



# **KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS**

Jūrų technikos fakultetas

Statybos katedra

DARIUS MISIUS

## **MINERALINIŲ TRAŠŲ SANDĖLIO GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ PAŽAIDŲ IR BŪKLĖS TYRIMAS**

### **RESEARCH OF CONDITION AND DAMAGE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES OF MINERAL FERTILIZERS WAREHOUSE**

Magistro baigiamasis darbas

Uosto statinių studijų programa

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Technologijos mokslų studijų sritis

Vadovas: Lekt. dr. A. Štuopys

Klaipėda, 2011

# KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS

Jūrų technikos fakultetas

Statybos katedra

**TVIRTINU** \_\_\_\_\_

Katedros vedėjas

Lekt. Dr. D. Narmontas

## MINERALINIŲ TRAŠŲ SANDĖLIO GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ PAŽAIDŲ IR BŪKLĖS TYRIMAS

Magistro baigiamasis darbas

<b>Autorius</b>	<b>TMVSI-09 gr. magistrantas D. MISIUS</b>	_____ (parašas, data)
<b>Vadovas</b>	<b>Lekt. dr. A. ŠTUOPYS</b>	_____ (parašas, data)
<b>Recenzentas</b>	<b>Lekt. Dr. D. NARMONTAS</b>	_____ (parašas, data)
<b>Recenzentas</b>	<b>Doc. Dr. L. VASILJEVA</b>	_____ (parašas, data)
<b>CD pateiktas</b>	<b>Lekt. Dr. D. NARMONTAS</b>	_____ (parašas, data)

Klaipėda, 2011

## MAGISTRO BAIGIAMŲJŲ DARBŲ LYDRAŠČIO FORMA

**Darius Misius**

(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė)

**Mineralinių trąšų sandėlio gelžbetoninių konstrukcijų pažaidų ir būklės tyrimas**

(magistro baigiamojo darbo pavadinimas lietuvių kalba)

**Patvirtinu, kad magistro baigiamasis darbas parašytas savarankiškai, nepažeidžiant kitiems asmenims priklausančių autorių teisių, visas baigiamasis magistro darbas ar jo dalis nebuvo panaudotas Klaipėdos universitete ir kitose aukštosiose mokyklose.**

**Darius Misius** .....

(magistro baigiamojo darbo autoriaus ir parašas)

**Sutinku, kad magistro baigiamasis darbas būtų naudojamas neatlygintinai 5 m. Klaipėdos universiteto studijų procese.**

**Darius Misius** .....

(magistro baigiamojo darbo autoriaus ir parašas)

*Pildo magistro baigiamojo darbo vadovas*

**Magistro baigiamąjį darbą ginti**

**leidžiu**

(irašyti – leidžiu arba neleidžiu)

2011- -

(data)

lekt. dr. Arminas Štuopys.....

(magistro baigiamojo darbo vadovo vardas, pavardė ir parašas)

*Pildo katedros, kuruojančios studijų programą, administratorius (sekretorius)*

Baigiamasis darbas įregistruotas Statybos katedroje

2011- -

(data)

Svetlana Šlisers.....

(katedros sekretorės vardas, pavardė ir parašas)

*Pildo katedros, kuruojančios studijų programą, vedėjas*

**Magistro baigiamąjį darbą ginti**

**leidžiu**

(irašyti – leidžiu arba neleidžiu)

2011- -

(data)

dr. Darius Narmontas.....

(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

**Recenzentais skiriu**

Lekt. dr. D.Narmontas

Doc. dr. L. Vasiljeva

(recenzentų vardas, pavardė)

2011- -

(data)

dr. Darius Narmontas.....

(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

Klaipėdos universitetas  
Jūrų technikos fakultetas  
Statybos katedra

Statybos inžinerijos Uosto statinių studijų programos baigiamasis magistro darbas

## **MINERALINIŲ TRĄŠŲ SANDĖLIO GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ PAŽAIDŲ IR BŪKLĖS TYRIMAS**

Autorius: D. Misius

Vadovas: Lekt. dr. A. Štuopys

Kalba – lietuvių

### **ANOTACIJA**

Mineralinių burių trąšų sandėliai projektuojami taip, kad atlaikytų mechaninius, fizikinius ir cheminius poveikius, veikiančius sandėliuojant skirtingų rūšių trąšas. Statybos ir eksploatacijos metu atsiranda įvairūs defektai ir pažaidos, darančios neigiamą įtaką saugiam statinio eksploatavimui, o taip pat konstrukcijų ilgaamžiškumui ir sandėlio eksploataciniam laikotarpiui.

Tiriamajame darbe nustatyta gelžbetoninio trąšų sandėlio ir atskirų jo konstrukcijų būklė, įvardintos pastebėtų defektų priežastys ir įtaka statinio eksploatacijai, nustatytas kalio chlorido ir karbamido trąšų poveikis gelžbetoninėms konstrukcijoms.

Baigiamąjį darbą sudaro: 50 puslapių, 37 paveikslai, 10 lentelių ir 3 priedai.

Reikšminiai žodžiai: gelžbetoninės konstrukcijos, trąšos, poveikis, defektas.

Klaipėdos universitetas  
Marine Engineering Department  
Building Department

Construction Engineering study program in the final master's thesis

**RESEARCH OF CONDITION AND DAMAGE OF REINFORCED CONCRETE  
STRUCTURES OF MINERAL FERTILIZERS WAREHOUSE**

Author: D. Misius

Academic supervisor: Lekt. dr. A. Štuopys

Thesis language – Lithuanian

**ANOTATION**

The warehouse of chemical fertilizers is designed to sustain mechanical, physical and chemical influence which appears during storing of different sort of fertilizers. Various damages and defects have been appeared in building process and exploitation period and that negative factors cause reduction of durability of constructions, unsafe exploitation and shortening of the lifetime of the building.

During research were valued exploitative conditions of the different constructions of warehouse of fertilizers, identified reasons of damages and its influence on exploitation, identified peculiarities of influence of potassium chloride and urea on reinforced concrete constructions.

The final work consists of: 50 pages, 37 pictures, 10 tables and 3 appendixes.

Keywords: reinforced concrete constructions, fertilizers, influence, damage.

## Turinys

Įvadas.....	8
Darbo tikslai ir uždaviniai .....	9
Tyrimų objektas .....	9
Praktinė darbo vertė.....	10
I. Literatūros apžvalga .....	11
1.1 Konstrukcijų būklės tyrimai .....	11
1.2 Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų defektai .....	12
1.3 Betono ir gelžbetonio korozija .....	14
1.3.1 Tirpių junginių išplovimas .....	15
1.3.2 Sulfatinė betono korozija.....	16
1.3.3 Rūgštinė betono korozija.....	16
1.3.4 Magnezinė betono korozija .....	16
1.3.5 Šarminė betono korozija.....	17
1.3.6 Betono karbonizacija .....	17
1.3.7 Gelžbetoninių konstrukcijų armatūros korozija .....	17
1.4 Trašų poveikis gelžbetoninėms konstrukcijoms.....	21
1.4.1 Karbamido poveikis gelžbetoniui.....	21
1.4.2 Kalio chlorido poveikis gelžbetoniui.....	21
II. Tyrimų metodika ir organizavimas .....	22
2.1 Tyrimai, naudojant stebėjimo techniką .....	22
2.2 Betono stiprio nustatymas neardančiuoju metodu.....	22
2.3 Betono drėgnio nustatymas .....	24
2.4 Armatūros korozijos tikimybės nustatymas .....	24
2.5 Konstrukcijų deformacijų nustatymas .....	26
2.6 Rentgenografinė analizė .....	27
III. Tyrimų rezultatai .....	29
3.1 Tyrimų, naudojant stebėjimo techniką, rezultatai .....	29
3.2 Betono stiprio matavimų rezultatai .....	36
3.3 Betono drėgnio matavimo rezultatai .....	40
3.4 Elektrocheminės armatūros korozijos tikimybės matavimų rezultatai.....	42
3.5 Deformacijų matavimo rezultatai .....	42

3.4 Sandēlio sienos betono fragmento rentgenografinēs analizēs rezultatai .....	46
Išvados .....	48
Literatūros sarakšas .....	49
PRIEDAI .....	51
1 PRIEDAS .....	52
2 PRIEDAS .....	53
3 PRIEDAS .....	54

## **Ivadas**

Žemės ūkyje plačiai naudojamos mineralinės ir organinės trąšos. Dėl efektyvesnio poveikio ir paprasto panaudojimo dažniau pasirenkamos mineralinės trąšos. Kasmet didėjant šių medžiagų sunaudojimui, gerėjant logistikai, didėja ir sandėliavimo poreikis. Tačiau trąšų poveikis gali būti agresyvus pastatų elementams. Projektuojant sandėlius būtina įvertinti ne tik mechaninius ir fizikinius veiksnius, veiksiančius pastato konstrukcijas, bet ir atsižvelgti į galimą cheminį poveikį, parinkti statybines medžiagas, turinčias pakankamą atsparumą korozijai.

Darbo tikslas – įvertinti, kokią įtaką trąšos daro statinio konstrukcijoms, jų ilgaamžiškumui, taip pat nustatyti dabartinę sandėlio būklę.

Pasirinkta tyrimo metodika leido įvertinti statinio būklę, nustatyti betono korozijos intensyvumą.

Sandėlio konstrukcijų defektai, paaiškėję per pirmuosius jo eksploatavimo metus gali padėti išvengti akivaizdžių konstrukcinių, medžiagų pasirinkimo ir kitokių klaidų panašiuose trąšų sandėliuose, kurie uosto teritorijoje bus statomi ateityje.

## Darbo tikslai ir uždaviniai

Darbo tikslas – įvertinti gelžbetoninio trąšų sandėlio ir atskirų jo konstrukcijų būklę bei įvardyti pastebėtų defektų priežastis ir įtaką tolimesniam statinio eksploatavimui.

Siekiant šių darbo tikslų, teko išspręsti tokiu uždavinius:

- ✓ Suregistruoti vizualiai pastebimas gelžbetoninių trąšų sandėlio konstrukcijų pažeidimas, jas tipologizuoti.
- ✓ Įvertinti atskirų statinio dalių deformacijas, išmatuoti atsivėrusių plyšių plotį.
- ✓ Neardančiaisiais metodais nustatyti sandėlio konstrukcijų betono stiprį, jo pokyčio tendencijas.
- ✓ Ištirti betono ir armatūros korozijos apraiškas (tikimybę).

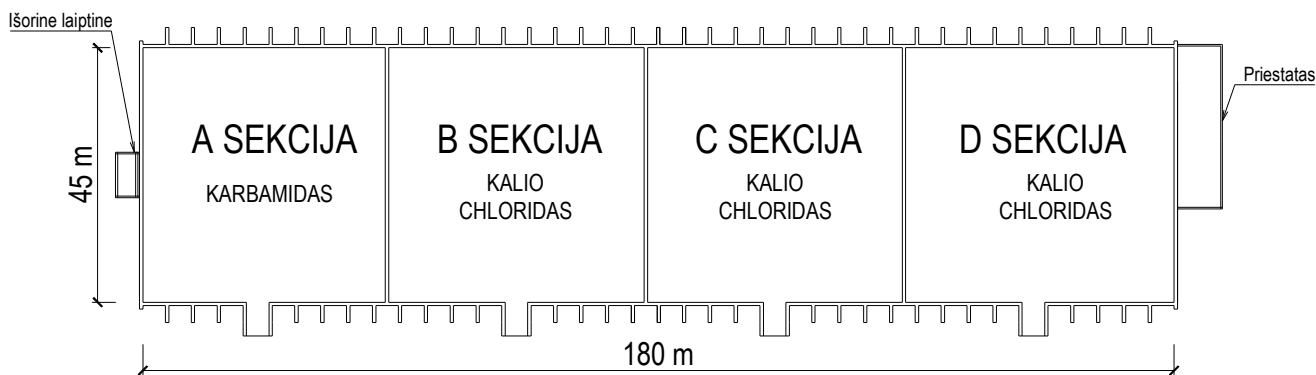
## Tyrimų objektas

Šiame darbe tirtas trąšų sandėlis (1 pav.) buvo pastatytas ir pradėtas eksploatuoti 2004 m. Jis suskirstytas į keturias sekcijas, leidžiančias sandėliuoti skirtingų rūšių trąšas (2 pav.). Bendra sandėlio talpa siekia 120 000 t. Dažniausiai sandėliuojamos trąšos – kalio chloridas (KCl) ir karbamidas ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) (3 pav.).

Siekta nustatyti mineralinių trąšų cheminį ir mechaninį poveikį Klaipėdos uoste, „Klasco“ bendrovei priklausančio sandėlio statybinėms konstrukcijoms, didžiausią dėmesį skiriant gelžbetoninėms konstrukcijoms, jų defektų ir pažeidimų, tipų, priežasčių nustatymui.



1 pav. Tirtas birių trąšų sandėlis



**2 pav. Trąšų sandėlio schema**



**3 pav. Sandėlyje sandėliuojamos karbamido ir kalio chlorido trąšos**

## **Praktinė darbo vertė**

Atlikti tyrimai leidžia įvertinti trąšų sandėlio gelžbetoninių konstrukcijų būklę, jo statybos ir ypač betonavimo darbų kokybę.

Pagal tyrimo rezultatus bus galima prognozuoti sandėlio gelžbetoninių konstrukcijų ilgalaikiškumą analogiškos konstrukcijos sandėliuose – išvengti projektavimo, statybos (betonavimo) darbų ir eksploataavimo klaidų.

Pastebėti konstrukcijų defektai leis parinkti geresnes ir racionalesnes betono mišinio sudėtis, įgalins tobulinti analogiškų sandėlių konstrukcines schemas ar atskirus mazgus.

Betonavimo darbų kokybės vertinimas leis atkreipti dėmesį į atskirus svarbius šios technologijos taikymo aspektus – klojinių montavimo tikslumą, jų standumo užtikrinimą, betono mišinių tankinimo režimų optimizavimą ir geros konstrukcijų paviršiaus būklės užtikrinimą.

# I. Literatūros apžvalga

## 1.1 Konstrukcijų būklės tyrimai

Veikiamos išorinių ir vidinių poveikių, naudojamų statinių konstrukcijos dėvėsi ir senėja, atsiranda įvairių pažeidimų ir ilgainiui jos suyra. Nustatinėjant konstrukcijų būklę išskiriami šie statinio būklės tyrimo etapai [1]:

1. Pažintinis paruošiamasis.
2. Detalus konstrukcijų tyrimas.
3. Konstrukcijų būklės analizė ir vertinimas.

Pirmame etape atliekama pažintinė vizuali statinio konstrukcijų apžiūra ir gaunama pradinė informacija apie konstrukcijų būklę. Fotografuojamos arba filmuojamos pažeistos statinio vietos, analizuojami statinio projekto brėžiniai, statybos, remonto paslėptų darbų aktai bei statybos techninės ir projekto vykdymo priežiūros žurnalai. Surenkama informacija apie atliktus remontus ir rekonstrukcijas, įvykusias avarijas ir kitokius ypatingųjų situacijų poveikius.

Antrajame etape konstrukcijos detalai tiriamos atliekant tokius darbus:

- Nustatomi realūs konstrukcijų matmenys ir jų medžiagų savybės.
- Išmatuojami aplinkos poveikių parametrai (temperatūra, drėgmė, agresyvios medžiagos).
- Ištiriamos konstrukcijų ir jų elementų realios konstrukcinės schemas.
- Inventorizuojami ir klasifikuojami konstrukcijų defektai ir pažeidos.
- Nustatomos defektų ir pažeidimų priežastys ir jų raida.
- Išmatuojamos konstrukcijų deformacijos (įlinkiai, poslinkiai, posvyriai, nuosėdžiai).

Ilgalaikių tyrimų metu stebimos konstrukcijų deformacijos, pažeidimų vystymosi pobūdis: atsivėrusių plyšių plitimas, medžiagų korozijos greitis, atliekami natūriniai bandymai laboratorijose.

Trečiajame etape atliekama konstrukcijų būklės analizė pagal gautus pirmo ir antro etapo rezultatus, atliekami skaičiavimai.

