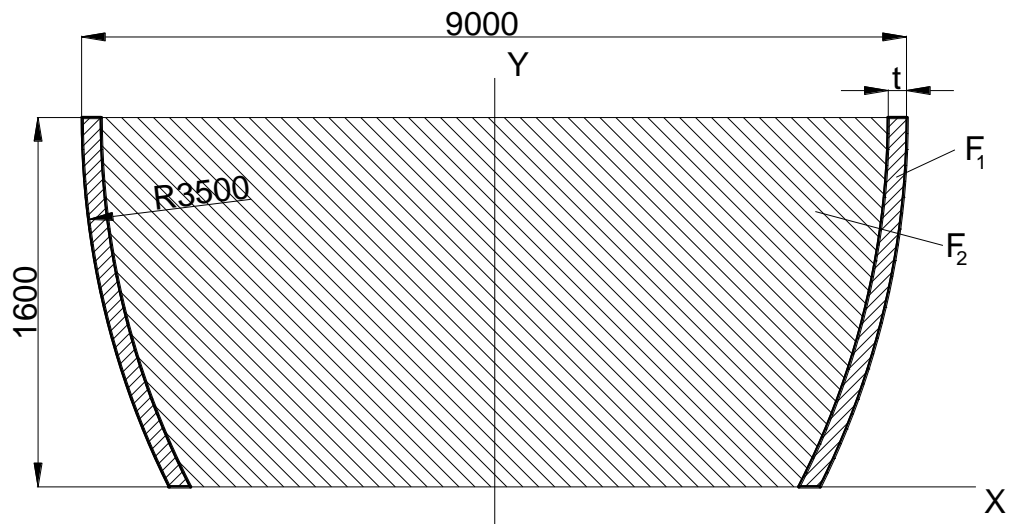
$W_k = \alpha \cdot B \cdot H^2 = 0.333 \cdot 1.3 \cdot 0.014^2 = 8,484 \cdot 10^{-5}$  - Sukimo momentas pasipriešinimas prieš eksploataciją.

$W'_K = \alpha \cdot B \cdot H^2 = 0.333 \cdot 1.3 \cdot 0.0136^2 = 0.333 \cdot 1.3 \cdot 0.014^2 = 8,00 \cdot 10^{-5}$  - Sukimo momentas pasipriešinimas po eksploatacijos.

$$\Delta_Y \% = \frac{W_K - W'_K}{W_K} = \frac{8,484 - 8,00}{8,484} 100\% = 5,71\% \quad (12)$$

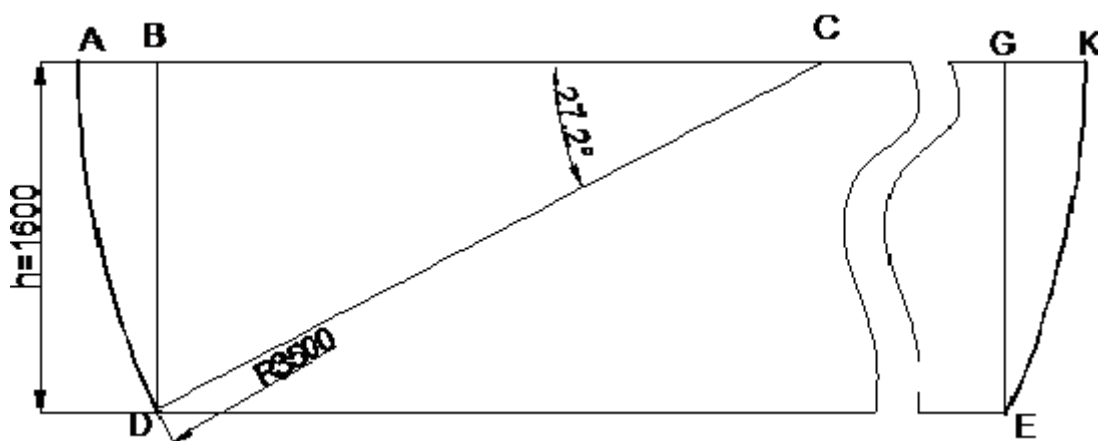
Atlikus skaičiavimus, mes matome, kad mūsų gauti duomenis yra 5,71 %, ir jie viršija leistiną ribą 2.1 %. Maksimali leistina riba yra 3 %.

#### 4.2. Laivo borto stiprumo skaičiavimai laivapriekio dalyje



40 pav. Laivapriekio pjūvis

Nustatysime atsparumo momentą prieš laivo eksploataciją ir po jos. Nustatant plotį  $F_1$  ir  $F_2$ , atliksim kai kuriuos perskaičiavimus.



41 pav. Laivapriekio pjūvio duomenys

$$AC = DC = 3500 \quad \angle ACD = \arcsin \frac{h}{R} = \arcsin \frac{1600}{3500} = 27,20^\circ \quad (13)$$

$$\widehat{F}_{ADC} = \frac{\pi R^2 \cdot 27,2^0}{360^0} = \frac{\pi \cdot 3,5^2 \cdot 27,2^0}{360^0} = 2,907\text{m}^2 \quad (14)$$

$$\widehat{F}_{ADC} = 2,907\text{m}^2$$

$$F_{\Delta CBD} = \frac{1}{2} \cdot BD \cdot CD \cdot \cos 27,2 = \frac{1}{2} \cdot 1,6 \cdot 3,5 \cdot \cos 27,2 = 2,490\text{m}^2 \quad (15)$$

$$F_{\Delta CBD} = 2,49\text{m}^2$$

$$\widehat{F}_{ABD} = \widehat{F}_{ADC} - F_{\Delta CBD} = 2,907 - 2,490 = 0,417\text{m}^2 \quad (16)$$

$$\widehat{F}_{ABD} = 0,417\text{m}^2$$

$$AB = R - R \cdot \cos 27,2 = 3,5 - 3,5 \cdot \cos 27,2 = 0,387\text{m} \quad (17)$$

$$AB = 0,387\text{m}$$

$$BG = AK - 2(AB) = 9,0 - 2 \cdot 0,387 = 8,226\text{m} \quad (18)$$

$$BG = 8,226\text{m}$$

$$F_{BDEG} = BD \cdot BG = 1,60 \cdot 8,226 = 13,162\text{m}^2 \quad (19)$$

$$F_{BDEG} = 13,162\text{m}^2$$

Gauname kad plotas:

$$F_{ADEKA} = F_1 + F_2 = 2\widehat{F}_{ABD} + F_{BDEG} = 2 \cdot 0,417 + 13,162 = 13,996\text{m}^2 \quad (20)$$

$$F_{ADEKA} = 13,996\text{m}^2$$

$t = 9,5\text{mm}$  - lakštų storis prieš laivo korpuso eksploataciją.

$t_1 = 9,0\text{mm}$  - lakštų storis po laivo korpuso eksploatacijos.

Dėl mažo dydžio pokyčio po eksploatacijos, prisiimsime, kad ploto pokyčiai vyksta lygiagrečiai pradinio kontūro, bet atkarpos aukštį paliksime be pakeitimų.

$$\widehat{F}'_{ADC} = \frac{\pi(R-t)^2 \cdot 27,2^0}{360^0} = \frac{\pi \cdot (3,5 - 0,0095)^2 \cdot 27,2^0}{360^0} = 2,892\text{m}^2 \quad (21)$$

$$\widehat{F}'_{ADC} = 2,892\text{m}^2$$

$$F'_{\Delta CBD} = \frac{1}{2} \cdot BD \cdot (CD - t) \cdot \cos 27,2 = \frac{1}{2} \cdot 1,6 \cdot (3,5 - 0,0095) \cdot \cos 27,2 = 2,483\text{m}^2 \quad (22)$$

$$F'_{\Delta CBD} = 2,483\text{m}^2$$

$$\widehat{F}'_{ABD} = \widehat{F}'_{ADC} - F'_{\Delta CBD} = 2,892 - 2,483 = 0,409\text{m}^2 \quad (23)$$

$$\widehat{F}'_{ABD} = 0,409\text{m}^2$$

$$A'B' = (R-t) - (R-t) \cdot \cos 27,2 = (3,5 - 0,0095) - (3,5 - 0,0095) \cdot \cos 27,2 = 0,386\text{m} \quad (24)$$

$$AB' = 0,386\text{m}$$

$$AK' = AK - 2t = (9,0 - 2 \cdot 0,0095) = 8,981\text{m} \quad (25)$$

$$AK' = 8,981\text{m}$$

$$BG' = AK' - 2(AB') = 8,981 - 2 \cdot 0,386 = 8,209\text{m} \quad (26)$$

$$BG' = 8,209\text{m}$$

$$F'_{BDEG} = BD \cdot BG = 1,60 \cdot 8,209 = 13,134\text{m}^2 \quad (27)$$

$$F'_{BDEG} = 13,134\text{m}^2$$

Gauname, kad plotas:

$$F'_{ADEKA} = 2\hat{F}'_{ABD} + F'_{BDEG} = 2 \cdot 0,409 + 13,134 = 13,952\text{m}^2 \quad (28)$$

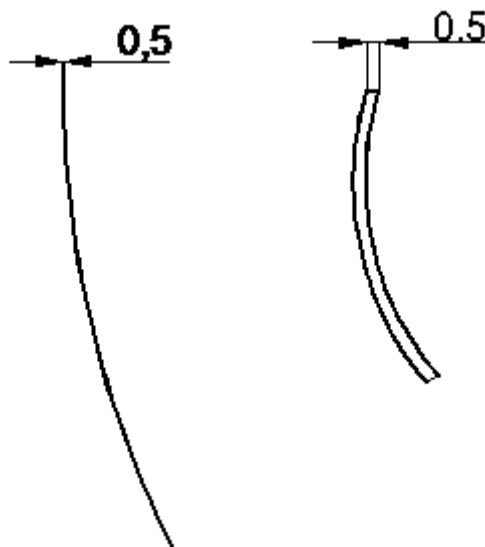
$$F'_{ADEKA} = 13,952\text{m}^2$$

Tada:

$$F_1 = F_{ADEKA} - F'_{ADEKA} = 13,996 - 13,952 = 0,044\text{m}^2 \quad (29)$$

$$F_1 = 0,044\text{m}^2$$

Priimsim, kad laivo korpuso korozija vyksta iš išorinės dalies. Ploto sumažėjimas  $F_1 = 0,044\text{m}^2$  nustatytas grafiškai naudojant AUTOKAD programą.



