

JŪRINĖJE APLINKOJE EKSPLOATUOTO HIDROTECHNINIO BETONO  
SAVYBIŲ ANALIZĖ

Ramunė Lebedeva

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas  
El. paštas Ramune\_dok@yahoo.com*

**Santrauka.** Jūrinėje aplinkoje eksploatuojamam hidrotechniniam betonui didelę įtaką turi aplinkos poveikiai: oro temperatūros svyravimai, jūros vandens temperatūros svyravimai, vėjo kryptis ir greitis. Visi šie veiksniai turi būti ištirti ir vertinami projektuojant hidrotechninių betonų, eksploatuojamų jūros vandenyje, sudėtis. Darbo tikslas – įvertinti jūrinėje aplinkoje eksploatuojamo hidrotechninio betono savybes bei atlikti paveiktų jūros vandens hidrotechninių betonų savybių analizę, pateikiant jų projektavimo rekomendacijas. Atlikta jūros vandens ir Danės upės vandens poveikio hidrotechniniam betonui analizė ir jų savybių palyginimas.

**Reikšminiai žodžiai:** Klaipėdos uostas, hidrotechninis betonas, vandens poveikis, analizė, ilgaamžiškumas.

## Įvadas

Klaipėdos uosto hidrotechniniai statiniai (krantinės, pirsai, molai ir kt.) statomi iš hidrotechninio betono. Jie sudaro pagrindinės krantinės laikančiosios sistemos dalį, kuriai labai svarbi ilgaamžiškumo savybė. Įvertinus Klaipėdos uosto krantinių būklę, pritaikius standarto EN 206-1:2000 tyrimo metodiką, nustatytos aplinkos poveikių klasės, tokios kaip XS1, XS2, XS3, konstrukcijoms, esančioms arti kranto arba esančioms ant kranto. Taip pat veikiant šalidymo ir atšildymo procesams krantines galima priskirti XF1, XF2, XF3, XF4 aplinkos poveikių klasesms. Įvertinus Baltijos jūros vandens cheminį poveikį – taip pat ir tokioms aplinkos poveikio klasesms, kaip XA1, XA2, XA3. Įvardytoms aplinkos poveikio klasesms įvertinti ir tiksliau nustatyti yra pateikta 2 lentelė standarte EN 206-1:2000. Tiriant aplinkos poveikius, kurie turės įtakos hidrotechninės konstrukcijos ilgaamžiškumui, reikia įvertinti konstrukcijos medžiagas, joms keliamus reikalavimus. Įvertinami klimatiniai duomenys, panaudojus 1999–2011 metų Jūrinių tyrimų centro duomenis (Jūrinių tyrimų centro ataskaitos 1999–2011). Nustatyti svarbiausi veiksniai, turintys įtakos hidrotechninio betono irimo intensyvumui: cheminis poveikis (korozija); hidrotechninio betono struktūra (mikrostruktūra – nagrinėjant tiriami cemento akmens junginių geliai, kristalai, mikroporos, kapiliarinės ir oro poros, kurios turi įtakos betono ilgaamžiškumui, atsparumui šalčiui).

Klimatinės sąlygos (temperatūra, drėgmė ir kt.) turi įtakos betono užpildymo vandeniu laipsniui bei jo ilgaamžiškumui (Skripkiūnas 2007; Barkauskas, Stankevičius 1997). Hidrotechniniai betonai turi būti stiprūs, tankūs, nelaidūs

