

**KLAIPĖDOS UNIVERSITETO
JŪROS TECHNOLOGIJŲ IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETO
JŪRŲ INŽINERIJOS KATEDRA**

**IŠORINIO KLAIPĖDOS UOSTO PLĖTROS TYRIMAI,
VERTINANT ESAMUS BANGOLAUŽIUS**

Laivybos ir uostų inžinerijos magistrantūros studijų programos baigiamasis darbas

Darbo autorius

JMNLUI-20, stud. Milda Kučinskaitė

Vadovas

Dėst. Doc. dr. Donatas Paulauskas.

Klaipėda, 2022

SANTRAUKA

Milda Kučinskaitė. IŠORINIO KLAIPĖDOS UOSTO PLĖTROS TYRIMAI, VERTINANT ESAMUS BANGOLAUŽIUS. Laivybos ir uostų inžinerijos studijų programos (6211EX064) baigiamasis magistro darbas / Darbo vadovas: Doc. dr. Donatas Paulauskas / Klaipėda, 2022. – 50 p.

Raktažodžiai: bangolaužiai, infrastruktūra, uostas, laivyba

Baigiamajame magistro darbe yra nagrinėjama, kokią įtaką laivybai Klaipėdos uoste turėtų esami bangolaužiai ir kaip jie įtakotų išorinio uosto infrastruktūros elementų parametrus. Norint atskleisti darbo temą ir jos aktualumą nagrinėjama esami ir prognozuojami konteinerizuotų krovinių srautai, analizuojama bangolaužių konstrukcija, bei įvertinami pagrindiniai uosto infrastruktūros elementai, kurių parametrai parankami atsižvelgiant į bangolaužių parametrus.

Išnagrinėjus teorinius metodus ir aspektus, bei taikant praktinius metodus ieškoma problemos sprendimo. Galiausiai darbo pabaigoje pateikiamos tyrimo išvados.

Darbą sudaro 6-ios dalys: tyrimų/literatūros analizė, situacijos analizė, metodinė dalis, praktinė dalis, išvados ir literatūra.

Bendra baigiamojo darbo apimtis – 50 puslapių teksto be priedų, 15 iliustracijų, 11 lentelių, 33 literatūros šaltiniai.

SUMMARY

Milda Kučinskaitė. RESEARCH OF EXTERNAL KLAIPEDAS SEAPORT, EVALUATING EXISTING BREAKWATERS. Master's Thesis of the Shipping and Port Engineering Study Program (6211EX064) / Supervisor: Doc. dr. Donatas Paulauskas / Klaipėda, 2022. - 50 p.

Keywords: breakwaters, infrastructure, port, maritime.

The final master's thesis examines the impact of the construction of the existing breakwaters in Klaipėda port and how they would affect the parameters of the outer port infrastructure elements. In order to reveal the topic of the work and its relevance, the current and forecasted flows of containerized cargo are analysed, the reconstruction of breakwaters is analysed, and the main elements of the port infrastructure are evaluated, the parameters of which are selected taking into account the parameters of breakwaters.

After analysing the theoretical methods and aspects, and applying practical methods, a solution to the problem is sought. Finally, the findings of the study are presented at the end of the work.

The work consists of 6 parts: research / literature analysis, situation analysis, methodological part, practical part, conclusions and literature.

The total volume of this work is 50 pages, 15 illustrations, 11 tables, 33 references

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS

1 pav. Krantinių konstrukcinės schemos.....	13
2 pav. Blokinė krantinė.....	15
3 pav. Masyvo-giganto nuleidimas į vietą.....	16
4 pav. Masyvo-giganto krantinė.....	16
5 pav. Kesoninė krantinė.....	17
6 pav. Klaipėdos uosto vartai.....	18
7 pav. Bangolaužių tipai.....	20
8 pav. Tetrapodai.....	21
9 pav. Klaipėdos uosto molai prieš rekonstrukciją (A) ir po rekonstrukcijos (B).....	21
10 pav. Patekimo į Baltijos jūrą sąsiauriai.....	24
11 pav. Konteinerinių laivų keliai (2016 m. duomenimis).....	25
12 pav. Pridėtosios skysčio masės koeficiento k'_{11} priklausomumas nuo T/H santykio ir laivo plaukimo greičio v	34
13 pav. Laivų apsisukimo vietos fragmentas.....	36
14 pav. Konteinerių srauto prognozė.....	41
15 pav. Planuojamas išorinis uostas su apsisukimo baseinu.....	47

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Konteinerių krovos dinamika Klaipėdos uoste	37
2 lentelė. Konteinerių transporto prognozės dėl bendros visuotinės ekonominės situacijos (F_{m1})	38
3 lentelė. Planuojamas šalies BVP pokytis (F_{m2})	38
4 lentelė. Transporto sistemos konteinerizuotiems kroviniams santykiniai veiksniai (F_{m3})	38
5 lentelė. Gyventojų skaičiaus ir perkamosios galios santykiniai veiksniai (F_{m4})	39
6 lentelė. Daugiakriterinio prognozavimo koeficientai	39
7 lentelė. Netolygumo koeficientai.....	40
8 lentelė. Konteinerių srauto prognozė iki 2031 metų	40
9 lentelė. Krovinių srauto optimistinė ir pesimistinė prognozės	41
10 lentelė. Skaičiuojamojo laivo duomenys	42
11 lentelė. Klaipėdos uosto duomenys skaičiavimams	42

TURINYS

SANTRAUKA	2
SUMMARY	3
PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS	4
LENTELIŲ SĄRAŠAS	5
ĮVADAS	7
1. TYRIMŲ APŽVALGA	9
2. USOTŲ INFRASTRUKTŪROS SITUACIJOS ANALIZĖ	12
2.1. Uostų infrastruktūros elementai.....	12
2.2. Bangolaužių ir molų tipai	17
2.3. Išorinio, giliavandens uosto koncepcijos analizė	22
2.4. Baltijos jūroje didžiausių plaukiojančių konteinerinių laivų apžvalga.....	23
3. UOSTO INFRASTRUKTŪROS ELEMENTŲ SKAIČIAVIMO METODIKA	26
3.1. Krovinių srautų prognozavimo daugiakriteriniu būdu metodika.....	26
3.2. Uosto krantinių parametrų skaičiavimo metodika	29
3.3. Kanalo parametrų skaičiavimo metodika	31
3.4. Apsisukimo baseino parametrų skaičiavimo metodika.....	35
4. UOSTO INFRASTRUKTŪROS ELEMENTŲ SKAIČIAVIMAI	37
4.1. Krovinių srautų prognozavimo daugiakriteriniu būdu skaičiavimai	37
4.2. Uosto krantinių ilgių skaičiavimai	42
4.3. Kanalo parametrų skaičiavimai	44
4.4. Apsisukimo baseino parametrų skaičiavimai	47
IŠVADOS	48
LITERATŪRA	49

IVADAS

Klaipėdos valstybinis jūrų uostas – šiauriausias ir neužšalantis uostas Baltijos jūros rytinėje pakrantėje. Tai vienas iš pagrindinių Lietuvos transporto mazgų, jungiančių jūrų, geležinkelio ir sausumos maršrutus iš Rytų į Vakarus. Klaipėda – universalus, multimodalinis, giliavandenis uostas, kuriame savo veiklą vysto 14 stambių krovos, laivų remonto, statybos kompanijų. Uoste teikiamos visos paslaugos susijusios su jūros verslu ir krovinių aptarnavimu. Uosto krova per metus siekia iki 70 milijonų tonų įvairių krovinių. Uostas yra pajėgus priimti laivus su 400 m. ilgiu, 59 m. pločiu ir 13.8 m. grimzle. Iš čia puikiai pasiekiami svarbiausi pramoniniai Rytų šalių regionai (Rusijos, Baltarusijos, Ukrainos ir kt.). Klaipėdos uostu naudojasi pagrindinės laivybos linijos, kurios eina į įvairius Europos uostus. Dėl nuolatinės konkurencijos su kaimyninių valstybių uostais įtakos ir siekiamybės išlikti geriausių regiono uostų gretose, Klaipėdos uostas nuolatos naujinamas, vykdomi rekonstrukcijų darbai ir nuolatos ieškoma naujų sferų, kur galima dar tobulinti ir plėsti uostą.

Vieni didžiausių Klaipėdos valstybinio jūrų uosto projektai susiję su uosto rekonstrukcija ir plėtimusi – šiaurinio ir pietinio molų/bangolaužių rekonstrukcija ir svarstytas išorinio uosto projektas. Bangolaužių rekonstrukcija svarbi ne tik konkurenciniu, bet ir ekologiniu požiūriu. Atnaujinus bangolaužius padidėtų laivybos uoste saugumas ir logistinės grandinės efektyvumas, būtų mažinama oro tarša iš laivų. Po šios rekonstrukcijos uoste būtų galima atlikti uosto gilinimo darbus – išgilinti ir išplatinti uosto kanalą iki 17.5 m, kad uostas galėtų aptarnauti ir didžiausius į Baltijos jūrą įplaukiančius laivus. Padidėjus aptarnaujamų laivų skaičiui ir jų dydžiui, būtų priimama daugiau krovinių. Galimas krovinių srauto išaugimas – priežastis, kuri paskatintų kito uosto plėtros projekto – išorinio uosto, įgyvendinimą.

Aktualumas: Uosto naujinimo projektai turėtų būti atliekami atsižvelgiant į perspektyvas ateityje – išaugęs krovinių kiekis, naujų infrastruktūros ir superstruktūros elementų diegimas uosto veikloje, besikeičiančios tarptautinės rinkos poreikiai. Bangolaužių rekonstrukcija turi tiesioginę įtaką projektams, kurie bus atliekami ateityje. Šiame magistro baigiamajame darbe tiriama kokie uosto infrastruktūros elementai turėtų būti parenkami išoriniame uoste, apskaičiuojami pagrindiniai jų parametrai.

Problematika: Šiaurinio ir pietinio molų/bangolaužių rekonstrukcija atliekama norint pagerinti laivybos saugumą Klaipėdos uoste, laivų judėjimą ir sumažinti apribojimus. Atliekant uosto

rekonstrukcijos ir plėtros darbus, kyla problema, kad investicijos gali būti perteklinės ir neatsipirkti, įgyvendinant kitus projektus.

Darbo tikslas: Parinkti išorinio Klaipėdos uosto infrastruktūros elementų parametrus, įvertinat esamų bangolaužių konfigūraciją.

Darbo uždaviniai:

1. Išanalizuoti bangolaužių įtaką laivybos saugumui;
2. Apskaičiuoti krovinių srautų prognozę Klaipėdos išoriniam uostui iki 2031;
3. Parinkti išorinio uosto krantinių tipą ir apskaičiuoti parametrus.
4. Apskaičiuoti laivybos kanalo pagrindinius parametrus;
5. Apskaičiuoti apsisukimo baseino parametro dydį;

Darbas parengtas analizuojant užsienio ir Lietuvos mokslininkų parengtus straipsnius, taikant pasirinktas uosto infrastruktūros elementų ir krovinių srautų skaičiavimo metodikas. Analizuojama dabartinė uosto situacija ir įvertinama, kokie faktoriai labiausiai įtakoja laivybos organizavimą Klaipėdos valstybiniame jūrų uoste.

1. TYRIMŲ APŽVALGA

Uosto infrastruktūros - bangolaužių, krantinių, praplaukimo ir įplaukimo kanalų, apsisukimo kanalų naujinimo darbai ir plėtra yra sudėtingiausia ir daugiausia lėšų reikalaujanti uosto veikla, todėl visi šie darbai prieš atliekant turi būti tinkamai ir atidžiai išstudijuoti. Daug mokslinių studijų apie infrastruktūros parinkimą ir laivybos saugumo uoste užtikrinimą atlikta užsienio mokslininkų iš valstybių, kuriose yra jūrų uostai.

Ibrahimas Ari, Vural Aksakalli, Volkan Aydog˘du b, Serdar Kum b, 2013. Optimal ship navigation with safety distance and realistic turn constraints¹. Straipsnyje mokslininkai tyrė optimalią laivo navigacijos problemą, kai tikslas yra rasti trumpiausią kelią tarp dviejų nurodytų koordinacių, esant kliūtims, kurioms taikomi saugaus atstumo ir posūkio spindulio apribojimai. Šios kliūtys gali būti nuolaužos, uolienu dariniai, mažos salos, ledo luitai, kiti laivai ar net visa pakrantė. Mokslininkai tyrė laivo apsisukimo spindulio nustatymą mažose akvatorijose, kur gali būti kliūčių ant dugno.

Gintautas Žilinskas, Rasa Janušaitė, Darius Jarmalavičius, Donatas Pupienis, 2020. The impact of Klaipėda Port entrance channel dredging on the dynamics of coastal zone, Lithuania². Mokslininkai savo straipsnyje tyrė įplaukimo kanalo į uostą gilinimo įtaką atvirose pamaro dreifuojančiose jūros pakrantėse, kur dažnai atsiranda didelių morfologinių pakrantės pokyčių. Šiuo tyrimu autoriai siekė įvertinti Klaipėdos uosto įplaukos kanalo gilinimo ir molų statybos poveikį pakrantės zonai. Remiantis 1835–2017 m. surinktos kartografinės medžiagos analize ir lauko duomenimis (batimetriniais tyrimais ir kryžminio kranto profilio niveliavimu), buvo įvertinti pakrantės zonos pokyčiai arčiausiai uosto esančioje teritorijoje.

Baoli Liu, Zhi-Chun Li, Dian Sheng, Yadong Wang gim, 2020. Integrated planning of berth allocation and vessel sequencing in a seaport with one-way navigation channel³. Straipsnyje autoriai analizavo daugelyje pasaulio jūrų uostų naudojamo vienpusio navigacijos kanalo, kuriuo vienu metu leidžiama plaukti tik viena kryptimi, sukeliamas laivų stovėjimo eilėje problemas. Šiame darbe siūlomas mišraus sveikėjo skaičiaus tiesinio programavimo modelis, skirtas integruotam krantinių paskirstymo ir laivų sekos planavimui tokia viena vienpusio navigacijos kanalo jūrų uoste, siekiant kuo labiau sumažinti visų laivų laukimo laiką.

¹ [https://commons.wmu.se/lib_articles/12/;](https://commons.wmu.se/lib_articles/12/)

² <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0078323420300610;>

³ <https://ideas.repec.org/a/eee/transb/v143y2021icp23-47.html;>

Hong Sik Lee, Sung Duk Kim, K.-H. Wang, Sieun Eom, 2009. Boundary element modeling of multidirectional random waves in a harbor with a rectangular navigation channel⁴. Šiame tyrime mokslininkai tiria iš dalies atspindėtas ribas uosto regione, kur nustatomi skirtingi pastovūs vandens gyliai kanale, uoste ir tyrimo srities išoriniame regione. Pateiktas skaitmeninis modelis, skirtas prognozuoti bangų lauką dėl kryptinių atsiktinių bangų difrakcijos uoste su ilgu navigaciniu kanalu, išgilintu uosto įėjimo išorinėje srityje. Taip pat pateikiami kiti pavyzdiniai skaičiavimai, skirti ištirti ilgų stačiakampių kanalų (arba duobių) poveikį bangų sklidimo laukui uostuose.