42 pav. Laivo lakšto storio sumažėjimas

$F_1 = 0,044.\text{m}^2$  - prieš eksploataciją.

$$F'_1 = F_1 - \Delta F_1 = 0,044 - 0,00083 = 0,0431\text{m}^2, \quad \Delta F_1 = 0,00083\text{m}^2 \quad (30)$$

Svorio centras „X“ ašies atžvilgiu nepasikeitęs, nes kairysis ir dešinysis laivo bortas yra simetriški. Pasikeitimai aukščio arba „Y“ ašies atžvilgiu yra nereikšmingi, nes korozija yra tik 0,5 mm, todėl į tai neatsižvelgiam.

Atsparumo momentas priklauso nuo inercijos momento, kuris taip pat savo ruožtu priklauso nuo skerspjūvio ploto:

$$W_X = \frac{J_X}{Y_{\max}}, \quad W_Y = \frac{J_Y}{X_{\max}}. \quad (31)$$

$$\Delta_F \% = \frac{F_1 - F_1'}{F_X} = \frac{0,044 - 0,0431}{0,0440} 100\% = 2,045\% \quad (32)$$

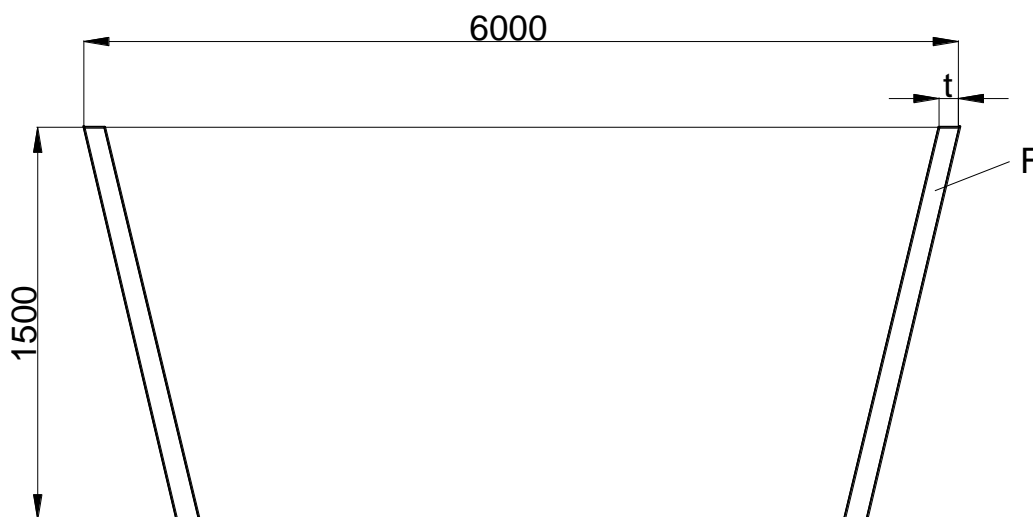
Bendras atsparumo momento sumažėjimas atitinkamai padidina lenkimo stresą abejose plokštumose:

$$\Delta\% = \sqrt{(\Delta_X \%)^2 + (\Delta_Y)^2} = \sqrt{2,045^2 + 2,045^2} = 2,892 \quad (33)$$

Šiuo atveju laivo išorės apkala apžvelgiamame plote paliekama be pasikeitimų, nes leistina riba yra iki 3 %.

Analogiškai sumažėja atsparumo momentas sukimosi metu.

### 4.3. Laivo borto stiprumo skaičiavimai laivagalio dalyje

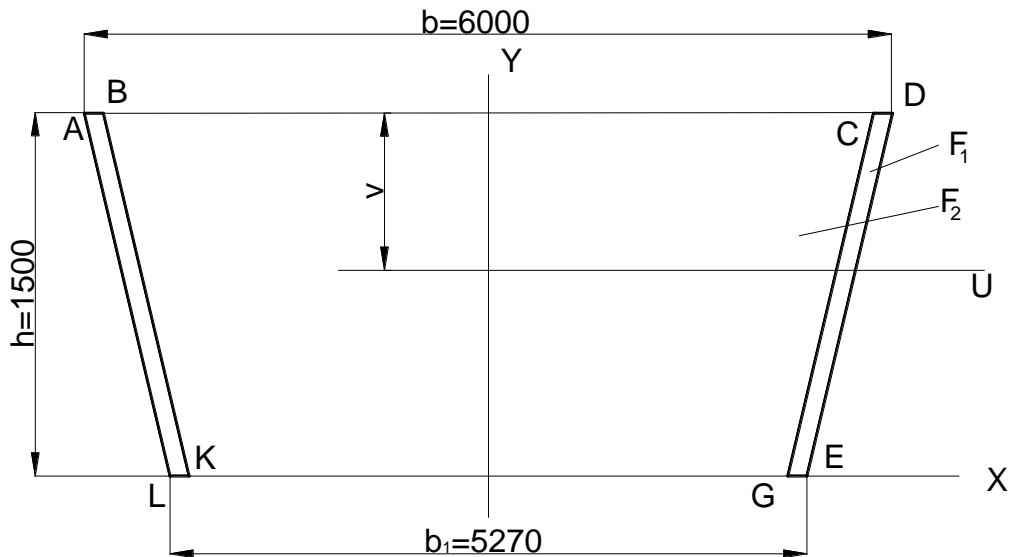


43 pav. Labiausiai veikiamos korozijos zonos

$t = 12\text{mm}$  - Išorės lakšto matmenys iki laivo korpuso eksploatacijos.

$t_1 = 11,5\text{mm}$  - Išorės lakšto matmenys iki laivo korpuso eksploatacijos.

Nustatysime atsparumo momentą prieš laivo korpuso eksploataciją ir po eksploatacijos.



44 pav. Labiausiai veikiamos korozijos zonos

Atsižvelgiant į tai, kad mūsų pasirinkto laivo bortai yra simetriški ašies „Y“ atžvilgiu, lakštų svorio centras yra „Y“ ašies koordinatės.

Antrą koordinatę nustatysime pasinaudoję šita formule:

$$v = \frac{F \cdot v - F_2 \cdot v}{F - F_2} = v \quad (34)$$

Abiejų trapecijų svorio centras bus toks pats.

Visas plotas:

$$F = F_1 + F_2 \quad (35)$$

$$v = \frac{h}{3} \cdot \frac{d + 2 \cdot b_1}{b + b_1} \quad (36)$$

$$v = \frac{h}{3} \cdot \frac{d + 2 \cdot b_1}{b + b_1} = \frac{1500}{3} \cdot \frac{6000 + 2 \cdot 5270}{6000 + 5270} = 733,8 \text{ mm}$$

Inercijos momentas atžvilgiu (U)

$$J'_u = J_u - J''_U; \quad (37)$$

$J'_u$  - Inercijos momentas  $F_1$

$J_u$  - Inercijos momentas  $F$

$J''_U$  - Inercijos momentas  $F_2$

$$J_U = \frac{h^3(b^2 + 4b \cdot b_1 + b_1^2)}{36(b + b_1)} \quad (38)$$

$$J_U'' = \frac{h^3((b-t)^2 + 4(b-t) \cdot (b_1-t) + (b_1-t)^2)}{36(b-t + b_1-t)} \quad (39)$$

$$J_U = \frac{h^3(b^2 + 4b \cdot b_1 + b_1^2)}{36(b + b_1)} = \frac{1.5^3(6^2 + 4 \cdot 6 \cdot 5.27 + 5.27^2)}{36(6 + 5.27)} = 1,582627m^4$$

$$J_U'' = \frac{h^3((b-2 \cdot t)^2 + 4(b-2 \cdot t) \cdot (b_1-2 \cdot t) + (b_1-2 \cdot t)^2)}{36(b-2 \cdot t + b_1-2 \cdot t)} =$$

$$\frac{1.5^3((6-2 \cdot 0.012)^2 + 4(6-2 \cdot 0.012) \cdot (5.27-2 \cdot 0.012) + (5.27-2 \cdot 0.012)^2)}{36(6-2 \cdot 0.012 + 5.27-2 \cdot 0.012)} = 1,575868m^4$$

$$J_u' = J_u - J_U'' = 1.582627 - 1.575868 = 0,006759m^4 \quad - \text{Iki eksploatacijos.}$$

Inercijos momentas, atsižvelgiant į nusidėvėjimą  $t_1 = 11.5mm$   $k = t - t_1 = 12 - 11.5 = 0.5mm$

$$J_U^E = \frac{h^3((b-2 \cdot k)^2 + 4(b-2 \cdot k) \cdot (b_1-2 \cdot k) + (b_1-2 \cdot k)^2)}{36(b-t + b_1-t)} =$$

$$\frac{1.5^3((6-2 \cdot 0.0005)^2 + 4(6-2 \cdot 0.0005) \cdot (5.27-2 \cdot 0.0005) + (5.27-2 \cdot 0.0005)^2)}{36(6-2 \cdot 0.0005 + 5.27-2 \cdot 0.0005)} = \quad (40)$$

$$= 1,582346m^4$$

$$J_u''' = J_U^E - J_U'' = 1.582346 - 1.575868 = 0,006478m^4 \quad - \text{po laivo korpuso eksploatacijos.} \quad (41)$$

$$\Delta_U \% = \frac{J_u - J_u'''}{J_u} = \frac{0,006759 - 0,006478}{0,006759} 100\% = 4,15\% \quad \text{mes matome, kad viršija leistiną ribą}$$

$$1,15\%. \quad (42)$$

Analogiškai patikrinsime inercijos momento sumažėjimą „Y“ ašies atžvilgiu.

$$J_Y' = J_Y - J_Y'' \quad (43)$$

$J_Y'$  - Inercijos momentas  $F_1$ .

$J_Y$  - Inercijos momentas  $F$ .

