

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

**Toma Pakėnaitė**

**BETONINIŲ TILTŲ DANGŲ, VEIKIAMŲ LEDĄ TIRPINANČIŲ  
DRUSKŲ, ŠALČIO IR JŪROS VANDENS, SAVYBIŲ TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Doc. dr. Saulius Sušinskas

**PANEVĖŽYS, 2017**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

**BETONINIŲ TILTŲ DANGŲ, VEIKIAMŲ LEDĄ TIRPINANČIŲ  
DRUSKŲ, ŠALČIO IR JŪROS VANDENS, SAVYBIŲ TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Statyba (kodas 621J80001)**

**Vadovas**

Doc. dr. Saulius Sušinskas

**Recenzentas**

Doc. dr. Jonas Valickas

**Projektą atliko**

Toma Pakėnaitė

**PANEVĖŽYS, 2017**



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

(Fakultetas)

**Toma Pakėnaitė**

(Studento vardas, pavardė)

**Statyba (kodas 621J80001)**

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Betoninių tiltų dangų, veikiamų ledą tirpinančių druskų, šalčio ir jūros vandens, savybių tyrimas“

**AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

20 17 m. sausio 2 d.  
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, **Tomos Pakėnaitės**, baigiamasis projektas tema „Betoninių tiltų dangų, veikiamų ledą tirpinančių druskų, šalčio ir jūros vandens, savybių tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

### BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

**Išduota studentui:** Tomai Pakėnaitei Grupė PMS-5  
**1. Darbo tema:**  
Lietuvių kalba: Betoninių tiltų dangų, veikiamų leda tirpinančių druskų, šalčio ir jūros vandens, savybių tyrimas  
Anglų kalba: Investigation of Properties of Concrete Bridges' Pavements, Exposed to De-icing Salts, Freeze and Sea Water

Patvirtinta 2016 m. spalio mėn. 17 d. dekanų potvarkiu Nr. V25-13-26

**2. Darbo tikslas:** *Palyginti betono savybių pokyčius, kai betoną veikia leda tirpinančios drusko, jūros vanduo bei šaltis.*

**3. Reikalavimai ir sąlygos:** *Darbas turi būti atliktas laikantis metodinių reikalavimų. Turi būti atskleistas temos aktualumas, rasti keliama darbo tikslai.*

**4. Projekto struktūra.** *Turinys konkretizuojamas kartu su vadovu, atsižvelgiant į BP pobūdį.*

*Tiriamąjame dalyje aprašoma jūrinio klimato įtakos betono savybėms apžvalga šiuolaikinėje literatūroje. Apžvalginė dalis susideda iš skyrių:*

- *Bendrosios žinios apie betonus;*
  - *Leda tirpinančių druskų poveikio betonui apžvalga;*
  - *Šalčio poveikio betonui apžvalga;*
  - *Jūros vandens poveikio betonui apžvalga;*
  - *Kitų ledo tirpinimo būdų apžvalga.*
- Betono mišinio gamybos apžvalga susideda iš skyrių:*
- *Tyrimo objektas;*
  - *Bandinių gamyba.*
- Tyrimo rezultatai pateikiami skyriuose:*
- *Bandymo eiga;*
  - *Bandinių suirimas;*
  - *Prognozuojamo betono bandinių atsparumo šalčiui įvertinimas;*
  - *Išvados.*

**5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.**

<b>6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas</b>	<u>2017-01-09</u> <i>(data)</i>
Užduotį gavau: _____	<u>2016-09-02</u>
<i>(studento vardas, pavardė, parašas)</i>	<i>(data)</i>
Vadovas: _____	<u>2016-09-02</u>
<i>(pareigos, vardas, pavardė, parašas)</i>	<i>(data)</i>

Pakėnaitė, Toma. Betoninių tiltų dangų, veikiamų ledą tirpinančių druskų, šalčio ir jūros vandens, savybių tyrimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Saulius Sušinskas; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Statyba

Reikšminiai žodžiai: *betonas, šaltis, jūros vanduo, druskos, irimas, ilgaamžiškumas.*

Panevėžys, 2016. 40 p.

## **SANTRAUKA**

*Betonines tiltų dangas, jei tiltai pastatyti šaltosiose jūrinio klimato zonose, veikia įvairūs agresyvios aplinkos veiksniai: šaltis, jūros vanduo, ledą tirpinančios druskos. Todėl dangoms svarbu parinkti tokias medžiagas, kurios būtų ilgaamžiškos ir tinkamos tokioms eksploatacijos sąlygoms. Šiame darbe pateikiama pagrindinių agresyvių jūrinės aplinkos veiksnių apžvalga, aprašomos naujosios ledo šalinimo technologijos. Tiriamojoje dalyje atlikti nurodytų veiksnių įtakos betono gniuždomajam stipriui bandymai, atlikta vizualinė bandinių irimo analizė. Nustatyta atskirų veiksnių įtaka betono atsparumui šildymo-šaldymo ciklams.*

Pakenaite, Toma. *Investigation of Properties of Concrete Bridges' Pavements, Exposed to De-icing Salts, Freeze and Sea Water: Master's thesis in Construction / supervisor dr. doc. Saulius Susinskas. Panevezys' Faculty of Technologies and business, Kaunas University of Technology.*

Research area and field: Construction

Key words: concrete, freeze, sea water, salts, deterioration, durability.

Panevezys, 2016. 40p.

## **SUMMARY**

*If bridges are built in cold marine environment, concrete bridges' pavements are exposed to several aggressive environmental factors such as freeze, sea water and de-icing salts. Therefore it is important to choose materials which are durable and suitable for such conditions. In this paper review of main factors of marine environment and new de-icing technologies is presented. In the second part research of how those factors affect concrete's compressive strength is presented. Also visual evaluation of decomposition is done. Impact of marine environment to concrete's durability for freeze-thaw cycles is calculated.*

## TURINYS

ĮVADAS.....	4
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	5
1.1 Betonas .....	5
1.2 Ledą tirpdančios druskos .....	6
1.2.1 Mechaninis poveikis .....	7
1.2.2 Cheminis poveikis.....	9
1.3 Šaltis .....	13
1.4 Jūros vanduo .....	14
1.5 Kitos ledo šalinimo technologijos .....	15
1.6 Ledo siaubas .....	19
1.7 Ledą tirpinančių druskų kainų palyginimas.....	20
2. BETONO BANDINIŲ GNIUŽDOMOJO STIPRIO NUSTATYMAS.....	21
2.1 Tyrimo objektas.....	21
2.2 Bandinių gamyba.....	22
2.3 Bandymo eiga .....	23
2.4 Bandinių suirimas .....	30
3. PROGNOZUOJAMO BETONO BANDINIŲ ATSPARUMO ŠALČIUI ĮVERTINIMAS .....	32
IŠVADOS.....	38
LITERATŪRA.....	39

## ĮVADAS

**Darbo aktualumas** – betono savybių tyrimas, jį veikiant kai kuriems agresyvios aplinkos veiksniams.

Konstrukcijų statybos bei eksploatacijos patirtis, lauko bei laboratoriniai bandymai rodo, kad konstrukcijų bei medžiagų irimas priklauso nuo drėgmės poveikio bei temperatūrų pokyčių. [1] Dėl betono viduje esančių kapiliarų, įtrūkimų ir ertmių, atsiradusių dėl nepakankamo sutankinimo, betonas praleidžia skysčius. Dėl betono eksploatacijos metu veikiančių šilimo-šalimo ciklų gali atsirasti ir laidumo kanalų. Šių ciklų metu betone esantys skysčiai tampa kietais kūnais, keičia savo užimamą tūrį, ir dėl to atsiranda jėgų, iš vidaus ardančių betoną. Priimta, kad betono ilgaamžiškumas priklauso nuo jo porų struktūros, t. y. nuo to, kiek potencialiai konstrukcijai pavojingos medžiagos gali prasiskverbti į jos vidų ir padaryti žalos. Pralaidumas priklauso nuo porėtumo ir porų jungimosi tarpusavyje. Kuo betono poros atviresnės, tuo medžiaga tampa pažeidžiamesnė agresyviems aplinkos poveikiams.

Betonines tiltų dangas, jei tiltai pastatyti šaltųjų kraštų jūrinėse zonose, veikia ne tik šaltis, bet ir nuolat tykštančios jūrų ar vandenynų bangos, kurių vandenyje gausu chloridų, sulfatų bei kt. agresyvių medžiagų. Žiemą, kad danga būtų funkcionali, ji barstoma ledą tirpdančiomis druskomis, kurios taip pat turi neigiamą poveikį.

Prieš parenkant dangą reikia atlikti jos savybių tyrimus ir nustatyti, ar ji ilgaamžiška, funkcionali bei tinkama reikiamoms eksploatacijos sąlygoms.

**Tyrimo objektas** – 10 × 10 × 10 cm betono kubeliai, pagaminti iš betoninio mišinio „Beton 500“ ir kietinti 28 paras.

**Darbo tikslas** – įvertinti betono kubelių savybių pokyčius, juos laikant jūrinį klimatą primenančiomis sąlygomis.

### **Darbo uždaviniai:**

1. Nustatyti betono kubelių stiprumo pokyčius:
  - a. juos šaldant;
  - b. mirkant jūros vandenyje;
  - c. paviršių barstant ledą tirpdančiomis druskomis;
  - d. šaldant, mirkant jūros vandenyje ir barstant paviršių ledą tirpdančiomis druskomis.
2. Palyginti dangos, eksploatuojamos normaliomis sąlygomis, bei dangos, eksploatuojamos agresyvioje aplinkoje, ilgaamžiškumą.

Tyrimo metodai:

1. Betono kubelių stiprumo tyrimas;
2. Analitinis betono kubelių ilgaamžiškumo (atsparumo šildymo-šaldymo ciklams) tyrimas.



# 1. LITERATŪROS APŽVALGA

## 1.1 Betonas

Betonas – tai universali medžiaga, plačiai naudojama statyboje. Iš betono mišinio galima gaminti įvairias ilgaamžes konstrukcijas, gaminius, dangas.

Betonas – dirbtinis akmuo, gautas sukietėjus racionaliai parinktos sudėties rišamosios medžiagos, vandens ir užpildų (su specialiais priedais arba be jų) mišiniui. Nuo betono komponentų savybių ir kokybės priklauso ne tik betono mišinių bei sukietėjusio betono savybės, bet ir gaminių gamybos technologija, techniniai ir ekonominiai rodikliai. [2]

Paprastajam betonui gaminti dažniausiai naudojama medžiaga – portlandcementis. [3] Tai labiausiai paplitusi hidraulinė rišamoji medžiaga, gaunama iš klintinių uolienų ir molio tam tikros sudėties mišinio. Mišinys degamas tol, kol sukepa, tada malamas. [2] Specialiesiems betonams gaminti naudojami specialieji cementai (greitai kietėjantys, baltasis bei spalvotasis, plastifikuoti, hidrofobiniai, atsparūs sulfatams).[3]

Užpildai – įvairios granulimetrinės sudėties grūdėliai [3]. Tai gali būti smėlis, skalda, žvyras, žvirgždas. Galima naudoti ir tam tikrą statybinį laužą, pvz., keraminių plytų.

Betonui gaminti naudojamas vanduo turi būti švarus, jame negali būti priemaišų, turinčių įtakos betono kietėjimui ar jo savybėms.