Konstrukcijos defektas – tai jos konkrečios savybės, geometrijos, konstravimo ir panašios neatitikimas norminių ir projektinių dokumentų reikalavimams. Defekto priežastis – projektavimo ir statybos klaidos, išryškėjančios statinio statybos metu arba jį naudojant. Pažeida - konstrukcijų kokybės parametru rodikliu nuokrypiu nuo normų reikalavimų, atsirandantis jas naudojant.

Defektai ir pažeidos pagal pavojingumą dažniausiai skirstoma į keturias kategorijas:

1. Pirmoji kategorija – nepavojingi, nesiplėtoja, nepageidaujami estetiniu ir higieniniu atžvilgiu

2. Antrosios kategorijos – defektai ir pažeidimai turintys neigiamą įtaką konstrukcijų laikomajai galiai, standumui, plyšių vystymuisi, naudojimo trukmei. Laikui bėgant šie defektai plečiasi, pažeidžiamos projektavimo normų leistinos ribos.
3. Trečiosios kategorijos – defektai dėl kurių sumažėja konstrukcijų laikomoji galia, pasireiškia neleistinos deformacijos, atsiveria neleistino dydžio plyšiai. Šie defektai priskiriami pavojingiems.
4. Ketvirtosios kategorijos – defektai turintys avarinės būklės požymių.

Pagal pažeidimo plitimo intensyvumą išskiriamos pažeidimai:

- Laipsniško plitimo – medžiagų senėjimas, valkšnumas, korozija.
- Staigaus pasireiškimo – apkrovų viršijimas, staigūs konstrukcinės schemos pokyčiai.

Konstrukcijų defektų pagrindinės atsiradimo priežastys yra šios:

- ✓ Aplinkos sąlygų parinkimo klaidos.
- ✓ Projektavimo netikslumai.
- ✓ Nuokrypiai nuo konstrukcijų gamybos arba pastatų statybos projektų.
- ✓ Konstrukcijų gamybos arba pastatų darbų technologijos taisyklių pažeidimai.
- ✓ Bloga pastatų ir statinių priežiūra ir naudojimas.
- ✓ Naudojimo sąlygų pokyčiai.
- ✓ Stichinės nelaimės.

Pagal pastebimumą statybinių objektų defektai ir pažeidimai skirstomi į tokias kategorijas:

- ✓ Aiškūs (išoriniai), kurie yra pastebimi vizualiai.
- ✓ Paslėpti (vidiniai), kurie aptinkami pagal šalutinius požymius arba specialiais prietaisais, juos sunkiau pašalinti negu išorinius.

## ***1.2 Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų defektai***

Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų defektai ir pažeidimai yra technologinės prigimties ir yra įtakojami šių veiksnių:

- Betono mišinio ruošimo.
- Transportavimo.
- Mišinio sutankinimo.
- Kietinimo sąlygų.
- Armatūros kiekio ir padėties skerspjūvyje.
- Armatūros inkaravimo neatitikimo.
- Suvirinimo darbų kokybės.

Dažniausiai pasitaikantys gelžbetoninių konstrukcijų defektai yra: nepakankamas arba neteisingas armavimas, per žema betono klasė, betoniniame akmenyje susidariusios poros, kiaurymės, tuštumos, nuskeltos briaunos ir kampai, betono plyšiai ir kiti [2].

Dažnai pasitaikanti betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų pažaidų – pleišėjimas. Plyšių atsiradimą įtakoja betono susitraukimas, temperatūros pokyčiai, betono korozija, pamatų nuosėdžiai, viršytos apkrovos, konstrukcinės klaidos ir kitos priežastys (1 lentelė). Plyšiai būna technologiniai – atsiradę gamybos stadijoje, o taip pat atsiradę statinio naudojimo metu.

Plyšių plotis yra ribojimas statybos normatyvų. Platūs plyšiai yra neleistini, nes per juos intensyviai skverbiasi drėgmė, deguonis, agresyvios cheminės medžiagos ir sudaromos sąlygos plieninės armatūros ir įdėtinių detalių korozijai. Taip pat besivystantys plyšiai sukelia elementų paviršiaus sluoksnių deformacijų padidėjimą, o kartais ir nepageidautiną įrašų persiskirstymą. Išorinių konstrukcijų plyšiai, atsiradę dėl betono susitraukimo bei aplinkos temperatūros svyravimų, turi būti užtaisomi. Priešingu atveju dėl drėgmės ir šaldymo šildymo ciklų poveikio jie gali didėti. Pagal atsivėrimo plotį plyšiai skirstomi į tokias grupes [3]:

- ✓ Labai maži – iki 0,1mm pločio;
- ✓ Maži – 0,2-0,3mm pločio;
- ✓ Išsivystę - 0,3-0,5mm pločio;
- ✓ Dideli - 0,5-1,5mm pločio;
- ✓ Labai dideli - >1,5mm pločio, kurie yra itin pavojingi, nes gali įtakoti staigų konstrukcijos suirimą, lūžtant į atskiras dalis, armatūrai apsinuoginant ir išlinkstant.

1 lentelė. Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų pleišėjimo priežastys [1]

Eil. Nr.	Priežastys	Požymiai	Laikas	Pleišėjimą kontroliuojančios priemonės
1	Šviežio betono suslūgimas	Išilginiai plyšiai virš armatūros, mažas jų gylis	Pirmosios kietėjimo valandos	Betono sudėtis, mišinio tankinimas
2.	Ankstyvasis betono traukumas	Plyšiai virš viršutinės armatūros, didelis gylis	Pirmosios kietėjimo valandos	Betono sudėtis, mišinio tankinimas, betono kietėjimo sąlygos
3.	Šilumos išsiskyrimas vykstant betono hidratacijai	Plyšiai statmeni senojo betono sluoksniui. Plyšiai statmeni skerspjūvio viršaus plokštumai, ribotas gylis	1-2 dienos po betonavimo. Vėstatnt paviršiaus sluoksniui	Betonavimo sudėtis, cemento rūšis, kietėjimo sąlygos, armavimas Temperatūros pokyčių ribojimas
4.	Betono traukumas	Plyšiai statmeni skerspjūvio viršaus plokštumai, ribotas gylis	Keli mėnesiai po betonavimo	Betonavimo sudėtis, cemento rūšis, kietėjimo sąlygos. Temperatūros pokyčių ribojimas

## 1 lentelės tęsinys.

Eil. Nr.	Priežastys	Požymiai	Laikas	Pleišėjimą kontroliuojančios priemonės
5.	Temperatūros poveikiai	a) Dėl suvaržytų deformacijų normaliniai ir įstrižieji plyšiai. b) Plyšiai dėl netolygaus skerspjūvio įkaitinimo.	Naudojimo metu esant temperatūros pokyčiams	Armavimas, armatūros išankstinis įtempimas, betono sudėtis
6.	Atrėmimo sąlygų pokyčiai (atramų deformacijos)	Dėl suvaržytų deformacijų normaliniai ir įstrižieji plyšiai	Atsiradus atrėmimo pokyčiams	Jungčių tipas, armavimas, armatūros išankstinis įtempimai
7.	Išankstinis betono apspaudimas	a) normaliniai plyšiai ekscentriškai gniuždant elemento skerspjūvį b) išilginiai plyšiai dėl betono skėlimo armatūros inkaravimo zonoje	Betono apgnūždymo metu	Išankstinis armatūros įtempimas, skerspjūvio matmenys, armavimas, betono stiprumas
8.	Apkrovų sukeltos įrašos	a) Normaliniai plyšiai. b) Įstrižieji plyšiai. c) Srieginiai plyšiai. d) Išilginiai plyšiai.	Konstrukcijų apkrovos	Armavimas, skerspjūvio matmenys, betono savybės, senojo ir naujojo betono sankiba
9.	Armatūros korozija	Išilgai armatūros atsivėrę plyšiai	Po daugelio metų	Armatūros ir betono naujos apsauginės dangos, aplinkos sąlygos, skersinis armavimas
10.	Vietinis betono gniuždydas	Tankūs vietiniai betono plyšiai po sutelktosiomis apkrovomis	Konstrukcijų apkrovos	Armavimas, padėklai, betono stiprumas
11.	Ribiniai gniuždomojo betono įtempiai	Smulkūs išilginiai plyšiai gniuždomojoje zonoje	Betonui irstant	Betono stiprumas, armavimas, skerspjūvio matmenys
12.	Įtempių koncentracijos vietos	Plyšiai prie angų kampų ir pan.	Gali atsiverti jau statybos metu	Armavimas, betono stiprumas
13.	Šaltis	Plyšiai tuštymėtųjų konstrukcijų sienelėse, atsivėrę šalant vandeniui tuštymėse	Esant neigimai temperatūrai	Priemonės neleidžiančios kauptis vandeniui
14.	Smūginė apkrova	Plyšių voratinklis, tankėjantis prie apkrovos veikimo vietos	Smūgio metu	Konstrukcijos storis, betono savybės, armavimas

### 1.3 Betono ir gelžbetonio korozija

Betonas – dirbtinis akmuo, gaunamas sukietėjus mišiniui iš rišamosios medžiagos, užpildų, vandens ir priedų. Ši statybinė medžiaga, plačiai naudojama visame pasaulyje, pasižymi ilgaamžiškumu, sąlyginai maža kaina, geromis technologinėmis savybėmis. XIX a pradžioje sukūrus portlandcemenčio gamybos technologiją, pradėtas plačiai naudoti betonas įvairios paskirties statiniams statyti. Ilgainiui buvo ištaisyta ir svarbus konstrukciniu požiūriu laikomas betono trūkumas – mažas

atsparumas tempimo įtempimams, nes buvo išrastas gelžbetonis [4]. Gelžbetoninės konstrukcijos stiprios, standžios, patvarios, ilgaamžės, atsparios ugniai, jų eksploatacija nereikalauja didelių išlaidų.

Betoną veikia mechaniniai, fizikiniai ir cheminiai veiksniai įtakojuantys betoninio akmens irimą. Cheminiai agresyvūs poveikiai kyla dėl betono sąlyčio su dujomis arba daugeliu cheminių tirpalų, bet dažniausiai dėl rūgščių tirpalų arba sulfatinių druskų tirpalų poveikio, taip pat dėl betone esančių chloridų ir reakcijų tarp betono medžiagų (pvz., šarmų ir užpildų reakcija). Fizikiniai reiškiniai, tokie kaip konstrukcijos užšalimas, atšilimas, vandens įgeriamumas, druskų kristalizacija taip pat sudaro sąlygas sparčiam betono korodavimui [5].

Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų kokybė, ilgaamžiškumas priklauso nuo betono sudėtinių medžiagų kokybės, jų sudozavimo tikslumo, vandens ir cemento santykio, betonavimo darbų atlikimo kokybės, betono priežiūros [6]. Patekus betonui į agresyvią aplinką, ilgainiui prasideda jo irimas. Galima išskirti šiuos pagrindinius betono korozijos tipus [7]:

- Tirpių junginių išplovimas.
- Sulfatinė korozija.
- Rūgštinė korozija.
- Magnezinė korozija.
- Šarminė užpildų korozija.
- Betono karbonizacija.
- Gelžbetoninių konstrukcijų armatūros korozija.

### **1.3.1 Tirpių junginių išplovimas**

Tirpių junginių išplovimas vyksta betoninėse konstrukcijose, kurias veikia tekantis vanduo ir vyksta vandens filtracija. Kalcio hidroksidas tirpus vandenyje, todėl jis išplaunamas iš betono paviršių ir, vykstant karbonizacijai, pavirsta baltos spalvos nuosėdomis. Ilgainiui plaunamo iš betono kalcio hidroksido kiekis sumažėja, o tai lemia cementinio akmens stiprumo sumažėjimą, porėtumo padidėjimą. Nustatyta, kalcio hidroksido kiekiui cementiniame akmenyje sumažėjus daugiau kaip 33%, cemento akmuo suyra [7]. Kalcio hidroksido išplovimo intensyvumą įtakoja pratekančio vandens kiekis, srovės greitis, tačiau esant per dideliu vandens srovės greičiui kalcio hidroksido išplovimas sulėtėja arba net visiškai sustoja, nes kalcio hidroksidas nespėja ištirpti vandenyje. Cementinio akmens irimas priklauso ir nuo to, kokios cheminės sudėties yra pratekantis vanduo. Jei vandenyje yra ištirpusių druskų, kurios nedalyvauja cheminėse reakcijose su cementiniu akmeniu - išplaunama daugiau kalcio hidroksido.

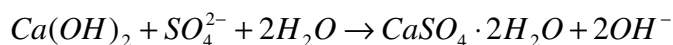
### 1.3.2 Sulfatinė betono korozija

Sulfatinė betono korozija pasireiškia betono konstrukcijose, kurios eksploatuojamos jūros vandenyje, yra veikiamos rūgštaus lietaus, pramonės įmonių nutekamųjų vandenių, gruntinio vandens, kuriame gausu ištirpusių kalio, natrio, magnio, kalcio ir kitų sulfatų.

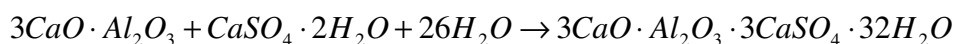
Ši betono korozija vyksta dėl didėjančio medžiagos tūrio, kuris lemia vidinių įtempimų medžiagoje padidėjimą ir suirimą. Sulfatinė korozija vyksta, kai cemento akmuo yra veikiamas sulfatų jonų, kurie reaguoja su kalcio hidroksidu ir trikalčio aliuminatu. Reakcijos produktai plėtrūs junginiai – gipsas, kalcio hidrosulfoaluminatas (etringitas) [7; 8].

Sulfatinė korozija vyksta dviem etapais:

1. Pirmiausia kalcio hidroksidas reaguoja su sulfato jonu ir vandeniu, reakcijos metu susidaro gipsas ir hidroksido anijonas:

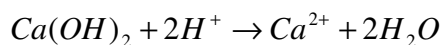


2. Vėliau trikalčio aluminatas jungiasi su gipsu ir susidaro plėtrusis etringitas:

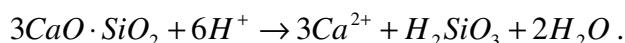
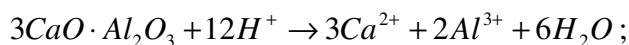


### 1.3.3 Rūgštinė betono korozija

Rūgštinė korozija prasideda betone kuris veikiamas organinių ir neorganinių rūgščių, druskų. Kalcio hidroksidai ir kalcio silikatai reaguoja su rūgštimi ir susidaro kalcio druskos, tirpstančios vandenyje. Tekantis vanduo išplauna šias druskas ir betonas ilgainiui suyra. Korozija vyksta lėčiau, jeigu susidaro mažai tirpūs junginiai, sudarantys apsauginį sluoksnį stabdantį intensyvių rūgščių patekimą į cementinį akmenį. Rūgštinė korozijos reakcijos yra tokios [9]:

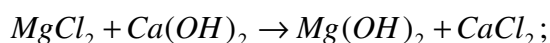


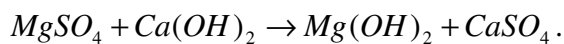
Taip pat vyksta reakcija ir su trikalčio aliuminatu bei kitais mineralais esančiais cementiniame skiedinyje:



### 1.3.4 Magnezinė betono korozija

Magnezinė korozija vyksta cementiniame akmenyje, kuris veikiamas magnio druskų, randamų jūros ir gruntiniuose vandenyse. Kalcio hidroksidas reaguoja su magnio chloridu arba magnio sulfatu. Vyksta tokios cheminės reakcijos [7]:



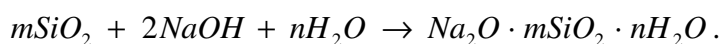


Kalcio chloridas tirpsta vandenyje, todėl jis išplaunamas iš cemento akmens, didėja cementinio akmens porėtumas. Veikiant magnio sulfatui, susidaro kalcio sulfatai ir betonas suardomas dėl plėtriujų deformacijų bei išsiplaunant magnio hidroksidui.

### 1.3.5 Šarminė betono korozija

Šarminė užpildų korozija – tai betono korozija, kai betono užpilduose esantis aktyvusis  $SiO_2$  reaguoja su cemento akmenyje esančiais natrio ir kalio hidroksidais ir susidaro plėtrus amorfinis gelis, todėl, padidėjus vidiniams įtempimams, betonas suyra [5; 9].