$J_Y''$  - Inercijos momentas  $F_2$ .

$$J_Y = \frac{h(b^4 - (0.5b_1)^4)}{48(b - 0.5b_1)} \quad (44)$$

$$J_Y'' = \frac{h((b-2t)^4 - (0.5b_1 - t)^4)}{48(b-2t-0.5b_1-t)} \quad (45)$$

$$J_Y = \frac{h(b^4 - (0.5b_1)^4)}{48(b-0.5b_1)} = \frac{1.5(6^4 - (0.5 \cdot 5.27)^4)}{48(6 - (0.5 \cdot 5.27))} = 11.5879m^4$$

$$J_Y'' = \frac{h((b-2t)^4 - (0.5b_1 - t)^4)}{48(b-2t-0.5b_1-t)} = \frac{1.5((6-2 \cdot 0.012)^4 - (0.5 \cdot 5.27 - 0.012)^4)}{48(6-2 \cdot 0.012 - 0.5 \cdot 5.27 - 0.012)} = 11.5279m^4$$

$$J_Y' = J_Y - J_Y'' = 11.5879 - 11.5279 = 0,060m^4 - \text{iki laivo korpuso eksploatacijos.}$$

Inercijos momentas su nusidėvėjimu:  $t_1 = 11.5mm$   $k = t - t_1 = 12 - 11.5 = 0.5mm$

$$J_Y^E = \frac{h((b-2k)^4 - (0.5b_1 - k)^4)}{48(b-2k-0.5b_1-k)} =$$

$$= \frac{1.5((6-2 \cdot 0.0005)^4 - (0.5 \cdot 5.27 - 0.0005)^4)}{48(6-2 \cdot 0.0005 - 0.5 \cdot 5.27 - 0.0005)} = 11.5854m^4 \text{ po eksploatacijos.} \quad (46)$$

## Išvados

Atlikus palyginamuosius skaičiavimus, galima padaryti išvadą, kad kilio lakštų nusidėvėjimas laivaprekiu ir laivagalio dalyje viršija leistiną 3 procentų ribą.

Laivo borto apsiuva laivaprekiu dalyje taip pat arti leistinos ribos iki 3 procentų.

Galima teigti, kad tolimesnė laivo eksploatacija yra susijusi su tam tikru pavojumi dėl stiprumo susimąžėjimo.

Nors atsargumo koeficientas stiprumo ribai yra žymiai didesnis ( $n \sim 1,3 \dots 1,5$ ), tačiau pageidautina padidinti kilio stiprumą, privirinti papildomai standumo plokšteles, kurios padidins išilginius ir skersinius plotus.

Bortinius lakštus nušveisti nuo rūdžių ir padengti nauju apsaugančiu grunto ir dažų sluoksniu.

## 5. LAIVO KORPUSO LAKŠTŲ GEDIMŲ TIKIMYBĖS ANALIZĖ

Tradicinė laivo korpuso techninės būklės vertinimo praktika remiasi normatyviniais reikalavimais. Tai paprasti, tačiau nelankstūs taikymo atžvilgiu metodai, nes naujai sukurtos technologijos ar korpuso būklės vertinimo metodai praktikoje labai lėtai skinasi kelią.

Kitose pramonės šakose jau senokai naudojami kontrolės metodai, grįsti rizikos vertinimu. Šis kontrolės metodas gali padėti laivo korpuso konstrukcijų inspektoriui efektyviau atlikti savo darbą, ypač susiklosčius nestandartinei situacijai. Projektuojant ir eksploatuojant laivą, iškyla įvairiausių pavojų, kuriuos reikia įvertinti. Visur, kur kyla pavojus, egzistuoja ir rizika. Yra žinomos įvairios kokybinės ir kiekybinės rizikos vertinimo metodikos. Metodas, kuris naudojamas laivo rizikos vertinimui, priklauso nuo turimų duomenų apimtys ir nuo paties vertinimo tikslų.

Šiuo metu transportiniai laivai apžiūrimi pagal tam tikrą penkerių metų schemą, kurią sudaro kametinė apžiūra, tarpinė apžiūra (po 2,5 m.) ir klasės atnaujinimas (kas 5 m.; gali sutapti su kasmetine apžiūra). Nors apžiūrų apimtys yra gana didelės ir brangiai kainuojančios, dideli intervalai neatspindi rizikos, susijusios su laivo senėjimu, pokyčių. Jei naujo laivo korpuso būklė leistų atlikti apžiūrą kas 5-7 metus, tai senstantį reiktų apžiūrėti kas 4 m., ypač padidintos rizikos konstrukcijas.

Gedimo tikimybė gali būti vertinama kaip konstrukcijos polinkis sugesti. Pavyzdžiui, kai kurios konstrukcijos yra linkusios į tam tikrus konkrečius pažeidimus/gedimus, pavyzdžiui, nuovargio plyšiai korozijos pažeistuose plotuose.

Gedimo tikimybės gali būti skirstomos į 4 klases [30]:

1 lentelė. Gedimo tikimybės klasifikacija

Klasifikacijos pavyzdys (laivo žalos tikimybė)		
Tikimybė	Tikimybės rodiklis	Laivo konstrukcijos gedimo tikimybė
Žemas	P1	Ypač maža tikimybė, kad laivas patirs gedimą eksploatacijos metu
Leistinas	P2	Šitie gedimai atsiranda retai, vieną arba du kartus per laivo eksploatacijos laiką
Aukštas	P3	Šitie gedimai atsiranda periodiškai ir reikalauja remonto
Avarinis	P4	Labai didelė tikimybė, kad konstrukcija suges (prie jos galima priskirti koroziją, įtrūkimus, deformaciją)

Gedimo tikimybė gali būti sukarodavusios konstrukcijos būklės charakteristika. Tikimybės rodiklis PX – tai faktinė korpuso elementų būklė, kuri naujam korpusui lygi P=1 arba, jei korpuso konstrukcijų korozinis dilimas viršija normas, P=4. Palyginimui naudojama metalo storio užlaida

koroziniam išdilimui, gauta iš naujo laivo plieno storio atėmus minimalius leidžiamus storius tikimybėms  $P=1,2,3$ . Paprastai imamas trečdalis užlaidos kiekvienai tikimybei.

Jūrinių objektų rizika nagrinėjama atsižvelgiant į šias kategorijas: žmogaus saugumas (žūtis, traumos); jūros aplinka (tarša naftos produktais); ekonominis efektas (išlaidos dėl gedimų likvidacijos).

Žemiau esančioje lentelėje kiekvienai kategorijai įvesti keturi lygmenys: katastrofinis; sunkus; esminis; žemas [30]

2 lentelė. Pasekmių tikimybės klasifikacija

Pasekmės lygis	Pasekmės rodiklis	Poveikis žmogaus saugumui	Poveikis aplinkai	Ekonominis efektas
Žemas	1	Vienintelis ir nežymus kūno pažeidimas	Nedidelis naftos produktų išsiliejimas (iki kelių barelių)	Lokalus konstrukcijos pažeidimas
Esminis	2	Ženklūs arba daugiakartiniai kūno pažeidimai	Jūros tarša dideliais kiekiais (situacija valdoma)	Nesunkus laivo pažeidimas, sumažėjęs darbingumas
Sunkus	3	Vienintelis mirties atvejis arba daug sunkaus kūno sužalojimų atvejų.	Esminis jūros užteršimas, reikalingos specialios priemonės padėties kontrolei ar aplinkos valymui	Esminis laivo korpuso konstrukcijų suardymas, laivo darbingumo netekimas, krovinio praradimas
Katastrofinis	4	Didelis skaičius mirties atvejų	Esminis jūros užteršimas, sunkiai kontroliuojama situacija	Pilnas laivo/ krovinio praradimas

Tam, kad supaprastinti pasekmių apibrėžimą, įvesta papildoma kategorija, kuri apjungia pasekmių efektą. Bendra korpuso elementų gedimų pasekmė gaunama susumavus poveikio žmogaus saugumui, aplinkai ir ekonomikai reikšmes su gedimo tikimybe [30].

3 lentelė. Rizikų lentelė

GEDIMO TIKIMYBĖ		GEDIMO PASEKMĖS LYGIS			
		ŽEMAS	ESMINIS	SUNKUS	KATASTROFINIS
		1	2	3	4
Žema	1	2	3	4	5
Vidutinė	2	3	4	5	6
Aukšta	3	4	5	6	7
Ypač aukšta	4	5	6	7	8

2 ir 3 lygiai vertinami kaip leidžiamos rizikos zona, 4 ir 6 – priimtinos rizikos zona, o 7 ir 8 – neleistinos rizikos zona. Taikant rizikos vertinimo metodą balerio korpuso elementų korozinio dilimo įtakai nustatyti, pagal eksperimentinius duomenis nustatome gedimo tikimybę. Duomenys skaičiavimui paimti iš laivo pastatymo dokumentų ir defektacijos ataskaitų.

