



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

Paulius Jankauskas

**BETONO ĮGERIAMUMO VANDENIUI KINETINIAI TYRIMAI,
NAUDOJANT PAPILDOMAI C-H-S KRISTALUS
FORMUOJANČIUS PRIEDUS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Prof. Žilvinas Bazaras

PANEVĖŽYS, 2017

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

**BETONO ĮGERIAMUMO VANDENIUI KINETINIAI TYRIMAI,
NAUDOJANT PAPILDOMAI C-H-S KRISTALUS
FORMUOJANČIUS PRIEDUS**

Baigiamasis magistro projektas
Statyba (621J80001)

Vadovas

(parašas) Prof. Žilvinas Bazaras
(data)

Recenzentas

(parašas)
(data)

Projektą atliko

(parašas) Paulius Jankauskas
(data)

PANEVĖŽYS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

(Fakultetas)

Paulius Jankauskas

(Studento vardas, pavardė)

Statyba, 621J80001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Betono įgeriamumo vandeniui kinetiniai tyrimai, naudojant papildomai C-H-S kristalus formuojančius priedus“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. sausio 02 d.
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, **Pauliaus Jankausko**, baigiamasis projektas tema „Betono įgeriamumo vandeniui kinetiniai tyrimai, naudojant papildomai C-H-S kristalus formuojančius priedus“ 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)

20..... ..

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: Pauliui Jankauskui Grupė PMS-5

1. Darbo tema:

Lietuvių kalba: Betono įgeriamumo vandeniui kinetiniai tyrimai, naudojant papildomai C-H-S kristalus formuojančius priedus

Anglų kalba: Using integrated additives forming C-H-S crystals in concrete water absorption kinetic investigation

Patvirtinta 2016 m. lapkričio mėn. 11 d. dekanų potvarkiu Nr. V25-13-27

2. Darbo tikslas:

Ištirti vandens ir cemento santykio ir priedų įtaką sukietėjusio betono tankiui, stipriui gniuždant, vandens įgėriui.

3. Reikalavimai ir sąlygos:

Ištirti betonų, kurių vandens ir cemento santykis 0,85, 0,65, 0,45, cemento kiekis 230kg/m³, 280kg/m³, 395kg/m³, su priedu ir be.

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

Magistro baigiamojo darbo projektas susideda iš sukietėjusio betono vandens įgėrio mažinimo aktualumo, bei problemos analizės. Projekte tyrinėjama, vadovaujantis moksliniais metodais, galiojančiais tarptautiniais standartais, įvairių betonų vandens įgėris, tankis, stipris.

5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.

6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas

2017-01-11

(data)

Užduotį gavau: Paulius Jankauskas

2016-09-02

(studento vardas, pavardė, parašas)

(data)

Vadovas: Prof. Žilvinas Bazaras

2016-09-02

(pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

TURINYS

TURINYS.....	5
SANTRAUKA.....	6
SUMMARY.....	7
IŽANGA.....	8
1. APŽVALGA.....	10
2. TYRIMŲ METODIKOS.....	14
2.1 Tyrimų objektas.....	14
2.2 Betono mišinio maišymas, bandymas ir bandinių formavimas bei išlaikymas.....	15
2.3 Sukietėjusio betono bandymai.....	18
3. TYRIMŲ REZULTATAI.....	22
3.1 Betono mišinio slankumas.....	22
3.2 Sukietėjusio betono bandinių gniuždymo stiprio bandymo rezultatai.....	23
3.3 Sukietėjusio betono bandinių tankio bandymo rezultatai.....	25
3.4 Sukietėjusio betono bandinių vandens įgėrio bandymo rezultatai.....	27
IŠVADOS.....	30
NAUDOTOS LITERATŪROS IR KITŲ INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS.....	31
PRIEDAI.....	33

Jankauskas, Paulius. BETONO ĮGERIAMUMO VANDENIUI KINETINIAI TYRIMAI, NAUDOJANT PAPILDOMAI C-H-S KRISTALUS FORMUOJANČIUS PRIEDUS. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. Žilvinas Bazaras; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Statyba, 621J80001

Reikšminiai žodžiai: *betonas, vandens įgėris, stipris gniuždant, tankis, slankumas* .

Panevėžys, 2017. 41 p.

SANTRAUKA

Šiuo metu betonas yra viena iš svarbiausių ir dažniausiai naudojamų medžiagų statyboje. Iš betono statomi pastatai, tiltai, užtvankos, tuneliai, prieklauskos, dūmtraukiai, valymo įrenginiai. Šiuos statinius nuolat veikia agresyvi aplinka. Šie statiniai privalo būti atsparūs šalčiui, chemijai, jūros vandeniui. Betonai įgeria vandenį, dėl to betonas tampa mažiau atsparus agresyviai aplinkai. Šiame darbe atliekami bandymai su kristalus formuojančiais priedais. Šis priedas mažina vandens įgėrį.

Tyrimo metu buvo nustatinėjama v/c santykio su priedu ir be jo įtaka tankiui, slankumui, stipriui, vandens įgėriui.

Jankauskas, Paulius.: *Master's thesis in USING INTEGRATED ADDITIVES FORMING C-H-S CRYSTALS IN CONCRETE WATER ABSORPTION KINETIC INVESTIGATION*; supervisor assoc. prof. Zilvinas Bazaras. The Faculty of Technologies and Business, Kaunas University of Technology. Research area and field: Construction, 621J80001

Key words: *concrete, water absorption, compressive strength, density, slump*

Panevezys, 2017. 41 l.

SUMMARY

Nowadays the concrete is one of the most important and most commonly used materials of the construction. Buildings, bridges, dams, tunnels, piers, chimneys, cleaning equipment are constructed using concrete. These buildings are constantly affected by aggressive environment. These structures must be resistant to frost, chemical, sea water effect. Concrete absorbs water, because concrete is less resistant to aggressive environments. In this study, test are carried out using additives which form crystals. This additive reduces the water absorption.

The study is determined for w/c ratio with the additives and without it for influence of density, mobility, strength and water absorption.

IŽANGA

Betonas – tai medžiaga, gaunama sumaišius cementą, stambiuosius ir smulkiuosius užpildus bei vandenį, pridėjus priedų ir įmaišų ar plaušų arba be jų, kurios reikiamos savybės susidaro vykstant hidratacijai [1]. Šiuo metu betonas yra viena iš svarbiausių ir dažniausiai naudojamų medžiagų statyboje. Betonas naudojamas pastatų, tiltų, viadukų, uždvankų, kelių, tunelių, požeminių garažų, įvairiausių inžinerinių statinių, vandens talpyklų, dūmtraukių, valymo įrenginių statyboje. Betono ir gelžbetonio statiniai yra veikiami skirtingų aplinkos poveikių.

Statinius gali veikti cheminis poveikis, cikliškas šaldymas ir atšildymas su leda tirpinančiomis medžiagomis arba be jų, jūros vandens sukeliama korozija, chloridų sukeliama korozija, oras ir drėgmė. Kadangi betoninius statinius beveik visada veikia agresyvi aplinka, jie turi būti ilgaamžiai ir ypač atsparūs.

Mokslui tobulėjant, išrandamos naujos medžiagos, gerinančios betono savybes, padedančios tausoti aplinką, didinančios betono ilgaamžiškumą. Vienas iš svarbiausių betono ilgaamžiškumo veiksnių yra betono vandens įgėris. Šiame darbe norima nustatyti, kokią įtaką betono tankiui, stipriui, vandens įgėriui turi vandens ir cemento santykis v/c , panaudoti priedai. Šiame darbe buvo atlikti šie bandymai: betono mišinio slankumas, sukietėjusio betono tankis, sukietėjusio betono stipris gniuždant, betono vandens įgėris.

Tyrimams atlikti pasitelkti įrenginiai:

- kūginė forma (Abramsso kūgis) slankumui matuoti, apačios skersmuo 200 mm, viršaus skersmuo 100 mm, aukštis 300mm;
- tankinimo strypas, kurio skersmuo 16 mm, o ilgis 600 mm, apvalintais galais;
- liniuotė, graduota nuo 0 mm iki 300mm 1mm intervalais, su nuline padala pačiame gale;
- betono mišinio maišytuvas Rebir EM2-1500K-2; sukių dažnio ribos $0-330 \text{ min}^{-1}$;
- bandinių formavimo formos, kubo formos 100mm kraštine;
- tankinimo stalas, apie 40 Hz dažnio;
- vandens vonia su termostatu bandiniams laikyti, galinti palaikyti $20 \pm 2^\circ \text{ C}$ temperatūrą;
- ventiliuojama džiovinimo krosnelė SNOL 67/350, temperatūros reguliavimo ribos $50-350^\circ \text{ C}$, temperatūros svyravimai $\pm 2^\circ \text{ C}$;

- hidrostatinės svarstyklės Sartorius CP 16001 S-0CE, tikslumo klasė – 2, tikslumas 0,1 g, matavimo ribos 0-16000 g;

- slankmatis Scala, tikslumas 0,05 mm, matavimo ribos 0-250 mm;

- bandinių gniuždymo presas Controls Pilot C56C02, tikslumo klasė – 1, maksimalus apkrovimo dydis 3000 kN, deformavimo greitis $0,6 \pm 0,2$ MPa;

Tiriamąjį darbo tikslas – nustatyti vandens ir cemento santykio ir betono priedų įtaką sukietėjusio betono savybėms.