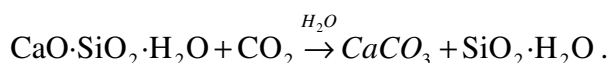
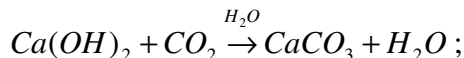
Vyksta tokia reakcija tarp natrio šarmo ir aktyvaus silicio dioksido:



### 1.3.6 Betono karbonizacija

Betono karbonizacija mechaninio stiprumo požiūriu yra beveik nekenksminga betono akmeniui, netgi priešingai, reakcijos produktai sustiprina betono paviršių. Neigiami karbonizacijos padariniai – karbonizuoto betono sluoksnio šarminumo sumažėjimas ir betono susitraukimas, sudarantys palankias sąlygas plieninės armatūros korozijai.

Karbonizacijai vykti reikalingos tam tikros sąlygos: 50-60% betono drėgnumas, teigiama aplinkos temperatūra. Nustatyta, kad kuo aukštesnė temperatūra – tuo karbonizacija vyksta intensyviau. Karbonizacijos metu anglies dvideginis difunduoja į betono paviršių ir vyksta jo reakcija su kalcio hidrosidu ir kalcio hidrosilikatais. Po įvykusios reakcijos terpės pH nukrenta iki kritinės ribos 8-9 ir prasideda plieno korozija [7; 9]:



### 1.3.7 Gelžbetoninių konstrukcijų armatūros korozija

Gelžbetoninės konstrukcijos dažniausiai armuojamos plienine armatūra. Armatūros korozija įtakoja šiuos neigiamus efektus [10]:

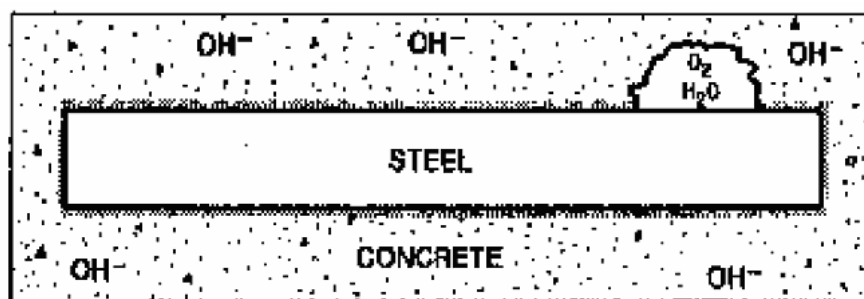
1. Rūdžių formavimasis aplink armatūrą blogina armatūros ir betono sukibimą.
2. Mažėja armatūros skerspjūvio plotas, mažėja konstrukcijų laikomoji galia (ypač tai aktualu įtemptai armuotoms konstrukcijoms).
3. Dėl padidėjusio korozijos reakcijos produktų tūrio atsiveria plyšiai, taip pažeidžiamas konstrukcijos vientisumas.

4. Sudaromos palankios sąlygos per plyšius į konstrukcijos vidų sparčiai patekti drėgmei, chloridams, taip konstrukcijos korozija dar intensyvěja.

Plieninės armatūros korozija pasireiškia betonuose, kuriuose pH mažesnis už 11,8. Betonas sukuria pasyvią aplinką, neleidžiančią plienui koroduoti [7]. Sulfatų ir ypač chloridų jonai, patekę į betoną, suardo pasyvacinį sluoksnį saugantį plieną, prasideda elektrocheminė korozija. Kita armatūros korozijos priežastimi gali būti betono karbonizacija. Kai betono karbonizacijos gylis pasiekia armatūrą, atsiranda palankios sąlygos armatūros korozijai vykti, nes sumažėja aplinkos šarmingumas. Vis dėlto pastebėta, jog chloridais veikiamo betono korozija intensyvesnė už koroziją, vykstančią dėl betono karbonizacijos [9]. Siekiant išvengti plieno korozijos betone ir taip prailginti gelžbetoninių konstrukcijų eksploatavimo laiką, imamasi įvairių priemonių:

1. Gaminamas kokybiškas ir tankus betonai;
2. Naudojamos betono įmaišos: amorfinis silicio dioksidas, pelenų dalelės, šlakas;
3. Pridedama inhibitorių stabdančių pasyvacinio sluoksnio ardymą;
4. Naudojamos hidroizoliacinės medžiagos, nelaidžios skysčiams.

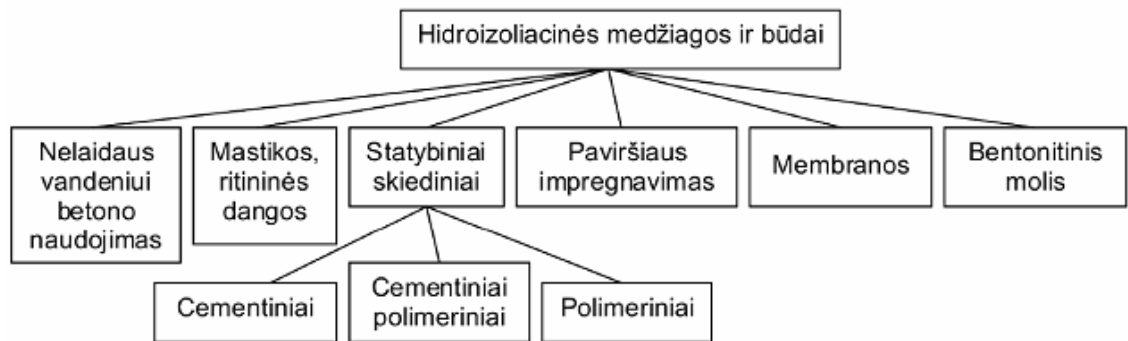
Gaminant betoną, apsaugantį armatūrą nuo korozijos, reikia išgauti tankią, nelaidžią vandeniui struktūrą. Nustatyta, jog V/C santykis gaminant tokį betoną, turi būti mažesnis už 0,5 (siekiant išvengti karbonizacijos sukeltos plieno korozijos), o siekiant išvengti intensyvios chloridų difuzijos, šis santykis neturėtų viršyti 0,4. Taip pat būtina riboti chloridų patekimą į betoną jo gamybos metu, kartu su užpildais, cementu, vandeniu ir įmaišomis, leistini kiekiai nurodyti LST EN 13669 standarte.



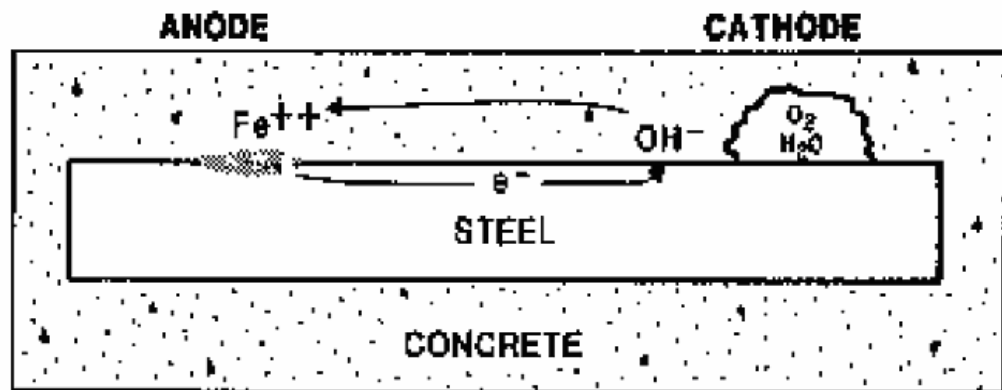
4 pav. Betonai, kuriame nevyksta elektrocheminė korozija

Siekiant apsaugoti armatūrą nuo korozijos, imamasi ir kitokių veiksmų (5 pav.). Maišant betono mišinį naudojami priedai, tokie kaip amorfinis silicio dioksidas, pelenai, šlakas. Šios įmaišos padeda pagaminti tankesnę betono struktūrą, taip sumažinama chloridų difuzija. Taip pat šie priedai didina betono akmens šarmingumą. Kitas būdas kovojant su korozija – inhibitorių, stabdančių plieno koroziją, naudojimas [11; 12; 13]. Plačiai naudojamos ir apsauginės dangos nelaidžios skysčiams, jos efektyviai stabdo koroziją skatinančių medžiagų patekimą į betoną. Dažniausiai naudojamos įvairios membranos,

hidroizoliacinės mastikos, tačiau kartais imamas ir rečiau naudojamų apsaugos būdų – naudojama katodinė apsauga, prieš užbetuojant armatūra padengiama epoksidinės dervos sluoksniu.



5 pav. Statinių apsaugos nuo drėgmės būdai



6 pav. Plieno elektrocheminės korozijos schema

Plieno elektrocheminei korozijai vykti betone (6 pav.), reikalingi tokios sąlygos :

- ✓ Anodas
- ✓ Katodas
- ✓ Elektrolitas
- ✓ Jungianti aplinka (terpė)

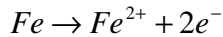
Jei bent vieno veiksnio nėra – elektrocheminė korozija nevyks. Anodą galima įvardinti kaip elektroda, kuriame vyksta oksidacija ir elektronai pereina į elektrolitą. Elektrolitas šioje reakcijoje yra vanduo (nors gali būti ir kiti įvairūs tirpalai) ir yra jungtis tarp katodo ir anodo. Korozijos intensyvumas priklauso nuo potencialų skirtumo tarp katodo ir anodo.

Elektrocheminę koroziją betone galima išskirti į du tipus [11]:

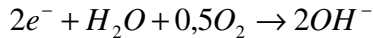
- ✓ Koroziją, kai aplinkoje nėra chlorido jonų.
- ✓ Koroziją dalyvaujant chlorido jonams.

Plieno elektrocheminė korozija, kai nėra chlorido jonų, vyksta keliais etapais:

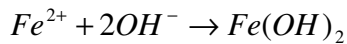
1. Anode nuo geležies atomų atsijungia elektronai:



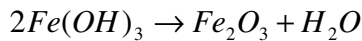
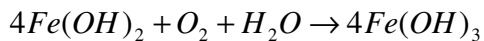
2. Atsijungę elektronai migruoja link katodo ir susijungia su vandens ir deguonies molekulėmis, taip susiformuoja hidroksidas:



3. Hidroksido jonai susijungia su geležies jonais ir susiformuoja geležies hidroksidas:

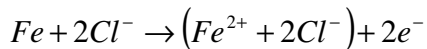


4. Dalyvaujant vandens molekulėms ir deguoniui, geležies hidroksidas toliau oksiduojasi ir galiausiai susidaro geležies oksidas:

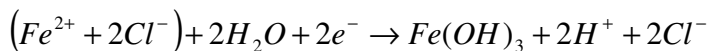


Plieno korozija betone, **prisotintame chloridų**, vyksta taip:

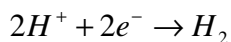
1. Anode geležis reaguoja su chloridais, susidaro vidutinio tirpumo geležies chloridų junginiai:



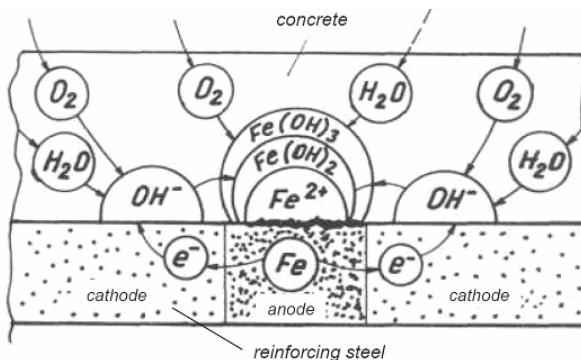
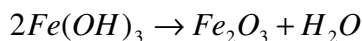
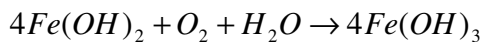
2. Geležies chloridas difunduoja į terpę su didesniu pH ir deguonies koncentracija, sureaguoja su vandeniu ir susiformuoja geležies hidroksidas:



3. Susidarę vandenilio jonai prisijungia elektronus ir susiformuoja vandenilio dujos:



4. Kaip ir vykstant korozijai aplinkoje, kurioje nėra chloridų, geležies hidroksidas reaguoja su vandeniu ir deguonimi ir reakcijos metu susidaro rūdys – geležies oksidas:



7 pav. Plieno korozija betone

Atsižvelgiant į aplinką kurioje bus eksploatuojamos betoninės ar gelžbetoninės konstrukcijos priimtoms atitinkamos aplinkos sąlygos, kuriose tikėtinas betoninių ar gelžbetoninių konstrukcijų eksploatavimas [14]. Projektuojant statinius, kiekvienai aplinkos sąlygų klasei priskiriama atitinkama minimali betono stiprio klasė, cemento kiekis mišinyje, ir apsauginio sluoksnio storis tam, kad būtų užtikrintas minimalus betono apsaugos lygis.

#### **1.4 Trąšų poveikis gelžbetoninėms konstrukcijoms**

Skirtingų rūšių trąšos skirtingai veikia betonines ir gelžbetonines konstrukcijas. Vienos trąšos labiau kenkia betono ilgaamžiškumui, kitos betono korozijos nesukelia, tačiau skatina armatūrinio plieno korodavimą. Tiriamame sandėlyje sandėliuojamos dviejų rūšių trąšos – kalio chloridas ir karbamidas.

##### **1.4.1 Karbamido poveikis gelžbetoniui**

Karbamidas (cheminė formulė  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) yra plačiai pasaulyje naudojama mineralinė trąša augalams tręšti, ypač tinkanti augalams, kuriems kenksmingos chloridų turinčios trąšos. Karbamidas naudojamas ir kitose srityse: kelių ledo tirpinimui, parfumerijoje ir kt. Daugelyje šaltinių teigiama, jog karbamidas nedaro neigiamos įtakos betonui [15; 16]. Tačiau mūsų atveju neigiamas efektas vis dėlto pastebėtas ir nustatyta, kad esant palankiom sąlygom karbamido tirpalas skverbiasi į betono akmenį, per jame esančių kapiliarų ir porų sistemą. Vandeniui (karbamido tirpikliui) garuojant iš betono, tirpalas persiformuoja – kristalizuojasi. Susidarę kristaliniai branduoliai vis didina savo tūrį ir pralauždami porų sienelės okupuoja šalia esančias laisvas poras [17]. Taip vyksta lėta betono akmens destrukcija.

##### **1.4.2 Kalio chlorido poveikis gelžbetoniui**

Kalio chloridas (cheminė formulė KCl) dažniausiai naudojamų trąšų augalams tręšti, gaunama trupinant silvino mineralą. Naudojama ir kitose pramonės šakose: maisto, vaistų, tekstilės gamybos, taip pat kelių ledo tirpinimui ir kt. Kalio chloridas daro poveikį gelžbetoniui – skatina plieninės armatūros koroziją. Chloridai difunduoja į betono akmenį, mažina betono šarmingumą, prasideda elektrocheminė korozija [18]. Kalio chlorido trąša, kaip ir karbamido, pasižymi higroskopiškumu – traukia drėgmę iš aplinkos oro, todėl dar labiau skatinama plieno korozija.

Literatūroje nurodoma, kad kitų atmainų chloridai, naudojami kaip prieššaltiniai/ledą tirpinantys priedai ar reagentai, betonui ir ypač armatūrai kelia didesnę korozijos pavojų [21]. Įrodyta, kad natrio ir kalcio chloridams patekus į betoną, aktyviau tirpsta cementinio akmens sudedamosios dalys ir dėl to silpnėja betono struktūrinis karkasas, o tuo pačiu ir jo stipris [19; 20; 22].

## II. Tyrimų metodika ir organizavimas

Trašų sandėlis tirtas siekiant nustatyti statybos ir eksploataavimo metu atsiradusius defektus, didžiausią dėmesį skiriant gelžbetoninių konstrukcijų būklės nustatymui. Panaudoti šie tyrimo metodai:

1. Vizualūs tyrimas, apžiūrint konstrukcijas objekte, apmatuojant bei fotografuojant defektus.
2. Mechaninis neardantysis metodas betono stipriui nustatyti.
3. Betono drėgnio nustatymas.
4. Armatūros korozijos nustatymas.
5. Konstrukcijų deformacijų nustatymas.
6. Betono rentgenografinė analizė.