vandeniui, atsparūs šalčiui ir agresyviai aplinkai. Vanduo turi didelį poveikį betonui, reikia pabrėžti, kad vandens, patenkančio į hidrotechninį betoną, pH rodiklis būtų ne mažesnis už 4 ( $\text{pH} > 4$ ), druskų kiekis iki 5000 mg/l ir sulfatų kiekis iki 2700 mg/l (LST ISO 9297; LST EN ISO 14911). Aplinkos poveikis sukelia hidrotechninių betonų koroziją, paviršiaus eroziją. Erozinis poveikis buvo nustatomas, vadovaujantis EN 206-1:2002 standartu, kuriuo remiantis jį galima būtų priskirti XM aplinkos poveikių klasei. Vanduo palaipsniui gali išplauti iš hidrotechninio betono visas tirpias medžiagas, o dėl temperatūrų pokyčių hidrotechninis betonas gali supleišėti (LST 1097-7:1999). Šie visi išvardyti rodikliai sukelia krantinių hidrotechninio betono paviršiaus irimą ir turi įtakos nustatant ilgaamžiškumą (LST 1974). Praktiniams tyrimams buvo pasirinktos kelios krantinės, išskiriant tiriamus rodiklius, todėl vieni bandiniai, kuriuos veikia Baltijos jūros vanduo, buvo paimti Kuršių mariose, o kiti bandiniai, kuriuos veikia gėlas vanduo, – iš Danės krantinės. Įvertinome pagrindinius poveikius, veikiančius hidrotechninį betoną, atlikome cheminės analizės vertinimą.

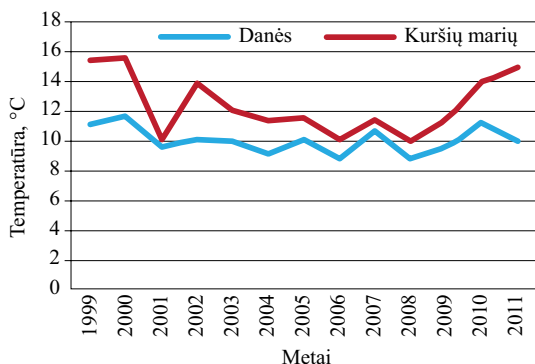
**Klimato sąlygos (vandens temperatūra, oro temperatūra, vandens druskingumas, vandenilio jonų rodiklis (pH))**

Praktiniams tyrimams buvo pasirinktos kelios krantinės, todėl ir klimatiniai duomenys yra paimti iš Kuršių marių ir Danės upės krantinių aplinkos poveikių rezultatų ir atlikta jų analizė (1 pav.). Kuršių mariose vandens temperatūros vidurkis svyravo nuo 9 °C iki 15 °C, žemiausia temperatūra

užfiksuota sausio mėnesį, aukščiausia – rugpjūčio mėnesį. Danės upės vandens temperatūros vidurkis svyravo nuo 8 °C iki 11 °C. Didelių skirtumų tarp šių rezultatų nepastebime, nes parinkta Danės upėje eksploatuojama krantinė ribojasi su Kuršių mariomis.

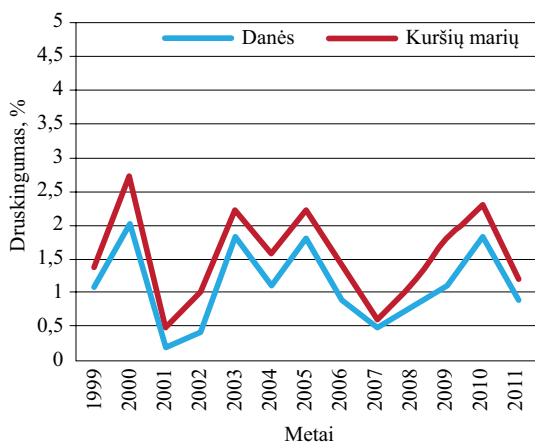
Oro temperatūra Kuršių marių akvatorijoje nuo Danės upės skiriasi nežymiai, skirtumas tarp temperatūrų gegužę buvo apie 5 °C, maksimalią reikšmę pasiekia iki 5,5 °C. Žymūs temperatūros pokyčiai vyksta tik dėl sezoninės oro temperatūros kaitos.

