



Kauno technologijos universitetas
Statybos ir architektūros fakultetas

Monolitinių konstrukcijų stipruminių savybių vertinimas taikant įvairias tyrimų metodikas

Magistro baigiamasis projektas

Eimantas Morkūnas
Projekto autorius

Doc. dr. Ernestas Ivanauskas
Vadovas

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas
Statybos ir architektūros fakultetas

Monolitinių konstrukcijų stipruminių savybių vertinimas taikant įvairias tyrimų metodikas

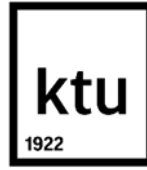
Magistro baigiamasis projektas
Statybos valdymas (6211EX007)

Eimantas Morkūnas
Projekto autorius

Doc. dr. Ernestas Ivanauskas
Vadovas

Prof. dr. Vitoldas Vaitkevičius
Recenzentas

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Eimantas Morkūnas

Monolitinių konstrukcijų stipruminių savybių vertinimas taikant įvairias tyrimų metodikas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Eimanto Morkūno, baigiamasis projektas tema „Monolitinių konstrukcijų stipruminių savybių vertinimas taikant įvairias tyrimų metodikas“ 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)

Eimantas Morkūnas. Monolitinių konstrukcijų stipruminių savybių vertinimas taikant įvairias tyrimų metodikas. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovas Doc. dr. Ernestas Ivanauskas; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Studijų krypčių grupė: inžinerijos mokslai, Statybos inžinerija (E05)

Reikšminiai žodžiai: Betonai, stipris, drėgmė, poringumas, užpildai, kompozicinės kolonos fragmentai, tankis, temperatūra, ardomieji metodai, neardomieji metodai, kerna.

Kaunas, 2021. 67 p.

Santrauka

Magistro baigiamajame darbe nagrinėjamos betono tyrimo metodikos, jų patikimumas vertinant stiprumines kompozicinių kolonų betono savybes. Taip pat analizuojama, kaip skiriasi betono stipriai priklausomai nuo kolonos suformavimo. Magistrinį darbą sudaro literatūrinė apžvalga ir eksperimentinė dalis.

Remiantis surinkta literatūra aptarta kompozicinių kolonų struktūra ir jų mechaninės savybės. Išanalizuota betono drėgmės, aplinkos temperatūros, poringumo konstrukcijoje bei užpildų parinkimo įtaka stipruminėms betono savybėms. Aprašytas daugiasluoksnio sutankėjančio betono liejimas. Literatūros apžvalgoje taip pat buvo išanalizuotos ardančiosios ir neardančiosios betono tyrimo metodikos: ultragarso impulso, tamprus atšokimo, atplėšimo, ištraukimo, įskverbties ir gniuždymo.

Tiriamajame dalyje buvo pasirinkti iš viso 4 tyrimo bandiniai: 3 kompozicinės kolonos fragmentai su vienoda betono klase (C30/37) ir vienas papildomas fragmentas su C35/45 betono klase. C30/37 betono klasės bandiniai lieti per 2 kartus, o bandinys su C35/45 betono klase per 3 kartus. Kompozicinės kolonos fragmentams atlikti ultragarso impulso tyrimai per plieninę sienelę. Nustatyta, kad neįmanomas bangos sklidimas per plieną kartu su betonu. Tyrimai buvo atliekami betoninei kolonai be plieninio vamzdžio. Kolonos buvo padalintos į 3 bandymo zonas, siekiant parodyti formavimo etapus. Kiekvienam bandiniui (betoninei kolonai) kiekvienoje zonoje buvo atlikti neardomieji tyrimai (ultragarso impulso ir tamprus atšokimo), siekiant įvertinti stiprio pasiskirstymą priklausomai nuo bandymo vietos (zonos), atsižvelgiant į bandinio suformavimą per visą jo ilgį. Iš kiekvieno bandinio ir iš kiekvienos zonos taip pat buvo išgręžtos kernos ir laboratorijoje atlikti ultragarso impulso bangos matavimai, gniuždomojo stiprio ir vandens įgėrio nustatymai.

Tyrimų duomenys apdoroti ir atlikta ardančių ir neardančių tyrimo metodikų koreliacija bei patikimumo analizė. Gauti rezultatai parodė, kad patikimiausia neardančioji metodika, tirti stiprumines betono savybes yra ultragarso impulso bangos matavimai betoninei kolonai. Tyrimo metu taip pat buvo gauta, kad geriausiai susiformavo kolonos apatinė zona, o blogiausiai – kolonos viršus. Suformuluotos išvados ir duotos rekomendacijos.

Darbas susideda iš įvado, literatūros apžvalgos, metodologinės dalies, rezultatų, išvadų, rekomendacijų ir literatūros sąrašo. Darbo apimtis – 67 puslapiai, 4 lentelės, 60 paveikslas, 44 literatūros šaltiniai.

Eimantas Morkūnas. Assessment of the Strength Properties of Monolithic Structures Using Various Research Methods. Master's Final Degree / supervisor Doc. dr. Ernestas Ivanauskas; Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Engineering Sciences, Civil Engineering (E05)

Keywords: Concrete, Strength, moisture, porosity, aggregates, composite column fragments, density, temperature, destructive methods, non-destructive methods, core.

Kaunas, 2021. 67 p.

Summary

The master's thesis deals with the concrete analysis methodologies, their reliability for assessing the strength properties of composite concrete columns. Besides, it examines the differences of concrete strength depending on the forming of the column. The master's thesis consists of a literature review and an experimental part.

Based on the literature, the structure of composite columns and their mechanical properties are discussed. The influence of structural moisture, environment temperature, porosity inside the construction and choice of aggregate are analysed. Multilayer self-compacting concrete casting is also described. The literature review also analysed the destructive and non-destructive testing techniques for concrete: ultrasonic pulse, elastic rebound, pull-off, pull-out, penetration, and compression.

A total of 4 test samples were selected in the experimental part: 3 fragments of the composite column with the same concrete class (C30 / 37) and one additional fragment with the concrete class C35 / 45. C30 / 37 concrete class samples were cast twice and specimen with C35 / 45 concrete class thrice. Ultrasonic pulse studies were performed on the fragments of the composite column through a steel wall. It was found that it is impossible to propagate the wave through the steel together with the concrete. The tests were performed on a concrete column without a steel tube. The columns were divided into 3 test zones to show the formation stages. Non-destructive tests (ultrasonic pulse and elastic rebound) were performed for each sample (concrete column) in each zone seeking to evaluate the strength distribution depending on the test site (zone), taking into account the formation of the sample over its entire length. Cores were also drilled from each sample in each zone, and ultrasonic pulse wave measurements, compressive strength, and water absorption were performed in the laboratory.

Research data were processed, and correlation and reliability analysis of destructive and non-destructive research methodologies were performed. The results showed that ultrasonic pulse wave measurements for a concrete column is the most reliable non-destructive method for investigating the strength properties of concrete. The study also found that the bottom zone of the column formed the best and the top zone of the column formed the worst. Conclusions are formulated and recommendations are given.

The work consists of an introduction, literature review, methodological part, results, conclusions, recommendations and a list of references. The thesis consists of – 67 pages, 4 tables, 60 figures, 44 literature sources.

Turinys

Lentelių sąrašas.....	9
Paveikslų sąrašas.....	10
Santrumpų sąrašas.....	13
Įvadas	14
1. Literatūros apžvalga	15
1.1. Kompozicinės kolonos	15
1.2. Sutankėjančio betono liejimas	15
1.3. Poringumo ir drėgmės bei temperatūros įtaka betono struktūrai.....	16
1.4. Betono mišinio užpildai.....	18
1.5. Tyrimo metodai betono konstrukcijoms.....	19
1.5.1. Atšokimo rodiklio nustatymas	19
1.5.2. Ultragarso impulso bangos greitis.....	21
1.5.3. Atpalėšimo jėgos nustatymas (<i>pull-off</i>)	23
1.5.4. Ištraukimo jėgos nustatymas (<i>pull-out</i>).....	24
1.5.5. Įskverbties metodas	25
1.5.6. Kernų gręžimas	26
1.5.7. Kernų vizualus testavimas	27
1.5.8. Gniuždymas presu.....	27
2. Tyrimo metodologija.....	29
2.1. Tyriamieji bandiniai ir jų betono mišinio sudėtis	29
2.2. Ultragarso impulso bangos greičio tyrimas kompozicinės kolonos fragmentams.....	29
2.3. Ultragarso impulso bangos greičio nustatymas betoninėms kolonomis.	30
2.4. Gniuždomojo stiprio nustatymas sklerometru betoninėms kolonomis.	32
2.5. Kernų gręžimas ir jų supjovimas į bandinius	33
2.6. Ultragarso impulso bangos greičio nustatymas kernoms	35
2.7. Gniuždomojo stiprio kernoms nustatymas	36
2.8. Vandens įgeriamumo ir poringumo nustatymas	37
3. Rezultatai.....	43
3.1. Betoninėms kolonomis gauti ultragarso impulso bangos greičių rezultatai.	43
3.2. Betoninėms kolonomis sklerometru gauti gniuždymo stiprio rezultatai.....	44
3.3. Kernoms gauti ultragarso impulso bangos greičių ir gniuždymo stiprių rezultatai	45
3.4. Kernoms gauti gniuždymo stiprio rezultatai.....	49
3.5. Tyrimo metodikų patikimumo įvertinimas.....	50
3.6. Vandens įgeriamumo nustatymo gauti rezultatai.....	55
Išvados	56
Rekomendacijos	56
Literatūros šaltiniai.....	57
Priedai	61
1 priedas. Ultragarso impulso bangos trukmės ir apskaičiuoti greičiai betoninėms kolonomis	61
2 priedas. Betoninių kolonų gniuždymo stiprio apskaičiuoto pagal gautus ultragarso impulso greičius rezultatai.....	61
3 priedas. Tampraus atšokimo gauti stipriai betoninėms kolonomis.....	61

4 priedas. Ultragarso impulso bangos trukmės ir apskaičiuoti greičiai bei gniuždymo stipriai kernoms	62
5 priedas. Nomograma nustatyti vidutinį porų dydžio rodiklį λ ir porų pasiskirstymo rodiklį α	64
6 priedas. Betono bandinių kernų gniuždomojo stiprio bandymo rezultatai.....	65
7 priedas. Betoninių kernų uždaro ir atviro poringumo nustatymo gauti rezultatai pagal vandens įgeriamumo kinetiką	66

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Kompozicinės kolonos fragmentai	29
2 lentelė. LST EN 206 – C30/37 – XC1 – Cl0,20 – D _{max} 16 – S3 betono mišinio sudėtis.....	29
3 lentelė. LST EN 206 – C35/45 – XC1 – Cl0,20 – D _{max} 16 – S3 betono mišinio sudėtis.....	29
4 lentelė. Kolonomis ir kernomis nustatytų ultragarso impulso bangos greičių ir gniuždymo stiprių rezultatai.....	45

Paveikslų sąrašas

1 pav. Kompozicinių kolonų skerspjūvis [2].....	15
2 pav. Pakilimo žymė tarp sluoksnių [7].....	16
3 pav. Bandinio vaizdas, kuriame pavaizduoti (1) užpildai, (2) sąsajos perėjimo zona (3) cemento pasta [11].....	17
4 pav. Drėgmės kiekio įtaka betono gniuždomajam stipriui [14].....	18
5 pav. Šmidto plaktuko dalys: 1. Smūginis plunžeris; 2. Betonas; 3. Korpusas; 4. Atšokimo parodymų rodyklė; 5. Organinio stiklo langelis; 6. Plaktuko masyvas; 7. Mygtukas; 8. Suspaudimo spyruoklė; 9. Smūginė spyruoklė; 10. Saugiklio spyruoklė [31].....	20
6 pav. Tampraus atšokimo proceso eiga [20].....	20
7 pav. Šmidto plaktuko vertę įtakojantys veiksniai	21
8 pav. Šmidto plaktuko matavimai bandiniui, verčių skirtumai atsižvelgiant į plaktuko padėtį [25]	21
9 pav. Ultragarso bangos greičio matavimo padėty: (a) tiesiogiai, (b) pusiau tiesiogiai, c) netiesiogiai [42]	22
10 pav. Ultragarso impulso bangos matavimas [37].....	23
11 pav. Atplėšimo jėgos nustatymo tyrimas [38]	24
12 pav. Atplėšimo tyrimo prietaisas [38].....	24
13 pav. Ištraukimo jėgos nustatymo principas [39].....	25
14 pav. Skirtumas tarp grubaus ir švelnaus užpildo atliekant įskverbties tyrimą [31]	26
15 pav. Įskverbties nustatymas [21].....	26
16 pav. Kernų gręžimo įrankis [23].	27
17 pav. Gniuždymo jėgos nustatymas [20]	28
18 pav. Tinkamos bandinių irtys [44]	28
19 pav. Nešiojamasis ultragarsinis neardomasis skaitmeninis testeris	30
20 pav. Ultragarso impulso bangų matavimas	30
21 pav. Keturios betoninės kolonos. a) Nr.1, b) Nr.2, c) Nr.3, d) Nr.4	30
22 pav. Kolonos padalinimas į tris bandymo zonas.....	31

23 pav. Ultragarso impulso bangos tyrimas kolonomis dedant keitiklius priešingose kolonos pusėse	31
24 pav. „Proceq” šmidto plaktukas.....	32
25 pav. Gniuždomojo stiprio nustatymas šmidto plaktuku: a) vertikali padėtis, b) horizontali padėtis	33
26 pav. „Rems Picus S3“ kernų gręžimo įrenginys.	33
27 pav. a) vaizdas išgręžtos kolonos, b) išgręžta kerna	34
29 pav. Kernų pjaustymas betono pjovimo staklėmis	34
30 pav. Cilindro formos kernos 100x100mm.....	35
31 pav. Ultragarso impulso bangos matavimas dedant keitiklius kolonos liejimo kryptimi	35
32 pav. Ultragarso impulso bangos matavimas dedant keitiklius statmenai liejimo kryptčiai	35
33 pav. a) kerno aukščio ir diametro matavimai, b) kernos svėrimas.....	36
34 pav. Hidraulinis presas Controls “PILOT4”	37
35 pav. Bandinio suirties būseną	37
36 pav. Kernų suskaldymas į 2 dalis.....	38
37 pav. Džiovinimo krosnelė su bandiniais.....	38
38 pav. Bandiniai sudėti į indą su vandeniu ir mirkomi	38
39 pav. Bandinių svėrimas: a) vandenyje, b) ore.....	39
40 pav. Betoninių kolonų ultragarso impulso bangos greičių gauti rezultatai	43
41 pav. Betoninių kolonų gniuždomojo stiprio apskaičiuoto pagal gautus ultragarso impulso greičius rezultatai.....	43
42 pav. Gniuždomo stiprio sklerometru nustatymo statmenai liejimo kryptčiai gauti rezultatai.....	44
43 pav. Gniuždomo stiprio sklerometru nustatymo liejimo krypttimi gauti rezultatai.....	44
44 pav. Ultragarso impulso bangos greičių kolonomis ir kernoms koreliacijos kreivė	46
45 pav. Gniuždomojo stiprio kolonomis ir kernoms apskaičiuoto pagal gautus ultragarso impulso greičius koreliacijos kreivė.....	46
46 pav. Kernų ultragarso impulso bangos greičių rezultatai matuojant statmenai betono mišinio liejimo kryptčiai	47

47 pav. Kernų ultragarso impulso bangos greičių rezultatai matuojant betono mišinio liejimo kryptimi	47
48 pav. Kernų gniuždymo stiprio apskaičiuoto pagal gautus ultragarso impulso greičius rezultatai matuojant ultragarso impulso bangos greitį betono mišinio liejimo kryptimi	48
49 pav. Kernų gniuždymo stiprio apskaičiuoto pagal gautus ultragarso impulso greičius rezultatai matuojant ultragarso impulso bangos greitį betono mišinio liejimo kryptimi	48
50 pav. Gniuždomojo stiprio $f_{C_{kernos}}$ rezultatai skirtingose kolonų zonose	49
51 pav. Kernų betono tankių rezultatai skirtingose kolonų zonose	49
52 pav. Betoninių kolonų ultragarso impulso bangos greičių ir gniuždomojo stiprio $f_{C_{kernos}}$ koreliacinė kreivė	50
53 pav. Betoninių kolonų gniuždomojo stiprio apskaičiuoto pagal gautus ultragarso impulso greičius ir kernų gniuždomojo stiprio $f_{C_{kernos}}$ koreliacinė kreivė	51
54 pav. Kernų ultragarso impulso bangos greičių ir kernų gniuždomojo stiprio $f_{C_{kernos}}$ koreliacinė kreivė	51
55 pav. Kernų gniuždomojo stiprio apskaičiuoto pagal gautus ultragarso impulso greičius ir gniuždomojo stiprio $f_{C_{kernos}}$ koreliacinė kreivė	52
56 pav. Betoninių kolonų gniuždomojo stiprio matuojant sklerometru ir kernų gniuždomojo stiprio $f_{C_{kernos}}$ tiesinė koreliacinė analizė	53
57 pav. Gniuždymo stiprio betoninėms kolonomis matuojant sklerometru ir betoninių kolonų gniuždymo stiprio apskaičiuoto pagal gautus ultragarso impulso greičius koreliacinė analizė	54
58 pav. Gniuždymo stiprio kernoms matuojant sklerometru ir betoninių kolonų gniuždymo stiprio apskaičiuoto pagal gautus ultragarso impulso greičius koreliacinė analizė	54
59 pav. Betoninių kernų įgeriamumo diagrama	55
60 pav. Betoninių kernų bendro poringumo diagrama	55

Santrumpų sąrašas

Santrumpos:

t.y. – tai yra;

pav. – paveikslas;

°C – Celsijaus laipsniai;

% – procentai;

kHz – kilo hercai;

μs – mikrosekundės;

s – sekundės;

mm – milimetrai;

m – metrai;

kN – kilo Niutonai;

N – Niutonai;

L/D – ilgio ir skersmens santykis;

N.R – numeris

g – gramai;

kg – kilogramai;

m³ – kubiniai metrai;

m² – kvadratiniai metrai;

min. – minutės;

val. – valandos;

MPa – megapaskaliai.

Įvadas

Naujų technologijų pasaulyje mes matome daugybę didelių, mažų, modernių ar senų architektūros statinių. Labiausiai mūsų dėmesį patraukia šiuolaikiniai modernūs dangoraižiai, aukšti modernūs pastatai, kurie pastatyti pasitelkiant nepaprastus mokslo ir inžinerijos pasiekimus.

Pagrindinis dėmesys pastatų statyboje yra skiriamas konstruktyvui (karkasui), jo patvarumui, ilgaamžiškumui, atsižvelgiant į projekto ekonominius aspektus. Ieškomas sprendimas pastatyti kuo aukštesnius ir mažiau vietos užimančius pastatus, nes tokiu būdu atsiveria galimybės sutalpinti daugiau žmonių mažesnėje erdvėje. Bet tokiems statiniams reikalingas struktūros stabilumas, stiprumas ir standumas. Todėl šiam tikslui įgyvendinti buvo sukurtos naujos konstrukcijos - „Kompozicinės kolonos“. Kompozicinės kolonos susideda derinant dvi medžiagas t. y. betoną ir metalą struktūriškai. Šias medžiagas galima išnaudoti, kad būtų sukurtas labai efektyvus ir lengvas dizainas. Kompozicinės sistemos taip pat teikia pranašumų taupant statybos laiką, bei suteikia daugiau erdvės statinio viduje.

Pagrindinė kompozicinės kolonos dalis yra betonas. Betonas yra universali statybinė medžiaga, gaunama kietėjant rišamųjų medžiagų cemento, užpildo ir vandens mišiniui. Betonas yra labai stiprus, turi gerą sukibimą su armatūra bei yra pakankamai tankus. Tai be galo populiarus medžiaga, manoma, jog pasaulyje jos sunaudojama dvigubai daugiau nei visų kitų medžiagų, tokių kaip plienas, medis, plastikas, aliuminis. Pagrindinis rodiklis, apibūdinantis betoną, yra charakteristinis betono stipris. Jis nustatomas ardančiais ir neardančiais tyrimo metodais.

Darbo tikslas – įvertinti taikomų metodikų patikimumą gaminio stipruminėms savybėms, priklausomai nuo to gaminio suformavimo.

Tyrimo objektas – kompozicinės kolonos fragmentai.

Darbo uždaviniai:

1. Atlikti literatūros analizę apie ardančias ir neardančias tyrimų metodikas, kurios yra taikomos įvertinti betoninių / gelžbetoninių konstrukcijų fizikines – mechanines savybes. Išskirti taikomų metodikų trūkumus ir privalumus, jų tarpusavio ryšį ir gaunamų rezultatų patikimumą.
2. Nustatyti ardančiais ir neardančiais tyrimo būdais betoninių vamzdžių stiprio pasiskirstymą priklausomai nuo bandymo vietos, atsižvelgiant į gaminio suformavimą per visą jo ilgį.
3. Atlikti ardančių ir neardančių tyrimo metodikų (tamprus atšokimo ir ultragarso sklidimo) koreliacijos ir patikimumo analizę.
4. Įvertinti gautus bandymų rezultatus matematiškai ir apskaičiuoti gaunamų rezultatų patikimumą. Atlikti gautų priklausomybių analizę pagal EN 13791:2019.

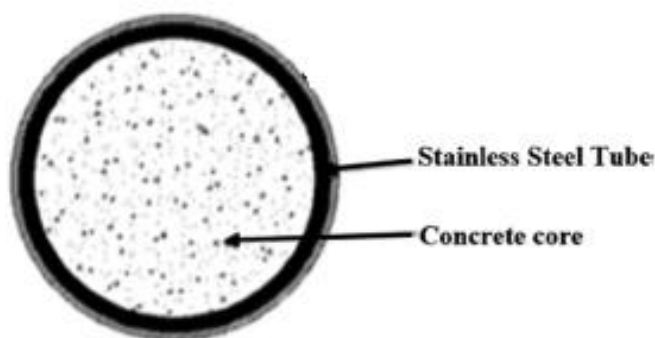
1. Literatūros apžvalga

1.1. Kompozicinės kolonos

Kompozicinių kolonų elementai buvo plačiai naudojami statybų pramonėje dėl aukšto stiprumo, gerų plastiškumo savybių ir atsparumo žemės drebėjimui [1]. Plienines medžiagas statybose pradėta naudoti neseniai, anksčiau buvo naudojama tik dekoravimui ir kitoms specialioms reikmėms. Plieniniai kolonos vamzdžiai turi keletą pranašumų, vieni iš svarbiausių yra atsparumas korozijai, priežiūros paprastumas, patraukli išvaizda ir didelis atsparumas ugniai. Atsižvelgiant į ilgalaikes sąnaudas, kompozicinės kolonos gali būti laikomos konkurencinga konstrukcija, nes jai nereikia didelių priežiūros išlaidų, ypač lauko konstrukcijose, kurios tiesiogiai veikiamos aplinkos sąlygų. Kitas aktualus veiksnys, turintis įtakos šių kolonų naudingumui statybose, yra tinkamos mechaninės savybės (stiprumas, tamprumas, plastiškumas, trapumas, kietumas ir kitos) [2 – 3].

Kompozicinės kolonos yra sudėtiniai konstrukciniai elementai, sudaryti iš nerūdijančio plieno vamzdžio ir betono šerdies (1 pav.) [2]. Plieniniai vamzdžiai, supantys betono šerdį, naudojami kaip klojiniai, dėl jų sumažėja apkrova ir elastingumas. Išorinis plieninis kolonos vamzdis užtikrina šoninį betono šerdies uždarymą, o šerdies betonas atitinkamai slopina galimą plieninio vamzdžio vidinį ir išorinį lenkimą [4]. Kolonų ašinei elgsenai ir deformacijai didelę įtaką daro plieninio profilio parinkimas ir betono sudėtis [5]. Kompozicinių kolonų pagrindinė problema yra betono susirišimas tarp sluoksnių, susijęs su užpildyto betono šlyties trūkumu.

Naudojant kompozicines kolonas jų dydis, palyginti su įprastomis gelžbetonio kolonomis, sumažėja [2], tuo pačiu užtikrinant ir anksčiau aptartus nerūdijančio plieno vamzdžio pranašumus. Šios kolonos yra plačiai naudojamos, nes plieninio vamzdžio izoliacija padidina betono šerdies laikančiąją galią ir mažina deformaciją (betono susitraukimą ir valkšnumą).



2 pav. Kompozicinių kolonų skerspjūvis [2]

1.2. Sutankėjančio betono liejimas

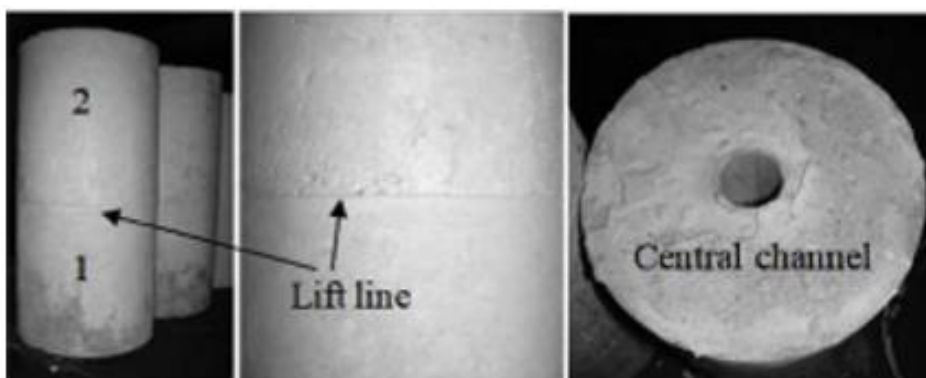
Sutankėjančio betono liejimas yra labai svarbus situacijose, kuriose praeina laiko tarp vieno ant kito dedamų pakilimo blokų (betono sluoksnių). Jei nėra mechaninių sutvirtinimų, konstrukcijos formavimas naudojant sutankėjančią betoną, gali palikti pakilimo žymę tarp betono sluoksnių. Taip pat, mažėja sukibimas tarp sujungiamų betono sluoksnių. Liejant sutankėjančią betoną, betono sluoksnis turi trumpą laiko tarpą susigulėti ir flokuliuoti prieš liejant antrąjį sluoksnį ant pirmojo [6].