### 2.1 Tyrimai, naudojant stebėjimo techniką

Vizualūs tyrimai – tai objekto apžiūra, siekiant nustatyti statinyje atsiradusius defektus ir atliekant paprasčiausius matavimus. Šis metodas leidžia nustatyti paviršinius konstrukcijų defektus: nuskilusius kampus, briaunas, pažeistą apsauginį betono sluoksnį, susisluoksniavusį betoną, atsivėrusius plyšius, jų plotį, betonavimo defektus, armatūros koroziją ir išsiaiškinti tų defektų prigimtį. Apžiūrai ir matavimams naudojama ruletė gulsčiukas, mikroskopas, fotoaparatas. Tyrimo efektyvumui daro įtaką daug veiksnių: atliekančio asmens kvalifikacija ir patirtis, taip pat oro sąlygos, saulėtumas, konstrukcijų apkrova apžiūros metu ir kiti veiksniai.

Atsivėrusių betono plyšių plotis nustatytas optiniu mikroskopu „Acuter WYSKL-100X“ (2 lentelė.). Prietaisas pritaikytas dirbti tamsoje, objekto vaizdo fokusavimas vykdomas rankiniu būdu.

2 lentelė. „Acuter WYSKL-100X“ techniniai duomenys

Didinimas	x100
Artimiausias židinio nuotolis	30 mm
Objektyvo matavimo skalė	0.01 mm
Stebimo objekto apšvietimas	Integruotas led diodas

### 2.2 Betono stiprio nustatymas neardančiuoju metodu

Betono stiprumui nustatyti pasirinktas neardantysis mechaninis metodas, kai bandomas betono paviršius. Metodas paremtas tuo, kad spyruoklinis Schmidto plaktukas, atlaisvinus spyruoklę, smogia per plieninį daužiklį į betono paviršių. Plieninio daužiklio atšokimo dydis išmatuojamas pagal tiesinę skalę, pritvirtintą prie prietaiso rėmo.

Matavimams atlikti pasirinktas Schmito plaktukas, kuris tinka betono stipriui matuoti 10-70 MPa stiprumo ribose, esant temperatūrai nuo 10 iki 35 C<sup>o</sup>. Prietaiso poveikis 30mm paviršiaus gylio. Reikalaujama, kad bandomi elementai būtų neplonesni nei 100mm ir standžiai užtvirtinti. Prieš pradėdant matavimą, būtina atidžiai apžiūrėti paviršių, ar jis nesuaižėjęs, šiurkščios tekstūros, labai porėtas ir pan., nes šie defektai daro labai didelę įtaką matavimų tikslumui. Būtina abrazyvinių akmeniu pašalinti paviršiaus nelygumus, šiurkštų ir minkštą paviršių. Smūgiavimo vietos turi būti nutolusios viena nuo kitos nemažiau 25 mm ir nearčiau 40 mm nuo konstrukcijos krašto. Pagal Schmito plaktuko taravimo kreivę ir atšokimų dydį nustatomas betono stipris gniuždant, įvertinant prietaiso poziciją matavimo metu. Bandymo rezultatas pateikiamas kaip visų gautų rodmenų mediana [23].

Tos pačios klasės betono stipris kinta tam tikrame intervale, kurio ribos priklauso nuo žaliavų kokybės, technologijos nepastovumo, apkrovimo sąlygų ir t. t. Betono stiprio rodiklių kitimo intervalus galima apskaičiuoti taikant statistinius-tikimybinus skaičiavimo metodus, apdorojus tam tikrą kiekį tyrimo rezultatų. Nustatyta, kad betono stiprio statistinis pasiskirstymo dėsnis mažai skiriasi nuo normalinio pasiskirstymo dėsnio [24].

Normalinio pasiskirstymo kreivė apibūdinama dviem pagrindiniais parametrais:

- Medžiagos stiprumo reikšmės aritmetiniu vidurkiu (1).

$$f_m = \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{n}, \quad (1)$$

- Vidutiniu kvadratinu nuokrypiu (standartu) (2).

$$S_f = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (f_i - f_m)^2}, \quad (2)$$

- Variacijos koeficientu (3).

$$v = \frac{S_f}{f_m}. \quad (3)$$

čia:  $f_i$  - konkrečios konstrukcijos vietos stiprio gniuždant vertė (MPa),

$f_m$  - visos konstrukcijos stiprio gniuždant vidutinė vertė (MPa).

Žinant vidutinį bandinių stiprį gniuždant  $f_m$ , bei kvadratinį nuokrypį  $S_f$ , galima apskaičiuoti su 95% tikimybe garantuotą betono gniuždomąjį stiprį  $f_{ck}$  [24; 29] (4).

$$f_{ck} = f_m - 1,64 \cdot S_f, \quad (4)$$

### 2.3 Betono drėgnio nustatymas

Betono drėgmės nustatymui panaudotas konduktometrinis drėgmės matavimo metodas. Šis būdas pagrįstas tuo, kad bet kuri drėgna aplinka yra laidi elektros srovei. Kuo daugiau vandens yra medžiagoje, tuo medžiagos elektrinė varža yra mažesnė.

Betono drėgniui išmatuoti panaudotas drėgniomatis „Testo 606-2“ (3 lentelė). Prietaisas pritaikytas matuoti statybinių medžiagų drėgnį ir aplinkos oro drėgnį bei temperatūrą. Matavimai atliekami įduriant prietaiso elektrodus į matuojamą medžiagą, rodmenys iškart parodomi LCD ekranėlyje.

3 lentelė. Drėgnio matavimo ir temperatūros matavimo prietaiso „Testo 606-2“ techniniai duomenys

Prietaiso duomenys	Eksploatacinė (darbo) temperatūra	-10 to +50 °C
	Masė	90 g
	Gabaritiniai matmenys	119 x 46 x 25 mm
	Darbo temperatūra	-10 to +50 °C
Oro temperatūros ir drėgno matavimas	Matavimo diapazonas (drėgno)	0 iki 100% RH
	Rezoliucija (drėgno)	0.1 % RH
	Tikslumas (drėgno)	±2.5 % (5 ÷ 95 %) RH
	Matavimo diapazonas (temper.)	-10 iki +50 °C
	Rezoliucija (temper.)	0.1 °C
	Tikslumas (temper.)	±0.5 °C
Medžiagos drėgno matavimas	Matavimo diapazonas	0 iki 50%
	Rezoliucija	0.1 %
	Tikslumas	±1%

### 2.4 Armatūros korozijos tikimybės nustatymas

Armatūros korozija - viena didžiausių problemų, atsirandančių eksploatuojant gelžbetonines konstrukcijas. Plieno koroziją konstrukcijoje nustatyti yra ganėtinai sudėtinga. Tiriamame objekte korozijai nustatyti buvo pasirinktas betono savitosios varžos matavimo metodas. Šis matavimo būdas priskiriamas neardančiajam konstrukcijų tyrimo metodui. Atliekant matavimus, nereikia gadinti paviršių. Įranga patogi nešiotis, matavimai atliekami gana sparčiai.

Metodo principas – betono elektrinės varžos matavimas. Kiekviena medžiaga turi savo specifinę elektrinę varžą, kuri kinta dėl įvairių priežasčių. Matavimams pasirinktas prietaisas „Proceq

Resi“, kuris sudarytas iš keturių elektrodų, išdėstytų tiesioje linijoje vienodais atstumais, kintamos elektros srovės generatoriaus, ampermetro ir voltmetro (5 lentelė) . Žemo dažnio kintamo elektros srovės stiprio elektros srovė yra tiekama tarp dviejų išorinių elektrodų ir matuojama įtampa tarp dviejų vidinių elektrodų. Specifinę elektrinę varžą galima apskaičiuoti pagal formulę (5):

$$R = \frac{2\pi s U}{I} \quad (5)$$

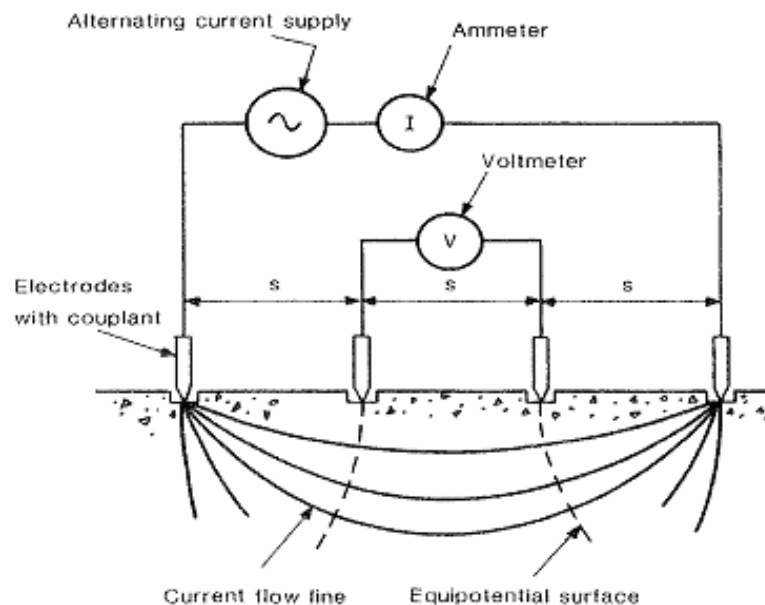
čia:  $R$  - elektrinė varža,

$s$  - atstumas tarp elektrodų (8 pav.),

$U$  - įtampa,

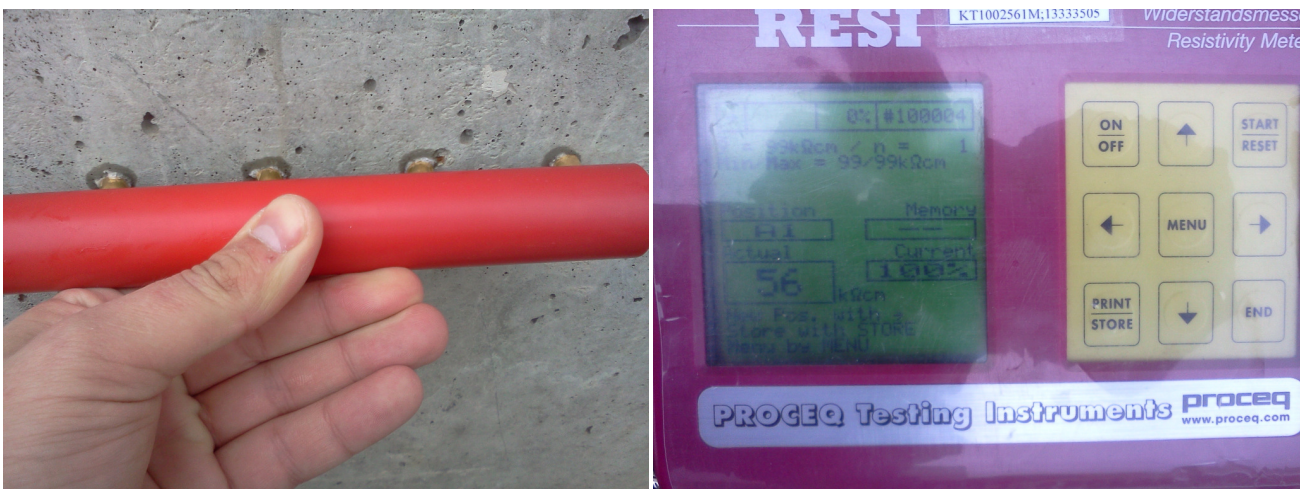
$I$  - srovės stipris.

Specifinė elektrinė varža gali būti išreiškiama  $\Omega cm$  arba  $k\Omega cm$ .



**8 pav. Betono elektrinės varžos matavimo prietaiso schema.**

Matavimo procesas yra toks: sudrėkinus kempinėles, kurios užtikriną gerą elektrodų kontaktą su betono paviršiumi, po to, keturių tarpusavyje sujungtų elektrodų laikiklis prispaudžiamas prie betono paviršiaus, prietaiso duomenų registravimo įrenginyje matomas ar geras elektrodų kontaktas su paviršiumi, matoma matuojamos vietos specifinė varžos reikšmė (9 pav.). Matavimo rezultatai palyginami su kritinėmis reikšmėmis (4 lentelė) ir prieinama prie išvados dėl armatūros korozijos tikimybės [18].



9 pav. Betono elektrinės varžos matavimas prietaisu „Proceq Resi“

4 lentelė. Elektrinės varžos reikšmės korozijos intensyvumui nustatyti [18]

Elektrinė betono varža, $k\Omega cm$	Elektrocheminės plieno korozijos tikimybė
<5	Tikėtina labai intensyvi korozija
5-10	Tikėtina intensyvi korozija
10-20	Maža korozijos tikimybė
>20	Labai maža korozijos tikimybė

Betono elektros varžos matavimams įtaką daro daugelis faktorių: drėgmė, druskų prisotinimo lygis, temperatūros svyravimai, betono gamybos metu naudojamų medžiagų sudozavimo tikslumas, V/C santykis. Laboratoriniais tyrimais įrodyta, kad elektrinė varža mažėja, kai betono V/C santykis didėja.

5 lentelė. „Proceq Resi“ elektrocheminės korozijos matuoklio techniniai duomenys

Darbo temperatūra	0÷60 $C^0$
Matavimo diapazonas	0÷99 $k\Omega cm$
Rezoliucija	1 $k\Omega cm$

## 2.5 Konstrukcijų deformacijų nustatymas

Statiniuose pasireiškiančias deformacijas galima suskirstyti į du tipus:

- a) Bendrąsias – viso statinio ir jo konstrukcijų poslinkiai ir deformacijos
- b) Vietines – atskirų konstrukcijų, sujungimo mazgų, atramų deformacijos.

Tiriant sandėlį buvo išmatuotos vietinės statinio kai kurių konstrukcijų deformacijos ir palygintos su Lietuvoje galiojančiu statybos reglamentu. Matavimams panaudota šie prietaisai:

- ✓ Atstumo matavimo ruletė.

- ✓ Svambalas.
- ✓ Skaitmeninis lazerinis atstumo matuoklis „Bosch DLE 50 Professional“ (6 lentelė).
- ✓ Lazerinis prietaisas su susikryžiuojančiomis linijomis „Stabila Laser LAX-200“ (7 lentelė).
- ✓ Gulsčiukas „Stabila 80 electronic“.

Nustatinėjant konstrukcijų deformacijas buvo matuojami sienų horizontalūs ir vertikalūs išlinkiai siekiant nustatyti ar neviršytos jų leistinos ribos.

6 lentelė. „Bosch DLE 50 Professional“ techniniai duomenys

Masė	0.18 kg
Darbo temperatūra	-10 ÷ +50 C <sup>0</sup>
Matavimo ribos	0.05÷50m
Matavimo tikslumas	±1.5 mm - tipiškas (±3 mm - didžiausias)
Matavimo trukmė	0.5 s – tipiška ( 4 s – didžiausia)
Rezoliucija	1 mm
Lazerio klasė	2
Lazerio tipas	635 nm, 1mW
Lazerio spindulio skersmuo	10 m atstumu – 6mm, 50m atstumu – 30mm

7 lentelė. „Stabila Laser LAX-200“ techniniai duomenys

Darbo temperatūra	-10 ÷ +50 C <sup>0</sup>
Savaiminis niveliavimo diapazonas	±4.5 C <sup>0</sup>
Horizontalios lazerio spindulio linijos niveliavimo tikslumas	±0.3 mm/m
Vertikalios lazerio spindulio linijos niveliavimo tikslumas (pakrypimas)	±0.2 mm/m
Lazerio klasė	2
Lazerio tipas	630÷660 nm, 1mW

## 2.6 Rentgenografinė analizė

Rentgeno spinduliui būdinga difrakcija, nes sklisdami į kristalus, amorfines medžiagas, dujas, skysčius jie užlinksta. Pereidami kliūtis rentgeno spinduliai lūžta, kai kliūčių dydžiai artimi bangos ilgiui. Spinduliams lūžtant susidaro antrinių spindulių pluoštai, nukrypę į įvairias puses nuo pradinės sklaidimo krypties. Pagal atspindėtą difrakcinį vaizdą nustatomos tiriamosios medžiagos struktūrinės charakteristikos. Metodo esmė yra tokia, kad rentgeno spindulių pluoštas, krisdamas kampu  $\theta$  į

kažkurios gardelės plokštumas, atspindi nuo jų tuo pačiu kampu. Rentgenografinę analizės esmę nusako Vulfo ir Brego lygtis [25]:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (6)$$

čia:  $\lambda$  - rentgeno spindulių bangos ilgis,

$n$  - sveikasis skaičius, spektro arba atspindžio eilė,

$d$  - gardelės tarp plokštuminis atstumas,

$\theta$  - spindulių kritimo (atspindžio) kampas.

