



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

**Monolitinių perdangų stebėsenos ankstyvuojų betono
kietėjimo periodu įtaka klojinių panaudojimo efektyvumui**

Baigiamasis magistro projektas

Andrius Gudauskas

Projekto autorius

Prof. dr. Mindaugas Daukšys

Vadovas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas
Statybos ir architektūros fakultetas

**Monolitinių perdangų stebėsenos ankstyvuojų betono
kietėjimo periodu įtaka klojinių panaudojimo efektyvumui**

Baigiamasis magistro projektas
Statybų valdymas (6211EX007)

Andrius Gudauskas

Projekto autorius

Prof. dr. Mindaugas Daukšys

Vadovas

Prof. dr. Žymantas Rudžionis

Recenzentas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Andrius Gudauskas

Monolitinių perdangų stebėsenos ankstyvuuju betono kietėjimo periodu įtaka klojinių panaudojimo efektyvumui

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Andriaus Gudausko, baigiamasis projektas tema „Monolitinių perdangų stebėsenos ankstyvuuju betono kietėjimo periodu įtaka klojinių panaudojimo efektyvumui“ 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)

Andrius Gudauskas. Monolitinių perdangų stebėsenos ankstyvuoju betono kietėjimo periodu įtaka klojinių panaudojimo efektyvumui. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Mindaugas Daukšys; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): inžinerija, statybos inžinerija (E05).

Reikšminiai žodžiai: betonas, klojiniai, perdanga, stebėseną.

Kaunas, 2020. 71 p.

Santrauka

Baigiamajame magistro projekte yra analizuojami metodai skirti stebėti betoną ankstyvuoju betono kietėjimo periodu, įvairių medžiagų bei sąlygų įtaka betonui 28 parų kietėjimo metu, klojinių sistemų apžvalga, kurios skirtos monolitinėms perdangoms bei jų efektyvus parinkimas įvertinant skirtingas ekonomines bei konstrukcines sąlygas.

Tiriamąjame dalyje laboratorijoje buvo daromi bandymai su trijų skirtingų klasių betonais (C20/25, C25/30 ir C30/37) iš trijų skirtingų betono tiekėjų, siekiant sudaryti betono kietėjimo kinetikos prognozavimo kreives, pritaikytas betono monolitinių konstrukcijų – perdangų stebėsenai realiuoju laiku. Lygiagrečiai bandymams laboratorijoje buvo atlikti bandymai ir statybos aikštelėje, šiems bandymams buvo pasitelkta vykdyti naudojant išmaniąsias technologijas - „SmartRock™ Concrete app“ ir jutiklius-termoporas „Giatec SmartRock2™“. Gauti rezultatai laboratorijoje ir statybos aikštelėje buvo palyginti ir pritaikyti pasirinktam objektui, esančiam Vilniuje, gyvenamosios paskirties daugiabutis pastatas, kurio pagrindiniai pastato konstrukciniai elementai sudaryti iš monolitinio betono konstrukcijų.

Darbas susideda iš įvado, 3 skyrių, išvadų, literatūros sąrašo. Darbo apimtis – 71 puslapis, 77 paveikslų, 9 lentelių, 4 formulių, 18 literatūros šaltinių.

Andrius Gudauskas. The Impact of Monitoring Early-age Behaviour of Monolithic Floor Slabs on the Efficiency of Formwork Application. Master's Final Degree Project / supervisor professor, Mindaugas Daukšys; Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: concrete, formwork, monolithic floor slab, monitoring.

Kaunas, 2020. 71.

Summary

The final master's project analyzes methods for monitoring concrete in the early stages of concrete hardening, the influence of various materials and conditions on concrete during the 28 day hardening period, overview of formwork systems for monolithic slabs and their effective selection considering different economic and structural conditions.

In the research section, three different grades of concrete (C20/25, C25/30 and C30/37) from three different concrete suppliers were tested in the laboratory in order to construct concrete cure kinetic prediction curves adapted for real-time monitoring of monolithic concrete slabs. In parallel, laboratory tests were carried out on site as well, using the SmartRock™ Concrete app and Giatec SmartRock2™ thermocouples. The results obtained in the laboratory and on the construction site were compared and applied to a selected object located in Vilnius, a residential apartments building, the main building elements of monolithic concrete structures.

The work consists of introduction, 3 chapters, conclusions, bibliography and annexes. Thesis consists of: 71 pages, 77 pictures, 9 tables, 4 formulas, 18 bibliographical entries.

