

MARVELĖS VIDAUS VANDENS UOSTO KRANTINIŲ KONSTRUKCIJŲ TYRIMAI

Lukas LARČENKO, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: lukas.larcenko@vdu.lt

Raimondas ŠADZEVIČIUS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: raimondas.sadzevicius@vdu.lt

Santrauka

Marvelės krovininė prieplauka Kaune prie Nemuno, pastatyta 2015 m. pagal ES projektą, yra 120 m ilgio polinė plonasiene gelžbetoninė krantinė „bolverko“ tipo su monolitiniu antstatu ir gelžbetoninėmis plokštėmis. Po ~10 metų eksploatacijos agresyvioje upės aplinkoje (užšalimo–atšilimo ciklai, filtracija, grunto nusėdimas, mechaninės apkrovos ir kt.) konstrukcijose atsirado pažaidos, keliančios riziką stabilumui ir ilgaamžiškumui.

Tyrimo tikslas – įvertinti techninę krantinės būklę keturiose pagrindinėse zonose (kordono linija, monolitinės atramos, krovinių aikštelė, šlaito tvirtinimo plokštės), nustatyti defektų priežastis ir mastą bei pasiūlyti remonto sprendinius.

Naudoti metodai: vizualiniai tyrimai, neardomieji betono stiprio matavimai Šmito plaktuku pagal LST EN 12504-2:2021, geodeziniai poslinkių matavimai, atlikta konstrukcijų analizė programa GEO5 Sheeting Design (pagal Blum teoriją ir ribinės pusiausvyros metodą). Nustatytos tokios pažaidos: armatūros korozija, plyšiai >0,3 mm pločio, betono nutrupėjimas, šlaito plokščių poslinkiai ir tuštumos po plokštėmis; betono stipris kordono zonoje ir atramos 12–34,5 MPa (žemesnis nei projektinis), krovinių aikštelėje vid. ~39 MPa; horizontalūs konstrukcijų poslinkiai viršija leistinas ribas.

Rekomenduojami remonto sprendiniai: plyšių injektavimas, polimerinės hidroizoliacinės dangos, drenažo remontas, armatūros antikorozinė apsauga. Rezultatai svarbūs užtikrinant saugią prieplaukos eksploataciją ir prisidedant prie krovininės laivybos Nemunu plėtos pagal VVKD 2025–2028 m. planus.

Reikšminiai žodžiai: gelžbetoninės krantinės, techninė būklė, neardomieji tyrimai, GEO5 Sheeting Design, Marvelės uostas.

Įvadas

Gelžbetoninių krantinių konstrukcijų nudėvėjimas upių aplinkoje yra plačiai tyrinėta hidrotechnikos ir statybos inžinerijos srityse. Pagrindiniai veiksniai, sukeliantys pažaidas, yra užšalimo–atšilimo ciklai, vandens filtracija, chloridų migracija, karbonizacija, grunto slėgis bei mechaninės apkrovos (fib, 2010; Mehta, Monteiro, 2014). Šių veiksnių poveikis lemia armatūros koroziją, betono stiprio mažėjimą, plyšių formavimąsi ir poslinkius, kurie per 8–15 metų gali sumažinti konstrukcijos laikomąją gebą 20–50 proc. (Mehta, Monteiro, 2014).

Lietuvoje panašūs tyrimai dažniausiai atliekami užtvankoms ir uostų konstrukcijoms. R. Šadzevičius ir kt. (2013) analizavo žemių užtvankų filtracijos ir nuosėdžių įtaką, nustatydami, kad vandens prasiskverbimas ir užšalimo ciklai sukelia tuštumas po plokštėmis ir betono stiprio sumažėjimą iki 30–40 proc. Vaišnoras (2018) tyrė Nemuno upės krantinių stabilumą, pabrėždamas, kad nepakankamas drenažas ir apsauginių betoninių dangų nebuvimas pagreitina koroziją.