YS Li, S.-X. Liu, O.WH Wai, Y.-X. Yu, 2000. Wave concentration by a navigation channel⁵. Straipsnyje autoriai tyrė kanalo dizaino poveikį bangų sklidimui ir bangų pasiskirstymui uoste. Studijoje teigiama, kad staigūs topografijos pokyčiai turi didelę įtaką bangos sklidimui. Dėl bangos lūžio kanalo šoniniuose šlaituose susidaro bangų koncentracija kanalo šonuose. Šiame darbe skaitinis modelis, pagrįstas modifikuotomis Boussinesq lygtimis, naudojamomis imituoti bangos sklidimą topografijoje su navigacijos kanalu. Staigūs topografijos pokyčiai gali smarkiai pakeisti bangų pasiskirstymą ir sukelti bangų koncentraciją kai kuriose vietose.

Xavier Bellsolà Olba, Winnie Daamen, Tiedo Vellinga, Serge'as P. Hoogendoornas, 2018. State-of-the-art of port simulation models for risk and capacity assessment based on the vessel navigational behaviour through the nautical infrastructure⁶. Straipsnyje autoriai nustato pagrindinius navigacijos procesus ir operacijas, susijusias su uosto jūrine infrastruktūra, apžvelgia ir įvertina esamus uosto planavimo modelius. Straipsnis koncentruotas į išsamią naujausių planavimo modelių, skirtų uosto vertinimo tikslams, apžvalgą, daugiausia dėmesio skiriant saugai ir pajėgumams.

David Romero-Faz, Alberto Camarero-Orive, 2017. Risk assessment of critical infrastructures – New parameters for commercial ports⁷. Šiame straipsnyje autoriai pateikia metodiką, kaip pagerinti komerciniams uostams kylančios rizikos įvertinimą ir suprasti tikrąją jų apimtį. Studijoje mokslininkai nagrinėja pagrindines metodikas, susijusias su infrastruktūra apskritai ir konkrečiai su komerciniais uostais. Rezultatai leido nustatyti keletą naujų parametrų, į kuriuos reikia atsižvelgti vertinant komerciniams uostams kylančią riziką, taip pat patobulinti kai kurių esamų parametrų apibrėžimus ir naudojimą. Nauji parametrai apima vidinę riziką uostui, vidinę riziką terminalo tipui, prieinamumą, terminalo išdėstymą ir pagrindinių uosto veiklos elementų (pvz., statinių, geležinkelio įrenginių ir sandėlių) svarbą.

⁴ <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-a5394d8c-5dfb-3f16-aa98-969f66225698>;

⁵ <http://www.paper.edu.cn/scholar/showpdf/NUT2ANxIMTj0UxeQh>;

⁶ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756417305925>;

⁷ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1874548215300299>;

Wenyuan Wang, Yun Peng, Xiangda Li, 2022. Introduction to port planning and management⁸. Šiame straipsnyje dėmesys sutelkiamas į uostų komponentus ir bendrąsias uosto planavimo ir valdymo problemas. Taip pat aptariami uosto planavimo ir valdymo iššūkiai. Straipsnyje autoriai analizuoja pagrįsto ir efektyvaus uosto išteklių planavimo ir valdymo metodus, kurie yra būtini norint reaguoti į sparčiai augantį pasaulinį krovinių srautą ir siekti didesnio efektyvumo bei mažesnių darbo sąnaudų ir emisijų uoste.

Edmundas Kazimieras Zavadskas, Zenonas Turskis, Vygantas Bagočius, 2013. Multi-criteria selection of a deep-water port in the Eastern Baltic Sea⁹. Straipsnyje mokslininkai tiria giliavandens uosto parinkimo Baltijos jūroje vietos nustatymo modelį. Nustatyta, kad ekonominiams poreikiams tenkinti Klaipėdos regione būtina plėtoti giliavandenį uostą. Šio uosto problema susijusi su daugybe reikalavimų ir neapibrėžtų sąlygų, į kurias reikia atsižvelgti vienu metu. Šiame straipsnyje buvo suformuotas integruotas daugiakriterinis sprendimų priėmimo modelis problemai išspręsti. Siūlomo modelio pagrindą sudaro analitinės hierarchijos (AHP) ir neaiškiojo santykio vertinimo (ARAS-F) metodų derinys. Šis modelis pateikiamas kaip sprendimo forma, kurią būtų galima įgyvendinti renkantis bet kurį konkretų uostą ar panašią vietą.

Analizuojant straipsnius ir jau atliktus tyrimus susijusius su uosto infrastruktūros elementų pasirinkimu ir tai įtakančiais faktoriais, galima pastebėti, jog tema nėra pilnai išnagrinėta. Didžioji dalis straipsnių apima statistinių duomenų analizes, srautų prognozavimus, ar teorines infrastruktūros parinkimo aspektų analizes. Matoma stoka straipsnių ir tyrimų, kuriuose būtų analizuojama uosto rekonstrukcinių projektų priklausomumo vienam nuo kito tyrimų. Temos nepilnas išnagrinėjimas gali būti remiamas faktu, jog atliekami rekonstrukciniai projektai yra koncentruoti į konkrečių elementų naujinimą, ir jų naudą esamiems uosto elementams, per daug neatsižvelgiant į galimą tolimesnę uosto plėtrą.

⁸ <https://www.sciencegate.app/document/10.1016/c2020-0-02864-1>;

⁹ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1568494614004724>

2. USOTŲ INFRASTRUKTŪROS SITUACIJOS ANALIZĖ

Sklandžios uosto veiklos užtikrinimas priklauso nuo naudojamos infrastruktūros ir superstruktūros elementų. Šie elementai yra pagrindinės uosto sudedamosios dalys, kurių tinkamas parinkimas nulemia, kaip greitai ir kokybiškai laivai bus patarnaujami konkrečiame uoste. Superstruktūros išplėtojimas ir rekonstrukcija priklauso nuo uoste dirbančių krovos įmonių, kai tuo tarpu infrastruktūros priežiūra dažnu atveju rūpinasi valstybės įpareigota institucija. Uosto infrastruktūros – krantinių, bangolaužių, įplaukimo ir praplaukimo kanalų, apsisukimo baseinų priežiūra ir rekonstrukcija, uosto gilinimo darbai Lietuvoje rūpinasi valstybinė „Klaipėdos valstybinio jūrų uosto direkcija“. Šiai dienai beveik visos uosto krantinės yra atnaujintos, 2013 m. atlikta rekonstrukcija, po kurios uosto kanalo plotis padidėjo iki 150 m, gylis atitinkamai iki 14,5 m¹⁰.

Pasaulyje esant dideliame uostų skaičiui, kurie įsikūrę prie skirtingų geografinių, meteorologinių ir hidrologinių sąlygų, per daugybę metų sukurta daug įvairių infrastruktūros elementų. Pagrindinis kiekvieno uosto tikslas – pasirinkti savo regionui labiausiai tinkamus įrengimus, kad jie užtikrintų geriausią, patogiausią ir saugiausią uosto veiklos vykdymą.

2.1. Uostų infrastruktūros elementai

Uosto terminalo infrastruktūra yra būtina jungtis tarp jūrų ir sausumos transporto rūšių. Pagrindinės uosto funkcijos yra suteikti krovinių tvarkymo paslaugas (pavyzdžiui, sandėliavimas arba perkrovimas) ir laivų aprūpinimas (degalų papildymas, remontas ir kt.). Jūrų transporto pagalba perkraunama daugiau krovinių nei visomis kitomis transporto rūšimis. Tendencija didėti laivų dydžiam reiškia, kad jiems aptarnauti reikalinga infrastruktūra turi būti nuolatos atnaujinama ir tinkamai pritaikoma.

Krantinė tai uosto infrastruktūros elementas, kurio pagalba apribojamas jūros, ežero ar upės, vandens saugyklų krantas. Krantinės pagalba yra sudaromos tinkamos sąlygos laivybai. Taip pat krantinėmis laikomi hidrotechniniai statiniai, kurie yra statomi vandens telkinių pakrantėse, kad būtų sustabdytas krantų ardymas, juos sutvirtinant, bei suteikiant taisyklingą estetinį pasigėrėjimą teikiančias formas, patogias rekreacijai bei ūkinei veiklai. Krantinės, kurios atlaiko krantų grunto slėgį, dar yra vadinamos atraminėmis sienutėmis¹¹.

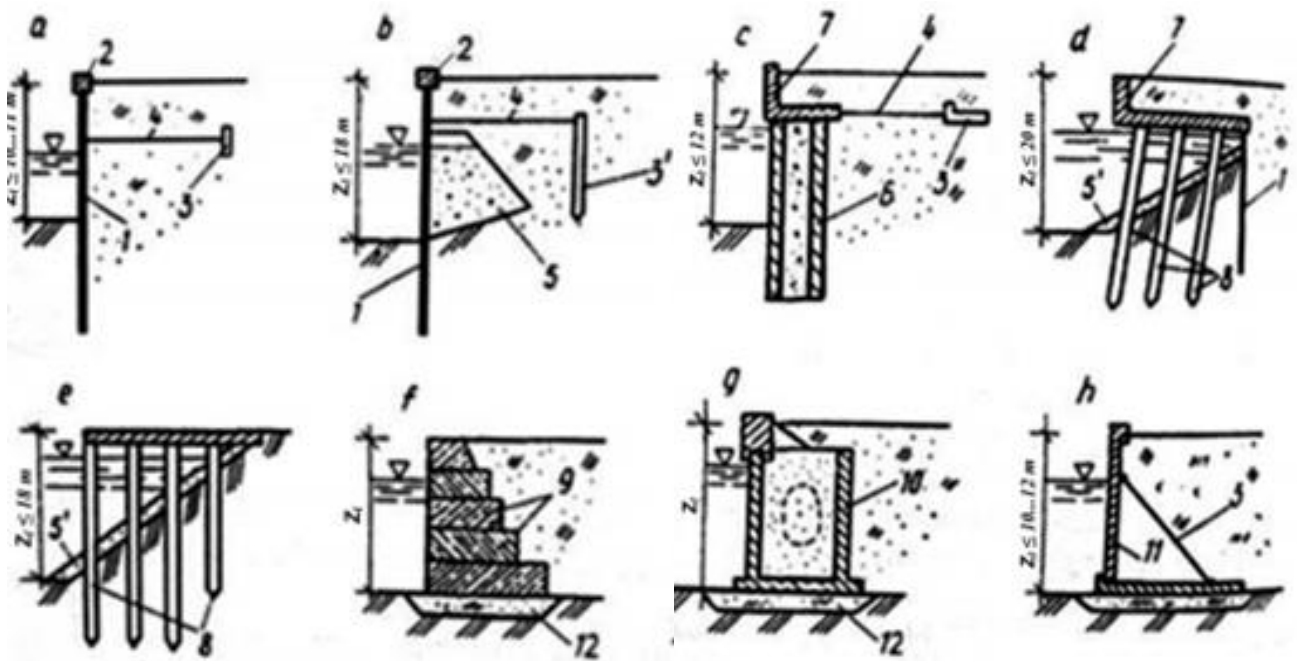
¹⁰https://www.portofklaipeda.lt/uploads/ATASKAITOS/SPAV%20ataskaita/Tekstiniai%20priedai/2013-10%20Laivybos%20salygos%20ir%20navigaciniai%20poreikiai_V.Paulauskas_galutine%20ataskaita.pdf

¹¹ https://zua.vdu.lt/wp-content/uploads/2019/07/vandens_keliu_statyba.pdf;

Pagrindiniai krantinių tipai:

- Polinės;
- Įlaidinės;
- Gravitacinės.

Polinės krantinės sutvirtina kranto šlaitą, tačiau neperima grunto slėgio. Šios krantinės sudarytos naudojant įlaidinius polius, kurie atlaiko grunto slėgį. Gravitacinės krantinės sudarytos iš masyvių monolito luitų arba surenkamos iš blokų. Šioms krantinėms nėra taikomi dideli ribojimai, o jų forma pagal kranto liniją gali būti plataus pasirinkimo. Tai seniausia krantinių konstrukcija. Uostų krantinių tipas yra pasirenkamas atsižvelgiant į įvairias gamtines sąlygas bei planuojamas apkrovas.



1 pav. Krantinių konstrukcinės schemas:

a, b, c, d – polinės krantinės; e – estakadinė; f – iš betoninių luitų; g – iš masyvų-gigantų; h – kampaininė surenkama su vidiniu inkaru; 1 – įlaidiniai poliai; 2 – monolitinis gelžbetoninis polių antgalis; 3 – vertikali inkaro plokštė; 3' – inkaro polis; 3'' – horizontali inkaro plokštė; 4 – inkaro trauklė; 5 – akmenų prizmė; 5' – akmenų danga; 6 – poliai-kevalai; 7 – rostverkas; 8 – poliai; 9 – betono masyvai; 10 – masyvas-gigantas; 11 – surenkamosios gelžbetoninės plokštės; 12 – skaldos ar akmenų paklotas (šaltinis: https://zua.vdu.lt/wp-content/uploads/2019/07/vandens_keliu_statyba.pdf)

Visos krantinės pagal savo konstrukciją dar skirstomos į uždaro ir atviro tipo. Uždarųjų krantinių vidinė pusė yra užkraunama, užpilama su gruntu taip, kad užpildas pasiektų sienelės viršų. Vertikaloji sienelės dalis yra pastatoma taip, kad galėtų atlaikyti horizontaliai veikiančias jėgas: grunto sudaromą slėgį ir priešingai veikiančias jėgas nuo laivų. Uždarosios krantinės dažniausiai yra tvirtesnės ir gali atlaikyti didesnes apkrovas, palyginus su atvirojo tipo krantinėmis. Taip pat, atvirojo tipo krantinės, kurios yra sukonstruotos ant polių yra lengviau pažeidžiamos, nei uždarojo tipo. Jūrinės konstrukcijos blokinės, kesoninės ir masyvų-gigantų krantinės reikalauja šiek tiek gilinimo, kad būtų suformuota stabili platforma ir suformuotas akmeninis sluoksnis, ant kurio būtų galima pastatyti atitinkamus įrenginius. Gilinimas paprastai būtų atliekamas griebtuvu, žemsiurbe, o dažniausiai tai atlieka specializuotas subrangovas. Gilinimo tyrimas turi būti kontroliuojamas naudojant diferencialinį GPS iki griežtų leistinų nuokrypių. Tada platforma arba erdvė jūros dugne būtų apžiūrimos kelių spindulių sonaru, kad būtų sudarytas planų ir skerspjūvių rinkinys, palyginamas su konstrukcinių brėžinių reikalavimais. Kelių spindulių tyrimas, kuris taip pat valdomas diferencialiniu GPS, turėtų pasiekti ± 20 mm tikslumą gyliu ir ± 100 mm iš šono. Tai yra daug tikslesnis už senesnius giluminio ar aido zondavimo metodus, be to, turėtų būti ekonomiškesnė konstrukcija, nes gilinimas gali būti atliekamas laikantis griežtesnių leistinų nuokrypių nei anksčiau¹².