Norint užtikrinti 90 % tamprumo jėgą ir nepralaidumą, laiko tarpai gali būti iki 25 ir 10 minučių, priklausomai nuo dabartinio betono sluoksnio suformavimo aukščio. Ryšys tarp dviejų vienas po kito einančių sluoksnių priklauso nuo tarp sluoksnių sukibimo, trinties, užpildų ir nuo laiko priklausančių veiksnių. Visi šie parametrai gali būti padidinti, sumažinant betono sluoksnio aukštį, kai betonas yra liejamas duotame laisvojo kritimo aukštyje [7].

Buvo rasta, kad 12,7 mm sukibimas tarp sluoksnių padidina tarpusavio sukibimo stiprumą 17 % ir 26 % gniuždymui ir tempimui [10]. Trintis ir užpildų susirišimas dažnai asocijuojamas su užpildo frakcijos dydžiu, forma ir tekstūra. Betono sukibimas tarp sluoksnių smarkiai priklauso nuo mėginio dydžio, geometrijos ir nuo įtempio, veikiančio susiduriančius paviršius [7].

Daugiau nei vieno betono sluoksnio liejimas, yra naudojamas didelėms betono konstrukcijoms formuoti, pavyzdžiui platiems pamatams, ilgoms ir gilioms sienos konstrukcijoms. Kadangi liejant sutankėjantį betoną mechaniniai sutvirtinimai nėra reikalingi, gali būti sukurti išskirtinai silpni paviršiai, tokie kaip pakilimo / lenkimo linijos (2 pav.), kurios patiria klojinių slėgį. Tiksotropija yra apibrėžiama kaip klampos padidėjimas rimties būsenoje ir klampos sumažėjimas, kai medžiaga veikia pastovus šlyties įtempis [8 – 9].

Patvarumui daugiausiai įtakos turi betono eksploataavimo sąlygos, tokios kaip pralaidumas (kiek sugerama skysčių ar kaip gerai gali vykti difuzija). Kelios svarbios eksploataavimo savybės yra jonų ir dujų difuzija, dujų ir skysčių pralaidumas ir skysčių sugėrimas. Svarbu apsvaistyti betono paviršiaus drėgmės savybes. Taip pat svarbu įvertinti mechanines ir eksploataavimo savybių vystymąsi pakilimo / lenkimo linijose, susiformavusiose liejant betoną, nes jos gali tapti betono paviršiaus defektais ir gali pabloginti struktūrinės savybes.



2 pav. Pakilimo žymė tarp sluoksnių [7]

1.3. Poringumo ir drėgmės bei temperatūros įtaka betono struktūrai.

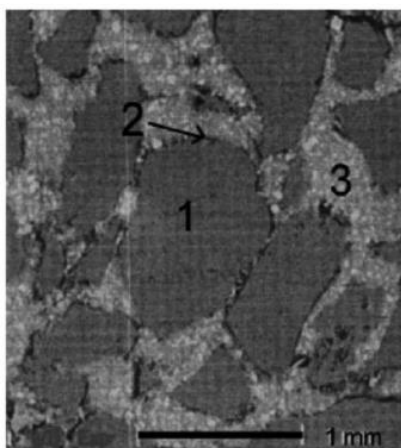
Poros, ertmės – visa tai neišvengiama liejant betoną ir reikšmingai veikia jo makroskopinį efektyvumą. Poros yra oro pripildytos erdvės betono konstrukcijoje, kurios susidaro tankinant betoną [11]. Daugybė tyrimų rodo, kad tiek poringumas, tiek porų struktūra daro didelę įtaką betono stiprumui, tuo pačiu tempimui ir gniuždymui [12].

Gniuždymo jėgą ir elastingumo modulį pirmiausia veikia bendras porų tūris; tačiau šias charakteristikas taip pat gali įtakoti porų dydis, jų pasiskirstymas medžiagoje, didžiausias porų dydis

ir porų forma. Vandens pralaidumą ir difuziją taip pat įtakoja bendras porų tūris, porų dydis, forma ir kapiliarumas [12].

Betonas yra plačiai naudojamas įvairiose konstrukcijose, kurios yra nuolat veikiamos drėgmės pokyčių. Mechaninės ir fizikinės betono savybės yra sudėtingesnės nei dauguma medžiagų, nes jas veikia aplinkos sąlygos, kai jis pilamas ir kietinamas. Įprastą betoną galima pilti esant žemai temperatūrai, jei paviršiai yra šildomi. Įprastą betoną galima pilti ir karštomis, sausomis sąlygomis, jei paviršius periodiškai drėkinamas. Tačiau didžiausias rūpestis yra tai, kaip toks betonas elgsis sukietėjęs esant skirtingoms temperatūros ir drėgmės sąlygoms. Ankstesni tyrimai parodė, kad keičiantis aplinkos sąlygoms, betono atsparumas gniuždymui ir tamprumui irgi keičiasi [13].

Drėgmės kiekis betono viduje turi didelę įtaką betono savybėms. Taip pat vandens kiekis nurodo struktūrinio pažeidimo tikimybę betono konstrukcijose. Padidėjus santykiniam oro drėgnumui betone, sumažėja betono gniuždomasis, tempiamasis stipris ir tai turi įtakos konstrukcijos patvarumui (4 pav.). Betono drėgmės pasisavinimo (įsiurbimo) greitis priklauso nuo betono struktūros turinio. Per didelis vandens ir cemento santykis lemia per didelius tarpus tarp užpildų [11]. Tuose tarpuose susidaro sąsajos perėjimo zonos (3 pav.), kuriose ir kaupiasi drėgmė.



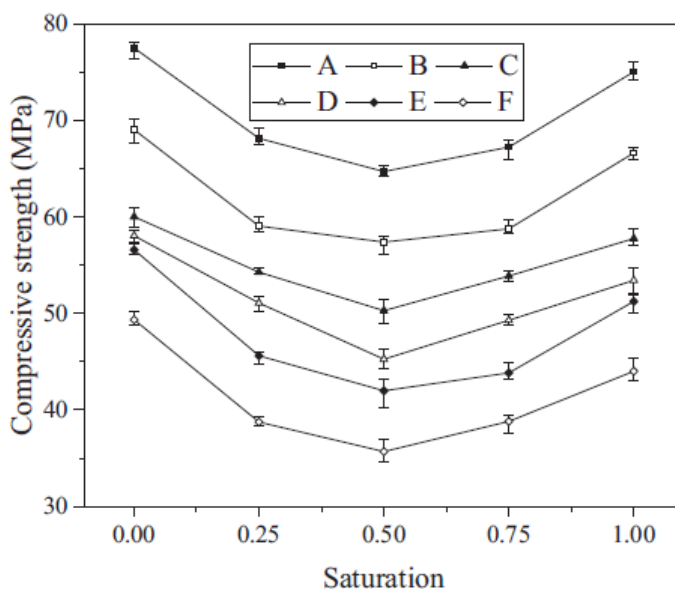
3 pav. Bandinio vaizdas, kuriame pavaizduoti (1) užpildai, (2) sąsajos perėjimo zona (3) cemento pasta [11]

Betonas visam laikui prarastų stiprumą, jei būtų veikiamas pakartotinių ekstremalių temperatūrų. Tai buvo siejama su susitraukimo plyšių susidarymu, kai betonas veikiamas vėsiomis drėgnomis sąlygomis, tada veikiamas karštomis ir sausomis sąlygomis. Kita priežastis buvo ta, kad poringumas leidžia drėgmei lėtai įsiskverbti į betoną. Vandens garai išsiplečia greičiau, nei gali išeiti iš mėginio, todėl bandinio viduje susidaro garų slėgis. Kai šis slėgis tampa didesnis nei betono stiprumas, betonas ima įtrūkti viduje. Trūkis gali būti nematomas iš bandinio išorės, ir ilgą laiką gali nesuirti, tačiau gali prarasti savo stiprumines savybes [13]. Taip yra todėl, kad susidarius įtrūkimams, drėgmei leidžiama išbėgti.

Džiovinimo proceso metu betono drėgnumas gali skirtis nuo visiškai prisotinto iki visiškai sauso. Drėgmės kiekio pokyčiai daro didelę įtaką betono mechaninėms savybėms ir tai kritiškai svarbu projektuojant betono konstrukcijas. Gniuždymo stiprumas – svarbiausias betono kokybės rodiklis, yra pagrindinė betono mechaninė savybė. Tačiau šiuo metu inžinerijoje nėra visiškai atsižvelgiama į drėgmės kiekio poveikį betono gniuždymui džiovinimo metu [14]. Burlion nustatė, kad 60 %

santykinio drėgnumo betono, laikomo $21 \pm 1^\circ\text{C}$ temperatūroje, stiprumas sumažėja 25 % [15]. Prisotinto ir sauso betono stiprį gniuždant taip pat išbandė Li ir Wang [16]. Jų rezultatai parodė, kad pilnai įmirkusio betono atsparumas gniuždymui buvo mažesnis nei sauso betono.

Betonui esant drėgnoms sąlygoms, betono mechaninėms savybėms didelę įtaką daro drėgmės kiekis, kuris skiriasi atsižvelgiant į skirtingą panardinimo laiką. Drėgmės kiekis mažėja didėjant betono stiprumo laipsniui, taip pat mažėja didėjant ploto ir tūrio santykiui. Visiškai prisotinto betono elastingumo modulis padidėja 30 %, palyginti su visiškai sausu betonu [17].



4 pav. Drėgmės kiekio įtaka betono gniuždomajam stipriui [14]

1.4. Betono mišinio užpildai

Užpildai užima 60 – 90 % viso betono mišinio tūrio. Betono savybės yra priklausomos nuo fizikinių užpildo savybių, tokių kaip frakcijos dydis. Norint gauti geriausią užpildo variantą, kuris tenkintų stiprio, tankio ir ilgaamžiškumo reikalavimus, yra įvairiausių gradacijos įrankių ir priemonių [18]. Tyrimuose būna atliekama daugybė bandinių su tais pačiais užpildais. Taip pat atliekami bandiniai miksuojant užpildus. Pagal gautus tyrimo rezultatus palyginamas betono mišinių ilgaamžiškumas, stipris ir tankis.

Buvo nustatyta, kad užpildo grūdelių dydžio pasiskirstymas yra dominuojantis parametras, turintis įtakos porų dydžio pasiskirstymui Portlandcemenčio skiediniuose. Pagrindiniai rezultatai rodo nepaprastą mechaninio stiprumo padidėjimą skiediniuose, kurių porų dydis ir skersmuo yra mažas. Be to, didelis tūris sujungtų didelio skersmens porų paprastai yra susijęs su kapiliarumo padidėjimu [19].

Kalbant apie užpildo grūdelių formą, apvalių užpildo grūdelių naudojimas skiedinio sudėtyje padidina porų tūrį ir kapiliarumą dėl silpno dalelių tarpusavio sujungimo, todėl mechaniškai sumažėja stiprumas, padidėja vandens įgeriamumas.

Tinkamas medžiagų naudojimas padidina konstrukcijų tarnavimo laiką. Taigi, norint užtikrinti jų ilgaamžiškumą, vis svarbiau gerai žinoti medžiagų charakteristikas. Pastaraisiais metais visuotinai pripažįstama kruopštaus užpildų tipo parinkimo svarba ir jų teigiamas poveikis skiedinių ir betoninių konstrukcijų eksploatacinėms savybėms ir ilgaamžiškumui: kaip svarbi skiedinio dalis, užpildų savybės daro tiesioginę įtaką jų porų struktūrai, o tai savo ruožtu daro įtaką fizikinėms ir mechaninėms savybėms, taip pat apdailai ir galutiniam apipavidalinimui [19].

1.5. Tyrimo metodai betono konstrukcijoms

Vienas iš pagrindinių veiksnių, turinčių įtakos betono stipriui yra neatsiejamas medžiagų kintamumas, kuris gali būti visiškai iširtas tik atlikus ardomuosius metodus [20]. Tačiau betono stiprumui nustatyti, naudojami destruktivūs metodai dažnai būna brangūs, daug darbo reikalaujantys metodai. Taip pat toks metodas silpnina konstrukcijas ir palieka nepataisomų padarinių [21].

Neardomieji metodai yra įdomi alternatyva, kuri padeda išvengti šių problemų. Šie metodai yra plačiai naudojami, nes vertinant statinio konstrukcijų būklę jie nepažeidžia jų struktūros. Be to, vertinant betono konstrukcijų būklę statyboje, reikia įvairiais tyrimais įvertinti gniuždymo jėgą diagnozei nustatyti priežiūros metu po statybos, taip pat kokybės kontrolei statybų metu. Todėl didžiausias dėmesys skiriamas tyrimo metodams, kuriuose naudojami neardomieji tyrimo metodai, tinkami pastato konstruktyvo būklei tirti, jo nepažeidžiant ir nesugriaunant [22]. Svarbus dabartinių laikų reikalavimas yra patenkinti žmogaus norą gyventi saugiuose ir patogiuose pastatuose. Būtų gerai, jei nebūtų veiksnių, keliančių grėsmę saugumui, tačiau pastatuose kyla įvairių netikėtų problemų. Atsižvelgiant į prielaidą suteikti žmonėms laimės ir gerovės užtikrinant pastatų saugą, labai svarbu kuo tiksliau įvertinti medžiagų stiprumą, naudojant neardomuosius tyrimų metodus.

Tačiau norint išmatuoti tikslų konstrukcijos stiprumą negalima pasitikėti vien tik neardomaisiais tyrimais. Reikia apjungti neardomąjį būdą su ardomuoju būdu. Perimant kelis skirtingus neardomuosius metodus su keliais ardomaisiais tyrimo metodais, galima padidinti gautų koreliacijos kreivių atitikimo kokybę ir sumažinti įtaką darančius veiksnius [21]. Bet ir tokiu atveju, negalima tikėtis garantijos, kad bus pagerintas stiprumo įvertinimas.

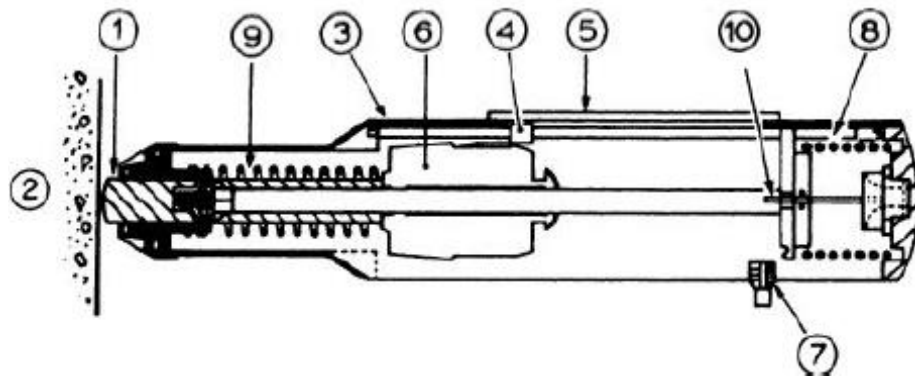
1.5.1. Atšokimo rodiklio nustatymas

Atšokimo rodiklio nustatymas yra pats paprasčiausias, greičiausias ir pigiausias neardomasis metodas, betono vienodumui vertinti darbų vietoje, blogos kokybės arba suirusio betono zonoms arba plotams konstrukcijoje nustatyti [41]. Nustatyti teorinį ryšį tarp betono gniuždymo jėgos ir atšokimo vertės yra sunku, todėl paprastai naudojama empirinis ryšys. Tačiau šio tyrimo metu gautai vertei, atšokimo vertei, įtakos turi keletas mišinio ir elemento savybių – ne tik betono stiprumas. Todėl vertinant tikrąją struktūrą, pasitelkus bendrą modelį tarp betono stiprumo ir atšokimo skaičiaus, gaunami nepatikimi įvertinimai [23]. Dėl šios priežasties tampraus atšokimo technika negali būti naudojama, kaip pagrindinis būdas betono stiprumui įvertinti – būtina ją derinti su ardomaisiais testais, siekiant sukalibruoti nagrinėjamo atvejo modelį [24].

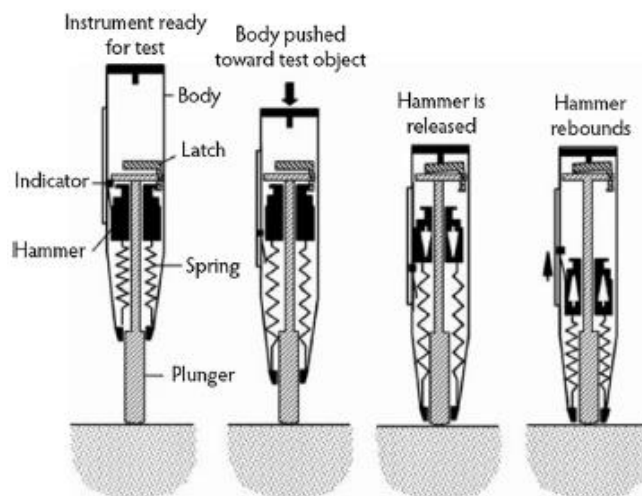
Atšokimo rodiklio nustatymas dar kitaip vadinamas šmidto (sklerometro) plaktuko tyrimas – iš esmės tai paviršiaus kietumo testavimas [25 – 26]. Šmidto plaktuko sudedamosios dalys pavaizduotos 5 paveiksle. Atšokimo rodiklio nustatymas grindžiamas principu, kad bandymo metu spyruokle

sujungtas tam tikros masės daužiklis smūgiuoja plunžerį į konstrukcijos arba bandinio paviršių. Bandymo rezultatas išreiškiamas atšokimo rodikliu pagal tam tikros masės daužiklio atšokimo atstumą. Rodiklis taip pat gali būti matuojamas tam tikros masės kūno energijos arba greičio skirtumu prieš ir po smūgio [41].

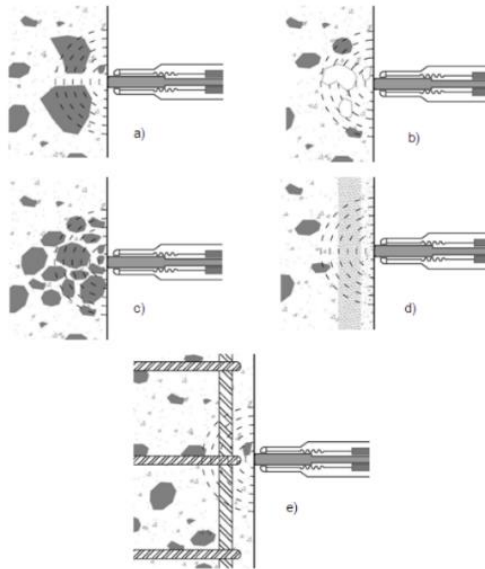
Prieš betono paviršiaus bandymą nuvalomi kalibravimo priekalo ir plunžerio smūginiai paviršiai. Sklerometras turi būti laikomas tiksliai tokioje padėtyje, kad plunžeris smūgiuotų statmenai bandomam paviršiui. Plunžeris tolygiai spaudžiamas tol, kol daužiklis smūgiuoja (6 pav.). Atšokimo laipsnis priklauso nuo betono paviršiaus kietumo. Vertinant empiriškai, atšokimo vertę galima naudoti nustatant betono itempį [20][27 – 31][41]. Testas labai priklauso nuo medžiagos vietinio nehomogeniškumo: paslėpti užpildai, esantys mažu atstumu nuo smūgio zonos [31], ertmės dėl netinkamo mišinio, vandens kiekio ir apdailos, betono brandumo ir pan. (7 pav.). Taip pat yra keletas kitų parametru, susijusių ne su pačia medžiaga, o su testuojamu konstrukciniu elementu, pavyzdžiui, įtempimo būseną, elemento masę, smūgio srities atstumas nuo laisvų kraštų, kurie dar nebuvo ištirti. Jeigu daugiau kaip 20 % visų rodmenų skiriasi nuo medianos daugiau negu 30 %, visa rodmenų serija turi būti atmetama [41].



5 pav. Šmidto plaktuko dalys: 1. Smūginis plunžeris; 2. Betonas; 3. Korpusas; 4. Atšokimo parodymų rodyklė; 5. Organinio stiklo langelis; 6. Plaktuko masyvas; 7. Mygtukas; 8. Suspaudimo spyruoklė; 9. Smūginė spyruoklė; 10. Saugiklio spyruoklė [31]

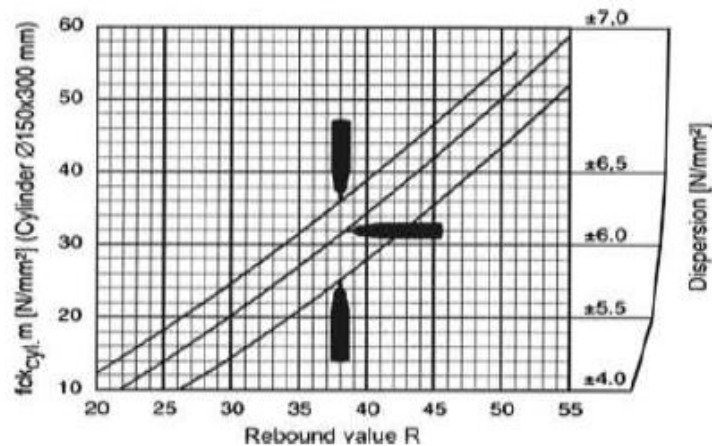


6 pav. Tampraus atšokimo proceso eiga [20]



7 pav. Šmidto plaktuko vertei įtakojantis veiksniai [27]

Šmidto plaktukas gali būti naudojamas horizontaliai, vertikalčiai virš viršaus arba vertikalčiai iš apačios, taip pat bet kokių tarpinių kampų, jei plaktukas yra statmenas testuojamam paviršiui. Tačiau masės padėtis vertikalės atžvilgiu turi įtakos atšokimo skaičiui dėl sunkio jėgos poveikio plaktuko masei (8 pav.) [25]. Nors didelis atšokimo skaičius rodo, kad betonas yra labiau atsparus gniuždymui nei betonas su mažu atšokimo skaičiumi, bandymas yra naudingas tik tuo atveju, jei galima sukurti koreliaciją tarp atšokimo skaičiaus ir betono gniuždomojo stiprio, pagaminto iš to paties grubaus užpildo, kaip ir testuojamas betonas.



8 pav. Šmidto plaktuko matavimai bandiniui, verčių skirtumai atsižvelgiant į plaktuko padėtį [25]

1.5.2. Ultragarso impulso bangos greitis

Ultragarso impulso bangos greitis yra vienas iš neardančių metodų, kuris sėkmingai taikomas vertinant betono savybes. Ultragarso impulso bangos greičio nustatymo metodas gali būti laikomas vienu perspektyviausiu būdu betono struktūros vertinimui, kadangi šis metodas leidžia ištirti medžiagų vienalytiškumą ir taip pat lengviau nustatyti defektus [22][32]. Šis metodas leidžia išmatuoti medžiagos gylį, aptikti vidinius trūkius, įvertinti trūkių gylį [33] ir mechanines betono

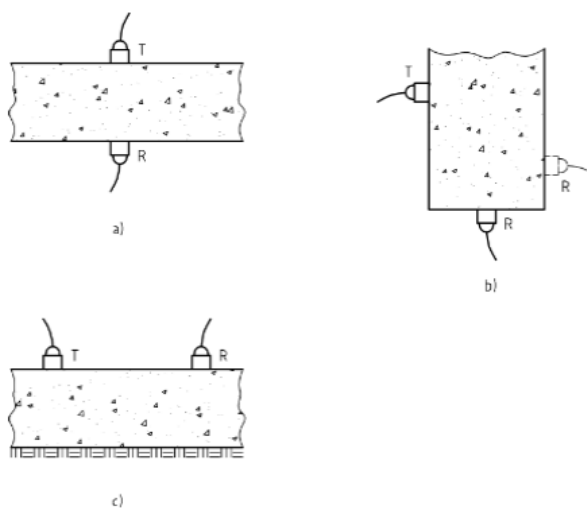
savybes [34-35]. Jis taip pat leidžia stebėti betono savybių kitimą per laiką. Atliekant ultragarso greičio bangos sklidimo kitimo analizę, galima patikrinti betono tankumą arba aptikti jo heterogenines sritis [22]. Šie testai – naudinga technika kokybės kontrolei ir gali būti naudojami diagnostikai, prognozei, tankio matavimui ar betono medžiagų charakterizavimui.

Ultragarso impulso bangos metodas yra efektyviai taikomas stebint kai kurias betono kietėjimo procedūras. Tai leidžia kontroliuoti svarbius parametrus, tokius kaip stiprumas, elastingumo modulis ir betono susitraukimas (tiek laboratorijoje, tiek vietoje) [32]. Šio metodo naudojimas yra gana naudingas tiriant betonines konstrukcijas, nes tai leidžia stebėti medžiagų charakteristikas per visą jų tarnavimo laiką. Pasitelkiant ultragarso duomenis galima kontroliuoti betono kokybę, stebėti jo blogėjimą ir, naudojant palyginimą su kontroliniais mėginiais, įvertinti jo stiprumą.