Uždaviniai: nustatyti v/c santykio įtaką sukietėjusio betono tankiui, vandens įgėriui, atsparumo gniuždant stipriui.

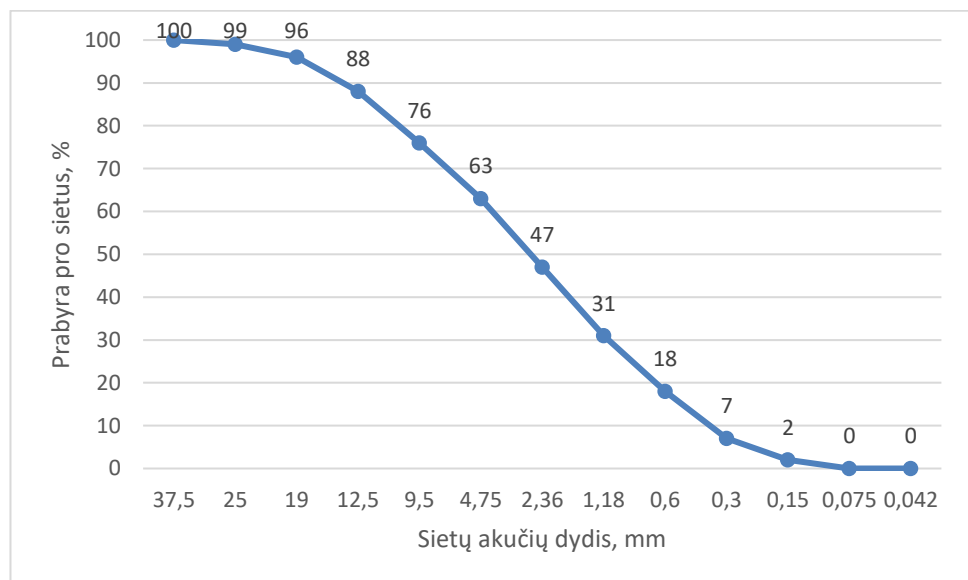
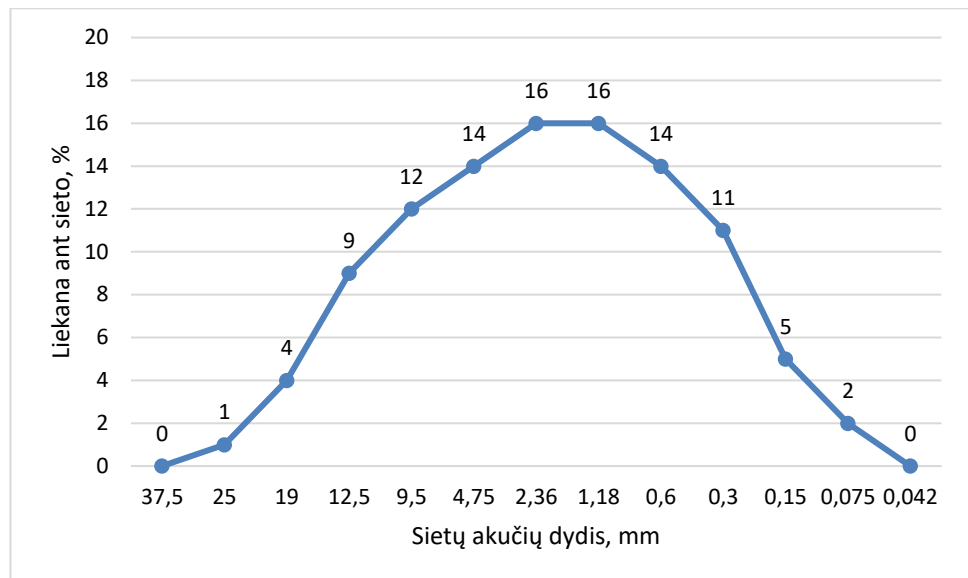
1. APŽVALGA

Betono ilgaamžiškumas gali būti apibrėžiamas kaip gebėjimas atsispirti atmosferos veiksniams, apkrovoms, cheminiam poveikiui ir dilumui išlaikant norimas inžinerines savybes visą numatomą eksploataavimo laiką. Tinkamai suprojektuotas, pagamintas, sutankintas ir prižiūrėtas betonas yra patvarus sunkioms naudojimo sąlygoms [2]. Daugiausia betono ilgaamžiškumą lemia drėgmė betone. Vanduo skverbiasi per betoną kapiliarais, pernešdamas ištirpusias kietąsias medžiagas ir dujas, chloridus ar sulfatus, kurie sukelia chemines ar fizines reakcijas su cementiniu akmeniu ar užpildais ir pradeda ardyti betoną. Todėl betono atsparumas vandens ir kitų skysčių įgėriui yra pagrindinis ilgaamžiškumo faktorius. Betono mišinio projektavimas su optimalia granulimetrine sudėtimi, mažu vandens kiekiu, mažu vandens ir cemento santykiu, mažu cemento kiekiu, su atitinkamais priedais mažina betono vandens įgėrį.

Tradicinės vandeniui nelaidžios sistemos, tokios kaip betonito sistemos ir membranos, šaltas bitumas, modifikuotos cemento tepamos suspensijos, sintetiniai lakštai ir sistemos, skystos membranos naudojamos jau ant sukietėjusio betono. Taip apdirbti betonines konstrukcijas užima daug laiko, sąnaudų, išteklių reikalauja betono sustingimo, išdžiūvimo, kad priliptų, netinka metų laikas (pvz. žiema) ir kartais tokių būdu neįmanoma apdirbti (neįmanoma prieiti prie konstrukcijų, žemėje, vandenyje). Naudojant vandeniui nepralaidų betoną sumažinami paruošiamieji darbai (pvz. nukasant gruntą), apsaugo nuo gruntinio vandens poveikio, pagreitėja statyba. Naudojant vandeniui nepralaidų betoną turi būti aukštos kokybės betono mišinio sumaišymas, jo klojimas ir gera priežiūra. Tokiam betono mišiniui negali būti naudojami perdirbti užpildai, dėl jų aukšto vandens įgėrio. Maišant betoną būtina naudoti superplastiklius, užtikrinti slankų mišinį, naudoti vandens įgėrį ir nepralaidumą didinančius priedus.

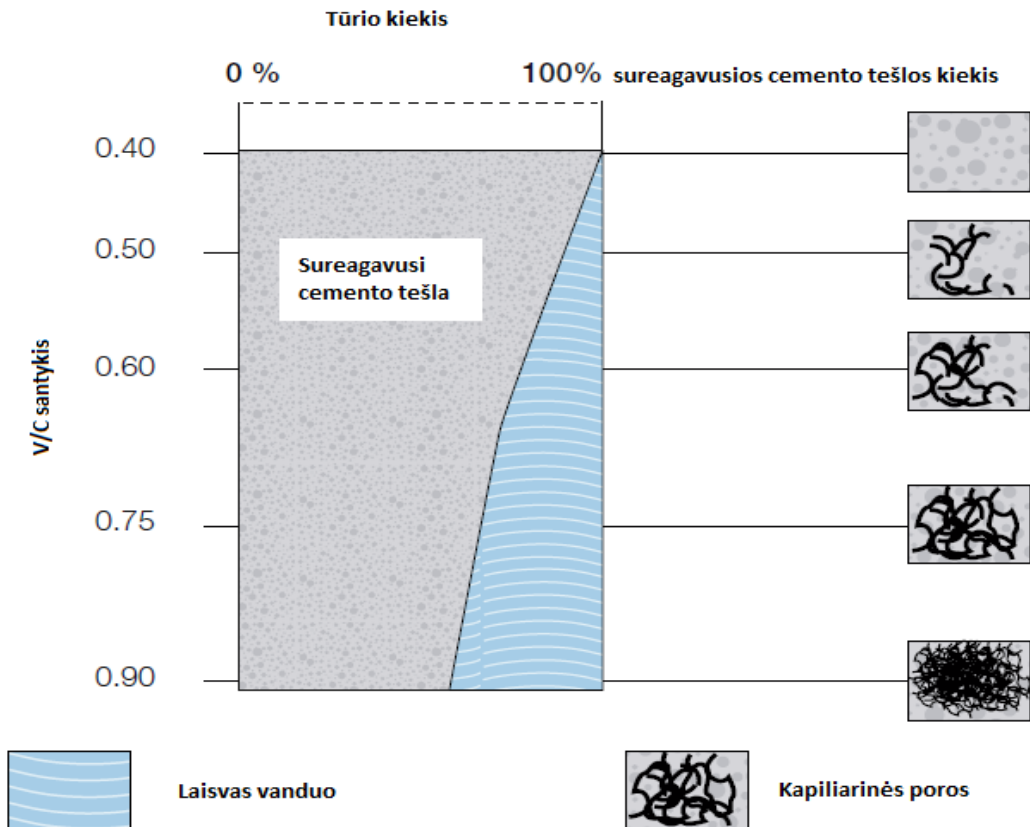
Betono vandens įgėris daugiausia priklauso nuo jame esančios cemento tešlos kiekio ir kokybės. Betono cemento tešlos vandens įgėris priklauso nuo vandens ir cemento santykio, cemento hidratacijos laipsnio, drėgnų laikymo sąlygų. Kuo mažesnis vandens ir cemento santykis ir kuo betonas ilgiau išlieka drėgmėje, tuo mažesnis gaunamas vandens įgėris. [3]

Betono įgėriui įtaką turi ir užpildų granulimetrinė sudėtis. Stambiųjų ir smulkiųjų užpildų piltinis tankis turi būti kuo didesnis, dalelės kuo apvalesnės. Parinkus tinkamą granulimetriją gaunamas tankiausias užpildų mišinys. [2][11] Tokiam užpildų mišiniui surišti reikia mažiausiai cementinės tešlos.