4 lentelė. Kilinės K lakštų juostos gedimų tikimybė

Lakštai:	2002	2007	2012	P1 - 0%	P2 - 15%	P3 - 25%	P4 - 35%	<b>P</b> <b>(2002)</b>	<b>P</b> <b>(2007)</b>	<b>P</b> <b>(2012)</b>
K1	15.3	15.8	15.5	16.0	13.6	12	10.4	2	2	2
K2	13.5	14.0	13.7	14.0	11.9	10.5	9.1	2	1	2
K3	13.5	14.1	13.6	14.0	11.9	10.5	9.1	2	1	2
K4	13.6	13.9	13.5	14.0	11.9	10.5	9.1	2	2	2
K5	13.4	14.1	13.7	14.0	11.9	10.5	9.1	2	1	2
K6	13.4	13.9	13.7	14.0	11.9	10.5	9.1	2	2	2
K7	15.3	15.9	15.5	16.0	13.6	12	10.4	2	2	2
K8	9.8	10.1	9.9	10.0	8.5	7.5	6.5	2	1	2
PΣ=								2	1.5	2

5 lentelė. Dugno A lakštų juostos gedimų tikimybė

Lakštai:	2002	2007	2012	P1 - 0%	P2 - 15%	P3 - 25%	P4 - 35%	<b>P</b> <b>(2002)</b>	<b>P</b> <b>(2007)</b>	<b>P</b> <b>(2012)</b>
A1	12.7	12.9	12.7	13.0	11.0	9.8	8.5	2	2	2
A2	12.6	13.0	12.7	13.0	11.0	9.8	8.5	2	1	2
A3	12.7	13.1	12.8	13.0	11.0	9.8	8.5	2	1	2
A4	9.7	9.8	9.6	10.0	8.5	7.5	6.5	2	2	2
A5	9.3	9.8	9.6	10.0	8.5	7.5	6.5	2	2	2
A6	9.3	9.8	9.6	10.0	8.5	7.5	6.5	2	2	2
A7	9.5	10.2	9.7	10.0	8.5	7.5	6.5	2	1	2
A8	9.8	10.1	9.7	10.0	8.5	7.5	6.5	2	1	2
A9	9.7	10.2	9.6	10.0	8.5	7.5	6.5	2	1	2
PΣ=								2	1.4	2

6 lentelė. Dugno B lakštų juostos gedimų tikimybė

Lakštai:	2002	2007	2012	P1 - 0%	P2 - 15%	P3 - 25%	P4 - 35%	P (2002)	P (2007)	P (2012)
B1	12.5	12.8	12.7	13.0	11.0	9.8	8.5	2	2	2
B2	12.5	12.7	12.6	13.0	11.0	9.8	8.5	2	2	2
B3	12.6	12.8	12.4	13.0	11.0	9.8	8.5	2	2	2
B4	9.7	9.9	9.7	10.0	8.5	7.5	6.5	2	2	2
B5	9.5	9.9	9.7	10.0	8.5	7.5	6.5	2	2	2
B6	9.5	9.9	9.6	10.0	8.5	7.5	6.5	2	2	2
B7	9.9	10.1	9.7	10.0	8.5	7.5	6.5	2	1	2
B8	9.9	10.2	9.8	10.0	8.5	7.5	6.5	2	1	2
B9	9.8	10.1	9.6	10.0	8.5	7.5	6.5	2	1	2
PΣ=								2	1.7	2

7 lentelė. Pereinamos C lakštų juostos gedimų tikimybė

Lakštai:	2002	2007	2012	P1 - 0%	P2 - 15%	P3 - 25%	P4 - 35%	P (2002)	P (2007)	P (2012)
C1	11.6	12.3	11.9	12.0	10.2	9.0	7.8	2	1	2
C2	11.7	12.2	11.8	12.0	10.2	9.0	7.8	2	1	2
C3	11.8	12	11.7	12.0	10.2	9.0	7.8	2	1	2
C4	11.7	11.8	11.6	12.0	10.2	9.0	7.8	2	2	2
C5	11.8	11.9	11.6	12.0	10.2	9.0	7.8	2	2	2
C6	11.9	11.9	11.7	12.0	10.2	9.0	7.8	2	2	2
C7	11.7	11.8	11.6	12.0	10.2	9.0	7.8	2	2	2
C8	11.8	11.9	11.7	12.0	10.2	9.0	7.8	2	2	2
C9	11.9	12.1	11.7	12.0	10.2	9.0	7.8	2	1	2
C10	11.7	11.9	11.5	12.0	10.2	9.0	7.8	2	2	2
C11	11.8	12.3	11.8	12.0	10.2	9.0	7.8	2	1	2
C12	11.7	12.2	11.7	12.0	10.2	9.0	7.8	2	1	2
C13	11.8	11.7	11.4	12.0	10.2	9.0	7.8	2	2	2
C14	11.8	11.8	11.4	12.0	10.2	9.0	7.8	2	2	2
PΣ=								2	1.6	2

8 lentelė. Borto D lakštų juostos gedimų tikimybė

Lakštai:	2002	2007	2012	P1 - 0%	P2 - 15%	P3 - 25%	P4 - 35%	P (2002)	P (2007)	P (2012)
D1	9.9	10.2	9.8	10.0	8.5	7.5	6.5	2	1	2
D2	8.8	9.1	8.6	9.0	7.6	6.8	5.8	2	1	2
D3	8.7	9.1	8.6	9.0	7.6	6.8	5.8	2	1	2
D4	8.7	9.1	8.7	9.0	7.6	6.8	5.8	2	1	2
D5	8.9	9.1	8.7	9.0	7.6	6.8	5.8	2	1	2
D6	8.9	9.1	8.7	9.0	7.6	6.8	5.8	2	1	2
D7	9.1	9.3	8.9	9.0	7.6	6.8	5.8	1	1	2
D8	9.0	9.1	8.7	9.0	7.6	6.8	5.8	1	1	2
PΣ=								1.8	1	2

9 lentelė. Borto E lakštų juostos gedimų tikimybė

Lakštai:	2002	2007	2012	P1 - 0%	P2 - 15%	P3 - 25%	P4 - 35%	P (2002)	P (2007)	P (2012)
E1	9.7	10.0	9.6	10.0	8.5	7.5	6.5	2	1	2
E2	8.8	9.1	8.6	9.0	7.6	6.8	5.8	2	1	2
E3	8.8	9.0	8.6	9.0	7.6	6.8	5.8	2	1	2
E4	8.8	9.0	8.6	9.0	7.6	6.8	5.8	2	1	2
E5	8.7	9.1	8.6	9.0	7.6	6.8	5.8	2	1	2
E6	8.8	9.1	8.7	9.0	7.6	6.8	5.8	2	1	2
E7	8.8	9.2	8.8	9.0	7.6	6.8	5.8	2	1	2
E8	8.7	9.2	8.7	9.0	7.6	6.8	5.8	2	1	2
PΣ=								2	1	2

### Išvados

Apskaičiuoti balkerio korpuso elementų gedimo tikimybės rezultatai rodo, kad daugumoje vietų gedimai (korozija) yra leistinose ribose. Mažą laivo korpuso išdilimą galima būtų paaiškinti tuo, kad laivo korpuso savininkas matomai laiku atlikdavo korpuso remontą, todėl laivo korpusas yra geros būklės nepaisant jo amžiaus.

## IŠVADOS

Laivo korpusas per visą savo gyvavimo laikotarpį veikiamas daugelio faktorių, Statistiniai duomenys parodo, kad laivo išorinio korpuso nusidėvėjimo greičio padidėjimas atsiranda laivuose, kurių amžius viršija 20 metų. Tokie faktai charakteringi ir laivams plaukiojantiems su Lietuvos vėliava. Nustatyta, kad dominuojantys faktoriai laivo korpuso nusidėvėjimui yra:

- Laivapriekio dalyje vyrauja kavitacinė ir hidrodinaminė erozija bei elektrocheminė korozija, dėl kurios nusidėvėjimas vyksta 0,2-0,25 mm. į metus.
- Laivagalio dalyje pasireiškia kavitacinė, elektrocheminė ir erozinė korozijos, dėl kurios nusidėvėjimas vyksta 0,2-0,3 mm į metus.
- Laivo bortus, o ypač vandens-oro juostą, veikia vandens srauto mechaninis poveikis ir elektrocheminė korozija, dėl kurios nusidėvėjimas vyksta 0,1-0,2 mm į metus.
- Triumuose korozijos procesas priklauso nuo krovinio rūšies.

Įvertinus rizikos faktorius galima teigti, kad daugumoje vietų yra leistini gedimai, kurie atsiranda rietai, viena arba du kartus per laivo eksploatacijos laiką. Pagrindiniu aspektu galima išskirti tai, kad nusidėvėjimo dydis laikui bėgant vis didėja ir korozijos kiekis pereina iš vietinės į lokalinę koroziją

Darbe pateikti rezultatai demonstruoja korozinio dilimo spartą. Visi skaičiavimai buvo atlikti pagal laivų klasifikacinių bendrovių patvirtintus ultragarsinio storio matavimo duomenų apdorojimo metodus.

Kadangi dominuoja tolygus korozijos pasiskirstymas, gautus duomenis galima naudoti būsimo laivo išorinio korpuso korozinio dilimo prognozei ir, tuo pačiu, remonto darbų planavimui

Remiantis skaičiavimais, galima pagrįsti tik viena, kad laivo korpuso defektacija turi būti atlikta laiku, kaip periodiška apžiūra, taip pat ir pilna, nes nuo jos priklauso įgulos ir aplinkos saugumas.

