

KLAIPĖDOS JŪRŲ UOSTO KRANTINIŲ ILGALAIKIŠKUMO ANALIZĖ

Šarūnas STIRBYS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas,
el. paštas: sarunas.stirbys@vdu.lt

Santrauka

Klaipėdos jūrų uostas yra labai svarbi Lietuvos ekonomikos dalis, todėl būtina stebėti ir prižiūrėti jo infrastruktūrą, kad jis galėtų funkcionuoti be sutrikimų ir nelaimių. Darbe nagrinėjamas Klaipėdos jūrų uosto infrastruktūros ilgalaikiškumas, pagrindinį dėmesį skiriant metaliniams lakštiniais poliams. Lakštiniai plieniniai poliai yra bene svarbiausia medžiaga naudojama krantinių statybose. Tokių polių pagrindinė problema atsižvelgiant į ilgalaikiškumo klausimą yra jų korozija. Ar tai būtų sūrus jūros ar gėlas upių, ežerų vanduo, plienas veikiamas aplinkos greičiau arba lėčiau koroduoja.

Šio tyrimo metu matavimai atlikti su profesionalių narų komanda, kuri turi patirties ir atitinkamą įrangą šiam tyrimui atlikti. Straipsnyje pateikiama informacija apie projektinius metalo storius ir esamus korozijos padarinius. Tyrimo metu naudoti diagnostikos metodai: kameralinis, vizualinis ir instrumentinis. Viso tyrimo metu informacija rinkta devyniose Klaipėdos jūrų uosto krantinėse, kurios statytos 1957–1987 m. iš plieninių metalo lakštų Larsen IV.

Reikšminiai žodžiai: uostas, krantinės, lakštiniai poliai, metalo korozija, povandeninė apžiūra.

Įvadas

Uosto krantinių ilgaamžiškumas yra svarbus aspektas, kuris turi įtakos ne tik uosto veiklos efektyvumui šiuo metu, bet ir ateityje. Krantinių ilgalaikiškumas yra vienas pagrindinių veiksnių, užtikrinančių jų funkcinį patikimumą ir ekonominį efektyvumą. Kad uostuose prie krantinių galėtų švartuotis laivai, krantinių konstrukcijos turi būti pakankamai stiprios, tvirtos, skirtos tam tikro tipo ir masės laivams. Krantinėje yra vykdomi krovos darbai, todėl krantinės parametrai turi būti suprojektuoti taip, kad leistų parinktai krovos technikai sėkmingai dirbti (Skersys ir kt., 2010).

Dėl savo didelio stiprumo, puikios plastiškumo, sąlyginai mažo svorio, lengvos konstrukcijos ir kitų privalumų plieninės konstrukcijos yra plačiai naudojamos daugelyje infrastruktūrų. Klaipėdos uoste didžioji dalis krantinių sumontuotos iš įlaidinės sienelės, pirsai pastatyti ant metalinių polių ir kevalų. Jos Lietuvoje paplitusios plačiausiai (Katkevičius ir kt., 2008). Viena iš svarbiausių problemų, turinčių įtakos krantinių konstrukcijų eksploatacijai, yra plieninių įlaidų korozija. Pieno korozija, ypač veikiant agresyviai aplinkai, tokiai kaip sūrus jūros vanduo ar gėlas upių, gali reikšmingai sumažinti konstrukcijų atsparumą, sutrumpinti jų tarnavimo laiką, taip padidinant priežiūros ir remonto kaštus, dėl sumažėjusios konstrukcijos laikomosios galios, saugos ir tarnavimo laiko. Apskaičiuota, kad korozijos ir jos padarinių priežiūros išlaidos išsivysčiusiose šalyse sudaro 3–5 proc. jų bendrojo vidaus produkto (BVP), o Kinijoje – daugiau nei 4 trilijonus CNY per metus (apie 5 proc. BVP) (Haibin, 2019). Naujos lakštinio polio konstrukcijos tarnavimo laikas paprastai išlaikomas padidinus plieno storį lakšto profilyje.