Metodas pagrįstas per medžiagą praeinančios aukšto dažnio garso bangos sklidimu [36]. Bangos greitis skiriasi priklausomai nuo medžiagos tankio, taip leidžiant įvertinti poringumą ir aptikti netolygumus. Pagrindinė šio metodo mintis – suprojektuoti garsą medžiagos viduje ir išmatuoti laiką, reikalingą bangai sklisti per ją. Kai jį sužinome, galime nustatyti vidutinį impulso greitį, kuris priklausys nuo kelių veiksnių, tokių kaip medžiagos rūšis ar vandens buvimas porose.

Šiam metodui paprastai reikia nešiojamosios įrangos, kuri susideda iš elektros impulso generatoriaus, poros keitiklių kurie veikia 25 – 60 kHz dažnių diapazone, stiprintuvo ir elektroninio laiko nustatymo įtaiso, skirto matuoti laiko intervalą, einantį nuo impulso, atsirandančio per siunčiantį keitiklį, pradžios ir jo atvykimo į priimančią keitiklį pradžios [32][42].

Ultragarso impulso greitį išmatuoti yra trys būdai: tiesiogiai, pusiau tiesiogiai ir netiesiogiai (tame pačiame paviršiuje) (9 pav.) [34][42]. Tiesioginis perdavimas yra dažniausiai naudojamas, nes impulso amplitudė prieš pasiekdama keitiklį yra didžiausia. Tam reikia, kad keitiklis ir imtuvas būtų priešingose pusėse ir nukreipti vienas į kitą.

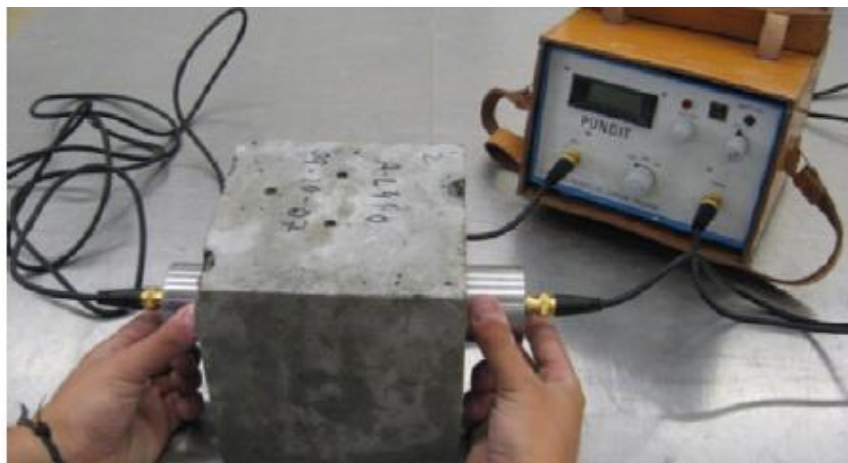


9 pav. Ultragarso bangos greičio matavimo padėtys: (a) tiesiogiai, (b) pusiau tiesiogiai, (c) netiesiogiai [42]

Testai pradedami, kai išilginių virpesių impulsą sukuria elektroakustinis daviklis, kuris liečiasi su vienu bandomo betono paviršiumi. Įveikus žinomą kelio ilgį betone, antrasis daviklis elektroninį virpesių impulsą paverčia elektriniu signalu (10 pav.) [42]. Ultragarso impulsas yra laikas, per kurį

impulsas praeina per sukietėjusią cemento pastą ir per užpildą. Praėjus per betoną, gaunamos vibracijos, kurios konvertuojamos elektroakustiniu keitikliu. Laikas tarp bangos įvesties ir išvesties matuojamas bent $0,1 \mu\text{s}$ tikslumu [37]. Užpildų tamprumo modulis labai skiriasi, taigi betonu sklindantis impulso greitis priklauso nuo faktinio užpildo elastingumo modulio ir nuo užpildo mišinyje.

Ultragarso impulso greitis betonu sklinda greičiau per vandens užpildytą tuštumą, negu užpildyti oru. Todėl betono drėgmė turi įtakos impulso greičiui [31].



10 pav. Ultragarso impulso bangos matavimas [37]

Ši tyrimo metodika ne visuomet patikima, kadangi yra labai daug kintamųjų, paveikiančių betono stiprumą, pavyzdžiui, vandens / cemento santykis, užpildo grūdėlio dydis ir tipas, formavimo būdas, mėginio dydis ir cemento rūšis [22][37].

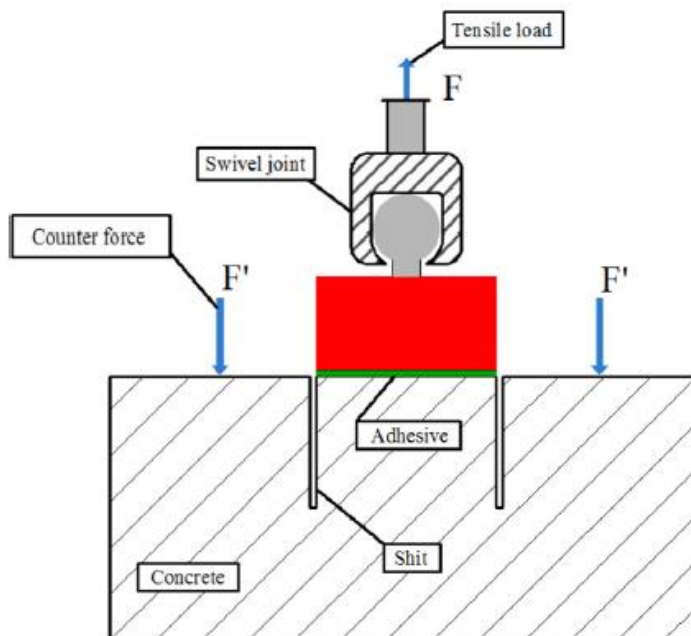
Pagrindinė problema yra ta, kad tos pačios charakteristikos, kurios veikia stiprumą (amžius, poringumas, sudėtis ir kietėjimas) taip pat veikia ir ultragarso bangos impulsą [22]. Koreliacija nėra paprasta ir priklauso nuo kelių veiksnių. Vienodo stiprumo betonas kartais turi skirtingus ultragarso impulso greičius. Šio metodo rezultatų interpretavimas yra sudėtingas būtent dėl šių skirtumų. Ultragarso vertinimas yra aukštos specializacijos ir ypatingo sudėtingumo veikla, kuriai atlikti reikia kruopštaus duomenų surinkimo ir ekspertinės analizės.

1.5.3. Atlėšimo jėgos nustatymas (*pull-off*)

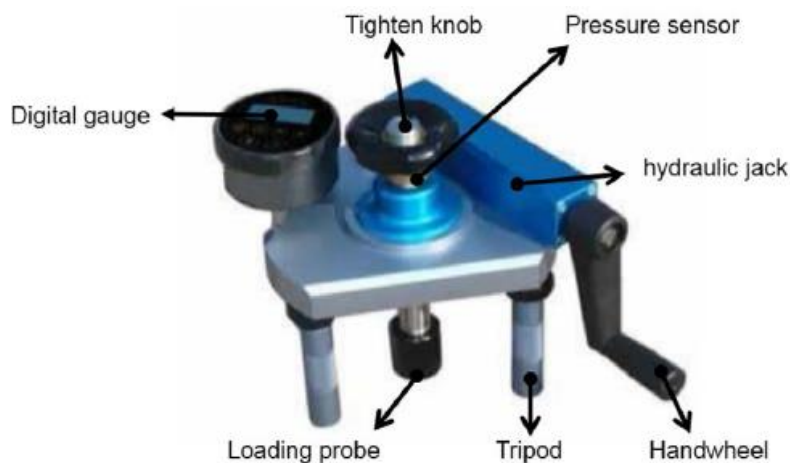
Klasikinis atplėšimo tyrimas rodo, kad betono stiprumas gniuždant didėja priklausomai nuo tempimo stiprumo [38]. Todėl atplėšimo testas gali būti naudojamas gniuždomajam stipriui įvertinti, išmatuojant betono paviršiaus tempiamąjį stiprį. Atlėšimo metodo įrankis (12 pav.) skirtas užtikrinti apkrovos koncentriškumą ir taip išmatuoti tikrąjį atsparumą tempimui.

Metodo principas (11 pav.): Atlėšimo tyrimo principas yra gana aiškus. Įrenginys pastatomas ant negiliai išgręžtos ir nepažeistos kernos testuojamo paviršiaus. Naudojamas savaiame susiderantis sukiojamasis šarnyras, siekiant sumažinti nesutapimo poveikį ir užtikrinti, kad išorinė jėga būtų lygiagreti dalinės šerdies ašiai. Kernos viršutinė ir šoninė dalys yra sujungtos su specialaus vamzdelio formos vidiniu paviršiumi. Plonas apskritas taurės formos vamzdelis yra naudojamas, siekiant sumažinti šerdies šoninę deformaciją apribojimui ir išlaikyti šerdies ašį statmenai betono paviršiumi,

kad ašinės apkrovos koncentrika būtų taikoma vienodai visame plote. Prieš pradėdant tyrimą, paviršių reikia nušveisti ir sutepti epoksidiniais klijais dėl kernos sukibimo su vidiniu įrenginio vamzdelio paviršiumi. Atliekant tyrimą jėga palaipsniui didėja tolstant nuo paviršiaus, o didžiausia jėga būna šerdies bandinio apačioje. Eiga turi vykti iš lėto, kad būtų kuo mažiau paveikta kerna. Kerna ištraukiama ašine kryptimi, kol silpniausioje pagrindo vietoje įvyksta lūžis. Šio tyrimo rezultatai nepriklauso nuo bandymo krypties, kernos skersmens, kernos gylio ar užpildo dydžio [38].



11 pav. Atplėšimo jėgos nustatymo tyrimas [38]



12 pav. Atplėšimo tyrimo prietaisas [38]

1.5.4. Ištraukimo jėgos nustatymas (*pull-out*)

Ištraukimo metodas paprastai taikomas norint patikimai išmatuoti faktinį betono stiprumą, daugiausia naujai išlietose konstrukcijose. Jis yra patikimas įvertinant gniuždomąjį stiprį. Šis testas daro nedidelę žalą betono paviršiui, todėl nekenkia konstrukcijų savybėms.

Metodo principas: Plieninis diskas (25 mm skersmens) 25 mm gylyje įliejamas į betoną, arba prieš klojant betoną pritvirtinant jį prie klojinio, arba rankiniu būdu įdedant į nesustingusį betoną (13 pav.). Praktikoje intarpo ašis yra šiek tiek pasvirusi paviršiaus atžvilgiu. Sukietėjus betonui plieninis diskas pritraukiamas prie 55 mm skersmens slėginio žiedo, esančio paviršiuje, ir išmatuojama jėga, reikalinga norint ištraukti intarpą. Medžiaga, esanti tarp disko ir priešpriešinio slėginio žiedo, yra priklausoma nuo kompleksinio įtempimo modelio [31][39].

Ištraukimo jėga yra stipriai susijusi su gniuždymo jėga. Skirtingai nuo gniuždymo testo, šio metodo apkrovos greitis negali būti pastovus, nes jį valdo hidraulinis kėliklis, valdomas žmogaus ranka, taigi apkrovos greitis yra maždaug $0,5 \pm 0,2$ kN/s [39]. Ištraukiant intarpą, išgaunamas kūginis medžiagos fragmentas. Gniuždymo jėgą galima įvertinti pagal nustatytas kalibravimo kreives.

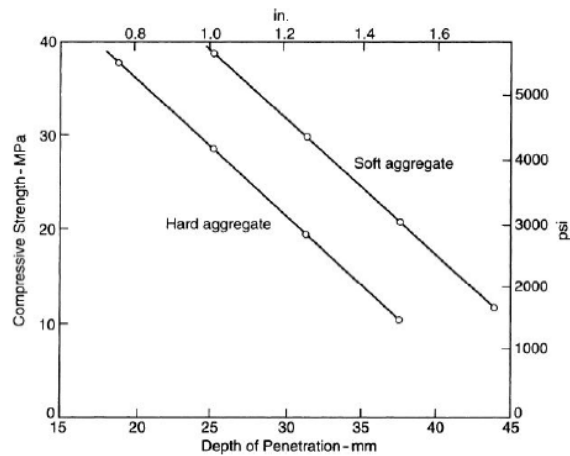
Tokio metodo pranašumas yra tas, kad iškart gaunami duomenys apie betono stiprumą ir nereikia gręžti kernų. Šis būdas sutaupo laiko ir išteklių. Ištraukimo bandymas paprastai atliekamas siekiant patikimai išmatuoti tikrąjį betono stiprumą.



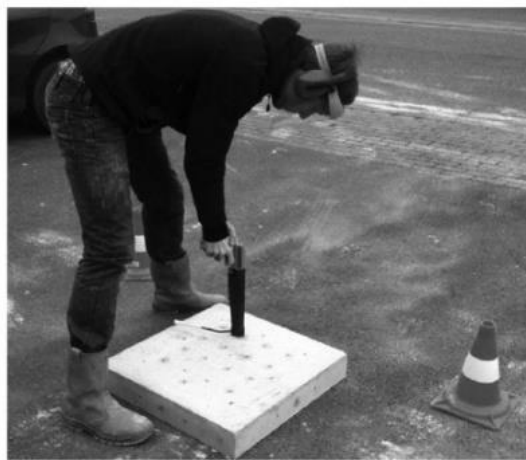
13 pav. Ištraukimo jėgos nustatymo principas [39]

1.5.5. Įskverbties metodas

Betono atsparumo įsiskverbimui nustatymas su plieniniu strypu arba zondų varomu fiksuotu energijos kiekiu (15 pav.) gali būti panaudotas gniuždomajam stipriui betone nustatyti. Pagrindinis principas yra tas, kad standartinėmis bandymo sąlygomis prasiskverbimo gylis yra atvirkščiai proporcingas betono gniuždymo stipriui [31]. Teorine prasme, tai nebuvo nustatyta. Santykis tarp stiprumo ir įsiskverbimo gylio priklauso nuo užpildo stiprumo, nes grubaus užpildo dalys tampa suskaidytos, priešingai negu gniuždymo presu bandyme. Kitaip tariant, švelnus užpildas leidžia geriau įsiskverbti negu kietas užpildas (14 pav.) [21], tuo tarpu gniuždomajam stipriui neturi įtakos. Taigi bet kokie betono bandymai turi būti atliekami naudojant įsiskverbimo metodą ir taip pat gniuždymą. Yra tam tikrų sunkumų, to paties bandinio nebegalima naudoti gniuždomojo stiprio metodui atlikti, prieš tai atlikus įsiskverbimo metodą, nes įsiskverbimo metodas susilpnina bandinį.



14 pav. Skirtumas tarp grubaus ir švelnaus užpildo atliekant įskverbties tyrimą [31]



15 pav. Įskverbties nustatymas [21]

1.5.6. Kernų gręžimas

Prieš gręžiant kernas reikia apsvarstyti visas struktūrines pasekmes, kylančias dėl kerno paėmimo. Kernos turėtų būti imamos vietose, esančiose toliau nuo betoninio elemento jungčių ar kraštų ir ten, kur armatūros yra nedaug arba jos nėra [43]. Norint išvengti armatūros reikia gręžti pakankamo ilgio kerną ir pašalinti tą dalį, kurioje yra armatūra (suprantama, jeigu likusi dalis yra pakankamo ilgio diametro santykiui). Taip pat atkreipti dėmesį į užpildo dydį, kuris turi didelę įtaką išmatuotam stiprumui, kai kerno skersmens ir didžiausio užpildo dydžio santykis yra mažesnis už 3. Prieš gręžiant kerną, reikia pasirinkti jos matmenis (skersmenį ir ilgį) ir norimą ilgį, ir skersmens santykį (L/D).

Kernos mėginys iš konstrukcinio elemento išgaunamas naudojant gręžimo įrankį (16 pav.). Kadangi bet koks judesys gręžimo metu gali sugadinti kerną, būtina įrenginį tvirtai pritvirtinti prie betono elemento. Gręžtuvą paprastai reikia sutepti arba atvėsinti vandeniu [23].



16 pav. Kernų gręžimo įrankis [23]

1.5.7. Kernų vizualus testavimas

Laboratorijoje reikia vizualiai ištirti kernas, kad būtų galima patikrinti jų būklę ir turėti informacijos, kuri galėtų padėti vėliau suprasti gniuždymo testo metu išgautą kernos stiprumą. Vizuali apžiūra gali suteikti informacijos apie: užpildo dydį ir formą, ertmių buvimą, karbonizacijos gylį, plyšių atsiradimą ir jų gylį bei plotį, armatūros buvimą, gręžimo pažeidimus ar defektus ir visus bandinio nukrypimus [23]. Išmatuotam šerdies stiprumo vertinimui naudingas gali būti ir vidutinis kernos tankio apskaičiavimas.

1.5.8. Gniuždymas presu

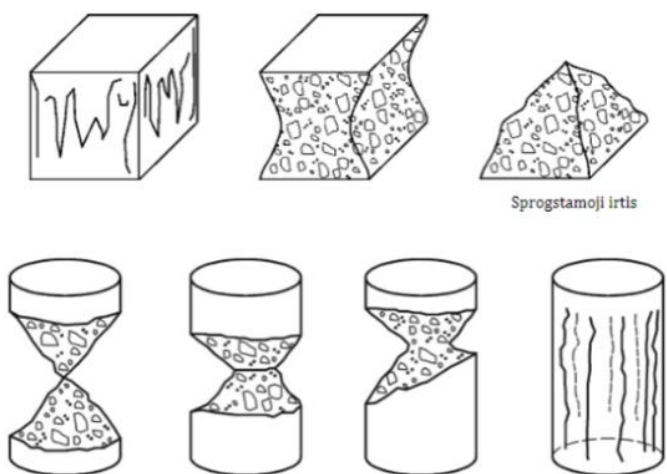
Betono stipris gniuždant yra bendra charakteristika, naudojama projektuojant betonines konstrukcijas. Betono gniuždymas presu dažnai laikomas ekonomiškiausiu ir patikimiausiu sprendimu. Yra du skirtingi betono pavyzdžių tipai (kubo ir cilindro formos) betono gniuždomajam stipriui nustatyti, kurie turi atitikti LST EN 12390 – 1:2012 standarto reikalavimus [40].

Prieš atliekant gniuždymą presu (17 pav.), kiekvienas bandinys turi būti paruoštas nupjaunant jo galus, kad jis būtų tinkamo ilgio, plokščių galų ir statmenas išilginei kernos ašiai. Jeigu mėginys ne plokščiais galais ir nestatmenas, jį reikia paruošti šlifuojuojant ir uždenkti galus. Pjaunant mėginį reikia naudoti vandenį pjūklo vėsinimui. Taigi šis vanduo keičia šerdies drėgmės būklę (palyginti su pradine drėgme struktūroje). Išmatuotas prisotintos šerdies stiprumas yra 10 – 15 % mažesnis palyginus su sauso mėginio stiprumu (Bungey, et al., 2006). Nėra standartinio metodo, užtikrinančio identišką drėgmę tarp šerdies gniuždymo testo metu ir konstrukcijos. Stiprumo bandymo rezultatams, gali turėti įtakos bandinio dydis, gaminio paviršiaus paruošimas, betono kietumas, preso standumas ir priemaišų tipas.

Paruošus bandinius išmatuojama šerdis (skersmuo ir ilgis), kad šiuos matmenis būtų galima panaudoti skaičiuojant L/D santykį ir šerdies skerspjūvio plotą [23]. Atliekant gniuždymą reikia bandinį ant apatinės plokštės sucentruoti 1 % nurodytojo kubinių bandinių dydžio arba nurodytojo cilindrinų bandinių skersmens tikslumu. Gniuždymas atliekamas iki bandinio irties būsenos. Bandymai atlikti tinkamai, jeigu atitinka 18 paveiksle nurodytas irties būsenas. Užrašoma didžiausia rodoma apkrova kN [44].



17 pav. Gniuždymo jėgos nustatymas [20]



18 pav. Tinkamos bandinių irtys [44]

2. Tyrimo metodologija

2.1. Tiriamieji bandiniai ir jų betono mišinio sudėtis

Magistrinio darbo tyrime buvo parinkti keturių tipų kompozicinės kolonos fragmentai. Bandinių diametrai ir aukščiai parodytas 1 lentelėje.

1 lentelė. Kompozicinių kolonų fragmentai

Kompozicinės kolonos fragmento Nr.	Diametras, mm	Aukštis, mm
Nr.1	390	815
Nr.2	310	650
Nr.3	235	490
Nr.4	305	975

Kompozicinių kolonų fragmentai Nr.1, Nr.2 ir Nr.3 buvo suformuoti naudojant LST EN 206 – C30/37 – XC1 – C10,20 – D_{max}16 – S3 betono mišinį ir lieti per 2 kartus. Papildomas kompozicinės kolonos fragmentas Nr.4 buvo suformuotas naudojant LST EN 206 – C35/45 – XC1 – C10,20 – D_{max}16 – S3 betono mišinį, ir lietas per 3 kartus. Betono mišinio sudėtys pateiktos 2 – 3 lentelėse. Tyrimo esmė, kad galima betono mišinio sklaida, pasiskirstymai liejant.

2 lentelė. LST EN 206 – C30/37 – XC1 – C10,20 – D_{max}16 – S3 betono mišinio sudėtis

Cementas:	CEM I 42,5R cementas
Užpildai:	Smėlis fr. 0/4 mm
	Granito skalda fr. 5/16 mm
Superplastiklis:	0,5 % sikamentas 56

3 lentelė. LST EN 206 – C35/45 – XC1 – C10,20 – D_{max}16 – S3 betono mišinio sudėtis

Cementas:	CEM I 42,5R cementas
Užpildai:	Smėlis fr. 0/4 mm
	Granito skalda fr. 5/16 mm
Superplastiklis:	0,6 % sikamentas 56

2.2. Ultragarso impulso bangos greičio tyrimas kompozicinės kolonos fragmentams

Ultragarso impulso bangų tyrime naudota įranga buvo nešiojamasis ultragarsinis neardomasis skaitmeninis testeris (19 pav.). Šio tyrimo esmė, nustatyti betono kokybę plieniniame vamzdyje nepaliekant jokių nepataisomų padarinių kompozicinės kolonos fragmentui. Ultragarso impulso bangų matavimai buvo atliekami per plieninę betono sienelę norint įsitikinti ar įmanomas bangos sklaidimas per plieną kartu apimant ir betoną. Eksperimentinis tyrimas parodytas 20 paveiksle.

Atlikus ultragarso impulso bangų matavimą keliems kompozicinės kolonos fragmentams, buvo

nustatyta, kad išmatuoti ultragarso impulso bangas per dvi skirtingas medžiagas (plieną ir betoną) neįmanoma. Testeris rodo tokį patį išmatuotą ultragarso bangos impulsą, kad ir kokioje pozicijoje būtų keitiklių padėtis bei atstumas.



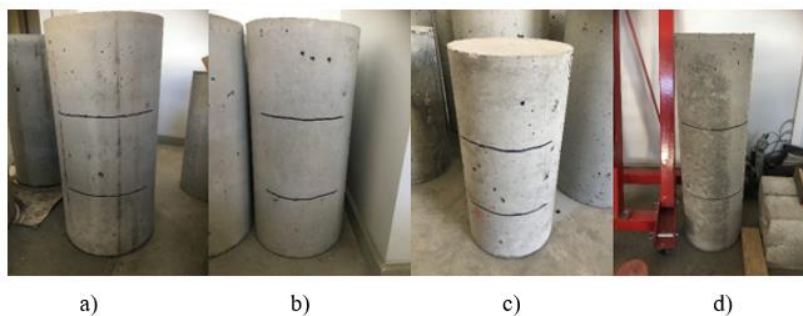
19 pav. Nešiojamasis ultragarsinis neardomasis skaitmeninis testeris



20 pav. Ultragarso impulso bangų matavimas

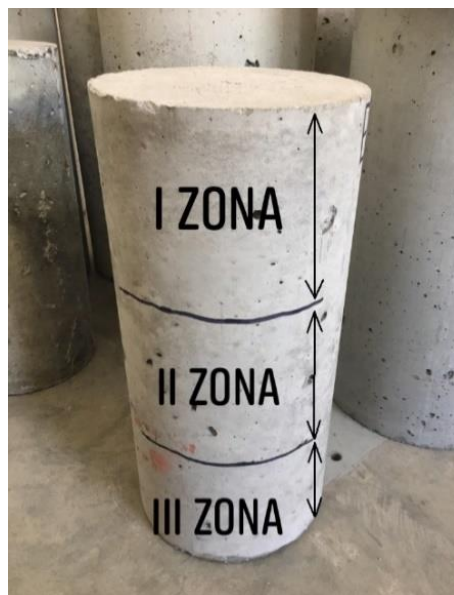
2.3. Ultragarso impulso bangos greičio nustatymas betoninėms kolonom.

Nustačius, kad ultragarso bangos impulsas per dvi skirtingas medžiagas (plieną ir betoną) neįmanomas, tyrimas atliekamas kompozicinėms kolonom be plieninio vamzdžio. Keturi tyrimo objektai (Nr.1, Nr.2, Nr.3 ir Nr.4) paruošiami tolimesniems ultragarso impulso bangų matavimams t. y., nupjaunamas ir nuimamas plieninis vamzdis ir paliekama tik betoninė kolona (21 pav.).



21 pav. Keturios betoninės kolonos. a) Nr.1, b) Nr.2, c) Nr.3, d) Nr.4.

Kaip parodyta 22 paveiksle, kiekviena betoninė kolona yra padalinta į tris bandymo zonas. Bandymo zonos intervalas yra paskirstomas nuo bandinio viršaus iki dugno: Nr.1 – 27/27,5/27 mm, Nr.2 – 22/21/22 mm, Nr.3 – 16/17/16 mm, Nr.4 – 32,5/32,5/32,5 mm. Padalinimo į zonas esmė parodyti formavimo etapus, kadangi kaip ir minėta buvo anksčiau kompozicinės kolonos fragmentai buvo suformuoti per 2 kartus. Tik bandinys Nr.4 formuotas per 3 kartus, tačiau irgi padalintas į tris zonas.