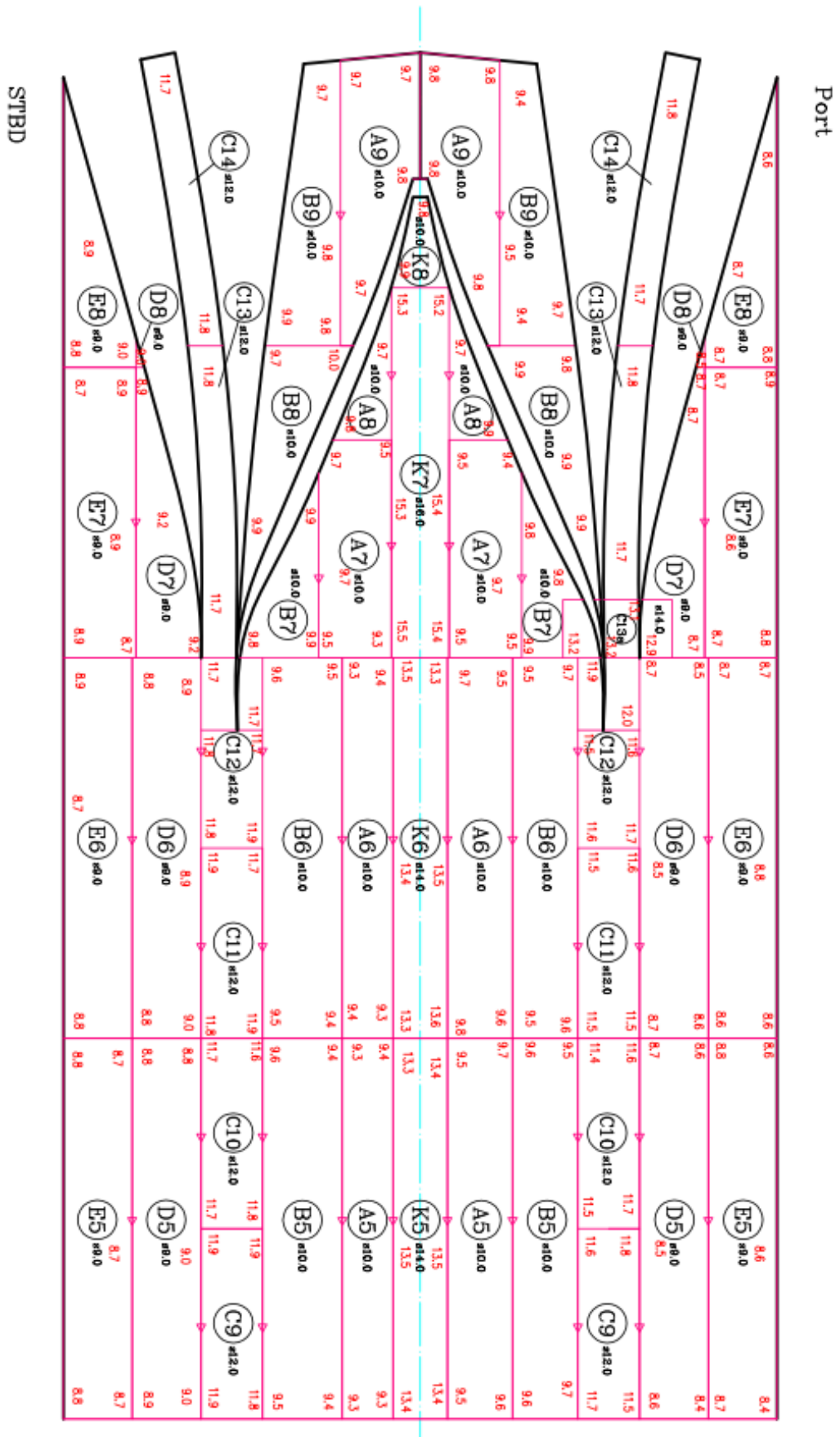
## LITERATŪRA

1. Блинов Э.К., Розенберг Г.Ш. Определение технического состояния корпусов морских судов, *Техническое обслуживание и ремонт судов по состоянию: Справочник судостроения*, 1992.
2. Телянер Б. Е., Турмов Г. П., Финкель Г. Н. *Технология ремонта корпуса судна*. Судостроение. Ленинград, 1984.
3. Šerka J. *Laivo teorija*. Klaipėda, 1997. ISBN 9986-505-62-3
4. Лопырѐв Н. К., Немков П. П., Сумеркин Ю. В. Ремонт корпусных конструкций, *Технология судоремонта*, Транспорт 1981.
5. РОССИЙСКИЙ МОРСКОЙ РЕГИСТР СУДОХОДСТВА. Инструкция по замерам толщин на судах. НД 2-040202-013 2010.
6. Guideline for ultrasonic thickness measurements of ships classed with Det Norske Veritas 2004.
7. Балякин. О. К. *Технология судоремонта*, Транспорт 1983.
8. Г.С.Варданян, В.И. Андреев, Н.М. Атаров, А.А. Горшков *Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности*, 1995.
9. А.Г.Горшков, В.Н. Трошин, В.И. Шалашилин. *Сопротивление материалов*, 2002.
10. А.Е. Саргсян. *Сопротивление материалов, теории упругости и пластичности (Основы теории с примерами расчетов)*, 2000.
11. Гуральник Б. С., Маслюк Е. В. *Определение остаточного ресурса обшивки корпуса в задачах оценки рыночной стоимости судов*, 2001.
12. Плескунин В. И., Воронина Е. Д., *Теоретические основы организации и анализа выборочных данных в эксперименте*. Издательство Ленинградского университета, Ленинград, 1979.
13. Телянер Б. Е., Турмов Г. П., Финкель Г. Н. *Технология ремонта корпуса судна*. Судостроение. Ленинград, 1984.
14. Правила классификации и постройки морских судов. СПб. Российский морской регистр судоходства, 1995.
15. В. Н. Вернигорова, Е. В. Королев, А. И. Еремкин, Ю. А. Соколова. *Коррозия судовых материалов*. Палеотип, 2007.
16. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. *Коррозия и защита от коррозии* Физмалит 2002.
17. В.В. Экилик. *Теория коррозии и защиты металлов*. Ростов-на Дону 2004.

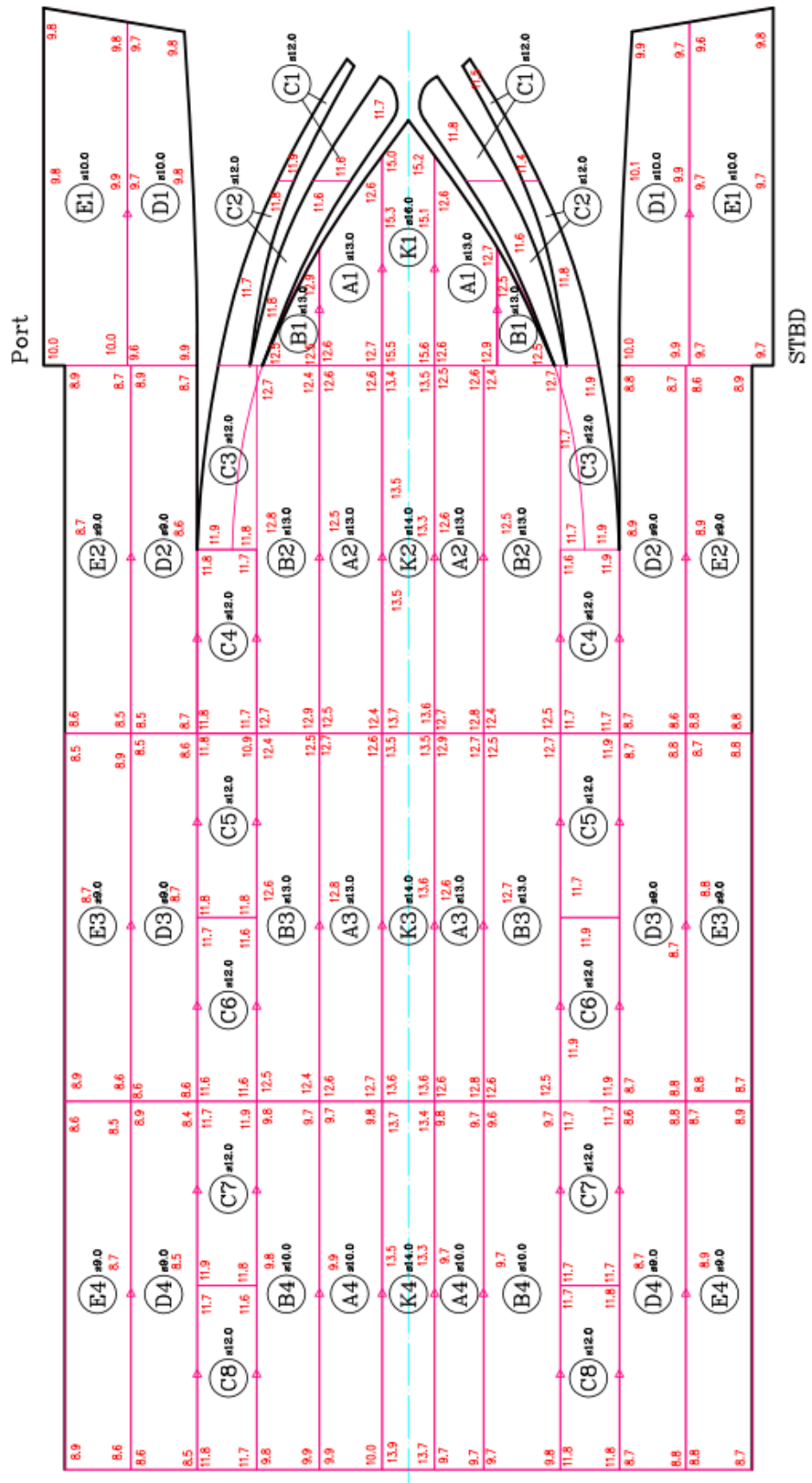
18. Мальцева Г.Н. *Коррозия и защита оборудования от коррозии*. Пенз. гос. Университет 2000.
19. Кравцов В.В. *Коррозия и защита конструкционных материалов. Принципы защиты от коррозии*. УГНТУ 1999.
20. Кавитационная эрозия, кавитационно-эрозионное изнашивание. (2012.11.24)  
<http://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-kavitatsionnoy-erozii-materialov-v-svyazi-s-metodami-rascheta-nadezhnosti-sudovyh-tehnicheskikh-sredstv>.
21. Дефекты СТП и методы борьбы с ними (2012.11.24)  
<http://scienceforum.ru/2013/pdf/2835.pdf>
22. Новые лаколрасочные покрытия. (2012.11.27)  
<http://www.internevod.com/rus/academy/sci/04/novie.shtml>
23. Защита от коррозии балластных танков морских судов. (2012.12.02)  
[http://www.tspc.ru/about/lit/zashita\\_ot\\_korrozii\\_ballastnih\\_tankov/](http://www.tspc.ru/about/lit/zashita_ot_korrozii_ballastnih_tankov/)
24. Опыт оценки технического состояния корпусов судов большого возраста. (2012.12.02)  
[http://www.gilge.ru/ru/publication/oceanolog/part\\_4\\_7.php](http://www.gilge.ru/ru/publication/oceanolog/part_4_7.php)
25. Классификация и причины возникновения дефектов в деталях судовых механизмов и конструкциях. (2012.12.13) [http://www.confcontact.com/2012\\_03\\_15/tn2\\_garkusha.php](http://www.confcontact.com/2012_03_15/tn2_garkusha.php)
26. Оценка компетентности лабораторий неразрушающего контроля: аттестация или аккредитация. (2012.12.17) <http://www.vestipb.ru/articles4481.html>
27. Engineering failure analyze (2012.12.20)  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350630705000178>
28. Advance technique for non-destructive testing of friction stir welding of metals (2012.12.20)  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224110000370>
29. UTM progress for vessel constructions (2012.12.26)  
[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=MiamiSIDIURL&\\_method=listAlerts&\\_btn=Y&\\_zone=TopNavBar&\\_origin=article&\\_acct=C000049863&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_user\\_id=4813815&md5=c94e38d1545852acc4b5436cfafc094](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MiamiSIDIURL&_method=listAlerts&_btn=Y&_zone=TopNavBar&_origin=article&_acct=C000049863&_version=1&_urlVersion=0&_user_id=4813815&md5=c94e38d1545852acc4b5436cfafc094)
30. Management of technical condition of ships hull structures during the operation based on risk assessment (2013.05.13)  
[http://astu.org/content/userimages/vestnik/file/sea\\_2013\\_1/09.pdf](http://astu.org/content/userimages/vestnik/file/sea_2013_1/09.pdf)

## **PRIEDAI**

Laivo „LEDI CHRIS“ 2002 metu senumo korpuso nusidėvėjimo duomenys.