Rentgeno spinduliai atspindėję nuo skirtingų atominių plokštumų stiprina vienas kitą, tai yra interferuoja, kai tenkinamos Vulfo ir Brego lygties sąlygos, o priešingu atveju spinduliai vienas kitą gesina. Pagal gautus atspindžio minimumus ir maksimumus nustatoma kokia kristalinė gardelė sudaro tiriamą medžiagą.

Rentgeno spinduliuotės difrakcinė analizė atlikta panaudojus rentgeno spindulių difraktometrą DRON-5. Įrenginio pagrindinės techninės charakteristikos: rentgeno spindulių detektoriaus sukimosi žingsnis -  $0,02^\circ$ , sukimo kampas  $2\theta$  – nuo  $3$  iki  $70^\circ$ , impulsų intensyvumo matavimo trukmė –  $0,5$  sekundės, įtampa  $-30$  kV, srovės stiprumas  $-20$  mA. Bandiniai tiriami miltelių metodu, kai tiriamą medžiagą susmulkinama ir supresuojama į tabletes. Šis bandinys įtvirtinamas įrenginio specialiaame laikiklyje ir atliekamas tyrimas.

### III. Tyrimų rezultatai

#### **3.1 Tyrimų, naudojant stebėjimo techniką, rezultatai**

Vizualių tyrimų metu apžiūrint pastatą iš vidaus ir iš išorės, jo gelžbetoninėse sienose buvo užfiksuoti tokie defektai ir pažaidos:

a) Kavernos išoriniame ir vidiniame sienų paviršiuje (10 pav). Įvairaus didumo kavernos, poros, kiaurymės ir tuštumos gali būti gaminio paviršiuje arba gilumoje. Jos susidaro dėl technologinių arba konstrukcinių trūkumų: netinkamos betono sudėties (pavyzdžiui, per didelio vandens kiekio jame), susisluoksniavusio mišinio, tankaus armavimo, netinkamos tankinimo technologijos ir pan. Taip pat tuštumas gali suformuoti pakliuvusios į betoną įvairioms pašalinės priemaišos – grunto, ledo gabalams. Šis defektas yra nepageidaujamas, nes tuštumos suardo betono akmens vientisumą, pablogėja konstrukcijų mechaninės charakteristikos. Poros, kapiliarai mažina betono ilgaamžiškumą, nes kapiliarais migruoja vanduo, chloridai bei kitos agresyvios medžiagos.



**10 pav. Ant gelžbetoninių sienų susidariusios kavernos**

b) Deformacinių siūlių nesandarumas (11 pav.). Šios pažaidos atsiranda dėl netinkamo hermetiko parinkimo, prasto betono paviršiaus paruošimo prieš sandarinimą, pernelyg didelio siūlės storio (pločio), hermetiko senėjimo dėl išorinių poveikių (saulės radiacija, temperatūros svyravimai). Užsandarinta siūlė galėjo atkibti ir dėl netechnologiškai atliktų darbų – netinkamai suformuotos siūlės. Siūlė formuojama taip, kad giliausia jos dalis liestųsi su kontaktuojančiais paviršiais, o viduryje ji būtų ploniausia



**11 pav. Deformacinės sienų siūlės praradusios sandarumą**

c) Prastai sutankintas betonas (12 pav.). Defektai atsiranda dėl prastos darbų atlikimo kokybės: blogo sutankinimo, blogai išvalytų klojinių (lieka tepalo perteklius), klojinių nesandarumo (išteka cementinis pienelis, lieka tik užpildai). Taip pat prastą sutankinimo kokybę galėjo nulemti uždelstas betono sutankinimas, nes pradėjus pastarajam rištis, betoną nebesutankinamas tinkamai.



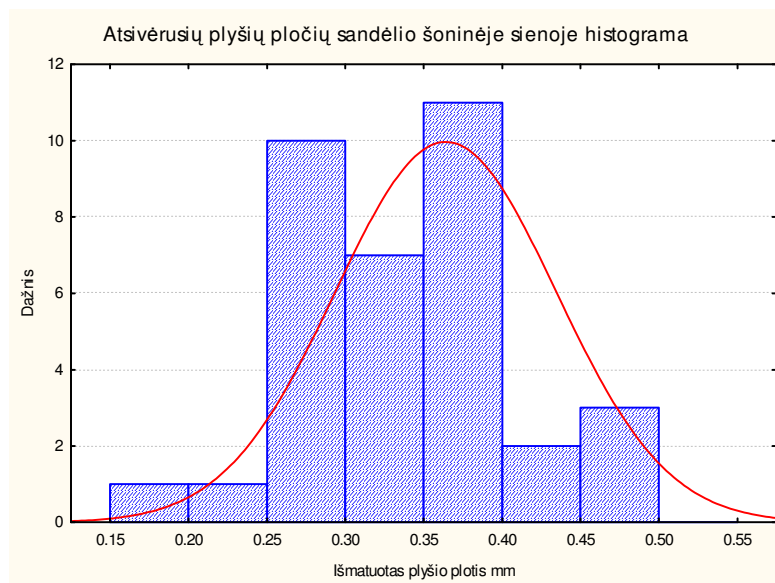
**12 pav. Blogai sutankintas betonas išorinėje pastato sienos pusėje**

d) Atsivėrę neleistino dydžio plyšiai betoninių sienų paviršiuje (13 pav.). Optiniu mikroskopu išmatuoti atsivėrę plyšiai išorinėje sandėlio gelžbetoninės sienos pusėje 1.5÷1.7 m aukštyje virš žemės paviršiaus ir nustatyta, kad didžiausias plyšio plotis siekė 0,5mm.

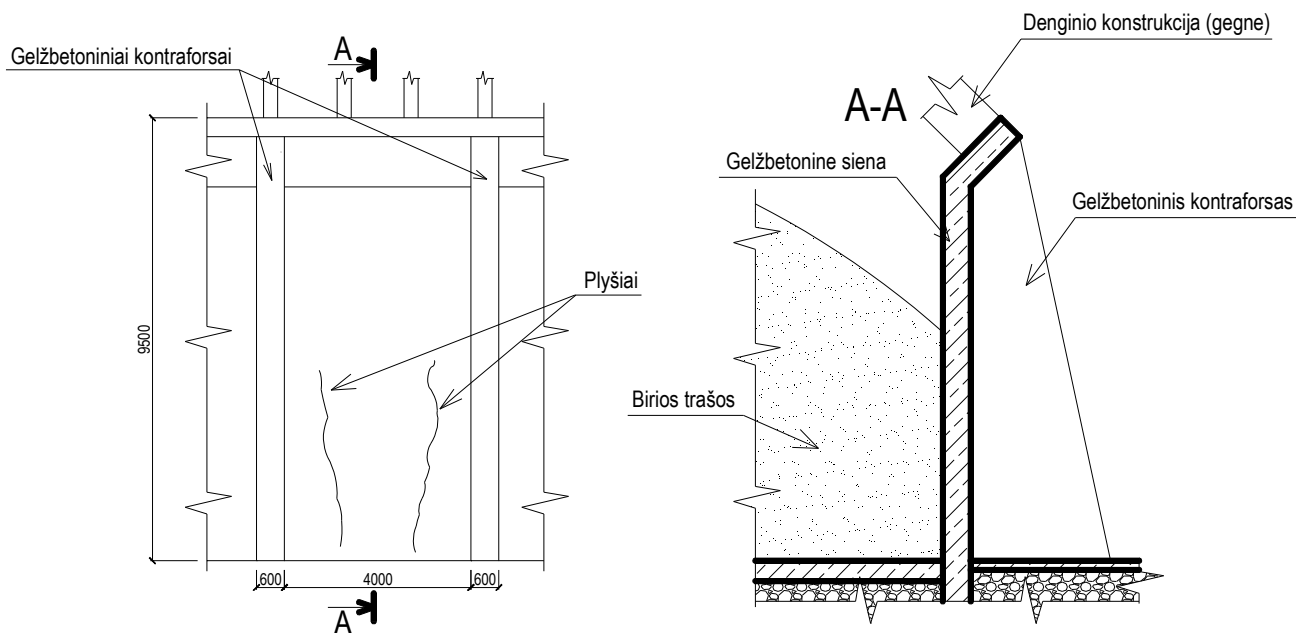


**13 pav. Atsivėręs vertikalus plyšys pastato sienoje**

Galimos plyšių susidarymo priežastys gali būti šios: viršytos leistinos apkrovos, blogai suprojektuota konstrukcija, per didelis pamatų nuosėdžio skirtumas, temperatūrinės deformacijos. Atidžiai apžiūrėjus visas statinio sienas, prieita prie išvados, jog plyšiai atsivėrė dėl viršytų apkrovų iš vidinės sandėlio pusės. Pastato sienose atsivėrusių plyšių schemoje pateiktas apibendrinta plyšių atsivėrimo vieta gelžbetoninėje sienoje (15 pav.). Atlikti 36 plyšių matavimai optiniu mikroskopu. Pagal gautus duomenis (2 Priedas) nubraižyta histograma ir apskaičiuoti statistiniai rodikliai (14 pav.; 8 lentelė)



**14 pav. Atsivėrusių plyšių pločio gelžbetoninėje sandėlio sienoje histograma**



1 pav. Atsivėrusių plyšių apibendrinta schema

8 lentelė. Išmatuotų plyšių pločių statistiniai rodikliai

Matuota konstrukcija	Statistiniai išmatuotų plyšių pločio rodikliai						
	Matavimų skaičius, vnt.	Mediana	Aritmetinis vidurkis $f_m$	Vidutinis kvadratinis nuokrypis $S_f$	Variacijos koeficientas $V$	Minimali matavimo reikšmė	Maksimali matavimo reikšmė
Sandėlio sienos	36	0.35	0.36	0.07	0,19	0.2	0.5

Apskaičiuota plyšių pločių mediana 0.35mm. Taigi statinio išorinėje sienos pusėje atsivėrę plyšiai viršija normas, nes plyšio plotis didesnis už 0.3mm.

e) Nutrupėjęs remontinio skiedinio sluoksnis nuo kontraforsų paviršiaus ir cokolio (16 pav.). Ši pažaida atsirado dėl nuolatinio skiedinio įmirkimo ir šaldymo, šildymo poveikio. Taip pat įtakos galėjo turėti cheminis poveikis, blogai paruoštas paviršius prieš tinkavimą, netinkama skiedinio sudėtis, darbo technologijos nesilaikymas.



**2 pav. Nutrupėję skiedinio ir tinko sluoksniai**

f) Plieninės armatūros korozijos dėmės ant betono paviršiaus (17 pav.). Priežastys: paliktas atviras neapsaugotas nuo korozijos plieninis paviršius, per plonas arba pažeistas apsauginis betono sluoksnis, agresyvių trąšų poveikis. Karbamido ir kalio chlorido trąšos yra higroskopiškos – traukia drėgmę iš oro. Susikaupusi drėgmė betone skatina intensyvią plieno koroziją.



**3 pav. Neapsaugotas nuo korozijos plienas betono paviršiuje**

Siekiant išvengti šių pažaidų būtina užtikrinti apsauginį betono sluoksnį, naudojant atitinkamas priemones (plastikinius fiksatorius, betoninius fiksatorius, išimamus fiksatorius, vėliau užtaisant skiediniu tuštumas ir pan.), plieninei armatūrai, nes šarminėje betono aplinkoje korozija nevyksta, o detalėms kurios yra betono paviršiuje privaloma naudoti atitinkamas apsaugos priemones apsaugančias nuo korozijos (gruntas, epoksidiniai dažai ir pan.

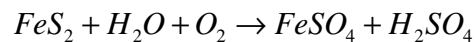
g) Piritro dėmės betono paviršiuje (18 pav).



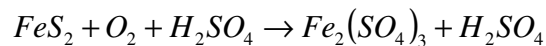
**4 pav. Piritu nuspalvintas betono paviršius**

Piritas – tai mineralas susidaręs per milijonus metų, patenkantis gaminant betono mišinį su užpildais. Piritu korozinis procesas yra cheminis-biologinis oksidacijos procesas. Piritu dalelėmis užterštas betonas patenka į drėgną aplinką ir yra veikiamas bakteriologinio užterštumo. Kaip nurodoma literatūroje [26; 27; 28], užpildo korozijos procesas prasideda paviršiuje ir skverbiasi į gilesnius sluoksnius. Vyksta tokios cheminės reakcijos:

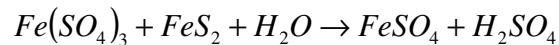
I Geležies sulfidas (piritas) vykstant oksidacijos reakcijai virsta geležies sulfatu:



II Skatinama bakterijų (nes rūgštinėje aplinkoje oksidacijos reakcija savaime nevyksta) vyksta tolesnė geležies sulfido oksidacija:



III Trivalentės geležies sulfatas toliau reaguoja su piritu mineralu:



h) Apžiūrint sandėlių pastebėtos drėgnos dėmės ant išorinių sandėlio sekcijos sienų, kuriose laikoma karbamido trąša (19 pav.). Šios dėmės atsirado, nes karbamidas difundavo į išorinę pastato pusę. Ši trąša yra higroskopiška – sugeria drėgmę, todėl gaunamas šlapios sienos efektas. Priežastis, dėl kurių įvyko ši pažaida, galima įvardinti šias: izoliacinio sluoksnio nebuvimas iš vidinės sandėlio pusės, per mažas betono tankis, porėtas ir kapiliariškas betono akmuo.



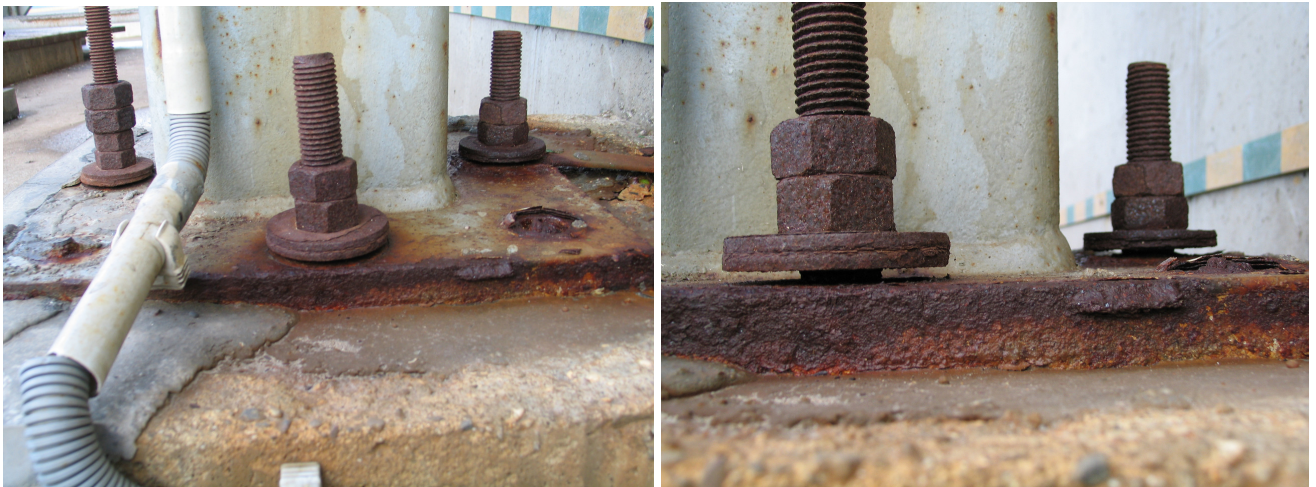
**5 pav. Karbamido difuzija į išorinę sandėlio pusę**

i) Plieno korozija, ypač turinčio sąlytį su betono paviršiumi (20 pav.). Apžiūrint statinį pastebėta, jog koroduoja pastato išorėje esantys plieniniai statinio elementai. Sparčiai korozijai įtaką daro agresyvūs trašų poveikis. Nors šios medžiagos sandėliuojamos statinio viduje, bet neišvengiamas jų patekimas ir į išorinę pusę dėl difuzijos per betoną ir statinio konstrukcijų nesandarumo, dulskėjimo krovos metu.