Turinys

Lentelių sąrašas.....	8
Paveikslų sąrašas.....	9
Santrumpų ir terminų sąrašas.....	12
Įvadas	13
1. Literatūros apžvalga	14
1.1. Betono kietėjimo kinetikos metodo aspektai.....	14
1.2. Išmaniųjų technologijų taikymas betono monolitinės perdangos stebėjimui statybos aikštelėje 16	
1.3. Betono kietėjimo rodikliui įtakos turintys veiksniai	16
1.4. Monolitinio betono perdangoms įrengti naudojamos klojinių sistemos	20
1.5. Tinkamos klojinių sistemos parinkimas objektui	30
2. Tiriamoji dalis.....	31
2.1. Laboratorijoje taikyta tyrimų metodika.....	31
2.2. Statybos aikštelėje taikyta tyrimų metodika.....	36
3. Tyrimų rezultatai	39
3.1. Betono mišinio gamintojo „A“ betono kietėjimo rodiklis.....	39
3.2. Betono mišinio gamintojo „B“ betono kietėjimo rodiklis.....	44
3.3. Betono mišinio gamintojo „C“ betono kietėjimo rodiklis.....	48
3.4. Statybos aikštelėje gauti duomenys	51
3.5.1. Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ betono klasių C25/30 kietėjimo rodiklio palyginimas	57
3.5.2. Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ betono klasių C30/37 kietėjimo rodiklio palyginimas	59
3.5.3. Objekte ir laboratorijoje gautų rezultatų palyginimas.....	62
3.6. Klojinių panaudojimo efektyvumo vertinimas remiantis kietėjimo kinetikos rodikliu	63
Išvados.....	68
Literatūros sąrašas.....	69
Priedai	71
1 priedas. Statybos darbų kalendorinis grafikas, sudarytas remiantis MS „Project“ programa.	71

Lentelių sąrašas

1 lentelė. UAB „B“ tiekėjo betono mišinio sudėties duomenys.....	30
2 lentelė. Pradiniai duomenys išmaniajai programėlei „SmartRock™ Concrete app“	36
3 lentelė. UAB „A“ betono mišinio ruošimo ceche paimtų sudėčių duomenys.....	38
4 lentelė. UAB „B“ betono mišinio ruošimo ceche paimtų sudėčių duomenys.....	39
5 lentelė. UAB „C“ betono mišinio ruošimo ceche paimtų sudėčių duomenys.....	44
6 lentelė. Statybos aikštelėje naudoto betono mišinio sudėties duomenys	48
7 lentelė. Lyginamųjų tiekėjų C25/30 betono klasės sudėtys	51
8 lentelė. Lyginamųjų tiekėjų C30/37 betono klasės sudėtys	57
9 lentelė. Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ betono klasių C30/37 sudėtys.....	59

Paveikslų sąrašas

1 pav. Gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo kietėjimo laiko paromis.....	15
2 pav. Betono bandinių suirimo priklausomybė nuo temperatūros ir drėgnio	17
3 pav. 10 skirtingų sudėčių betono kubelių sudėtys	17
4 pav. Betono gniuždomojo stiprio rezultatai 1 metų kietėjimo laikotarpiu prie 65% drėgnumo bei 20 °C	18
5 pav. Betono gniuždomojo stiprio rezultatai 1 metų kietėjimo laikotarpiu prie 100% drėgnumo bei 20 °C	18
6 pav. Putų betono blokelių gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo kietėjimo laiko valandomis CO ₂ dujų aplinkoje	19
7 pav. MULTIFLEX klojinių sistema.....	20
8 pav. PERI daugiasluoksnė fanera-paklotas	21
9 pav. VT 20K medinės sijos (a), GT 24 santvaros tipo sijos (b)	21
10 pav. Pagrindinė statramsčio galva 20/24S (2a), paslanki galva 20/24 su fiksuojamu	22
11 pav. Tarpinė statramsčio galva 24 S (3a), tarpinė statramsčio galva 16/20 (3b).....	22
12 pav. Plieno vamzdiniai statramsčiai (4a): PEP, aliuminio statramsčiai (4b).....	22
13 pav. Montavimo šakės GT/VT, VT 20 ir GT24 sijoms (b), montavimo šakės 24 GT 24 sijoms (c)	22
14 pav. Universalus trikojis.....	23
15 pav. MULTIPROP rėmas MRK	23
16 pav. SKYDECK klojinių sistema	24
17 pav. Paslanki galva SFK.....	25
18 pav. Kryžminė galva SSK	25
19 pav. Išilginė sija SLT	25
20 pav. Skydas SDP.....	25
21 pav. Sieninis laikiklis SWH-2	26
22 pav. Klojinio surinkimo pradžia	26
23 pav. „PERI“ perdangos klojinių sistema „UNIportal“	28
24 pav. Sutvirtinimo galva	28
25 pav. Statramsčiai ir jų gama	29
26 pav. Faneros ir sijos	29
27 pav. Betono mišinio slankumo matavimas.....	32
28 pav. Betono mišinio bandinių cilindrus su viduje esančiomis termoporomis vaizdas	32
29 pav. Betono bandinių patalpinimas į termodėžę.....	33
30 pav. Duomenų kaupiklis Hobo UX120 4 Channel Analog.....	33
31 pav. Duomenų kaupiklis Hobo U12 4 External Channel	34
32 pav. Kompiuterinės programos „Hoboware Data Loggers&Devices“ pagrindinio lango vaizdas	34
33 pav. Termopora „Giatec SmartRock2™“.....	36
34 pav. Betono monolitinės perdangos schema ir jutiklių-termoporų instaliavimo vietos.....	37
35 pav. Termopora „Giatec SmartRock2™“ konstrukcijoje pritvirtinta prie armatūros strypo	37
36 pav. Išmanioji programėlė „SmartRock™ Concrete app“	38
37 pav. Betono mišinio C20/25 temperatūros kitimas 28 parų kietėjimo metu.....	40
38 pav. Prekinio betono C20/25 gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio	40
39 pav. C20/25 betono klasės gniuždomojo stiprio kietėjimo kinetika	41