22 pav. Kolonos padalinimas į tris bandymo zonas

Prieš atlikdami tyrimą ir dedant keitiklius ant betoninės kolonos paviršiaus, buvo pirmiausiai nuvalomos paviršiuje prilipusios dulkės, kad palaikyti kontaktinį paviršių visiškai švarų. Taikant tinkamą vazeliną, daviklių paviršius buvo sutepamas norint užtikrinti tikslesnį išmatavimą. Matuojant ultragarso bangos impulsą keitikliai buvo dedami priešingose kolonos pusėse, statmenai betono liejimo kryptims (tiesioginis perdavimas) (23 pav.). Kiekvienam iš 4 bandinių buvo atliekami 3 matavimai, kiekvienoje zonoje (viršuje, viduryje ir apačioje). Matavimai atlikti skirtingose zonos, norint išanalizuoti betono kokybę priklausomai nuo formavimo per visą kolonos ilgį. Tyrimas parodys kurios kompozicinės kolonos vietos yra struktūriškai silpnesnės. Matavimai buvo atlikti remiantis LST EN 12504 – 4:2004 standarto reikalavimais.



23 pav. Ultragarso impulso bangos tyrimas kolonomis dedant keitiklius priešingose kolonos pusėse

Išmatavus visus bandinius surašomos gautos ultragarso impulso bangos trukmės. Turint ultragarso impulso bangos trukmę ir esant žinomam atstumui tarp dviejų keitiklių apskaičiuojamas ultragarso impulso bangos greitis pagal (1) formulę:

$$v = \frac{l}{t}; \quad (1)$$

čia:

v – Ultragarso bangos impulso greitis, m/s;

l – Bandinio skerspjūvio plotas, m;

t – signalo atvykimo laikas, s.

Gavus ultragarso impulso bangos greičius apskaičiuojamas stipris gniuždant pagal (2) formulę:

$$R = 0,016 * v - 27,3; \quad (2)$$

čia:

R – Gniuždymo stipris, MPa;

v – Ultragarso bangos impulso greitis, m/s;

2.4. Gniuždomojo stiprio nustatymas sklerometru betoninėms kolonoms.

Betoninėms kolonoms buvo atliktas – gniuždomojo stiprio nustatymas. Tyrime buvo naudotas “Proceq” šmidto plaktukas (24 pav.). Ši tyrimo metodika parodo, koks yra betono paviršiaus stipris.

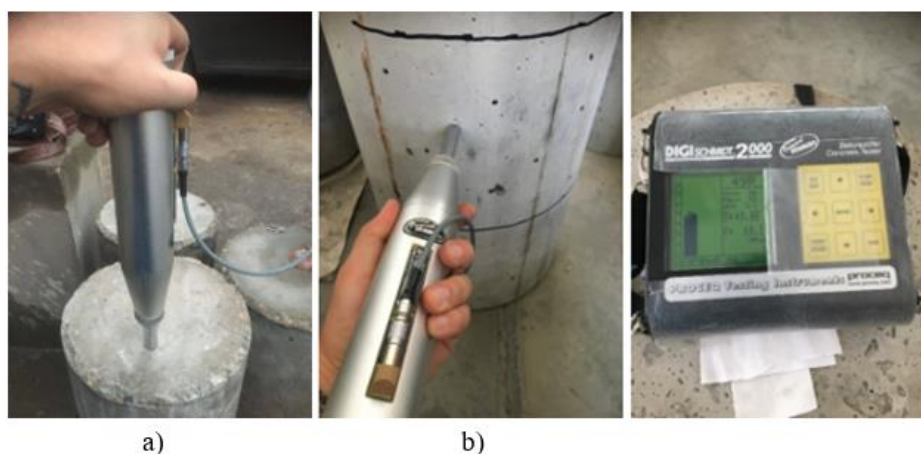


24 pav. “Proceq” šmidto plaktukas

Prieš atliekant tamprus atšokimo tyrimą betoninei kolonai buvo sužymėti taškai (ne arčiau negu 250 mm vienas nuo kito), kuriuose bus atliekami matavimai. Taškai buvo parenkami lygiose ir be oro ertmių susidariusiose vietose. Kolonos viršuje ir dugne išlaikyti 250mm atstumą tarp taškų buvo

neįmanoma, dėl per mažo kolonos skersmens, todėl buvo bandoma atstumą išlaikyti 50 – 100 mm. Atliekant matavimus šmidto plaktukas buvo naudojamas horizontalioje padėtyje norint įvertinti betono mišinio paviršiaus stiprį kolonos šoninėse zonose (viršus, vidurys, apačia) ir vertikalioje padėtyje norint įvertinti stiprį kolonos viršaus ir dugno plokštumose (25 pav.). Visą matavimo laiką plaktuko ašis buvo statmena betoninės kolonos paviršiui. Kiekvienoje bandinio zonoje, tiek viršuje ir dugne buvo atlikti 9 matavimai. Matavimai buvo atliekami remiantis LST EN 12504 – 2:2012 standarto nurodytais.

Atlikus matavimus buvo užregistruojami gauti betono paviršiaus stipriai.



25 pav. Gniuždomojo stiprio nustatymas šmidto plaktuku: a) vertikali padėtis, b) horizontali padėtis

2.5. Kernų gręžimas ir jų supjovimas į bandinius

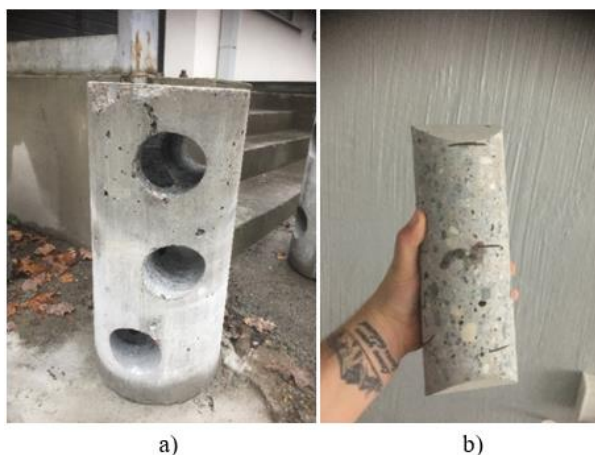
Betoninėms kolonoms buvo atliktas kernų gręžimas. Šis tyrimas reikalingas, įvertinti stiprį dar tiksliau, nes vien neardomųjų metodikų neužtenka pilnai nustatyti betono kokybę. Norint gauti kerną iš betoninės kolonos, buvo naudojamas kernos gręžimo įrenginys „Rems Picus S3“, parodytas 26 paveiksle.



26 pav. „Rems Picus S3“ kernų gręžimo įrenginys.

Prieš atliekant gręžimą visos betoninės kolonos su kranu iš patalpos buvo perkeliamos į lauką. Kolonose sužymimos vietos kuriose bus gręžiamos kernos. Sužymėjimo esmė, kad gręžiant naują kerną būtų išvengtas susidūrimas su esama išgręžtos kernos skylė. Atliekant gręžimą, gręžimo įrenginys tvirtai pritvirtinamas prie pagalbinės betoninės plokštės ir sureguliuojamas aukštis bei padėtis.

Iš betoninių kolonų (Nr.1, Nr.2, Nr.4) buvo išgręžti 5 kernai t. y, viena iš bandinio viršaus, viena iš dugno ir po vieną iš trijų zonų šono (viršus, vidurys, apačia). Iš bandinio Nr.3 buvo galima išgręžti tik vieną kerną išilgai, dėl kolonos mažo aukščio ir skersmens. Gręžiant buvo vadovaujama LST EN 12504 – 1:2019 standarto nurodymais. Išgręžtos kernos skersmuo ~ 100 mm, o gręžiamos kernos ilgis priklausomai nuo kolonos diametro ir kolonos ilgio. Buvo stengiamasi išgręžti kiaurai koloną (27 pav. a).



27 pav. a) vaizdas išgręžtos kolonos, b) išgręžta kerna

Gavus cilindro formos kernas iš betoninių kolonų (27pav. b), kernos buvo atitinkamai sužymėtos pagal tai iš kurios kolonos buvo išgręžtos. Vizualiai apžiūrimos ir įvertinama pirminė betono kokybė t. y., ar nėra susidariusių porų.

Atlikus vizualią apžiūrą atitinkamai kernos betono pjovimo staklių pagalba yra supjaustomos (29 pav.) į mažesnius 100 mm aukščio bandinius (30 pav.) ir atitinkamai sužymimos. Bandiniai yra supjaustomi laikantis LST EN 12390 – 1:2012 standarto nurodymais.



29 pav. Kernų pjaustymas betono pjovimo staklėmis



30 pav. Cilindro formos kernos 100x100mm

2.6. Ultragarso impulso bangos greičio nustatymas kernoms

Supjautoms kernoms atliekamas ultragarso impulso tyrimas. Kadangi bandiniai maži, ~100 mm skersmens ir ~100 mm aukščio, buvo galima išmatuoti ultragarso impulsą tiek pridėjus keitiklius kolonos liejimo kryptimi (31 pav.), tiek statmenai liejimo kryptčiai (32 pav.).

Prieš atliekant tyrimą, nuvalomas bandinių paviršius nuo nešvarumų atsiradusių pjovimo metu ir tinkamu vazelinu sutepami įrenginio keitikliai. Atliekant ultragarso impulso bangos matavimus dedami keitikliai priešingose bandinio pusėse ir dedami bandinio viršuje ir dugne.



31 pav. Ultragarso impulso bangos matavimas dedant keitiklius kolonos liejimo kryptimi



32 pav. Ultragarso impulso bangos matavimas dedant keitiklius statmenai liejimo kryptčiai

Surašomos gautos ultragarso impulso bangos trukmės ir apskaičiuojami ultragarso impulso bangos greičiai (1) formulė. Gavus ultragarso impulso bangos greičius taip pat apskaičiuojamas gniuždymo stipris (2) formulė.

2.7. Gniuždomojo stiprio kernoms nustatymas

Bandiniai buvo padalinami į dvi grupes. Dalis pasikartojančių bandinių (iš tos pačios kolonos zonos) buvo priskirti gniuždomajam stipriui nustatyti, o kita dalis bandinių priskirti vandens įgeriamumo tyrimui.

Pirmai grupei bandinių buvo atliktas gniuždomojo stiprio nustatymo tyrimas. Bandiniai tiksliai išmatuojami (diametras, aukštis) (33 pav. a) ir pasveriami (33 pav. b). Gauti duomenys užregistruojami ir apskaičiuojamas tankis pagal (3) formulę:

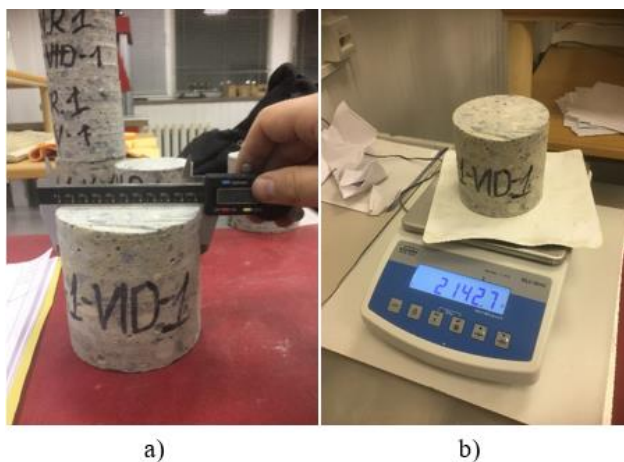
$$\rho = \frac{m}{V}; \quad (3)$$

čia:

ρ – Tankis, kg/m³;

m – Masė, kg;

V – Tūris, m³.



33 pav. a) kerno aukščio ir diametro matavimai, b) kerno svėrimas.

Gniuždymas atliekamas hidrauliniu „Pilot“ presu (34 pav.), kuris atitinka LST EN 12390 – 4:2019 standarto reikalavimus. Atliekant tyrimą tarp kerno ir presu plokščių nenaudojama jokių pagalbinių intarpų, bei reguliavimo plokščių. Cilindro formos bandiniai buvo tiksliai išcentruoti. Atliekant tyrimą presu bandinys buvo gniuždomas palaipsniui tol, kol pasiekia maksimalią ardomoją jėgą ir suyra (35 pav.). Gniuždymo įrangos skaitmeniniame ekrane gaunama didžiausia maksimali ardomoji jėga. Bandymai atlikti remiantis LST EN 13791:2019 ir LST EN 12390 – 3:2019 standarto reikalavimais. Gauti duomenys užrašomi ir apskaičiuojamas gniuždymo stipris pagal (4) formulę:



34 pav. Hidraulinis presas Controls “PILOT4”



35 pav. Bandinio suirties būseną

$$f_c = \frac{F}{A_c}; \quad (4)$$

čia:

f_c – Gniuždomasis stipris, MPa (N/mm²);

F – Didžiausia ardomoji apkrova, N;

A_c – Skerspjūvio plotas, mm².

2.8. Vandens įgeriamumo ir poringumo nustatymas

Antra grupė bandinių yra ruošiami vandens įgeriamumo ir poringumo tyrimui. Bandiniai suskaldyti į 2 (36 pav.) ar 3 dalis. Perskeltos bandinių dalys vieliniu šepečiu nuvalomos nuo dulkių ar kitų nešvarumų. Įtrūkusios vietos pašalinamos, nes jos gali duoti netikslumų skaičiuojant poringumą.



36 pav. Kernų suskaldymas į 2 dalis

Paruošti bandiniai sudedami į džiovinimo krosnelę (37 pav.), kad pašalinti kapiliarinį vandenį iš mėginių, išdžiovinus juos $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ temperatūroje. Gaminiai džiovinami 3 paras. Jokios specifinės kaitinimo normos nebuvo naudojamos džiovinimo metu (buvo atliekamas tiesioginis džiovinimas). Praėjus 3 paroms esant tokiai temperatūrai, visas fiziškai sujungtas kapiliarinis vanduo betone išgaravo. Prieš išimant bandinius jie buvo palikti atvėsti 2 – 3 val. Atvėsinti bandiniai buvo pasverti. Mėginių masė buvo matuojama naudojant 0,01 g tikslumo svėrimo svarstyklės. Pasverti sausi bandiniai buvo dedami į indą su vandeniu ir mirkomi (38 pav.). Po 15 min, 45 min ir 24 val., 72val (pilnas įgėris) bandiniai buvo išimami, nuvalomi ir pasveriami jų masė (39 pav.). Taip pat svėrimai buvo atliekami ir pačiame vandenyje. Betono poringumas buvo įvertintas išmatuojant bendrą vandens kiekį, kurį betonas pasisavina per tam tikrą laiko tarpą. Gauti duomenys surašomi apskaičiuojamas bandinių vandens įgėris remiantis GOST 12730.4 pateiktomis formulėmis.



37 pav. Džiovinimo krosnelė su bandiniais



38 pav. Bandiniai sudėti į indą su vandeniu ir mirkomi



39 pav. Bandinių svėrimas: a) vandenyje, b) ore

Masinis vandens įgėris:

$$Wp = \frac{m_{72} - m_s}{m_s} * 100\%; \quad (5)$$

čia:

Wp – Masinis vandens įgėris, %;

m_{72} – bandinio masė įmirkyto 72val, g;

m_s – sauso bandinio masė, g.

Paprastasis tankis:

$$\rho = \frac{m_s}{m_{72} - m_v} * 1000; \quad (6)$$

čia:

ρ – Paprastasis tankis, kg/m³;

m_s – sauso bandinio masė, g;

m_{72} – bandinio masė įmirkyto 72val, g;

m_v – bandinio masė vandenyje, g.

Tūrinis vandens įgėris:

$$W_{p(t)} = \frac{W_p * \rho}{1000}; \quad (7)$$

čia:

$W_{p(t)}$ – Tūrinis vandens įgėris %;

Wp – Masinis vandens įgėris, %;

ρ – Paprastasis tankis, kg/m^3 ;

Masinis vandens įgėris po 15min:

$$W_{t1} = \frac{m_{15} - m_s}{m_s} * 100\%; \quad (8)$$

čia:

W_{t1} – Masinis vandens įgėris po 15min, %;

m_{15} – bandinio masė įmirkyto 15min, g;

m_s – sauso bandinio masė, g.

Masinis vandens įgėris po 45min:

$$W_{t2} = \frac{m_{45} - m_s}{m_s} * 100\%; \quad (9)$$

čia:

W_{t2} – Masinis vandens įgėris po 45min, %;

m_{45} – bandinio masė įmirkyto 45min, g;

m_s – sauso bandinio masė, g.

Masinis vandens įgėris po 24val:

$$W_{t3} = \frac{m_{24} - m_s}{m_s} * 100\%; \quad (10)$$

čia:

W_{t3} – Masinis vandens įgėris po 24val, %;

m_{24} – bandinio masė įmirkyto 24val, g;

m_s – sauso bandinio masė, g.

Pilno masinio vandens įgėrio ir masinio vandens įgėrio po 15min santykis:

$$W'_{t1} = \frac{W_{t1}}{W_p}; \quad (11)$$

čia:

W'_{t1} – Santykis tarp pilno ir po 15min masinio vandens įgerio;

W_{t1} – Masinis vandens įgėris po 15min, %;

W_p – Masinis vandens įgėris, %.

Pilno masinio vandens įgėrio ir masinis vandens įgėrio po 45min santykis:

$$W'_{t2} = \frac{W_{t2}}{W_p}; \quad (12)$$

čia:

W'_{t2} – Santykis tarp pilno ir po 45min masinio vandens įgerio;

W_{t2} – Masinis vandens įgėris po 45min, %;

W_p – Masinis vandens įgėris, %.

Pagal GOST 12730.4 pateiktas diagramas buvo rasti: α – porų vienodumo rodiklis, ir λ^1 – porų pasiskirstymas pagal dydį rodiklis.

Vidutinių porų dydžių rodiklis:

$$\lambda = \lambda^1 \alpha; \quad (13)$$

čia:

λ – Vidutinių porų dydžių rodiklis;

λ^1 – porų pasiskirstymas pagal dydį;

α – porų vienodumo rodiklis.

Bendras poringumas:

$$P = \left(\left(1 - \frac{\rho}{2690} \right) \right) * 100; \quad (14)$$

čia:

P – Bendras poringumas %;

ρ – Paprastasis tankis, kg/m^3 .

Atviras poringumas:

$$P_a = W_{p(t)}; \quad (15)$$

čia:

P_a – Atviras poringumas, %;

$W_{p(t)}$ – Tūrinis vandens įgėris %;

Uždaras poringumas:

$$P_u = P - P_a; \quad (16)$$

čia:

P_u – Uždaras poringumas, %;

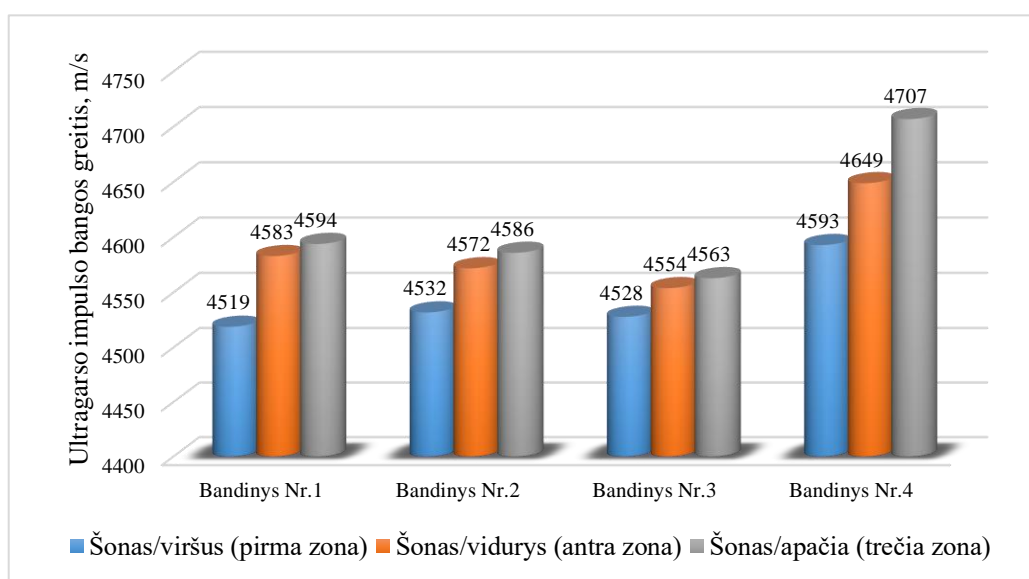
P – Bendras poringumas, %;

P_a – Atviras poringumas, %.

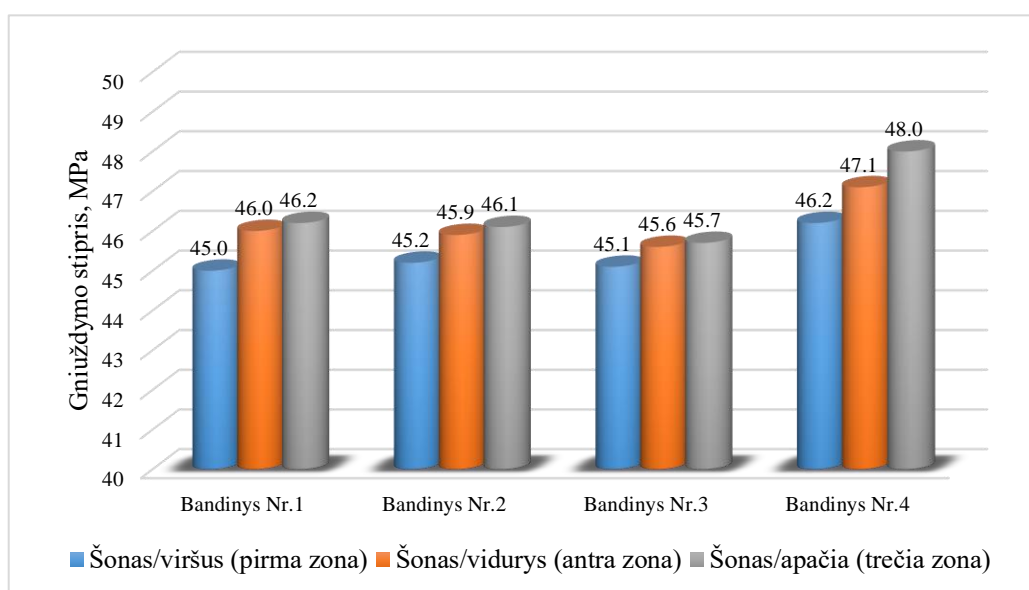
3. Rezultatai

3.1. Betoninėms kolonoms gauti ultragarso impulso bangos greičių rezultatai.

Tyrimo metu 4 bandiniams (betoninėms kolonoms) buvo atlikti iš viso 12 ultragarso impulso bangos matavimų atrenkant po vieną matavimą iš kiekvienos kolonos zonos. Matavimo metu buvo nustatyta ultragarso impulso bangos trukmė ir apskaičiuojamas greitis bei gniuždymo stipris. Ultragarso impulso bangos greičiai svyruoja nuo 4519 m/s iki 4707 m/s (40 pav.), o gniuždymo stipriai svyruoja nuo 45 MPa iki 48 MPa (41 pav.). Nustatyta, kad mažiausi ultragarso impulso bangos greičiai ir gniuždymo stipriai kolonos viršuje (pirmoje zonoje). Didžiausi greičiai ir stipriai gauti kolonos apačioje (trečia zona). Mažesnis ultragarso impulso bangos greitis ir gniuždymo stipris rodo, kad betonas yra prastesnės kokybės. Betono kokybė prastėja, didėjant aukščiui link kolonos viršaus.