Norint pakeisti betono savybes, galima naudoti įvairius priedus. Tai gali būti įvairūs plastikliai, stabilizatoriai, priedai, didinantys betono patvarumą, ir pan. Betono patvarumu vadinama savybė ilgą laiką išlikti tinkamam eksploatuoti, kai veikia nepalankios sąlygos: betono paviršiai cikliškai mirksta vandenyje, šlapius konstrukcijų paviršius taško arba tiesiog veikia chloringas vanduo, ledą tirpinančios druskos, betoną veikia jūros chloridų ir sulfatų turintis vanduo, horizontalius betono paviršius veikia lietus ir šaltis, betoną veikia dviejų ir daugiau agresyvumo charakteristikų veiksniai. [4]

Pagal Europos Sąjungos standartus betonas klasifikuojamas pagal betono klases (pvz., C20/25). Dažniausiai betonas vertinamas pagal jo stiprumą veikiant gniuždymo jėgai. Raidė nurodo betoną (angl. Concrete), pirmi du skaitmenys žymi mažiausią charakteristinę betono gniuždymo stiprį, MPa bandant cilindrinis bandinius, o paskutiniai du skaitmenys – mažiausią charakteristinę betono gniuždymo stiprį, MPa bandant kubinius bandinius. Lietuvos bandymo laboratorijose betono gniuždymo stipris nustatomas bandant kubelius.

Lietuvoje gaminamas betonas žymimas taip:

LST EN 206–1–C30/37–XF2–F200–W8–CI 0,20–D16–S3

Čia:

LST EN 206-1 – Lietuvos standartas LST EN 206-1 Betonas. 1 dalis. Techniniai reikalavimai, savybės, gamyba ir atitiktis. Šis standartas taikomas kartu su LST EN 1974 LST EN 206-1 Taikymo taisyklės ir papildomieji nacionaliniai reikalavimai;

C30/37 – betono gniuždymo stiprio klasė;

XF2 – aplinkos poveikio klasė;

F200 – atsparumas šalčiui (šaldymo ir (arba) atšildymo ciklai);

W8 – betono nelaidumas vandeniui;

Cl 0,20 – chloridų kiekis;

D16 – didžiausias užpildo dalelių matmuo;

S3 –slankumo klasė. [5]

Aplinkos poveikio klasės būna šios:

X0 – aplinka nesukelia korozijos arba kitokio žalingo poveikio;

XC1, XC2, XC3, XC4 – korozijos rizika kyla dėl karbonizacijos procesų;

XD1, XD2, XD3 – korozijos riziką kelia ne jūros vandenyje esantys chloridai;

XS1, XS2, XS3 – korozijos riziką kelia jūros vandenyje esantys chloridai;

XF1, XF2, XF3, XF4 – aplinkai būdingi šilimo-šalimo ciklai;

XA1, XA2, XA3 – korozija kyla dėl cheminio aplinkos poveikio.

## 1.2 Ledą tirpdančios druskos

Kad žiemą būtų išlaikomas kelių ar tiltų dangos funkcionalumas, naudojami įvairūs sniego ir ledo pašalinimo būdai. Tačiau labiausiai paplitęs valymo būdas: druskos.

Dažniausiai naudojamos druskos:

1. natrio chloridas;
2. magnio chloridas;
3. kalcio chloridas;
4. kalcio magnio acetatas (CMA).

Tačiau jos dažniausiai turi neigiamą įtaką betoninei dangai. Poveikis gali būti mechaninis ir cheminis. Ledą tirpdančių chemikalų naudojimas gali nulemti betoninių kelių ir tiltų dangų irimą, sukeldamas struktūros sluoksniavimąsi – tai mechaninis poveikis. Cheminį poveikį apima žalingos reakcijos tarp ledą tirpdančių druskų ir cemento tešlos, suintensyvėjusios reakcijos tarp užpildų ir cemento bei tais atvejais, kai naudojama armatūra betonui armuoti, pagreitėjusi korozija. Ledą tirpdančių druskų sukeltą žalą rodo paviršiaus įtrūkimai, sluoksniavimasis ir pirmalaikis silpnėjimas. Mechaninis visų naudojamų druskų poveikis išlieka toks pat, kai tuo tarpu cheminis priklauso nuo cheminės druskų sudėties.

### 1.2.1 Mechaninis poveikis

Betono paviršiaus sluoksniavimasi ir atsilupimą paprastai lemia šilimo-šalimo ciklai. Jis gali atsirasti nepriklausomai nuo to ar naudojamos ledą tirpdančios druskos. Tačiau daugybės tyrimų metu buvo įrodyta, kad jas pridėjus prie šilimo-šalimo ciklų poveikio, betono paviršiaus sluoksniavimosi problema dar labiau paaštrėja. Druskų sukeliama mechaninį sluoksniavimasi bandoma paaiškinti keliais būdais, tokiais kaip: osmosinis slėgis, terminis šokas, druskų kristalų augimas bei klijų plyšimo teorija.



1.1 pav. Įtrūkimai betono paviršiuje



1.2 pav. Betono paviršiaus atsiluoksniavimas

Sniego ar ledo tirpimui, kai ant dangos užbarstoma ledą tirpdanti druska, reikalinga energija. Ši energija paimama iš betono, todėl prie paviršiaus esančiuose sluoksniuose betono temperatūra krenta. Tai vadinama terminiu šoku. Nors šis pokytis laikinas, pastovus terminis šokas gali sukelti įtempius betono paviršiuje, kurie lems įtrūkimus ir paviršiaus susiluksniavimą. [6]

J. Valenza su partneriais, pastebėję panašumus tarp suaižėjusio betono ir dantyto stiklo, pasiūlė teoriją apie klijų plyšimą, paaiškinančią betono sluoksniavimąsi dėl druskų poveikio [7]. Klijų atplėšimas – tai technika, naudojama stiklo pramonėje, kai reikia sukurti negilius „dantukus“ stiklo paviršiuje. Esant aukštai temperatūrai ant stiklo užliejami epoksidiniai klijai ir paliekami atvėsti. Kadangi epoksidiniai klijai plečiasi smarkiau nei stiklas, vėsimo metu atsiradusi trintis taip pat didesnė klijuose nei stikle. Galiausiai klijai sutrūkinėja į mažas plokšteles, kurios keliauja stiklo paviršiumi ir atplėšia mažas jo daleles. Ledo terminio plėtimosi koeficientas yra penkis kartus didesnis nei cementinių medžiagų, todėl jis taip pat gali veikti betoną kaip ir klijai stiklą.

Ant betono užbarsčius ledą tirpdančių druskų sotumo laipsnis viršija tą, kuris būtų gaunamas, jei betoną veiktų vien tik vanduo. To priežastis – druskų higroskopiškumas. Tai reiškia, kad druskų tirpalo garų slėgis mažesnis nei vandens, o jo garų molekulės greičiau susikondensuos į druską, nei į vandenį. Druska, ištirpusi persotintame tirpale, turi didesnę potencinę energiją, nei atitinkamame sočiajame tirpale. Potencinės energijos perteklius gali būti panaudojamas priešintis varžančiam slėgiui, kai druska kristalizuojasi ir iš persotinto tirpalas tampa sočiuoju [8, 9]. Sotumo laipsnis – esminis aspektas visuose kristalizacijos procesuose. Jei tirpalas nepakankamai prisotintas, kristalizacija nevyksta, nes augantys kristalai nėra pajėgūs sukelti kristalizacijos slėgio. Tuo tarpu, vos tik tirpalui pasiekus persotintą būseną, didžiausiose betono porose kristalai ima augti ir augdami sukelia didelį slėgį [8]. Jei šis slėgis viršija poringos medžiagos tempimo stiprį, kristalų susidarymo vietose medžiaga pažeidžiama. [10]



1.3 pav. Druskos kristalai, susidarę betono bandinių paviršiuje

Kai betono porose esantis vanduo šąla, iš ledo išsiskiria jonai ir susikaupia likusiame peršalusiam vandenyje. Šių didelių jonų koncentracijų susidarymas verčia vandens molekules, esančias ten, kur jonų koncentracija mažesnė, tekėti į tas vietas, kur ji didesnė. Dėl šios vandens difuzijos atsiradęs osmosinis slėgis betone sukelia tempimo įtempimus. Šis procesas ypač ryškus prie betono paviršiaus, nes ten druskos koncentracija didžiausia.

### 1.2.2 Cheminis poveikis

Ledą tirpinančių druskų (chloridų) skverbimasis į betoną įmanomas tik tuo atveju, jei betono porose yra vandens. Vanduo į betoną patenka per kapiliarus, poras ar įtrūkimus difuzijos, kapiliarinio įsiurbimo arba prasisunkimo būdu.

Cheminiu požiūriu visos ledą tirpdančios druskos reaguoja su betonu, tačiau kiekvienos medžiagos tarpusavio reakcija skirtinga ir priklauso nuo jos cheminės sudėties. Atliekant bandinių, veikiamų skirtingomis druskomis, gniuždomojo stiprumo bandymus [11] nustatyta, kad po 338 dienų sąveikos su natrio chloridu bei kalcio chloridu bandinių gniuždomasis stipris šiek tiek padidėjo, o po tokio pat ilgio sąveikos su magnio chloridu – smarkiai sumažėjo. Taip nutinka dėl žalingo magnio chlorido poveikio cementiniams betono procesams.

Skirtingas įvairių druskų poveikis betonui matomas ir be jokių papildomų bandymų, t.y. plika akimi. Mokslininkai [6] atliko bandymus, kurių metu betono bandiniai 95 savaites buvo mirkomi įvairių druskų tirpaluose bei distiliuotame vandenyje. Po 95 savaičių buvo atlikta betono bandinių vizualinė apžiūra bei padarytos bandinių nuotraukos. Distiliuoto vandens ir druskų santykis tirpalams nurodytas 1.1 lentelėje; nuotraukos pateikiamos 1.4 – 1.8 paveikslėliuose. [6]

1.1 lentelė

Tirpalų sudėtis

NaCl	970 g distiliuoto vandens, 30 g NaCl
MgCl <sub>2</sub>	932,1 g distiliuoto vandens, 101,5 g MgCl <sub>2</sub>
CaCl <sub>2</sub>	1000 g distiliuoto vandens, 42,4 g CaCl <sub>2</sub>
CMA	1000 g distiliuoto vandens, 54 g CMA



1.4 pav. Bandinys, mirkytas distiliuotame vandenyje



1.5 pav. Bandinys, mirkytas NaCl tirpale



1.6 pav. Bandinys, mirkytas CaCl<sub>2</sub> tirpale



1.7 pav. Bandinys, mirkytas MgCl<sub>2</sub> tirpale



1.8 pav. Bandinys, mirkytas CMA tirpale

Kaip matome nuotraukose, NaCl ir CaCl<sub>2</sub> tirpalai turėjo nedidelį poveikį bandiniams, nematoma aiškių irimo požymių, vizualiai šiuose tirpaluose mirkytų bandinių paviršius nesiskiria nuo kontrolinių bandinių, mirkytų distiliuotame vandenyje, paviršius.

Bandiniai, mirkyti MgCl<sub>2</sub> tirpale, ėmė irti. Atsisluoksniavo ir nuo bandinio atskilo kampuose esantys paviršiai.

Didžiausią žalingą poveikį bandiniams turėjo CMA (kalcio magnio acetato) tirpalas. Jame mirkytų bandinių paviršiai suaižėjo, atskilo. Irimas pastebimas gilesniuose paviršiaus sluoksniuose.