Klaipėdos sąsiauris – dinamiška hidrosistema, jungianti skirtingo tankio vandens telkinius: gėlas Kuršių marias ir sūrį Baltijos jūrą. Vandens lygio svyravimus sąsiauryje lemia upių prietaka, Baltijos jūros lygio pokyčiai ir vėjo sukelti patvankos ir nuoslūgio procesai. 95 proc. atvejų momentinis vandens lygis svyruoja nuo -50 cm iki +50 cm, tačiau ekstremalūs lygiai siekia -100 cm ir +186 cm. Trumpalaikiai (1–3 val.) pakilimai dažniausiai kyla dėl PV, V ir ŠV kryptių vėjų, o nuoslūgis lemia priešingų kryptių vėjai. Seišų reiškiniai, atsirandantys dėl atmosferos slėgio, vėjo ir vandens apykaitos, Klaipėdos sąsiauryje pasiekia 0,3 m amplitudę ir turi 20–30 min. periodą (KVJUD..., 2023).

Taip pat Klaipėdos valstybinio jūrų uosto direkcijos (KVJUD) užsakymu rengiant poveikio aplinkai vertinimą (PAV), ataskaitoje buvo sumodeliuota druskingumo kaita uosto akvatorijoje. Vidutinis druskingumas Lietuvos teritoriniuose vandenyse siekia 7–8‰, tačiau ties Melnrage per pastaruosius dešimtmečius sumažėjo nuo 5,33‰ iki 5,13‰. Audrų metu, kai jūros lygis pakyla virš marių arba Kuršių marių lygis nukrinta dėl mažos upių prietakos, į jas patenka sūrus vanduo – šie pokyčiai vidutiniškai fiksuojami apie 80 dienų per metus.

Tyrimo tikslas: apskaičiuoti krantinių statytų 1957–1987 m. korozijos greičius, sulygininti juos su reglamentuotomis prognozinėmis vertėmis

Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Vizualinių ir instrumentinių tyrimų metodu nustatyti korozijos poveikį krantinėms.
2. Palyginti gautus rezultatus su 2010 m. duomenimis.
3. Nustatyti agresyvios aplinkos zonas.

Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimo objektas – Klaipėdos valstybinis jūrų uostas (žr. 1 pav.). Tyrimui buvo pasirinktos 9 krantinės, kurios pastatytos 1957–1987 m.



Šaltinis: www.portofklaipeda.lt

Source: www.portofklaipeda.lt

1 pav. Klaipėdos valstybinio jūrų uosto planas

Fig. 1 Plan of Klaipėda Port territory.

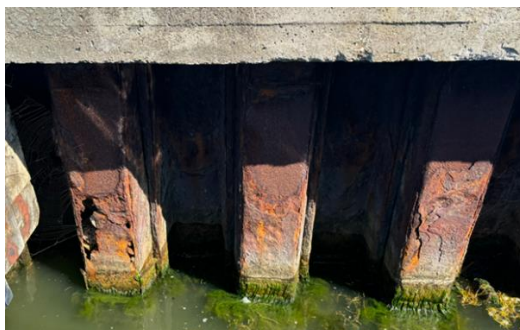
Plieninių įlaidų korozijos greičiams nustatyti ir sulyginti buvo pasitelkti kameraliniai, vizualiniai ir instrumentiniai metodai. Iš KVJUD buvo gautos ankstesnių apžiūrų ataskaitos. Tyrimas atliktas ir matavimo duomenys gauti gelbėjant profesionaliems narams. Matuota neardančiuoju metodu, kadangi krantinės yra eksploatuojamos, o darbai ardančiuoju metodu užsitęstų ilgai ir jų kaina būtų didelė. Matavimams naudojamas ultragarsinis metalo storio matavimo prietaisas „Cygnus-1“ (žr. 2 pav.). Prieš kiekvieną matavimą įrenginys buvo kalibruojamas su komplekte esančia kalibravimo plokšte ir, kaip reikalauja gamintojas, tepamas glicerinu.



2 pav. Ultragarinio prietaiso Cygnus-1 kalibravimas

Fig. 2 Calibration of the ultrasonic instrument Cygnus-1.