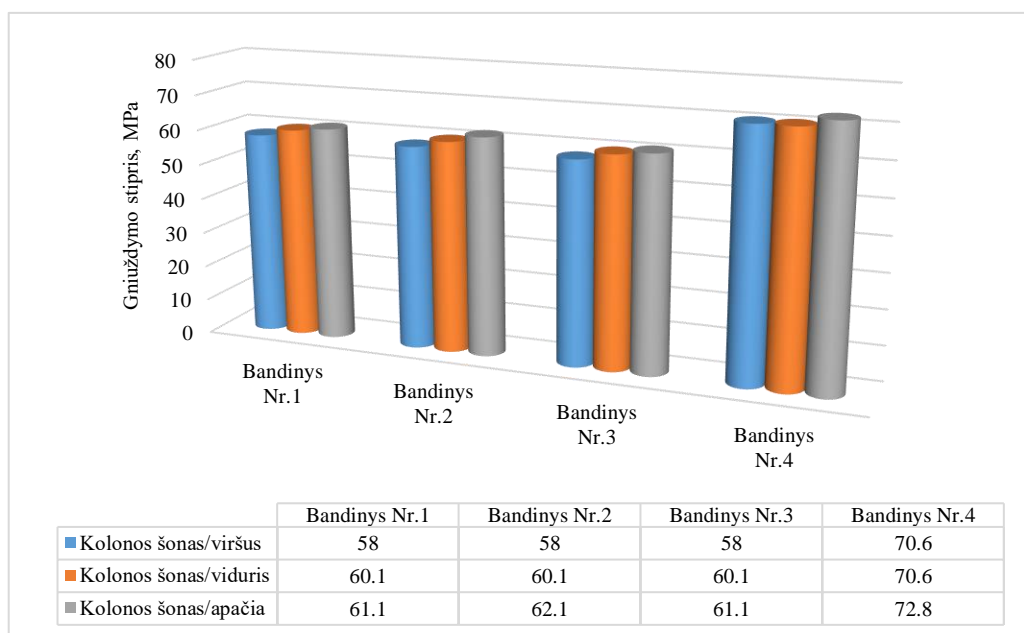
40 pav. Betoninių kolonų ultragarso impulso bangos greičių gauti rezultatai



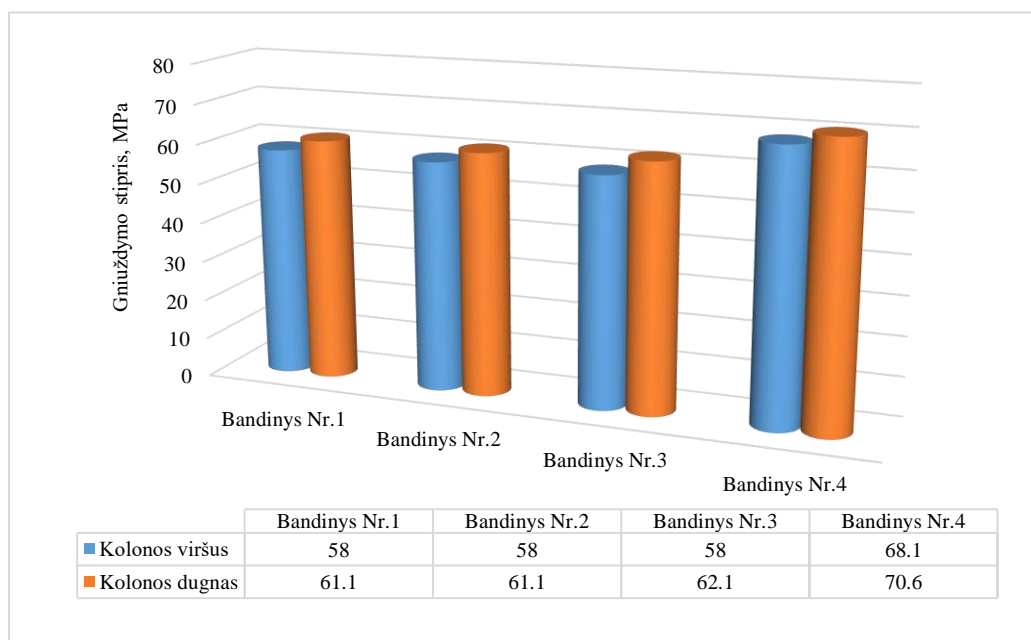
41 pav. Betoninių kolonų gniuždomojo stiprio apskaičiuoto pagal gautus ultragarso impulso greičius rezultatai

3.2. Betoninėms kolonomis sklerometru gauti gniuždymo stiprio rezultatai

Tyrimo metu matavimai buvo atliekami betono mišinio liejimo kryptimi ir statmenai betono liejimo kryptims. Kiekvienoje kolonos zonoje buvo atlikti 9 matavimai. Matavimo metu buvo gautos betono stiprumo reikšmės. Pagal gautus rezultatus buvo nustatytos vidutinės stiprumo vertės. Betono stipriai skirtingose betoninių kolonų vietose pateikiamos 42 paveiksle, statmenai betono mišinio liejimo kryptimi pateikiami 43 paveiksle. Betono mišinio stiprumo vertės svyruoja nuo 58 MPa iki 72,8 MPa. Mažesnės stiprumo vertės gautos kolonos viršutinėje padėtyje (pirma zona), o didesnės vertės gautos kolonos apatinėje dalyje (trečia zona).



42 pav. Gniuždomo stiprio sklerometru nustatymo statmenai liejimo kryptims gauti rezultatai



43 pav. Gniuždomo stiprio sklerometru nustatymo liejimo kryptimi gauti rezultatai

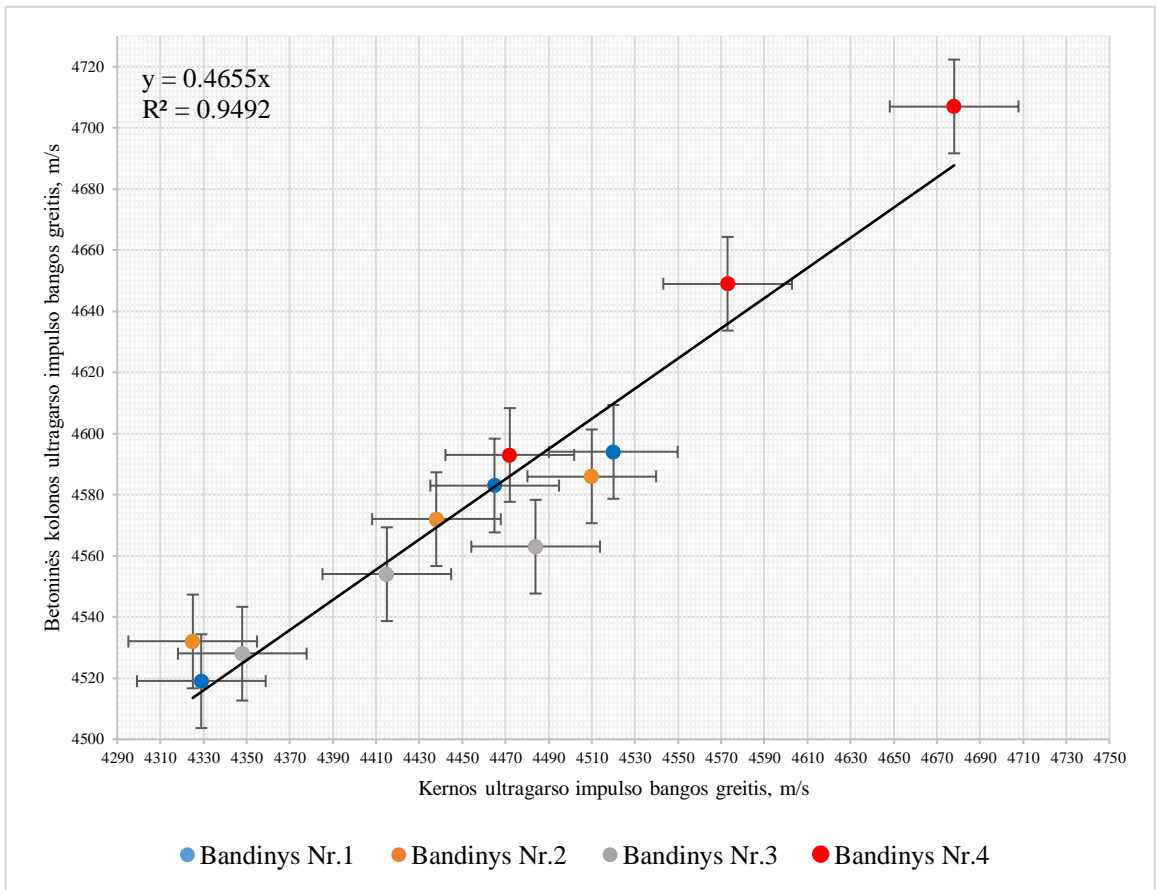
3.3. Kernoms gauti ultragarso impulso bangos greičių ir gniuždymo stiprių rezultatai

Tyrimo metu išgręžtoms ir supjautoms kernoms buvo atlikti ultragarso impulso bangos matavimai betono mišinio liejimo kryptimi ir statmenai liejimo kryptčiai. Iš viso vienai kernai buvo atlikti 2 matavimai. Matavimo metu buvo gautos ultragarso impulso bangos trukmės ir apskaičiuoti greičiai bei gniuždymo stipriai kaip ir ankstesniame betoninės kolonos ultragarso impulso bangos tyrime. Iš rezultatų galime pastebėti, kad ultragarso impulso bangos greičiai ir gniuždymo stipriai matuojant kernas mažesni negu buvo gauti matuojant betonines kolonas (4 lentelė).

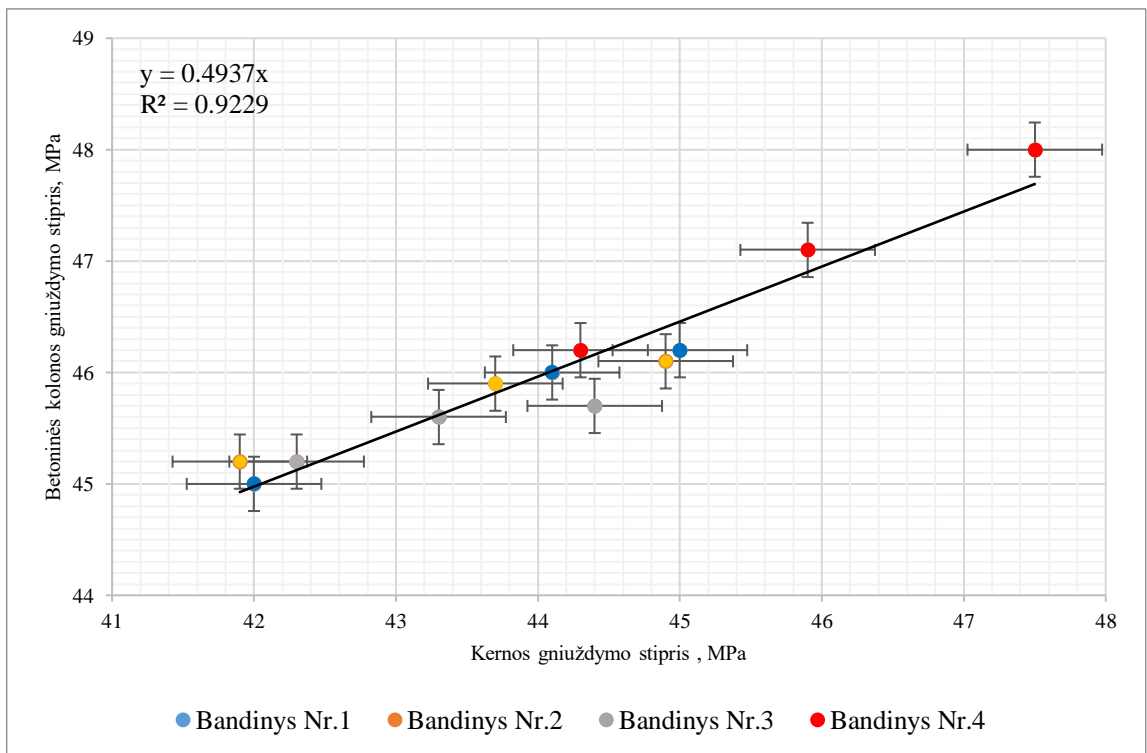
4 lentelė. Kolonomis ir kernoms nustatytų ultragarso impulso bangos greičių ir gniuždymo stiprių rezultatai

Kolonos zona	Kolonos žymėjimas	Statmenai kolonos liejimo kryptčiai				Kolonos liejimo kryptimi	
		Kolonos ultragarso impulso bangos greitis, m/s	Kolonos gniuždymo stipris, MPa	Kernos ultragarso impulso bangos greitis, m/s	Kernos gniuždymo stipris, MPa	Kernos ultragarso impulso bangos greitis, m/s	Kernos gniuždymo stipris, MPa
Kolonos viršus	Nr.1	4519	45,0	4329	42,0	4321	41,8
	Nr.2	4532	45,2	4325	41,9	4343	42,2
	Nr.3	4528	45,2	4348	42,3	4310	41,7
	Nr.4	4593	46,2	4472	44,3	4464	44,1
Kolonos vidurys	Nr.1	4583	46,0	4465	44,1	4458	44,0
	Nr.2	4572	45,9	4438	43,7	4464	44,1
	Nr.3	4554	45,6	4415	43,3	4396	43,0
	Nr.4	4649	47,1	4573	45,9	4573	45,9
Kolonos apačia	Nr.1	4594	46,2	4520	45,0	4520	45,0
	Nr.2	4586	46,1	4510	44,9	4510	44,9
	Nr.3	4563	45,7	4484	44,4	4464	44,1
	Nr.4	4707	48,0	4678	47,5	4682	47,6

Tačiau palyginus ultragarso impulso bangos greičius kolonomis ir kernoms, taip pat ir gniuždymo stiprius kolonomis ir kernoms matoma, kad greičiai koreliuoja. Tai galime matyti 44 paveikslo ir 45 paveikslų koreliacijos kreivėse. Koreliacijos koeficientas R^2 lyginant ultragarso impulso bangos greičius gautas 0,9492, o lyginant gniuždymo stiprius koreliacijos koeficientą R^2 gautas 0,9229.

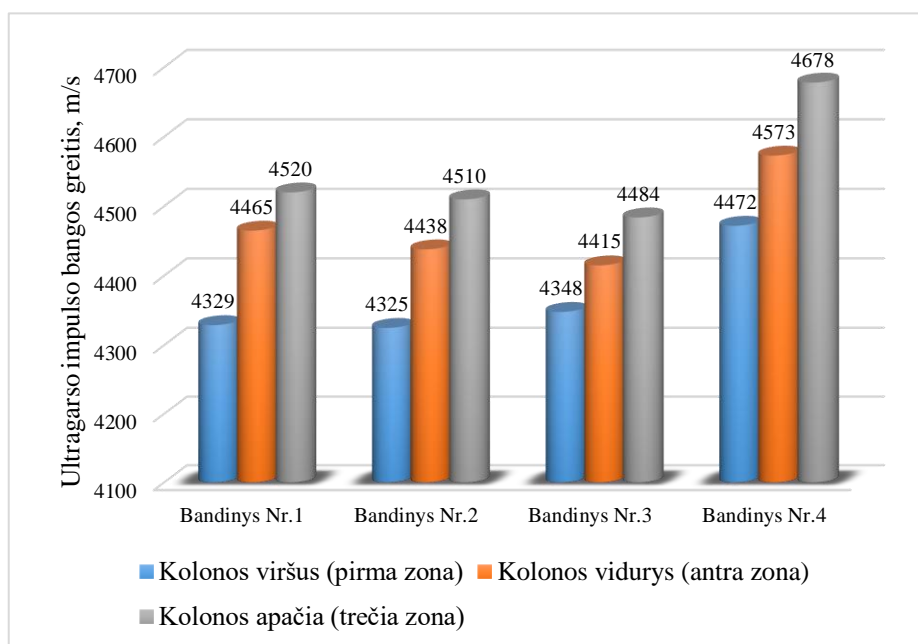


44 pav. Ultragarso impulso bangos greičių kolonoms ir kernoms koreliacijos kreivė

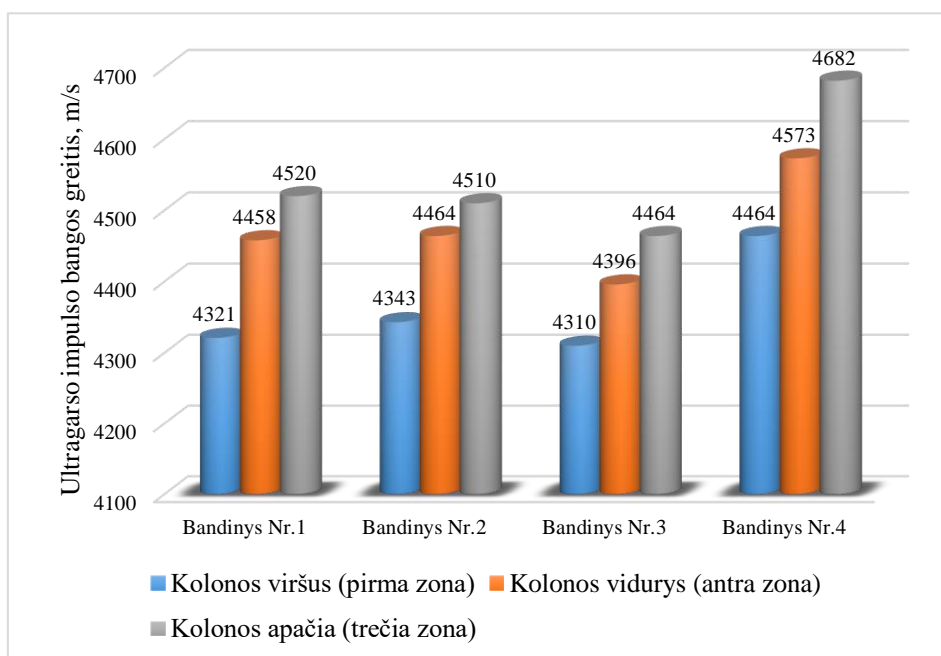


45 pav. Gniuždomojo stiprio kolonoms ir kernoms apskaičiuoto pagal gautus ultragarso impulso greičius koreliacijos kreivė

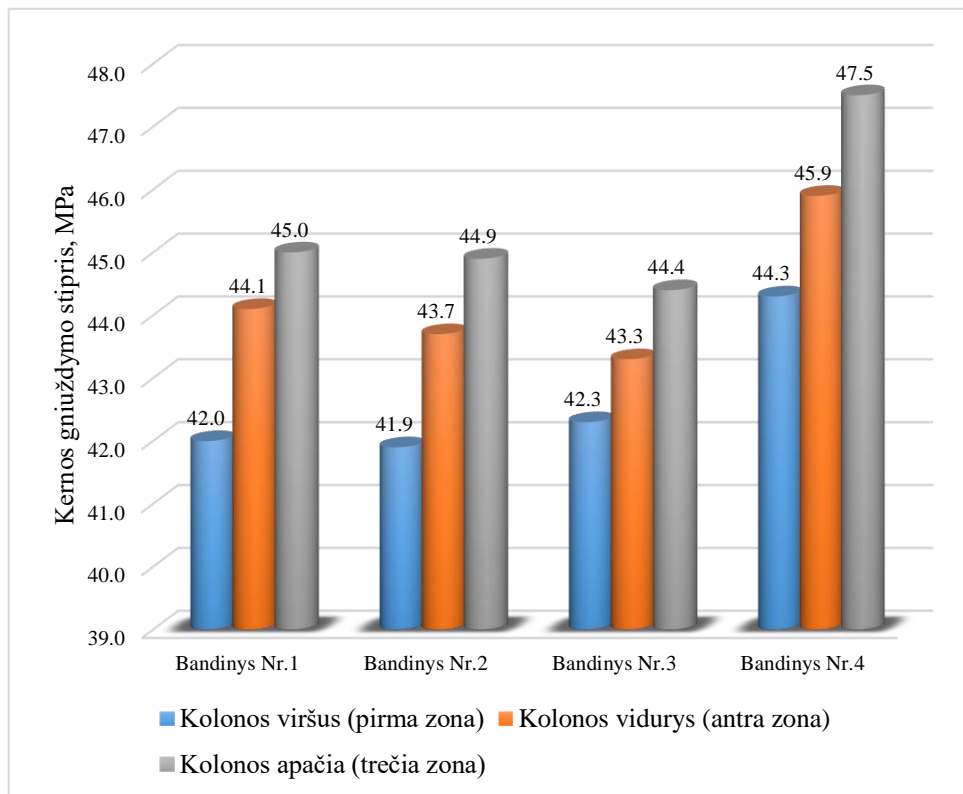
Kaip ir kolonų ultragarso impulso bangos greičiai taip ir kernų greičiai mažėja nuo apatinės kolonos zonos link kolonos viršaus. Gniuždymo stipriai betoninių kolonų ir kernų taip pat mažėja nuo apatinės kolonos zonos link kolonos viršaus. Prasčiausi greičiai ir gniuždymo stipriai gauti kolonos viršuje (pirmoje zonoje). Didesni greičiai ir gniuždymo stipriai gauti kolonos apačioje (46 – 49 pav.).



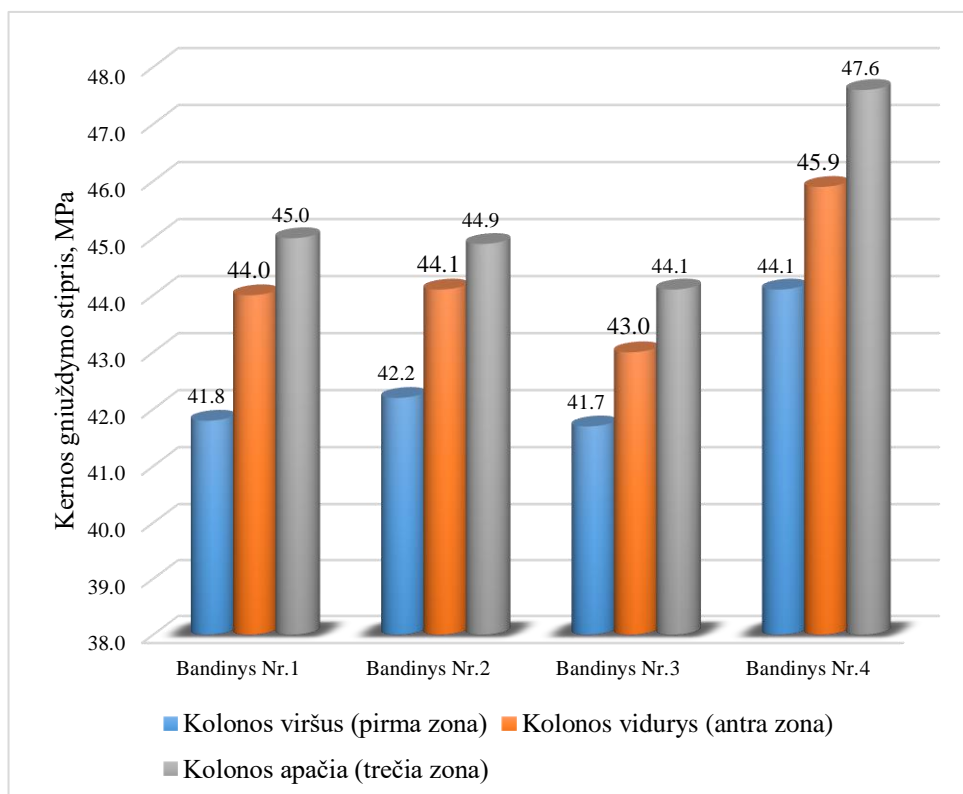
46 pav. Kernų ultragarso impulso bangos greičių rezultatai matuojant statmenai betono mišinio liejimo kryptiai



47 pav. Kernų ultragarso impulso bangos greičių rezultatai matuojant betono mišinio liejimo kryptimi



48 pav. Kernų gniuždymo stiprio apskaičiuoto pagal gautus ultragarso impulso greičius rezultatai matuojant ultragarso impulso bangos greitį betono mišinio liejimo kryptimi

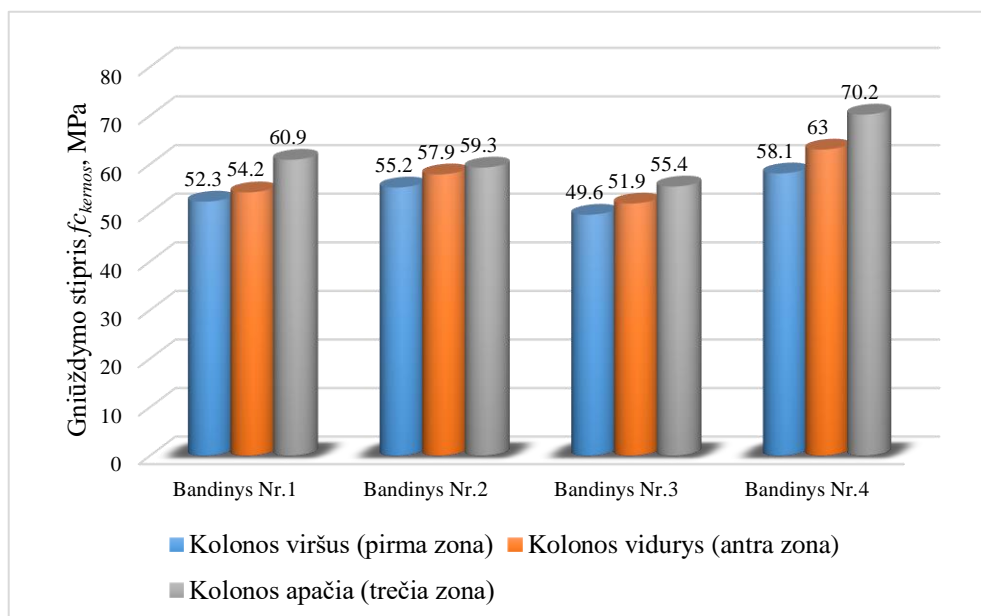


49 pav. Kernų gniuždymo stiprio apskaičiuoto pagal gautus ultragarso impulso greičius rezultatai matuojant ultragarso impulso bangos greitį betono mišinio liejimo kryptimi

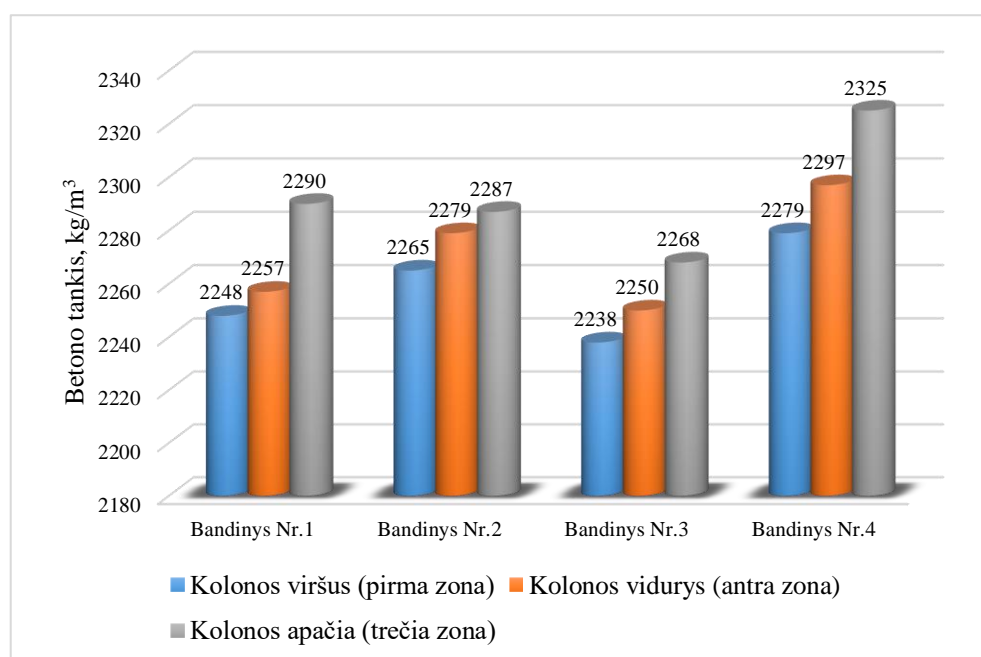
3.4. Kernoms gauti gniuždymo stiprio rezultatai

Betono gniuždymo stipriui nustatyti buvo paruoštos 23 kernos. Kiekviena kerna buvo sugniuždoma ir gautos didžiausios ardamosios jėgos. Apskaičiuoti $f_{C_{kernos}}$ gniuždymo stipriai.