**20 pav. Intensyvi plieno korozija išorinėje pastato pusėje**

j) Išorinėje pastato pusėje esančios laiptinės plieninių kolonų bazių varžtų intensyvi korozija, plieno ir pamato betono deformacijos (21 pav.).



**21 pav. Intensyvi kolonų varžtų korozija**

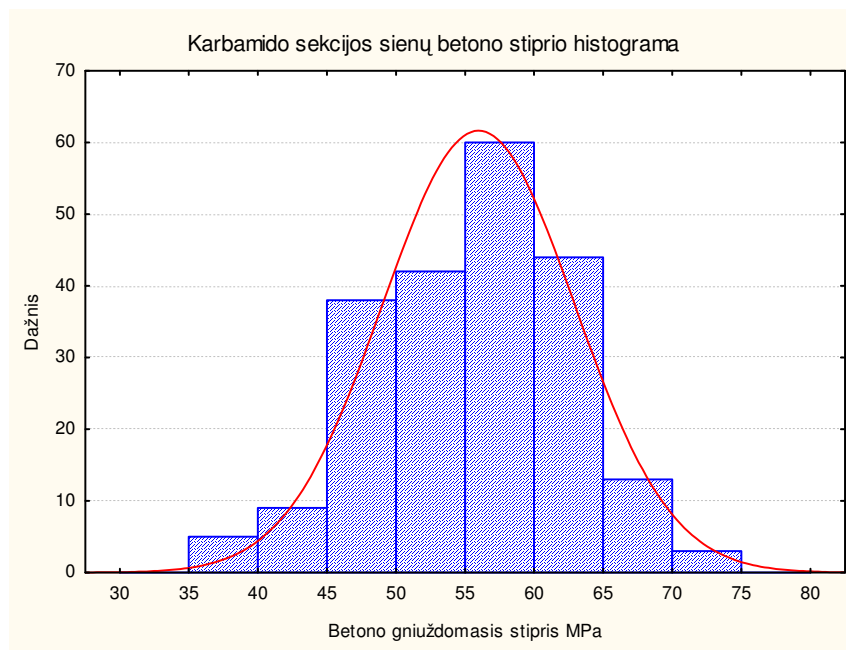
Išmatuoti atsivėrę plyšiai optiniu mikroskopu ir pastebėta, jog kai kurių plyšių plotis viršija leistiną statybos reglamento nustatytą ribą neįtemptai armuotoms gelžbetoninėms konstrukcijoms – 0,3 mm (3 priedas). Plyšių plotis siekė iki 0,5 mm.

Iš vizualių tyrimų daugelis nustatytų pažeidimų priskiriami pirmai gelžbetoninių konstrukcijų pažeidimų kategorijai: kavernos betono paviršiuje, prastai sutankintas betonas, nutrupėjęs tinko sluoksnis, plieninės armatūros korozijos dėmės, piritos dėmės, nes jie yra nepavojingi eksploatuojant statinį, tik nepageidautini estetiniu požiūriu. Trečiai kategorijai priskiriami neleistino pločio atsivėrę plyšiai, nes jie suardo konstrukcijų vientisumą, sudaro sąlygas spartesnei medžiagų korozijai, taip pat šiai kategorijai galima priskirti ir viršytas sienų deformacijas.

### ***3.2 Betono stiprio matavimų rezultatai***

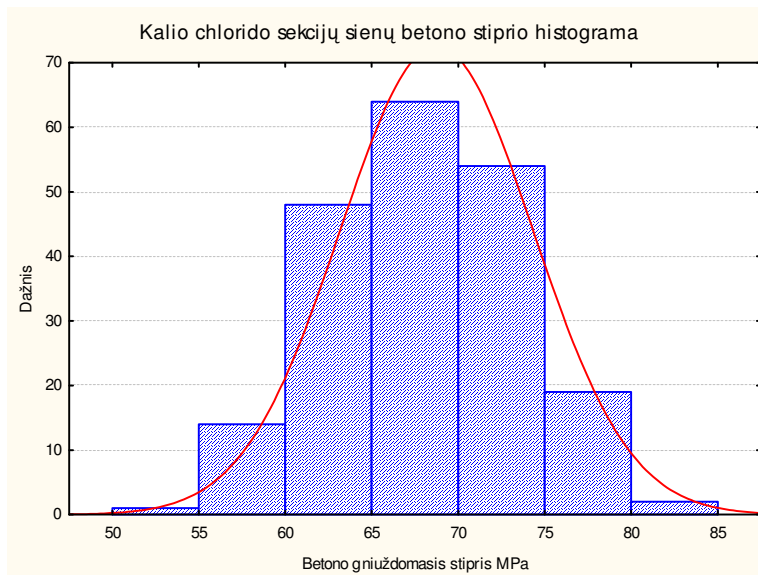
Atliekant betono stiprumo matavimus Schmidto plaktuku, išmatuotas sandėlio sienų betono paviršiaus stiprumas karbamido ir kalio chlorido sekcijose. Gauti duomenys sugrupuoti histogramose (22÷24 pav.). Pagal gautus duomenis apskaičiuoti statistiniai parametrai, leidžiantys nustatyti kokios betono klasei galima priskirti tirtų konstrukcijų betoną.

Sandėlio sekcijoje, kurioje laikomas karbamidas, sienų betono stiprumui nustatyti atlikta 214 matavimų Schmidto plaktuku. Rezultatai sugrupuoti histogramoje (22 pav.).



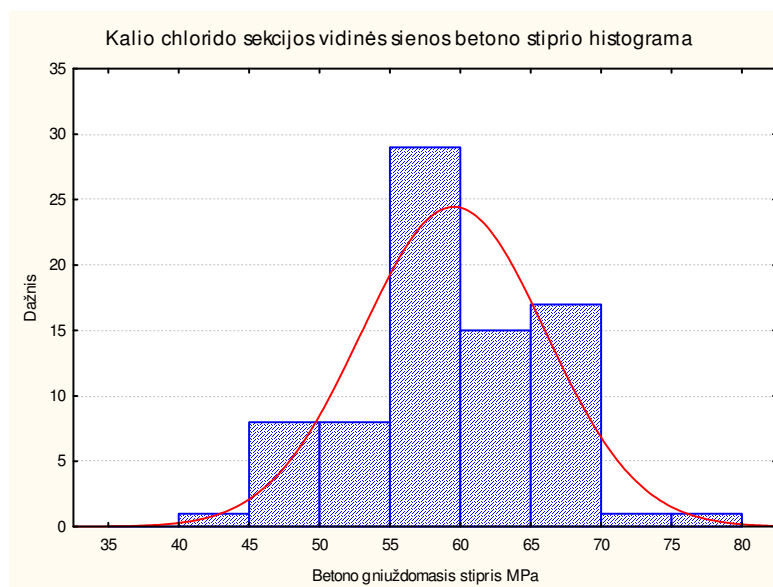
**22 pav. Neardančiojo metodo tiriant karbamido sekcijos išorinių sienų betono stiprį rezultatai**

Kalio chlorido sandėliavimo sekcijų sienų betono stiprumui nustatyti atlikti 202 matavimai Šmito plaktuku. Rezultatai pateikti histogramoje (23 pav.).



**23 pav. Neardančiojo metodo tiriant kalio chlorido sekcijų sienas rezultatai**

Atlikti ir vidinių pastato sienų betono stiprio matavimai. Nustatytas kalio chlorido sekcijos, kurioje trąšos turi tiesioginį sąlytį su betono paviršiumi, sienos betono stipris. Atlikta 80 smūgių Schmidto plaktuku (24 pav.).



24 pav. Neardančiojo metodo tiriant kalio chlorido sekcijos vidines sienas rezultatai

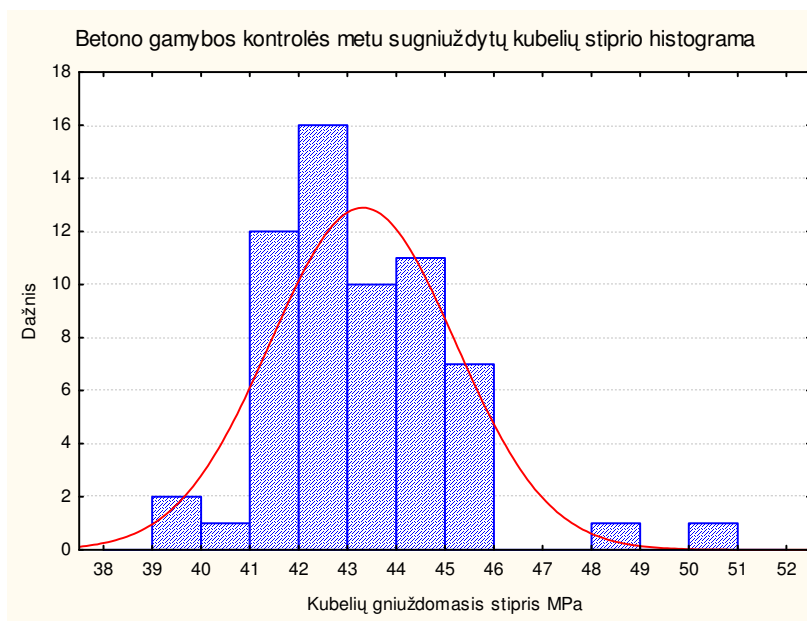
9 lent. Neardančiuoju mechaniniu metodu gautų matavimų statistiniai duomenys

Matuota konstrukcija	Statistiniai betono kubo gniuždomojo stiprio rodikliai						
	Matavimų skaičius, vnt.	Mediana, MPa	Aritmetinis vidurkis $f_m$ , MPa	Vidutinis kvadratinis nuokrypis $S_f$ , MPa	Variacijos koeficientas $V$	Minimali matavimo reikšmė MPa	Maksimali matavimo reikšmė MPa
Karbamido sekcijos išorinės sienos	214	56,0	55,84	7,13	0,13	30,0	72,0
Kalio chlorido sekcijos išorinės sienos	202	69,5	68,64	5,55	0,08	53,0	81,0
Kalio chlorido sekcijos vidinės sienos	80	59,0	59,40	6,52	0,11	41,0	76,0

Pagal gautus rezultatus, skirtingoms išmatuotoms sandėlio vietoms parenkama artimiausia betono stiprio klasė atspindinti dabartinę betono stiprį. Pagal neardančiuoju metodu gautų rodmenų rezultatus, apskaičiuotas medianas, priskiriamos tokios betono klasės:

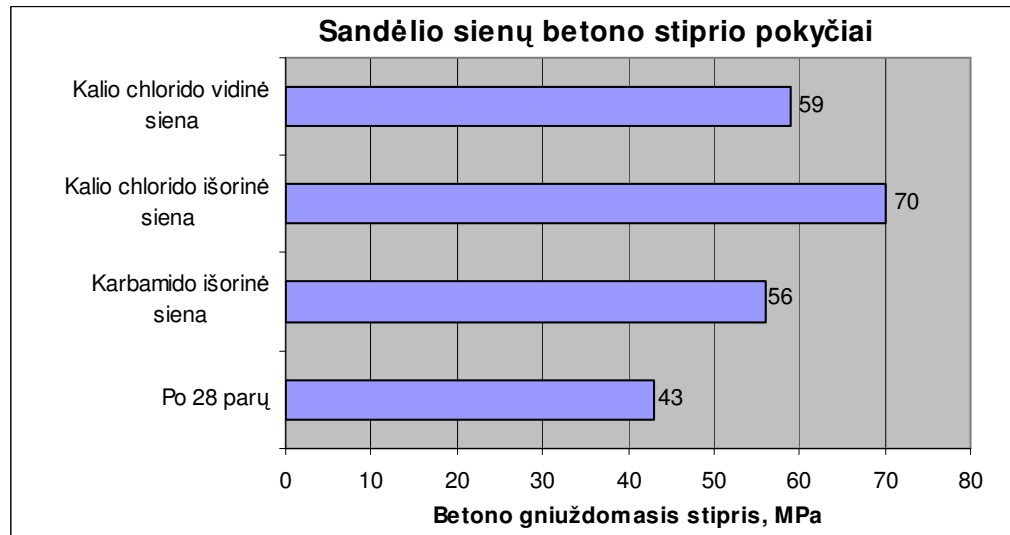
- ✓ Karbamido sekcijų išorinių sienų stipris artimas betono klasei C45/55.
- ✓ Kalio chlorido išorinių sienų betono stipris artimas klasei C55/67.
- ✓ Kalio chlorido sekcijos vidinių sienų betono stiprį galima priskirti C50/60 klasei.

Atliekant betono gamybos atitikties kontrolę, atitikčiai įvertinti, kai betono gamyba gamykloje yra sertifikuota, būtina imti betono ėminius ir nustatyti jų stiprumą ne rečiau kaip kas  $200\text{m}^3$  pagaminto betono ir nerečiau kaip du kartus per savaitę [29]. Laikantis standarto reikalavimų gamykloje, gaminusioje prekinį betoną sandėlio statybai, buvo paimtas 61 ėminys ir sugniuždyta 122 betoniniai kubeliai. Gauti rezultatai sugrupuoti histogramoje (25 pav.). Apskaičiuotas betono stipris po 28 parų kietėjimo su 95% tikimybe atitinka C30/37 betono stiprumo klasę.

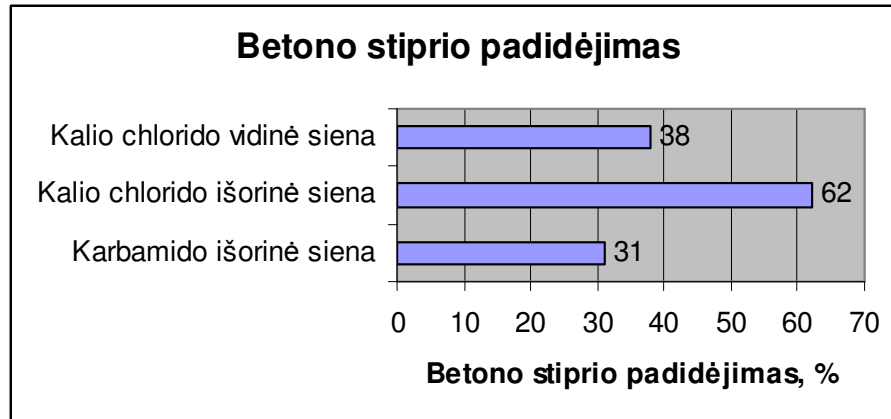


**6 pav. Betono kubelių po 28 parų laikymo, stiprio nustatymo rezultatų histograma**

Iš gautų rezultatų matome, kad jie yra skirtingi. Karbamido išorinių sienų betono stipris išaugo trim klasėmis – nuo C30/37 iki C45/55. Kalio chlorido sekcijų išorinių sienų stiprio klasė padidėjo penkiomis klasėmis – nuo C30/37 iki C55/67, o vidinių sienų, kurios turi tiesioginį sąlytį su kalio chlorido trąšomis – keturiomis klasėmis, nes pasiektas stiprumas atitinka C50/60 klasę. Betono stiprio prieaugį galima paaiškinti natūraliu betono stiprumo augimu dėl besitęsiančia cemento hidratacijos reakcijų. Skirtingas pasiektas stipris leidžia teigti, jog skirtingų rūšių trąšos skirtingai įtakoja betono akmenį (26, 27 pav.).