Matavimai atlikti pasirinktose krantinėse, gyliuose 0,0, -0,5, -1,0, -2,0, -4,0, -6,0, -8,0. Matavimai virš vandens lygio, pačioje agresyviausioje aplinkoje, nebuvo vykdomi. Dėl daugiasluoksnės korozijos (žvyneliai) (žr. 3 pav.), matavimai ultragarsiniu prietaisu netikslūs. Daugumoje tokio amžiaus krantinių šiame lygyje jau atsivėrusios kiauryminės pažaidos.



3 pav. Didelio agresyvumo sritis (65 Krantinė)

Fig. 3 High aggressiveness area (Quay 65)

Pagal naro gylio matuoklio parodymus ir esamą vandens lygį atitinkamame gylyje gerai nuvalomas įlaidas. Maždaug 20 × 20 cm nuvalytame plote atliekami 3–4 matavimai, kad būtų galima sumažinti netikslumo tikimybę ir įvertinamas matavimų vidurkis. Kadangi įlaidai seni, juose susidaranti gilesnė išgraužos labai apsunkina matavimus, kaip parodyta 4 paveiksle. Šių išgraužų tankumas priklauso nuo matuojamo gylio, kuo arčiau vandens paviršiaus, tuo išgraužų kiekis didėja. Jų gylis gali svyruoti nuo 1 iki 3 mm, retas atvejis, kai apžiūrų metu aptinkamos gilesnės nei 4 mm

išgraužos. Išgraužų tankumas įvertintas vizualiai (procentais). Tai sudaro galimybę nustatyti bendrą įlaido metalo storio sumažėjimą.

Norint įvertinti bendrą sumažėjusį plieninio įlaido storį, naudota formulė:

$$S_v = S_0 + (S_1 \cdot N\%) + (S_2 \cdot N\%) + \dots (S_n \cdot N\%)$$

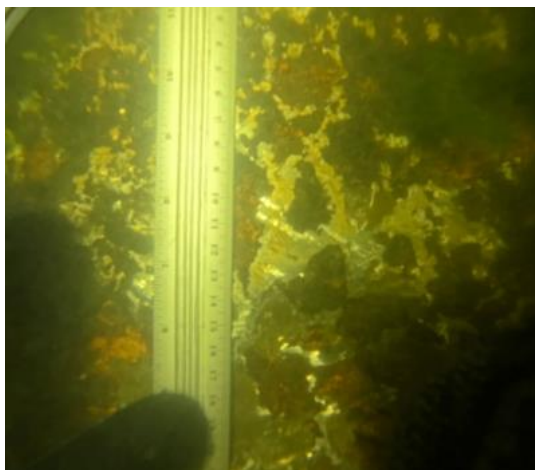
Kur:

S_v – bendras sumažėjęs metalo storis (mm);

S_0 – pradinis metalinio įlaido storis (mm);

$S_{1,2,n}$ – išgraužų gylis vertinant vizualiai (mm);

$N\%$ – išgraužų keikis vertinant vizualiai (%).



4 pav. Įlaidai. Taškinė korozija

Fig. 4 Sheet pile. Pitting corrosion.

Korozijos greitis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$R_k = \frac{\Delta T}{t};$$

Kur:

- R_k – korozijos greitis (mm per metus);
- ΔT – metalo storio pokytis per stebėjimo laikotarpį (mm);
- T – stebėjimo laikotarpis (metai).

Darbo aktualumas

Kaip aprašyta techniniame reglamente „Vandens (jūrų) uostų ir laivininkystės statiniai. projektavimas“, 2 ir 3 lentelėse pateikiamos plieninių elementų sienelės suplonėjimo vertės per 50 metų. Jūros vandens sukeltos korozijos veikiami nepadengti antikorozine apsauga plieniniai elementai (pavyzdžiui, įlaidiniai poliai) per 50 metų gali suplonėti 3,75 mm iš vandens pusės ir 1,20 mm iš grunto pusės, todėl bendras sumažėjimas gali siekti 4,95 mm. Jeigu poliai užpildomi smėliniu gruntu ir hidrotechniniu betonu, korozijos sumažėjimas iš vidaus neviršija 0,60 mm per 50 metų.

Todėl buvo svarbu sužinoti, kaip sūrus Baltijos jūros vanduo ir Kuršių marių vandens svyravimai veikia Klaipėdos uosto krantines, jų įlaidus.