40 pav. Betono mišinio C25/30 temperatūros kitimo pokytis.....	41
41 pav. C25/30 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio .	42
42 pav. C25/30 betono gniuždomojo stiprio kietėjimo kinetika	42
43 pav. Betono mišinio C30/37 temperatūros kitimo pokytis.....	43
44 pav. C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio .	43
45 pav. C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio kietėjimo kinetika	44
46 pav. Betono mišinio C25/30 temperatūros kitimo pokytis.....	45
47 pav. C25/30 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio .	45
48 pav. C25/30 betono gniuždomojo stiprio kietėjimo kinetika	46
49 pav. Betono mišinio C30/37 temperatūros kitimo pokytis.....	46
50 pav. C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio .	47
51 pav. C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio kietėjimo kinetika	47
52 pav. Betono mišinio C25/30 temperatūros kitimo pokytis.....	48
53 pav. C25/30 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio .	49
54 pav. C25/30 betono gniuždomojo stiprio kietėjimo kinetika	49
55 pav. Betono mišinio C30/37 temperatūros kitimo pokytis.....	50
56 pav. C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio .	50
57 pav. C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio kietėjimo kinetika	51
58 pav. Betono mišinio C30/37 temperatūros kitimo duomenys (iš perdangos viduryje esančios termoporos)	52
59 pav. Betono kietėjimo rodiklio grafikas (duomenys iš perdangos viduryje esančios termoporos)	53
60 pav. Prognozuojamas betono gniuždomasis stipris (duomenys iš perdangos viduryje esančios termoporos)	54
61 pav. Temperatūros kitimo duomenys tyrimo metu (duomenys iš perdangos šone esančios termoporos)	55
62 pav. Betono kietėjimo rodiklio grafikas (duomenys iš perdangos šone esančios termoporos)....	56
63 pav. Prognozuojamas betono gniuždomasis stipris (duomenys iš perdangos šone esančios termoporos)	56
64 pav. Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ prekinio betono C25/30 mišinio temperatūros kitimo duomenys 28 parų kietėjimo metu.....	58
65 pav. Betono mišinio gamintojų A“, „B“ ir „C“ prekinio betono C25/30 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo temperatūrvalandžių	58
66 pav. Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ C25/30 betono klasės gniuždomojo stiprio kinetika	59
67 pav. Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ C30/37 betono mišinio temperatūros kitimo duomenys 28 parų kietėjimo metu.....	60
68 pav. Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio.....	61
69 pav. Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio kietėjimo kinetika	61
70 pav. C30/37 „B“ tiekėjo betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio pasinaudojant laboratorijoje atiliktais tyrimais bei objekte gautais rezultatais pasitelkiant „SmartRock“ aplikaciją.....	62
71 pav. Betono mišinio gamintojo „B“ C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio kietėjimo kinetika	63

72 pav. Pasirinkto pastato pjūvis 2-2 ašyje	64
73 pav. Tipinio aukšto monolitinio betono perdangos klojinių išdėstymo schema.....	64
74 pav. Klotinių apkrovų paskirstymo metodas	65
75 pav. C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio kietėjimo kinetika	66
76 pav. Statybvietės nuotrauka su naudojamais klotiniais.....	66
77 pav. Papildomų išlaidų bei sutaupomų pinigų skirtumą rodantis grafikas.....	67

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

pav. – paveikslas

t.y. – tai yra;

m – metras;

cm – centimetras;

mm – milimetras;

proc., % – procentai;

kg – kilogramas;

g – gramas;

°C – Celsijaus laipsnis;

MPa – megapaskalis;

val. – valanda;

°C·val – temperatūrvalandės.