1.1 pav. Tankiausia betono mišinio užpildų granulometrijos kreivė

Cemento hidratacijai sunaudojama apie 40% vandens ($v/c=0,40$), likęs vanduo naudojamas tik slankumui pagerinti, todėl netgi po hidratacijos laikui bėgant sukietėjusi medžiaga lieka poringa. Kapiliarai tai tuštumos, susidariusios dėl perteklinio vandens betone išgaravimo, kuris nebuvo panaudotas cheminei reakcijai su cementu vykti (hidratacijos reakcija). Kapiliarais vyksta vandens migracija betonu. Didėjant vandens ir cemento santykiui, kapiliarinis poringumas didėja, o stipris mažėja.



1.3 pav. Kapiliarinių porų kiekis, priklausomai nuo v/c santykio

Powersas ir kiti (1959) nustatė, per kiek laiko kapiliarinių porų grandinė tampa pertraukiama, pastebėtina, kad mišiniai, turintys didesnę vandens ir cemento kaip 0,7 visada turės susijungiančias kapiliarines poras.[15] 1.1 lentelė parodo nelaidumo vandeniui ir laiko, išlaikant betoną drėgmėje, priklausomybę nuo vandens ir cemento santykio.

1.1 lentelė. Reikalingas apytikslis laikas, reikalingas, kad betone esančios kapiliarinės poros taptų nesusijungiančiomis tarpusavyje, betoną išlaikant drėgmėje.

Vandens ir cemento santykis	Reikalingas laikas
0,40	3 dienos
0,45	7 dienos
0,50	14 dienų
0,60	6 mėnesiai
0,7	1 metai
Virš 0,7	nejmanoma

Betono vandens įgėrį ir nepralaidumą galima padidinti ir naudojant cementą pakeičiančius priedus. Priedas – smulkinta betono neorganinė sudedamoji dalis, naudojama tam tikroms savybėms pagerinti arba savybėms suteikti. Tai pucolaniniai arba latentiška hidrauliniai priedai: lakieji pelenai, metakaolinas, silicio mikrodulkės, šlakinis cementas. Priklausomai nuo lakiųjų pelenų sudėties, jie gali reaguoti pucolaniškai arba latentiška. Lakieji pelenai su mažu kalcio kiekiu reaguoja tik tada, kada kalcio hidroksido (portlandito) ir vandens. Lakieji pelenai su didesniu kiekiu kalcio tiesiogiai reaguoja su vandeniu. Silicio mikrodulkės naudojamos ten, kur reikalingas didelis vandens nelaidumas taip pat labai stipriuose betonuose.

Kalcio hidrosilikatai C-H-S yra pagrindiniai rišikliai portlandcemento betonuose. Kalcio hidroksidas turi labai nedidelių rišančiųjų savybių ir labai mažai įtakoja betono stiprį. Kalcio hidroksidas laikomas silpnąją betono grandimi, jį lengvai išplauna vanduo, cheminiai reagentai.[16] Tačiau kalcio hidroksidas padeda palaikyti aukštą pH, reikalingą stabilizuoti C-H-S kristalų augimui. Amorfinis silicis reaguoja su kalcio hidroksidu ir reakcijos metu gaunama dar daugiau C-H-S. Šie gauti C-H-S kristalai skiriasi sudėtimi ir struktūra nuo portlandcemenčio hidratacijos gautų kristalų, bet ir jie padidina stiprį ir sumažina betono įgėrį ir laidumą.[14]

Šlakinis cementas priskiriamas prie latentiška hidraulinių medžiagų. Tai reiškia kad, skirtingai nuo portlandcemenčio, jis reaguoja su vandeniu, bet hidratacijos procesas labai lėtas. Šlakinis cementas natrio hidroksido ir portlandito pagalba hidratuojasi ir stingsta labai panašiai kaip portlandcementis. Patys efektyviausi aktyvatoriai šiam cementui yra kalcio hidroksidas ir šarmų junginiai, kurie išsiskiria portlandcemenčio hidratacijos metu.

2. TYRIMŲ METODIKOS

2.1 Tyrimų objektas

Betonas su stambiausia užpildo dalele 16 mm, su skirtingu vandens ir cemento santykiu $v/c = 0,85$, $v/c = 0,65$, $v/c = 0,45$, su kalcio hidrosilikatus auginančiais priedais ir be jų. Betono mišinys projektuojamas, kad būtų galima pumpuoti betono siurbliu, išlaikant reikiamą smulkelių kiekį.[10] Sumaišyti 6 skirtingi betono mišiniai: 1 su v/c santykiu $v/c = 0,85$, 1-1 su $v/c = 0,85$ priedu Sika WT-200P, 2 su $v/c=0,65$, 2-1 su $v/c=0,65$ ir priedu Sika WT-200P, 3 su $v/c=0,45$, 3-1 su $v/c=0,45$ ir priedu Sika WT-200P.

Betono mišinio sudėčiai naudotos medžiagos: portlandcementis CEM I 42,5 R („Ozarow“, Lenkija), granito skaldelė 4/16 frakcijos, 0/4 ir 0/2 frakcijų smėliai, geriamasis vanduo, superplastiklis Sika ViscoCrete D-187(28%), vandens įgėrį mažinantys ir kristalus auginantis priedas Sika WT-200 P.

Betono mišinių sudėtis pateikiama žemiau esančioje lentelėje:

2.1 lentelė.

Medžiagų kiekiai, reikalingi 1 m³ betono mišinio pagaminti

Medžiagos	Medžiagų kiekiai, reikalingi 1 m ³ betono mišinio pagaminti, kg					
	1	1-1	2	2-1	3	3-1
Cementas	230	225,5	280	275,5	395	390,5
Granito skaldelė 4/16	950	950	950	950	990	990
Smėlis 0/4	450	450	880	880
Smėlis 0/2	1 020	1 020	570	570
Vanduo	195	195	182	182	178	178
v/c	0,85	0,85	0,65	0,65	0,45	0,45
Superplastiklis Sika ViscoCrete D-187(28%)	1,4	1,4	1,7	1,7	2,4	2,4
Priedas Sika WT-200P	...	4,5	...	4,5	...	4,5

2.2 Betono mišinio maišymas, bandymas ir bandinių formavimas bei išlaikymas

Betono mišinys maišomas pagal standarto LST EN 480-1:2015 „Betono, statybinio ir injekcinio skiedinio priedai. Bandymo metodai. 1 dalis. Pamatinis betonas ir pamatinis skiedinys bandymams“ reikalavimus.[7] Pirmiausia sudrėkinamas maišymo indas, sudedami granito skaldelė, smėliai ir priedai, įpilama pusė mišiniui skirtos vandens ir maišoma 2 minutes. Po maišymo 2 minutes palaukiama. Kol laukiama, maišymo indas uždengiamas, kad būtų išvengta vandens išgaravimo. Tada supilamas cementas ir maišoma 30 sekundžių. Po 30 sekundžių supilamas likęs vanduo ir superplastiklis ir maišoma 2 minutes. Betono mišinys paruoštas bandymams.



2.2.1 pav. Betono mišinys paruoštas bandymams

Išmatuojamas betono mišinio slankumas pagal standarto LST EN 12350-2:2011 „Betono mišinio bandymai. 2 dalis. Slankumo bandymas“ reikalavimus.[9]



2.2.2 pav. Slankumo matavimas

Bandiniai pagaminami pagal standarto LST EN 12390-2 „Sukietėjusio betono bandymai. 2 dalis. Bandinių pagaminimas ir kietinimas stipriui nustatyti“ reikalavimus.[5] Formuojami 6 bandiniai, kurių ilgis, plotis ir aukštis 100 mm. Prieš formavimą formos vidinis paviršius sutepamas plonu inertiško tepalo sluoksniu, kad išvengti betono adhezijos prie formos. Sutankinama ant vibracinio stalo minimalią laiko trukmę, būtina, kad betono mišinys būtų visiškai sutankintas. Forma stipriai pritvirtinama prie stalo. Po tankinimo bandiniai aiškiai ir nenuplaunami paženklinami jiems nepakenkiant. Formose bandiniai laikomi ne mažiau kaip 16 h, bet ne ilgiau kaip 3 paras, apsaugant nuo vibracijos, džiūvimo ir sukrėtimo apie 20° C temperatūros aplinkoje.



2.2.3 pav. Paženklinti bandiniai po tankinimo

Išimti iš formų bandiniai laikomi apie 20° C temperatūros vandenyje iki bandymų pradžios. Paprastai betono bandiniai nuo suformavimo iki bandymo kietinami 28 paras.



2.2.4 pav. Bandiniai vandens vonelėje

2.3 Sukietėjusio betono bandymai

Po 28 parų nustatomi sukietėjusio betono tankis, bandinių gniuždymo stipris, betono vandens įgėris. 3 bandiniai naudojami stipriui gniuždam nustatyti, likę 3 naudojami betono tankio ir vandens įgėrio nustatymui.