Gavus kiekvienos kernos gniuždymo stiprius, nustatomos vidutinio stiprumo vertės pagal kolonos zonas. Atsižvelgiant į gautus rezultatus pastebime, kad stipris gana ženkliai mažėja link kolonos viršaus (pirma zona). Viršutinėje kolonos zonoje gniuždymo stipriai svyruoja nuo 49,6 MPa iki 58,1 MPa, o apatinėje kolonos zonoje svyruoja nuo 55,4 MPa iki 70,2 MPa. Gauti rezultatai ir gniuždomojo stiprio pasiskirstymas per visą kolonos ilgį pavaizduoti 50 paveiksle.



50 pav. Gniuždomojo stiprio $f_{C_{kernos}}$ rezultatai skirtingose kolonų zonose

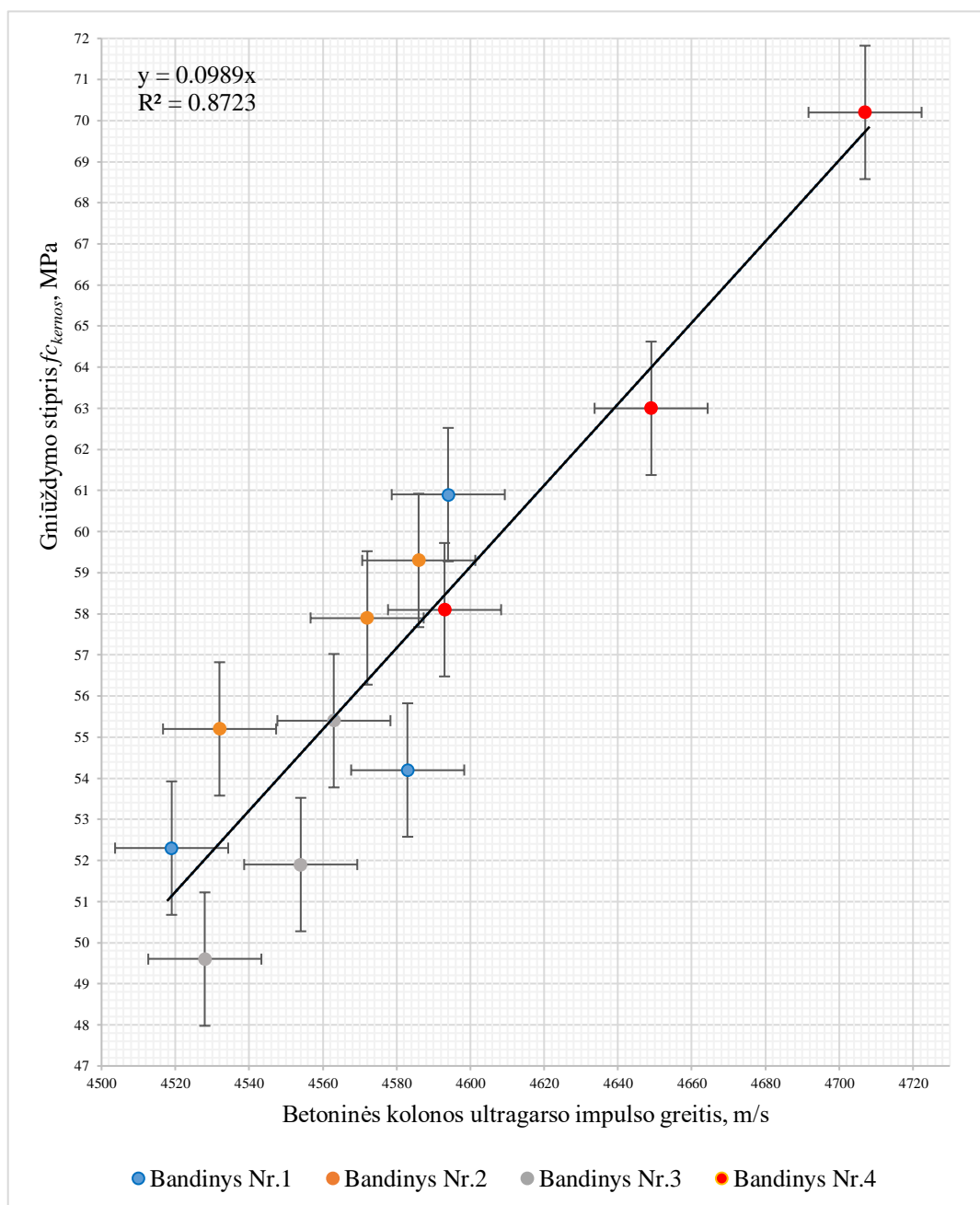


51 pav. Kernų betono tankių rezultatai skirtingose kolonų zonose

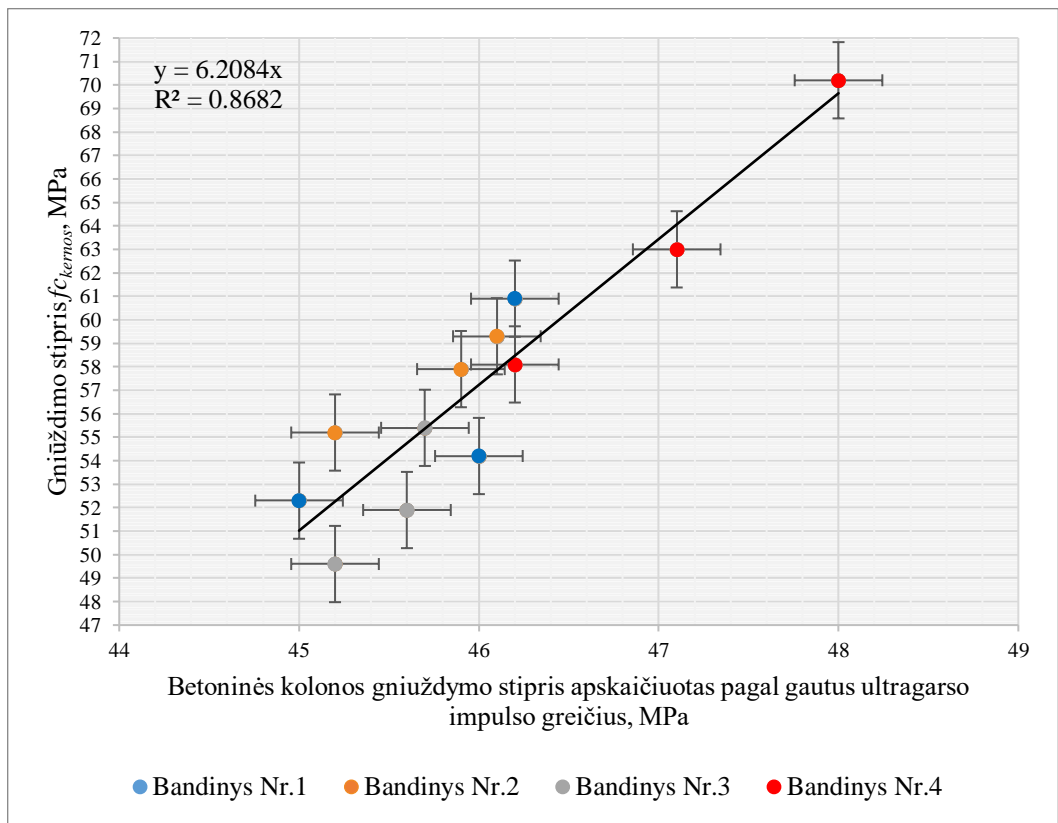
3.5. Tyrimo metodikų patikimumo įvertinimas

Tyrimų metu buvo naudojami neardomieji metodai: ultragarso impulso greitis ir tamprus atšokimas. Metodai, skirti įvertinti betono atsparumą gniuždymui.

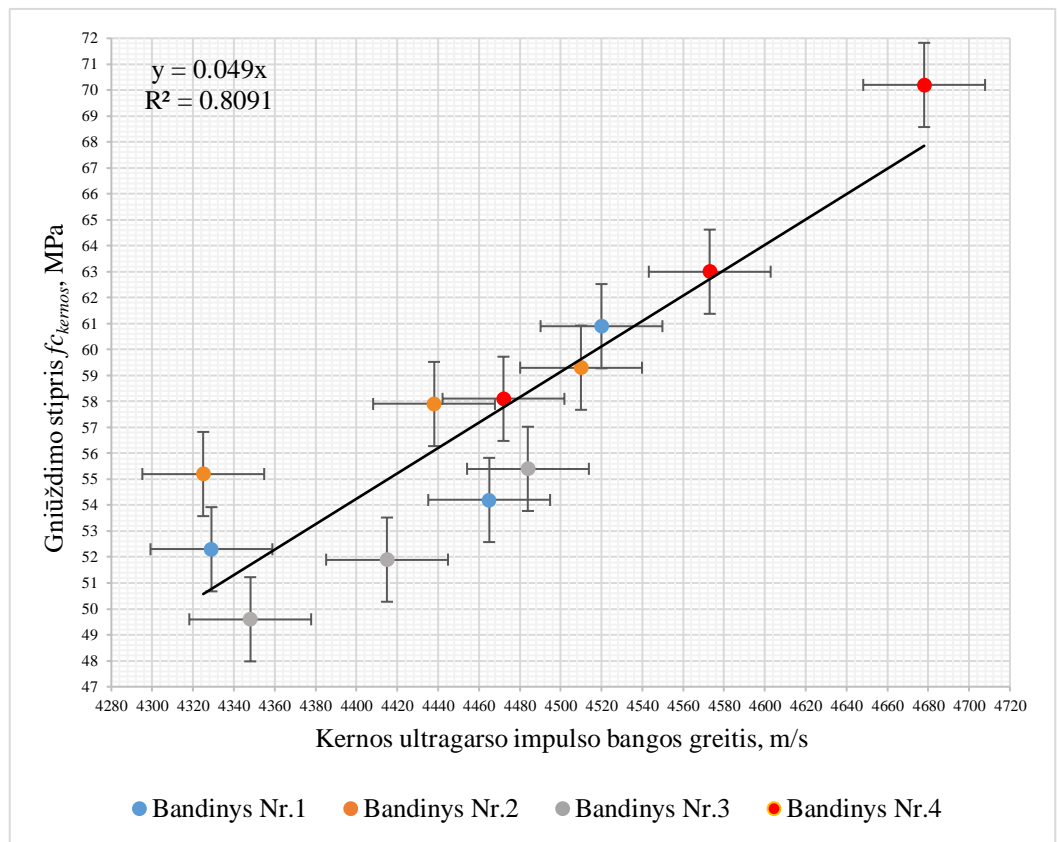
Norint gauti geriausią atitikimą, atliekama tiesinė koreliacinė analizė tarp ardomųjų ir neardomųjų tyrimo metodų rezultatų. Kiekvieno neardančiojo tyrimo rezultatai yra susieti su atitinkamu kernų gniuždymo stiprumu $f_{C_{kernos}}$. Norint kokybiškai įvertinti vieno metodo koreliacijos patikimumą su kitu nustatyta R^2 koeficiento reikšmė. Optimaliausias metodas turi didelę R^2 vertę. Kiekvieno metodo tikslumas parodytas 52 – 55 paveiksluose.



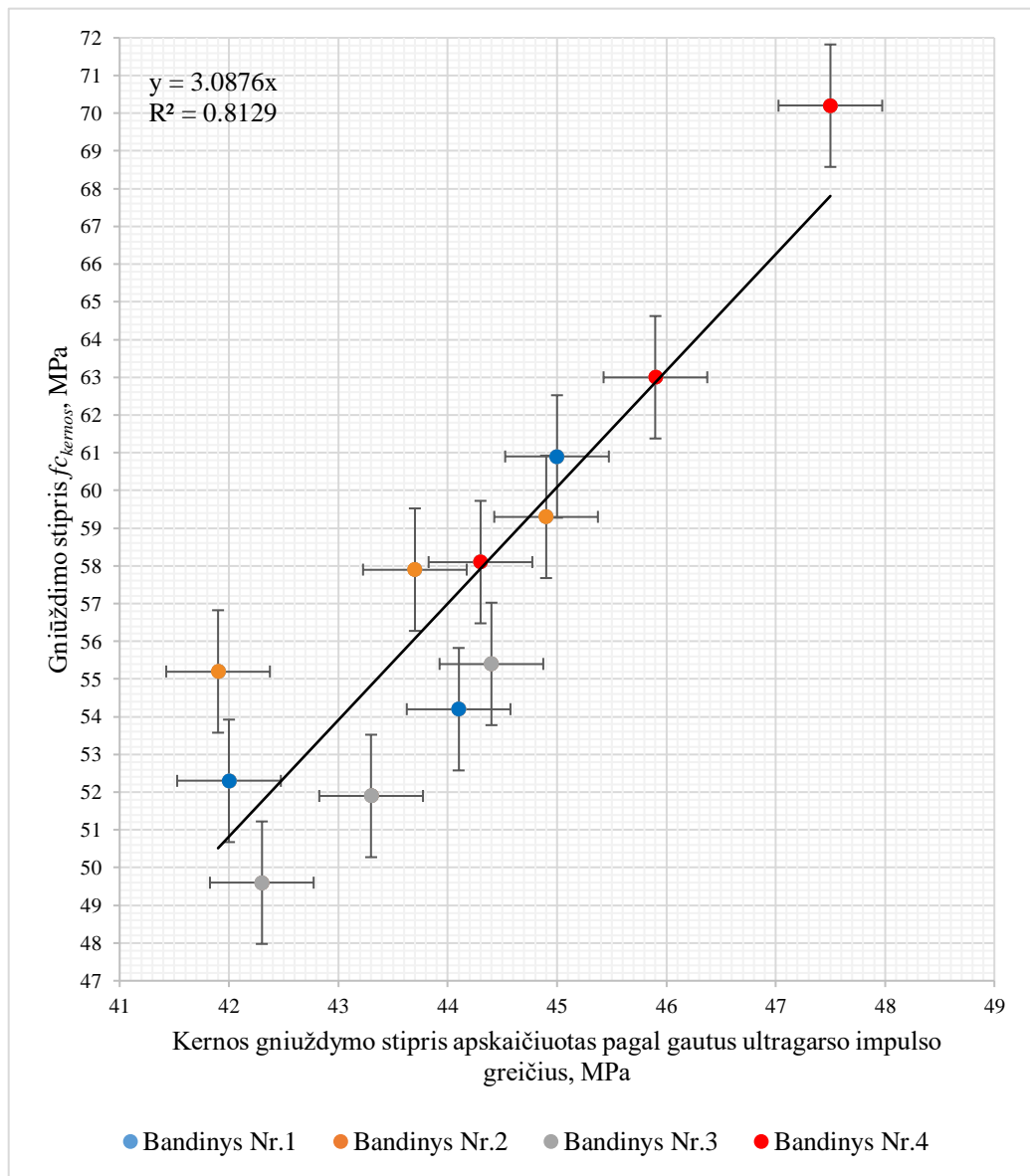
52 pav. Betoninių kolonų ultragarso impulso bangos greičių ir gniuždomojo stiprio $f_{C_{kernos}}$ koreliacinė kreivė



53 pav. Betoninių kolonų gniuždomojo stiprio apskaičiuoto pagal gautus ultragarso impulso greičius ir kernų gniuždomojo stiprio $f_{c_{kernos}}$ koreliacinė kreivė



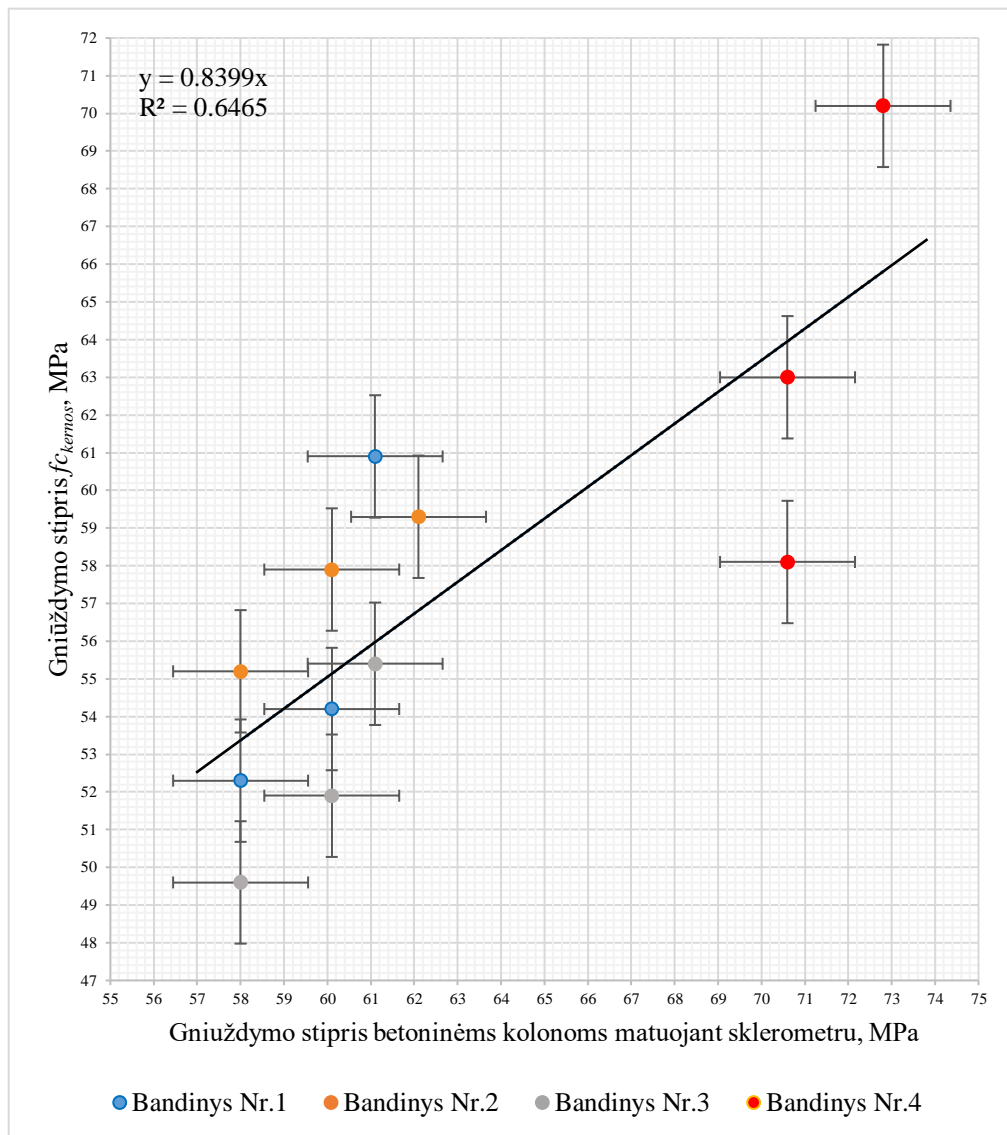
54 pav. Kernų ultragarso impulso bangos greičių ir kernų gniuždomojo stiprio $f_{c_{kernos}}$ koreliacinė kreivė



55 pav. Kernų gniuždomojo stiprio apskaičiuoto pagal gautus ultragarso impulso greičius ir gniuždomojo stiprio $f_{C_{kernos}}$ koreliacinė kreivė

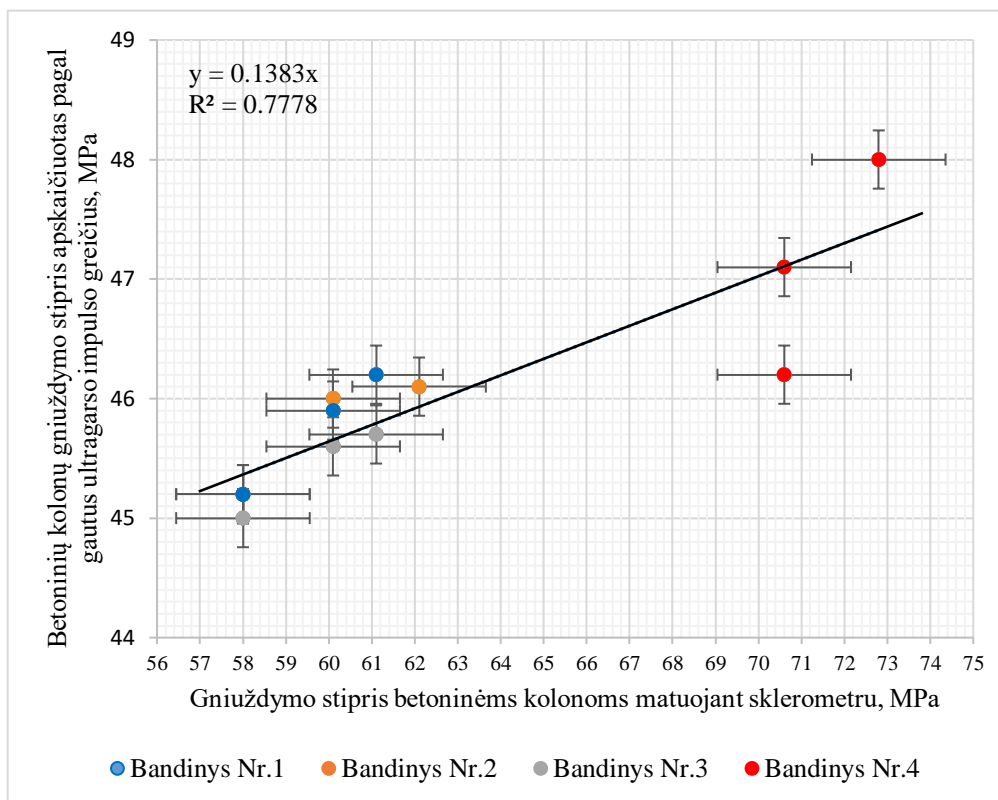
Atlikus koreliacijas tarp betoninės kolonos ultragarso impulso greičio ir gniuždymo jėgos $f_{C_{kernos}}$, ir taip pat tarp kernos ultragarso impulso greičio ir gniuždymo jėgos $f_{C_{kernos}}$ pastebime, kad didesnis koreliacijos koeficientas R^2 gautas matuojant betoninę koloną ($0,8723 > 0,8091$). Atlikus koreliaciją taip pat tarp betoninių kolonų gniuždomojo stiprio apskaičiuoto pagal gautus ultragarso impulso greičius ir kernų gniuždomojo stiprio $f_{C_{kernos}}$, ir taip pat tarp kernų gniuždomojo stiprio apskaičiuoto pagal gautus ultragarso impulso greičius ir gniuždomojo stiprio $f_{C_{kernos}}$ pastebime, kad taip pat didesnis koreliacijos koeficientas R^2 gautas matuojant betoninę koloną ($0,8682 > 0,8129$). Matuojant ultragarso impulso greitį betoninei kolonai koreliacijos koeficientas apie 0,87. Taigi galima teigti, kad ultragarso impulso greičio metodika tinkamas variantas tirti betono stiprumines savybes.

Atlikus koreliacijas tarp tampraus atšokimo ir gniuždymo stiprio gautas koreliacijos koeficientas R^2 kelia abejonių. Koeficientas R^2 yra ganėtinai mažas – 0,6465 (56 pav.).