Gravitacinės krantinės priskiriamos prie uždarojo tipo krantinių. Gravitacinės krantinės statomos iš monolitinio betono, betoninių masyvų, masyvų - gigantų, kampinių sienelių, didelio skersmens kevalų. Jų profilis pagal kranto šlaitą gali būti įvairus, sudėtinis. Atrodo, kad gravitacinės krantinės sienos projektavimo žingsniai yra pakankamai aiškūs. Tačiau giliąsias gravitacinių krantinių sienas veikia daug išorinių jėgų. Šiuo atveju sienos stabilumas gali būti gana jautrus daugeliui veiksnių; sienos gylis, traukos jėga, grunto savybės ir bazinio sluoksnio charakteristikos. Reikia ištirti įvairių veiksnių įtaką stabilumui¹³. Tai seniausia krantinės konstrukcija. Gravitacinės krantinės labai gerai pagal svorį atlaiko užpildymo apkrovas ir kitas horizontalias bei vertikalias krantinę veikiančias apkrovas. Gravitacinio doko stabilumą daugiausia lemia jo svoris. Pagal konstrukciją gravitacinės krantinės gali būti naudojamos beveik bet kokiame gylyje, reikalingame šiuolaikinių didelio tonažo ir pramoginių laivų eksploatavimui.

Gravitacinė krantinė paprastai susideda iš trijų pagrindinių dalių: supiltinio pagrindo, povandeninės dalies ir antstato. Pagrindas pagaminamas iš akmens iš atvirkščio filtro sluoksnio. Jis statomas siekiant išlyginti gruntą, taip pat apsaugoti jį nuo bangavimo, srovių ir jūrinių variklių

¹² <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/quay-walls>;

¹³ https://www.researchgate.net/publication/238107624_Analysis_of_gravity_quay_walls

veikimo. Gravitacinių krantinių paskirtis ir konstrukcija gali labai skirtis, tačiau statybos procesas yra panašus. Labiausiai paplitę konstrukcijų tipai yra blokiniai, kesoniniai ir monolitinių luitų.¹⁴

Blokinės sienos krantinės yra vienos seniausių krantinių tipų. Juod sudaro dideli betoniniai blokai. Pastatyti ant tvirto pagrindo iš blokelių, aukštos kokybės akmens ar betono, šio tipo dokai yra patvarūs ir nereikalauja mažai priežiūros. Paprastų betoninių blokų gravitacinės krantinės sienos projektavimas dažniausiai yra aiškus. Tačiau sunku pasiekti giliuose vandenyse arba tų, kurie yra veikiami didelių jėgų ir remiasi į pusiau tvirtą dirvą, stabilumą. Veiksniai, darantys įtaką pusiausvyros būklei, tampa esminiais ir jų įtaka galutinei gravitacinės krantinės sienos konstrukcijai turi būti ištirta. Jie turi būti pakankamai dideli, kad užtikrintų kiekvieno bloko stabilumą. Betoninių luitų dydis nustatomas pagal vidutinę liejimo įrangą ir sandėliavimo vietą. Jų svoris svyruoja nuo 150 iki 2000 kN. Dėl didelio svorio blokinės krantinės turėtų būti naudojamos ant tvirto pagrindo, kad būtų išvengta nusėdimo.



2 pav. Blokinė krantinė

(šaltinis: <https://www.deepexcavation.com/en/products/quaywalls-quay-walls-design-software>)

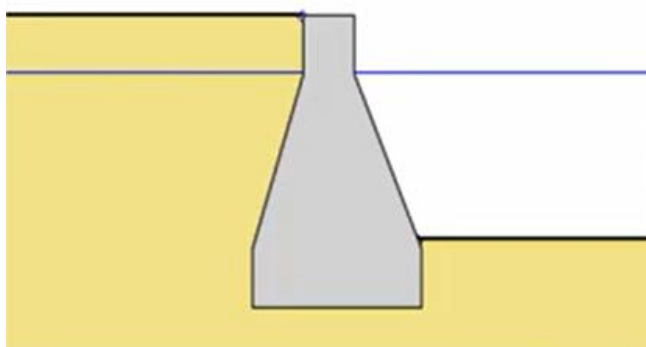
Krantinės iš masyvų-gigantų buvo plačiai naudojamos ir jūriniuose ir upių uostuose. Masyvų-gigantų krantinėms nėra taikomi tokie griežti patvarumo reikalavimai, kaip kitoms krantinėms. Naudojami krantinių statybai masyvai-gigantai būna kaip simetrinės, taip ir labai nesimetrinės formos. Šio tipo krantinės sienos yra sukonstruotos iš gretima sukrautų, vieno šalia kito blokų, sukrautų į vietą sunkiasvorės paskirties plaukiančių krautuvų.

¹⁴ <https://vb.ku.lt/object/elaba:16721960/16721960.pdf>



3 pav. Masyvo-giganto nuleidimas į vietą (šaltinis: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/quay-walls>)

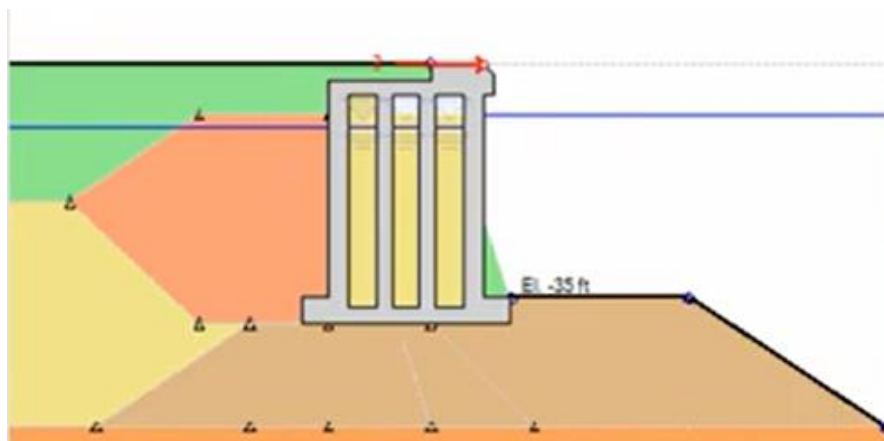
Masyvai-gigantai paprastai statomi nusausintoje, aptvortoje vietoje žemiau vandens lygio. Parengus galutinę statymo vietą, kėlimo įranga gali judėti su masyvu ir sudėti masyvus nuoseklia tvarka į jam parengtą galutinę vietą. Iš anksto suformuotos jungtys tarp gretimų agregatų užglaištomos glaisto jungtimis¹⁵.



4pav. Masyvo-giganto krantinė
(šaltinis:<https://www.deepexcavation.com/en/products/quaywalls-quay-walls-design-software>)

Kesoninės krantinės – viena iš gravitacinių krantinių tipų. Šios krantinės įrengiamos klojant betoninius tuščiavidurius masyvus vienoje eilėje. Masyvai gali būti skirtingų formų ir matmenų, priklausomai nuo padėties ir naudojamos įrangos. Populiariausi yra stačiakampės formos masyvai. Kesonai paprastai gaminami ant kranto, o vėliau perkeltami į pastovią paruoštą vietą vandenyje. Kesonai gali būti ir uždari ir atviri. Kesonai paprastai įrengiami ant tvirto pagrindo, iškloto gerai sutankintu bei išlygintu žvyro ir skaldos sluoksniu.

¹⁵ <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/quay-walls>



5 pav. Kesoninė krantinė

(šaltinis: <https://www.deepexcavation.com/en/products/quaywalls-quay-walls-design-software>)

Tuo tarpu polinės krantinės priskiriamos prie atvirojo tipo. Uždarąjo tipo krantinės yra vertinamos dėl didesnio pasipriešinimo apkrovoms nei polinės. Be to, šio tipo krantinių konstrukcijų svoris sudaro didesnę svorio dalį, todėl yra mažiau jautrios perkrovoms negu polinės.

2.2. Bangolaužių ir molų tipai

Bangolaužis – jūroje pastatytas barjeras, mažinantis bangų daromą žalą akvatorijai¹⁶. Yra du pagrindiniai bangolaužių jūroje tipai: viengubas ir kombinuotas. Viengubas, kaip rodo pavadinimas, reiškia, kad bangolaužį sudaro viengubas, ištisinis barjeras, o kombinuotas (nuo dviejų iki dvidešimties) yra išdėstytas su tarpais (160–980 pėdų arba 50–300 metrų). Tarpo ilgį daugiausia lemia sąveikaujantys bangos ilgiai. Bangolaužiai gali būti stacionarūs arba plūduriuojantys, nepralaidūs arba pralaidūs, kad nuosėdos galėtų patekti iki kranto, pasirinkimas priklauso nuo potvynio diapazono ir vandens gylio. Paprastai jie susideda iš didelių luitų (granito), kurių kiekvienas sveria iki 10–15 tonų, arba stambių akmenų krūvų. Jų konstrukcijai įtakos turi bangų artėjimo kampas ir kiti aplinkos parametrai. Molo konstrukcija gali būti lygiagreti arba statmena pakrantei, atsižvelgiant į kranto linijos reikalavimus¹⁷. Molas tai hidrotechninė priemonė, skirta apsaugoti uosto įplaukos kanalą nuo pavojingo bangavimo ir smėlio užnešimo. Jis statomas nuo kranto gilyn, taip, kad vienas galas remtųsi į krantą, o kitas siekia dugno gylį, kuris yra artimas uoste palaikomam. Paprastai statomi du sueinantys molai, tarp kurių galų yra uosto vartai. Kai uostą nuo jūros bent iš dalies dengia kranto kyšulys arba sala, gali pakakti ir vieno molo. Molai brangūs statiniai ir turi būti

¹⁶https://ltsa.lrv.lt/uploads/ltsa/documents/files/Vandens%20transportas/literatura_egzaminavimas/jurine_tehnologija_i_ii_laivybos%20pagrindai.pdf

¹⁷ <http://www.rebuildbydesign.org/our-work/all-proposals/winning-projects/ny-living-breakwaters;>

tinkamai suprojektuoti, kad užtikrintų jiems keliamus reikalavimus. Kitos antropogeninės struktūros, naudojamos natūraliems pakrančių pokyčiams sustabdyti ar pakeisti - iškyšuliai, slenksčiai ir rifai. Šios struktūros yra sudarytos iš natūralių arba dirbtinių medžiagų ir yra skirtos pakeisti bangų poveikį ir sulėtinti pakrantės eroziją bei pokyčius.

Molai dažnai yra didžiausia investicija į uosto statybą ir gali turėti didelės įtakos nuolatinėms priežiūros išlaidoms¹⁸. Todėl, vertinant konkretų uostą, pirmiausia būtina nustatyti, ar uosto veiklai vykdyti būtina turėti molus. jei jis ir toliau bus veikiamas bangų, ar reikalinga apsaugota krantinė, kad būtų išvengta prastovų dėl oro sąlygų. Norint atsakyti į šį klausimą, projekte reikia atlikti preliminarų krantinių prieinamumo įvertinimą, kurį sudaro:

- Aukšto lygio hidrodinaminių sąlygų tyrimo atlikimas ir eksploatacinių sąlygų (pvz., bangos, vėjo, srovės, vandens lygio) įvertinimas siūlomoje krantinės vietoje;
- Veikimo slenksčių įvertinimas, atsižvelgiant į leistinas švartavimosi vietos / atmušų jėgas ir laivo judesius, kurie priklauso nuo terminalo tipo ir funkcijos;
- Skaičiavimai, kiek procentų laiko viršijamos eksploataavimo ribos, kai laivas negali prisišvartuoti arba operacija turi būti stabdoma ir laivas turi nuplaukti nuo krantinės.



6 pav. Klaipėdos uosto vartai (šaltinis: <https://www.lrytas.lt/verslas/rinkos-pulsas/2020/09/14/news/klaipeda-pradedama-anziaus-statyba-del-jos-ilgam-uzdarys-gyventoju-pamegta-pasivaiksciojimu-vieta-16324282>)

¹⁸ <https://vb.vgtu.lt/object/elaba:1987706/1987706.pdf>;

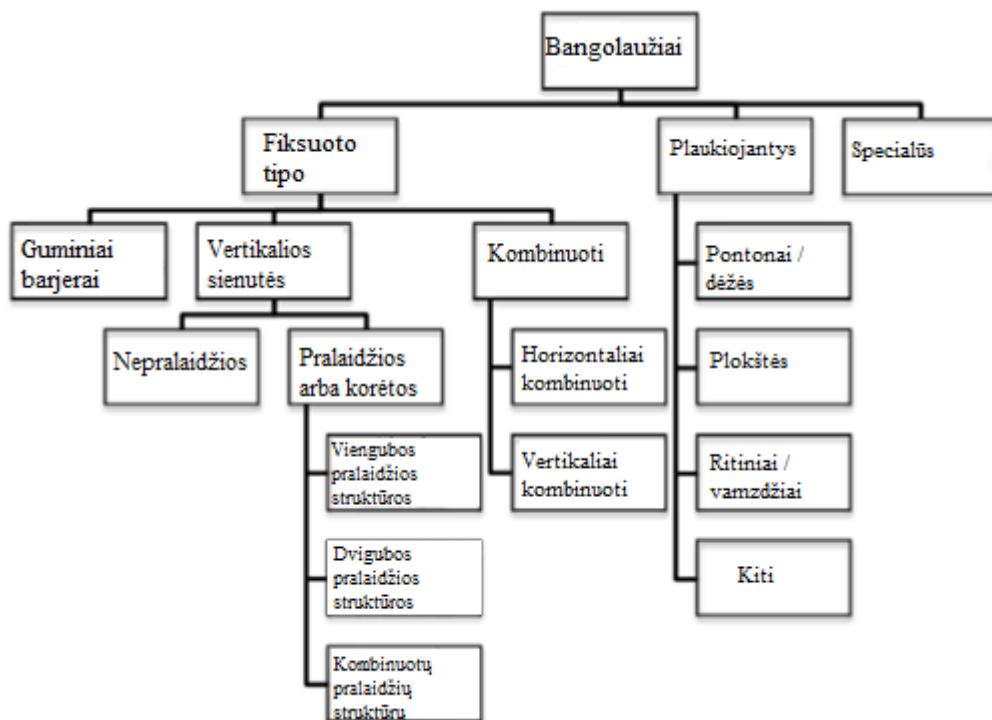
Jei analizės rezultatai parodys, kad planuojamam pralaidumui reikalinga apsaugota krantinė, projektavimo komanda turi parengti molo išdėstymo planą. Nesvarbu, ar jis yra atviroje jūroje, ar prijungtas prie kranto, molo vieta ir išdėstymas priklauso nuo geotechninių aplinkybių, vandens gylio, projektuojamo laivo (-ų) manevringumo ir reikalingo bangų slopinimo lygio. Kitas svarbus parametras, į kurį reikia atsižvelgti, yra galimas molo statybos poveikis kranto linijos morfologijai ir sedimentacijai projekto veikimo ribose arba gretimose teritorijose. Yra daug pavyzdžių, kai šis dizaino aspektas buvo nepastebėtas, neįvertintas arba klaidingai pateiktas, o užsakovai turėjo susidoroti su iš to kylančiomis finansinėmis ar teisinėmis pasekmėmis. Nustačius, kad molas yra būtinas, reikia pasirinkti bangolaužio tipą, kuris būtų optimaliausias konkrečiam uostui.

Bangolaužius galima klasifikuoti pagal daugybę kriterijų, tačiau pagrindiniai tipai yra:

- fiksuoto tipo, tai yra su jūros dugnu sujungtos konstrukcijos;
- plūduriuojantys, kurie plūduriuoja paviršiuje, laikomi švartavimosi lynų;
- Specialūs bangolaužių tipai paprastai yra priimami konkrečioms uostų reikalavimams ir todėl nėra įprastai taikomi.

Pagal plačią klasifikaciją fiksuoto tipo, bangolaužiai dar skirstomi į daugybę tipų, kurie pavaizduoti žemiau¹⁹.