Vandens druskingumas Kuršių mariose ir Danės upės sankirtoje priklauso nuo pastovių vandenių nuotėkio ir Baltijos jūros vandens prietakos. Priklausomai nuo vėjo stiprumo ir trukmės, vandens lygio tarp Kuršių marių ir Baltijos jūros, vandens svyravimų, druskingumas mariose gali labai kisti, 2 pav. pateikti rezultatai palyginimams. Iš 2 pav. matyti, kad druskingumo skirtumų rodikliai nežymūs, nes turi įtakos tas veiksnys, kad yra Kuršių Marių ir Danės upės sankirta.



1 pav. Sezoniniai vandens temperatūros Kuršių marių sąsiaurio sankirtoje su Danės upe 1999–2011 metų svyravimai

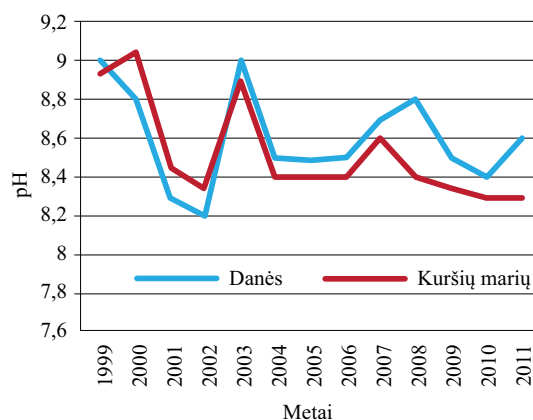
Fig. 1. Seasonal fluctuations of water temperature in the Curonian Lagoon at the junction of the Strait with the River Dane for the period 1999–2011



2 pav. Daugiamečiai sezoniniai vandens druskingumo Kuršių marių sąsiaurio sankirtoje su Danės upe 1999–2011 metų svyravimai

Fig. 2. Multi-seasonal fluctuations of water salinity in the Curonian Lagoon at the junction of the Strait with the River Dane for the period 1999–2011

Kuršių marių ir Danės upės vandens vandenilio jonų rodiklio pH reakcija – šarminė (3 pav.), vidutiniškai Kuršių mariose ji kinta nuo 8,3 iki 9,05, o Danės upės vandens vandenilio jonų rodiklio reikšmė pH vidutiniškai kinta nuo 8,2 iki 9,0.



3 pav. Daugiamečiai sezoniniai vandens vandenilio jonų koncentracijos (pH) Kuršių marių sąsiaurio sankirtoje su Danės upe 1999–2011 metų svyravimai

Fig. 3. Multi-seasonal fluctuations in the concentration of water hydrogen ions (pH) in the Curonian Lagoon at the junction of the Strait with the River Dane for the period 1999–2011

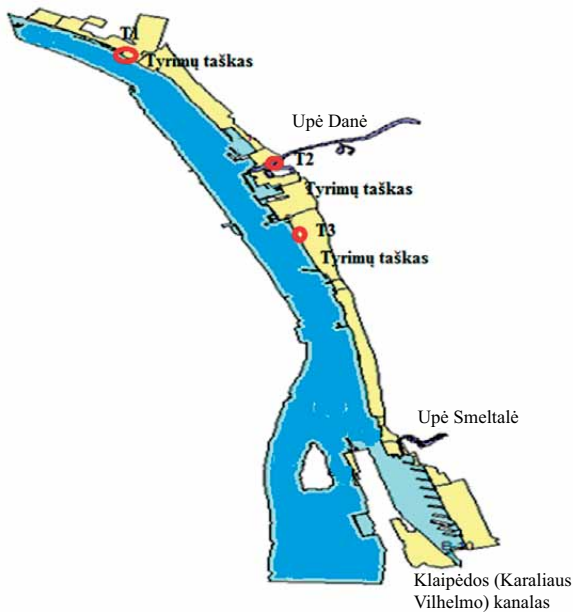
Išnagrinėjus bendrą Lietuvos klimato rajonavimo schemą, Klaipėdos uosto teritorija priklauso Vakarų Lietuvos rajonui. Kuršių mariose ir Danės upės sankirtoje vyrauja vakarų vėjai, todėl yra veikiamas drėgnas jūros oras. Klaipėdoje – 31 m/s (116 km/h) ir 37 m/s (133 km/h). Uraganai, kurių greitis didesnis kaip 26 m/s (93 km/h), Klaipėdoje gali kartotis kas 5 metai. Vakarų Lietuvos rajone 1999–2011 metai pasižymėjo vėjuotumu. Vyraavo šiaurinių ir vakarinių krypčių vėjai. Daugiau kaip 20 m/s vėjas pūtė sausio, rugpjūčio ir lapkričio mėnesiais, Klaipėdos uoste – iki 32 m/s.