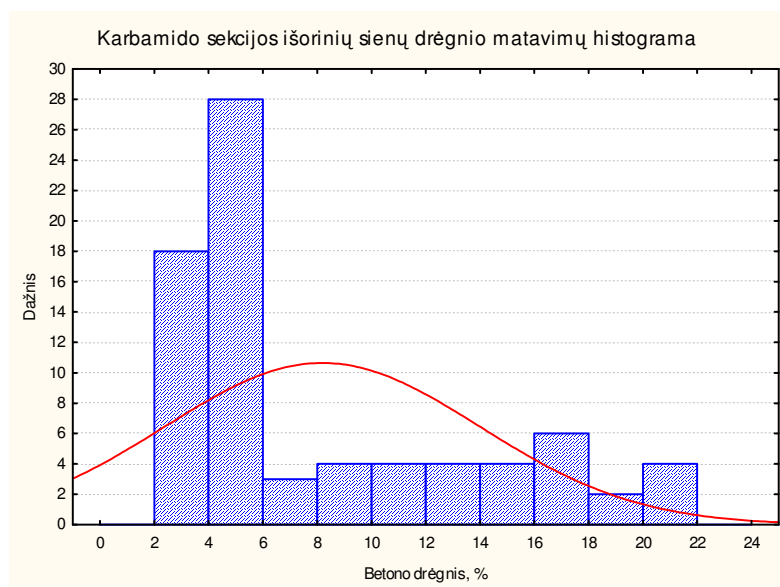
26 pav. Sandėlio betono stiprio pokyčiai



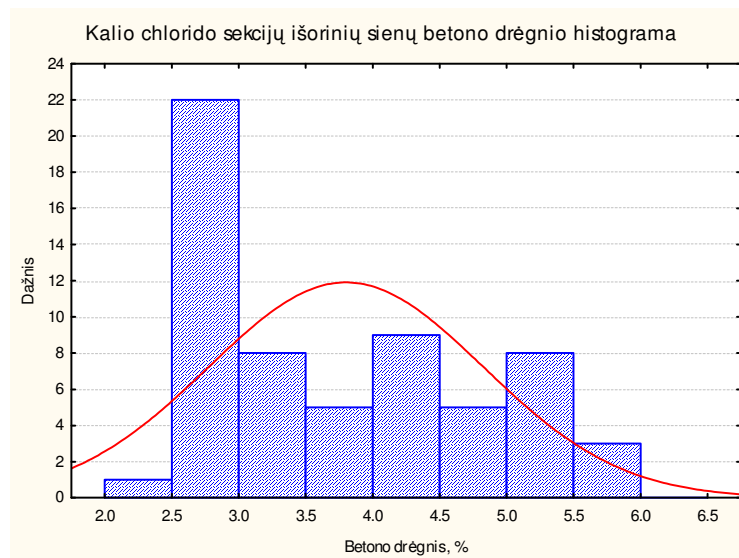
27 pav. Sandėlio betono stiprio augimas nuo pradinio, po 7 metų eksploatacijos laikotarpio

### 3.3 Betono drėgnio matavimo rezultatai

Atliekant betono stiprio matavimus, buvo atlikti ir betono paviršiaus drėgnio matavimai drėgnomačiu. Pastebėta, kad sandėlio sekcijų sienų, kuriose laikomas karbamidas, santykinė drėgmė didesnė, negu tų sandėlio sekcijų sienų, kuriose laikomas kalio chlorido trąša (28, 29 pav.; 10 lentelė). Kadangi abi medžiagos sandėliuojamos sandėlyje yra higroskopiškos, galima spręsti, jog karbamido difuzija į betono akmenį yra intensyvesnė palyginus su kalio chloridu. Tai patvirtina ir ant karbamido sekcijos sienos akivaizdžiai matomos drėgmės dėmės (19 pav.).



7 pav. Karbamido sekcijos sienų drėgmės histograma



8 pav. Kalio chlorido sekcijų išorinių sienų betono drėgno histograma

10 lentelė. Sandėlio sienų betono drėgmės matavimo statistiniai rodikliai

Matuota konstrukcija	Statistiniai išmatuotos drėgmės rodikliai						
	Matavimų skaičius, vnt.	Mediana	Aritmetinis vidurkis $f_m$	Vidutinis kvadratinis nuokrypis $S_f$	Variacijos koeficientas $V$	Minimali matavimo reikšmė	Maksimali matavimo reikšmė
Karbamido sekcijos išorinės sienos	77	5,0	8,14	5,77	0,71	2,4	21,8
Kalio chlorido sekcijos išorinės sienos	61	3,3	3,79	1,02	0,27	2,4	5,9

Iš betono drėgčio histogramų ir sandėlio sienų vizualios apžiūros, galima spręsti, jog trąšų difuzija į betono akmenį ir pastarojo drėgnis priklauso ne tik nuo trąšų atmainos, bet ir nuo betono kokybės (sutankinimo).

### **3.4 Elektrocheminės armatūros korozijos tikimybės matavimų rezultatai**

Armatūros korozijai nustatyti atlikti matavimai prietaisu „Proceq Resi“ nuo 1m iki 1,8m aukštyje nuo žemės paviršiaus išorinėje pastato pusėje, siekiant nustatyti ar tikėtina armatūros elektrocheminė korozija betone. Išmatuota betono elektrinė varža parodė, jog aplinka kol kas nėra palanki plieno korozijai, nes matavimo vertės buvo didesnės už  $12\text{ k}\Omega\text{cm}$ .

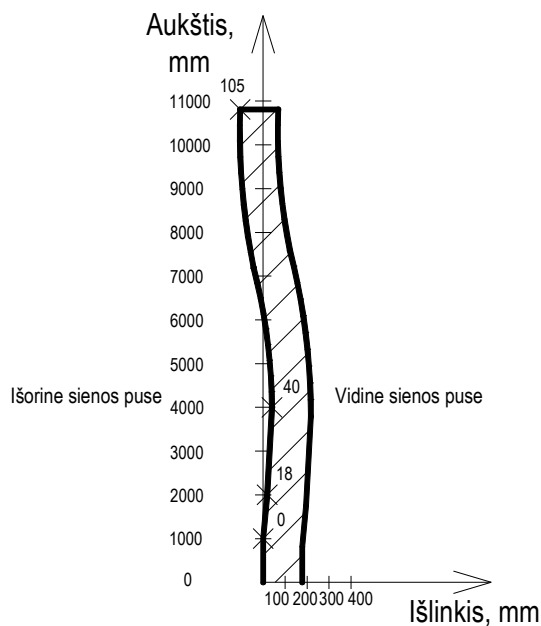
Pirmiausia matavimai atlikti karbamido sekcijos sienose. Sausuose betono paviršiaus plotuose išmatuota elektrinė betono varža svyravo nuo  $50\text{ k}\Omega\text{cm}$  iki  $80\text{ k}\Omega\text{cm}$ . Drėgnuose betono plotuose varža kito nuo  $14\text{ k}\Omega\text{cm}$  iki  $40\text{ k}\Omega\text{cm}$ .

Matavimai atlikti kalio chlorido sekcijų sienose. Išmatuota elektrinė varža sausuose plotuose kito nuo  $10\text{ k}\Omega\text{cm}$  iki  $85\text{ k}\Omega\text{cm}$ .

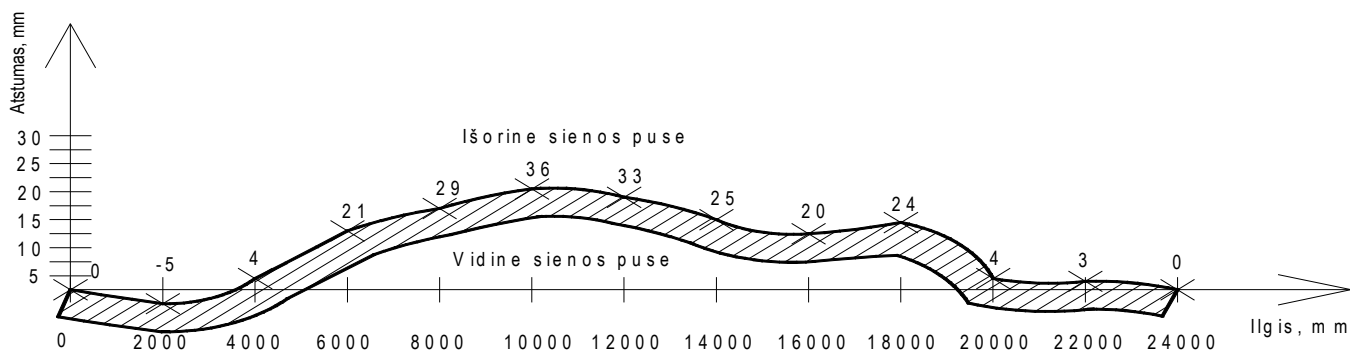
Iš gautų rezultatų matome, jog karbamido ir kalio chlorido sandėliuojamų sekcijų sienose elektrocheminė korozija yra mažai tikėtina, nes betonas pakankamai apsaugo plieną nuo korozijos. Tačiau akivaizdi ir betono varžos mažėjimo tendencija, pasireiškianti tose vietose, kur į betoną įsiskverbia daugiau trąšų ir kur, tikėtina, betono tankis yra mažesnis. Ši varžos mažėjimo tendencija leidžia teigti, kad po ilgesnio sandėlio eksploatacijos laikotarpio, gelžbetoninėse sandėlio sienose plieninės armatūros korozija visgi gali įvykti (jei ne dėl tiesioginio trąšų poveikio, tai dėl drėgmės poveikio, kurią sukelia trąšų higroskopiškumas).

### **3.5 Deformacijų matavimo rezultatai**

Tyrinėjant pastatą pastebėtos galinės sandėlio sienos deformacijos (esančios šalia plieninės laiptinės, 2 pav.). Siekiant nustatyti tikslesnes reikšmes, buvo atliekami deformacijų matavimai, kuriems panaudota: lazerinis atstumo matuoklis, susikertančių lazerinių linijų gulsčiukas, ruletė, svambalas. Išmatuotos ir vienos galinės sandėlio sienos karbamido sekcijoje išlinkis vertikalia ir horizontalia kryptimis. Siena deformavosi dėl viršytų eksploatacinių apkrovų. Gautus sienų deformacijų duomenis atspindi 30 pav. ir 31 pav. (pastaba: grafikų ašių masteliai neišlaikyti, dėl aiškesnio rezultatų pateikimo).



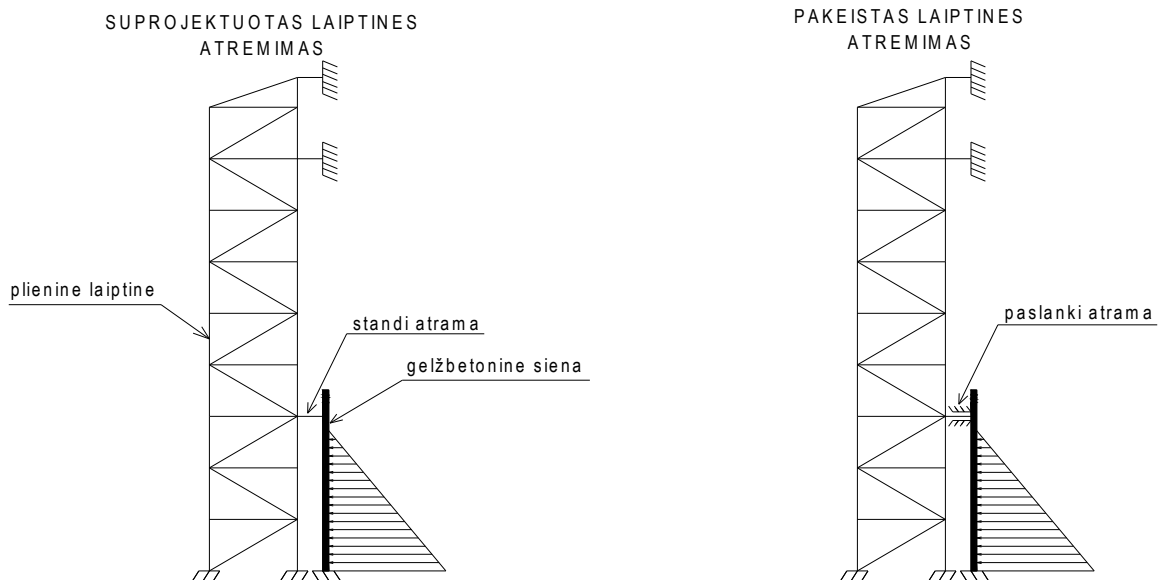
30 pav. Galinės sandėlio sienos deformacinės schemas



31 pav. Galinės sandėlio sienos deformacinės schemas

Iš rezultatų matoma, jog siena nėra tiesi, pastebimas jos išlinkis. Sienos kreivumas vertikalia kryptimi siekia 105mm ir viršija leistiną ribą (73mm) 32mm, horizontalia kryptimi – 36mm, (leistina riba – 160mm neviršijama) [30].

Apžiūros metu pastebėta projektavimo klaida, nes parinktas netinkamas plieninės išorinės laiptinės konstrukcijos atrėmimas į pastato galinę sieną. Panaudota standi atrama jungianti plieninę koloną su gelžbetonine siena (32 pav.) tam, kad būtų užtikrintas plieninės laiptinės stabilumas (plieninė laiptinė nėra sandėlio galinės sienos sustandinimo elementas).



**32 pav. Sandėlio sienos ir laiptinė atrėmimo pakeitimo schema**

Kraunant karbamido trąšas į sandėlį buvo viršytos apkrovos, todėl gelžbetoninė siena pasislinko į išorinę pusę. Esant standžiai atramai tarp sienos ir laiptinės, slenkant viršutinei sienos daliai, pasislinko ir laiptinės karkasas. Padariniai – deformuotos kolonos bazės, laiptinės santvarinių sujungimų pažeidimai (33 pav.).



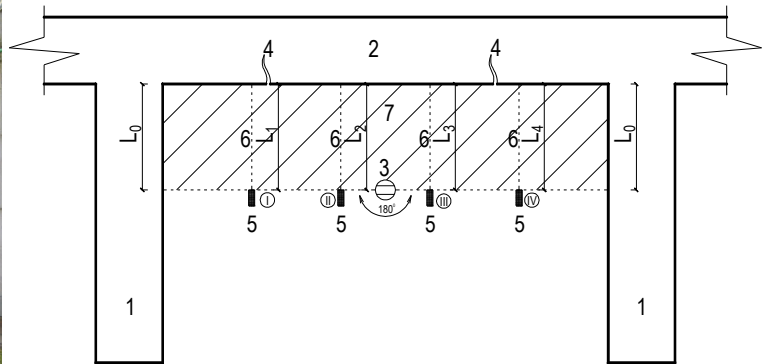
**33 pav. Sandėlio sienos poslinkio padariniai**

Po įvykio suremontavus kolonų bazes, pakeistos sienos ir laiptinės kolonų jungtys į paslankias (34 pav.), bei atidžiau stebima sekcijos pakrovimas trąšomis, siekiant išvengti per didelių apkrovų, kurios įtakotų pakartotines neleistinas sienos deformacijas.



34 pav. Paslanki atrama jungianti sieną ir laiptinės kolonas

Dėl pastebėtų atsivėrusių neleistino pločio plyšių šoninėse gelžbetoninėse sandėlio sienose nuspręsta išmatuoti šių sienų deformacijas ir nustatyti ar jos neviršija leistinųjų. Sienos įtvirtinimas yra standus ties pamatu, ir ties gelžbetoniniais kontraforsais.



35 pav. Sienos išlinkio matavimo schema

- 1 - sandėlio šoninių sienų kontraforsai,
- 2 - sandėlio deformuota šoninė siena,
- 3 - horizontalią ir vertikalią lazerio plokštumas generuojantis prietaisas,
- 4 - plyšiai sandėlio sienoje,
- 5 - lazerinis atstumo matuoklis,
- 6 – lazerinio atstumo matuoklio generuojamas spindulys,
- I, II, III, IV – lazerinio atstumo matuoklio pozicijos,
- 7 – horizontalią ir vertikalią lazerio plokštumas generuojančio prietaiso sugeneruota plokštuma,
- L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub> – atstumai išmatuoti lazeriniu matuokliu.

Šoninių sienų deformacijų matavimui tikėtasi panaudoti du lazerinius prietaisus. Vienas jų generuoja  $90^0$  kampu susikertančias plokštumas, o matavimo pozicijoje jis sureguliuojamas taip, kad atstumai  $L_0=L_0$  (35 pav.). Tada lazeriniu atstumo matuokliu, keičiant jo pozicijas matuojami atstumai iki sienos plokštumos ( $L_1, L_2, L_3, L_4$ ). Pastarasis prietaisas pastatomas taip, kad jo matavimo bazė prasidėtų nuo vertikalios prietaiso 3 generuojamos plokštumos, o matavimo spindulys sutaptų su horizontalia prietaiso 3 generuojama plokštuma. Tokių matavimų metu būtų lyginami išmatuoti atstumai ( $L_1, L_2, L_3, L_4$ ), kurie nedeformuotoje sienoje turėtų būti lygūs. Jei siena deformuota, tada atstumai būtų nevienodi ir skirtumas tarp jų rodytų sienos deformacijų dydį.