¹⁹ <file:///C:/Users/Asus/Downloads/ReviewofIndianresearchoninnovativebreakwaters.pdf>;



7 pav. Bangolaužių tipai

(šaltinis: <file:///C:/Users/Asus/Downloads/ReviewofIndianresearchoninnovativebreakwaters.pdf>)

Priklausomai nuo reikalingos šlaito pasvirimo laipsnio ir vyraujančių aplinkos sąlygų, pasirenkamas tam tikras bangolaužio tipas.

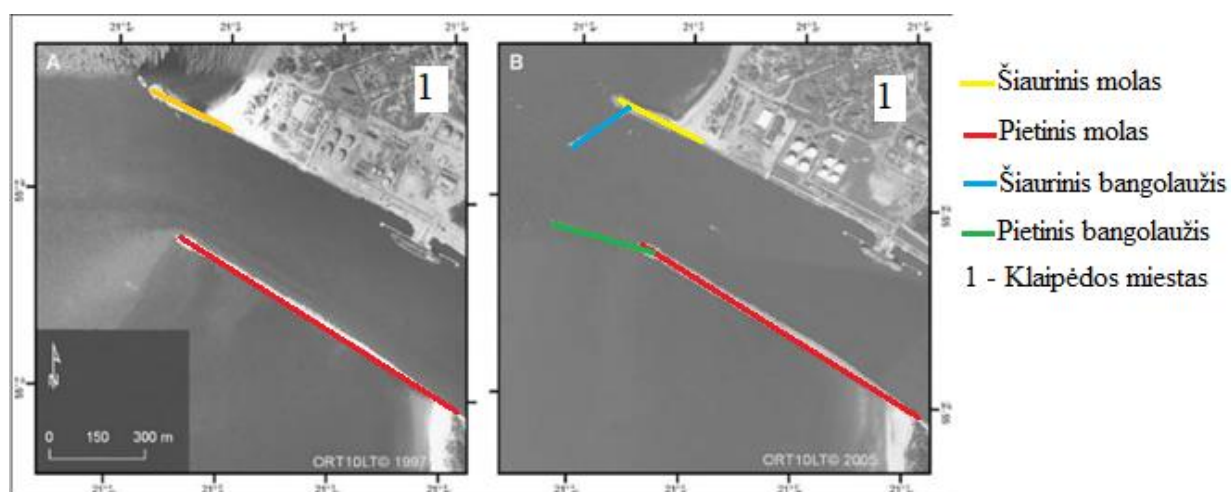
Klaipėdos uostas turi du lygiagrečius molus, kurių ilgiai: šiaurinio – 1158 m, o pietinio molo ilgis – 1227 m. Uosto molai pastatyti ant polių. Viršvandeninė dalis abiejuose moluose sukrauta iš tetrapodų – betono luitai turintys keturias kojas, kurių pagalba jūros bangos yra suskaidomos ir sumažinamas jų aukštis. Pagilinus uostą, molai sustiprinti akmenimis ir dideliais betono blokais. Šių molų funkcija – nukreipti Danės upės žiočių srovę į Baltijos jūrą, apsaugoti įplaukos kanalą nuo užteršimo ir apsaugoti uostą nuo tiesioginių Baltijos jūros bangų patekimo.



8 pav. Tetrapodai

(šaltinis: <https://dissolve.com/stock-photo/Tetrapod-rocks-arranged-sandy-beach-against-cloudy-royalty-free-image/101-D9-18-434>)

Šiaurinio molo statyba buvo vykdoma nuo 1834 m. iki 1884 m., o pietinio molo – nuo 1847 m. iki 1861 m. Atliekant Klaipėdos uosto rekonstrukciją (2001 m. pradžia–2002 m. spalio mėn.), abiejų molų ilgis buvo padidintas, taip pat, pagilintas ir įplaukimo kanalas. Rekonstrukcijos metu šiauriniam molui sutvirtinti buvo panaudota 101400 m³ akmenų, dėl ko šiaurinis molas prailgintas 205 m, o pietiniam molui panaudojus 166500 m³ akmenų – ilgis padidintas 278 m. Be to, šiaurinis molas buvo pasuktas ŠR–PV kryptimi. Pietinis molas buvo pasuktas ta pačia kryptimi, bet mažesniu kampu. Įplaukimo kanalas buvo pagilintas iki 14,5 m. Molų prailginimas buvo atliktas siekiant apsaugoti įplaukimo kanalą nuo bangų ir nuosėdų patekimo audrų metu, taip užtikrinant didesnę į uostą įplaukiančių laivų saugumą²⁰.



9 pav. Klaipėdos uosto molai prieš rekonstrukciją (A) ir po rekonstrukcijos (B)

²⁰ <https://www.atviraklaipeda.lt/2020/05/21/molo-rekonstrukcijos-konkursas-trecias-kartas-pamelavo/>;

(šaltinis: <file:///C:/Users/Asus/Downloads/4643-Article%20Text-10101-1-10-20180813.pdf>)

Kai oro sąlygos geros, dabartinio uosto įplaukos kanalo techniniai parametrai yra tinkami visiems laivams saugiai įplaukti į Klaipėdos uostą. Tačiau, kai bangavimas būna didesnis, siekiant užtikrinti saugumą, didesniems laivams įvesti taikomi tam tikri apribojimai. O pastaraisiais metais į mūsų uostą atplaukia vis daugiau didesnių laivų. Dėl nepalankių meteorologinių sąlygų ilgėja laivų eismo ribojimo laikas, atitinkamai ir visos krovinių logistikos grandinės laikas. Naujausia bangolaužių rekonstrukcija pradėta 2020 metais. Rekonstrukcijos metu tiek pietinio, tiek šiaurinio bangolaužių konfigūracija nebus keičiama - jie bus paliekami tokie patys, tik abu bus paaukštinti, kai kuriuose hidrotechniniuose statiniuose bus įrengtos atraminės sienutės. Aukštinamos bus bangolaužių atkarpos, esančios jūroje, ten, kur yra didesnis gylis. Šiandien Klaipėdos uosto bangolaužių aukštis 2,5-3 metrai, o bangų aukštis jūroje šioje vietoje būna iki 5-5,5 m. Aukščiausi bangolaužiai bus jūroje, o paskui nuosekliai žemės einant kranto link.

Pietiniame bangolaužyje bus nuimta dalis senų tetrapodų, kurie bus perkelti ant šiaurinio bangolaužio. Šiauriniame bangolaužyje rekonstruojama bus tik ta atkarpa, kuria vaikščioti ir dabar negalima, o pietiniame bangolaužyje bus statomi nauji betono masyvai, sudedami nauji pagaminti tetrapodai. Bus šiek tiek sutvarkyti bangolaužių nuolydžiai po vandeniu. Jų šlaitai jau yra apardyti erozijos ir pasislinkę.

2.3. Išorinio, giliavandenio uosto koncepcijos analizė

Ilgamečiai stebėjimai rodo, kad krovinių srautas Klaipėdos uoste didėja. Ši tendencija matoma pateikiamuose Klaipėdos valstybinio jūrų uosto bendruosiuose planuose ir metinėse ataskaitose. Ilgą laiką svarstyta uosto plėtros alternatyva – išorinis uostas, kurio įgyvendinimui reikėtų didelių lėšų ir išteklių. Norint tikslingai įvertinti šią alternatyvą buvo paskelbti konkursai, kurių metu atliktos galimybių studijos vertinant: ekonominius socialinius, techninius finansinius ir aplinkosauginius aspektus.

2003–2004 m. japonų ekspertai pateikė uostui alternatyvą, kurioje nurodyta, kad dabartinio uosto teritorijoje plėtros galimybės yra ribotos. Įvertinus tuo metu buvusią miesto ir uosto situaciją buvo pasiūlyta 350 m. nuo kranto, jūroje, šalia šiaurinio molo suformuoti dirbtinę (1,5 km ilgio, 0,7 km pločio) uosto salą su natūraliu 17,5 m gyliu. Sekančią koncepciją 2010–2011 m. pateikė vokiečių įmonės ekspertai, kurioje išnagrinėjo alternatyvias uosto išvystymo vietas. Konsultantai išanalizavo ir pasiūlė tris alternatyvas: uosto pastatymas – dirbtinė sala - šiaurinėje uosto dalyje ties Melnrage; antra, uosto vystymas pietinėje ir šiaurinėje Klaipėdos uosto vietose; trečia, naujo uosto statyba

Būtingėje²¹. 2017 metais pateiktas pirmasis uosto bendrasis planas, kuriame pristatyta išorinio uosto koncepcija. 2019 metų Klaipėdos uosto bendrajame plane numatomos 2 išorinio uosto alternatyvos – ties Melnragė ir Šventosios–Būtingės zonoje²². Dar viena pateikta alternatyva plėtrai – pietinės uosto dalies, už Kiaulės nugaros, nusausinimas.

Išorinio uosto statyba turi būti pagrįsta, nes tokio dydžio projektas reikalauja didelių lėšų, visuomenės pritarimo ir turi būti garantuota, kad pastačius naujus terminalus, bus užtikrintas jų pajėgumų kuo didesnis išnaudojimas. Svarstyty projektų idėjos nebuvo įgyvendintos, nes Klaipėdos uosto esami pajėgumai tuometiniu laiku nebuvo pilnai išnaudoti. Projektų įgyvendinimas buvo sustabdytas ir dėl to, nes Klaipėdos miesto visuomenė nepritarė uosto plėtrai dėl per didelės žalos aplinkosaugai Melnragės gyvenvietei.

Atsižvelgiant į esamą situaciją, išorinio uosto koncepcija gali būti pagrindžiama tuo, kad pastatyta nauja erdvė būtų tinkama išspręsti esamas problemas: dalis konteinerių iš perpildytų MSC ir Klaipėdos konteinerių terminalų būtų perkelta į naujas aikšteles, naujos teritorijos galėtų būti skirtos dulkiams (metalo rūda, anglis), bei pavojingiems kroviniams, kurių krova ribojama dėl daromos žalos Klaipėdos miestui. Išorinis uostas Klaipėdoje, naudojamas kaip paskirstymo uostas pagreitintų krovinių tranzito laiką, nes didieji Europos uostai – Hamburgas ir Roterdamas susiduria su laivų spūstimis prie terminalų, dėl ko tranzito laikas į Baltijos šalis ilgėja. Giliavandenis uostas padėtų į Klaipėdą pritraukti naujų didžiųjų konteinerinių linijų operatorius.

2.4. Baltijos jūroje didžiausių plaukiojančių konteinerinių laivų apžvalga

Baltijos jūra gabenama apie 15 % viso pasaulio krovinių, todėl ji yra priskiriama prie aktyviausių jūrinės veiklos vietų. Remiantis tarpyvyriausybines institucijos Helsinkio komisijos duomenimis, bet kuriuo metu jūroje galima rasti apie 2000 laivų, daugiausia gabenančių sausus krovinius. Tuo pačiu metu Baltijos jūra ilgą laiką buvo žinoma kaip sudėtinga laivybai vieta, nes patekimą į jūros baseiną apsunkina siauri sąsiauriai, daugybė salų ir seklumos, kurios nepalieka daug vietos laivybai. Priklausomai nuo sezono laivybai, taip pat, tenka susidurti su atšiauriomis oro sąlygomis (intensyvios audros rudens metu, stiprios srovės sąsiauriuose ir užšalanti jūros vietos žiemą). Be šių natūralių laivybos apribojimų, pastaraisiais dešimtmečiais atsirado naujų kliūčių. Labai svarbus yra didelis erdvės poreikis jūros vėjo jėgainėms ir noras išskirti papildomas jūrų apsaugos zonas.

²¹ https://www.klaipeda.lt/data/public/uploads/2020/02/stebesenos_ataskaita.pdf

²² https://www.portofklaipeda.lt/uploads/Bendrasis%20planas/2020/0_KVJU_BP_Aiskinamasis_rastas.pdf

Laivų patekimas į Baltijos jūrą yra apribotas keliais sąsiauriais, kuriuose gylis nėra pakankamas, kad galėtų praplaukti didžiausi laivai, tik laivai, kurių grimzlė yra ne didesnė nei 17,5 m. Baltijos jūra su Atlanto vandenynu susisiečia per Šiaurės jūrą, su kuria jungiamasi per Kategato (gylis svyruoja tarp 17–30 m.) ir Skagerako (vidutinis gylis 33 m.), Didžiojo Belto (mažiausias gylis 11,3 m, didžiausias – 58 metrai), Mažojo Belto (gylis 12–81 m., vidutinis 14 m.) ir Zundo (mažiausias gylis 7 m, didžiausias 38 m.) sąsiauriais. Baltosios ir Baltijos jūrų kanalu Baltijos jūra yra sujungta su Baltąja jūra ir Kylio kanalu susijungia su Šiaurės jūra.



10 pav. Patekimo į Baltijos jūrą sąsiauriai

Didysis ir Mažasis Belto sąsiauriai naudojami didžiųjų krovinių laivų ir tanklaivių patekimui į Baltijos jūrą. Zundo sąsiauris pagrindine naudojamas mažiems laivams vietinei laivybai tarp Švedijos ir Danijos, bei mažesniems laivams, jeigu prie Didžiojo ir Mažojo Belto susidaro spūstys. Pagal 2016 metų duomenis Baltijos jūroje plaukiojusių laivų vidutinis ilgis buvo apie 190 m., didžiausio laivo ilgis 399 m. ir didžiausios laivo tonažas 195000 GT. Pagrindiniai konteinerių

laivų maršrutai eina per Didžiojo Belto sąsiaurį ir didžioji dalis laivų plaukia į Sankt Peterburgo uostą²³.



11 pav. Konteinerinių laivų keliai (2016 m. duomenimis)

(šaltinis:http://www.golng.eu/files/Main/GoLNG_news/2%20Overview%20Baltic%20Sea%20Shipping.pdf)

Pateiktas žemėlapis parodo, kad 2016 metais didžiausias konteinerinių laivų srautas buvo skirtas Sankt Peterburgo uostui – vienam iš didžiausių uostų Baltijos regione. Taip pat, iš pateikto žemėlapio galima matyti, konteinerinių laivų patekimo į Baltijos jūrą pagrindinis kelias eina per Didžiojo Belto sąsiaurį, ir dalis laivų plaukiojo pro Zundo sąsiaurį.

Prieš dešimtmetį didžiausi laivai, kurie plaukiojo Baltijos jūroje buvo "Panamax" tipo laivai, kurių ilgis siekė iki 300 metrų. Dabar Baltijos jūra gali plaukioti ir dar didesni "Baltmax" tipo laivai, kurių ilgis siekia iki 400 m.

²³ http://www.golng.eu/files/Main/GoLNG_news/2%20Overview%20Baltic%20Sea%20Shipping.pdf;

3. UOSTO INFRASTRUKTŪROS ELEMENTŲ SKAIČIAVIMO METODIKA

Planuojant uostą ir jo komponentus, svarbu nustatyti minimalius uosto infrastruktūros parametrus. Įvertinus laivo manevringumą, būtina tiksliai apskaičiuoti minimalų reikiamą gylį, orientuojantis į kuo didesnę laivą, kuo mažesnę kanalo plotį, laivo vairavimo baseino skersmenį, kuo mažesnius krantinės prieigos parametrus. Šiame skyriuje aptariami uosto infrastruktūros elementų srauto prognozavimo ir skaičiavimo metodai. Taip pat pristatomos formulės ir kiti metodai, kurie kitoje darbo dalyje bus diegiami naudojant specifinę statistiką.