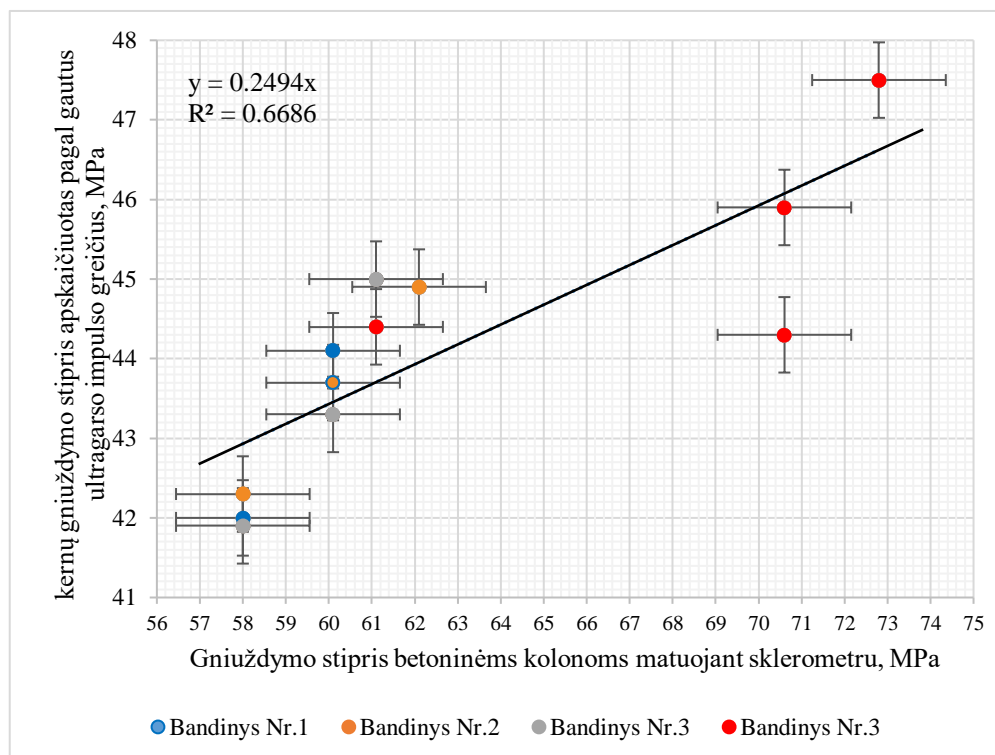


56 pav. Betoninių kolonų gniuždomojo stiprio matuojant sklerometru ir kernų gniuždomojo stiprio $f_{ckernos}$ tiesinė koreliacinė analizė

Atlikus koreliacijas tarp gniuždomojo stiprio betoninėms kolonoms matuojant sklerometru ir betoninių kolonų gniuždomojo stiprio apskaičiuoto pagal gautus ultragarso impulso greičius R^2 koeficientas gautas irgi mažas – 0,7778 (57 pav.). Taip pat atlikus gniuždomojo stiprio kernoms matuojant sklerometru ir betoninių kolonų gniuždomojo stiprio apskaičiuoto pagal gautus ultragarso impulso greičius koreliacinę analizę gautas taip pat mažas R^2 koeficientas – 0,6686 (58 pav.). Matomai atliekant tampraus atšokimo tyrimą labiau matuojamas paviršinis betono sluoksnis, o gniuždant kernas jau bandomi vidiniai konstrukcijos sluoksniai.



57 pav. Gniuždymo stiprio betoninėms kolonomis matuojant sklerometru ir betoninių kolonų gniuždymo stiprio apskaičiuoto pagal gautus ultragarso impulso greičius koreliacinė analizė

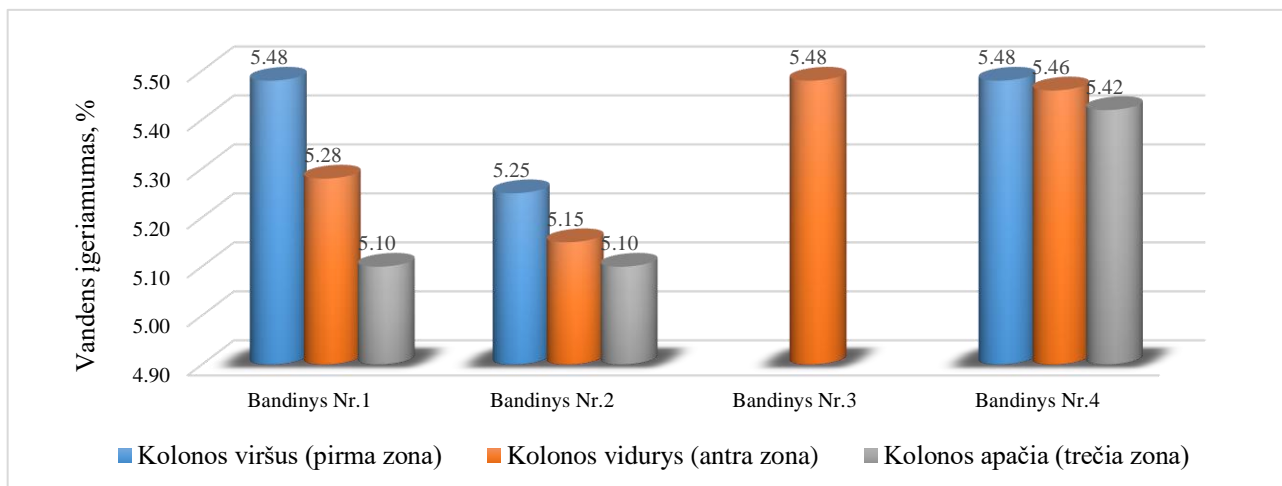


58 pav. Gniuždymo stiprio kernoms matuojant sklerometru ir betoninių kolonų gniuždymo stiprio apskaičiuoto pagal gautus ultragarso impulso greičius koreliacinė analizė

3.6. Vandens įgeriamumo nustatymo gauti rezultatai

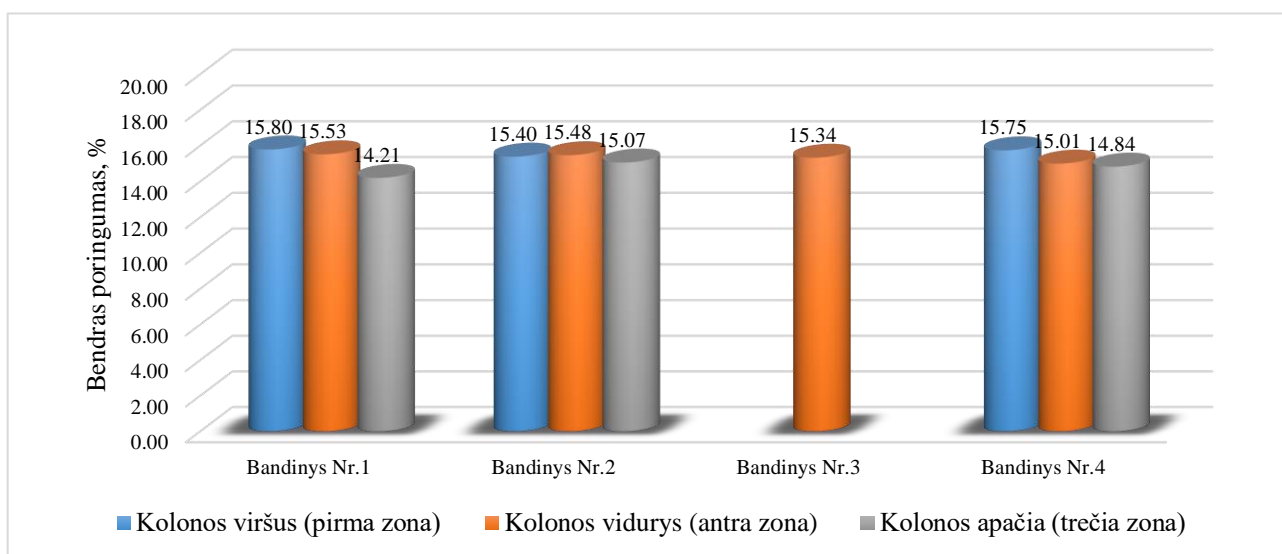
Iš gautų rezultatų matome, kad vandens įgėris svyruoja nuo 5,10 % iki 5,48 %. Didžiausi vandens įgėriai, gauti kolonų viršutinėje zonoje ir svyruoja nuo 5,25 % iki 5,48 %. Kiekvienos kolonos įgėris pagal zonas parodytas 59 paveiksle. Bandinio Nr.3 zonomis įgėrio paanalizuoti negalėjome dėl bandinių trūkumo iš skirtingų kolonos zonų. Bandinio Nr.3 nustatytas įgėris tik vidurinei kolonos zonai. Didesnį vandens įgėrį viršutinėje kolonos zonoje matomai lėmė didesnis atvirų kapiliarinių porų kiekis atsiradęs betono mišinio liejimo ir tankinimo metu.

Lyginant betono tankius pagal gautus rezultatus matoma, kad kuo didesnis betono tankis, tuo vandens įgeriamumas mažesnis.



59 pav. Betoninių kernų įgeriamumo diagrama

Gautas bendras poringumas svyruoja nuo 14,21 % iki 15,80% (60 pav). Bandiniuose Nr.1 ir Nr.4 didžiausi poringumai gauti viršutinėje kolonos zonoje, o mažiausi bandinio apatinėje zonoje. Bandinyje Nr.2 didžiausias poringumas matomas vidurinėje bandinio zonoje neženkliai didesnis negu viršutinėje zonoje. Tačiau poringumas išlieka mažiausias apatinėje bandinio zonoje.



60 pav. Betoninių kernų bendro poringumo diagrama

Išvados

1. Atlikus neardantį tyrimą – ultragarso impulso bangos greičio matavimus kompozicinės kolonos fragmentams, buvo nustatyta, kad neardančią tyrimo metodiką (ultragarso impulso bangos greičio) kompozicinei kolonai taikyti neįmanoma.
2. Atlikus neardančius ultragarso impulso ir tamprus atšokimo tyrimus nustatytas jų verčių netolygumas atsižvelgiant į kolonose suskirstytas tris zonas. Betoninių kolonų ultragarso impulso bangos greičiai atsižvelgiant nuo apatinės iki viršutinės kolonos zonos sumažėjo nuo 0,77 % iki 2,48 %, o apskaičiuoti gniuždymo stipriai nuo 1,30 % iki 3,9 %. Kernų gauti greičiai nuo apatinės iki viršutinės kolonos zonos kiekvienai kolonai tolygiai sumažėjo ~ 4 %, o apskaičiuoti gniuždymo stipriai ~ 7 %. Palyginus kolonų ir kernų ultragarso impulso bangos greičius ir apskaičiuotus gniuždymo stiprius gauta, kad greičiai ir gniuždymo stipriai tarpusavyje koreliuoja beveik 95 % tikslumu. Tamprus atšokimo vertės atsižvelgiant nuo apatinės iki viršutinės kolonos zonos sumažėjo nuo 3,12 % iki 7,07 %.
3. Nustatytas kernų gniuždymo stiprio ir tankio verčių netolygumas atsižvelgiant į kolonose suskirstytas tris zonas. Gauta, kad kernų gniuždymo stipris atsižvelgiant nuo apatinės iki viršutinės kolonos zonos sumažėjo nuo 4,1 MPa iki 12,1 MPa. Betono tankis atsižvelgiant nuo apatinės iki viršutinės kolonos zonos sumažėjo nuo 22 kg/m³ iki 46 kg/m³. Šį verčių skirtumą galima būtų paaiškinti nevienodu betono mišinio sutankinimu naudojant giluminį vibratorių ir formose esamo oro uždarymu užpildant kolonas iš viršaus į apačią.
4. Nustatytas neardomųjų metodikų patikimumas parodė, kad tiksliausia betono tyrimo metodika nustatant gniuždymo stiprį yra ultragarso impulso bangos greičio matavimai per betoninę koloną. Patikimumo koeficientas R^2 gautas apie 0,87. Ultragarso impulso greičio tyrimo išgręžtoms kernoms gautas patikimumo koeficientas gautas apie 0,81. Tamprus atšokimo patikimumo koeficientas gautas mažiausias – 0,70.
5. Nustatytas betoninių kolonų vidutinis vandens įgėris yra apie 5,3 %, o bendras vidutinis poringumas apie 15 %. Įvertinant skirtingas kolonos zonas matome, kad vandens įgėris ties viršutine kolonos zona padidėjo: Nr.1 – 7 %, Nr.2 – 3 %, Nr.4 – 1 %. Gauti rezultatai leidžia teigti, kad kolonos viršutinė zona bus mažesnio tankio ir gniuždymo stiprio.

Rekomendacijos

Šiai dienai siekiant išvengti darbe minėtų rodiklių kintamumą tarp sluoksnių liejant kompozicines kolonas patartina naudoti sutankėjantį betoną, kuris ir padėtų sumažinti aptartų rodiklių kintamumą. Naudojant sutankėjantį betoną kompozicinė kolona užpildoma iš apačios į viršų, tokiu atveju susikaupęs oras kompozicinėje kolonoje išstumiamas, sudarydamas mažesnę tikimybę tankio ir gniuždymo stiprio netolygumams.

Norint sumažinti aptartų rodiklių skirtumą tarp sluoksnių taip pat patartina prailginti betono mišinio tankinimo trukmę ir vengti tankinimo įrenginių prisilietimo prie kompozicinių kolonų paviršiaus.

Įvertinant betono stiprio pirminę analizę rekomenduojama daugiau dėmesio skirti į ultragarso impulso bangos greičio matavimo metodiką. Pagal gautus rezultatus darbe matoma, kad ši neardančioji tyrimo metodika patikimiausia vertinant betono stiprį.

Literatūros šaltiniai

1. DAI, Peng, YANGA, Lu, WANG, Jie and ZHOU, Yuhang. Compressive strength of concrete - filled stainless steel tube stub columns. *Engineering Structures*. 2020, 205, 110106 [žiūrėta 2020-02-5]. ISSN 0141 - 0296. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
2. AL-MEKHLAFI, Galal M., AL-OSTA, Mohammed A. and SHARIF, Alfarabi M. Behavior of eccentrically loaded concrete-filled stainless steel tubular stub columns confined by CFRP composites. *Engineering Structures*. 2020, 205, 110113 [žiūrėta 2020-02-6]. ISSN 0141-0296. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
3. XUE, Yicong, YANG, Yong and YU, Yunlong. Cyclic behavior of partially precast steel reinforced concrete short columns: Experiment and theoretical analysis. *Engineering Structures*. 2019, 199, 109658 [žiūrėta 2020-02-7]. ISSN 0141-0296. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
4. XU, Tianxiang, LIU, Jiepeng, WANG, Xuanding, GUO, Ying and CHEN, Y. Frank. Behaviour of short CFRP-steel composite tubed reinforced normal and high strength concrete columns under eccentric compression. *Engineering Structures*. 2020, 205, 110096 [žiūrėta 2020-02-11]. ISSN 0141-0296. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
5. ALMAMOORI, Ali Hameed Nasser, NASER, Fatimah H. Dhahir and MOHAMMED, K. Effect of section shape on the behaviour of thin walled steel columns filled with light weight aggregate concrete: Experimental investigation. *Case Studies in Construction Materials*. 2020, 13, e00356 [žiūrėta 2020-02-12]. ISSN 2214-5095. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
6. ROUSSEL, Nicolas. A thixotropy model for fresh fluid concretes: Theory, validation and applications. *Cement and concrete research*. 2006, 13, 1797–1806 [žiūrėta 2020-02-25]. ISSN 0008-8846. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
7. MEGID, Wael A. and KHAYAT, Kamal H. Effect of structural buildup at rest of self-consolidating concrete on mechanical and transport properties of multilayer casting. *Construction and Building Materials*. 2019, 196, 626-636 [žiūrėta 2020-03-02]. ISSN 0950-0618. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
8. AHARI, Reza Saleh, ERDEM, Tahir Kemal and RAMYAR, Kambiz. Thixotropy and structural breakdown properties of self consolidating concrete containing various supplementary cementitious materials. *Cement and concrete composites*. 2015, 59, 26-37 [žiūrėta 2020-03-02]. ISSN 0958-9465. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
9. ROUSSEL, N. and CUSSIGH, F. Distinct-layer casting of SCC: The mechanical consequences of thixotropy. *Cement and concrete research*. 2008, 38, 624-632 [žiūrėta 2020-03-02]. ISSN 0008-8846 Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
10. ZAREIYANA, Babak and KHOSHNEVISB, Behrokh. Effects of interlocking on interlayer adhesion and strength of structures in 3D printing of concrete. *Automation in Construction*. 2017, 83, 212-221 [žiūrėta 2020-03-02]. ISSN 0926-5805. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
11. DE, Sukrit Kumar and MUKHERJEE, Abhijit. A multiscale model including the effect of pores, aggregates and their interfaces for moisture diffusion in concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2020, 111, 103595 [žiūrėta 2020-06-12]. ISSN 0958-9465 Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
12. LI, Dongqi, LI, Zongli, LV, Congcong, ZHANG, Guohui and YIN, Yueming. A predictive model of the effective tensile and compressive strengths of concrete considering porosity and pore size.

- Construction and building materials*. 2018, 170, 520-526 [žiūrėta 2020-06-12]. ISSN 0950-0618. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
13. SHOUKRY, Samir N., WILLIAM, Gergis W., DOWNIE, Brian and RIAD, Mourad Y. Effect of moisture and temperature on the mechanical properties of concrete. *Construction and building materials*. 2017, 25, 688-696 [žiūrėta 2020-06-12]. ISSN 0950-0618. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
 14. SHEN, Jiarong and XU, Qianjun. Effect of moisture content and porosity on compressive strength of concrete during drying at 105°C. *Construction and building materials*. 2019, 195, 19-17 [žiūrėta 2020-06-12]. ISSN 0950-0618. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
 15. BURLION, Nicolas, BOURGEOIS, Frederic and SHAO, Jian-Fu. Effects of desiccation on mechanical behaviour of concrete. *Cement & Concrete Composites*. 2005, 27, 367–379 [žiūrėta 2020-06-12]. ISSN 0958-9465. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
 16. WANG, Hailong and LI, Qingbin. Prediction of elastic modulus and poisson's ratio for unsaturated concrete. *International Journal of Solids and Structures*. 2007, 44, 1370–1379 [žiūrėta 2020-06-12]. ISSN 0020-7683 Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
 17. LIU, Bao Dong, LV, Wen Juan, LI, Lin and LI, Peng Fei. Effect of moisture content on static compressive elasticity modulus of concrete. *Construction and Building Materials*. 2014, 69, 133-142 [žiūrėta 2020-03-15]. ISSN 0950-0618. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
 18. ASHRAFA, W. B. and NOORB, M. A. Performance-Evaluation of Concrete Properties for Different Combined Aggregate Gradation Approaches. *The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*. 2011, 14, 2627–2634 [žiūrėta 2020-03-15]. ISSN 1877-7058. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
 19. SANTOS, Ana Rita, VEIGA, Maria do Rosario, SILVA, Antonio Santos and BRITO, Jorge de. Microstructure as a critical factor of cement mortars' behaviour: The effect of aggregates' properties. *Cement and Concrete Composites*. 2020, 111, 103628 [žiūrėta 2020-03-15]. ISSN 0958-9465. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
 20. XU, Taozhi and LI, Jie. Assessing the spatial variability of the concrete by the rebound hammer test and compression test of drilled cores. *Construction and Building Materials*. 2018, 188, 820-832 [žiūrėta 2020-03-17]. ISSN 0950-0618. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
 21. CRAEYE, B., LAAR, H. Van de, EIJK, J. van der, GIJBELS, W. and LAURIKS, L. On-site strength assessment of limestone based concrete slabs by combining non-destructive techniques. *Journal of Building Engineering*. 2017, 13, 216-223 [žiūrėta 2020-03-17]. ISSN 2352-7102. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
 22. HONG, Seonguk, YOON, Sangki, KIM, Jonghyun, LEE, Changjong, KIM, Seunghun and LEE, Yongtaeg. Evaluation of Condition of Concrete Structures Using Ultrasonic Pulse Velocity Method [interaktyvus]. *Applied Sciences*. 2020, 10(2):706 [žiūrėta 2020-03-18]. ISSN 1002-0706. Prieiga per: <https://www.researchgate.net>
 23. ALWASH, Maitham Fadhil Abbas. Assessment of concrete strength in existing structures using nondestructive tests and cores: analysis of current methodology and recommendations for more reliable assessment [interaktyvus]. *Université de Bordeaux*. 2017, 0587 [žiūrėta 2020-03-18]. ISSN 0153-1241. Prieiga per: <https://tel.archives-ouvertes.fr>
 24. BROZOVSKY, Jiri and BODNAROVA, Lenka. Rebound Hammer Tests of High-Strength Concrete: Effects of Internal Stress and the Shape of the Impact Area of the Test Specimens on

- the Measurement Results [interaktyvus]. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 2019, 63(1) [žiūrėta 2020-03-18]. ISSN 3311-1196. Prieiga per: <https://www.researchgate.net>
25. International Atomic Energy Agency. *Guidebook on non-destructive testing of concrete structures* [interaktyvus]. Vienna: 2002 [žiūrėta 2020-03-18], ISBN 1018–5518. Prieiga per: <https://www.osti.gov>
 26. BUI, Quoc-Bao. Assessing the Rebound Hammer Test for Rammed Earth Material [interaktyvus]. *Sustainability*. 2017, 9(10), 1904 [žiūrėta 2020-03-18]. ISSN 2071-1050. Prieiga per: <https://www.mdpi.com>
 27. BRENCICH, Antonio, CASSINI, Giancarlo, PERA, Davide and RIOTTO, Giuseppe. Calibration and Reliability of the Rebound (Schmidt) Hammer Test [interaktyvus]. *Civil Engineering and Architecture*. 2013, 1(3), 66-78 [žiūrėta 2020-03-19]. ISSN 1318-0103 Prieiga per: <http://www.hrpub.org>
 28. KAZEMI, Mostafa, MADANDOUST, Rahmat and BRITO, de Jorge. Compressive strength assessment of recycled aggregate concrete using schmidt rebound hammer and core testing. *Construction and Building Materials*. 2019, 224, 630-638 [žiūrėta 2020-03-19]. ISSN 0950-0618. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
 29. JOZEF, Zajac, ONDREJA, Petruska, SVETLANA, Radchenko, DARINA, Duplakova and DAVID, Goldyniak. Hardness testing of polymer concrete castings by schmidt hammer. *Materials Today: Proceedings*. 2020, 22, 293-299 [žiūrėta 2020-03-19]. ISSN 2214-7853 Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
 30. HANNACHI, Samia and GUETTECHE, M. Nacer. Review of the Rebound Hammer Method Estimating Concrete Compressive Strength on Site [interaktyvus]. Dubai: 2014, pp. 118-127 [žiūrėta 2020-03-19]. ISBN 978-93-84468-11-8. Prieiga per: <https://pdfs.semanticscholar.org>
 31. NEVILLE, Adam M. *Properties of Concrete* [interaktyvus]. British Library: 2011 [žiūrėta 2020-03-20]. ISBN 978-0-273-75580-7. Prieiga per: <https://scholar.com>
 32. LORENZI, Alexandre, TISBIEREK, Francisco Teston and SILVA FILHO, da Luiz Carlos Pinto. Ultrasonic Pulse Velocity Analysis in Concrete Specimens [interaktyvus]. 2007 [žiūrėta 2020-03-25]. ISSN 9003-5190. Prieiga per: <https://www.ndt.net/article>
 33. ZHAO, Mingjie, NIE, Zhichao, WANG, Kui, LIU, Pan and ZHANG, Xin. Nonline ultrasonic testo of concrete cubes with induced crack. *Ultrasonics*. 2019, 97, 1-10 [žiūrėta 2020-03-26]. ISSN 0041-624X. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
 34. JR. PETRO, John T. and KIM, Jubum. Detection of delamination in concrete using ultrasonic pulse velocity test. *Construction and Building Materials*. 2012, 26, 574-582 [žiūrėta 2020-03-26]. ISSN 0950-0618 Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
 35. CHINGALATA, Costel, BUDESCU, Mihai, LUPĂȘTEANU, Radu, LUPĂȘTEANU, Vlad and SCUTARU, Maria-Cristina. Assessment of the concrete compressive strength using non-destructive methods. 2017, 63, 67 [žiūrėta 2020-03-26]. Prieiga per: <http://www.bipcons.ce.tuiasi.ro>
 36. POORARBABI, Ali, GHASEMI, Mohammadreza and MOGHADDAM, Mehdi Azhdaey. Concrete compressive strength prediction using non-destructive tests through response surface methodology. *Ain Shams Engineering Journal*. 2020, 11, 939-949 [žiūrėta 2020-03-27]. ISSN 2090-4479. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
 37. BOGAS, J. Alexandre, GOMES, M. Glória and GOMES, Augusto. Compressive strength evaluation of structural lightweight concrete by non-destructive ultrasonic pulse velocity method.

- Ultrasonics*. 2013, 53, 962–972 [žiūrėta 2020-03-27]. ISSN 0041-624X. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
38. YANG, Suhang, XU, Zhifeng and BIAN, Zhengning. Prediction on compressive strength concrete using modified pull-off testing method (MPTM). *Construction and Building Materials*. 2020, 250, 118834 [žiūrėta 2020-04-03]. ISSN 0950-0618. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
 39. MPALASKAS, A. C, VASILAKOS, I., MATIKAST, T. E., CHAI, H. K. and AGGELIS, D. G. Monitoring of the failure mechanisms induced by pull-out and compression in concrete. *Engineering Fracture Mechanics*. 2014, 128, 219-230 [žiūrėta 2020-04-03]. ISSN 0013-7944. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
 40. TAM, C. T., BABU, Daneti S. and LI, W. EN 206 conformity testing for concrete strength in compression. *Procedia Engineering*. 2017, 171, 227-237 [žiūrėta 2020-04-06]. ISSN 1877-7058. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
 41. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 12504-2:2012], Betono bandymas konstrukcijose. 2 dalis. Neardomieji bandymai. Atšokimo rodiklio nustatymas. Testing concrete in structures - Part 2: Non-destructive testing - Determination of rebound number. Europos standartas EN 12504-2:2012 turi Lietuvos standarto statusą. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2012.
 42. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 12504-4:2004], Betono bandymas. 4 dalis. Ultragarso impulso greičio nustatymas. Testing concrete - Part 4: Determination of ultrasonic pulse velocity. Europos standartas EN 12504-4:2004 turi Lietuvos standarto statusą. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2004.
 43. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 12504-1:2019], Betono bandymas konstrukcijose. 1 dalis. Kernai. Paėmimas, apžiūrėjimas ir bandymas gniuždant. Testing concrete in structures - Part 1: Cored specimens - Taking, examining and testing in compression. Europos standartas EN 12504-1:2019 turi Lietuvos standarto statusą. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2019.
 44. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 12390-3:2019], Sukietėjusio betono bandymai. 3 dalis. Bandinių gniuždymo stipris. Testing hardened concrete - Part 3: Compressive strength of test specimens. Europos standartas EN 12390-3:2019 turi Lietuvos standarto statusą. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2019.