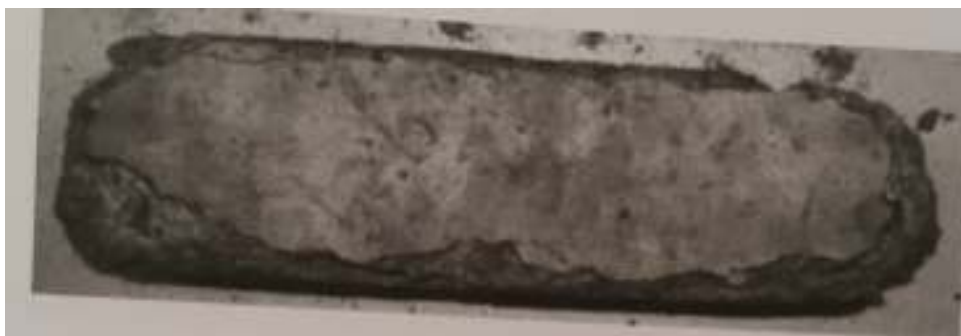
Sumaišius sotesnius tirpalus, t.y. druskos kiekį tirpale padidinus 5 kartus, buvo atlikti tie patys bandymai. Po 95 savaičių NaCl tirpale mirkytų bandinių paviršiniai sluoksniai atsisluoksniavo. Ryškus CaCl<sub>2</sub> ir MgCl<sub>2</sub> tirpaluose mirkytų bandinių irimas pastebėtas jau po 10 savaičių; šiuo atveju jis buvo pats didžiausias. Nuo bandinių ne tik ėmė atsisluoksniuoti paviršius, bet ir bandinio galuose ir kampuose atskilo nemaži betono gabalėliai. Tuo tarpu CMA tirpale mirkytų bandinių irimas užfiksuotas tik po 60 savaičių: nuo bandinio atsisluoksniavo paviršiniai sluoksniai. (1.9 – 1.12 pav.) [6]



1.9 pav. Bandinys, mirkytas sotesniame NaCl tirpale



1.10 pav. Bandinys, mirkytas sotesniame CaCl<sub>2</sub> tirpale



1.11 pav. Bandinys, mirkytas sotesniame  $MgCl_2$  tirpale



1.12 pav. Bandinys, mirkytas sotesniame CMA tirpale

Išanalizavus šio tyrimo metu gautus duomenis, galima daryti išvadą, kad betono irimo procesai veikiant ledą tirpinančioms druskoms priklauso ne tik nuo druskos rūšies, bet ir nuo jos koncentracijos. Pvz.  $CaCl_2$  atveju: mažas kiekis druskos turėjo menką neigiamą poveikį, o didesnis padarė nepataisomos žalos konstrukcijai.

#### **1.2.2.1 Natrio chloridas**

Natrio chloridas – labiausiai paplitusi ledą tirpdanti priemonė. Ji nesukelia rimtų betono pažeidimų, išskyrus paviršiaus nusidėvėjimą dėl fizinių priežasčių (paviršiaus sluoksniavimosi). [12] Tyrimai [6] parodė, kad reaguojant su natrio chloridu betono dinaminis modulis nepasiekia žemesnės nei 0,9 reikšmės, o bandiniai nepatiria reikšmingų pažeidimų.

Nors pats natrio chloridas pažeidimų nesukelia, druskos, kasamos kasyklose (akmens druskos), gali turėti kalcio sulfato priemaišų. Tyrimai [13] rodo, kad net mažiausias kalcio sulfato kiekis gali pažeisti skiedinį.

#### **1.2.2.2 Magnio chloridas**

Magnio chloridas sukelia kur kas didesnę žalą betonui, nei natrio chloridas ar kalcio chloridas. [11, 14] Tai lemia reakcijos tarp magnio bei cemento tešlos komponentų. Magnio chloridas gali reaguoti su cemento tešloje esančiu cementiniu kalcio silikato hidratu (C-S-H) ir sukurti



necementinį produktą – magnio silikato hidratą (M-S-H) bei kalcio chloridą. Taip pat jis gali reaguoti su kalcio hidroksidu bei sukurti kitą necementinę medžiagą – magnio hidroksidą (dar vadinamą brusitu). Po reakcijų gautų necementinių medžiagų rišamosios savybės yra gerokai prastesnės nei medžiagų, buvusių iki reakcijos, todėl didėjant betono poringumui, mažėja betono stiprumas. Be to, reakcijos metu gaunamas magnio hidroksidas smarkiai plečiasi (kristalų augimas), taip iš vidaus dar labiau ardydamas betoną. [14]. Tyrimai [6] parodė, kad sąveikoje su magnio chloridu sumažėja betono dinaminis modulis, bandinių paviršius smarkiai atsisluoksniuoja.

### **1.2.2.3 Kalcio chloridas**

Kalcio chlorido poveikis betonui labai panašus į anksčiau aprašytą magnio chlorido poveikį. Kalcio chloridas reaguoja su kalcio hidroksidu bei sukuria hidratuotą kalcio oksichloridą. [12, 14] Tyrimai [15] parodė, kad sąveikoje su kalcio chloridu sumažėja betono dinaminis modulis, bandinių paviršius smarkiai atsisluoksniuoja.

### **1.2.2.4 Kalcio magnio acetatas**

Ši medžiaga sukelia didžiausią ardantį poveikį betonui. Nustatyta, kad pagrindinė to priežastis – magnio silikato hidrato formavimasis. Tyrimai parodė, kad sąveikoje su kalcio magnio acetatu sumažėja betono dinaminis modulis, bandinių paviršius smarkiai atsisluoksniuoja [6].

## **1.3 Šaltis**

Fizinės betono savybės bei jo atsparumas šalčiui tiesiogiai priklauso nuo porų bei kitų ertmių (gelinių porų, kontrakcinių porų, kapiliarų, tuštumos ir kavernos, įtrūkimų ir pan.). Kuo jų konstrukcijoje daugiau, kuo jų tūriai didesni, tuo daugiau vandens jos gali savyje išlaikyti. Šaldamas vanduo plečiasi, taip sukeldamas slėgį į betono porų ir kapiliarų sienes.

Neigiamas šalčio poveikis dar labiau sustiprėja, kai kartu su juo betoną veikia ir ledą tirpinančios druskos. Šį poveikį bandoma paaiškinti keliais būdais, tokiais kaip hidrodinaminis efektas, kapiliarinis efektas, superaušinimas, šalimas pasluoksniui ir kt. [15]

Šalimo metu tam tikras vandens kiekis pasiekia minimalią temperatūrą, t.y.  $+4^{\circ}\text{C}$ , tuomet, kol pasiekia užšalimo temperatūrą, jo tūris ima didėti, o vėliau po truputį mažėja. Plečiantis prisotintame betone esančiam vandeniui, jo perteklius turi būti išstumtas arba į betono išorę, arba į poras, kuriose vandens dar nėra. Taip susiformuoja ledo kristalai, sukeliantys slėgį į porų sienes. Šis procesas vadinamas hidrodinaminiu efektu arba hidrauliniu slėgiu.

Superaušinimas – tai procesas, kai skystis, atšaldytas žemiau jo kristalizacijos temperatūros, vis vien išlieka skysčiu, t.y. nesukietėja. Betone vanduo visuomet pradeda stingti žemesnėje nei kristalizacijos temperatūroje.

Kapiliarinį efektą galima paaiškinti taip: didesniuose betono kapiliaruose ir porose vanduo užšąla, tačiau mažesniuose kapiliaruose vis dar išlieka skystas ir dėl to išnyksta pusiausvyra. Kad ją atstatyti, iš cemento tešlos į kapiliarus išsiskiria vanduo, kuris taip pat užšąla. Dėl to ledo kristalų kiekis ir tūris nuolat didėja.

Druskos koncentracijos pasikeitimas ant betono paviršiaus lemia porose ir kapiliaruose esančio vandens kristalizacijos temperatūros pasikeitimą. Todėl, tam tikrais atvejais, vandens kristalizacija vyks tik atitinkamuose sluoksniuose. Kai ledo kristalai formuojasi pasluoksniui, gali atsirasti įtempiai, kurie gali lemti tam tikrų sluoksnių atskilimą nuo pagrindo.

#### **1.4 Jūros vanduo**

Jūros bei vandenynų vandenyje gausu įvairių ištirpusių druskų, sulfatų, deguonies, anglies dvideginio.

Į betonines konstrukcijas jūros vanduo gali patekti įvairiais būdais: kai konstrukcija mirksta jūros vandenyje, kai konstrukcija yra bangų kilimo zonoje, kai konstrukcija yra purlų tiškimo zonoje, bei kai konstrukcija yra jūros atmosferinėje zonoje (t.y. kai jūros vandens lašus ant konstrukcijos, esančios toliau nuo kranto, perneša vėjas ar lietus).

Kai vanduo į poringą struktūrą patenka per lietus ar bangas, jame gali būti dviejų tipų medžiagų: medžiagos, būdingos tai struktūrai (pvz., portlandcementyje esantis gipsas) arba atmosferos teršalai, kurie gali reaguoti su tos struktūros sudėtinėmis dalimis. Kai jūros vanduo patenka ant dangos, jame gali būti druskų kristalų. Lietus ištirpdo šiuos kristalus, o tirpalas per kapiliarus patenka į betono vidų. Toliau vyksta vandens garavimas bei druskų kristalų augimas, kaip ir aprašyta skyriuje 1.2.1, tačiau procesai vyksta arčiau betono paviršiaus ir izoliuotų druskos kišenių susiformavimas labiau tikėtinas. [10]

Didžiausią jūros vandenyje ištirpusių druskų dalį sudaro natrio ir chloro jonai. Betoną veikiant jūros vandeniui, pasireiškiantis neigiamas chloridų poveikis yra toks pat kaip ir ledą tirpinančių druskų atveju: druskos kristalų augimo kapiliaruose ir porose, osmosinio slėgio ir kt. veiksmų sukeltas irimas.

Betoninių konstrukcijų irimą gali nulemti ir jūros vandenyje esantys organizmai, tokie kaip moliuskai ar įvairūs dumbliai. Šie organizmai dažniausiai sutinkami tose vietose, kuriose konstrukcija mirksta vandenyje. Moliuskai apsigyvena betono porose ar įtrūkimuose ir, laikui bėgant, ima „kasti“ didesnius tunelius, taip ardydami konstrukciją. Dėl to padidėja betono porėtumas. Padidėjus porėtumui, kaip jau žinoma, betonas įgeria daugiau vandens, o kartu su juo daugiau vandenyje ištirpusių druskų bei kitų žalingų medžiagų, tad konstrukcija vis silpnėja. Bangų ar purlų zonose, kurios periodiškai tai sušlampa, tai išdžiūna (pvz., ant tiltų dangų) dažniau sutinkami grybai ir kerpės.[16]



1.13 pav. Kerpės ant betono



1.14 pav. Ant betono konstrukcijos augantis koralas

### **1.5 Kitos ledo šalinimo technologijos**

Ledą ar sniegą nuo kelio šalinti galima ne tik pasitelkiant druskas. Gali būti naudojamas mechaninis sniego ir ledo šalinimas, kai jis kasamas kastuvais arba valomas sniego valymo mašinomis. Cheminis – kai ant kelių barstomos druskos, pilami įvairūs tirpalai. Vietoje druskų dar gali būti barstomas ir smėlis. Taip pat yra naudojamos įvairios šildymo technologijos, kurių pagalba šildoma pati danga, todėl sniegas ir ledas tirpsta savaime, nenaudojant jokių papildomų medžiagų ar darbo jėgos. Literatūroje [17] nurodomi šie ledo šalinimo būdai:

## 1. Izoliacija nuo šalčio

Šiuo atveju izoliuojama apatinė tilto pakloto dalis. Dažniausiai naudojamos medžiagos – tai uretano putos ir putų polistirolas. Izoliacija sumažina šilumos nuostolius, tenkančius dangos paviršiui, apsaugodama jį nuo ledo susidarymo ir taip sumažindama šilimo-šalimo ciklų skaičių ir ledą tirpinančios druskos poreikį bei padidindama betono ilgaamžiškumą. Tyrimais buvo nustatyta, kad putų polistirolas naudojimas pastebimai sumažina šilimo-šalimo ciklų skaičių bei ledo susidarymą, o uretano putos ne tokios efektyvios ir tik šiek tiek sumažina šalimo intensyvumą.

## 2. Šildymo sistemos

Kaip alternatyva ledą tirpinančioms druskoms, naudojamos ir kelio dangų šildymo sistemos. Šiose sistemose dažniausiai įmontuoti elektriniai šildytuvai arba vamzdžiai, kuriais teka karštas skystis. Skysčiams kaitinti dažniausiai naudojamas iškastinis kuras ar atsinaujinantys energijos šaltiniai, tokie kaip geoterminis vanduo.

### 2.1 „Grindinis šildymas“ naudojant vamzdžius

Šios sistemos veikimas paremtas garuojančiu skysčiu bei garavimo metu išskiriama energija. Vamzdžiais teka amoniakas, kadangi jis atsparus šalčiui. Pagrindiniai parametrai, nuo kurių priklauso sistemos veikimas – paviršiaus plotas ir vamzdžių ilgis.