3.1. Krovinių srautų prognozavimo daugiakriteriniu būdu metodika

Krovinių srautas dažniausiai yra atsitiktinis dydis, todėl jo prognozavimui geriausiai tinka matematiniai statistiniai metodai, leidžiantys įvertinti esamą situaciją ir numatyti tikėtinas atskirų charakteristikų taškų ir srauto takų sąlygas. Prognozuojant konteinerių srautus, būtina kuo tiksliau identifikuoti klaidas, kadangi transporto paslaugoms tinkamų superstruktūros ir infrastruktūros elementų parinkimas priklauso nuo jų dydžio. Konteinerių srautų prognozavimas numato ne tik galimus būsimus krovinių srautus, bet ir visus išorinių bei vidinių veiksnių pokyčius, kurie gali turėti įtakos būsimiems krovinių ir laivybos srautams.²⁴

Daugiakriterinis krovinių srautų prognozavimo būdas įvertina įvairių veiksnių įtaką srautams. Veiksnių svoriai gali būti nustatyti taikant ekspertinį metodą arba ekspertine nuomone. Konteinerių srautams įtakos daro šie veiksniai, kartu tai ir svorio koeficientai (K_m)²⁵:

- globali ekonominė situacija – 0,45
- šalies ekonominė ir politinė situacija – 0,25
- transporto sistemos pajėgumai – 0,2
- konkurentų veiksniai – 0,1

Bendroji daugiakriterinio prognozavimo lygtis:

$$Q_T = (Q'_0 + bT) \cdot M, \quad (1)$$

Čia: Q_T - prognozuojamas srautas t laikotarpiu;

Q'_0 - pradinis srautas;

b - prognozavimo koeficientas, kuris gaunamas remiantis statistiniais duomenimis;

²⁴ Paulauskas V. Srautų tyrimo metodika. Klaipėda: KU leidykla. 2002. 32 p.;

²⁵ Paulauskas V. Srautų tyrimo metodika. Klaipėda: KU leidykla. 2002. 32 p.;

T – prognozavimo periodas, metai;

M - daugiakriterinio prognozavimo koeficientas, kuris apskaičiuojamas:

$$M = \sum (K_m \cdot F_m), \quad (2)$$

Čia: K_m - veiksnių svorio koeficientai (jų bendra suma lygi vienetui);

F_m - santykiniai veiksniai, kurie Q_0 taške lygūs vienetui.

b - prognozavimo koeficientas, skaičiuojamas pagal sekančią formulę:

$$b_i = \frac{(Q_{ti} - Q_0)}{t_i}, \quad (3)$$

Čia: Q_{ti} – krovinių kiekis i -taisiais metais;

t_i – laiko periodas;

Galutinis koeficientas b bus lygus:

$$b = \frac{\sum b_i}{n_i}, \quad (4)$$

Čia: n_i - koeficientų b_i reikšmių skaičius.

Naudojant buvusias ir dabartines reikšmes, reikia nustatyti atskirais laiko intervalais (Θ) statistinio ryšio charakteristiką konteinerių srautų dydžių atžvilgiu. Prognozuojant įvairius krovinių srautus, šių srautų charakteristikas ir kitus aspektus, naudojamos jau turimais ankstesniais statistiniais duomenimis (krovinių srautų duomenys per kelerius pastaruosius metus). Svarbiausia įvertinti atsitiktinių dydžių matematinę viltį, kurios randamos pagal formulę²⁶:

$$m_{yi} = \frac{1}{n} \sum_1^n x_i, \quad (5)$$

Čia: x_i - bendras konteinerių kiekis, vežtas per atitinkamą laiko tarpą;

n - laikotarpio, per kurį buvo vežtas konteinerių kiekis $\sum x_i$, dalių kiekis.

Turint konkrečių srautų matematinę viltį, atsitiktinių (konteinerių srautų ir pan.) dydžių

²⁶ Paulauskas V. Srautų tyrimo metodika. Klaipėda: KU leidykla. 2002. 32 p.;

dispersija gali būti apskaičiuota formule:

$$\sigma_{yi} = S_{\gamma i}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_1^n (x_i - m_{yi})^2, \quad (6)$$

Čia: $S_{\gamma i}^2$ - atsitiktinių dydžių standartai, kurie skaičiuojami taip:

$$S_{\gamma i} = \sqrt{S_{\gamma i}^2}, \quad (7)$$

Norint nustatyti, kiek yra išsibarstę nagrinėjami dydžiai, apskaičiuojama vidutinė kvadratinė paklaida:

$$e = \pm \sqrt{S_{\gamma i}^2} \quad (8)$$

Pagal apskaičiuotą variacijos koeficientą galima nustatyti, ar apskaičiuoti srautai yra pastovūs, ar nepastovūs. Jeigu variacijos koeficientas neviršija 20%, tada srautai laikomi pastoviais, tačiau jeigu koeficientas viršija 20%, srautai laikomi nepastovūs, nors ir jų įvertinimas atliekamas identiškai pastovių srautų įvertinimui²⁷.

Taigi, turint vidutinę kvadratinę paklaidą, galima rasti optimistinę (9) ir pesimistinę (10) prognozes:

$$Q_0 = Q_t + e \quad (9)$$

$$Q_P = Q_t - e \quad (10)$$

Naudojant daugiakriterinį srautų prognozavimo metodą, krovinių srautas skaičiuojamas remiantis svorio koeficientais. Nuo jų priklauso ar krovinių srautas augs, ar mažės, ar išliks pastovus. Naudojant daugiakriterinę krovinių srauto prognozavimo metodiką, galima apskaičiuoti galimą krovinių srautą tam tikram laikotarpiui. Tai būtina planuojant infrastuktūros ar superstruktūros plėtrą ar atnaujinimo darbus.

²⁷ Paulauskas V. Srautų tyrimo metodika. Klaipėda: KU leidykla. 2002. 32 p.;

3.2. Uosto krantinių parametrų skaičiavimo metodika

Atliekant terminalų skaičiavimus, atsižvelgiant į priimtus terminalų pajėgumus (krovinių srautus), turi būti apskaičiuotas būtinas krantinių ilgis ir būtinas terminalo plotas. Mėnesinis krantinės pralaidumas skaičiuojamas pagal formulę²⁸:

$$Q_{m\acute{e}n} = \frac{720 \cdot D_l \cdot \alpha \cdot k_{met} \cdot k_{u\acute{z}}}{t_l + t_{pag}} \quad (11)$$

Čia: D_l - skaičiuojamo laivo talpa, TEU.;

α - koeficientas, kuriuo įvertinamas laivo talpos užpildymas (α imamas apie 0,9);

k_{met} - krantinės darbo laiko koeficientas, kuriuo įvertinamas prastovų laikas dėl meteorologinių veiksnių (dažniausiai priimamas apie 0,5);

$k_{u\acute{z}}$ - koeficientas, kuriuo įvertinamas krantinės užimtumas, atliekant iškrovimo ir pakrovimo darbus bei pagalbines operacijas (paprastai priimamas apie 0,3);

t_l - krantinės užimtumo laikas (valandomis), vykdant krovos operacijas;

t_{pag} - krantinės užimtumo laikas (valandomis), vykdant pagalbines operacijas laivo pakrovimo metu (daugelyje uostų paprastai priimamas apie 12 val.).

Krantinės užimtumo laikas, vykdant krovos operacijas, skaičiuojamas formule:

$$t_l = \frac{D_l \cdot \alpha}{M_l} \quad (12)$$

Čia: M_l - projektinė laivo pakrovos valandinė norma (skaičiuojama pagal krovos įrangos darbo intensyvumą, TEU/val).

Svarbus planuojamo terminalo pajėgumo, atsižvelgiant į numatomus krovinių srautus, ir konkrečių parametrų laivų kiekio, kuris būtinas krovinių srautui vežti, ryšys. Nustačius terminalo pajėgumą ir laivų, kurie veš numatytą krovinių kiekį parametrus bendras laivų skaičius gali būti apskaičiuotas formule²⁹:

$$n_L = \frac{Q_{met}}{Q_L \cdot f_L} \quad (13)$$

Čia: Q_{met} - terminale planuojamas krovinių srautas;

²⁸ Paulauskas, V. Uostų terminalų planavimas. Klaipėdos universiteto leidykla: 2004 m

²⁹ Paulauskas, V. Uostų terminalų planavimas. Klaipėdos universiteto leidykla: 2004 m

Q_L - vidutinė vieno laivo krovinių talpa;

f_L - laivų apkrovos pataisa, įvertinant stochastinį transportavimo procesų pobūdį; specialių laivų jis gali būti iki 0,9, nespecialių laivų apie 0,60-0,80.

Apskaičiavus būtiną laivų kiekį planuojamam krovinių srautui per metus, reikia apskaičiuoti superstruktūros (krovos darbų technikos) kiekį, siekiant tinkamai aptarnauti laivus. Reikiamas technikos kiekis krovos darbams atlikti turi būti suderintas su planuojamu terminalo darbo našumu. Terminalo paros darbo našumas (q_p) gali būti apskaičiuotas formule:

$$q_p = \frac{Q_{met}}{365 \cdot f_T} \quad (14)$$

Čia: f_T - terminalo darbo laiko mažinimo dėl įvairių trukdžių (oro sąlygų, laivų atplaukimo neperiodiškumo, trukdžių, susijusių su kitomis transporto sistemomis bei neperiodišku krovinių srautu) koeficientas. Įvertinus galimus trukdžius, terminalo darbo laiko mažinimo koeficientas 0,45-0,50.

Laivo arba laivų pakrovimo laikas terminale sudarys:

$$T_L = \frac{Q_L}{q_p} \cdot f_L \quad (15)$$

Būtinasis laivų kiekis yra lygus n_L . Bendras laivų krovimo laikas, būtinasis planuojamam krovinių kiekiui perkrauti terminale bus lygus:

$$\sum T_L = T_L \cdot n_L \quad (16)$$

Skaičiuojant būtiną terminalo krantinių ilgį už pagrindą imamas krantinės pralaidumas per konkretų laiko tarpą. Dažniausiai priimamas terminalo krantinės pralaidumas per mėnesį arba savaitę. Taigi atsižvelgiant į laivų kiekį vienu metu prie krantinės ir į jų ilgį, terminalo krantinės ilgis gali būti apskaičiuojamas:

$$L_T = (L_L \cdot n_L) \cdot k_L \quad (17)$$

Čia: L_L – skaičiuojamojo (planuojamo) laivo ilgis;

n_L – laivų skaičius prie krantinės vienu metu (imamas tik lygus skaičius);

k_L – krantinės ilgio pataisos koeficientas, kuris priklauso nuo laivų dydžio (tarp laivų būtinas tarpas, taip pat tarpas tarp pirmo ir paskutinio laivo kraštutinių taškų ir krantinės švartavimo stulpelių; imamas 1,1-1,2).

Infrastruktūra yra viena iš svarbiausių terminalo statybos sudedamųjų dalių. Norint tinkamai įvertinti, kokia infrastruktūra reikalinga nustatomi laivai, kurie švartuos prie krantinės ir kokie krovinių kiekiai bus perkraunami. Tinkamai apskaičiuotas krantinės ilgis, gylis prie jos, bei krantinės pralaidumas ir apkrovimas leidžia užtikrinti, kad jos eksploatavimas vyks saugiai.

3.3. Kanalo parametrų skaičiavimo metodika

Kanalo plotis – tai minimalus kanalo plotis per visą jo ilgį, jis skaičiuojamas atsižvelgiant į didžiausią skaičiuojamąjį laivą. Jeigu kanalas tiesus, jo plotis skaičiuojamas maksimalaus skaičiuojamojo laivo plaukimo juostos, kuri gali būti apskaičiuota remiantis žinomomis priklausomybėmis arba standartais, pagrindu. Taikant laivo valdymo teorijos metodus, minimalus uosto įplaukos kanalo plotis gali būti apskaičiuojamas pagal formulę³⁰:

$$B_k = L \cdot \sin \beta + B \cdot \cos \beta + L \cdot \sin \Delta K + P' \sigma_y + b_n, \quad (18)$$

Čia: L – laivo ilgis tarp statmenų;

B – laivo plotis;

β – laivo dreifo kampas plaukiant kanalu;

ΔK – laivo krypavimo kampas apie kursą plaukiant kanalu, priimamas tarp $1,0^\circ$ - $1,5^\circ$

b_n – navigacinė atsarga, priklausanti nuo kanalo šlaitų tikslumo;

P' - tikimybinis aprūpinimo koeficientas; laivavedyboje priimamas 95 %, todėl $P' = 2,5$;

σ_y – laivo vietos nustatymo kanalo ašies atžvilgiu tikslumas, pavyzdžiui, vedlinės jautrumas

Laivo dreifo kampas, plaukiant įplaukos kanalu, priklauso nuo išorinių hidrometeorologinių veiksnių: vėjo krypties ir greičio, srovės krypties ir greičio, bangavimo krypties ir bangos aukščio bei laivo plaukimo greičio. Tada laivo dreifo kampas gali būti taip apskaičiuotas:

$$\beta = \arctg \frac{v_d}{v}, \quad (19)$$

Čia: v – laivo greitis kanale, priimtas 6 mazgai;

³⁰ Paulauskas, V. Uostų terminalų planavimas. Klaipėdos universiteto leidykla: 2004 m

v_d - laivo dreifo greitis, įvertinant vėjo poveikį apskaičiuojamas:

$$v_d = v_a \cdot \sqrt{\frac{C_a \cdot \rho_1 \cdot S_x}{C_y \cdot \rho \cdot F_d}}, \quad (20)$$

Čia: v_a - vėjo greitis; galima remtis hidrometeorologiniais arba kitais žinynais arba priimti leistiną maksimalų:

C_a - aerodinaminis koeficientas, daugeliu atvejų skaičiuojant gali būti priimtas apie 1,2;

ρ_1 - oro tankis; skaičiuojant imamas $1,25 \text{ kg/m}^3$;

S_x - skaičiuojamojo maksimalaus laivo viršvandeninės dalies buringumo ploto projekcija į laivo vidurinę plokštumą, kuri apskaičiuojama:

$$S_x = 2 \cdot H \cdot (L + 0,5 \cdot B) \quad (21)$$

C_y - hidrodinaminis koeficientas, priimant laivo korpusą kaip plokštę aptakiais kraštais, išdėstyta skersai srauto; C_y gali būti priimtas apie 1,2-1,5 (didesnė koeficiento reikšmė taikoma laivams, turintiems daugiau negu vieną sraigatą ir bortinius kilius);

ρ – vandens tankis, kuris priklauso nuo vandens sūrumo; gėlo vandens tankis lygus 1000 kg/m^3 ; jūros vandens – iki 1027 kg/m^3 ;

F_d – laivo povandeninės dalies projekcijos dalies projekcijos į vidurinę plokštumą plotas, skaičiuojant gali būti priimtas kaip:

$$F_d = \gamma \cdot L \cdot T, \quad (22)$$

Čia: T – laivo vidutinė grimzlė;

γ - povandeninės laivo dalies vidurinės plokštumos pilnumo koeficientas; gali būti priimtas nuo 0,95 iki 1,0; didesnė koeficiento reikšmė atitinka dviejų sraigatų laivus ir laivus su bulbu;

Navigacinė atsarga, reiškianti kanalo šlaitų poziciją ir galimą jų pasikeitimą yra priimta po 0,25B į kiekvieną kanalo pusę, kadangi uostas turi galimybę pakankamai tiksliai realiu laiku išmatuoti laivybos kanalų parametrus, t.y. iš viso 0,5B (skaičiuojamojo laivo pločio).