Priedai

1 priedas. Ultragarso impulso bangos trukmės ir apskaičiuoti greičiai betoninėms kolonoms

	Ultragarso impulso bangos trukmė, μ s				Ultragarso impulso bangos greitis, m/s			
	Bandinys Nr.1	Bandinys Nr.2	Bandinys Nr.3	Bandinys Nr.4	Bandinys Nr.1	Bandinys Nr.2	Bandinys Nr.3	Bandinys Nr.4
Šonas/ vidurys (pirma zona)	86,3	68,4	51,9	66,4	4519	4532	4528	4593
Šonas/ viršus (pirma zona)	85,1	67,8	51,6	65,6	4583	4572	4554	4649
Šonas/ apačia (pirma zona)	84,9	67,6	51,5	64,8	4594	4586	4563	4707

2 priedas. Betoninių kolonų gniuždomojo stiprio apskaičiuoto pagal gautus ultragarso impulso greičius rezultatai

	Gniuždomojo stipris, MPa			
	Bandinys Nr.1	Bandinys Nr.2	Bandinys Nr.3	Bandinys Nr.4
Šonas/ vidurys (pirma zona)	45,0	46,1	45,7	46,2
Šonas/ viršus (pirma zona)	46,0	45,9	45,6	47,1
Šonas/ apačia (pirma zona)	46,2	45,2	45,1	48,0

3 priedas. Tamprus atšokimo gauti stipriai betoninėms kolonoms

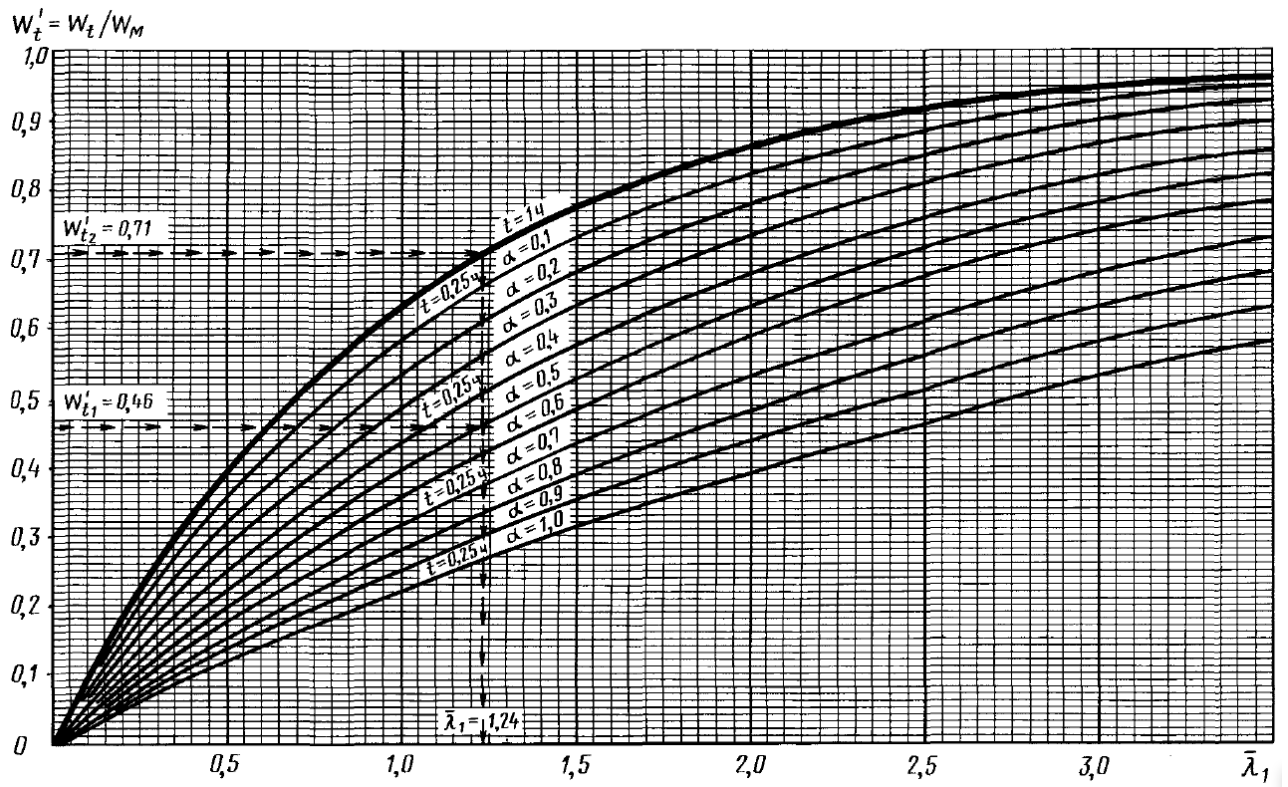
Bandinio Nr.	Kolonos viršus	Kolonos šonas/viršus	Kolonos šonas/vidurys	Kolonos šonas/apačia	Kolonos dugnas
Bandinys Nr.1	58,0	58,0	60,1	61,1	61,1
Bandinys Nr.2	58,0	58,0	60,1	62,1	61,1
Bandinys Nr.3	58,0	58,0	60,1	61,1	62,1
Bandinys Nr.4	68,1	70,6	70,6	72,8	70,6

4 priedas. Ultragarso impulso bangos trukmės ir apskaičiuoti greičiai bei gniuždymo stipriai kernoms

Kolonos žymėjimas	Bandinio žymėjimas	Šonas/ šonas, ultragarso bangos impulsas, µs	Dugnas/ viršus, ultragarso o bangos impulsas, µs	Šonas/ šonas, ultragarso bangos impulso greitis, m/s	Šonas/ šonas, gniužd. stipris, Mpa	Dugnas/ viršus, ultragarso bangos impulso greitis, m/s	Dugnas/ viršus, gniužd. stipris, Mpa
Nr.1	Nr.1-V-1	23,3	23,8	4292	41,4	4202	39,9
	Nr.1-V-2	23,2	23,3	4310	41,7	4292	41,4
	Nr.1-Š-V-1	23,0	22,8	4348	42,3	4386	42,9
	Nr.1-Š-V-2	22,9	22,7	4367	42,6	4405	43,1
	Vidutinė vertė:			4329	42,0	4321	41,9
	Nr.1-VID-1	22,7	22,8	4405	43,2	4386	42,9
	Nr.1-Š-VID-1	22,3	22,3	4484	44,4	4484	44,4
	Nr.1-Š-VID-2	22,2	22,2	4505	44,8	4505	44,8
	Vidutinė vertė:			4465	44,1	4458	44,0
	Nr.1-Š-A-1	22,1	22,2	4525	45,1	4505	44,8
	Nr.1-Š-A-2	22,1	22,1	4525	45,1	4525	45,1
	Nr.1-A-1	22,2	22,2	4505	44,7	4505	44,8
	Nr.1-A-2	22,1	22,0	4525	45,1	4545	45,4
	Vidutinė vertė:			4520	45,0	4520	45,0
Nr.2	Nr.2-V-1	23,4	23,3	4274	41,1	4292	41,4
	Nr.2-V-2	23,2	23,1	4310	41,7	4329	42,0
	Nr.2-Š-V-1	23,0	22,9	4348	42,3	4367	42,6
	Nr.2-Š-V-2	22,9	22,8	4367	42,6	4386	42,9
	Vidutinė vertė:			4325	41,9	4343	42,2
	Nr.2-VID-1	22,6	22,5	4425	43,5	4444	43,8
	Nr.2-Š-VID-1	22,6	22,4	4425	43,5	4464	44,1
	Nr.2-Š-VID-2	22,4	22,3	4464	44,1	4484	44,4
	Vidutinė vertė:			4438	43,7	4464	44,1
	Nr.2-Š-A-1	22,3	22,3	4484	44,4	4484	44,4
	Nr.2-Š-A-2	22,3	15,4 (70mm)	4484	44,4	4545	45,4
	Nr.2-A-1	22,1	22,3	4525	45,2	4484	44,4
	Nr.2-A-2	22,0	22,1	4545	45,4	4525	45,1
	Vidutinė vertė:			4510	44,9	4510	44,8
Nr.3	Nr.3-V-1	23,2	23,0	4310	41,7	4348	42,3
	Vidutinė vertė:			4310	41,7	4348	42,3

	Nr.3-VID-1	22,9	22,8	4367	42,6	4386	42,9
	Nr.3-VID-2	22,6	22,5	4425	43,5	4444	43,8
	Vidutiné verté:			4396	43,0	4415	43,4
	Nr.3-A-1	22,4	22,3	4464	44,1	4484	44,4
	Vidutiné verté:			4464	44,1	4484	44,4
Nr.4	Nr.4-V-1	22,6	22,5	4425	43,5	4444	43,8
	Nr.4-V-2	22,3	22,4	4484	44,4	4464	44,1
	Nr.4-V-3	22,5	22,5	4444	43,8	4444	43,8
	Nr.4-Š-V-1	22,4	22,3	4464	44,1	4484	44,4
	Nr.4-Š-V-2	22,2	22,1	4505	44,8	4525	45,1
	Vidutiné verté:			4464	44,1	4472	44,2
	Nr.4-VID-1	22,2	15,5 (70mm)	4505	44,8	4516	45,0
	Nr.4-Š-VID-1	21,9	21,8	4566	45,8	4587	46,1
	Nr.4-Š-VID-2	21,8	21,8	4587	46,1	4587	46,1
	Nr.4-Š-VID-3	21,6	21,7	4630	46,8	4608	46,4
	Nr.4-Š-VID-4	21,4	21,5	4673	47,5	4651	47,1
	Nr.4-A-VID-1	20,9	14,8 (70mm)	4785	49,3	4730	48,4
	Vidutiné verté:			4624	46,7	4613	46,5
	Nr.4-Š-A-1	21,3	21,4	4695	47,8	4673	47,5
	Nr.4-Š-A-2	21,2	21,3	4717	48,2	4695	47,8
	Nr.4-A-1	21,3	21,4	4695	47,8	4673	47,5
	Nr.4-A-2	21,3	21,1	4695	47,8	4739	48,5
	Nr.4-A-3	21,0	21,1	4762	48,9	4739	48,5
	Vidutiné verté:			4713	48,1	4704	48,0

5 priedas. Monograma nustatyti vidutinį porų dydžio rodiklį λ ir porų pasiskirstymo rodiklį α



6 priedas. Betono bandinių kernų gniuždomojo stiprio bandymo rezultatai

Kolonos žymėjimas	Bandinio žymėjimas	Kernų išgręžimo data	Išbandymo data	Laikymo sąlygos	Matmenys, mm		Skerspjūvio plotas, mm ²	h/d	Orasauso bandinio masė, g	Betono tankis, kg/m ³	Vidutinis tankis, kg/m ³	Didžiausia ardomoji jėga, kN	Gniuždymo stipris, Mpa	Vidutinis gniuždymo stipris, Mpa	Bandinių suirimas
					Skersmuo	Aukštis									
Nr.1	Nr.1-V-1	09-14	11-11	Universitetas	104.5	104.0	8572	1.00	2007.6	2252	2248	456.5	53.3	52.3	tinkamas
	Nr.1-Š-V-1	09-15	11-11	Universitetas	104.2	104.0	8523	1.00	1989.4	2244		437.7	51.4		tinkamas
	Nr.1-VID-1	09-14	11-11	Universitetas	104.2	102.0	8523	0.98	1956.6	2251	2257	453.3	53.2	54.2	tinkamas
	Nr.1-Š-VID-1	09-15	11-11	Universitetas	104.7	106.0	8605	1.01	2065.1	2264		475.2	55.2		tinkamas
	Nr.1-Š-A-1	09-16	11-11	Universitetas	104.3	104.0	8540	1.00	2039.0	2296	2290	525.7	61.6	60.9	tinkamas
	Nr.1-A-2	09-16	11-11	Universitetas	104.2	102.0	8523	0.98	1986.4	2285		513.0	60.2		tinkamas
Nr.2	Nr.2-V-1	09-20	11.11	Universitetas	104.5	97.0	8572	0.93	1886.3	2268	2265	478.4	55.8	55.2	tinkamas
	Nr.2-Š-V-1	09-20	11.11	Universitetas	104.2	100.0	8523	0.96	1926.8	2261		465.2	54.6		tinkamas
	Nr.2-VID-1	09-20	11.11	Universitetas	104.6	100.0	8589	0.96	1961.1	2283	2279	508.7	59.2	57.9	tinkamas
	Nr.2-Š-VID-1	09-22	11.11	Universitetas	104.2	100.0	8523	0.96	1939.6	2276		482.1	56.6		tinkamas
	Nr.2-Š-A-1	09-22	11.11	Universitetas	104.3	104.0	8540	1.00	2038.2	2295	2287	520.6	61.0	59.3	tinkamas
	Nr.2-A-1	09-23	11.11	Universitetas	104.6	98.0	8589	0.94	1919.1	2280		495.3	57.7		tinkamas
Nr.3	Nr.3-V-1	09-24	11.11	Universitetas	104.5	100.0	8572	0.96	1918.7	2238	2238	425.6	49.6	49.6	tinkamas
	Nr.3-VID-1	09-24	11.11	Universitetas	104.5	97.0	8572	0.93	1871.0	2250	2250	445.0	51.9	51.9	tinkamas
	Nr.3-A-1	09-24	11.11	Universitetas	104.7	99.0	8605	0.95	1932.0	2268	2268	476.6	55.4	55.4	tinkamas
Nr.4	Nr.4-V-1	09-28	11.11	Universitetas	104.5	101.0	8572	0.97	1966.2	2271	2279	479.1	55.9	58.1	tinkamas
	Nr.4-V-2	09-28	11.11	Universitetas	104.6	100.0	8589	0.96	1966.6	2290		526.6	61.3		tinkamas
	Nr.4-Š-V-2	09-28	11.11	Universitetas	104.5	100.0	8572	0.96	1951.8	2277		488.5	57.0		tinkamas
	Nr.4-Š-VID-3	09-05	11.11	Universitetas	104.3	99.0	8540	0.95	1937.3	2292	2297	529.2	62.0	63.0	tinkamas
	Nr.4-Š-VID-4	10-05	11.11	Universitetas	104.3	100.0	8540	0.96	1965.7	2302		546.3	64.0		tinkamas
	Nr.4-Š-A-2	10-05	11.11	Universitetas	104.4	101.0	8556	0.97	2013.9	2330	2325	613.4	71.7	70.2	tinkamas
	Nr.4-A-2	10-06	11.11	Universitetas	104.6	100.0	8589	0.96	1990.3	2317		581.5	67.7		tinkamas
Nr.4-A-3	10-06	11.11	Universitetas	104.6	99.0	8589	0.95	1978.2	2326	610.3		71.1	tinkamas		

7 priedas. Betoninių kernų uždaro ir atviro poringumo nustatymo gauti rezultatai pagal vandens įgeriamumo kinetiką

Kolonos nr.	Bandinių nr. / Pavadinimas		Bandinio masė, g					Wp, %	Tankis, kg/m ³	Wp(t), %	W ₁ , %	W ₂ , %	W ₃ , %	W ₁₁ arba W ₁ /W _p	W ₁₂ arba W ₂ /W _p	λ ₁	α	λ	Bendr. Poringumas	Atviras poringumas	Uždaras poringumas	
			Masė sauso	Po 15 min	Po 45 min	Po 24h	Po 72h (pilnas įgeris)												Masė vandenyje	po 72h	sauso band.	pagal tūrį
Nr.1	Nr.1-V-2	P-1	965.85	987.18	998.98	1016.8	1017.94	585.58	5.39	2234	12.05	2.21	3.43	5.28	0.41	0.64	1.03	0.50	1.06	17.0	12.0	4.9
		P-2	1055.71	1075.23	1087.5	1109.82	1110.97	649.38	5.23	2287	11.97	1.85	3.02	5.13	0.35	0.58	0.88	0.51	0.78	15.0	12.0	3.0
	Nr.1-Š-V-2	P-1	577.02	593.85	601.29	608.8	609.99	353.66	5.71	2251	12.86	2.92	4.21	5.51	0.51	0.74	1.35	0.45	1.95	16.3	12.9	3.5
		P-2	720.99	736.19	745.39	760.24	760.81	444.75	5.52	2281	12.60	2.11	3.38	5.44	0.38	0.61	0.95	0.50	0.90	15.2	12.6	2.6
		P-3	548	561.77	568.38	577.93	578.34	337.07	5.54	2271	12.58	2.51	3.72	5.46	0.45	0.67	1.12	0.45	1.29	15.6	12.6	3.0
	Vidutinės vertės:							5.48	2265	12.41	2.32	3.55	5.36	0.42	0.65	1.07	0.48	1.20	15.80	12.41	3.39	
	Nr.1-Š-VID-2	P-1	974.94	994.37	1006.4	1026.45	1027.36	595.76	5.38	2259	12.15	1.99	3.23	5.28	0.37	0.60	0.95	0.50	0.90	16.0	12.1	3.9
		P-2	923.4	942.66	953.5	970.26	971.31	567.27	5.19	2285	11.86	2.09	3.26	5.07	0.40	0.63	1.03	0.50	1.06	15.0	11.9	3.2
	Vidutinės vertės:							5.28	2272.16	12.00	2.04	3.24	5.18	0.39	0.61	0.99	0.50	0.98	15.53	12.00	3.53	
	Nr.1-Š-A-2	P-1	897.44	915.3	925.79	942.72	943.57	553.16	5.14	2299	11.82	1.99	3.16	5.05	0.39	0.61	0.95	0.48	0.90	14.5	11.8	2.7
		P-2	941.71	960.29	970.81	988.1	988.81	583.4	5.00	2323	11.62	1.97	3.09	4.93	0.39	0.62	0.97	0.50	0.94	13.6	11.6	2.0
	Nr.1-A-2	P-1	878.28	895.6	906.19	922.81	923.81	542.46	5.18	2303	11.94	1.97	3.18	5.07	0.38	0.61	0.95	0.50	0.90	14.4	11.9	2.4
		P-2	972.27	990.65	1002	1020.95	1021.76	600.16	5.09	2306	11.74	1.89	3.05	5.01	0.37	0.60	0.92	0.50	0.85	14.3	11.7	2.5
	Vidutinės vertės:							5.10	2307.70	11.78	1.96	3.12	5.01	0.38	0.61	0.95	0.50	0.90	14.21	11.78	2.43	
Nr.2	Nr.2-V-2	P-1	871.33	890.77	901.43	917.6	918.99	533.87	5.47	2262	12.38	2.23	3.45	5.31	0.41	0.63	0.99	0.46	0.98	15.9	12.4	3.5
		P-2	783.6	801.17	810.95	824.76	826	481.87	5.41	2277	12.32	2.24	3.49	5.25	0.41	0.65	1.06	0.50	1.12	15.4	12.3	3.0
	Nr.2-Š-V-2	P-1	904.5	921.25	930.97	948.88	949.36	554.3	4.96	2290	11.36	1.85	2.93	4.91	0.37	0.59	0.90	0.49	0.81	14.9	11.4	3.5
		P-2	640.77	654.51	662.65	673.52	673.9	392.15	5.17	2274	11.76	2.14	3.41	5.11	0.41	0.66	1.09	0.53	1.18	15.5	11.8	3.7
	Vidutinės vertės:							5.25	2275.83	11.95	2.12	3.32	5.15	0.40	0.63	1.01	0.50	1.02	15.40	11.95	3.44	
	Nr.2-Š-VID-2	P-1	920.13	937.69	948.13	966.8	967.29	562.98	5.13	2276	11.66	1.91	3.04	5.07	0.37	0.59	0.90	0.49	0.81	15.4	11.7	3.7
		P-2	860.39	876.85	886.5	903.59	904.2	525.37	5.09	2271	11.56	1.91	3.03	5.02	0.38	0.60	0.92	0.48	0.84	15.6	11.6	4.0
	Vidutinės vertės:							5.11	2273.49	11.61	1.91	3.04	5.05	0.37	0.59	0.91	0.49	0.82	15.48	11.61	3.87	
	Nr.2-Š-A-2	P-1	567.89	580.68	586.86	595.75	596.19	347.59	4.98	2284	11.38	2.25	3.34	4.91	0.45	0.67	1.12	0.46	1.28	15.1	11.4	3.7
		P-2	603.18	616.34	623.14	633.38	633.77	368.88	5.07	2277	11.55	2.18	3.31	5.01	0.43	0.65	1.06	0.46	1.14	15.3	11.5	3.8
Nr.2-A-2	P-1	1117.38	1137.6	1149.8	1171.87	1172.61	684.91	4.94	2291	11.32	1.81	2.90	4.88	0.37	0.59	0.90	0.49	0.81	14.8	11.3	3.5	

		P-2	757.83	775.74	784.82	797.74	798.65	467.14	5.39	2286	12.31	2.36	3.56	5.27	0.44	0.66	1.09	0.46	1.21	15.0	12.3	2.7	
		Vidutinės vertės:							5.10	2284.64	11.64	2.15	3.28	5.01	0.42	0.64	1.04	0.47	1.11	15.07	11.64	3.43	
Nr.3	Nr.3-VID-2	P-1	905.52	926.1	937.56	954.5	955.36	557.97	5.50	2279	12.54	2.27	3.54	5.41	0.41	0.64	1.03	0.5	1.06	15.3	12.5	2.7	
		P-2	884.47	905.99	916.56	931.2	932.5	543.92	5.43	2276	12.36	2.43	3.63	5.28	0.45	0.67	1.12	0.46	1.28	15.4	12.4	3.0	
			Vidutinės vertės:							5.47	2277.41	12.45	2.35	3.58	5.35	0.43	0.66	1.08	0.48	1.17	15.34	12.45	2.89
Nr.4	Nr.4-V-3	P-1	825.36	848.51	858.44	870.48	871.98	505.85	5.65	2254	12.73	2.80	4.01	5.47	0.50	0.71	1.24	0.42	1.67	16.2	12.7	3.5	
		P-2	935.37	958.42	967.87	984.13	985.28	574.48	5.34	2277	12.15	2.46	3.47	5.21	0.46	0.65	1.06	0.4	1.16	15.4	12.1	3.2	
	Nr.4-Š-V-1	P-1	924.66	950.63	959.86	973.56	974.81	565.72	5.42	2260	12.26	2.81	3.81	5.29	0.52	0.70	1.21	0.38	1.65	16.0	12.3	3.7	
		P-2	1014.14	1040.27	1052.2	1069.06	1070.13	624.11	5.52	2274	12.55	2.58	3.75	5.42	0.47	0.68	1.15	0.42	1.39	15.5	12.6	2.9	
			Vidutinės vertės:							5.48	2266.32	12.42	2.66	3.76	5.35	0.49	0.69	1.17	0.41	1.47	15.75	12.42	3.33
	Nr.4-VID-1	P-1	657.86	673.3	681.68	693.08	693.78	406.26	5.46	2288	12.49	2.35	3.62	5.35	0.43	0.66	1.09	0.49	1.19	14.9	12.5	2.4	
		P-2	586.2	601.58	609.02	617.91	618.66	360.89	5.54	2274	12.59	2.62	3.89	5.41	0.47	0.70	1.21	0.48	1.49	15.5	12.6	2.9	
	Nr.4-Š-VID-1	P-1	917.51	939.35	950.13	966.12	966.97	562.71	5.39	2270	12.23	2.38	3.56	5.30	0.44	0.66	1.09	0.46	1.21	15.6	12.2	3.4	
		P-2	913.9	935.67	945.76	961.54	962.64	561.37	5.33	2278	12.15	2.38	3.49	5.21	0.45	0.65	1.06	0.41	1.15	15.3	12.1	3.2	
	Nr.4-Š-VID-2	P-1	796.15	817.02	826.31	838.53	839.64	493.03	5.46	2297	12.55	2.62	3.79	5.32	0.48	0.69	1.18	0.43	1.47	14.6	12.5	2.1	
		P-2	945.49	968.25	978.89	996.63	997.58	585.54	5.51	2295	12.64	2.41	3.53	5.41	0.44	0.64	1.03	0.41	1.07	14.7	12.6	2.1	
	Nr.4-A-VID-1	P-1	644.49	665.86	672.39	679.86	681.1	398.9	5.68	2284	12.97	3.32	4.33	5.49	0.58	0.76	1.43	0.36	2.70	15.1	13.0	2.1	
		P-2	317.06	327.92	330.12	332.91	333.7	197.1	5.25	2321	12.18	3.43	4.12	5.00	0.65	0.78	1.53	0.3	4.13	13.7	12.2	1.5	
		P-3	353.04	365.07	368.74	371.95	372.64	217.19	5.55	2271	12.61	3.41	4.45	5.36	0.61	0.80	1.62	0.40	3.34	15.6	12.6	3.0	
			Vidutinės vertės:							5.46	2286.32	12.49	2.77	3.86	5.32	0.51	0.71	1.25	0.42	1.97	15.01	12.49	2.52
	Nr.4-Š-A-1	P-1	1073.69	1097.24	1109.3	1132.73	1133.65	665.31	5.58	2293	12.80	2.19	3.31	5.50	0.39	0.59	0.90	0.44	0.79	14.8	12.8	2.0	
P-2		817.13	837.63	846.62	859.94	860.95	504.8	5.36	2294	12.30	2.51	3.61	5.24	0.47	0.67	1.12	0.40	1.33	14.7	12.3	2.4		
Nr.4-A-1	P-1	1028.34	1051.51	1062.6	1082.2	1083.54	633.81	5.37	2287	12.27	2.25	3.33	5.24	0.42	0.62	0.97	0.41	0.93	15.0	12.3	2.7		
	P-2	884.48	906.99	916.86	930.57	931.78	545.54	5.35	2290	12.25	2.54	3.66	5.21	0.48	0.68	1.15	0.41	1.41	14.9	12.2	2.6		
		Vidutinės vertės:							5.42	2290.86	12.41	2.38	3.48	5.30	0.44	0.64	1.04	0.42	1.11	14.84	12.41	2.43	