Kuršių mariose, priešingai nei Danės upėje, pastebėtas didesnis bangavimas. Bangų aukštis per 1999–2011 m. siekė nuo 0,25 m iki 0,5 m, o uragano atveju ir iki 3,0 m. Pučiant stipriems R, PR, P vėjams aukščiausios bangos siekė nuo 0,75 iki 1,27 m. Didžiausios bangos uragano metu siekė iki 3,0 m, pučiant Š, ŠR vėjams. Bangų aukštis yra priklausomas nuo vėjo stiprumo ir krypties. Taip pat Kuršių mariose bangavimui turi įtakos laivų, gabenančių krovinius, srautai, tačiau jų greitis Kuršių mariose yra griežtai reguliuojamas. Bet akivaizdu, kad tai, jog Danės upė neturi tokio srauto, lemia mažesnį bangavimą nei Kuršių mariose.

## Atlikti tyrimai

Bandymams buvo parinkti keli tyrimams būdingi taškai T1, T2 ir T3. Parinkti bandymų taškai yra Klaipėdos uosto teritorijoje, skirtingose Klaipėdos uosto akvatorijos dalyse,

o vienas – Danės upės krantinės teritorijoje. Taškas T1 parinktas, atsižvelgiant į tai, kad jis yra šiaurinėje Klaipėdos uosto dalyje. Nurodytame taške daugiausia vyksta laivų eismas, Baltijos jūros vanduo patenka į Klaipėdos uosto akvatorijos vandenį, todėl tyrimams ir stebėjimams yra parinktas būtent šis taškas. Ir tolimesnis parinktas kitas taškas T2, kuris geriausiai ir tiksliausiai galėtų atspindėti Klaipėdos uosto krantinių, t. y. jų hidrotechninio betono, būklę, ir laivų eismas yra mažiau intensyvus. Taškas T3 yra pasirinktas iš Danės upės krantinės bandymų rezultatams sulyginti. Šių taškų padėtis yra nurodyta žemėlapyje.



4 pav. Klaipėdos valstybinio jūrų uosto direkcijos atliekamo žinybinio monitoringo stočių tinklas Klaipėdos uosto akvatorijoje

Fig. 4. The network of stations self-monitored by Klaipėda State Seaport Authority in Klaipėda Port waters

Bandiniai iš krantinių buvo paimti skirtingose vietose. Bandiniai buvo gręžiami tose vietose, kur buvo pastovus vandens patekimas ant paviršiaus (5 pav.). Bandiniai buvo gręžiami pagal keliamus reikalavimus, pateiktus standarte LST EN 12504-1:2003 (6, 7 pav.).

Paėmus bandinius – kernerus, buvo nustatytas betono tankis ir gniuždymo stipris. Bandymų rezultatai pateikti 1 lentelėje.

Iš pateiktų 1 lentelėje rezultatų matyti, kad vidutinis betono tankis yra gana didelis. Iš didelio betono tankio galima spręsti, kad yra nedidelis oro kiekis betone. Vidutinis betono gniuždymo stipris betono klasei viršija C30/37, tačiau turime nepamiršti, kad bandiniai buvo eksploatuoti ir kietėjo gana ilgą laiką.