Laivo vietos nustatymo tikslumas kanalo ašies atžvilgiu, naudojantis turima vedlinių sistema, bujomis bei šiuolaikine RTK (Real time kinematic) sistema, sudaro apie 3-5 m³¹.

³¹ Paulauskas, V. Uostų terminalų planavimas. Klaipėdos universiteto leidykla: 2004 m

Siekiant nustatyti būtina uosto kanalo gylį svarbu įvertinti daugelį veiksnių, kurie turi įtakos laivybos saugumui. Gylis skaičiuojamas atsižvelgiant į:

- maksimalią laivo grimzlę;
- gylio matavimo tikslumą;
- vandens lygį ir galimą jo pokytį;
- laivo „prasėdimą“ dėl greičio;
- galimą laivo grimzlės padidėjimą dėl laivo išilginio ir šoninio posvyrio;
- navigacinę atsargą, kuri apima galimus dugno pokyčius.

Taigi bendra minimalaus būtino gylio skaičiavimo formulė atrodo taip:

$$H_{min} = T + \Delta T_V + \Delta T_\theta + \Delta T_\psi + \Delta H_m + \Delta H_{V.L} + \Delta H_{\Delta V.L} + \Delta H_n, \quad (23)$$

Čia: T - maksimali laivo grimzlė;

ΔT_V - laivo grimzlės padidėjimas dėl prasėdimo (greičio);

ΔT_θ - laivo grimzlės padidėjimas dėl pasvirimo;

ΔT_ψ - laivo grimzlės padidėjimas dėl bangavimo poveikio;

ΔH_m - gylio matavimo tikslumas;

$\Delta H_{V.L}$ - vandens lygis konkrečioje uosto vietoje;

$\Delta H_{\Delta V.L}$ - vandens lygio matavimo tikslumas;

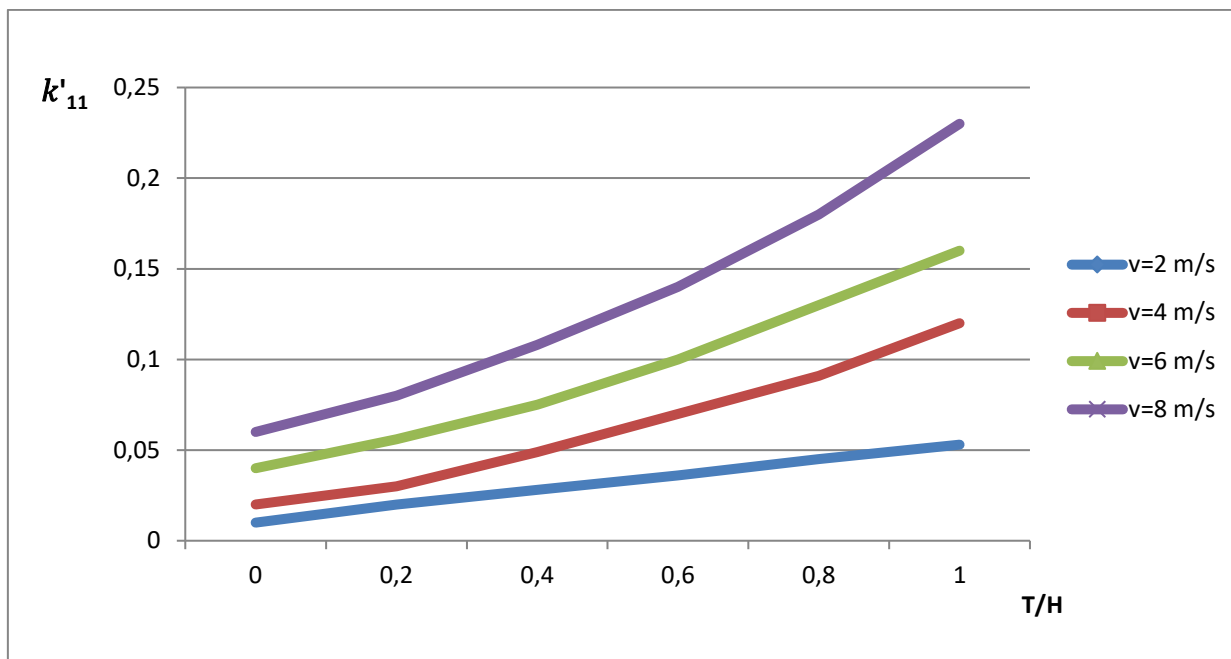
ΔH_n - navigacinė atsarga.

Skaičiuojamoji laivo grimzlė pasirenkama priešprojektinėje stadijoje, orientuojantis į didžiausią skaičiuojamąją laivo grimzlę. Laivo grimzlės padidėjimas dėl padidėjusio laivo judėjimo greičio priimamas didžiausiam skaičiuojamajam laivui, nustatant sąlyga, kad susiklosčius ekstremalioms sąlygoms greitis gali būti 1,3-1,5 karto didesnis už leistiną maksimalų greitį uoste.

Laivo grimzlės padidėjimas dėl plaukimo greičio, įvertinus pridėtosios skysčio masės pokytį esant mažam gyliui, gali būti apskaičiuotas pagal formulę:

$$\Delta T_V = \frac{T_S}{T} = \sqrt{\frac{1 + k_{11}^1}{1 + k_{11}}}, \quad (24)$$

Čia: k_{11} ir k_{11}^1 – pridėtosios skysčio masės koeficientas esant dideliame gyliui ir seklumoje;



12 pav. Pridėtosios skysčio masės koeficiento k'_{11} priklausomumas nuo T/H santykio ir laivo plaukimo greičio v

Laivo grimzlės padidėjimas dėl laivo pasvirimo skaičiuojamas pagal formulę:

$$\Delta T_{\theta} = \left(\frac{B}{2} - R' \right) \cdot \operatorname{tg} \theta, \quad (25)$$

Čia: θ – laivo pasvirimo kampas; kai šoninis vėjas yra apie 12 m/s, didelių laivų pasvirimo kampas gali sudaryti iki 2° ;

R' - laivo korpuso vidurinės dalies užapvalinimo spindulys nustatomas pagal klasifikacinių bendrovių taisykles ir skaičiuojamas pagal formulę:

$$R' = 1,525 \cdot \sqrt{(1 - \gamma) \cdot B \cdot T}, \quad (26)$$

Čia: γ - midelio plokštumos pilnumo koeficientas; didelių laivų koeficientas dažnai priimamas apie 0,95.

Laivo grimzlės padidėjimas dėl posvyrio gali būti įvertintas kaip:

$$\Delta T_{\psi} = \frac{L}{2} \operatorname{tg} \psi, \quad (27)$$

Čia: ψ - laivo posvyrio kampas; kai uostuose vyrauja ribiniai gyliai, laivus stengiamasi pakrauti taip, kad nebūtų posvyrio, beje, reikia žinoti, kad dėl paskirų laivų tam tikrų konstrukcinių savybių jie turi

vadinamąjį konstrukcinį posvyrį, kuris paprastai būna ne didesnis kaip $0,2^\circ$ - $0,3^\circ$ (pakrauto laivo). Laivui plaukiant įplaukos kanalu, kur ryškus bangos poveikis, laivo posvyris susidaro dėl bangos poveikio, kurį galima vertinti kaip bangos aukščio ir ilgio santykinio laivo ilgio santykį, kurį galima apskaičiuoti pagal formulę:

$$tg\psi = \frac{h_B}{0,5L} \cdot \sqrt{\frac{\lambda_B}{L \cdot \cos q_B}} \quad (28)$$

Čia: h_B – angos aukštis;

λ_B – bangos ilgis;

q_B – bangos kurso kampas.

Gylio matavimo tikslumas (ΔH_m) ir patikimumas yra labai svarbūs nustatant galimą arba būtiną klirensą. Šiuolaikinė gylio matavimo technika, vertikaliai ir horizontaliai skenuojant dugną, 200 Hz arba didesniu dažniu, gali išmatuoti kanalo arba akvatorijos dugną +5 cm tikslumu, užfiksuoti kliūtis, kurių skersmuo yra 15-20 cm, atskirti dugno grunto tipą (sąnašos, smėlis, morena, uoliena ir panašiai, kai lengvo grunto storis siekia iki 2-3 metrų)³².

Vandens lygio konkrečioje uosto vietoje konkrečiu metu matavimo tikslumas sudaro iki 0,2 m, nors įrengus šiuolaikinę vandens lygio matavimo įrangą keliose uosto vietose, matavimo tikslumas gali siekti iki 0,05 m.

Navigacinė gylio atsarga (ΔH_n) įvertina galimus netikslumus ir trumpalaikius pokyčius, atsižvelgiant į uosto gylio matavimo galimybes bei nenumatytus pokyčius. Navigacinė atsarga nustatoma, atsižvelgiant į matavimo dažnį, tikslumą, dugno užnešimą ir kitus sudėtingus reiškinius, todėl įvairiuose uostuose ji yra skirtinga. Klaipėdos uosto sąlygomis, įvertinus iki šiol naudotą gilavimo darbų techniką, galimą dugno užnešimą ir periodinį dugno valymą, gali būti priimta ne mažesnė kaip 0,5 m.

3.4. Apsisukimo baseino parametrų skaičiavimo metodika

Planuojant uosto akvatorijos parametrus laivų manevrinių galimybių atžvilgiu, paprastai akvatorija specialiai neplatinama, išskyrus būtinas laivų apsisukimų vietas. Kai laivas pats, be

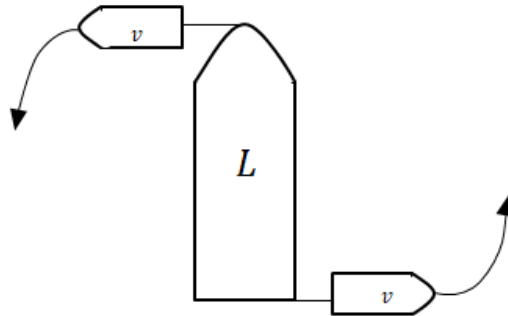
³²file:///C:/Users/Asus/Desktop/2013-10%20Laivybos%20salygos%20ir%20navigaciniai%20poreikiai_V.Paulauskas_galutine%20ataskaita.pdf

pašalinės pagalbos, saugiai negali apsisukti, būtina paruošti apsisukimo baseiną, kurio skersmuo negali būti mažesnis kaip³³:

$$D_B = L + 0,1L + 2B_V = 1,1L + 2B_V, \quad (29)$$

Čia: L – maksimalus ilgiausio skaičiuojamojo laivo ilgis;

B_V – maksimalus vilkiko plotis;



13 pav. Laivų apsisukimo vietos fragmentas

Norint uoste užtikrinti laivybos saugumą ir optimizuoti investicijas į uosto kanalų bei akvatorijų plėtrą, svarbu nustatyti optimalų kanalo plotį. Įvertinus galimų maksimalių laivų, kurie plauks į uostą, parametrus, būtina numatyti pagrindines laivų apsisukimo baseinų sąlygas: turi užtikrinti navigacinį saugumą laivui apsisukant arba jį apskant su vilkikais; turi būti minimaliai nutolę nuo krantinių, kad laivo plaukimo atbuline eiga kelias nuo apsisukimo baseino iki krantinės būtų minimalus, paskirais atvejais gali būti ribojamos hidrometeorologinės sąlygos ir didinamas naudojamų vilkikų galingumas; kuo mažiau trukdoma kitiems laivams, kurie nesinaudoja apsisukimo baseinu.

³³ 32 nd PIANC Congress 125th Anniversary, Liverpool, UK, 10-14 May 2010

4. UOSTO INFRASTRUKTŪROS ELEMENTŲ SKAIČIAVIMAI

Šiame skyriuje pateikiami detalizuoti prognozuojamo krovinių srauto ir infrastruktūros elementų parametrų skaičiavimai. Remiantis pasirinktomis metodikomis ir informaciniais šaltiniais stengiamasi įvertinti planuojamą krovinių srautą, bei pateikti veiksnių identifikavimą, kurie daugiausiai lemia krovinių srautų pokyčius. Toliau pateikiamas pagrindinių infrastruktūros elementų parinkimas ir parametrų skaičiavimas.

4.1. Krovinių srautų prognozavimo daugiakriteriniu būdu skaičiavimai

Esamų ir būsimų srautų analizė yra itin naudinga siekiant įvertinti įvairiausius faktorius, lėmusius srautų teigiamus ir neigiamus pokyčius. Tačiau vien praeities ir esamų srautų analizės neužtenka. Susumavus šiuos duomenis ir pasitelkiant matematinius metodus, galima įvertinti srautą tam tikram ateities laikotarpiui, žinoma, srautų prognozavimo matematiniai metodai negarantuoja 100% tikslumo, tačiau tai žingsnis į priekį ir padeda susidaryti bent preliminarų prognozuojamo srauto bendrąjį vaizdą.

Skaičiavimuose naudojama paskutinių 5-ių metų Klaipėdos uosto konteinerių krovos statistika, kuri pateikta lentelėje žemiau.

1 lentelė. Konteinerių krovos dinamika Klaipėdos uoste

Metai	2017	2018	2019	2020	2021
Konteinerių kiekis, tūkst. TEU	472	750	703	640	667

Pasitelkus metodinėje dalyje aprašytu daugiakriteriniu prognozavimo metodu apskaičiuojama konteinerių srautų prognozė. Daugiakriterinis krovinių srautų prognozavimo būdas įvertina įvairių veiksnių įtaką srautams. Veiksnių svoriai nustatyti taikant ekspertinę nuomonę ir įvertinus Pasaulio banko ir Lietuvos banko duomenis. Konteinerių srautams įtakos daro šie veiksniai, kartu tai ir svorio koeficientai (K_m):

- globali ekonominė situacija – 0,45
- šalies ekonominė ir politinė situacija – 0,25
- transporto sistemos pajėgumai – 0,2
- konkurentų veiksniai – 0,1

Toliau norint prognozuoti krovinių srautą ateinantiems metams reikia įvertinti santykinis veiksniai, kurie pateikiami lentelėse žemiau.

2 lentelė. Konteinerių transporto prognozės dėl bendros visuotinės ekonominės situacijos (F_{m1})

Metai	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Konteinerių poreikio prieaugis %	0.4	0.4	0.4	0.4	0.41	0.4	0.43	0.44	0.45	0.45

Konteinerių poreikį labiausiai įtakoja besikeičianti pasaulinė rinka. Baltijos jūros regionui įtaką daro ir politinė situacija, nes daugiausia konteinerinių laivų plaukia į Rusijos uostus. Dėl esamos padėties, kai dauguma didžiųjų konteinerinių linijų sustabdė krovinių gabenimą, skirtų Rusijos ir Baltarusijos rinkoms, bendras konteinerių poreikis nuo 2022 iki 2024 mažėja. Priimant prielaidą, kad karas Ukrainoje baigsis iki 2025 metų, galima teigti, kad konteinerių poreikis turi didėti, nes norint atkurti karo metu sunaikintą šalies infrastruktūrą ir superstruktūrą reiks žaliavų, kurios galės būti gabenamos per Klaipėdos uostą.