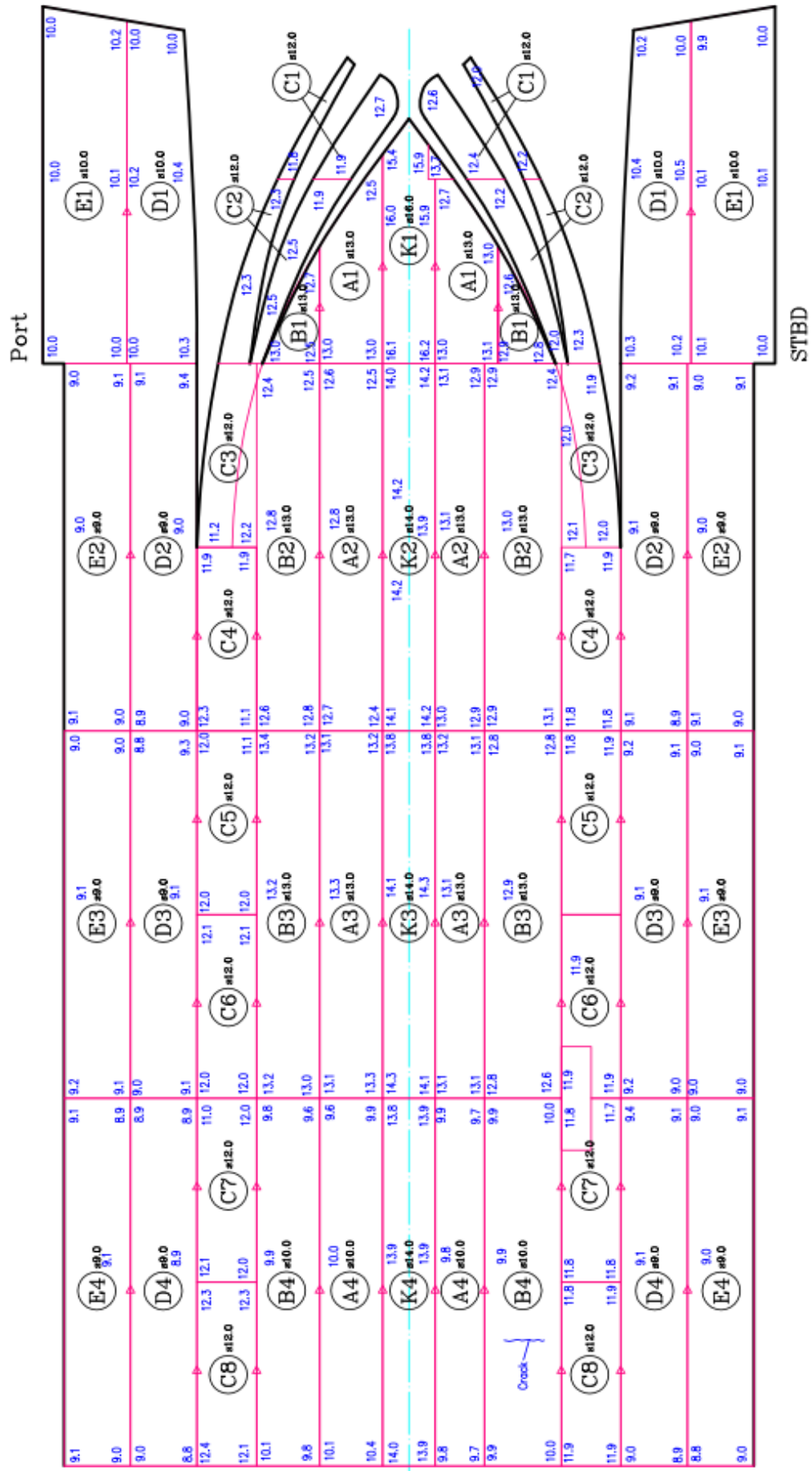


Laivo „LEDI CHRIS“ 2002 metu senumo korpuso nusidėvėjimo duomenys.

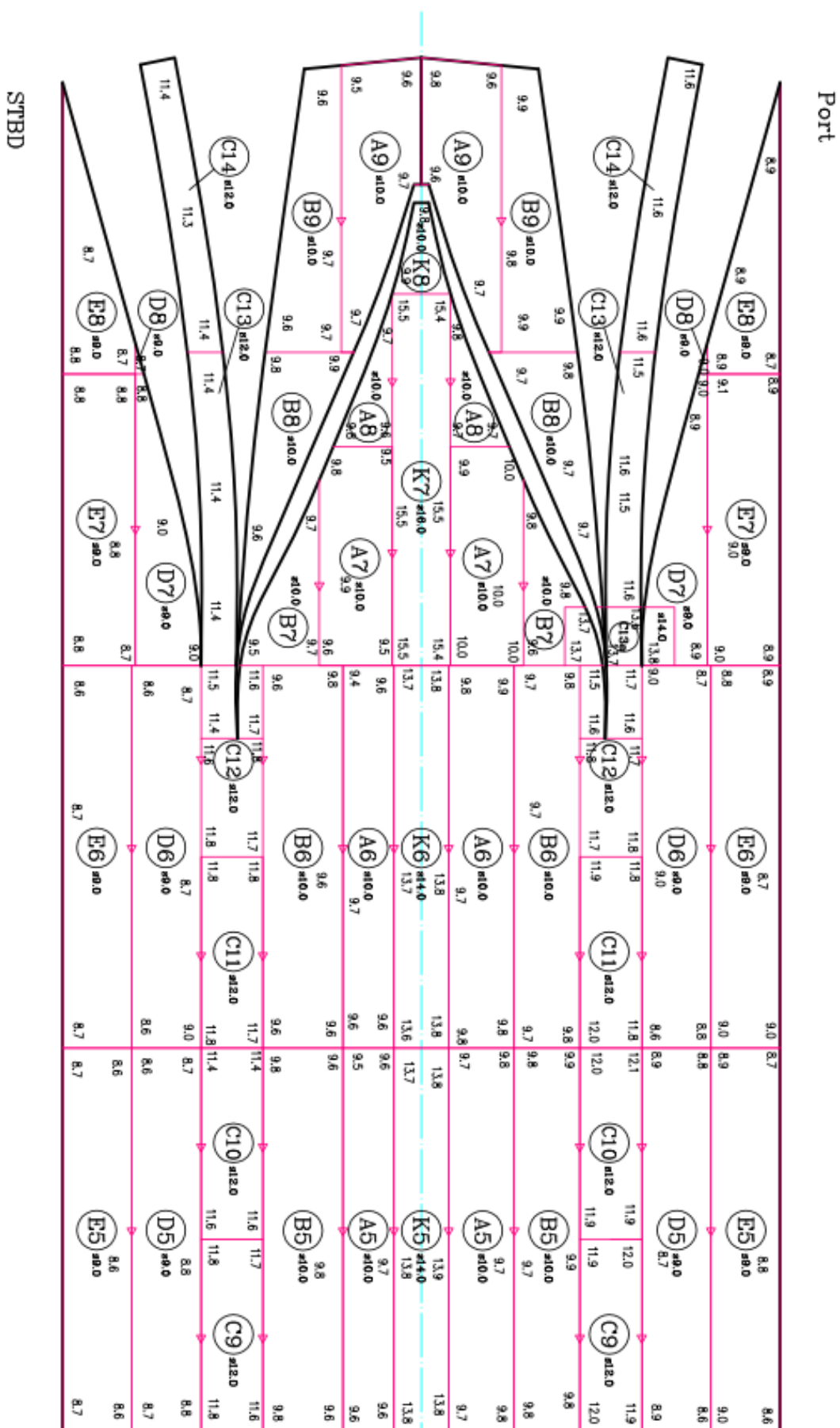




Laivo „LEDI CHRIS“ 2007 metu senumo korpuso nusidėvėjimo duomenys.



Laivo „LEDI CHRIS“ 2012 metu senumo korpuso nusidėvėjimo duomenys.