1.15 pav. Šildymo vamzdžiai

### 2.2 Šildymas naudojant infraraudonųjų spindulių lempas

Ši sistema buvo pripažinta neefektyvia dėl didelių sistemos trukdžių bei nepakankamo elektros energijos tiekimo.

### 2.3 Šildymas naudojant elektra šildomus laidus

Ši sistema taip pat buvo pripažinta neefektyvia dėl iškilusių problemų dėl šildymo elementų bei didelių elektros energijos sąnaudų.

## 2.4 Šildymas naudojant karštus skysčius

Aprašytu atveju karštas vanduo buvo gaunamas iš natūralaus karšto vandens šaltinio. Sistema buvo sudaryta iš varinių vamzdelių, kuriais tekėjo neužšalantis skystis, ateinantis iš mechanizmo, esančio karšto vandens šaltinyje. Nenutrūkstama skysčio cirkuliacija užtikrino, kad ant dangos nebūtų sniego ir ledo.

## 2.5 Elektrai laidus betonas

Elektrai laidus betonas – tai betonas, sukurtas taip, kad praleistų elektros energiją. Šis betonas gaunamas kartu su cementu sumaišius tam tikrą kiekį elektrai laidžios medžiagos, t.y. dalį betono užpildų pakeičiant metalo pluoštu ar anglies dalelėmis. [18] Metalo pluošto naudojimas betono mišinyje taip pat užtikrina betono stiprumo bei atsparumo smūgiams, energijos sugeriamumo, apkrovos išlaikymo padidėjimą. Plieno pluoštu armuotas betonas taip pat šiek tiek atsparesnis chloridų poveikiui nei paprastas betonas.



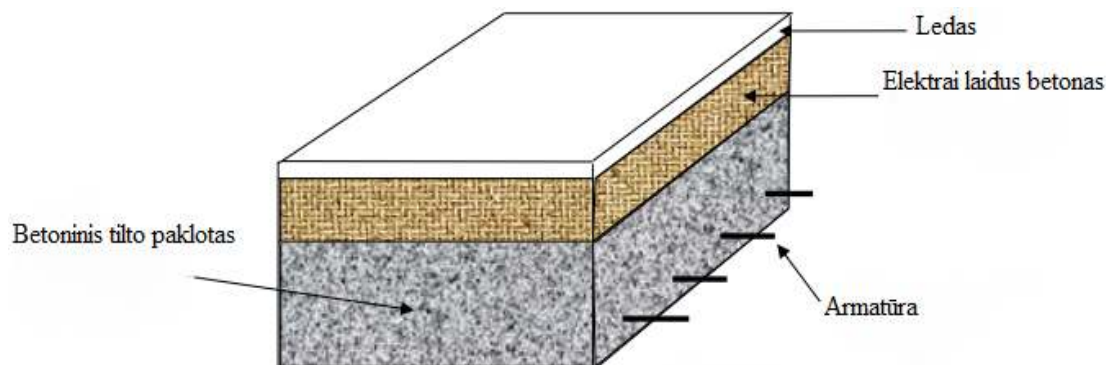
1.16 pav. Betonas su metalo pluoštu

Elektrai laidus betonas naudojamas ne tik dangų šildymo įrengimui, bet ir antistatinėms grindims, elektromagnetiniam apsauginiam sluoksniui bei katodinei armatūros apsaugai betoninėse konstrukcijose įrengti.

Elektros laidumas, reikalingas funkcionaliai šildomai dangai įrengti, pasiekiamas į betoną įmaišius 15-20 procentų mišinio tūrio plieno drožlių arba anglies dalelių bei 1,5 procento mišinio tūrio plieno pluošto.

Po elektrai laidaus betono sluoksniu įrengus šilumos izoliacijos sluoksnį (pvz., iš polistirolu), galima sumažinti elektros energijos sąnaudas, reikalingas ledo tirpinimui.

JAV mokslininko atliktais skaičiavimais [19] elektros energijos sąnaudos, reikalingos dangų apšiltinimui, yra net 10-100 kartų mažesnės nei reikalinga įprastam elektriniam šildymui. Ir, nors dangos iš elektrai laidus betono įrengimas yra gerokai brangesnis nei kitų šildymo sistemų, šiai dangai beveik nereikia priežiūros, tad ir išlaidos eksploatacijai yra minimalios.



1.17 pav. Principinė elektrai laidus betono įrengimo ledo tirpdimui schema

Ant įprasto armuoto betono plokštės kas 1,2m (standartinis žingsnis) sudedama po dvi parforuotas metalines plokšteles, atstojančias elektrodus, kurios galuose laidais sujungiamos vienos su kitomis taip suformuojant elektrinę grandinę. Sukietėjus betonui prie jo prijungiamas trifazis elektros šaltinis. Tekanti elektros energija šildo metalinį ar anglies užpildą bei tirpdo paviršiuje esantį sniegą ar ledą.



1.18 pav. Elektrai laidus betonas tirpdo sniegą

### 2.5.1 Markonitas

Viena iš sudėtinių medžiagų, naudojamų elektrai laidus betono gamybai – tai markonitas. Markonitas – sintetinė medžiaga, sukurta elektrai laidžioms konstrukcijoms gaminti. Tai šalutinis anglies produktas, gaunamas naftos perdirbimo metu. Ji gali būti naudojama ne tik kelių dangoms įrengti, bet ir įžeminimo konstrukcijoms, esančioms po žeme, apsaugoti nuo žalingo grunto poveikio. Tai tamsiai pilka, granuliuota medžiaga, turinti mažą elektrinę varžą. Ši medžiaga nesiplečia, nesitraukia, vanduo jos neišplauna iš betono. Markonitas neardo betono, nesukelia



plieno ar vario korozijos. Lyginant su C25 klasės betonu, markonito giuždomasis stiprumas didesnis beveik 2 kartus. Maišant betoną, markonito ir cemento ir vandens santykis turėtų būti 2:1. [20] Lyginant su standartiniais betono užpildais, ši medžiaga ganėtinai brangi. Jungtinėje Karalystėje 25 kg markonito kainuoja 33£, t.y. 38,5€. [21]



1.19 pav. Markonitas

### 1.6 Ledo siaubas

Siekiant surasti efektyvesnį būdą tirpdyti ledui, Kauno technologijos universiteto mokslininkai bei UAB „Baltkalis“ sukūrė naują, analogų neturintį mišinį, pavadinimu „Ledo siaubas“. Mišinį sudaro įprastai naudojama NaCl druska su melasos priedu. Melasa – tai tamsiai rudas, klampus skystis, gaunamas kaip šalutinis cukrinių runkelių ir cukranendžių perdirbimo produktas. „Ledo siaubas“ veikia itin žemoje temperatūroje, net iki  $-25^{\circ}\text{C}$ . Deklaruojama, kad šis mišinys per tą patį laiką ištirpdo iki 20-25% daugiau sniego ir ledo nei kiti ledą tirpinančių druskų mišiniai. Gamintojai taip pat teigia, kad „Ledo siaubas“ iki 32 kartų sumažina korozijos greitį bei sukelia mažesnę neigiamą poveikį betonui ir kitiems chloridams jautriems paviršiams, nei įprastos druskos. [22]



1.20 pav. Ledo siaubas

### 1.7 Ledą tirpinančių druskų kainų palyginimas

Lietuvos rinkoje yra nemažai skirtingų ledą ir sniegą tirpinančių druskų. Paprastam vartotojui dažniausiai prieinamos NaCl druskos arba NaCl mišiniai su smėliu ar žvyru. Ir, nors ir daugumos druskų sudėtis išlieka ta pati, kinta produkto kaina, tad vartotojui telieka rinktis pagal jo norimus kriterijus. 1.2 lentelėje palyginimui nurodytos kelių rūšių techninės druskos kainos [23, 24]

1.2 lentelė

Techninės druskos kainos

Pavadinimas	Kiekis, kg	Kaina, €	1 kg. kaina, €
Ledo siaubas	10	11,56	1,16
Techninė druska ledui tirpinti (NaCl)	25	7,50	0,30
Smėlio-druskos mišinys	50	6,05	0,12



## 2. BETONO BANDINIŲ GNIUŽDOMOJO STIPRIO NUSTATYMAS

### 2.1 Tyrimo objektas

Tyrimo objektas – betono kubeliai, kurių matmenys 10 × 10 × 10 cm. Betono kubeliai buvo pagaminti iš sauso betoninio mišinio „Beton 500“, skirto monolitinio grindų sluoksnio įrengimui, „plaukiojančioms“ irš šildomoms grindims lieti. Mišinys gali būti naudojamas tiek vidaus, tiek išorės darbams. Mišinio gamintojas deklaruoja, kad pagamintas betonas atsparus vandeniui ir šalčiui. Techniniai sauso betono mišinio duomenys nurodyti 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė

Techniniai betono mišinio duomenys

Tipas	Cementinis
Žymėjimas	LST EN 13813 CT-C25-F4
Degumo klasė	A1
Polimerų kiekis	≤ 1%
Frakcija	0-4mm
Stipris gniuždant	C25
Stipris lenkiant	F4
Ilgamžiškumas (šildymas-šaldymas)	25 ciklai
Vandens sunaudojimas	~0,1 l vienam kg sausojo mišinio
Vandenyje tirpus chromo (VI) koncentracija	≤ 0,0002 %
Sausojo mišinio išeiga	apie 20kg/m <sup>2</sup> , kai sluoksnio storis 1 cm
Sluoksnio storis	nuo 30mm
Skiedinio džiovimo laikas	1mm - 24 val.

## 2.2 Bandinių gamyba

40 kg maišo turinys supilamas į 4 litrus šalto ir švaraus vandens. Vanduo su sausu betono mišiniu sumaišomas kastuvu, kol nebelieka sausų miltelių. Gautas mišinys sukrečiamas į 100×100×100 mm formas. Formos su betono mišiniu padedamos ant vibracinio stalelio ir mišinys sutankinamas. Sutankinti bandiniai paliekami kietėti 28 paroms.



2.1 pav. Betono bandinių gamyba

Po to bandiniai buvo suskirstyti į 5 grupes.

Pirmoji bandinių grupė – kontrolinė. Pusė šiai grupei priskirtų bandinių tyrimo pradžioje sugniuždyti galios presu, taip išmatuojant jų gniuždomąjį stiprį. Likę šios grupės bandiniai iki tyrimo pabaigos laikomi normaliomis sąlygomis, o tada sugniuždomi, siekiant nustatyti gniuždomojo stiprio pokyčius normaliomis sąlygomis.

Antrajai bandinių grupei priskirti kubeliai šaldomi. Pasirinkta šaldymo temperatūra:  $-23^{\circ}\text{C}$ . Temperatūra visą tyrimo laikotarpį nekinta, bandiniai šaldomi sausi, neatšildomi. Kartą per savaitę paimami trys bandiniai ir nustatomas jų gniuždomasis stipris. Likę bandiniai paliekami šaldiklyje.

Trečioji bandinių grupė – jūros vandenyje mirkomi kubeliai. Tyrimui naudotas Baltijos jūros vanduo. Vidutinė cheminė jūros vandens sudėtis nurodyta 2.2 lentelėje. Bandiniai pamerkami taip, kad vanduo juos pilnai apsemtų. Kartą per savaitę paimami trys bandiniai ir nustatomas jų gniuždomasis stipris. Likę bandiniai paliekami mirkti vandenyje.

Vidutinės jūros vandenyje esančių mineralų reikšmės

Chloridai, Cl <sup>-</sup>	19880 mg/L	Natris, Na <sup>+</sup>	11040 mg/L
Sulfatai, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2740 mg/L	Magnis, Mg <sup>2+</sup>	1315 mg/L
Hidrokarbonatai, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	183 mg/L	Kalcis, Ca <sup>2+</sup>	440 mg/L
Bromidai, Br <sup>-</sup>	68 mg/L	Kalis, K <sup>+</sup>	390 mg/L

Ketvirtoji bandinių grupė – kubeliai, kurių paviršių veikia ledą tirpdanti druska. Šiam tyrimui buvo pasirinkta techninė druska, kurios sudėtis nurodyta 2.3 lentelėje. Bandinių paviršius apibarstytas šia druska ir sudrėkintas. Kartą per savaitę paimami trys bandiniai ir nustatomas jų gniuždomasis stipris. Likusių bandinių paviršius ir toliau barstomas druska ir drėkinamas.