Tarptautiniuose tyrimuose (Freitas et al. 2024) akcentuojama, kad agresyvioje upės aplinkoje armatūros korozija dažniausiai prasideda apsauginio sluoksnio karbonizacijos zonoje, o plyšiai >0,3 mm leidžia chloridams greitai pasiekti armatūrą. Tuomet reikalingas skubus remontas. Remonto sprendiniai apima plyšių injektavimą (epoksidinėmis / poliuretano dervomis), polimerines hidroizoliacines dangas, drenažo sistemas ir katodinę apsaugą (ACI Committee 224, 2008). Ekonominiai palyginimai rodo, kad ankstyvas remontas sutaupo 20–40 proc. lėšų palyginus su vėlyvu konstrukcijos keitimu ar rekonstravimu (fib, 2012).

Literatūros analizė rodo, kad nors bendri nudėvėjimo mechanizmai gerai ištirti, specifinių Marvelės prieplaukos tipo konstrukcijų (polinė plonasiene „bolverko“ tipo) tyrimų Lietuvoje trūksta, ypač po 10 metų eksploatacijos. Lietuvos vidaus vandens transportas, ypač Nemuno upės (tarptautinis E-41 vandens kelias) segmentas, turi strateginę reikšmę kroviniui pervežimui ir tvarumo tikslams. Pagal Vidaus vandenų kelių direkcijos (VVKD) 2025–2028 m. strateginį planą, planuojama didinti krovos apimtį iki 0,5–1 mln. tonų per metus, plėsti Marvelės ir Klaipėdos uostų infrastruktūrą ir integruoti vidaus vandenį į TEN-T tinklą, taip mažinant autotransporto apkrovą ir CO₂ emisijas.

Lietuvoje sistemingi krantinių būklės tyrimai dažniau atliekami jūrų uostams – Klaipėdoje ar pan., o Marvelės prieplaukos atveju po statybos trūksta išsamių diagnostikos duomenų, nors VVKD planuoja plėtrą (naujos aikštelės statyba 2024–2026 m., PAV procedūros 2025 m.). Todėl aktualu įvertinti esamą krantinių konstrukcijų būklę, kad būtų išvengta avarinių situacijų ir užtikrinta ilgalaikė infrastruktūros eksploatacija.

Tyrimo tikslas – kompleksiskai įvertinti Marvelės krovininės prieplaukos gelžbetoninių konstrukcijų techninę būklę, nustatyti pažaidų priežastis ir mastą bei pasiūlyti efektyvius remonto sprendinius.

Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

Kiekviena zona pažymėta atitinkamais sutartiniais ženklais, o spalvinis kodavimas padeda greitai identifikuoti skirtingus elementus. Šis planas leidžia tiksliai lokalizuoti matavimus ir nustatytus defektus, o tai yra būtina tolimesnei analizės ir remonto prioritetų nustatymo etapams.

Tyrimo metodai: tyrimas atliktas taikant kompleksinį metodų derinį, leidžiantį gauti tiek kokybinius, tiek kiekybinius duomenis apie konstrukcijos būklę:

1. **Kameraliniai darbai** – projektinės dokumentacijos, statybos aktų, geologinių duomenų ir ankstesnių apžiūrų analizė.

2. **Vizualiniai tyrimai** – natūrinė apžiūra vietoje, defektų (plyšių, nutrupėjimo, armatūros korozijos požymių, tuštumų) fiksavimas ir matavimas. Plyšių plotis matuotas skaitmeniniu liestuku (tikslumas 0,01 mm), posvyriai ir deformacijos – liniuote bei matavimo juosta.

3. **Neardomieji betono stiprio nustatymo metodai** – naudojami du tamprios atšokos principu dirbantys prietaisai: mechaninis Šmito plaktukas ir kompiuterinis Silver Schmidt. Prietaisai kalibruoti ant etaloninio priekalo prieš kiekvieną matavimų seriją. Matavimai atlikti pagal LST EN 12504-2:2021 standartą, kiekvienoje zonoje atlikta 10–20 matavimų taškų, atšokos dydžiai konvertuoti į gniuždymo stiprį f_c pagal standartines kalibravimo kreives.

4. **Būklės vertinimas** – atliktas pagal STR 1.03.07:2017 „Statinių techninės ir naudojimo priežiūros tvarka“ reikalavimus: nustatytos defektų kategorijos (A, B, C, D) ir konstrukcijos tinkamumo naudoti laipsnis.

5. **Geodeziniai matavimai** – konstrukcijų horizontalūs ir vertikalūs poslinkiai bei įlinkiai matuoti geodeziniais būdu (tikslumas ± 5 –10 mm).