3 lentelė. Planuojamas šalies BVP pokytis (F_{m2})

Metai	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Šalies BVP	0.38	0.27	0.27	0.3	0.3	0.2	0.21	0.24	0.25	0.26

Konteinerių vežimai paprastai atitinka BVP, prekybos ir transporto tarpusavio santykio taisyklę, t.y. 1:2:3. Tarkim, kas metų įvyksta ekonominės krizės ir bendras šalių BVP neauga 2-3 metus. Šalies BVP po krizės atsigauna palaipsniui.

4 lentelė. Transporto sistemos konteinerizuotiems kroviniams santykiniai veiksniai (F_{m3})

Metai	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Konteinerių gabenimo galimybės	0.6	0.5	0.6	0.8	0.8	0.8	0.9	1	1	1

Šiuo metu Klaipėdos uoste planuojami esamų konteinerių terminalų pajėgumų didinimai. Klaipėdos uoste veikiantis MSC distribucinis terminalas dirba su naujais 4 servisais, dėl ko gabenimo galimybės per Klaipėdos uostą gerėja. Šiam pajėgumų padidinimui bus reikalinga atlikti terminalo plėtros darbus, bei išorinio uosto statybą. Priimant tikimybę, kad bus planuojama tolimesnė esamų terminalų plėtra, galima preliminariai įvertinti transporto sistemos santykinę reikšmę konteinerizuotiems kroviniams.

5 lentelė. Gyventojų skaičiaus ir perkamosios galios santykiniai veiksniai (F_{m4})

Metai	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Gyventojų skaičiaus, perkamosios galios prieaugis	0.42	0.47	0.46	0.45	0.45	0.48	0.49	0.5	0.49	0.5

Kiti papildomi veiksniai dažnai yra svarbūs, jei šalia yra sunkiai prognozuojamų šalių, kuriose kartais priimami su rinkos sąlygomis nesuderinami sprendimai, apsunkinantys krovinių, ypač tokių kaip konteinerių vežimą. Vienas iš papildomų veiksnių – gyventojų kiekis ir jų perkamoji galia. Statistika rodo, kad Lietuvoje gyventojų mažėja, tačiau paskutiniu metu gyventojų kiekis didėja dėl naujų gyventojų iš Ukrainos. Šis žmonių didėjimas prisideda prie perkamosios galios didėjimo.

Remiantis visais šiais turimais dydžiais, ir pasinaudojus 2 formule apskaičiuojame daugiakriterinio prognozavimo koeficientą M .

$$M_1 = (0,45 \cdot 0,4) = 2,16$$

Kiti skaičiavimai atliekami analogiškai. Rezultatai pateikiami 6-oje lentelėje.

6 lentelė. Daugiakriterinio prognozavimo koeficientai

Metai	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
$K_1 \cdot F_1$	0.18	0.18	0.18	0.18	0.1845	0.18	0.1935	0.198	0.2025	0.2025
$K_2 \cdot F_2$	0.095	0.0675	0.0675	0.075	0.075	0.05	0.0525	0.06	0.0625	0.065
$K_3 \cdot F_3$	0.12	0.1	0.12	0.16	0.16	0.16	0.18	0.2	0.2	0.2
$K_4 \cdot F_4$	0.042	0.047	0.046	0.045	0.045	0.048	0.049	0.05	0.049	0.05
$\sum M$	0.437	0.3945	0.4135	0.46	0.4645	0.438	0.475	0.508	0.514	0.5175

Toliau apskaičiuojami prognozavimo koeficientai b_i , naudojantis 3 formule:

$$b_1 = \frac{(750000 - 472000)}{1} = 278000$$

Analogiškai apskaičiuojamos kitų koeficientų b_2 , b_3 , b_4 reikšmės. Apskaičiuotos reikšmės surašomos į 7 lentelę.

7 lentelė. Netolygumo koeficientai

b_1	b_2	b_3	b_4
278000	115500	56000	48750

Visų apskaičiuotų netolygumo koeficientų vidurkis yra lygus bendram netolygumo koeficientui, kuris randamas pagal 4 formulę:

$$b = \frac{278000 + 115500 + 56000 + 48750}{4} = 124563$$

Apskaičiavus bendrą netolygumo koeficientą ir daugiakriterinio prognozavimo koeficientą, toliau pagal 1 formulę galime apskaičiuoti planuojamą konteinerių srautą iki 2031 metų.

$$Q_{2022} = (472000 + (124563 \cdot 1)) \cdot 0,44 = 345913 \text{ TEU}$$

Kiti skaičiavimai atliekami analogiškai. Rezultatai pateikiami lentelėje žemiau.

8 lentelė. Konteinerių srauto prognozė iki 2031 metų

Metai	2022	2023	2024	2025	2026
Q, TEU	345913	361411	430324	536015	599118
Metai	2027	2028	2029	2030	2031
Q, TEU	619496	730995	845058	919064	989783

Apskaičiuota prognozė gali nesutapti su būsima realia situacija, todėl būtina apskaičiuoti prognozės ribas, t. y. paklaidą. Visų pirma pagal 5 formulę yra apskaičiuojamas mūsų turimos statistikos matematinis vidurkis:

$$m_{yi} = \frac{1}{5} (472 + 750 + 703 + 640 + 667) = 646,4 \text{ tūkst. TEU}$$

Turint statistikos vidurkį, pagal 7, 6 formulę galima apskaičiuoti atsitiktinių dydžių dispersija:

$$\sigma_{yi}^2 = \frac{(472000 - 646400)^2 + \dots + (472000 - 646400)^2}{5 - 1} = 11204300000$$

Galiausiai apskaičiuojamas turimų dydžių vidutinė kvadratinė paklaida, pagal 8 formulę:

$$e = \sqrt{11204300000} = \pm 105850 \text{ TEU}$$

Optimistinis ir pesimistinis krovinių srautas ateinantiems metams Klaipėdos uostui skaičiuojamas pagal 9 ir 10 formules:

$$Q_{opt(2022)} = 345913 + 105850 = 451763 \text{ TEU}$$

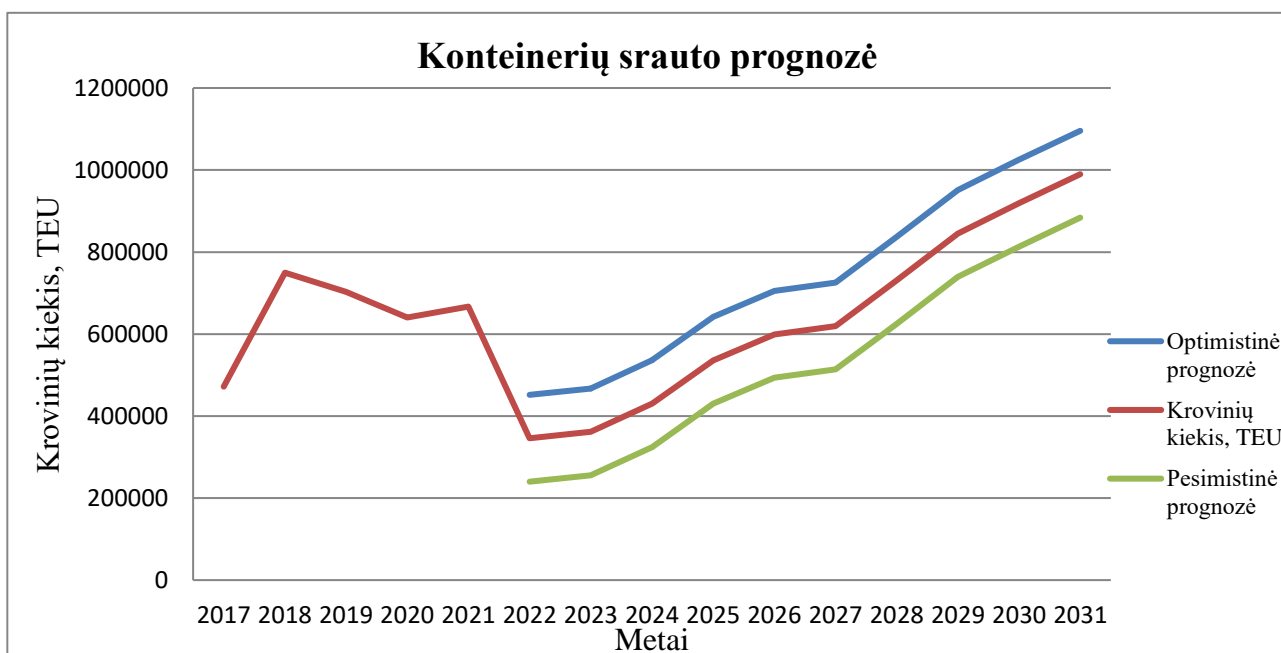
$$Q_{pes(2022)} = 345913 - 105850 = 240063 \text{ TEU}$$

Kiti skaičiavimai atliekami analogiškai ir yra pareikiami lentelėje žemiau.

9 lentelė. Krovinių srauto optimistinė ir pesimistinė prognozės

Metai	2022	2023	2024	2025	2026
Q_{opt}, TEU	451763	467261	536174	641865	704968
Q_{pes}, TEU	240063	255561	324474	430165	493268
Metai	2027	2028	2029	2030	2031
Q_{opt}, TEU	725346	836845	950908	1024914	1095633
Q_{pes}, TEU	513646	625145	739208	813214	883933

Turint visus prognozės rodiklius, juos pavaizduojame grafiškai.



14 pav. Konteinerių srauto prognozė

Iš gauto grafiko matoma, kad nuo 2021 metų prognozuojamas konteinerinių krovinių kiekio mažėjimas, staigus kritimas, kuris galimai atsiranda dėl sudėtingos pasaulio politinės situacijos ir stabdomų krovinių skirtų Baltarusijos ir Rusijos rinkoms. Krovinių kiekio mažėjimą lemia ir prastėjanti pasaulio ekonominė situacija – artėjantis krizinis laikotarpis. Pagal grafiką matyti, kad nuo 2027 metų krovinių kiekis turėtų pradėti kilti ir viršyti prieš tai buvusius maksimalius krovinių kiekius, kas leidžia teigti, kad didesnių kiekių apdorojimui bus reikalingi nauji, didesnis uosto pajėgumai. Prognozė atlikta ilgam laikotarpiui - 10-čiai metų, todėl siekiant tikslesnių rezultatų reikėtų atlikti patikslinančius skaičiavimus kasmet.

4.2. Uosto krantinių ilgių skaičiavimai

Pagrindinis uosto infrastruktūros elementas – krantinė. Siekiant tinkamai įvertinti jos panaudojimą ir eksploatavimą skaičiavimai siejami su laivais, kurie naudosis ja. Išanalizavus literatūros šaltinius ir atlikus Baltmax tipo konteinerinių laivų, galinčių įplaukti į Baltijos jūrą analizę, pasirinktas vienas optimaliausias konteinerinis laivas – MAERSK MC KINNEY MOLLER. Šio laivo parametrai bus priimti skaičiavimuose kaip skaičiuojamojo laivo.

10 lentelė. Skaičiuojamojo laivo duomenys

Talpa, TEU	Ilgis, m	Ilgis tarp statmenų, m	Plotis, m	Maksimali grimzlė, m	Borto aukštis, m
18270	399	376,21	59	16.9	30.3

Kiti svarbūs duomenys, kurių reikia skaičiavimams – Klaipėdos uosto akvatorijos ir grunto duomenys. Šiuo duomenis susirenkame iš internetinių viešai prieinamų šaltinių.

11 lentelė. Klaipėdos uosto duomenys skaičiavimams

Grunto tipas	Smėlis ir priemolis
Vidutinis jūros gylis prie uosto vartų	17.5 m

Vienas iš sudėtingiausių procesų uosto infrastruktūros įrengime – tinkamos krantinės tipo parinkimas. Kadangi darbas atliekamas projektuojant konteinerių terminalą išoriniame uoste, labai svarbu nustatyti, kokio tipo krantinė yra optimaliausia. Išorinio uosto statyba vykdoma vandenyje, tai reiškia, kad visa infrastruktūra turi būti sukurta taip, kad būtų saugi ir patikima. Klaipėdos uosto variantu, krantinės statybai tinka tik gravitacinės krantinės, nes sausumos ruožo tinkamo polinių

krantinių statybai nėra. Planuojamam terminalui parinkta gravitacinė krantinė iš masyvų gigantų. Šio tipo krantinės yra patvarios, gali atlaikyti dideles apkrovas.

Pirmiausia norint tiksliausiai apskaičiuoti planuojamo terminalo krantinės parametrus, be laivo duomenų reikia įvertinti ir planuojamo terminalo pajėgumus. Nuo krantinės pralaidumo priklauso, kiek laivų vienu metu bus galima aptarnauti prie vienos krantinės ir kiek krantinių reikės optimaliam terminalo darbui. Planuojamą krantinės užimtumo laiko normą, vykdant konteinerių pakrovimą/iškrovimą priimame pagal planuojamą įrangos darbo intensyvumą – planuojama, kad kranai per valandą bus pajėgūs perkrauti 100 TEU/val. Visus duomenis susstatome į 12 formulę.

$$t_l = \frac{18270 \cdot 0,9}{100} = 164,43 \text{ val}$$

Toliau, naudojantis 11 formule, apskaičiuojame planuojamą mėnesinį krantinės pralaidumą. Papildomų operacijų laiką laivo paruošimui priimame 12 val., nes laivas yra vienas iš didžiųjų, laikas prieš jo iškrovimą, patikrinimai, įrangos paruošimas krovai tokiems laivams galimai užtrunka, laivo iškrova trunka ilgiau nei parą, tad įvertinamos ir krovikų pamainų pertraukos, pamainų pasikeitimas. Po iškrovimo, papildomai laiko trunka ir triumų paruošimas naujų krovinių priėmimui, laivo atsargų užpildymas, kuro užpildymas ir formalumų tvarkymas, prieš jam išplaukiant.

$$Q_{m\acute{e}n} = \frac{720 \cdot 18270 \cdot 0,9 \cdot 0,5 \cdot 0,3}{164,43 + 12} = 10065 \text{ TEU}$$

Toliau, naudojant 13 formulę skaičiuojame, kiek teoriškai, esant “tobuloms“ sąlygoms, laivų gali aptarnauti per metus ši krantinė.

$$n_L = \frac{12 \cdot 10065}{18270 \cdot 0,9} = 7,4 \approx 8 \text{ laivai}$$

Teoriniai duomenys ne visada atspindi faktinius, realius duomenis dėl daugelio rodiklių, kurių tiksliai įvertinti ne visada pavyksta. Apskaičiuotas laivų kiekis n_L rodo ne realią situaciją, o kiek krantinė pajėgi teoriškai laivų priimti per metus. Norint apskaičiuoti realių laivų skaičių, naudojama ta pati (13) formulė, tačiau imamas ne teorinis krantinės pralaidumas, o planuojamas realus metinis krantinės pralaidumas – konteinerių kiekis pagal 2031 metų optimistinę prognozę. Taip pat, naudojame vieno laivo talpą atsižvelgiant, kad laivas plukdo pilnus ir tuščius konteinerius, dėl ko jo gabenamų konteinerių kiekis sumažėja, lyginant su maksimaliu teoriniu kiekiu. Pagal turimus duomenis ir gautos optimistinės prognozės duomenis 2031 metams, krantinės pralaidumas:

$$n_L = \frac{1095633}{5000 \cdot 0,9} = 243,5 \approx 244 \text{ laivai}$$

Taip pat, svarbi krantinės charakteristika – terminalo paros darbo našumas. Šį dydį apskaičiuojame naudojantis 14 formule:

$$q_p = \frac{1095633}{365 \cdot 0,45} = 6670 \text{ TEU/parą}$$

Toliau žinodami paros našumą, naudodami 15 formulę apskaičiuojame laivų pakrovimo laiką terminale:

$$T_L = \frac{5000}{6670} \cdot 0,9 = 0,67 \text{ paros} \approx 16 \text{ val}$$

Žinodami, kiek laiko trunka laivų pakrovimas terminale ir kiek laivų planuojama aptarnauti, naudojantis 16 formule apskaičiuojame bendrą laivų krovos laiką, būtiną suplanuotam kiekiui perkrauti:

$$\sum T_L = 0,67 \cdot 244 = 164,62 \text{ parų/metus}$$

Galiausiai, žinodami, kad planuojama prie krantinės aptarnauti po du laivus – vieną Baltmax tipo laivą ir mažesnę fiderinę laivą, į kurią būtų vykdoma konteinerių krova tuo pačiu metu galime apskaičiuoti būtiną krantinės ilgį. Naudojame 17 formulę:

$$L_T = (399 \cdot 1 + 200) \cdot 1,2 = 718,8 \text{ m} \approx 719 \text{ m}$$

Pagal atliktus skaičiavimus nustatyta, kad norint vienu metu aptarnauti Baltmax tipo laivą ir fiderinę laivą, įvertinus papildomą atsargą krantinės ilgis turi būti ne mažesnis kaip 719 m. skaičiavimai atlikti naudojantis ne tik teoriniais laivo duomenimis, bet įvertinus ir faktorių, kad pakrautas pilnas laivas negali gabenti 187270 TEU konteinerių kiekio, apskaičiuotas krantinės ilgis artimesnis galimam realiam krantinės ilgiui.