Deja, matavimų metu pasirodė, kad šoninės sandėlio sienų betonavimo darbų kokybė nėra pakankamai gera, kad būtų nustatytos tikslios sienos deformacijos – sienų paviršius nelygus, panaudoti klojinių skydai buvo deformuoti, netiksliai ir nepakankamai tvirtai užtvirtinti prieš betonavimo darbus (36 pav.), todėl šoninių statinio sienų išlinkio nustatyti nepavyko.



36 pav. Betonavimo nelygumai gelžbetoninėse sienose

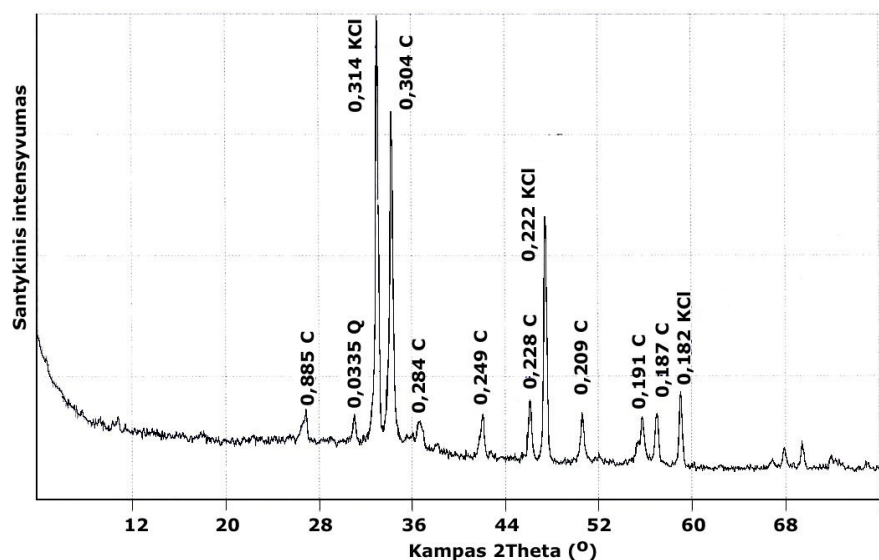
### ***3.4 Sandėlio sienos betono fragmento rentgenografinės analizės rezultatai***

Nuo vienos iš sandėlio sekcijų sienos atskėlus paviršinį betono fragmentą, buvo atlikta jo skiedininės dalies rentgenografinė (rentgenodifrakcinė) analizė. Tikėtasi aptikti betono ar rišiklio korozijos požymių – korozijos metu susidarančių junginių. Tačiau, be kalio chlorido (sandėlyje laikytų trašų), betono skiedininės dalies fragmente nebuvo aptikta jokių junginių, kurie nebūtų būdingi įprastiniam betonui ir cementiniam akmeniui. Jokių korozijos produktų (atitinkamų mineralų ir junginių) jame aptikta taip pat nebuvo.

Analizė buvo atlikta taip: susmulkintas betono fragmentas buvo subertas į indą su distiliuotu vandeniu, dvi paras išlaikytas jame, po to dar papildomai apdorotas ultragarsiniu dispergatoriumi. Tada kietoji dalis iš indo buvo atskirta filtruojant, o tirpalas buvo išgarintas užlašinus ant stikliuko. Vėliau

buvo atlikta nuo stikliuko nugramdytų nuosėdų rentgenograma. Tikėtasi, kad tokiu būdu pavyks koncentruoti tirpius junginius, druskas, galimos betono korozijos produktus. Šių nuosėdų rentgenograma parodyta 37 pav. Joje matyti, kad betono fragmento tirpiojoje dalyje dominavo silvinas (kalio chloridas – sandėlyje laikytos trašos) ir kalcio karbonatas, susidaręs karbonatizuojantis kalcio hidroksidui. Labai mažas kiekis netirpaus kvarco, tikėtina, papuolė kaip priemaiša.

Sprendžiant iš šių rentgenografinės analizės duomenų ir sandėlio gelžbetoninių konstrukcijų apžiūros, akivaizdžių betono korozijos požymių jame kol kas nepasireiškė, koroziniams procesams būdingų junginių neaptikta. Gal būt betono ar armatūros korozijai vykti kol kas yra pernelyg anksti – sandėlys eksploatuojamas tik keleri metai. Per šį laikotarpį į betoną (betono poras) įsiskverbė tik sandėlyje laikytos trašos – šiuo atveju kalio chloridas.



37 pav. Sandėlio sienos betono vandeninėje ištraukoje buvusių junginių (druskų) rentgenograma. Rentgenogramos maksimumų žymėjimas: C – kalcitas ( $\text{CaCO}_3$ ); Q – kvarcas ( $\text{SiO}_2$ ); KCl – kalio chloridas (silvinas).

## Išvados

Tiesioginio korozinio kalio chlorido ir karbamido trąšų poveikio sandėlio betonui ir armatūriniam plienui ženklų neaptikta. Netiesioginis poveikis pasireiškia jų difuzija į betono akmenį ir padidėjusiu drėgmės kiekiu jame. Taip įvyksta dėl trąšų higroskopiškumo (ypač būdingo karbamidui). Dalis aptiktų defektų atsirado dėl sandėlio monolitinių konstrukcijų betonavimo darbų prastos kokybės (betono sutankinimo defektai, klojinių montavimo netikslumai, deformacinių siūlių užsandarinimo klaidos). Užfiksuota intensyvi plieninių atvirų elementų korozija, įtakojama cheminio trąšų poveikio. Armatūros korozija betone kol kas nepasireiškė, tačiau ilgalaikėje perspektyvoje išlieka potencialiai galima. Dauguma sandėlio defektų – gelžbetoninių konstrukcijų neleistino pločio plyšių atsivėrimą, sienų plokštumų deformacijas lėmė eksploataciniai veiksniai – sandėlio perpildymas trąšomis. Ypač didelį susirūpinimą kelia avarinės būklės požymių turinti galinė sandėlio siena. Pakartotinai perkrovus sandėlį trąšomis, dėl padidėjusio slėgio į galinę sieną, galima jos griūti. Siekiant išvengti tokių pasekmių būtina atidžiai stebėti sandėlio pakrovimo procesą – trąšų kaugės aukštį.

## Literatūros sąrašas

1. Jokūbaitis V. Statinių gelžbetoninių ir mūrinių konstrukcijų techninės būklės tyrimai ir vertinimas. Mokomoji knyga. Vilnius: Technika. 2007, 80p.
2. Э. Грунау. Предупреждение дефектов в строительных конструкциях. Москва: Стройиздат, 1980г.
3. Vaišvila K. Statinių būklės vertinimas ir rekonstrukcija. Metodiniai patarimai. Kaunas: Ardiva. 2008, 90p.
4. Kudzys A. Gelžbetoninės ir mūrinės konstrukcijos. Vadovėlis. Vilnius: Mokslas, 1992, 392p.
5. Vektaris B., Vilkas V. Betono tvarumas. Monografija. Kaunas: Technologija. 2006, 163p.
6. Gurskis V. Statybinės medžiagos. Mokomoji knyga. Kaunas: Ardiva. 2008, 136p.
7. Skripkiūnas G. Statybinių konglomeratų struktūra ir savybės. Mokomoji knyga. Kaunas: Vitae Litera. 2007, 329p.
8. В.М. Москвин. Коррозия бетона. Москва: Высшая школа, 1952г.
9. Naujokaitis A. Statybinės medžiagos. Betonai. Mokomoji knyga. Vilnius: Technika. 2007, 356p.
10. Federal highway administration. Materials and methods for corrosion control of reinforced and prestressed concrete structures in new construction. Georgetown, 2000.
11. National ready mixed concrete association. Corrosion of steel in concrete. 1995.
12. В.М. Москвин, С.Н. Алексеев, Г.П. Вербецкий, В.И. Новгородский. Трещины в железобетоне и коррозия арматуры. Москва: Издательство литературы по строительству, 1971г.
13. В.Л. Чернявский. Повышение антикоррозионных свойств бетона. Киев: Будівельник, 1983, 88 с.
14. STR 2.05.05:2005. Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas.
15. Portland cement association. Concrete information. Concrete slab surface defects: causes, prevention, repair. ISBN No. 0-89312-212-Z.
16. De-icer application of technical grade. Urea prill the safe non-corrosive. Fertilizer alternative for de-icing. Jamestown. Chemical company.
17. Sadegzadeh M., Vassie W. Effects of urea on durability of reinforced concrete. Discussion. Magazine of concrete research. USA. 1993.
18. Bungey J., Millard S. Testing of Concrete in Structures. London: Taylor and Francis. 2006, 352p.

19. Berman H . The effect of sodium chloride on the corrosion of concrete reinforcing steel and on the pH calcium hydroxide solution.. Springfield: Federal Highway Administration. 1976, 24p.
20. Hyomin L., Robert D. Effects of various deicing chemicals on pavement concrete deterioration. Department of geological and atmospheric sciences, Iowa State University. 2002.
21. C. Macinnis, J.D. Whiting. The frost resistance of concrete subjected to a deicing agent // Cement and Concrete Research. 1979, 336p.
22. M. Collepari, L. Coppola, C. Pistolesi. Durability of Concrete Structures Exposed to  $\text{CaCl}_2$  Based Deicing Salts. Durability of Concrete Third International Conference. France, 1994, 120 p.
23. LST EN 12504-2 Betono bandymas konstrukcijoje. 2dalis. Neardomieji bandymai. Atšokimo dydžio nustatymas.
24. Jonaitis B., Papinigis V. Gelžbetoninės ir mūrinės konstrukcijos. Laboratorinių darbų metodiniai nurodymai. Vilnius: Technika. 2009, 160p.
25. Elzbutas H. Statybinių medžiagų savybių ir struktūros ypatybių tyrimo metodai. Mokomoji knyga. Kaunas: Vitae Litera. 2007, 147p.
26. Katrina J., Brett M., Geomicrobiology of Pyrite ( $\text{FeS}_2$ ) Dissolution: Case Study at Iron Mountain. California: Geomicrobiology journal, 2007.
27. Schippers A., Jozsa P. Microbiological Pyrite Oxidation in a Mine Tailings Heap and Its Relevance to the Death of Vegetation. London: Geomicrobiology journal, 2007.
28. Eneroth E. Combined magnetic and structural investigation of nano crystalline iron oxides: the interplay between crystal size and phase composition during  $\text{FeS}_2$  oxidation. Solvegatan: GeoBiosphere Science Centre, Lund University, 2006.
29. LST EN 206-1:2002. Betonas. 1 dalis. Techniniai reikalavimai, savybės, gamyba ir atitiktis.
30. STR 2.05.04:2003. Poveikiai ir apkrovos.

# PRIEDAI

# 1 PRIEDAS

<b>Tampriosios atšokos metodu išmatuoti betono stipriai, Mpa</b>											
Išorinė statinio pusė										Vidinė statinio pusė	
Karbamido sekcija					Kalio chlorido sekcija					Kalio chlorido sekcija	
72	53	59	51	50	67	67	63	70	75	59	61
58	50	62	53	53	66	65	65	77	75	46	59
61	55	65	51	51	71	65	58	73	70	48	67
55	51	69	51	56	61	56	65	75	75	59	59
68	36	62	55	53	63	66	56	53	75	64	66
50	36	62	53	55	71	63	56	71	73	63	61
47	53	65	62	51	75	72	59	74	72	66	62
53	58	66	61	59	70	60	62	70	76	66	62
62	50	59	56	61	69	68	66	73	72	60	59
62	39	63	59	55	69	61	65	77	73	58	60
62	58	70	53	67	61	65	70	72		48	59
56	55	63	53	55	59	73	69	72		51	51
53	53	59	56	61	62	68	63	72		66	59
62	65	67	53	59	62	71	65	75		56	59
59	50	56	53	65	66	73	71	69		64	59
61	45	58	62	58	65	68	56	79		61	56
63	45	59	56	59	70	69	67	77		46	59
56	50	59	50	58	65	71	63	77		63	60
56	39	61	56	65	65	70	63	78		57	56
56	46	56	62	50	63	67	59	76		57	66
50	48	67	59	43	68	70	65	77		62	63
65	50	61	62	59	68	70	61	80		66	66
63	61	63	64		68	70	65	75		41	67
65	58	56	56		70	66	68	72		64	67
50	66	50	56		63	67	74	70		48	56
58	62	67	62		67	66	69	73		50	66
50	63	50	58		66	67	66	71		53	56
50	56	52	59		69	65	74	70		58	70
56	46	53	58		66	65	78	73		56	67
56	53	55	55		62	66	71	71		58	66
56	45	58	56		63	65	70	78		50	62
59	46	51	59		59	63	79	71		58	67
55	45	51	59		68	63	77	70		55	
50	45	55	59		61	65	78	71		59	
53	50	56	50		67	65	80	70		64	
46	48	50	56		70	70	72	75		62	
50	56	62	58		69	67	72	71		71	
43	56	56	61		68	63	81	73		68	
43	61	53	53		72	62	70	75		60	
39	62	56	50		70	63	69	71		59	
46	70	63	53		65	59	71	71		76	
52	71	62	45		65	62	70	73		51	
48	70	56	50		65	59	77	71		51	
48	65	61	46		70	65	73	70		50	
46	67	56	56		59	62	81	72		55	
46	71	56	50		71	70	78	75		51	
46	65	53	46		63	65	78	70		66	
58	66	51	56		59	69	70	75		59	

## 2 PRIEDAS

Sienų drėgmės matavimų rezultatai, (%)			
Karbamido išorinė pusė		Kalio chlorido išorinė siena	
11.5	3	2.7	5.5
10.8	6	3.1	5.1
13.6	3.3	2.8	4.5
12.8	3.3	2.4	3.1
13.2	4.7	2.7	4.6
15.4	3.1	3	3.2
14.4	4.3	3.6	3.2
12.1	3	3.9	3
8.7	4.4	4.7	3.9
9.9	4.1	5.7	2.9
9.2	3.3	2.7	3
10.9	3.2	3.3	
16.2	3.2	3	
17.9	4.8	3.1	
18.5	4.2	3	
16.5	4.9	2.9	
17.8	3	2.9	
15.8	5.2	3.1	
14.9	3.2	2.8	
11.3	4.8	3	
18.9	7.5	2.6	
21.8	6.1	5.9	
20.4	8.2	5.4	
18	6.7	2.6	
20.3	4.2	3.9	
21.6	4.8	4.1	
17.8	2.8	2.9	
2.4		2.7	
4.6		2.7	
4.8		3	
5		2.7	
5		2.9	
4.4		3.9	
5.9		5.2	
5.4		5.9	
4.6		3.2	
4.9		5	
3.2		5.3	
2.9		4.2	
5.2		4.5	
4.2		5.1	
3		4.8	
2.8		4.9	
5		5.3	
4.2		4.2	
3.4		4.2	
4.2		4.1	
4.8		4.1	
4.5		4.4	
3.2		5.1	

Sandėlio sienos išorinėje pusėje išmatuoti plyšių pločiai, mm
0.3
0.4
0.35
0.2
0.4
0.4
0.35
0.4
0.3
0.5
0.3
0.25
0.3
0.3
0.4
0.3
0.45
0.4
0.5
0.3
0.4
0.4
0.35
0.4
0.45
0.3
0.5
0.35
0.35
0.3
0.3
0.35
0.4

### 3 PRIEDAS

Konstrukcijos naudojimo sąlygos (klasės pagal 1 lent.)	Iš anksto neįtemptieji elementai, kai armatūros takumo įtempiai $\sigma_y \leq 500$ MPa	Iš anksto įtemptieji elementai, kai armatūra	
		strypinė ( $\sigma_{0,2} \leq 1000$ MPa)	vielinė ir lynai
Elementai yra uždaroje (šildomose) patalpose (XO, XC1)	$w_{lim1} = 0,40$	$w_{lim1} = 0,30$ $w_{lim2} = 0,20$	$w_{lim1} = 0,20$ $w_{lim2} = 0,10$
Elementai yra atvirame ore ir grunte (XC2, XC3, XC4, XF1, XF3)	$w_{lim2} = 0,30$	Plyšiai neleistini	
Elementai veikiami dujinės ir kintamosios agresyvios aplinkos (XA1, XA2, XD1, XF2, XF3)	$w_{lim1} = 0,20, w_{lim2} = 0,15$		
Elementai veikiami skystosios agresyvios aplinkos (XA1, XA2, XD1)	$w_{lim1} = 0,15, w_{lim2} = 0,10$		