Ivadas

Pastaruoju metu Lietuvoje sparčiai auga monolitinio betono konstrukcijų įrengimas statybos aikštelėje. Didėjant tokių statybų mastams, reikalinga efektyvi ir savalaikė monolitinio betono konstrukcijų stebėseną ankstyvuojant betono kietėjimo periodu. Tai ypač aktualu masyvioms betono konstrukcijoms. Dabartiniu metu naudojami betono kietėjimo prognozavimo metodai (tamprus atšokimo metodas, ultragarso ir kiti) neleidžia prognozuoti ankstyvojo betono kietėjimo konstrukcijoje realiuoju laiku, todėl yra ypač svarbūs statinio konstrukcijos stabilumui, stiprumui ir ilgaamžiškumui. Tai ypač aktualu statant tokio tipo statinius, kaip tiltai, hidrotechniniai statiniai, elektrinės ir pan., kurių konstrukcijų priežiūros bei remonto kaštai ženklūs, o ilgaamžiškumas turi didelę ekonominę ir strateginę vertę. Todėl sparčiai augant IT inovacijoms, ankstyvojo betono kietėjimo dinamiką konstrukcijoje realiuoju laiku būtų galima stebėti naudojant daviklius – termoporas ir mobiliąsias programas išmaniusiose telefonuose. Betono ankstyvojo kietėjimo dinamikos prognozavimo procesą būtų galima stebėti nuotoliniu būdu. Tai leistų stebėti, fiksuoti ir reaguoti į situaciją realiu laiku bei ženkliai taupyti statybos kaštus trumpinant statybos bei klojinių naudojimo laiką.

Tyrimų objektas – betono monolitinės perdangos.

Tikslas – sudaryti betono kietėjimo kinetikos prognozavimo kreives, pritaikytas betono monolitinių konstrukcijų – perdangų stebėsenai realiuoju laiku.

Uždaviniai:

1. Apžvelgti monolitinių konstrukcijų stebėsenai naudojamus tyrimo metodus;
2. Sudaryti betono kietėjimo kinetikos kreives monolitinių perdangų įrengimui naudojamoms betono mišinio sudėtims.
3. Gautus tyrimų duomenis palyginti su statybos aikštelėje nustatytais duomenimis nuotoliniu būdu.
4. Atsižvelgiant į sudarytas prognozavimo kreives įvertinti klojinių panaudojimo efektyvumą monolitinių perdangų įrengimui nagrinėjamame objekte.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Betono kietėjimo kinetikos metodo aspektai

Giatic Scientific Inc. [1] straipsnyje aprašomas betono kietėjimo kinetikos metodo aspektai ir teigiama, kad tai yra gana paprastas metodas betono gniuždomajam stiprumui vietoje įvertinti, ypač pirmomis 14 dienų betono stengimo laikotarpiu. Atlikus betono bandymus laboratorijoje gauti duomenys gali būti naudojami betono gniuždomojo stiprio įvertinimui realiu laiku statybvietėje. Betono kietėjimo kinetikos metodas nusako, kad tokio pačios sudėties betono mišinys pasiekus tam tikrą temperatūrvandžių skaičių pasieks tą patį gniuždomąjį stiprį. Tai reiškia, kad tikro betono mišinio sudėtis gali pasiekti tą patį atsparumą gniuždymui po 7 dienų kietėjimo 10 °C temperatūroje, bet jeigu jis būtų kietinamas 25 °C temperatūroje tą patį gniuždomąjį stiprį pasiekti per 3 dienas. ASTM C1074 teikia dvi brandos funkcijas: 1) Nurse-Saulo metodą ir 2) Arrhenius metodą. Remiantis Nurse-Saulo metodu yra ryšys tarp kietėjimo ir temperatūros realiuoju laiku. Pagrindinė prielaida yra ta, kad betono stiprio kitimas yra priklausomas nuo temperatūros išsiskiriančios hidratacijos metu. 1 lygtis parodo betono kietėjimo rodiklį:

$$M(t) = \sum (T_a - T_o) \cdot \Delta t;$$

(1)

čia:

$M(t)$ – betono kietėjimo rodiklis laiko atžvilgiu t , °C · val.;

Δt – laiko intervalas, dienomis ar valandomis,

T_a – vidutinė betono mišinio temperatūra laiko intervale Δt ,

T_o – pradinė betono mišinio temperatūra, °C.

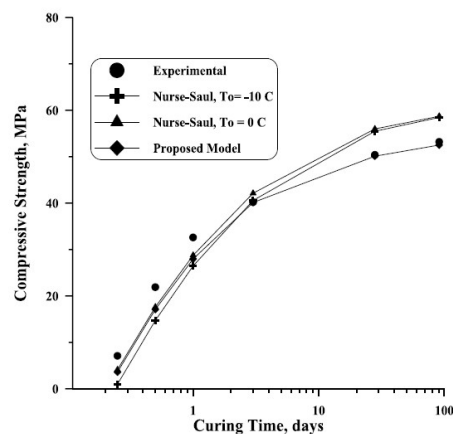
Taip yra alternatyva Nurse-Saulo metodui, tai yra Arrheniuso metodas, kuris teigia, kad egzistuoja eksponentinis ryšys tarp gniuždomojo stiprio ir hidratacijos temperatūros. Betono kietėjimo rodiklis apibrėžiamas kaip lygiavertis amžius esant pamatinei temperatūrai. Tai reiškia, kad tikrasis amžius turėtų būti normalizuotas pagal etaloninę temperatūrą įvertinti gniuždomąjį stiprį. Šiai funkcijai reikalinga aktyvacijos energijos vertė, kurią galima nustatyti pagal ASTM C1074 standartą. Arrhenijaus funkcija yra moksliskai tikslesnė bet Nurse-Saulo funkcija yra tikslesnė dažniausiai naudojama betono pramonėje dėl to, kad yra paprastesnė ir labiau pritaikoma.