4.3. Kanalo parametrų skaičiavimai

Navigacinio kanalo parametrai skaičiuojami pasirinktam skaičiuojamajam laivui, panaudojant pasirinktą metodiką ir įvertinant PIANC rekomendacijas.

Pirmiausia norint apskaičiuoti reikiamą minimalų kanalo plotį apskaičiuojame povandeninės laivo dalies projekcijos į vidurinę plokštumą plotą naudojantis 22 formule.

$$F_d = 0,97 \cdot 376,21 \cdot 16,9 = 6167,21 \text{ m}^2$$

Toliau apskaičiuojame ir viršvandeninės dalies projekcijos buringumo plotą naudojantis 21 formule.

$$S_x = 2 \cdot 30,3 \cdot (399 + 0,5 \cdot 59) = 25967,1 \text{ m}^2$$

Naudojantis Klaipėdos uosto vėjų rožių statistiniais duomenimis nustatyta, kad regione vyrauja vakarų krypties vėjai, kurie daro didžiausią įtaką laivybai uoste, ypač kai vėjas yra stiprus – štorminis. Skaičiavimuose priima vėjo greičio reikšmė 11 m/s.

Apskaičiavus projekcijų plotus, statome visus duomenis į 20 formulę ir apskaičiuojame laivo dreifo greitį.

$$v_d = 11 \cdot \sqrt{\frac{1,2 \cdot 1,25 \cdot 25967,1}{1,5 \cdot 1027 \cdot 6167,21}} = 0,70 \text{ m/s}$$

Toliau, naudojantis 19 formule, apskaičiuojame dreifo kampą:

$$\beta = \arctg \frac{0,7}{6} = 6,65^\circ$$

Laivo krypavimo kampą priimame pagal rekomendacijas 1,2°, o laivo vietos nustatymo tikslumą priimame optimaliai 3 metrus. Sustatome visus duomenis į 18 formulę ir apskaičiuojame minimalų navigacinio kanalo plotį.

$$B_k = 376,21 \cdot \sin 6,65 + 59 \cdot \cos 6,65 + 376,21 \cdot \sin 1,2 + 2,5 \cdot 3 + 0,5 \cdot 59 = 147 \text{ m}$$

Pagal atliktus skaičiavimus gaunama, kad minimalus, būtinas kanalo plotis šiam laivui – 147 m, tačiau pagal Klaipėdos kapitono nurodymus ir priimtas laivybos saugumo taisykles, laivybos kanalai tokio dydžio laivams priimami apie 250 m. Sekantis navigacinio kanalo parametras – gylis. Pirmiausia nustatome, kad santykis T/H pasirinktam skaičiuojamajam laivui yra 0,56. Toliau naudojantis pridėtosios skysčio masės grafiku (10 pav.) nustatome, kad esant 6 mazgų greičiui (apie 3 m/s), prie apskaičiuoto T/H santykio k'_{11} koeficiento reikšmė yra apie 0,05, o giliame vandenyje reikšmė yra apie 0,01. Sustatome duomenis į 24 formulę:

$$\Delta T_V = \frac{T_S}{T} = \sqrt{\frac{1 + 0,05}{1 + 0,01}} = 1,01 \text{ m}$$

Toliau norint apskaičiuoti laivo grimzlės padidėjimą dėl laivo pasvirimo, pirmiausia apskaičiuojame laivo korpuso vidurinės dalies užapvalinimo spindulį, naudojame 26 formulę:

$$R' = 1,525 \cdot \sqrt{(1 - 0,95) \cdot 59 \cdot 16,9} = 10,77 \text{ m}$$

Apskaičiavus užapvalinimo spindulį, sustatome duomenis į 25 formulę ir apskaičiuojame laivo grimzlės padidėjimą dėl laivo pasvirimo:

$$\Delta T_\theta = \left(\frac{59}{2} - 10,77 \right) \cdot \text{tg}2 = 0,65 \text{ m}$$

Sekantis dydis – laivo grimzlės padidėjimas dėl posvyrio. Priimama, kad uosto akvatorijoje bangos poveikis neryškus, ir pasvirimo kampas nesudaro daugiau nei $0,3^\circ$. Šį dydį apskaičiuojame naudojantis 27 formule:

$$\Delta T_\psi = \frac{399}{2} \text{tg}0,3 = 1,04 \text{ m}$$

Gylio matavimo tikslumas, dėl šiuolaikinės modernios įrangos yra gana tikslus ir sudaro apie 0,1-0,2 m. Skaičiavimuose priimame 0,1 m. Vandens lygio konkrečioje uosto vietoje koeficientą skaičiavimuose priimame kaip 0,2 m. Navigacinė atsarga Klaipėdos uoste priimama ne mažesnė kaip 0,5 m.

Toliu, įvertiname, kad šiuo metu per Didžiojo Belto sąsiaurį pravedami laivai, kurių grimzlė neviršija 15 m., tad skaičiavimuose priimame šį dydį skaičiuojant minimalų kanalo gylį. Tai reiškia, kad laivas gali pakrautas ne pilnai, o tiek, kad jo grimzlė neviršytų leidžiamų ribų.

Apskaičiavus visus dydžius, sustatome juos į 23 formulę ir apskaičiuojame minimalų navigacinio kanalo gylį:

$$H_{min} = 15 + 1,01 + 0,65 + 1,04 + 0,1 + 0,2 + 0,5 = 18,5 \text{ m}$$

Atlikti skaičiavimai rodo, kad pasirinktam skaičiuojamajam laivui, kurio ilgis yra 399 m, plotis 59 m ir grimzlė 15 m, jam plaukiant 6 mazgų greičiu, būtinas laivybos kanalo gylis privalo būti ne mažesnis nei 18,5 m. Šiuo metu didžiausias gylis prie uosto vartų planuojamas apie 17,5 metro. Pasirinktas laivas būtų aptarnaujamas ne esamo uosto akvatorijoje, o naujame išoriniame uoste

įrengtame terminale, kur vandens gylis yra didesnis, tačiau nepakankamas tokio dydžio laivui – norint aptarnauti šį laivą bus reikalingas papildomas akvatorijos gilinimas.

4.4. Apsisukimo baseino parametrų skaičiavimai

Kitas terminalo infrastruktūrai priskiriamas parametras – apsisukimo baseinas. Jo dydis skaičiuojamas priimant, kad tokio dydžio laivą veda du vilkikai – vienas priekyje ir kitas iš galo. Klaipėdos uoste ilgiausi naudojami vilkikai – “KLASCO-1“ ir “KLASCO-2“. Šių vilkikų plotis – 10,1 m. Būtiną apsisukimo baseino diametrą apskaičiuojame naudojantis 29 formule:

$$D_B = 1,1 \cdot 399 + 2 \cdot 10,1 = 459,1 \text{ m} \approx 460 \text{ m}$$

Toliau, turėdami apsisukimo baseino spindulį galime jį suprojektuoti, kaip grafiškai jis atrodytų ir kurioje vietoje jis būtų.



15 pav. Planuojamas išorinis uostas su apsisukimo baseinu

Matome, kad saugiam laivo manevravimui reikalinga akvatorijos vieta, kuri būtų mažiausiai 439 m diametro. Kadangi terminalas planuojamas esamo uosto išorėje – ne Kuršių Nerijos akvatorijoje, apsisukimo baseinui su apskaičiuotu diametru vietos parinkimui didelių apribojimų nėra. Pagal pateiktą bendrą išorinio uosto projekciją, apsisukimo baseino vieta parinkta prie planuojamo terminalo krantinės – plačiausioje išorinio uosto akvatorijos vietoje. Visas naujasis uostas turėtų būti apsaugotas naujais bangolaužiais, kad būtų galima saugiai atlikti visas operacijas.

IŠVADOS

1. Išanalizavus išorinio uosto koncepciją nustatyta, kad jo realizavimas padėtų išspręsti perpildytų konteinerių terminalų problemą, jis būtų naudojamas pavojingų ir dulkių krovinių sandėliavimui, pagerintų tranzito laiką ir padėtų pritraukti naujus konteinerių linijų operatorius;
2. Atlikus skaičiavimus nustatyta, kad planuojamo laivybos kanalo minimalūs parametrai turi būti: plotis - 147 m (pagal KVJU kapitono rekomendacijas plotis apie 250 m.) ir gylis 18,5 m., akvatorijos gilinimas bus reikalingas;
3. Atlikus krovinių prognozę iki 2031 metų nustatyta, kad konteinerių srautas turėtų augti. Pagal optimistinę prognozę krovinių kiekis turėtų pasiekti 1095633 TEU, o pagal pesimistinę prognozę – 883933 TEU;
4. Atlikus krantinių analizę terminalui parinkta gravitacinė masyvų-gigantų krantinė, kurios ilgis minimaliai turėtų būti 719 m;
5. Apskaičiuota, kad minimalus apsisukimo baseino diametras laivui, kurio ilgis 399 m. ir plotis 59 m., turi būti ne mažesnis nei 460 m.

LITERATŪRA

1. Paulauskas V. Srautų tyrimo metodika. Klaipėda: KU leidykla. 2002. 32 p.;
2. Paulauskas V. Uostų vystymas ir logistika. Klaipėda: KU leidykla. 1998. 162 p.;
3. Paulauskas, V. Uostų terminalų planavimas. Klaipėda: KU leidykla. 2004 m. 382 p.;
4. Ibrahim Ari, Vural Aksakalli, Volkan Aydog˘du b, Serdar Kum b, 2013. Optimal ship navigation with safety distance and realistic turn constraints. Prieiga internete: https://commons.wmu.se/lib_articles/12/;
5. Gintautas Žilinskas, Rasa Janušaitė, Darius Jarmalavičius, Donatas Pupienis, 2020. The impact of Klaipėda Port entrance channel dredging on the dynamics of coastal zone, Lithuania. Prieiga internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0078323420300610>;
6. Baoli Liu, Zhi-Chun Li, Dian Sheng, Yadong Wang gim, 2020. Integrated planning of berth allocation and vessel sequencing in a seaport with one-way navigation channel. Prieiga internete: <https://ideas.repec.org/a/eee/transb/v143y2021icp23-47.html>;
7. Hong Sik Lee, Sung Duk Kim, K.-H. Wang, Sieun Eom, 2009. Boundary element modeling of multidirectional random waves in a harbor with a rectangular navigation channel. Prieiga internete: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-a5394d8c-5dfb-3f16-aa98-969f66225698>;
8. YS Li, S.-X. Liu, O.WH Wai, Y.-X. Yu, 2000. Wave concentration by a navigation channel. Prieiga internete: <http://www.paper.edu.cn/scholar/showpdf/NUT2ANxIMTj0UxeQh>;
9. Xavier Bellsolà Olba, Winnie Daamen, Tiedo Vellinga, Serge'as P. Hoogendoornas, 2018. State-of-the-art of port simulation models for risk and capacity assessment based on the vessel navigational behaviour through the nautical infrastructure. Prieiga internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756417305925>;
10. David Romero-Faz, Alberto Camarero-Orive, 2017. Risk assessment of critical infrastructures – New parameters for commercial ports. Prieiga internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1874548215300299>;
11. Wenyuan Wang, Yun Peng, Xiangda Li, 2022. Introduction to port planning and management. Prieiga internete: <https://www.sciencegate.app/document/10.1016/c2020-0-02864-1>;
12. Edmundas Kazimieras Zavadskas, Zenonas Turskis, Vygantas Bagočius, 2013. Multi-criteria selection of a deep-water port in the Eastern Baltic Sea. Prieiga internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1568494614004724>;

13. Bahaa Elsharnouby, Hamdy El-Kamhawy, Mahdi Al-Yami, 2004. Prieiga internete: https://www.researchgate.net/publication/238107624_Analysis_of_gravity_quay_walls;
14. P.E. Smith, in Marine Concrete Structures. Types of marine concrete structures, 2016. Prieiga internete: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/quay-walls>
15. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221713002506>;
16. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0191261520304227>;
17. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002980180900239X>;
18. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141118700000134>
19. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978032390112300011X>;
20. <http://www.bpoports.com/klaipeda.html>;
21. <https://www.portofklaipeda.lt/uosto-pristatymas>;
22. https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/T17_Shipping_Infrastructure_v4_final_gs.pdf
23. <https://www.golder.com/insights/smart-port-planning-breakwater-design-considerations/>;
24. [https://www.pndengineers.com/home/showpublisheddocument/413/636068632346830000#:~:text=A%20breakwater%20is%20a%20structure,%2C%20vertical%20wall%2C%20and%20floating](https://www.pndengineers.com/home/showpublisheddocument/413/636068632346830000#:~:text=A%20breakwater%20is%20a%20structure,%2C%20vertical%20wall%2C%20and%20floating;);
25. <https://breakwater.readthedocs.io/en/latest/types.html>;
26. https://zua.vdu.lt/wp-content/uploads/2019/07/vandens_keliu_statyba.pdf;
27. <file:///C:/Users/Asus/Downloads/4643-Article%20Text-10101-1-10-20180813.pdf>;
28. <http://www.uostas.info/uostas/uostoistorija/navigaciniaizenklai/233-juros-vartai-molai.html>;
29. <https://tec.lt/en/evaluation-of-the-experience-of-tec-reconstruction-of-the-breakwater-of-klaipeda/>;
30. <https://www.vle.lt/straipsnis/baltijos-jura/>;
31. https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:155711/mmsi:219018271/imo:9619907/vessel:MAERSK_MC_KINNEY_MOLLER
32. <https://www.vesseltracking.net/article/maersk-mc-kinney-moller-container-ship>;
33. <http://www.rebuildbydesign.org/our-work/all-proposals/winning-projects/ny-living-breakwaters>