6. **Konstruktiniai skaičiavimai** – krantinės visuminis stabilumas, horizontalūs poslinkiai ir įtempiai analizuoti kompiuterine programa GEO5 Sheeting Design (pagal Blum teoriją ir ribinės pusiausvyros metodą). (GEO5 Manual, 2024). Primta, kad stabilumo koeficientas turi būti $\geq 1,3$ –1,5 pagal EN 1997-1 (European Committee for Standardization, 2007).

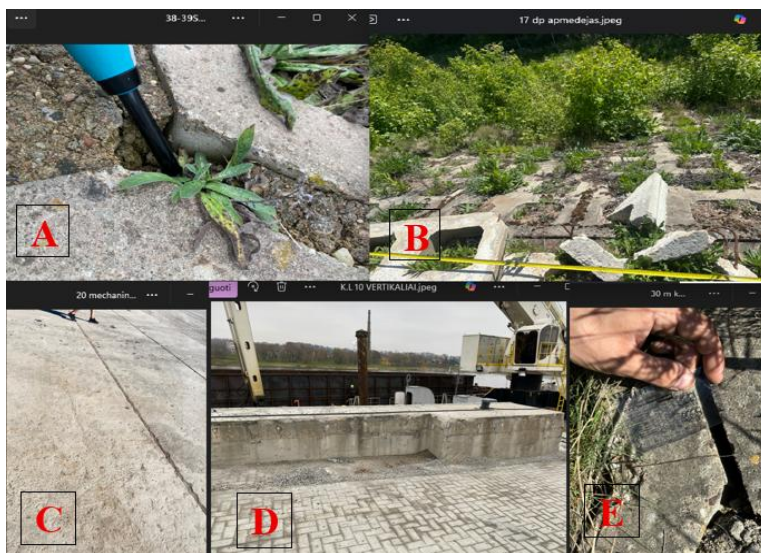
Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Natūriniai tyrimai ir dažniausiai pasitaikantys defektai bei pažeidos

Marvelės krovininės prieplaukos konstrukcijos, eksploatuojamos nuo 2015 m. po 10 metų eksploatacijos agresyvioje upės aplinkoje – užšalimo–atšilimo ciklai (Lietuvoje vid. natūrinių 80–120 ciklų (-5....+5 °C) per metus), nuolatinis vandens aplinkos poveikis, chloridų migracija, grunto nuosėdžiai ir mechaninės apkrovos nuo krovos operacijų – konstrukcijose atsirado pažeidos: armatūros korozija (daugiausia kordono linijoje ir monolitinėse atramose, kur apsauginis betono sluoksnis vietomis sumažėjęs iki 5–15 mm), plyšiai >0,3 mm pločio (daugiausia išilginiai ir skersiniai kordono linijoje bei šlaito tvirtinimo plokštėse), betono paviršiaus nutrupėjimas, lupimasis ir vietiniai įtrūkimai, šlaito tvirtinimo plokščių poslinkiai (iki 20–50 mm), tuštumos po plokštėmis, siūlių ardymas ir augmenijos įsiskverbimas.

Pažeidos nustatytos visose keturiose tyrimo zonose, tačiau jų pobūdis, intensyvumas ir mastas skiriasi, priklausomai nuo aplinkos poveikio intensyvumo ir konstrukcijos vietos.

Natūrinių tyrimų metu užfiksuoti betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų defektai ir pažeidos iliustruoti 3 paveiksle.



3 pav. Marvelės krovininėje prieplaukoje aptikti defektai ir pažeidos: a) ištrupėjusios šlaito tvirtinimo plokštės jungtys; b) gausi augmenija ir siūlių ardymas šlaito plokštėse; c) krovinių aikštelės plokščių apsauginio sluoksnio atrupėjimas; d) antstato mechaniniai pažeidimai ties krovos vietomis; e) šlaito tvirtinimo plokščių poslinkiai ir tuštumos.

Fig. 3. Detected defects and damages at the Marvelė cargo pier: a) crumbled joints of the slope reinforcement slabs; b) abundant vegetation and erosion of joints in the slope slabs; c) spalling of the protective layer of the cargo yard slabs; d) mechanical damage to the capping beam (superstructure) at loading areas; e) displacements and voids beneath the slope reinforcement slabs.