Laivo „LEDI CHRIS“ 2007 metu senumo korpuso nusidėvėjimo ataskaita

TM-1 BC

Report on THICKNESS MEASUREMENT

Ship's name:

Class identity no.:

Report no.:

Bottom Shell Plating [A]

STRAKE POSITION: PLATE POSITION	No. or Letter	Org. Thk. mm	Max. Dim. mm	Bottom Shell Plating												Mean Diminution %				
				Forward Reading						Aft Reading										
				Gauged		Diminution P		Diminution S		Gauged		Diminution P		Diminution S		P	S			
12th forward																				
11th																				
10th																				
9th																				
8th																				
7th																				
6th																				
5th																				
4th																				
3rd	A1	13.0	1.62	12.8	12.4	0.2	1.5		0.6	4.6	12.9	13.1	0.1	0.8		--	--	I	1.2	4.6
2nd	A2	13.0	1.62	12.6	12.9	0.4	3.1		0.1	0.8	12.6	13.0	0.4	3.1		0.0	0.0		3.1	0.4
1st	A3	13.0	1.62	13.2	13.1	--	--	I	--	--	13.2	13.1	--	--	I	--	--	I	0.0	--
Amidships	A4	10.0	1.50	9.8	9.8	0.2	2.0		0.2	2.0	10.3	9.8	--	--	I	0.2	2.0		1.0	2.0
1st aft	A5	10.0	1.50	9.8	9.8	0.2	2.0		0.2	2.0	10.1	9.8	--	--	I	0.2	2.0		1.0	2.0
2nd	A6	10.0	1.50	10.0	9.9	0.0	0.0		0.1	1.0	10.2	9.7	--	--	I	0.3	3.0		0.0	2.0
3rd	A7	10.0	1.50	10.2	10.3	--	--	I	--	--	10.3	10.3	--	--	I	--	--	I	0.0	--
4th	A8	10.0	1.50	10.3	10.1	--	--	I	--	--	10.0	10.3	0.0	0.0		--	--	I	0.0	--
5th	A9	10.0	1.50	10.2	10.2	--	--	I	--	--	10.1	10.1	--	--	I	--	--	I	0.0	--
6th																				
7th																				
8th																				
9th																				
10th																				
11th																				
12th																				

Comment  
See sketch S1-S2

Operator's Signature: \_\_\_\_\_ ()

TM-1 BC

Report on THICKNESS MEASUREMENT

Ship's name:

Class identity no.:

Report no.:

Bottom Shell Plating [B]

STRAKE POSITION: PLATE POSITION	No. or Letter	Org. Thk. mm	Max. Dim. mm	Bottom Shell Plating																Mean Diminution %	
				Forward Reading								Aft Reading									
				Gauged		Diminution P		Diminution S		Gauged		Diminution P		Diminution S		P	S				
12th forward																					
11th																					
10th																					
9th																					
8th																					
7th																					
6th																					
5th																					
4th																					
3rd	B1	13.0	1.62	12.7	12.6	0.3	2.3		0.4	3.1	12.8	12.8	0.2	1.5		0.2	1.5		1.9	2.3	
2nd	B2	13.0	1.62	12.6	12.8	0.4	3.1		0.2	1.5	12.7	13.0	0.3	2.3		0.0	0.0		2.7	0.8	
1st	B3	13.0	1.62	13.3	12.8	--	--	I	0.2	1.5	13.1	12.7	--	--	I	0.3	2.3		0.0	1.9	
Amidships	B4	10.0	1.50	9.8	9.7	0.2	2.0		0.3	3.0	10.0	9.5	0.0	0.0		0.5	5.0		1.0	4.0	
1st aft	B5	10.0	1.50	10.6	9.8	--	--	I	0.2	2.0	10.1	10.0	--	--	I	0.0	0.0		0.0	1.0	
2nd	B6	10.0	1.50	10.1	9.9	--	--	I	0.1	1.0	10.3	10.0	--	--	I	0.0	0.0		0.0	0.5	
3rd	B7	10.0	1.50	10.2	10.1	--	--	I	--	--	10.2	10.3	--	--	I	--	--	I	0.0	--	
4th	B8	10.0	1.50	10.1	10.1	--	--	I	--	--	10.2	10.4	--	--	I	--	--	I	0.0	--	
5th	B9	10.0	1.50	10.3	10.2	--	--	I	--	--	10.2	9.9	--	--	I	0.1	1.0		0.0	1.0	
6th																					
7th																					
8th																					
9th																					
10th																					
11th																					
12th																					

Comment  
See sketch S1-S2

Operator's Signature: \_\_\_\_\_ ()

TM-1 BC

Report on THICKNESS MEASUREMENT

Ship's name:

Class identity no.:

Report no.:

Bilge Plating [C]

STRAKE POSITION:		Bilge Plating																			
PLATE POSITION	No. or Letter	Org. Thk. mm	Max. Dim. mm	Forward Reading						Aft Reading						Mean Diminution %					
				Gauged		Diminution P		Diminution S		Gauged		Diminution P		Diminution S		P	S				
				P	S	mm	%	mm	%	P	S	mm	%	mm	%						
12th forward																					
11th																					
10th																					
9th																					
8th	C1	12.0	1.53	12.0	12.1	0.0	0.0	--	--	I	11.9	12.1	0.1	0.8	--	--	I	0.4	--		
7th	C2	12.0	1.53	12.0	12.0	0.0	0.0				11.9	12.1	0.1	0.8	--	--	I	0.4	0.0		
6th	C3a	12.0	1.53	10.0		2.0	16.7	I			12.1		--	--	I			8.3			
5th	C3	12.0	1.53	11.5	11.7	0.5	4.2			0.3	2.5	11.2	12.0	0.8	6.7			0.0	1.2		
4th	C4	12.0	1.53	11.9	11.7	0.1	0.8			0.3	2.5	12.1	11.8	--	--	I	0.2	1.7	0.4	2.1	
3rd	C5	12.0	1.53	12.1	11.7	--	--	I		0.3	2.5	12.1	11.8	--	--	I	0.2	1.7	0.0	2.1	
2nd	C6	12.0	1.53	12.1	11.9	--	--	I		0.1	0.8	12.1	11.8	--	--	I	0.2	1.7	0.0	1.3	
1st	C7	12.0	1.53	12.1	11.8	--	--	I		0.2	1.7	12.1	11.9	--	--	I	0.1	0.8	0.0	1.3	
Amidships	C8	12.0	1.53	12.0	11.7	0.0	0.0			0.3	2.5	12.1	11.7	--	--	I	0.3	2.5	0.0	2.5	
1st aft	C9	12.0	1.53	12.2	12.1	--	--	I		--	--	12.2	12.2	--	--	I	--	--	0.0	--	
2nd	C10	12.0	1.53	12.0	12.1	0.0	0.0	--	--	I	12.3	11.9	--	--	I	0.1	0.8	0.0	0.8		
3rd	C11	12.0	1.53	12.2	12.2	--	--	I		--	--	12.1	12.2	--	--	I	--	--	0.0	--	
4th	C12	12.0	1.53	11.8	12.0	0.2	1.7			0.0	0.0	11.8	11.8	0.2	1.7			0.2	1.7	0.8	
5th	C13a	14.0	1.71	14.0		0.0	0.0					14.0		0.0	0.0					0.0	
6th	C13	12.0	1.53	11.8	11.7	0.2	1.7			0.3	2.5	11.8	11.7	0.2	1.7			0.3	2.5	1.7	2.5
7th	C14	12.0	1.53	11.7	11.7	0.3	2.5			0.3	2.5	11.8	11.7	0.2	1.7			0.3	2.5	2.1	2.5
8th																					
9th																					
10th																					
11th																					
12th																					

Comment

See sketch S1-S2

Operator's Signature: \_\_\_\_\_ ()

TM-1 BC

Report on THICKNESS MEASUREMENT

Ship's name:

Class identity no.:

Report no.:

Side Shell Plating [D]

STRAKE POSITION:		Side Shell Plating																				
PLATE POSITION	No. or Letter	Org. Thk. mm	Max. Dim. mm	Forward Reading						Aft Reading						Mean Diminution %						
				Gauged		Diminution P		Diminution S		Gauged		Diminution P		Diminution S		P	S					
				P	S	mm	%	mm	%	P	S	mm	%	mm	%							
12th forward																						
11th																						
10th																						
9th																						
8th																						
7th																						
6th																						
5th																						
4th																						
3rd	D1	10.0	1.50	10.0	10.3	0.0	0.0	--	--	I	10.1	10.1	--	--	I	--	--	I	0.0	--		
2nd	D2	9.0	1.50	9.0	8.8	0.0	0.0			0.2	2.2	9.0	9.2	0.0	0.0			--	--	I	0.0	2.2
1st	D3	9.0	1.50	9.0	9.1	0.0	0.0			--	--	9.0	9.1	0.0	0.0			--	--	I	0.0	--
Amidships	D4	9.0	1.50	9.1	9.3	--	--	I		--	--	9.1	9.0	--	--	I	0.0	0.0	0.0	0.0		
1st aft	D5	9.0	1.50	9.1	9.0	--	--	I		0.0	0.0	9.1	9.0	--	--	I	0.0	0.0	0.0	0.0		
2nd	D6	9.0	1.50	9.1	9.1	--	--	I		--	--	9.3	9.1	--	--	I	--	--	I	0.0	--	
3rd	D7	9.0	1.50	9.1	9.3	--	--	I		--	--	9.3	9.3	--	--	I	--	--	I	0.0	--	
4th	D8	9.0	1.50	9.2	9.1	--	--	I		--	--	9.2	9.1	--	--	I	--	--	I	0.0	--	
5th																						
6th																						
7th																						
8th																						
9th																						
10th																						
11th																						
12th																						

Comment

See sketch S1-S2

Operator's Signature: \_\_\_\_\_ ()

TM-1 BC

Report on THICKNESS MEASUREMENT

Ship's name:

Class identity no.:

Report no.:

Bilge Plating [C]

STRAKE POSITION:		Bilge Plating																		
PLATE POSITION	No. or Letter	Org. Thk. mm	Max. Dim. mm	Forward Reading						Aft Reading						Mean Diminution %				
				Gauged		Diminution P		Diminution S		Gauged		Diminution P		Diminution S		P	S			
				P	S	mm	%	mm	%	P	S	mm	%	mm	%					
12th forward																				
11th																				
10th																				
9th																				
8th	C1	12,0	1,53	12,0	12,1	0,0	0,0	--	--	I	11,9	12,1	0,1	0,8	--	--	I	0,4	--	
7th	C2	12,0	1,53	12,0	12,0	0,0	0,0				11,9	12,1	0,1	0,8	--	--	I	0,4	0,0	
6th	C3a	12,0	1,53	10,0		2,0	16,7	I			12,1		--	--	I			8,3		
5th	C3	12,0	1,53	11,5	11,7	0,5	4,2		0,3	2,5	11,2	12,0	0,8	6,7		0,0	0,0	5,4	1,2	
4th	C4	12,0	1,53	11,9	11,7	0,1	0,8		0,3	2,5	12,1	11,8	--	--	I	0,2	1,7	0,4	2,1	
3rd	C5	12,0	1,53	12,1	11,7	--	--	I	0,3	2,5	12,1	11,8	--	--	I	0,2	1,7	0,0	2,1	
2nd	C6	12,0	1,53	12,1	11,9	--	--	I	0,1	0,8	12,1	11,8	--	--	I	0,2	1,7	0,0	1,3	
1st	C7	12,0	1,53	12,1	11,8	--	--	I	0,2	1,7	12,1	11,9	--	--	I	0,1	0,8	0,0	1,3	
Amidships	C8	12,0	1,53	12,0	11,7	0,0	0,0		0,3	2,5	12,1	11,7	--	--	I	0,3	2,5	0,0	2,5	
1st aft	C9	12,0	1,53	12,2	12,1	--	--	I	--	--	12,2	12,2	--	--	I	--	--	0,0	--	
2nd	C10	12,0	1,53	12,0	12,1	0,0	0,0	--	--	I	12,3	11,9	--	--	I	0,1	0,8	0,0	0,8	
3rd	C11	12,0	1,53	12,2	12,2	--	--	I	--	--	12,1	12,2	--	--	I	--	--	0,0	--	
4th	C12	12,0	1,53	11,8	12,0	0,2	1,7		0,0	0,0	11,8	11,8	0,2	1,7		0,2	1,7	1,7	0,8	
5th	C13a	14,0	1,71	14,0		0,0	0,0				14,0		0,0	0,0				0,0		
6th	C13	12,0	1,53	11,8	11,7	0,2	1,7		0,3	2,5	11,8	11,7	0,2	1,7		0,3	2,5	1,7	2,5	
7th	C14	12,0	1,53	11,7	11,7	0,3	2,5		0,3	2,5	11,8	11,7	0,2	1,7		0,3	2,5	2,1	2,5	
8th																				
9th																				
10th																				
11th																				
12th																				