1 lentelė. Kuršių marių betono bandinių stiprumo rezultatai  
Table 1. The results of the strength of concrete samples taken from the area of the Curonian Lagoon

Bandinio Nr.	Kerno Ø, mm	Kerno h, mm	Kerno masė, kg	Ardančioji jėga, kN	Betono tankis, kg/m <sup>3</sup>	Betono gniuždymo stipris, MPa
B1	94,00	97,02	1,58	384	2348	55,4
B2	94,00	95,00	1,50	397	2276	57,2
B3	94,00	96,07	1,55	347	2327	50,1
B4	94,00	96,04	1,56	403	2341	58,1
B5	94,00	97,06	1,40	385	2319	55,6
B6	94,00	99,01	1,64	423	2382	57,5
Vidutinis					<b>2332</b>	<b>55,7</b>



5 pav. Klaipėdos uosto akvatorijoje bandinių gręžimo vietos  
Fig. 5. Locations of sample drilling in the area of Klaipėda port waters



6 pav. Klaipėdos uosto akvatorijoje bandinių mėginiai  
Fig. 6. Samples taken from the area of Klaipėda port waters



7 pav. Išpjauti bandiniai – kernerai, turintys galimus pažeidimus  
Fig. 7. Cut pieces – cores having possible deformations

## Danės upės eksploatuoto hidrotechninio betono bandiniai

Palyginimams buvo paimti iš Danės upės eksploatuojamų krantinių hidrotechninio betono bandiniai.

Paėmus bandinius – kernus, buvo nustatytas betono tankis ir gniuždymo stipris. Bandymų rezultatai pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Danės upės bandinių rezultatai

Table 2. The results of the tested samples of the River Dane

Bandinio Nr.	Kerno Ø, mm	Kerno H, mm	Kerno masė, kg	Ardančioji jėga, kN	Betono tankis, kg/m <sup>3</sup>	Betono gniuždymo stipris, MPa
D1	54,20	57,80	1,18	306	2399	46,33
D2	54,20	52,09	1,08	397	2438	57,20
D3	54,20	61,40	1,25	347	2390	50,10
D4	54,20	63,10	1,29	403	2365	58,10
D5	54,20	59,70	1,22	385	2402	55,60
D6	54,20	61,50	1,26	302	2409	51,08
Vidutinis					<b>2401</b>	<b>53,1</b>

Iš pateiktų 2 lentelėje rezultatų matyti, kad vidutinis betono tankis yra gana didelis. Iš didelio betono tankio galima spręsti, kad yra nedidelis oro kiekis betone. Vidutinis betono gniuždymo stipris viršija ribinius rodiklius, nurodytus standarte, betono klasei C30/37.

Gniuždymo bandymui nustatyti buvo panaudotas *Toni Technik* įmonės gniuždymo stiprio nustatymo presas. Bandinių gniuždymo stipriui nustatyti buvo parinktas pastovus apkrovimo didinimo greitis, kuris svyravo nuo 0,7 iki 0,2 MPa/s. Atlikus pradinį apkrovimą bandiniui, kuris siekė apie 30 procentų galutinės suirimo apkrovos, toliau apkrova buvo didinama pastoviu greičiu – 10 proc.

### Atlikta paimtų bandinių cheminė analizė

Buvo atlikta cheminė paimtų bandinių analizė, siekiant nustatyti hidrotechninio betono irimo priežastis. Tiek Kuršių marių, tiek Danės upės hidrotechninio betono cheminės analizės gauti rezultatai pateikti lentelėse (3, 4 lentelės). Cheminė analizė buvo atlikta vadovaujantis keliais standartais, nes reikėjo nustatyti skirtingus parametrus. Druskoms nustatyti buvo naudotas standartas LST EN ISO 9297:1998, o ištirpusiems hidrotechniniame betone metalams nustatyti buvo vadovautasi standartu LST EN ISO 14911.