2.3 lentelė

Techninės druskos sudėtis

Eil. Nr.	Pavadinimas	Kiekis, %
1.	NaCl	≥98,4
2.	Netirpios medžiagos	≤0,45
3.	Drėgmė	≤0,25

Penktoji bandinių grupė – mišri. T.y. kubeliai mirkomi vandenyje, apibarstomi druska, sušaldomi, išėmus iš šaldiklio vėl pamerkami į vandenį ir t.t. viso tyrimo metu. Tyrimo pabaigoje nustatomas bandinių gniuždomasis stipris.

### 2.3 Bandymo eiga

Betono bandinių bandymai atliekami su 2500 kN galios presu.

Prieš dedant bandinius į presą, švariai nuvalomi visi jų paviršiai. Tarp 2500 kN galios preso plokščių ir bandinio nėra dedami jokie intarpai. Betono kubelių bandiniai dedami taip, kad apkrova tektų statmenai formavimo kryptiai. Bandinio centras turi sutapti su preso apatinės plokštės centru.



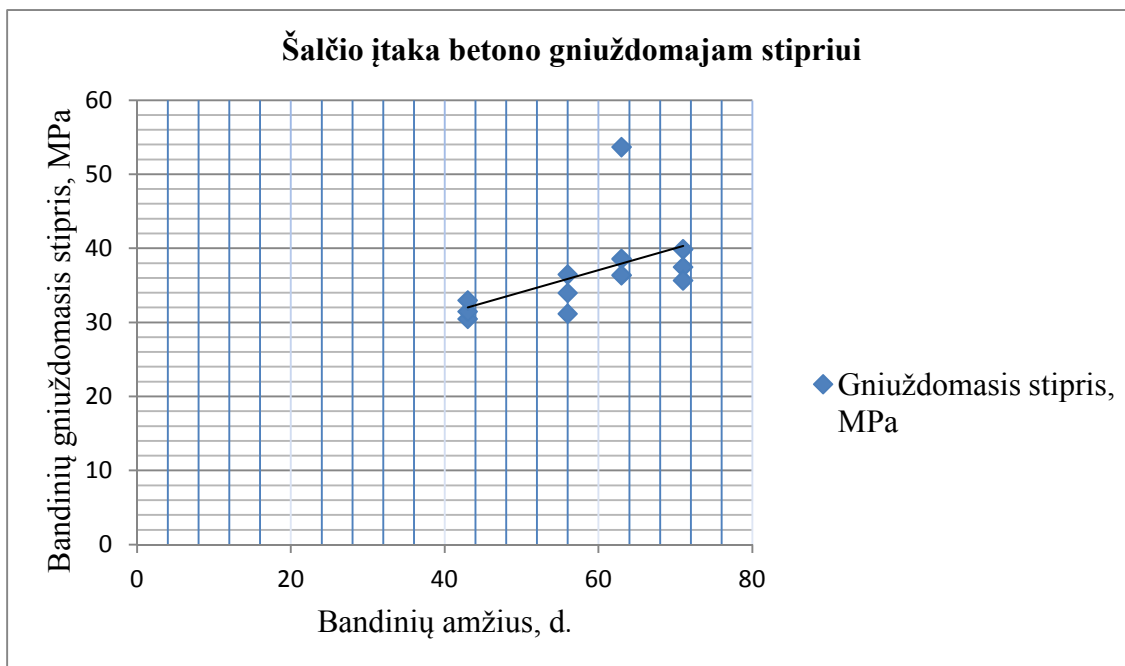
2.2 pav. 2500 kN galios presas

Atlikus gniuždomojo kubelių stiprio matavimus, gauti duomenys surašomi į 2.4 lentelę:

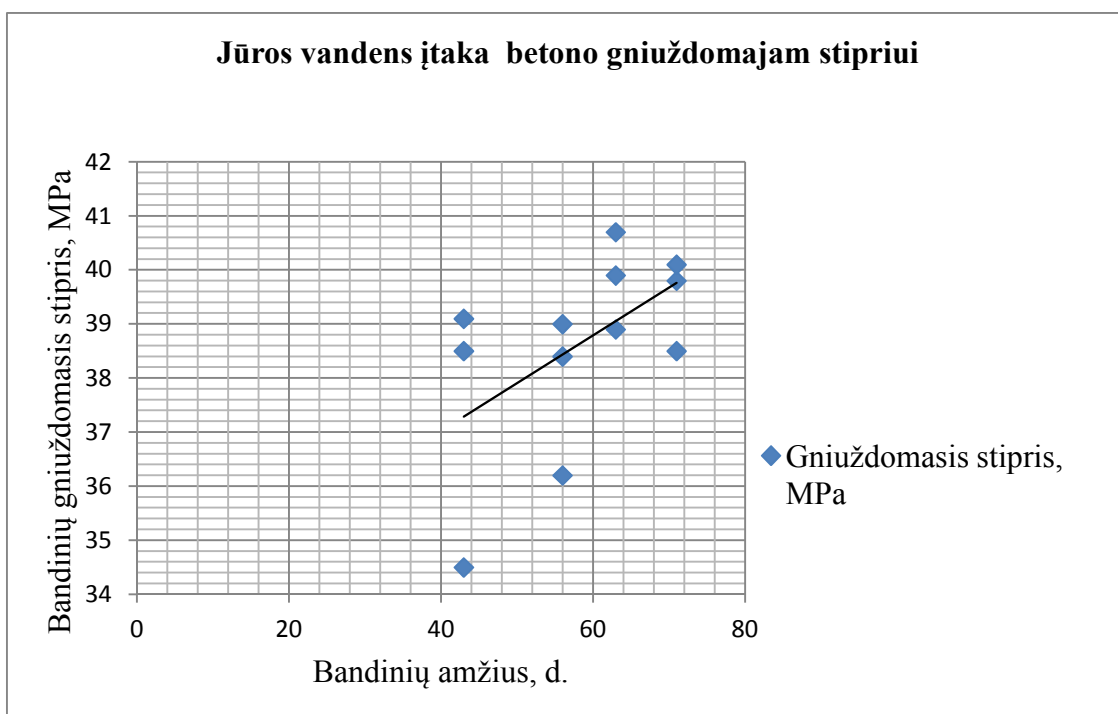
## Gniuždomasis bandinių stipris

Bandymo data		2016.10.26		2016.11.03		2016.11.16		2016.11.23		2016.12.01		2016.12.07	
Kubelių amžius (dienomis)		35		43		56		63		71		77	
Eil.Nr.	Tipas	Svoris (g)	Stipris (MPa)	Svoris (g)	Stipris (MPa)	Svoris (g)	Stipris (MPa)	Svoris (g)	Stipris (MPa)	Svoris (g)	Stipris (MPa)	Svoris (g)	Stipris (MPa)
1	Pradiniai	2230	39,5									2240	43,5
		2300	46,0									2220	41,5
		2170	38,0									2180	41,5
2	Šaldomi			2210	30,5	2180	36,5	2180	53,7	2220	39,9		
				2250	31,5	2200	34,0	2200	38,6	2200	37,5		
				2180	33,0	2240	31,2	2220	36,4	2210	35,7		
3	Mirkomi vandenyje			2200	34,5	2230	39,0	2220	40,7	2280	38,5		
				2220	39,1	2210	38,4	2200	39,9	2200	39,8		
				2210	38,5	2200	36,2	2210	38,9	2200	40,1		
4	Barstomi druska			2220	40,5	2250	40,0	2200	41,8	2220	39		
				2210	40,3	2230	39,9	2230	40,9	2230	41,3		
				2190	40,1	2200	40,3	2210	41,5	2210	41,7		
5	Šaldomi, mirkomi, barstomi											2230	50
												2270	44
												2190	46,5

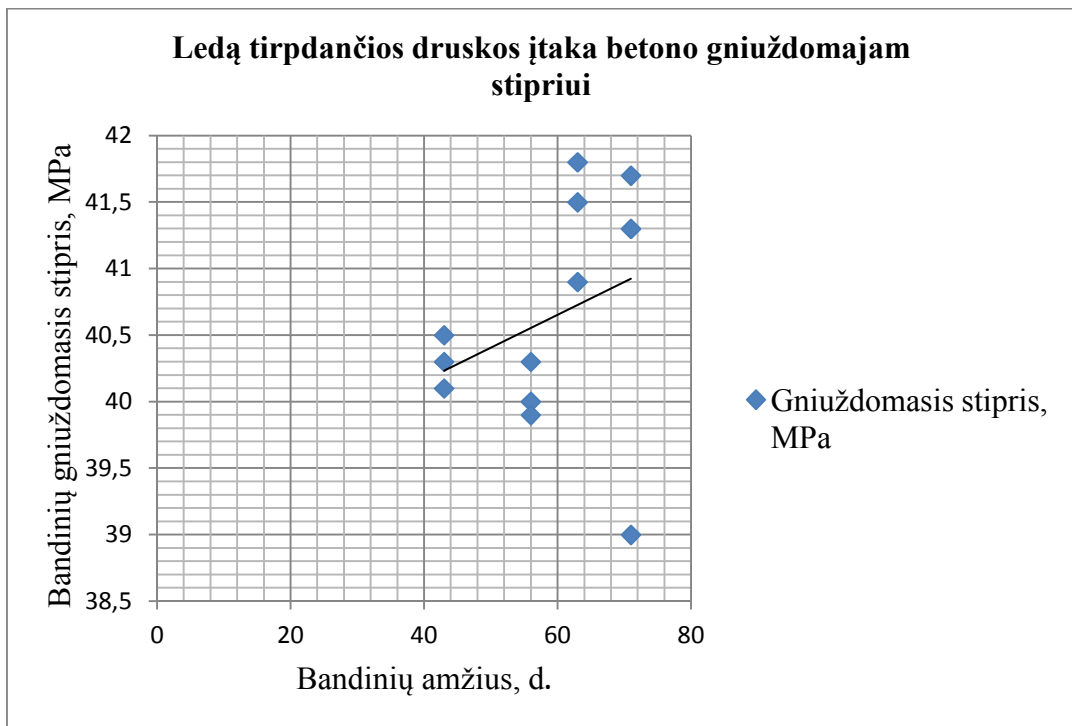
Pagal gautus duomenis sudaryti grafikai, vaizduojantys atitinkamų veiksnių įtaką betono bandinių gniuždomajam stiprumui.