Comment

See sketch S1-S2

Operator's Signature: \_\_\_\_\_ ()

TM-1 BC

Report on THICKNESS MEASUREMENT

Ship's name:

Class identity no.:

Report no.:

Side Shell Plating [E]

STRAKE POSITION:		Side Shell Plating																			
PLATE POSITION	No. or Letter	Org. Thk. mm	Max. Dim. mm	Forward Reading						Aft Reading						Mean Diminution %					
				Gauged		Diminution P		Diminution S		Gauged		Diminution P		Diminution S		P	S				
				P	S	mm	%	mm	%	P	S	mm	%	mm	%						
12th forward																					
11th																					
10th																					
9th																					
8th																					
7th																					
6th																					
5th																					
4th																					
3rd	E1	10,0	1,50	9,0	10,1	1,0	10,0		--	--	I	9,6	10,1	0,4	4,0		--	--	I	7,0	--
2nd	E2	9,0	1,50	9,2	9,0	--	--	I	0,0	0,0		9,0	9,1	0,0	0,0		--	--	I	0,0	0,0
1st	E3	9,0	1,50	9,0	9,0	0,0	0,0		0,0	0,0		9,1	9,2	--	--	I	--	--	I	0,0	0,0
Amidships	E4	9,0	1,50	9,0	9,1	0,0	0,0		--	--	I	9,0	8,8	0,0	0,0		0,2	2,2		0,0	2,2
1st aft	E5	9,0	1,50	9,1	9,1	--	--	I	--	--	I	9,1	9,1	--	--	I	--	--	I	0,0	--
2nd	E6	9,0	1,50	9,0	9,1	0,0	0,0		--	--	I	9,0	9,1	0,0	0,0		--	--	I	0,0	--
3rd	E7	9,0	1,50	9,1	9,0	--	--	I	0,0	0,0		9,1	9,2	--	--	I	--	--	I	0,0	0,0
4th	E8	9,0	1,50	9,1	9,2	--	--	I	--	--	I	9,1	9,4	--	--	I	--	--	I	0,0	--
5th																					
6th																					
7th																					
8th																					
9th																					
10th																					
11th																					
12th																					

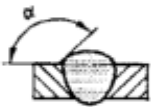

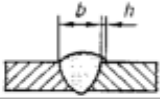



Comment

See sketch S1-S2

Operator's Signature: \_\_\_\_\_ ()

## Defektų ribos

№	ISO 6520-1 nuoroda	Defektų žymėjimas	Pastabos	t, mm	Defektų kokybės lygmenų ribos		
					D	C	B
1.7	5011	Išsūtinė įpjova	Reikalingas glotnus perėjimas. Šis defektas nepriskiriamas sistemingiesiems.	0,5 iki 3	Trumpieji defektai: $h \leq 0,2 t$	Trumpieji defektai: $h \leq 0,1 t$	Neleistinas
	5012	Trūkioji įpjova		> 3	$h \leq 0,2 t$ , bet max. 1 mm	$h \leq 0,1 t$ , bet max. 0,5 mm	$h \leq 0,05 t$ , bet max. 0,5 mm
1.8	5013	Šaknies įpjova	Reikalingas glotnus perėjimas. 	0,5 iki 3	$h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,1 t$	Trumpieji defektai: $h \leq 0,1 t$	Neleistinas
				> 3	Trumpieji defektai: $h \leq 0,2 t$ , bet max. 2 mm	Trumpieji defektai: $h \leq 0,1 t$ , bet max. 1 mm	Trumpieji defektai: $h \leq 0,05 t$ , bet max. 0,5 mm
1.9	502	Aukšta rumbelė (sandūrinės siūlės)	Reikalingas glotnus perėjimas. 	$\geq 0,5$	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,25 b$ , bet max. 10 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,15 b$ , bet max. 7 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,1 b$ , bet max. 5 mm
№	ISO 6520-1 nuoroda	Defektų žymėjimas	Pastabos	t, mm	Defektų kokybės lygmenų ribos		
1.10	503	Per daug išgaubta siūlė (kampinė)		$\geq 0,5$	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,25 b$ , bet max. 5 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,15 b$ , bet max. 4 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,1 b$ , bet max. 3 mm
				1.11	504	Perkelinis įvirinimas	0,5 iki 3
				> 3	$h \leq 1 \text{ mm} + 1,0 b$ , bet max. 5 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,6 b$ , bet max. 4 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,2 b$ , bet max. 3 mm
1.19	517	Blogas suvirinimo atnaujinimas	-	$\geq 0,5$	Leistinas. Ribos priklauso nuo defekto, gauto atnaujinant suvirinimą, tipo.	Neleistinas	Neleistinas
1.20	5213	Nepakankamas kampinės siūlės storis	Netaikoma procesams, garantuojantiems didesnį įvirinimo gylį. 	0,5 iki 3	Trumpieji defektai: $h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,1 a$	Trumpieji defektai: $h \leq 0,2 \text{ mm}$	Neleistinas
				> 3	Trumpieji defektai: $h \leq 0,3 \text{ mm} + 0,1 a$ , bet maks. 2 mm	Trumpieji defektai: $h \leq 0,3 \text{ mm} + 0,1 a$ , bet maks. 1 mm	Neleistinas
1.21	5214	Didelis kampinės siūlės storis	Per didelis faktiškas kampinės siūlės storis 	$\geq 0,5$	Neribojamas	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,2 a$ , bet maks. 4 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,15 a$ , bet maks. 3 mm
1.22	601	Atsitiktinis aplydimas ir lanko uždegimas	-	$\geq 0,5$	Leistinas, jei pagrindinio metalo savybės nepakito	Neleistinas	Neleistinas
1.23	602	Purslai	-	$\geq 0,5$	Primitinumas priklauso nuo laikymo, pvz., medžiagos, apsaugos nuo korozijos.		

№	ISO 6520-1 nuoroda	Defektų žymėjimas	Pastabos	t, mm	Defektų kokybės lygmenų ribos		
					D	C	B
1.12	505	Netinkamas siūlės pakraštis	- sandūrinės siūlės 	≥ 0,5	α ≥ 90°	α ≥ 110°	α ≥ 150°
			- kampinės  α <sub>1</sub> ≥ α α <sub>2</sub> ≥ α	≥ 0,5	α ≥ 90°	α ≥ 100°	α ≥ 110°
1.13	506	Užlaža		≥ 0,5	Trumpieji defektai: h ≤ 0,2 b	Neleistinas	Neleistinas
1.14	509 511	Įduba Nepakankamai prilydyta siūlė	Reikalingas glotnus perėjimas. 	0,5 iki 3	Trumpieji defektai: h ≤ 0,25 t	Trumpieji defektai: h ≤ 0,1 t	Neleistinas
				> 3	Короткое несовершенство: h ≤ 0,25 t, но max. 2 мм	Короткое несовершенство: h ≤ 0,1 t, но max. 1 мм	Короткое несовершенство: h ≤ 0,05 t, но max. 0,5 мм
1.15	510	Pradega	-	≥ 0,5	Neleistinas	Neleistinas	Neleistinas
<b>2 Vidiniai defektai</b>							
2.1	100	Plyšiai	Visų tipų plyšiai, išskyrus mikroplyšius ir kraterių plyšius.	≥ 0,5	Neleistinas	Neleistinas	Neleistinas
2.2	1001	Mikroplyšiai	Plyšys, matomas tik per mikroskopą (50 x).	≥ 0,5	Leistinas	Priliktumas priklausys nuo pagrindinio metalo tipo ir jo jautrumo pletėjimui.	
<b>3 Jungties geometriniai defektai</b>							
3.1	507	Linijinis nesutapimas	Nuokrypų nuo taisyklingos padėties ribos. Jei kitaip nenurodyta, taisyklinga padėtis yra ta, kai storių vidurio linijos sutampa (žr. taip pat 1 skyrių). t yra mažiausias storis. Linijinis nesutapimas, neviršijantis nurodytų ribų, nelakomas sisteminguoju defektu (taikytina A ir B pav.).  	0,5 iki 3	h ≤ 0,2 mm + 0,25 t	h ≤ 0,2 mm + 0,15 t	h ≤ 0,2 mm + 0,1 t
			A paveikslas. Plokštės ir išlyginės siūlės	> 3	h ≤ 0,25 t, bet maks. 5 mm	h ≤ 0,15 t, bet maks. 4 mm	h ≤ 0,1 t, bet maks. 3 mm
			B paveikslas. Apskritiminės siūlės	≥ 0,5	h ≤ 0,5 t, bet maks. 4 mm	h ≤ 0,5 t, bet maks. 3mm	h ≤ 0,5 t, bet maks. 2 mm