3 lentelė. Iš Kuršių marių paimtų bandinių cheminės analizės rezultatai

Table 3. The results of the samples of chemical analysis carried out in the Curonian Lagoon

Bandinio Nr.	Bandinio masė, kg	Cl <sup>-</sup> , mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , mg/l	K <sup>+</sup> , mg/l	Na <sup>+</sup> , mg/l
B1	25,57	214,01	210,00	356,90	146,90
B2	30,18	174,10	187,00	217,10	160,50
B3	40,19	144,80	240,00	300,90	147,21
B4	20,41	171,80	270,00	400,30	158,01
B5	25,14	161,05	218,00	259,10	138,90
B6	32,10	184,70	205,00	239,50	130,20

4 lentelė. Iš Danės upės paimtų bandinių cheminės analizės rezultatai

Table 4. The results of the samples of chemical analysis carried out in the River Dane

Bandinio Nr.	Bandinio masė, kg	Cl <sup>-</sup> , mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , mg/l	K <sup>+</sup> , mg/l	Na <sup>+</sup> , mg/l
D1	42,29	133,00	62,40	60,50	32,10
D2	43,61	122,00	10,00	57,80	57,20
D3	61,01	92,00	17,60	47,90	30,80
D4	40,33	107,00	17,90	51,60	33,30
D5	51,62	120,00	38,80	38,10	62,30
D6	42,84	140,00	18,60	40,30	39,00

Iš gautų rezultatų matyti, kad Kuršių marių chloridų kiekis vyrauja nuo 144 iki 214 mg/l, sulfatų kiekis vyrauja nuo 187 iki 270 mg/l, kalio nuo 217 iki 400 mg/l ir natrio – nuo 130 iki 160 mg/l.

Taip pat matyti, kad Danės upės chloridų kiekis vyrauja nuo 92 iki 140 mg/l, sulfatų kiekis – nuo 10 iki 62 mg/l, kalio – nuo 38 iki 60 mg/l ir natrio – nuo 30 iki 62 mg/l.

Apibendrinus visus gautus cheminės analizės rezultatus, matyti, kad druskų kiekis turės įtakos ir poveikį betono ilgaamžiškumui.

### Laboratoriniai tyrimai

Laboratorinėmis sąlygomis buvo atlikti skirtingų cemento klasių tyrimai, ir 56 paras bandiniai mirkyti Baltijos jūros vandens tirpale, bet nevisiškai, t. y. iki užsibrėžtos linijos ant bandinio paviršiaus (8–10 pav.).



8 pav. CEM II A/LL 42.5 N bandiniai  
Fig. 8. Samples of CEM II A/LL 42.5 N



9 pav. CEM III /B 32.5 N-H(SR) bandiniai  
Fig. 9. Samples of CEM III /B 32.5 N-H(SR)



10 pav. CEM I 42.5 N(MA) bandiniai  
Fig. 10. Samples of CEM I 42.5 N(MA)

## Eksperimentinių bandymų apibendrinimas

Atlikti tyrimai parodė, kad duomenys skiriasi, ir projektuojant hidrotechninį betoną, eksploatuojamą Baltijos jūros vandenyje, reikia didesnį dėmesį skirti druskingumui,  $v/c$  santykiui bei oro kiekiui betono mišinyje. Todėl tolesniems tyrimams bus skiriamas didesnis dėmesys šiems veiksniams nustatyti.

Jūros vandens druskingumą būtina vertinti projektuojant hidrotechninius betonus. Veikiant jūros vandeniui, galima hidrotechninio betono korozija dėl tirpiųjų junginių išplovimo, sulfatinė korozija, užpildų šarminė korozija, armatūros korozija.