Betono kietėjimo rodiklis pagal Nurse-Saulo metodą

Nurse-Saulo metodas atrastas dar 1950 m. Mokslininkai R. W. Nurse ir A.G.A. Saul sukūrė metodą, kuris 1987 m. patvirtintas „ASTM C 1074“ standartu. Šis metodas aprašomas šaltiniuose [2-4]. Jo esmė yra tame, kad to paties gamintojo, to pačio betono mišinio sudėties ankstyvojo kietėjimo dinamika priklauso nuo temperatūros ir laiko trukmės. Nepriklausomai nuo to, kokioje temperatūros

aplinkoje betonas kietėjo, pasiekus tą patį temperatūrvalandžių skaičių, betonas pasiekia tą patį gniuždomąjį stiprį, kuris yra pagrindas kitiems ne mažiau svarbiems parametrams prognozuoti. Norint pritaikyti šį metodą reikia atlikti tyrimus laboratorijose, atlikti atskirų betono sudėčių betono kietėjimo kinetikos ir sukietėjusio betono fizikinių ir mechaninių savybių tyrimus, įvertinti betono mišinių sudedamųjų dalių – cemento tipo ir rūšies, jo kiekio, vandens ir cemento santykio bei betono įmaišų sudėties įtaką betono kietėjimo kinetikai, registruoti cemento hidratacijos metu išsiskiriančios šilumos temperatūros pokyčius laiko atžvilgiu ir lygiagrečiai temperatūrinių laiko diagramų sudarymo metu nustatyti betono gniuždomąjį stiprį po kelių kietėjimo parų. Tai vienas iš pagrindinių metodų, kuris naudojamas prognozuoti betono kietėjimą. Pritaikius šį metodą ir priderinus prie šiuolaikinių technologijų galimybių galima sumažinti statybos darbų kainą bei sumažinti defektų atsiradimo galimybes.

Norint tiksliau įvertinti gniuždomąjį stiprį Nurse-Saulo metodas autorių [3], [8] buvo modifikuotas. Nurse-Saulo betono kietėjimo rodiklio nustatymo metodui buvo pasiūlytos dvi modifikacijos, siekiant gauti geresnius betono gniuždomojo įverčius prie skirtingų temperatūrų. Modifikacijose atsižvelgiama į V/C (vandens ir cemento) santykį, santykio įtaką gniuždomojo stiprio priklausomybei nuo temperatūros bei įtaką ilgalaikio stiprumo priklausomybei nuo temperatūros. Siūlomų modifikacijų įtaka betono gniuždomąjį stipriui įvertinti panaudojus Nurse-Saulo kietėjimo rodiklio funkciją buvo palyginta su įvertinimu, naudojant nepakeistą Nurse-Saulo lygtį su dviem skirtingomis ataskaitos taško temperatūromis (t. y. $T_0 = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir $T_0 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Rezultatai rodo, kad siūlomų modifikacijų taikymas padidina apskaičiuoto betono gniuždomojo stiprio tikslumą, esant skirtingoms kietinimo temperatūroms, ypač vėlesniais metais.



1 pav. Gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo kietėjimo laiko paromis