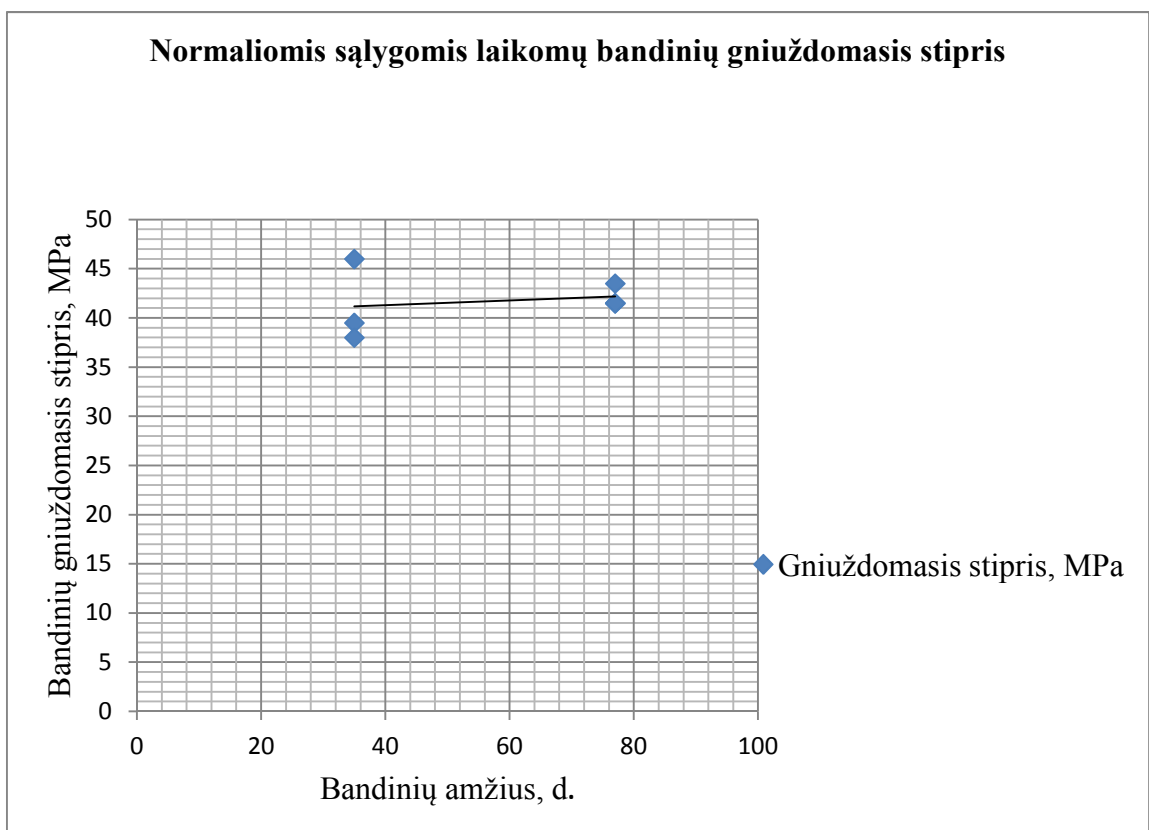
2.3 pav. Šalčio įtaka betono gniuždomajam stipriui



2.4 pav. Jūros vandens įtaka betono gniuždomajam stipriui



2.5 pav. Ledą tirpdančios druskos įtaka betono gniuždomajam stipriui



2.6 pav. Normaliomis sąlygomis laikomų bandinių gniuždomojo stiprio pokyčiai

Apskaičiavus kiekvieno bandymo metu gautų rezultatų vidutines reikšmes, nustatytas vidutinis bandinių gniuždomojo stiprio pokytis procentais. Rezultatai pateikiami 2.5 lentelėje.

Vidutinis bandinių gniuždomojo stiprio pokytis

Eil. Nr.	Aprašymas	Vidutinė bandinių gniuždomojo stiprio reikšmė, MPa		Pokytis, %
		Tyrimo pradžioje	Tyrimo pabaigoje	
1.	Kontroliniai bandiniai (laikomi normaliomis sąlygomis)	41,17	42,17	2,43
1.	Šaldomi bandiniai	31,67	37,70	19,04
2.	Bandiniai, mirkomi jūros vandenyje	37,37	39,47	5,62
3.	Bandiniai, kurių paviršius barstomas technine druska	40,30	40,67	0,92

Kadangi, tyrimo pabaigoje atlikus gniuždomojo betono stiprumo matavimus bandinių grupei, kurių paviršius barstomas ledą tirpdančia druska, gautų rezultatų imtyje vienas dydis smarkiai skiriasi ne tik nuo to paties bandymo metu gautų kitų rezultatų (daugiau nei 2MPa), bet ir nuo ankstesnių bandymų metu gautų rezultatų, šis dydis iškreipia vidutinę betono gniuždomojo stiprumo reikšmę tyrimo pabaigoje. Skaičiuojant vidutinę reikšmę, nuspręsta šio dydžio nevertinti. Tokiu atveju, vidutinė betono gniuždomojo stiprumo reikšmė tyrimo pabaigoje, kai betono kubelių paviršius barstomas ledą tirpdančia druska – 41,50 MPa, o gniuždomojo stiprio pokytis – 2,98%.

Taip pat apskaičiuotas ir mišrioje grupėje, t.y. grupėje, kurioje esantys bandiniai buvo ir šaldomi, ir mirkomi jūros vandenyje, ir jų paviršius buvo barstomas technine druska, esančių bandinių vidutinis gniuždomasis stipris. Gauta reikšmė – 46, 83 MPa.

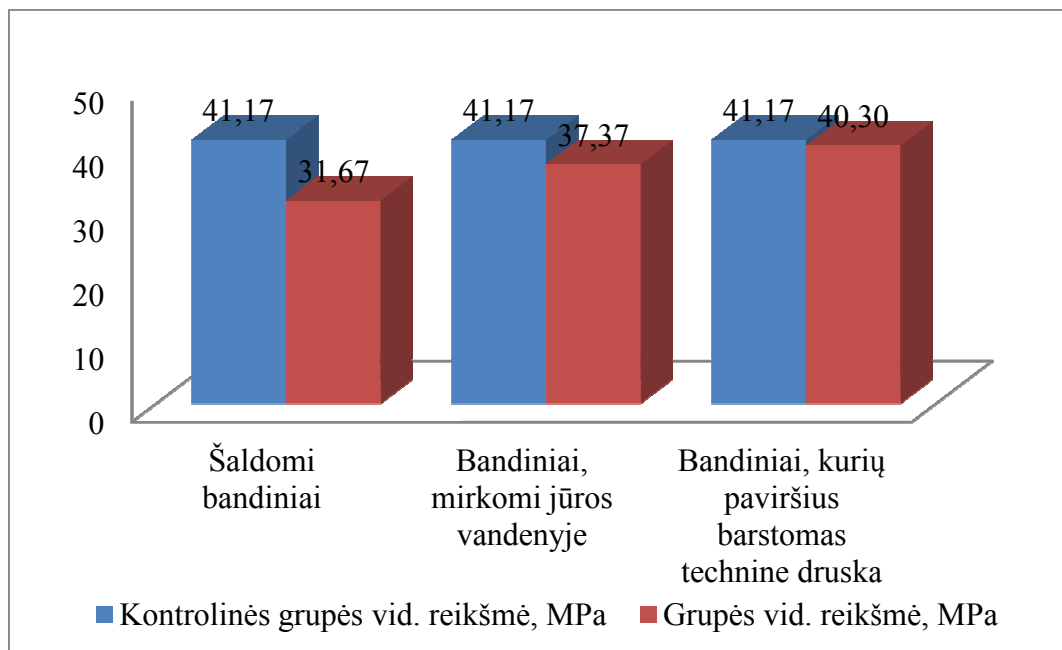
Išanalizavus tyrimo metu gautus duomenis, nustatyta, kad, lyginant su kontroline grupe, visų bandinių grupių vidutinis gniuždomasis stipris sumažėjo. Didžiausias gniuždomųjų stiprių skirtumas gautas lyginant kontrolinę grupę su šaldytais bandiniais. Tyrimo pradžioje vidutinis gniuždomasis stipris tarp šių grupių skyrėsi 9,50 MPa. Jūros vandenyje mirkomų bandinių vidutinis gniuždomasis stipris 3,80 MPa mažesnis nei kontrolinės grupės, o bandinių, kurių paviršius buvo barstomas technine druska, vidutinis gniuždomasis stipris nuo kontrolinės grupės skyrėsi 0,87 MPa.

Tyrimo eigoje, kas savaitę hidrauliniu presu gniuždant po tris bandinius iš kiekvienos grupės, gaunamos betono kubelių atsparumo gniuždymui vertės didėja, lyginant su prieš tai atlikto kubelių gniuždymo rezultatais. Viso tyrimo metu atsparumas gniuždymui labiausiai padidėjo toje grupėje, kurioje esantys bandiniai buvo šaldomi – 19,04%.

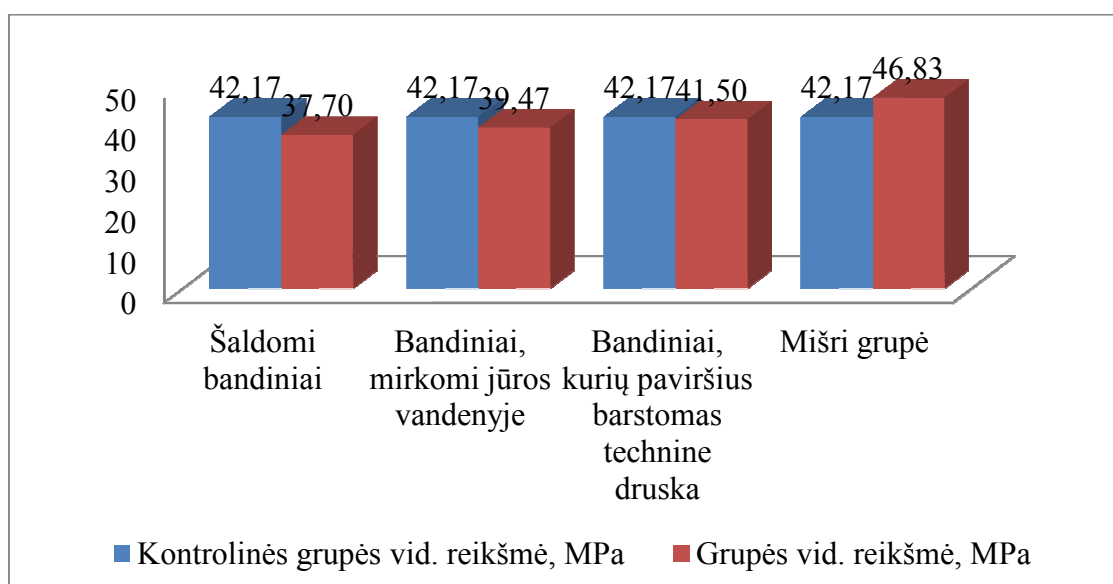


Palyginus duomenis, gautus tyrimo pabaigoje, matoma, kad, nors ir betono bandinių atsparumas gniuždymui palaipsniui didėja, gautos vidutinės vertės vis vien mažesnės nei bandomosios grupės, t.y. grupės, kurioje bandiniai laikomi normaliomis sąlygomis. Vadinasi, atskirai veikiančių šalčio, jūros vandens ir techninės druskos (NaCl), poveikis betono gniuždomajam stipriui yra neigiamas.

Tačiau, lyginat kontrolinę grupę su mišriąja, gaunamas priešingas rezultatas. Vidutinė betono atsparumo gniuždymui vertė padidėja 4,66 MPa, t.y. 11,05%.



2.7 pav. Vidutinių bandinių gniuždomojo stiprio reikšmių palyginimas tyrimo pradžioje



2.8 pav. Vidutinių bandinių gniuždomojo stiprio reikšmių palyginimas tyrimo pabaigoje

## 2.4 Bandinių suirimas

Galios presu sugniuždžius bandinius, atlikta vizualinė jų suirimo analizė. Kai buvo apžiūrėti antrojoje, trečiojoje ir ketvirtojoje grupėse esantys bandiniai, jų amžius buvo 71 para (2.9 – 2.11 pav.) Penktojoje grupėje esančių kubelių vizualinė suirimo po gniuždymo apžiūra (2.12 pav.) buvo atlikta tuomet, kai bandiniams buvo suėję 77 dienos.

Šaldytų bandinių šoniniuose paviršiuose atsirado skersiniai įtrūkimai, dalis šoninių paviršių atsisluoksniavo, o kai kurie jų atskilo nuo kubelio. Atskilusių šoninių paviršių storis 1-20 mm, kintantis visame paviršiaus plote.

Bandiniai, mirkyti jūros vandenyje, gniuždymo metu iro panašiai: atsirado įtrūkimai, dalis paviršių atsisluoksniavo ir atskilo nuo kubelio. Atskilusių paviršių storis taip pat nevienodas – kiekvienoje paviršiaus ploto vietoje jis kinta. Šio sluoksnio storis taip pat nedaug skiriasi nuo sluoksnių, atskilusių nuo šaldytų bandinių, storio. Jis kinta 1-20 mm intervale.