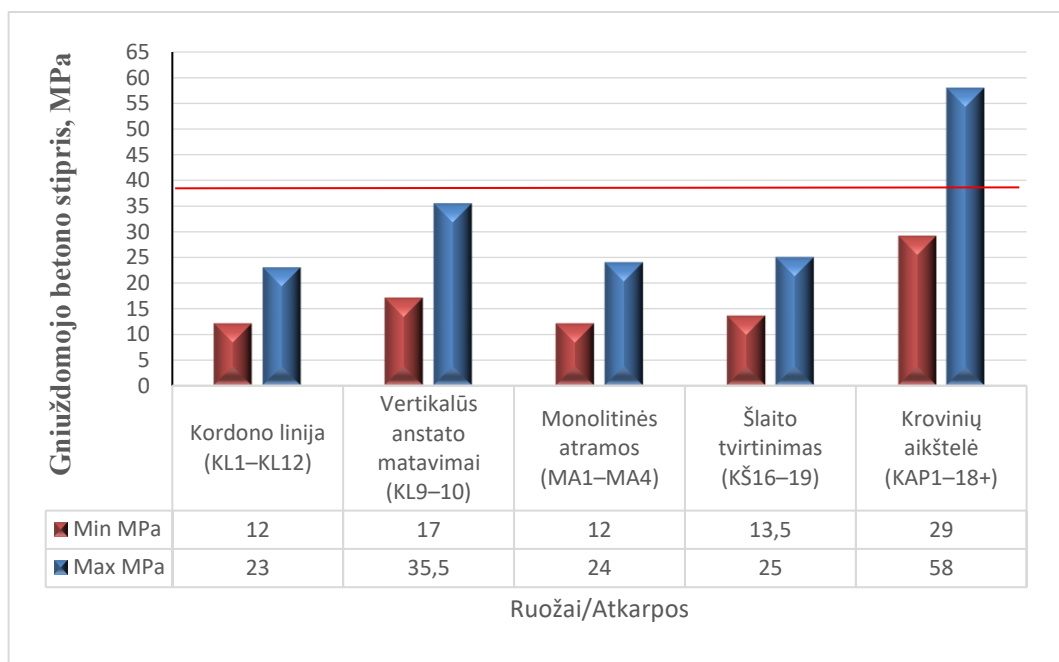
Paveikslėlyje aiškiai matyti, kad pažeidos labiausiai koncentruojasi zonose, kurios nuolat veikiamos vandens, temperatūrų svyravimų ir mechaninio kontakto. Tai rodo, kad pagrindinės pažeidimų priežastys – nepakankama

hidroizoliacija, drenažo trūkumai ir betono apsauginių sluoksnių ardymas. Panašūs reiškiniai aprašyti hidrotechnikos statinių tyrimuose Lietuvoje ir užsienyje: R. Šadzevičius ir kt. (2013) nustatė, kad užšalimo ciklai ir vandens poveikis sumažina betono stiprį iki 30–50 proc. per dešimtmetį, tarptautiniuose darbuose L. Freitas ir kt. (2024) pabrėžia, kad nepakankamas drenažas ir konstrukcijų apsauginių betono sluoksnių ardymas lemia greitą armatūros koroziją bei neleistinas deformacijas.

Marvelės krovinių prieplaukos konstrukcijų betono stipris gniuždant

Marvelės krovinių prieplaukos betono stiprio tyrimų duomenys rodo netolygų stiprio verčių pasiskirstymą skirtingose krantinės tyrimų zonose (žr. 4 pav.). Konstrukcijų betono klasė kiekvienoje zonoje nustatyta pagal gniuždomojo stiprio medianą, kuri yra mažiau jautri pavieniams išskirtiniams rezultatams (pvz., dėl susidariusių porų) negu aritmetinis vidurkis ir geriau atspindi faktinį betono stiprį konstrukcijoje.