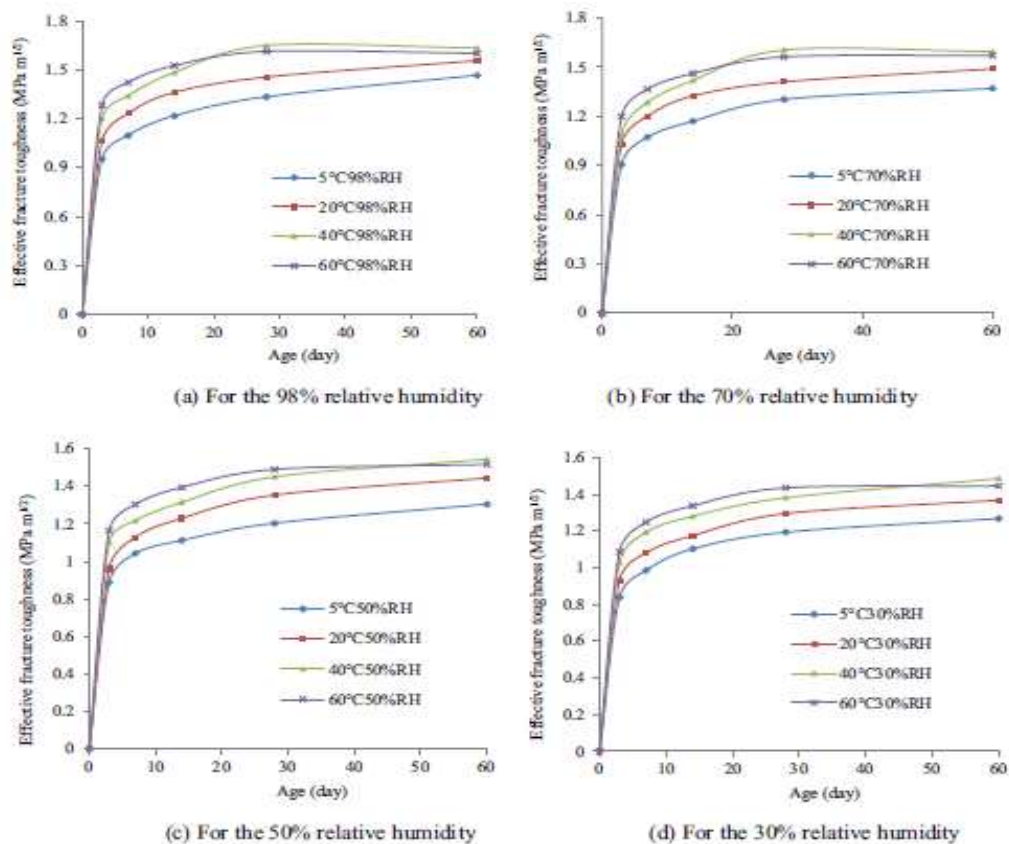
1.2. Išmaniųjų technologijų taikymas betono monolitinės perdangos stebėjimui statybos aikštelėje

Išmaniosios technologijos taip pat naudojamos ir statybos sektoriuje bei statybos aikštelėse [2,4]. Straipsniuose pristatomas išmanusis PERI produktas jutiklis-termopora, skirta stebėti betono kietėjimą ankstyvuojant betono kietėjimo metu. Jutikliai sumontuojami prieš betonavimo darbus, kurie leidžia fiksuoti temperatūros pokyčius betono konstrukcijoje 15 min. intervalu ir reaguoti į situaciją realiu laiku bei sisteminti gautą informaciją. Pasitelkus jau minėtą Nurse-Saulo metodą galima nustatyti, kada betoninė konstrukcija pasieks reikiamą betono gniuždomąjį stiprį. Žinant ir valdant šią informaciją galima pasiekti ir teigiamų rezultatų: sutaupyti statybos išlaidas naudojant klojinius bei išvengti defektų atsiradimo, pvz., kaip nepageidaujamų plyšių atsivėrimų, antrinio etringito formavimosi.

1.3. Betono kietėjimo rodikliui įtakos turintys veiksniai

Betono kietėjimo rodiklis įvertinant santykinę drėgmę

Betono kietėjimo rodiklio metodas įvertinat kietėjimo temperatūros ir drėgmės aptartas straipsnyje [5]. Modelyje buvo įdiegta naujoviška drėgmės lygio funkcija, skirta įvertinti drėgmės įtaką betono suirimui veikiant apkrovoms. Betono bandinių suirimo tyrimai buvo atliekami skeliant bandinius, kietėjusius tiek pastovioje ir skirtingoje temperatūroje, tiek pastovioje ir skirtingoje drėgmėje. Rezultatai parodė, kad naujas modelis gali tiksliai prognozuoti betono, kietėjusio skirtingomis sąlygomis, suirimo savybes, esant paklaidai, mažesnei nei 6%. Temperatūros įtaka betono suirimo savybėms buvo pastebėta visuose tirtuose drėgmės lygiuose, tačiau esant mažam drėgniui, poveikis nebuvo toks ryškus, lyginant su dideliu drėgniui. Tyrimo rezultatų kreivės pateikiamos 2 pav.



2 pav. Betono bandinių suirimo priklausomybė nuo temperatūros ir drėgnio

Lakiųjų pelenų įtaka betono stipriui skirtingu kietėjimo laikotarpiu

Lakiųjų pelenų įtaka betono stipriui tyrimas aprašoma straipsnyje [6]. Atliekant tyrimą duomenys gauti pagal gautus kubelių gniuždomojo stiprio rezultatus, buvo parinkta 10 sudėčių, kurių sudėtyms pateiktos 3 paveikslėlių.