Bandinių gniuždymo stipris nustatomas pagal standarto LST EN 12390-7:2009 „Sukietėjusio betono bandymai. 3 dalis. Bandinių gniuždymo stipris“ reikalavimus.[6] Bandinys yra išmatuojamas (ilgis ir plotis) ir presu gniuždomas. Gniuždymo stipris apskaičiuojamas pagal lygtį:

$$f_c = \frac{F}{A_c} * \beta;$$

čia

f_c – gniuždymo stipris megapaskaliais (MPa) (niutonais kvadratiniam milimetrui (N/mm^2));

F – didžiausia ardomoji apkrova niutonais (N);

A_c – bandinio skerspjūvio plotas kvadratiniais milimetrais (mm^2);

β – bandant 100 mm kubus, kai užpildų $D_{max} \geq 8$ mm, taikomas stiprio perskaičiavimo koeficientas 0,95.[12]

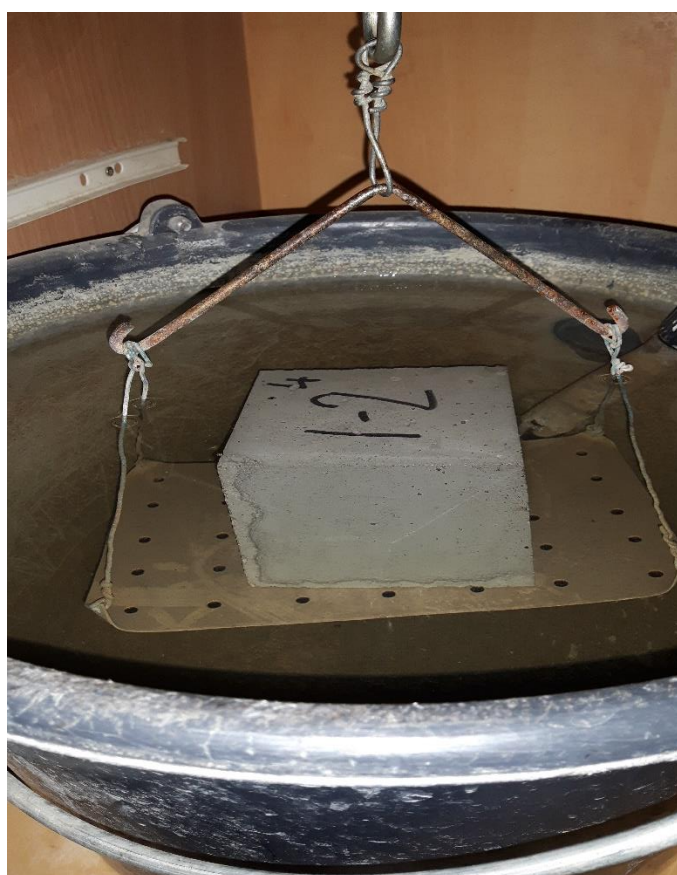


2.3.1 pav. Bandinys gniuždymo prese

Sukietėjusio betono tankis nustatomas pagal standarto LST EN 12390-7:2011 „Sukietėjusio betono bandymai. 7 dalis. Sukietėjusio betono tankis“ reikalavimus.[4] Pagal šį standartą numatytos 3 bandinių masės būklės:

- tokie, kokie gauti;
- prisotinti vandens;
- išdžiovinti džiovykloje.

Šiame darbe naudojamos prisotintos vandens ir išdžiovintos džiovykloje bandinio masės. Pirmiausia bandinys merkiamas į apie 20° C temperatūros vandenį ir laikomas, kol masė per 24 h pakinta ne daugiau 0,2 %; prieš kiekvieną svėrimą nuo bandinio paviršių nušluostomas vandens perteklius ir užrašoma bandinio masė. Kai masė nebekinta, bandinys sveriamas vandenyje ir užrašoma panardinto bandinio masė, po to užrašoma bandinio masė ore.



2.3.2 pav. Bandinio svėrimas vandenyje



2.3.3 pav. Bandinio svėrimas ore

Tūris apskaičiuojamas pagal formulę:

$$V = \frac{m_o - m_v}{\rho_v};$$

čia

V – bandinio tūris kubiniais metrais (m^3);

m_o – įmirkyto bandinio masė ore kilogramais (kg);

m_v – panardinto bandinio masė kilogramais (kg);

ρ_v – $20^\circ C$ vandens tankis, imamas lygus 998 kg/m^3 ;

Bandinys džiovinamas džiovykloje $(105 \pm 5)^\circ C$ temperatūroje tol, kol masė per 24 h nesikeičia daugiau kaip 0,2 %. Užrašoma sauso bandinio masė m_s kilogramais.



2.3.4 pav. Bandinių džiovinimas džiovykloje

Tankis apskaičiuojamas naudojant nustatytas bandinio masės ir tūrio vertes pagal formulę:

$$D = \frac{m}{V};$$

D – bandinio tankis, išreikštas kilogramais kubiniam metrui (kg/m^3);

m – bandinio masė (prisotinto vandens arba išdžiovinto džiovykloje), kilogramais (kg);

V – bandinio tūris, kubiniais metrais (m^3).

Vandens įgėris apskaičiuojamas pagal standarto LST EN 13369:2013 „Bendrosios surenkamųjų betoninių elementų gaminių taisyklės“ G priedo reikalavimus.[8] Betono vandens įgėris nustatomas pagal formulę:

$$W_a = 100 \times \frac{(m_o - m_s)}{m_s};$$

čia

W_a – vandens įgėris, procentais (%);

m_o – įmirkyto bandinio masė ore, kilogramais (kg);

m_s – išdžiovinto bandinio masė ore, kilogramais (kg).

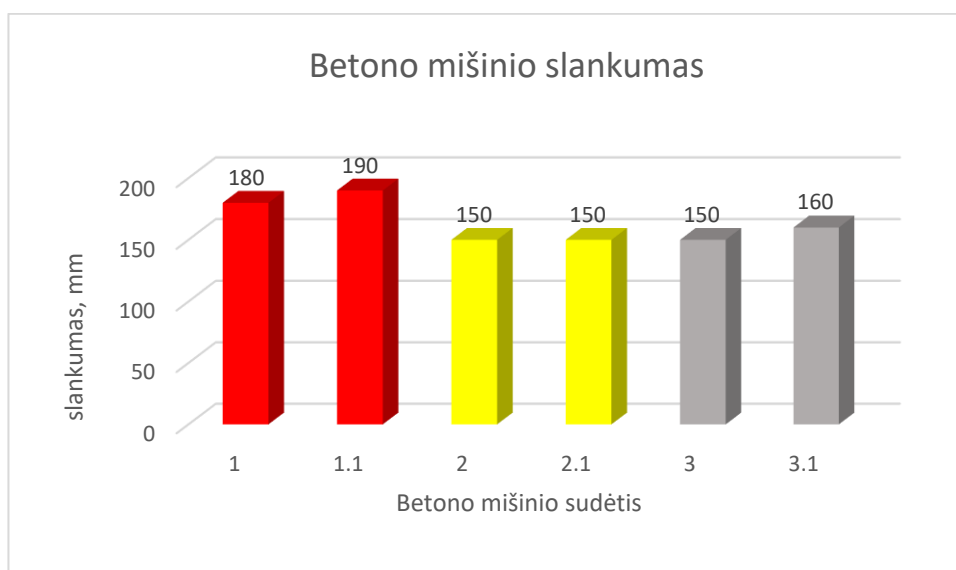
3. TYRIMŲ REZULTATAI

3.1 Betono mišinio slankumas

Betono mišinio slankumo rezultatai pateikiami 3.1 lentelėje:

3.1 lentelė. Betono mišinio slankumo duomenys

Eilės nr.	Betono mišinio sudėtis	Slankumas, mm
1	1	160
2	1-1	190
3	2	150
4	2-1	150
5	3	150
6	3-1	160



3.1 pav. Skirtingų betono mišinių slankumas

Iš gautų rezultatų matyti, kad didelės įtakos betono mišinio slankumui priedas neturėjo.

3.2 Sukietėjusio betono bandinių gniuždymo stiprio bandymo rezultatai

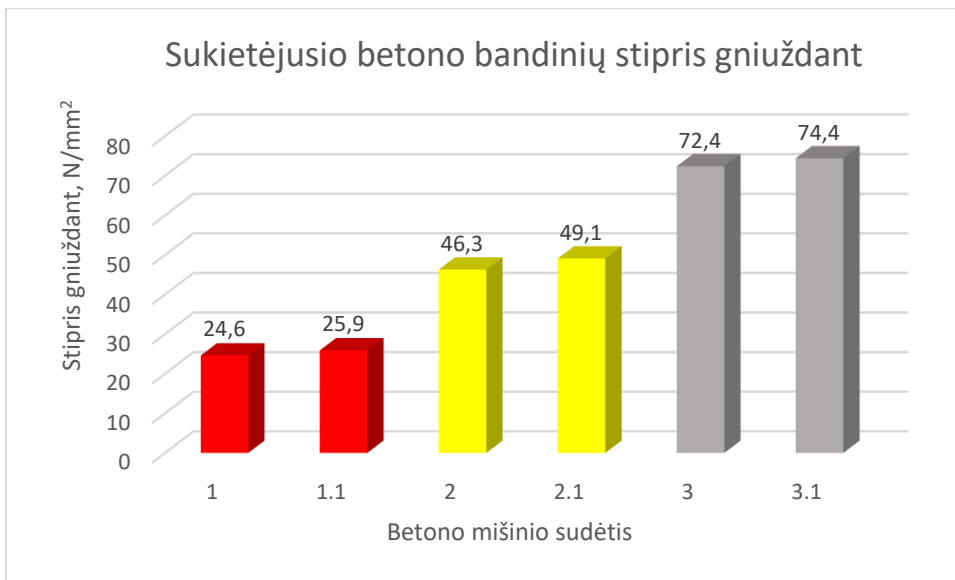
Betono bandinių gniuždymo stiprio po 28 parų kietėjimo bandymo rezultatai pateikiami 3.2 lentelėje:

3.2 lentelė. Betono bandinių gniuždymo stipris

Eilės nr.	Betono mišinio sudėtis	Bandinio nr.	Gniuždymo stipris, N/mm ²	Gniuždymo stiprio vidurkis, N/mm ²
1	1	1.1	25,4	24,6
		1.2	24,3	
		1.3	24,0	
2	1-1	1-1.1	26,0	25,9
		1-1.2	25,2	
		1-1.3	26,4	
3	2	2.1	45,9	46,3
		2.2	46,3	
		2.3	46,7	
4	2-1	2-1.1	49,1	49,1
		2-1.2	49,4	
		2-1.3	48,9	
5	3	3.1	73,5	72,4
		3.2	71,3	
		3.3	72	
6	3-1	3-1.1	73,5	74,4
		3-1.2	73,1	
		3-1.3	76,5	

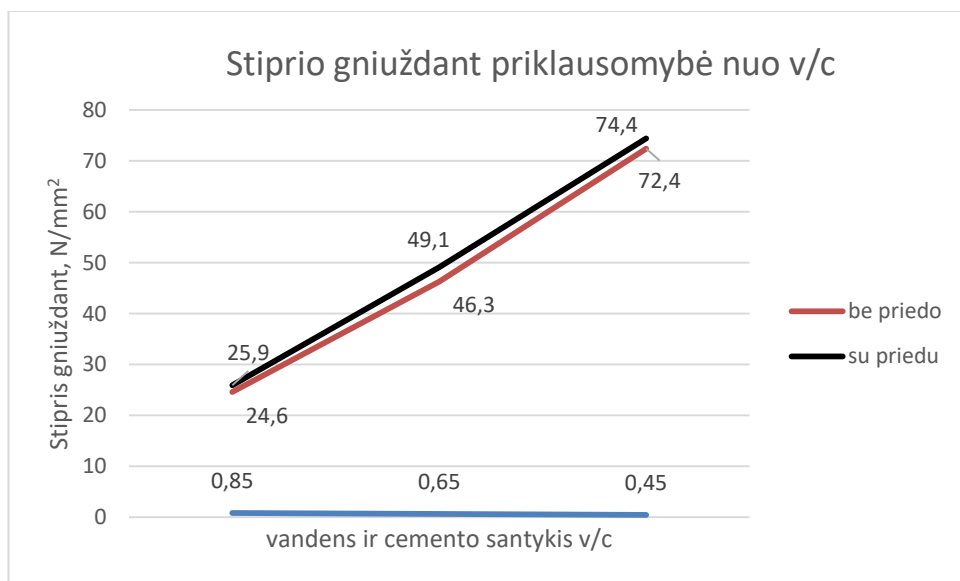
Iš betono bandinių gniuždymo stiprio bandymo rezultatų matyti, kad visais trimis atvejais matomas nedidelis stiprio prieaugis betono mišiniuose su priedu. Stiprio prieaugis svyruoja nuo 2,8% iki 6,0%. Mažiausias stiprio prieaugis gautas betono 3-1 (2,8%), didžiausias stiprio prieaugis gautas betonų 2-1 (6,0%) ir 1-1 (5,3%).

3.2 lentelėje gauti duomenys atvaizduoti grafiškai 3.2.1 paveiksle



3.2.1 pav. Sukietėjusio betono bandinių stipris gniuždant

Gauti bandymo rezultatai parodo, kad betono gniuždymo stipris tiesiogiai priklauso nuo vandens ir cemento santykio (3.2.2 ir 3.2.3 pav.)



3.2.2 pav. Stiprio gniuždant priklausomybė nuo v/c santykio

3.3 Sukietėjusio betono bandinių tankio bandymo rezultatai

Sukietėjusio betono bandinių tankio bandymo rezultatai pateikiami 3.3.1 ir 3.3.2 lentelėse:

3.3.1 lentelė. Sukietėjusio betono bandinių, įmirkytų iki pastovios masės, tankio bandymo rezultatai

Eilės nr.	Betono mišinio sudėtis	Bandinio nr.	Tankis, kg/m ³	Tankio vidurkis, kg/m ³
1	1	1.4	2410	2410
		1.5	2406	
		1.6	2415	
2	1-1	1-1.4	2450	2444
		1-1.5	2437	
		1-1.6	2444	
3	2	2.4	2442	2447
		2.5	2455	
		2.6	2445	
4	2-1	2-1.4	2456	2462
		2-1.5	2468	
		2-1.6	2463	
5	3	3.4	2485	2485
		3.5	2486	
		3.6	2484	
6	3-1	3-1.4	2485	2488
		3-1.5	2490	
		3-1.6	2488	

3.3.2 lentelė. Sukietėjusio betono bandinių, išdžiovintų iki pastovios masės, tankio bandymo rezultatai

Eilės nr.	Betono mišinio sudėtis	Bandinio nr.	Tankis, kg/m ³	Tankio vidurkis, kg/m ³
1	1	1.4	2280	2280
		1.5	2274	
		1.6	2286	
2	1-1	1-1.4	2318	2314
		1-1.5	2310	
		1-1.6	2315	
3	2	2.4	2322	2326
		2.5	2334	
		2.6	2323	
4	2-1	2-1.4	2341	2348
		2-1.5	2356	
		2-1.6	2347	
5	3	3.4	2373	2373
		3.5	2373	
		3.6	2371	
6	3-1	3-1.4	2372	2376
		3-1.5	2378	
		3-1.6	2376	

Iš sukietėjusio betono bandinių tankio bandymo rezultatų matyti, kad tankio pokytis yra labai nežymus. Didžiausias pokytis gautas betono mišinio sudėties 1-1 lyginant su betono mišinio sudėtimi 1 (1,5%).

3.4 Sukietėjusio betono bandinių vandens įgėrio bandymo rezultatai

Sukietėjusio betono bandinių vandens įgėrio bandymo rezultatai pateikiami 3.4.1 ir 3.4.2 lentelėse:

3.4.1 lentelė. Sukietėjusio betono bandinių vandens įgėrio pagal masę bandymo rezultatai

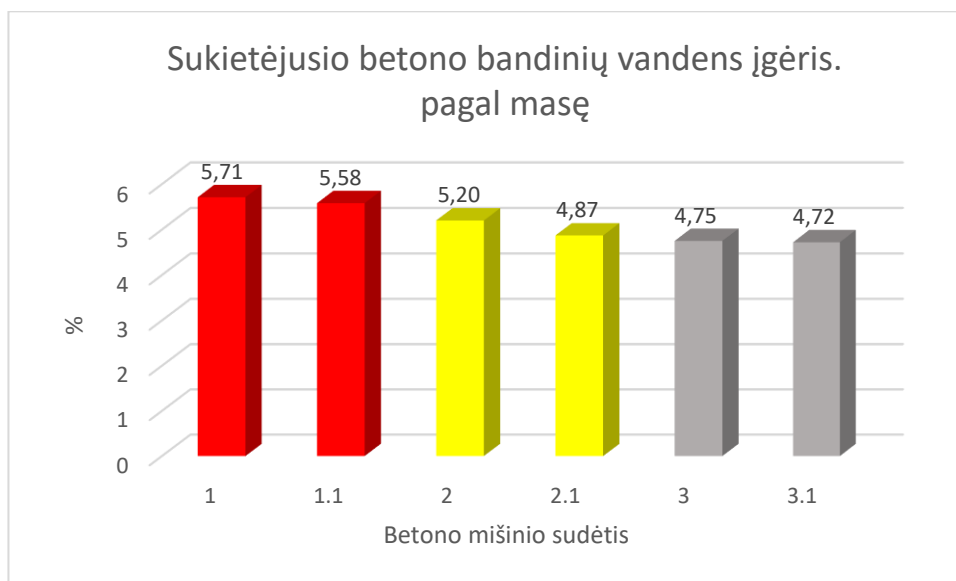
Eilės nr.	Betono mišinio sudėtis	Bandinio nr.	Įgėris, %	Įgėrio vidurkis, %
1	1	1.4	5,69	5,71
		1.5	5,82	
		1.6	5,63	
2	1-1	1-1.4	5,69	5,58
		1-1.5	5,49	
		1-1.6	5,56	
3	2	2.4	5,19	5,20
		2.5	5,19	
		2.6	5,23	
4	2-1	2-1.4	4,92	4,87
		2-1.5	4,74	
		2-1.6	4,94	
5	3	3.4	4,72	4,75
		3.5	4,74	
		3.6	4,78	
6	3-1	3-1.4	4,79	4,72
		3-1.5	4,69	
		3-1.6	4,68	

3.4.2 lentelė. Sukietėjusio betono bandinių vandens įgėrio pagal tūrį bandymo rezultatai

Eilės nr.	Betono mišinio sudėtis	Bandinio nr.	Įgėris, %	Įgėrio vidurkis, %
1	1	1.4	12,97	13,02
		1.5	13,23	
		1.6	12,86	
2	1-1	1-1.4	13,19	12,91
		1-1.5	12,68	
		1-1.6	12,88	
3	2	2.4	12,11	12,11
		2.5	12,06	
		2.6	12,16	
4	2-1	2-1.4	11,52	11,43
		2-1.5	11,16	
		2-1.6	11,60	
5	3	3.4	11,21	11,27
		3.5	11,26	
		3.6	11,33	
6	3-1	3-1.4	11,35	11,21
		3-1.5	11,15	
		3-1.6	11,12	