Kordono linijos ir monolitinių atramų zonose vidutinis stipris yra ženkliai mažesnis nei projektinė klasė (C30/37 arba C35/45 pagal 2015 m. projektinius dokumentus), o krovinių aikštelės plokštėse stipris išlieka artimas norminėms vertėms. Tai atspindi skirtingą aplinkos poveikio intensyvumą: kordono ir atramų zonos nuolat veikiamos vandens, užšalimo–atšilimo ciklų ir chloridų migracijos, kas sukelia apsauginio sluoksnio ardymą, karbonizaciją ir armatūros koroziją. Krovinių aikštelė yra virš vandens lygio, mažiau drėkinama ir patiria daugiausia mechanines apkrovas, todėl jos būklė geresnė. Šie skirtumai patvirtina, kad būtent kordono ir atramų zonos yra kritinės ir reikalauja prioritetinio remonto.



4 pav. Marvelės krovinių prieplaukos gniuždomojo betono stiprio tyrimo rezultatai.

Fig. 4. Compressive strength test results of the concrete at Marvelė cargo pier.

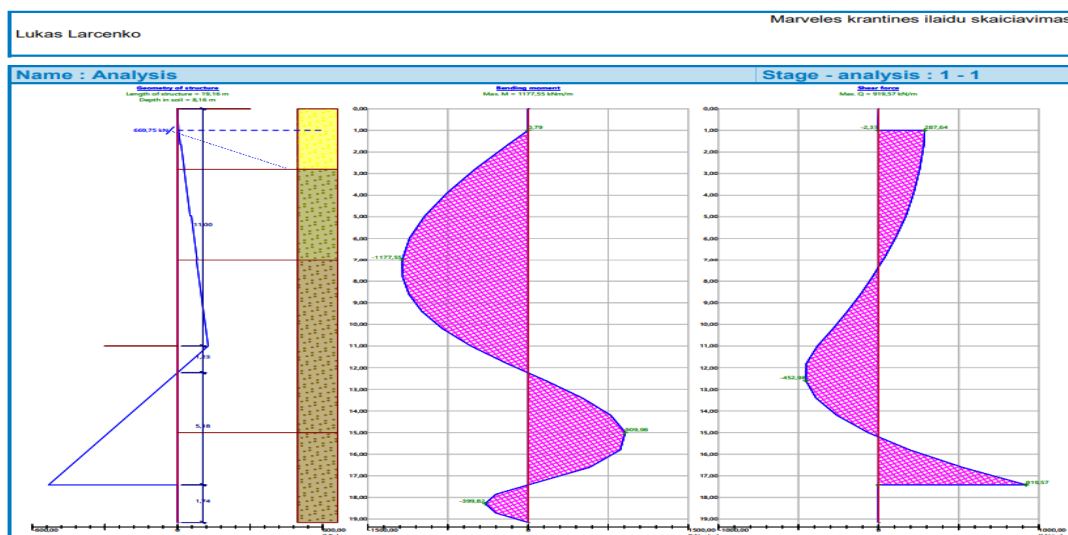
4 paveiksle pavaizduoti betono stiprio vidurkių intervalai pagal zonas: žemas stipris (12–24 MPa) vyrauja kordono linijoje ir monolitinėse atramose, o krovinių aikštelėje stipris gerokai didesnis ir stabilus (vid. 39,1 MPa). Grafikas leidžia greitai identifikuoti mažesnio stiprio zonas ir patvirtina, kad stiprio sumažėjimas tiesiogiai koreliuoja su vizualiai nustatytais defektais bei aplinkos poveikio intensyvumu. Rezultatai rodo, kad be remonto tolesnis stiprio mažėjimas gali paspartinti konstrukcijos irimą.

Geodeziniai matavimai

Tyrimų metu nustatyta, kad horizontalūs poslinkiai viršija leistinas ribas pagal STR 1.03.07:2017 (leidžiama 1/200–1/300 aukščio, t. y. ~30–50 mm prie 10–15 m konstrukcijos aukščio). Didžiausi poslinkiai užfiksuoti šlaito tvirtinimo plokščių zonoje (iki 45–60 mm), kordono linijoje – 25–40 mm. Tai rodo sumažėjusį krantinės stabilumą dėl grunto nusėdimo ir aktyvaus grunto slėgio.