Paklaidų įvertinimas

Kadangi nėra dokumentacijos, nurodančios tikslų pradinį metalo sluoksnio storį įlaidose, remiantis gamintojo pateiktais duomenimis, jis gali svyruoti $\pm 7\%$. Dėl šios priežasties nusidėvėjimo greitis taip pat gali skirtis atitinkamai pagal šią paklaidą.

Norint sumažinti matavimų paklaidas, matavimai atlikti keliuose taškuose ir keliose krantinėse įvertinant matavimų vidurkius.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Ankstesnių apžiūrų ataskaitų analizė

1 lentelėje pateikti 2010–2011 m. atliktų krantinių matavimų duomenys rodo tam tikrus netikslumus, ypač susijusius su korozijos pažeidimų įvertinimu. Pastebėta, kad didelio agresyvumo zonose (pavyzdžiui, 12, 13, 65 krantinėse) korozijos pažeidimai minimalūs, nepaisant to, kad mažiau agresyviose zonose korozijos poveikis buvo reikšmingesnis.

Šie neatitikimai gali būti siejami su ankstesnių matavimų metodika, kai narai daugiausia rėmėsi prietaisų duomenimis, nenaudodami vizualinio įvertinimo. Tokiu būdu buvo matuojamos tik įlaido sveikos vietos, kurios galėjo iškreipti bendrą krantinių būklės įvertinimą.

2010–2011 m. apžiūrų ataskaitų duomenimis, korozijos greitis agresyvioje aplinkoje siekia iki 0,049 mm per metus ir 0,02 mm pastovaus panirimo zonoje.

1 lentelė. Matavimų atliktų 2010-2011 duomenys Larsen IV įlaidai

Table 1. Data of the measurements carried out in 2010-2011

Gylis, m	Krantinių matavimai 2010 - 2011 metais													
	12	13	65		65a	73		74		97	98		99	
0,0	14,5	14,0	14,4	14,0	11,9	13,1	12,3	13,8	13,2	----	----	----	----	----
-0,5	14,9	15,1	15,0	15,1	10,7	10,7	10,7	13,7	13,2	----	----	----	----	----
-1,0	14,8	14,0	11,7	14,0	13,1	13,4	10,7	14,0	12,0	11,4	12,4	12,4	13,3	13,0
-2,0	15,1	13,8	13,2	13,8	12,8	13,7	13,3	13,1	13,5	11,3	12,8	12,0	13,4	13,4
-4,0	14,5	14,2	14,0	14,2	12,5	15,0	14,3	13,2	13,1	12,4	13,5	13,3	13,6	13,1
-6,0	14,7	14,2	14,2	14,2	13,1	14,9	13,3	14,5	13,3	12,8	12,8	13,0	13,9	13,0
-8,0	14,8									14,0	13,9	14,6	13,9	13,3

Naujai surinktų duomenų analizė

Naujai atlikti matavimai buvo vykdomi 2024 m. balandžio–spalio mėnesiais. Matavimų metu naudotas prietaisas, kaip ir ankstesniems matavimams – „Cygnus-1“. Naujai atliktų matavimų duomenys pateikti 2 lentelėje. Duomenys nurodyti jau su vizualaus vertinimo atskaita, kuri parodyta 3 ir 4 lentelėse. Iš gautų duomenų matyti, kad korozija stipriai paveikė įlaidus.

Iš atliktų matavimų 2024 m. matyti, kad korozijos greičiai pasiskirstę taip pat mažėjančiomis reikšmėmis tolstant nuo vandens paviršiaus. Didžiausias korozijos greitis stebėtas gilyje -0,5 m su 0,064 mm reikšme ir mažiausių – -8,0 m gilyje šalia grunto 0,031 mm.