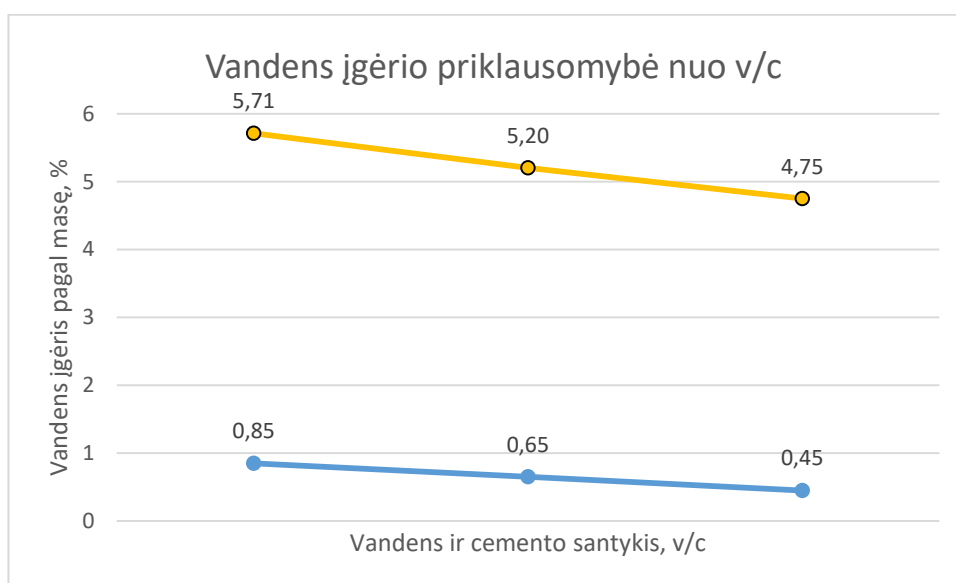
Iš sukietėjusio betono bandinių vandens įgėrio bandymo rezultatų nustatyta, kad priedas mažiausią įtaką turėjo betono bandiniams 1-1 ir 3-1 lyginant su kontroliniais 1 ir 3, atitinkamai 0,8% ir 0,5%. Didžiausią įtaką turėjo betono bandiniui 2-1 lyginant su kontroliniu 2 5,6%.

3.4.1 lentelėje gauti duomenys atvaizduoti grafiškai 3.4.1 paveiksle



3.4.1 pav. Sukietėjusio betono bandinių vandens įgėris pagal masę.

Pagal gautus tyrimo duomenis galima daryti išvadą, kad betono vandens įgėris priklauso nuo vandens ir cemento santykio v/c (3.4.2 paveikslėlis). Kuo mažesnis vandens ir cemento santykis, tuo mažesnis betono vandens įgėris.



3.4.2 pav. Vandens įgėrio priklausomybė nuo vandens ir cemento santykio.

IŠVADOS

1. Priedas betono mišinio konsistencijai (slankumui) įtakos neturėjo.
2. Iš sukietėjusio betono bandinių gniuždymo stiprio rezultatų matyti, kad priedas turėjo nedidelę įtaką stiprio augimui (nuo 2,8% iki 6,0%)
3. Iš sukietėjusio betono bandinių gniuždymo stiprio matyti, kad betono gniuždymo stipris priklauso nuo vandens ir cemento santykio (priedas įtakos neturėjo). Kuo vandens ir cemento santykis didesnis, tuo betono gniuždymo stipris mažesnis.
4. Įvertinus sukietėjusio betono bandinių tankio bandymo rezultatus nustatyta, kad priedas sukietėjusio betono tankiui didelės įtakos neturėjo.
5. Išanalizavus sukietėjusio betono bandinių vandens įgėrio rezultatus, nustatyta, betono vandens įgėris priklauso nuo vandens ir cemento santykio. Kuo vandens ir cemento santykis mažesnis, tuo mažesnis vandens įgėris.
6. Nustatyta, kad efektyviausiai betono vandens įgėrį sumažino priedas mišinyje 2-1. Kad pasiekti didesnę priedo efektyvumą, reikalingas ne mažesnis cemento kiekis mišinyje kaip apie 280 kg/m^3 , v/c santykis – 0,65.
7. Mišinio sudėtis su priedu 2-1 v/c santykiu 0,65 pagal vandens įgėrį pagal masę atitiktų mišinį be priedo su v/c santykiu 0,49.

NAUDOTOS LITERATŪROS IR KITŲ INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. LST EN 206:2014. Betonas. Specifikacija, eksploatacinės savybės, gamyba ir atitiktis. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2014.
2. KOSMATKA, Steven H. And Michelle L. WILSON. Design and control of concrete mixtures. The guide to applications, methods, and materials. Skokie, Illinois, USA, 2011. ISBN 0-89312-272-6.
3. G. De SCHUTTER and K. AUDENAERT. Evaluation of water absorption of concrete as a measure for resistance against carbonation and chloride migration. Materials and Structures/ Materiaux et Constructions, Vol. 37, November 2004, pp 591-596.
4. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. LST EN 12390-7:2009(E). Sukietėjusio betono bandymai. 7 dalis. Sukietėjusio betono tankis. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2011.
5. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. LST EN 12390-2:2009(E). Sukietėjusio betono bandymai. 2 dalis. Bandinių pagaminimas ir kietinimas stipriui nustatyti . Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2011.
6. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. LST EN 12390-3:2009(E). Sukietėjusio betono bandymai. 3 dalis. Bandinių gniuždymo stipris. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2011.
7. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. LST EN 480-1:2014(E). Betono, statybinio ir injekcinio skiedinio įmaišiniai priedai. Bandymo metodai. 1 dalis. Pamatinis betonas ir pamatinis skiedinys bandymams. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2015.
8. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. LST EN 13369:2013(E). Bendrosios surenkamųjų betoninių gaminių taisyklės. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2013.
9. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. LST EN 12350-2:2009(E). Betono mišinio bandymai. 2 dalis. Slankumo bandymas. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2011.
10. Zement-Merkblatt Betontechnik B 20 4.2016. Zusammensetzung von Normal- beton – Mischungsberechnung [žiūrėta 2016-11-15]. Prieiga per <https://www.beton.org/>
11. Zement-Merkblatt Betontechnik B 2 1.2012. Gesteinskörnungen für Normalbeton [žiūrėta 2016-09-17]. Prieiga per <https://www.beton.org/>
12. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. LST 1974:2012. LST EN 206-1 taikymo taisyklės ir papildomieji nacionaliniai reikalavimai. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2012
13. SKRIPKIŪNAS Gintautas. Statybinių konglomeratų struktūra ir savybės. Vadovėlis. Kaunas 2007
14. ARNOLD Markus. Polymergesteuerte Kristallisation von Calciumhydroxid und Calciumsilicathydrat. DISSERTATION zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften . Siegen, 2004.
15. POWERS T. C. The Nonevaporable Water Content of Hardened PortlandCement Paste - Its

Significance for Concrete Research and Its Method of Determination. Philadelphia, 1949

16. COPELAND L. E. and SCHULZ E. G. Electron Optical Investigation of the Hydration Products of Calcium Silicates and Portland Cement 1962.

PRIEDAI

P.1 lentelė. Portlandcemenčio CEM I 42,5 R savybės

Kaitmenys	3,52 %
Netirpmenys	0,77 %
Sulfatų (SO ₃) kiekis	3,26 %
Chloridų kiekis	0,062 %
Šarmų (Na ₂ O _{eq}) kiekis	0,78 %
Rišimosi pradžia	194 min.
Rišimosi pabaiga	250 min.
Tankis	3,26 g/cm ³
Ankstyvasis gniuždymo stipris	32,4 MPa
Standartinis stipris	58,1 MPa
Tūrio pastovumas (plėtra)	1,0 mm
Savitasis paviršius	4180 cm ² /g

P. 2 lentelė. Priedo Sika WT-200 P techniniai duomenys

Cheminis pagrindas	Amino alkoholių, užpildų ir cemento mišinys
Spalva ir būseną	Tamsiai pilkos spalvos milteliai
Piltinis tankis	750 kg/ m ³ ± 50
pH vertė	12 ± 1,0
Vandenyje tirpių chloridų kiekis	<0,1 M-%
Šarmų kiekis	≤3 %

P. 3 lentelė. Įmaišos Sika ViscoCrete D-187 (28) techniniai duomenys

Cheminis pagrindas	Modifikuotų polimerų vandeninis tirpalas
Spalva	Šviesiai rusvas skystis
Tankis	1,07 kg/l
pH vertė	4,5 ± 0,5
Vandenyje tirpių chloridų kiekis	<0,10 M-%
Šarmų kiekis	<0,40 M-%
Sausos medžiagos kiekis	31,5 M-%