Kompiuteriniai skaičiavimai

GEO5 Sheeting Design programa buvo naudojama modeliuoti įlaidinės sienos elgseną aktyviojo ir pasyviojo grunto slėgio, inkaro jėgos bei ribinės pusiausvyros sąlygomis. Skaičiavimai atlikti pagal DA3 ribinių būvių metodiką (EN 1997-1), priimant gruntinio vandens lygį 1,0 m gylyje ir 11,0 m iškasos gylį. Gauti pagrindiniai parametrai: reikiamas įgilinimas – 8,16 m, bendras konstrukcijos ilgis – 19,16 m, inkaro jėga – 669,75 kN. Didžiausios veikiančios įrašos: lenkimo momentas – 1177,55 kNm/m; skersinė jėga – 919,57 kN/m. Skaičiavimais nustatyta, kad didžiausi lenkimo momentai susidaro aktyvaus ir pasyvaus grunto slėgio sandūroje bei inkaravimo zonoje – tai konstrukciškai jautriausios vietos. Maksimali skersinė jėga veikia įlaido apatinėje dalyje dėl pasyvaus grunto slėgio. Gauti laikomosios gebos išnaudojimo santykiai ($M/M_{Rd} + N/N_{Rd} = 0,986$; $Q/V_{Rd} = 0,565$) rodo, kad plieninė įlaidinė siena iš VL 607K tipo įlaidų (plienas S355GP) tenkina stiprumo reikalavimus pagal EN 1993-1-1, tačiau tinkamumo ribinis būvis artimas kritiniam dėl žymių poslinkių. Konstrukcinių skaičiavimų rezultatai pateikti 5 paveiksle.



5 pav. Geologiniai duomenys, įlaidinės sienos lenkimo momentų diagrama ir skersinių jėgų pasiskirstymas.
Fig. 5. Geological data, bending moment diagram of the sheet pile wall, and shear force distribution.

Tyrimų rezultatai patvirtina, kad be remonto krantinės naudojimas tampa rizikingu, ypač VVKD planuojamos plėtros kontekste (2025–2028 m.). Rekomenduojami remonto sprendiniai: plyšių injektavimas, polimerinės hidroizoliacinės dangos, drenazo remontas, armatūros antikorozinė apsauga.

Išvados

1. Po ~10 metų agresyvioje upės aplinkoje (užšalimai-atšilimai, filtracija, chloridai, grunto nusėdimas, apkrovos) konstrukcijose nustatytos pažaidos: armatūros korozija, plyšiai >0,3 mm, betono irimas, šlaito plokščių poslinkiai ir tuštumos po plokštėmis dėl paplovimų.
2. Konstrukcijų betono stipris kordone ir atramose ženkliai sumažėjęs (vid. 17,8–18,2 MPa – atitinka gniuždomojo betono klasę C16/20–C25/30), krovinių aikštelėje – artimas norminiam (vid. 39,1 MPa - atitinka gniuždomojo betono klasę C30/37–C45/55). Mažesnio stiprio betono zonos koreliuoja su intensyvesnio vandens aplinkos poveikio zonomis ir jose užfiksuotomis konstrukcijų pažaidomis.
3. Geodeziniai matavimai rodo viršytas lestinųjų deformacijų (poslinkių) ribas (šlaitas 45–60 mm, kordonas 25–40 mm pagal STR 1.03.07:2017) – sumažėjęs krantinės stabilumas.
4. Konstrukciniais skaičiavimais nustatytos tokios vidinės įrašos: lenkimo momentas 1177,55 kNm/m, skersinė jėga 919,57 kN/m, inkaro jėga 669,75 kN; laikomosios gebos išnaudojimas $M/M_{Rd} + N/N_{Rd} = 0,986$, $Q/V_{Rd} = 0,565$ – įlaidinė siena dar atitinka EN 1993-1-1 saugos ribinio būvio reikalavimus, tačiau tinkamumo ribinis būvis artimas kritiniam dėl žymių poslinkių.