Bandinių, kurių paviršius buvo barstomas ledą tirpinančiomis druskomis, irimo principas truputį skiriasi nuo prieš tai aptartų bandinių irimo. Po bandinių sugniuždymo galios presu, jų paviršiuose nepastebėti jokie įtrūkimai. Tačiau visų bandinių šoniniai paviršiai atsisluoksniavo nuo pagrindo, kai kurie jų atskilo nuo kubelio. Atskilusių sluoksnių storis didesnis nei prieš tai buvusiose grupėse. Didžiausia užfiksuota reikšmė – 27 mm.

Galios presu sugniuždžius bandinius, kurie buvo laikomi jūrinį klimatą primenančiomis sąlygomis (penktoji grupė), t.y. cikliška šaldomi, mirkomi jūros vandenyje bei jų paviršius barstomas ledą tirpinančia druska, pastebėta, kad jie yra taip, kaip ir prieš tai aptartos grupės kartu paėmus. Šoniniuose bandinių paviršiuose pastebimi įtrūkimai, visi paviršiai atsisluoksniuoja, dalis jų atskyla nuo kubelio. Atskilusio sluoksnio storis 1-17mm.

Bendruoju atveju, atskilusių paviršių storis bandinių kampuose yra pats mažiausias ir siekia vos 1 mm. Didžiausią reikšmę atskilusio paviršiaus storis pasiekia bandinio viduryje.



2.9 pav. Bandinių irimas po šaldymo



2.10 pav. Bandinių irimas po mirkymo jūros vandenyje



2.11 pav. Bandinių irimas po paviršių barstymo technine druska



2.12 pav. Bandinių irimas po laikymo jūrinį klimatą primenančiomis sąlygomis

### 3. PROGNOZUOJAMO BETONO BANDINIŲ ATSPARUMO ŠALČIUI ĮVERTINIMAS

Norint įvertinti prognozuojamą eksploatacinį betono atsparumą šalčiui, turi būti žinomi betono struktūriniai rodikliai, tokie kaip porėtumas, porų ir kapiliarų storis ir pan. Dalis šių dydžių nustatoma laboratorinių tyrimų metu, kiti dydžiai apskaičiuojami remiantis formulėmis.

Pirmiausia apskaičiuojami betono struktūriniai rodikliai: [25]

$$W_E = \frac{m_0}{V} \cdot \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

Čia:  $W_E$  – efektyvusis porėtumas, %;

$m_0$  – sauso bandinio svoris, g;

$m_1$  – drėgno bandinio, mirkyto natūraliomis sąlygomis, svoris, g;

$V$  – drėgno bandinio, mirkyto vakuume, tūris,  $\text{cm}^3$ ;

$$W_R = \frac{m_0}{V} \cdot \frac{m_4 - m_0}{m_0} \cdot 100\%, \quad (2)$$

Čia:  $W_R$  – bendras porėtumas, %;

$m_4$  – drėgno bandinio, mirkyto vakuume, svoris, g;

$$R = \left( 1 - \frac{W_E}{W_R} \right) \cdot 100\%, \quad (3)$$

Čia:  $R$  – porų rezervas, %;

$$D = \frac{100 - W_R}{W_R} \cdot 100\%, \quad (4)$$

Čia:  $D$  – santykinis porų ir kapiliarų sienelių storis, %;

$$N = \frac{h_{max} - h_{min}}{h_{min}}, \quad (5)$$

Čia:  $h_{max}$  – maksimali kapiliarinės drėgmės pakilimo reikšmė, mm;

$h_{min}$  – minimali kapiliarinės drėgmės pakilimo reikšmė, mm.

Apskaičiavus struktūrinius rodiklius, skaičiuojami kapiliariniai masės greičiai.[26]

$$g_1 = \left( \frac{m_2 - m_0}{S_1} \right) \quad (6)$$

Čia:  $g_1$  - kapiliarinis masės srauto greitis normaliomis sąlygomis,  $\text{g/cm}^2 \cdot \text{h}$ ;

$m_2$  – įsotinto kapiliarinio pasiurbimo būdu normaliomis sąlygomis šaldymo kryptimi po 30 min. bandinio masė, g;

$S_1$  – bandinio darbinio paviršiaus plotas šaldymo kryptimi,  $\text{cm}^2$ .

$$G_1 = \left( \frac{m_3 - m_0}{S_2} \right) \quad (7)$$

Čia:  $G_1$  - kapiliarinis masės srauto greitis vakuume šaldymo kryptimi,  $\text{g/cm}^2 \cdot \text{h}$ ;

$m_3$  – įsotinto kapiliarinio pasiurbimo būdu vakuume šaldymo kryptimi po 30 min. bandinio masė, g;

$S_2$  – bandinio darbinio paviršiaus plotas šaldymo kryptimi,  $\text{cm}^2$ .

$$G_2 = \left( \frac{m_5 - m_0}{S_3} \right) \quad (8)$$

Čia:  $G_2$  - kapiliarinis masės srauto greitis vakuume statmenai šaldymo kryptimi,  $\text{g/cm}^2 \cdot \text{h}$ ;

$m_5$  – įsotinto kapiliarinio pasiurbimo būdu vakuume statmenai šaldymo kryptimi po 30 min. bandinio masė, g;

$S_3$  – bandinio darbinio paviršiaus plotas statmenai šaldymo kryptimi,  $\text{cm}^2$ .

$$F_{RE} = 0,231 \cdot \frac{R^{1,068} \cdot D^{1,345} \cdot G_1^{0,275} \cdot G_2^{0,663}}{N^{0,285} \cdot g_1^{1,034}} \quad (9)$$

Čia:  $F_{RE}$  – prognozuojamas eksploatacinis atsparumas šalčiui, ciklų skaičius.

Kapiliarinių masės srautų greičių bei kai kurių struktūrinių rodiklių nustatymui betono bandinius reikia laikyti vakuume. Kadangi laboratorijoje, kurioje buvo atlikti bandymai, nėra tam reikiamos įrangos ir darbo tikslas yra ne nustatyti konkrečias eksploatacinio atsparumo šalčiui reikšmes, o palyginti jų pokyčius kiekvienai bandinių grupei, skaičiavimuose priimamos sąlyginės tų dydžių reikšmės. Kiekvienai grupei priskirti vienodi tam tikrų rodiklių dydžiai. Kadangi bendrojo porėtumo reikšmė turi būti teigiama, drėgno bandinio, mirkyto vakuume svoris turi būti didesnis nei natūraliomis sąlygomis mirkyto bandinio svoris. Todėl prie natūraliomis sąlygomis mirkyto bandinio svorio pridedame pasirinktą reikšmę. Šiuo atveju 30 g. Kapiliarinių masės srautų greičius prilyginame vienetui:

$$G_1 = G_2 = g_1 = 1 \quad (10)$$

Tyrimas pradėtas, kai kubelių amžius buvo 71 para. Iš kiekvienos grupės paimta po tris bandinius. 7 paras jie visi laikomi sausai, kambario temperatūroje, kad išdžiūtų. Sausi bandiniai pasverti. Tuomet bandiniai sudedami į indą ir į jį įpilama vandens tiek, kad bandiniai būtų apsemti 10 mm nuo apačios. Taip įmerkti bandiniai laikomi valandą. Tuomet liniuote pamatuojamas drėgmės pakilimo aukštis. Kadangi kiekviename bandinio krašte drėgmė pakyla nevienodai, matuojama didžiausia ir mažiausia kapiliarinio vandens pakilimo reikšmės. Išmatavus visus bandinius, į indą pripilama daugiau vandens, kad bandiniai būtų apsemti. Po valandos bandiniai išimami, nusausinamas paviršius ir kubeliai pasveriami. Matavimų duomenys surašomi į 3.1 lentelę.

3.1 lentelė

Matavimų duomenys

<b>Eil.Nr.</b>	<b>Tipas</b>	<b>Sauso bandinio svoris (g)</b>	<b>Įmirkusio bandinio svoris (g)</b>	<b>Minimalus drėgmės pakilimo aukštis (mm)</b>	<b>Maksimalus drėgmės pakilimo aukštis (mm)</b>
<b>1</b>	<b>Pradiniai</b>	2180	2250	15	18
		2200	2270	17	19
		2190	2230	15	17
<b>2</b>	<b>Šaldomi</b>	2180	2210	19	23
		2200	2230	19	22
		2210	2230	19	23
<b>3</b>	<b>Mirkomi vandenyje</b>	2230	2280	18	20
		2210	2250	21	25
		2190	2230	19	22
<b>4</b>	<b>Barstomi druska</b>	2190	2230	17	21
		2220	2270	21	23
		2220	2250	19	22
<b>5</b>	<b>Šaldomi, mirkomi, barstomi</b>	2230	2270	23	25
		2210	2240	19	21
		2230	2250	22	23

Atlikus matavimus, pagal aukščiau aprašytas formules apskaičiuojami kiekvienoje grupėje esančių bandinių betono struktūriniai rodikliai. Juos apskaičiavus, pagal gautas reikšmes bei priimtus kapiliarinių masės greičių dydžius apskaičiuojamas prognozuojamas eksploatacinis atsparumas šalčiui. Skaičiavimai atliekami programos MS Excel pagalba. Gauti rezultatai surašomi į 3.2 lentelę.

3.2 lentelė

Apskaičiuoti bandinių struktūriniai rodikliai

<b>Eil.Nr.</b>	<b>Tipas</b>	<b>W<sub>E</sub></b>	<b>W<sub>R</sub></b>	<b>R</b>	<b>D</b>	<b>N</b>	<b>F<sub>RE</sub></b>
<b>1</b>	<b>Pradiniai</b>	4,00	7,00	42,9	13,3	0,20	22,3
		4,00	7,00	42,9	13,3	0,19	22,7
		4,00	7,00	42,9	13,3	0,13	25,0
<b>2</b>	<b>Šaldomi</b>	3,00	6,00	50,0	15,7	0,64	20,5
		3,00	6,00	50,0	15,7	0,38	23,9
		4,00	7,00	42,9	13,3	0,21	22,0
<b>3</b>	<b>Mirkomi vandenyje</b>	5,00	8,00	37,5	11,5	0,11	21,2
		4,00	7,00	42,9	13,3	0,19	22,6
		4,00	7,00	42,9	13,3	0,16	23,8
<b>4</b>	<b>Barstomi druska</b>	4,00	7,00	42,9	13,3	0,24	21,3
		5,00	8,00	37,5	11,5	0,10	22,2
		3,00	6,00	50,0	15,7	0,26	26,4
<b>5</b>	<b>Šaldomi, mirkomi, barstomi</b>	4,00	7,00	42,9	13,3	0,32	19,6
		5,00	7,00	28,6	13,3	0,11	25,0
		5,00	8,00	37,5	11,5	0,60	13,1

Siekiant supaprastinti rezultatų nagrinėjimą, apskaičiuojamos vidutinės betono struktūrinių rodiklių bei prognozuojamo eksploatacinio betono atsparumo šalčiui reikšmės kiekvienai bandinių grupei. Gauti rezultatai surašomi į 3.3 lentelę.

## Vidutinės struktūrinių rodiklių reikšmės

Eil.Nr.	Tipas	$W_E$	$W_R$	R	D	N	$F_{RE}$
1	Pradiniai	4,00	7,00	42,9	13,3	0,17	23,3
2	Šaldomi	3,33	6,33	47,6	14,9	0,40	22,1
3	Mirkomi vandenyje	4,33	7,33	41,1	12,7	0,15	22,5
4	Barstomi druska	4,00	7,00	43,5	13,5	0,20	23,3
5	Šaldomi, mirkomi, barstomi	4,67	7,33	36,3	12,7	0,34	19,2

Gauti skaičiavimų rezultatai rodo, jog mažiausiai šalčiui atspari grupė yra mišri. T.y. ta, kurioje esantys bandiniai buvo veikiami tiek šalčio, tiek jūros vandens, tiek ledą tirpinančių druskų. Nuo kontrolinėje grupėje esančių bandinių, mišrios grupės vidutinis prognozuojamas eksploatacinis atsparumas šalčiui skiriasi 17,6 %.