P. 4 lentelė Sukietėjusio betono bandinių tankiui ir įgėriui nustatyti pirminiai duomenys

Bandinio žymėjimas	Įmirkyto iki pastovios masės, bandinio masė vandenyje, g	Įmirkyto iki pastovios masės, bandinio masė ore, g	24 h džiovinto bandinio masė ore, g	48 h džiovinto bandinio masė ore, g	72 h džiovinto bandinio masė ore, g	96 h džiovinto bandinio masė ore, g
1.4	1423,9	2430,2	2362,7	2310,5	2300,9	2299,4
1.5	1417,5	2422,2	2353,6	2300,4	2290,6	2289,0
1.6	1430,9	2438,7	2373	2322,1	2310,2	2308,8
1-1.4	1461,7	2466,7	2398,5	2343,9	2335,5	2333,9
1-1.5	1447,5	2451,3	2389,1	2336,9	2325,7	2323,8
1-1.6	1456,0	2460,9	2395,1	2341,7	2332,8	2331,2
2.4	1429,1	2416,5	2356,1	2312,1	2298,6	2297,2
2.5	1422,0	2396,0	2339,2	2289,7	2279,6	2277,8
2.6	1434,2	2423,5	2364,7	2308,3	2304,5	2303,0
2-1.4	1473,0	2481,2	2400,2	2371,4	2366,2	2364,8
2-1.5	1468,0	2464,9	2399,4	2365,2	2354,1	2353,4
2-1.6	1472,5	2475,4	2402,2	2366,9	2360,5	2358,8
3.4	1499,4	2505,4	2416,1	2402,2	2394,3	2392,4
3.5	1501,7	2509,0	2418,9	2405,0	2397,2	2395,4
3.6	1504,5	2514,7	2424,0	2410,1	2401,8	2400,0
3-1.4	1497,5	2502,3	2412,1	2398,3	2390,1	2388,0
3-1.5	1510,2	2520,5	2431,4	2417,7	2409,6	2407,6
3-1.6	1504,8	2513,0	2421,1	2410,5	2402,6	2400,7

P. 5 lentelė Sukietėjusio betono bandinių stipriui gniuždant nustatyti pirminiai duomenys

Bandinio žymėjimas	Bandinio viršutinio apkraunamo paviršiaus ilgis, mm	Bandinio viršutinio apkraunamo paviršiaus plotis, mm	Bandinio apatinio apkraunamo paviršiaus ilgis, mm	Bandinio apatinio apkraunamo paviršiaus plotis, mm	Didžiausia ardomoji apkrova, kN
1.1	100,1	100,1	100,2	100,2	267,8
1.2	99,7	99,9	100,3	100,3	255,8
1.3	99,9	99,8	100,0	100,1	252,5
1-1.1	99,6	99,8	99,8	100,0	272,5
1-1.2	100,4	100,3	100,2	100,4	266,5
1-1.3	101,0	100,8	100,3	100,5	281,2
2.1	99,7	100,1	100,4	100,2	483,8
2.2	100,1	100,3	99,7	100,1	488,3
2.3	100,8	100,6	100,2	100,3	495,8
2-1.1	100,5	100,3	99,9	99,8	518,1
2-1.2	100,3	100,3	100,3	100,3	522,9
2-1.3	99,8	100,3	100,4	100,1	516,2
3.1	101,2	101,5	100,7	100,6	789,2
3.2	100,5	100,1	101,0	101,1	760,9
3.3	99,4	99,2	100,1	100,6	755,3
3-1.1	100,2	100,5	99,9	100,3	776,7
3-1.2	100,3	100,1	100,0	99,9	770,6
3-1.3	101,1	100,7	100,4	100,5	816,3

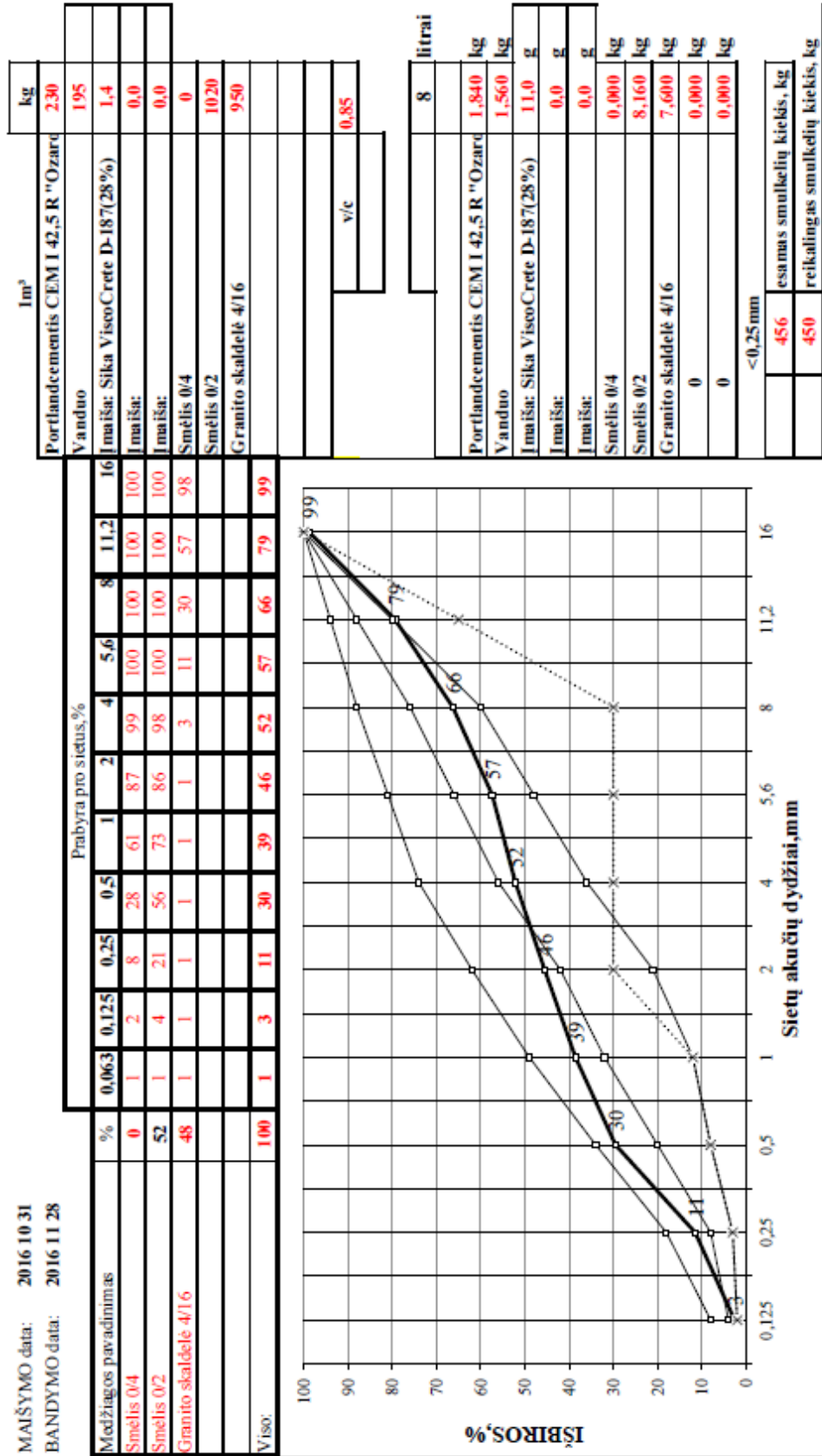
P. 6 lentelė. Inertinių medžiagų techniniai duomenys

	Smėlis 0/2	Smėlis 0/4	Granito skaldelė 4/16
Mineralinių dulkių kiekis, %	0,7	0,8	1,1
Dalelių tankis, Mg/m ³	2,670	2,662	2,824
Stambumo modulis	2,6	3,1	–
Vandens įmirkis, %	0,5	0,6	0,3
Piltinis tankis, Mg/m ³	1,542	1,556	1,721
Formos rodiklis S ₁ , %	–	–	6,3