Laboratorinių tyrimų rezultatai parodė, kad Baltijos jūros vandens tirpalas turi didelę įtaką cementiniam akmeniui, todėl, parenkant cementą bei jo kiekį, tai reikia įvertinti, formuojant hidrotechninių betonų bandinius ir juos tiriant.

Tiriant hidrotechninių betonų, eksploatuojamų jūros vandenyje, sudėtį, jų ilgaamžiškumą, reikia kompleksiskai vertinti jūros vandens poveikį bei aplinkos sąlygų poveikį hidrotechniniam betonui ir atlikti teorinius bei eksperimentinius tyrimus taikant specialias metodikas.

## Išvados

1. Hidrotechninio betono, eksploatuojamo Kuršių mariose ir Danės upėje, stipris yra gana didelis, jis viršija projektuojamus stiprio klasėms keliamus reikalavimus.
2. Defektų hidrotechninio betono paviršiuje atsiranda dėl temperatūros pokyčių svyravimų nuo teigiamos prie neigiamos ir jūros vandens cheminio poveikio.
3. Druskų kiekis hidrotechniniame betone priklauso nuo atstumo veikiamo jūros vandens ir hidrotechninio betono, eksploatuojamo jūrinėje aplinkos, paviršiaus.
4. Formuojant hidrotechninius betono bandinius turi būti atsižvelgiama į aplinkos poveikius ir cemento tipą, susiformuojančius jo natūrinėje aplinkoje defektus, sąveikaujančius su aplinkos poveikiais.

## Literatūra

- Barkauskas, V.; Stankevičius, V. 1997. *Pastatų atitvarų šiluminė fizika*. Kaunas.
- EN 206-1:2000. *Betonas. 1 dalis. Techniniai reikalavimai, savybės, gamyba ir atitiktis*. Concrete – Part 1: Specification, performance, production and conformity.
- Jūrinių tyrimų centro ataskaitos. 1999–2011.
- LST EN 206-1:2002 lt. *Betonas. 1 dalis. Techniniai reikalavimai, savybės, gamyba ir atitiktis*. Lietuvos standartizacijos departamentas.

- LST ISO 9297. Vandens kokybė. Chloridų kiekio nustatymas. Titravimas sidabro nitratu, vartojant chromato indikatorių (Moro metodas) (tapatus ISO 9297:1989).
- LST EN ISO 14911. Vandens kokybė. Ištirpusių  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$  ir  $\text{Ba}^{2+}$  nustatymas jonų mainų chromatografija. Vandens ir nuotėkų tyrimo metodas (ISO 14911:1998).
- LST 1974. Nurodymai, kaip taikyti LST EN 206-1 Betonas. 1 dalis. Techniniai reikalavimai, savybės, gamyba ir atitiktis.
- LST 1097-7:1999. Užpildų mechaninių ir fizikinių savybių nustatymo metodai. 7 dalis. Mikroužpildų dalelių tankio nustatymas. Piknometrinis metodas.
- Nevill, A. M. 1972. *Svoistva betona*. Moskva. 352 s.
- Skripkiūnas, G. 2007. *Statybinių konglomeratų struktūra ir savybės*. Kaunas: Technologija.

### **ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF HYDROTECHNICAL CONCRETE EMPLOYED IN THE MARINE ENVIRONMENT**

**R. Lebedeva**

Abstract

Hydrotechnical concrete employed in the marine environment is strongly influenced by environmental effects such as air temperature fluctuations, seawater temperature fluctuations, wind direction and speed. All these factors must be analyzed and evaluated designing the composition of hydrotechnical concrete operating in marine water. The paper is aimed at assessing the properties of the concrete operated in the marine environment and at analysing the properties of hydrotechnical concrete affected by seawater with reference to recommendations on designing it. On these grounds, the examination of the impact of sea and river water has been carried out and the properties of the above introduced two types of water have been compared.

**Keywords:** Klaipėda port, hydrotechnical concrete, seawater exposure, analysis, durability.