2 lentelė. Matavimų atliktų 2024 duomenys Larsen IV įlaidai

Table 2. Data of the measurements carried out in 2024

Gylis, m	Krantinių matavimai 2024 metais													
	12	13	65		65a	73		74		97	98		99	
0,0	13,8	13,3	XX	XX	9,9	11,9	11,2	13,3	12,2	----	----	----	----	----
-0,5	13,0	12,7	XX	XX	10,3	11,9	11,1	12,8	12,3	----	----	----	----	----
-1,0	12,6	13,3	11,0	11,1	10,8	13,0	12,7	13,0	12,3	9,8	11,4	11,7	11,7	11,4
-2,0	12,6	13,2	11,6	11,6	10,8	13,2	13,0	13,2	13,5	9,7	11,6	11,9	11,9	11,6
-4,0	13,6	13,6	12,5	12,7	12,5	11,5	11,3	12,5	12,3	11,4	12,0	10,8	10,8	12,0
-6,0	13,2	14,3	12,5	12,7	13,9	12,1	12,2	13,3	13,5	12,3	12,6	12,4	12,4	12,6
-8,0	12,6	14,3			14,7					12,6	12,0	11,9	11,9	12,0

3 lentelė. Korozijos išgraužų kiekis vertintas vizualiai (%)

Table 3. The amount of corrosion debris was assessed visually (%)

Gylis, m	12			13			65			65a		
	1mm	2mm	3mm	1mm	2mm	3mm	1mm	2mm	3mm	1mm	2mm	3mm
0,0	10	20		20	40	20	40	20	20	90		
-0,5	30	30		20	40	20	50	40		80	20	
-1,0	30	30		30	30	10	60	30		80	20	
-2,0	70			80			50	20		80	10	
-4,0	50			40			60			80		
-6,0	70			30			60			40	10	
-8,0	60	30		20								

4 lentelė. Korozijos išgraužų kiekis vertintas vizualiai (%)

Table 4. The amount of corrosion debris was assessed visually (%)

Gylis, m	73			74			97			98			99		
	1mm	2mm	3mm	1mm	2mm	3mm	1mm	2mm	3mm	1mm	2mm	3mm	1mm	2mm	3mm
0,0		40	20		40	20									
-0,5	40	40	20	30	40										
-1,0	80			50	20		70			80			70		
-2,0	80			80			50	40		80			80	10	
-4,0	90			90			50	40		50	20		80		
-6,0	80			70			50	40		30			20		
-8,0							30			60					

Palyginimas su reglamentuotomis reikšmėmis.

Atlikus korozijos greičių skaičiavimus, kaip parodyta 5 lentelėje, galima sulyginoti gautus duomenis ir pamatyti vizualaus vertinimo svarbą atliekant tokio tipo krantinių apžiūras. Korozijos židiniai daro didelę įtaką krantinių laikančiąjai galiai, dėl to juos vertinti būtina.

5 lentelė. Korozijos vidutinis greitis per metus ir jau prarastas metalo storis (mm). Larsen IV

Table 5. Average rate of corrosion per year and thickness of metal already lost. (mm). Larsen IV

Gylis	Per metus (2010)	Per metus (2024)	Prarasta viso (2010)	Prarasta viso (2024)
0,0	0,036	0,058	1,37	3,17
-0,5	0,049	0,064	1,88	3,50
-1,0	0,043	0,056	1,64	3,05
-2,0	0,045	0,051	1,70	2,78
-4,0	0,031	0,047	1,19	2,60
-6,0	0,024	0,033	0,93	1,83
-8,0	0,020	0,031	0,77	1,73

Taip pat iš atliktų skaičiavimų matoma, kad plieno storio sumažėjimas dėl korozijos padarinių artimesnis reglamentuotoms reikšmėms vidutinio klimato zonos jūros vandens poveikiui. Nors iš poveikio aplinkai vertinimo ataskaitos matyti, kad sūrus vanduo uoste būna Kuršių mariose tik iki 25 proc. viso laiko, to pakanka padaryti didelę įtaką įlaidų ilgalaikiškumui.