Literatūra

1. European Committee for Standardization. (2007). *EN 1997-1: Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules*. European Committee for Standardization.
2. Fédération internationale du béton (fib). (2010). *Model Code for Concrete Structures 2010* (fib Bulletin 65/66). Fédération internationale du béton. Prieiga per internetą: https://site.abece.com.br/wp-content/uploads/2023/09/fib_Bull65_NMG.pdf (žiūrėta 2025 07 22)
3. Fédération internationale du béton (fib). (2012). *Model Code for Service Life Design* (fib Bulletin 34). Fédération internationale du béton. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/308016422_fib_bulletin_34_Model_Code_for_Service_Life_Design/link/5f2fbcf992851cd302ea5f5b/download?tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmVpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmVpY2F0aW9uIn19 (žiūrėta 2025 06 15)
4. Freitas, L., Meira, K., Reis, M., Júnior, F., Lima, P. O. S., Santos, K., Amaral, M., Silva, M., Júnior, H., Martins, D. S., Lara, S., & Silva, H. (2024). Diagnosis and intervention in civil construction pathologies. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, 22(10), e6982. <https://doi.org/10.55905/oelv22n10-131>
5. Freitas, L., Meira, K., Reis, M., Júnior, Francisco, Lima, Pedro de Oliveira Santos, Karine, Amaral, Marcela, Silva, Magnum, Júnior, Hélio, Martins, Dayanne Santos, Lara, Silva, Hebereson. (2024). Diagnosis and intervention in civil construction pathologies. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, 22(10), e6982. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/384623684_Diagnosis_and_intervention_in_civil_construction_pathologies. (žiūrėta 2025 02 11)
6. GEO5 Manual. (2024). *Sheeting Design Module*. Fine spol. s r.o. <https://www.finesoftware.eu/geo5/>

7. Lee, T., & Kim, M. O. (2025). Next-Gen nondestructive testing for marine concrete: AI-enabled inspection, prognostics, and digital twins. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(11), Article 2062. <https://doi.org/10.3390/jmse13112062>
8. Loreto, G., Di Benedetti, M., De Luca, A., & Nanni, A. (2019). Assessment of reinforced concrete structures in marine environment: a case study. *Corrosion Reviews*, 37(1), 57-69.
9. LST EN 12504-2:2021. *Testing concrete in structures – Part 2: Non-destructive testing – Determination of rebound number*. Lietuvos standartizacijos departamentas. Prieiga per internetą: <https://lsd.lrv.lt/uploads/lsd/documents/files/Biuletinis/2021/LSTbiuletinis20210730Nr14.pdf> (žiūrėta 2026 01 15)
10. Monteiro, P. (2006). *Concrete: microstructure, properties, and materials*. McGraw-Hill Publishing.
11. Šadzevičius, R., Skominas, R., Sankauskienė, T., & Ramukevičius, D. (2023). The research on the deterioration of reinforced concrete structures functioning in the varying water level areas of hydraulic structures. In *Rural Development: Proceedings of the International Scientific Conference* (pp. 107-111).
12. Šadzevičius, R., Damulevičius, V., & Skominas, R. (2013). The technical state of earth dams in Lithuania. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 21(3), 180–188. <https://doi.org/10.3846/16486897.2012.662910>

RESEARCH ON THE STRUCTURES OF THE QUAYS AT THE MARVELĖ INLAND PORT

Abstract

The Marvelė port pier in Kaunas on the Nemunas River, built in 2015 as part of an EU project, is a 120-meter-long, thin-walled, reinforced concrete “bolwerk” type pier with a monolithic superstructure and reinforced concrete slabs. After approximately 10 years of operation in the aggressive river environment (freeze-thaw cycles, water filtration, soil settlement, mechanical loads), damage has appeared in the structures, posing a risk to stability and durability.

The objective of the study is to assess the technical condition of the wharf in four main areas (cordon line, monolithic abutments, cargo yard, slope reinforcement slabs), determine the causes and extent of defects, and propose repair solutions.

Methods used: visual inspections, non-destructive concrete strength measurements using a Schmidt hammer in accordance with LST EN 12504-2:2021, geodetic displacement measurements, structural analysis using the GEO5 Sheeting Design software (based on Blum’s theory and the limit equilibrium method).

Findings: reinforcement corrosion, cracks >0.3 mm, concrete spalling, displacements and voids in slope panels; concrete strength in the cordon zone and at supports 12–34.5 MPa (lower than design value), in the loading area avg. ~39 MPa; horizontal displacements exceed permissible limits. Recommended repair solutions: crack injection, polymer waterproofing coatings, drainage improvement, anti-corrosion protection of reinforcement. The results are important for ensuring the safe operation of the pier and contributing to the development of cargo shipping on the Nemunas River in accordance with the VVKD 2025–2028 plans.

Keywords: reinforced concrete quays, technical state, non-destructive testing, GEO5 Sheeting Design, Marvelė port.