Betono mišinių granulimetrinės sudėty

BETONO MIŠINIO SUDETIS NR.1

MAIŠYMO data: 2016 10 31
 BANDYMO data: 2016 11 28

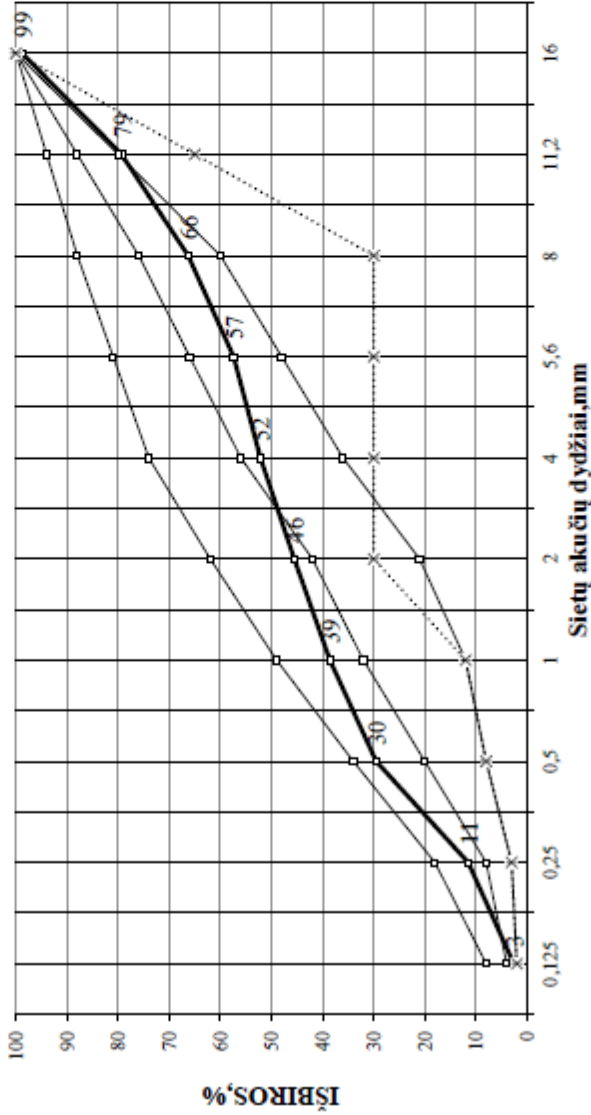


BETONO MIŠINIO SUDETIS NR.1-1

MAIŠYMO data: 2016 11 08
 BANDYMO data: 2016 12 06

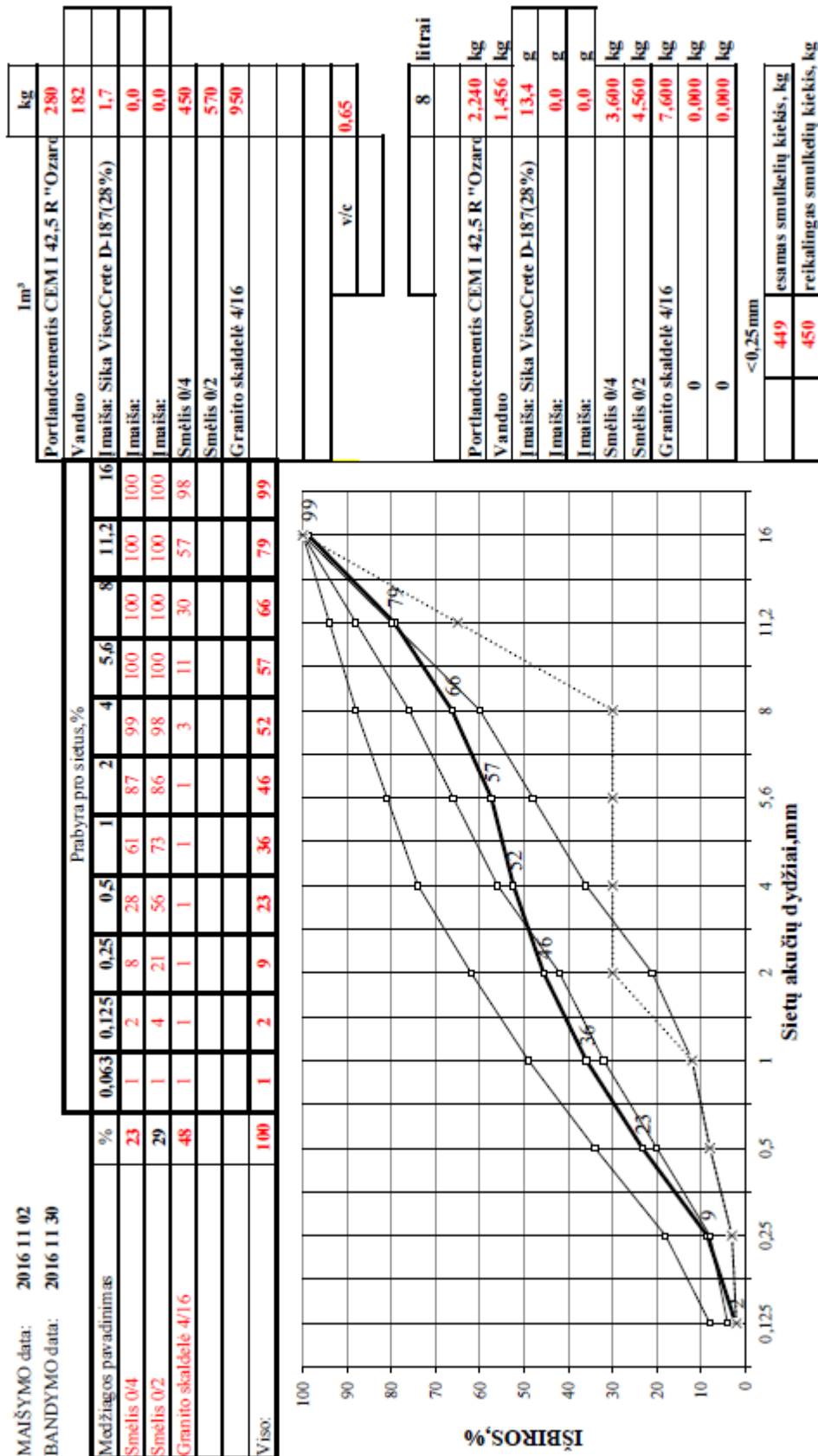
Medžiagos pavadinimas	Prabyra pro sietus,%													Im ³	kg	
	%	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8	11,2	16				
Portlandcementis CEM I 42,5 R "Ozarco"																225,5
Vanduo																195
Imaiša: Sika ViscoCrete D-187(28%)																1,4
Imaiša:																0,0
Priedas: Sika WT-200P																4,5
Smėlis 0/4	48	1	1	1	1	1	3	11	30	57	79	98			0	
Smėlis 0/2															10,20	
Granito skaldelė 4/16															9,50	
Viso:	100	1	3	11	30	39	46	52	57	66	79	99				

	v/c	0,85
	litrai	8
Portlandcementis CEM I 42,5 R "Ozarco"		1,804 kg
Vanduo		1,560 kg
Imaiša: Sika ViscoCrete D-187(28%)		11,0 g
Imaiša:		0,0 g
Priedas: Sika WT-200P		36,0 g
Smėlis 0/4		0,000 kg
Smėlis 0/2		8,160 kg
Granito skaldelė 4/16		7,600 kg
0		0,000 kg
0		0,000 kg
<0,25mm		456
	esamas smulkesnių kieksis, kg	450
	reikalingas smulkesnių kieksis, kg	



BETONO MIŠINIO SUDETIS NR.2

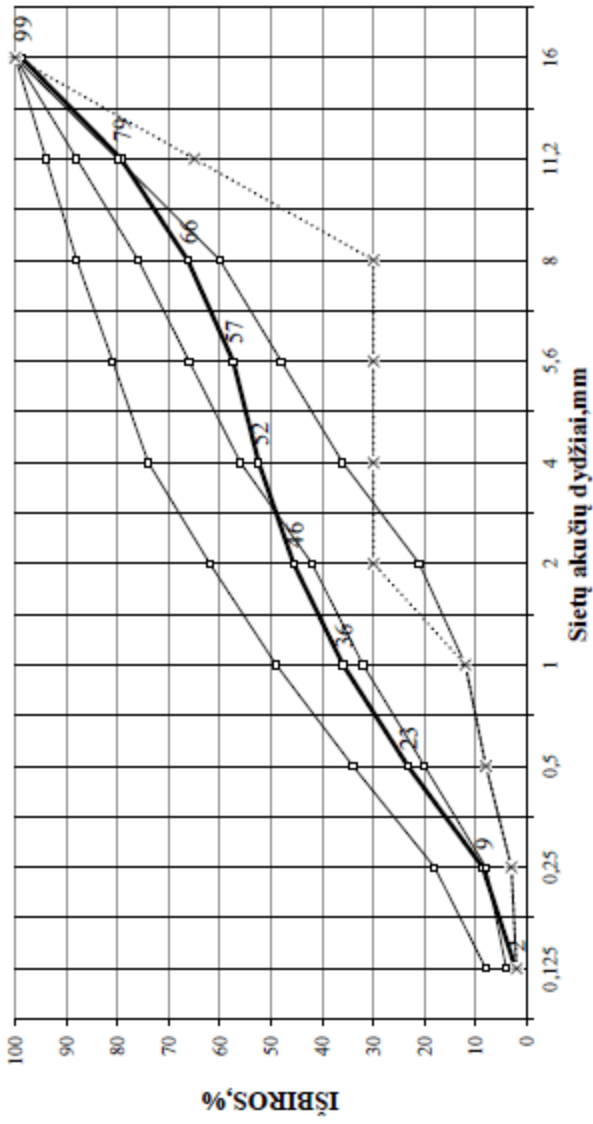
MAIŠYMO data: 2016 11 02
 BANDYMO data: 2016 11 30



BETONO MIŠINIO SUDETIS NR.2-1

MAIŠYMO data: 2016 11 07
 BANDYMO data: 2016 12 05

Medžiagos pavadinimas	%	Prabyra pro sietus, %											Im³	kg	
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8	11,2	16			
Portlandcementis CEM I 42,5 R "Ozarco"															275,5
Vanduo															182
Įmaiša: Sika ViscoCrete D-187(28%)	23	1	2	8	28	61	87	99	100	100	100	100	100	1,7	
Įmaiša:															0,0
Priedas: Sika WT-200P	29	1	4	21	56	73	86	98	100	100	100	100	100	4,5	
Smėlis 0/4	48	1	1	1	1	1	1	3	11	30	57	98		450	
Smėlis 0/2														570	
Granito skaldelė 4/16														950	
V _{iso} :	100	1	2	9	23	36	46	52	57	66	79	99			



Portlandcementis CEM I 42,5 R "Ozarco"	2,204	kg
Vanduo	1,456	kg
Įmaiša: Sika ViscoCrete D-187(28%)	13,4	g
Įmaiša:	0,0	g
Priedas: Sika WT-200P	36,0	g
Smėlis 0/4	3,600	kg
Smėlis 0/2	4,560	kg
Granito skaldelė 4/16	7,600	kg
0	0,000	kg
0	0,000	kg
<0,25mm		
esama s smulkelių kiekis, kg	449	
reikalingas smulkelių kiekis, kg	450	