Mixture proportions for a cubic-meter of concrete

	M0W	M0Z	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Cement (kg)	400	400	120	120	200	200	120	120	200	200
Fly ash (kg)	–	–	280	280	200	200	280	280	200	200
Sand (kg)	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Gravel (kg)	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Water (l)	136	128	112	116	132	120	172	160	172	156
Optimum W/C ratio	0.32	0.32	0.29	0.29	0.3	0.3	0.40	0.40	0.39	0.39
Actual W/C ratio	0.34	0.32	0.28	0.29	0.33	0.3	0.43	0.40	0.43	0.39
SP (l)	5.6	–	5.6	–	5.6	–	5.6	–	5.6	–
Flow table (mm)	540	0	550	0	600	0	560	0	570	0

3 pav. 10 skirtingų sudėčių betono kubelių sudėtyms

HVFA betono sistemos ir NPC kontrolinio betono gniuždomojo stiprio pokyčiai pateikti 4 ir 5 paveikslukuose.

Compressive strength (MPa) of concrete cured at 65% RH with 20 °C

Age	M0W	M0Z	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
1 Day	12.05	33.51	1.76	7.09	5.62	28.25	NA	4.29	3.20	15.73
3 Days	38.41	45.27	16.34	16.64	31.85	35.30	7.98	10.90	20.22	26.14
7 Days	49.27	52.63	24.01	18.60	38.00	48.30	12.29	14.40	25.36	34.30
28 Days	60.75	64.95	33.25	30.55	57.00	66.55	21.10	22.60	36.60	45.85
3 Months	65.03	68.10	40.75	41.10	60.20	79.90	24.21	28.01	42.65	54.55
6 Months	69.13	72.29	42.45	43.00	67.30	81.60	27.50	29.65	49.70	55.65
1 Year	71.00	77.08	45.00	48.05	67.60	83.60	30.7	31.90	53.00	60.20

4 pav. Betono gniuždomojo stiprio rezultatai 1 metų kietėjimo laikotarpiu prie 65% drėgnumo bei 20 °C

Compressive strength (MPa) of concrete cured at 100% RH with 20 °C

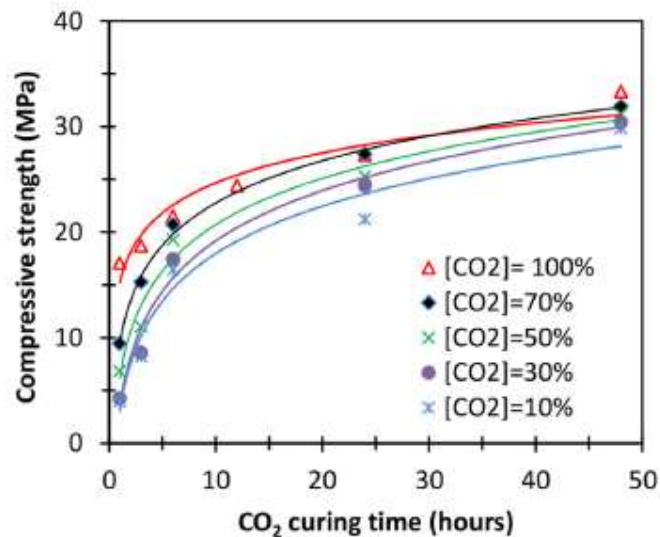
Age	M0W	M0Z	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
1 Day	12.05	33.51	1.76	7.09	5.62	28.25	NA	4.29	3.20	15.73
3 Days	40.72	49.44	17.83	19.80	32.75	36.90	7.07	11.05	19.11	26.55
7 Days	51.54	56.27	24.86	20.09	40.75	49.60	12.05	13.50	24.41	35.10
28 Days	62.66	69.12	43.10	34.10	63.50	70.30	19.34	22.94	41.15	49.60
3 Months	76.85	81.54	63.40	48.75	81.60	83.70	30.15	41.80	59.25	66.40
6 Months	78.53	82.40	70.45	59.90	90.50	84.75	44.15	47.05	64.00	72.65
1 Year	80.21	84.72	75.10	65.50	94.35	87.85	50.25	51.20	72.10	77.40

5 pav. Betono gniuždomojo stiprio rezultatai 1 metų kietėjimo laikotarpiu prie 100% drėgnumo bei 20 °C