Leidiniuose, tokiuose kaip „Eurokodas 3. Plieninių konstrukcijų projektavimas. 5 dalis. Poliai“ ir techniniame reglamente „Vandens (Jūrų) uostų ir laivininkystės statiniai. Projektavimas“ koroziją veikiančios zonos yra skirstomos į agresyvios aplinkos ir pastovaus panirimo zonas. Reikšmės zonose taip pat pateikiamos atitinkamai priskirtoms zonoms. Tačiau tyrimo metu pastebėta, kad agresyvi aplinka tuo neapsiriboja. Vandens kitimo (atoslūgio) zona 95 proc. Kuršių mariose yra iki -1,0 m, bet korozija giliau matomai stipriai nelėtėja, stiprus korozijos tempų sulėtėjimas matomas tik gyliuose nuo -6,0 m ir iki grunto. Tai gali vykti dėl uoste prie krantinių besišvartuojančių laivų, kurie sraigtais suardo natūraliai susidariusį apsauginį korozijos sluoksnį.

Išvados

1. 2010–2011 m. duomenimis, kol nebuvo vertintos papildomai korozijos židinių išgraužos, tų metų vertinimu korozijos greičiai nustatyti mažesni, nei pridėdant vizualų vertinimą, ir siekia 0,049 mm per metus agresyvioje zonoje, bei 0,020 mm mažiausiai aplinkos veikiamoje zonoje pagal krantinės dugną.

2. Atlikus matavimus 2024 m. matyti rezultatų kitimas. Prie matavimų pridėjus vizualų vertinimą labiau matomi korozijos padariniai. Agresyvioje aplinkoje vidutinis įlaidų nusidėvėjimas siekia 0,064 mm per metus ir mažiausiai veikiamoje zonoje 0,031 mm per metus.

3. Atlikus matavimus ir vizualinį vertinimą nustatyta, kad analizuotos krantinės yra veikiamos ne tik tradiciškai aprašytose dviejose zonose (atoslūgio ir pastovaus panirimo), kaip nurodyta techniniuose reglamentuose ir Eurokodo leidiniuose, bet taip pat svarbu atkreipti dėmesį į laivų sraigtų zonas. Šios zonos ardo natūraliai susidarantį korozijos apsaugos sluoksnį, spartindamos korozijos procesą, kurio greitis siekia apie 0,05 mm per metus.

Literatūra

1. Eurokodas 3. Plieninių konstrukcijų projektavimas. 5 dalis. Poliai
2. Katkevičius, L., & Baublys, R. (2008). Vandens kelių, krantinių ir prieplaukų statyba: mokomoji knyga.
3. Klaipėdos uosto planas. Prieiga per internetą: <https://portofklaipeda.lt/wp-content/uploads/2024/11/Klaipėdos-uosto-planas.pdf> (žiūrėta 2025-02-23)
4. Klaipėdos valstybinio jūrų uosto direkcijos (KVJUD) Poveikio aplinkai vertinimo ataskaita (2023). Prieiga per internetą: https://portofklaipeda.lt/wp-content/uploads/2023/09/Ataskaita_KVJUD_PAV.pdf
5. Skersys K. Christauskas J. (2010). *Transporto statiniai: Uostai*. Mokomoji knyga. 180 p.
6. Techninis reglamentas (2018). Vandens (Jūrų) uostų ir laivininkystės statiniai, Projektavimas.
7. Xu, H., & Zhang, Y. (2019). A review on conducting polymers and nanopolymer composite coatings for steel corrosion protection. *Coatings*, 9(12), 807.

ANALYSIS OF THE DURABILITY OF KLAIPEDA SEAPORT QUAYS

Abstract

Klaipėda Seaport is a vital part of Lithuania's economy, and it is essential to monitor and maintain its infrastructure so that it can function without disruption or disaster. This work focuses on the durability of the infrastructure of the Klaipėda Seaport, with a focus on metal sheet piles. Steel sheet piles are probably the most important material used in quay construction. The main problem of such piles in terms of durability is their corrosion. Whether it is salt water from the sea or fresh water from rivers and lakes, steel corrodes faster or slower when exposed to the environment.

For this study, measurements were carried out by a team of professional divers who have the experience and the appropriate equipment to carry out this study. The paper provides information on the design thicknesses of the metal and the existing corrosion effects. The diagnostic methods used during the survey are: chamber, visual and instrumental.

During the whole study, information was collected on eleven quays in the Klaipėda harbour, which were constructed between 1957 and 1987 from three types of steel sheet metal, such as Larsen IV, V, VII.

Keywords: harbour, quays, sheet piles, metal corrosion, underwater survey.