Natrio chlorido druska barstomų bandinių prognozuojamas atsparumas šalčiui nesiskiria nuo kontrolinės grupės. Kaip ir teigiama pateiktoje literatūros apžvalgoje, ši techninė druska turi mažą neigiamą poveikį betonui ir tyrimo rezultatai tai patvirtina.

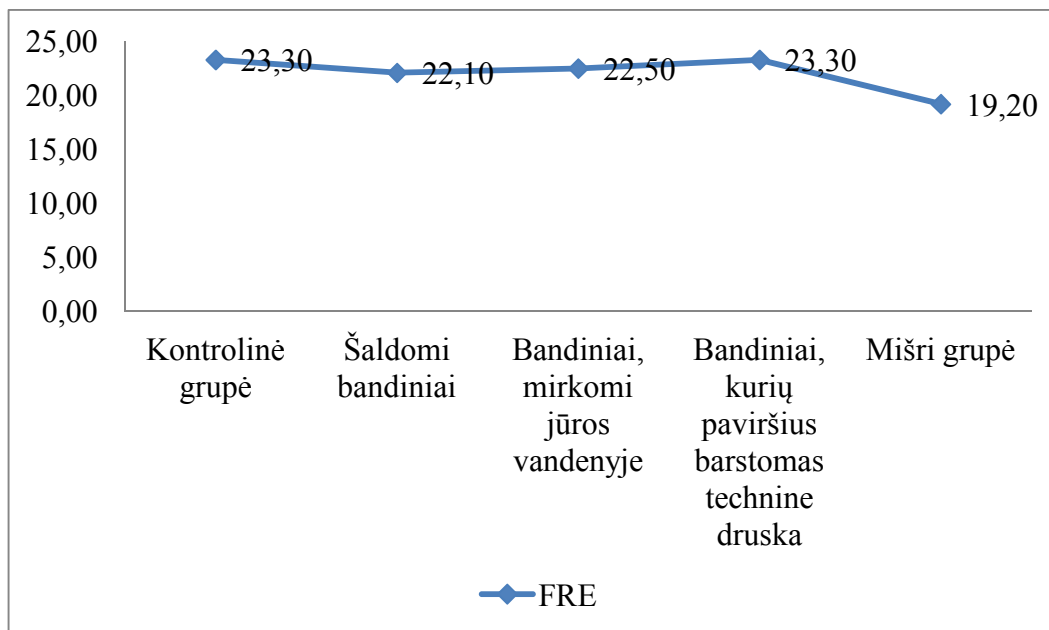
Šaldomų bandinių prognozuojamas eksploatacinis atsparumas šalčiui nuo kontrolinės grupės skiriasi 5,15%, o jūros vandenyje mirkytų bandinių – 3,43%.

Yra priimta, kad betono atsparumas šalčiui tiesiogiai priklauso nuo jo porų ir kapiliarų sienelių storio bei porėtosios erdvės rezervo. Kuo šie dydžiai didesni, tuo medžiagos atsparumas šalčiui yra didesnis. Atlikto tyrimo metu gauti duomenys pakankamai skirtingi ir jais remiantis patvirtinti šio teiginio negalima. Apskaičiuoti porų ir kapiliarų sienelių storio bei porėtosios erdvės rezervo dydžiai didžiausi iš visų bandinių grupių, tad ir prognozuojamas vidutinis eksploatacinis atsparumas šalčiui turėtų būti didžiausias, tačiau gauta reikšmė, t.y. 22,1 ciklai yra viena mažiausių. Mažesnė vidutinė prognozuojamo eksploatacinio atsparumo šalčiui reikšmė gauta tik mišrioje grupėje – 19,2 ciklo.

Bandiniams gaminti naudoto sauso betono mišinio „Beton 500“ gamintojas deklaruoja, jog pagamintų gaminių atsparumas šalčiui – 25 ciklai. Apskaičiuota reikšmė kontrolinėje grupėje, t.y.



ten, kur bandiniai buvo aikomi normaliomis sąlygomis ir jų neveikė jokie agresyvios aplinkos veiksniai, galintys įtakoti bandinių atsparumą – 23,3 ciklo. Kadangi nebuvo išmatuotos ir skaičiuotos tikslios kapiliarinių masės srautų greičių reikšmės, o vietoje to priimtos tik jų lyginamosios reikšmės, apskaičiuoto ciklų skaičiaus negalima lyginti su gamintojo deklaruojamu ciklų skaičiumi. Vadinasi, negalima ir nustatyti ar naudotas betono mišinys yra tinkamas lieti dangai, kuri bus eksploatuojama agresyvioje jūrinėje aplinkoje.



3.1 pav. Prognozuojamo eksploatacinio atsparumo šalčiui pokytis

## IŠVADOS

1. Išmatavus bandinių gniuždomąjį stiprį nustatyta, kad, lyginant su kontroline grupe, visų kitų bandinių grupių vidutinis gniuždomasis stipris sumažėjo. Didžiausias gniuždomųjų stiprių skirtumas gautas lyginant kontrolinę grupę su šaldytais bandiniais. Tyrimo pradžioje vidutinis gniuždomasis stipris tarp šių grupių skyrėsi 9,50 MPa. Jūros vandenyje mirkomų bandinių vidutinis gniuždomasis stipris 3,80 MPa mažesnis nei kontrolinės grupės, o bandinių, kurių paviršius buvo barstomas technine druska, vidutinis gniuždomasis stipris nuo kontrolinės grupės skyrėsi 0,87 MPa.
2. Palyginus duomenis, gautus tyrimo pabaigoje, nustatyta, kad atskirai veikiančių šalčio, jūros vandens ir techninės druskos (NaCl), poveikis betono gniuždomajam stipriui yra neigiamas. Tačiau, lyginat kontrolinę grupę su mišriąja, gaunamas priešingas rezultatas. Vidutinė betono atsparumo gniuždymui vertė padidėja 4,66 MPa, t.y. 11,05%.
3. Atlikus vizualinę sugniuždytų bandinių analizę nustatyta, bandinių šoniniuose paviršiuose atsirado skersiniai įtrūkimai, dalis šoninių paviršių atsisluoksniavo, o kai kurie jų atskilo nuo kubelio. Atskilusių šoninių paviršių storis 1-27 mm, kintantis visame paviršiaus plote. Didžiausią reikšmę atskilusio paviršiaus storis pasiekia bandinio viduryje.
4. Atlikus prognozuojamo eksploatacinio atsparumo šalčiui skaičiavimus, gauti skaičiavimų rezultatai rodo, jog mažiausiai šalčiui atspari grupė yra mišri. T.y. ta, kurioje esantys bandiniai buvo veikiami tiek šalčio, tiek jūros vandens, tiek ledą tirpinančių druskų. Nuo kontrolinėje grupėje esančių bandinių, mišrios grupės vidutinis prognozuojamas eksploatacinis atsparumas šalčiui skiriasi 17,6 %. Natrio chlorido druska barstomų bandinių prognozuojamas atsparumas šalčiui nesiskiria nuo kontrolinės grupės. Šaldomų bandinių prognozuojamas eksploatacinis atsparumas šalčiui nuo kontrolinės grupės skiriasi 5,15%, o jūros vandenyje mirkytų bandinių – 3,43%.

## LITERATŪRA

1. Kaupienė J., Pakėnaitė T., Navardauskaitė M.. Moisture motion kinetics in concrete. – Intelligent technologies in logistics and mechatronics systems. ITELMS'2010. Kaunas University of Technology, 2010. -111-113psl.
2. Malakauskas M.. Gelžbetoninių gaminių technologija. – Vilnius: Mokslas, 1990. – 8-10psl.
3. Nagrockienė D., Žurauskienė R.. Statybinės medžiagos ir jų gaminiai – Vilnius: Technika, 2007. -99psl.
4. Naujokaitis A.. Statybinės medžiagos. Betonai. –Vilnius: Technika, 2007. –200-201 psl.
5. Lietuvos standartas „LST EN 206-1 taikymo taisyklės ir papildomieji nacionaliniai reikalavimai“. - Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2003. -19 psl.
6. Darwin D., Browning J., Gong L., Hughes S. R.. Edited by Page C.L., Page M.M.. Effects of deicers on concrete deterioration. -Durability of concrete and cement composites. Cambridge, England: Woodhead publishing limited, 2007. -292-293 psl.
7. Valenza II John J., Scherer George W.. A Review of Salt Scaling: II. Mechanisms. Cement and Concrete Research 37, - 2007. - 1022-1034 psl.
8. Thaulow N., Sahu S.. Mechanism of concrete deterioration due to salt crystallization. -Materials Characterization. Volume 53, Issues 2–4. - November 2004. -123–127 psl.
9. Chatterji S., Thaulow N.. Unambiguous demonstration of destructive crystal growth pressure. – Cement and Concrete Research 27, 1997. -811-816 psl.
10. Scherer George W.. Stress from crystallization of salt. -Cement and Concrete Research. Volume 34, Issue 9. - September 2004. - 1613–1624 psl.
11. Shi X., Fay L., Peterson M. M., Berry M., Mooney M.. A FESEM/EDX investigation into how continuous deicer exposure affects the chemistry of Portland cement concrete. -Construction and Building Materials. Volume 25, Issue 2, 2011. -957-966 psl.
12. Cody R.D., Cody A.M., Spry P.G., Gan G.L.. Experimental deterioration of highway concrete by chloride de-icing salts. –Environmental and engineering geoscience. Vol 2, 1996.
13. Pitt J. M., Schluter M. C., Lee D. Y., Dubberke W.. Effects of deicing salt trace compounds on deterioration of portland cement concrete. Final Report. - Iowa Department of Transportation and Iowa Highway Research Board, 1987.
14. Shi X., Akin M., Pan T., Fay L., Liu Y., Yang Z.. Deicer Impacts on Pavement Materials: Introduction and Recent Developments. - The Open Civil Engineering Journal, 2009.
15. Harnik A.B., Meier U., Rosli A.. Combined Influence of Freezing and Deicing Salt on Concrete – Physical Aspects. –Durability of Building Materials and Components, ASTM STP 691. – American Society for Testing and Materials, 1980. – 474-484 psl.
16. Bjeđovič D., Serdar M., Baričevič A., Jelčič Rukavina M.. Condition assesment of concrete pier three decades of exposure to sea water. –Gradevinar 67: 2015. -1155-1164psl.

17. Ph. D. Tuan Ch. Y.. Conductive concrete for bridge deck deicing and anti-icing. A final report submitted to Nebraska department of roads. – University of Nebraska-Lincoln: 2004.
18. Lee C.Y., Wang S.R.. Analysis of Resistance Characteristics of Conductive Concrete Using Press-Electrode Method. - International Journal of Environmental and Earth Sciences, - 2010.
19. Ph. D. Tuan Ch. Y.. Implementation of conductive concrete deicing technology. - University of Nebraska-Lincoln: 2016.
20. Internetinė prieiga: [www.marconite.com](http://www.marconite.com)
21. Internetinė prieiga: <http://www.telkominternational.com/marconite-25kg.html>
22. Internetinė prieiga: <http://baltkalis.lt/ledo-siaubas/>
23. Internetinė prieiga: <http://vakarusvara.lt/druskos-keliams-barstyti-ir-smelio-druskos-misiniu-pardavimas-prekyba/>
24. Internetinė prieiga: [www.senukai.lt](http://www.senukai.lt)
25. Nagrockienė D., Žurauskienė R., Mačiulaitis R., Kičaitė A., Ravnialičėvas V.. Medžiagų mokslas.-Metodikos nurodymai laboratoriniams darbams atlikti. -Vilnius: Technika, 2005. -51-56, 100 psl.
26. Navickienė T., Sušinskas S.. Analysis of concrete bridge pavements' durability by calculation of water uptake by immersion. – ITELMS'2016. Kaunas University of Technology: 2016.