Iš 4 ir 5 paveikslukų matyti, kad per dieną M8 mišinys, pagamintas naudojant 50% „Aberthaw“ lakiųjų pelenų, pasiekė mažesnę gniuždymo stiprį, nei atitinkamas kontrolinis mišinys (M0Z). Tačiau M4 mišinio, pagaminto iš 50% „Drax“ lakiųjų pelenų, stiprumas yra lygintinas su atitinkamo NPC betono (M0Z) stiprumu per 1 dieną. M1, M2 ir M3, pagamintų iš „Drax“ lakiųjų pelenų, ir M5, M6 ir M7, pagamintų su „Aberthaw“ lakiaisiais pelenais betono mišinių stiprumas buvo žymiai mažesnis nei atitinkamų kontrolinių mišinių M0W ir M0Z 1 dienos kietėjimo laikotarpiu, esant sausom ir drėgnom kietėjimo sąlygoms. Tačiau jie įgijo pakankamą stiprį, kad būtų galima naudoti. Betonai, kurių sudėtyje yra superplastikatoriaus turėjo mažesnę gniuždymo stiprį nei neplastifikuotas betonas per 1 dieną (4 ir 5 pav.). Tai priskiriama didelėms superplastikatoriaus dozėms naudojamoms betone, kurių hidratacija sulėtėjo. Tačiau po 3 parų ir vėliau superplastikatoriaus sulėtėjusi įtaka išnyko. Mišinių (M1-M2 ir M5-M6), turinčių atitinkamai 70% „Drax“ ir „Aberthaw“ lakiųjų pelenų, gniuždymo stipris buvo mažesnis nei atitinkamų kontrolinių mišinių (M0W-M0Z) gniuždymo stipris vis kietėjimo metu, apimantis ir sausą, ir drėgną kietėjimo sąlygas. Mišinių (M3-M4), kurių sudėtyje yra 50% „Drax“ lakiųjų pelenų, gniuždomasis stipris buvo panašus arba didesnis nei atitinkamų kontrolinių mišinių (M0W-M0Z) stiprumas 28 parų laikotarpiu. Tačiau mišinių (M7-M8), kurių sudėtyje yra 50% „Aberthaw“ lakiųjų pelenų, gniuždomasis stipris buvo mažesnis nei tinkamų kontrolinių mišinių (M0W-M0Z) stiprumas 28 parų ir tolimesnėmis dienomis. Betono, kuriame yra „Drax“ lakieji pelenai, gniuždomoji jėga buvo didesnė už jo ekvivalento betono pagaminto su „Aberthaw“ lakiaisiais pelenais stiprumą, nes betono, kuriame yra „Drax“ lakiųjų pelenų „Aberthaw“ lakieji pelenai, vandens ir cemento santykis. Tai buvo tiesioginis rezultatas dėl didelio LOI kiekio „Aberthaw“ lakiųjų pelenų, atsirandančių dėl didesnio mišinių vandens poreikio. Be to, betonas, turintis 50% lakiųjų pelenų, kaip cemento pakaitalas, padidino gniuždymo stiprį nei betonas, turintis 70% lakiųjų pelenų tiek „Drax“, tiek „Aberthaw“ lakieisiais pelenais. Remiantis aukščiau pateiktais rezultatais ir diskusijomis, galima teigti, kad „Aberthaw“ lakieji pelenai gali būti naudojami betone iki 50% pakaitinio cemento, tačiau jis nėra tinkamas labai aukšto lygio pakaitiniam cementui gaminti didelio stiprumo betonui.

Betono kietėjimo rodiklis įvertinant kietėjimą CO₂ dujų aplinkoje

Betono kietėjimo rodiklio metodas įvertinat betono kietėjimą CO₂ dujų aplinkoje aptartas straipsnyje [7]. Autoriai naujuoju metodu siekia, kad ankstyvoje betono kietėjimo stadijoje būtų pasiektas spartesnis gniuždomojo stiprio augimas bei sumažintas šiltnamio efektą sukeliančių dujų (CO₂) kiekis aplinkoje. Šiame darbe pateiktas eksperimentinis betono kietėjimo rodiklio metodo kūrimas, skirtas įvertinti putų betono blokelių gniuždomojo stiprio pokyčius. Tyrimo metu naudota įvairi CO₂ koncentracija, skirtinga RH vertė bei skirtingas dujų srauto greitis. Bandiniai buvo veikiami CO₂ dujomis esant aplinkos slėgiui ir temperatūrai. Eksperimentiniai rezultatai parodė, kad putų betono blokelių gniuždomajam stipriui ar betono kietėjimo rodikliui įtakos turėjo pagreitinta cemento hidratacija. Aukšta CO₂ koncentracija, greitas dujų srautas ir vidutinis santykinis oro drėgnumas buvo svarbūs veiksniai betono kietėjimo rodiklio ir gniuždomojo stiprio vystymuisi. Sukurtas modelis gali tiksliai prognozuoti putų betono blokelių gniuždomąjį stiprį.



6 pav. Putų betono blokelių gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo kietėjimo laiko valandomis CO₂ dujų aplinkoje

Kietėjimo laiko optimizavimas naudojant Weibullo paskirstymo modelį

Kietėjimo laiko optimizavimas naudojant Weibullo paskirstymo modelį buvo atliktas analizuojant paprastojo portlandcemenčio betono bandinių gniuždomojo stiprio pokyčio greitį [9]. Šiame tyrime pateikiamas nanocemento pagrindu pagaminto betono (NCC) ir paprastojo portlandcemenčio pagrindu pagaminto betono (OPCC) bandinių savybių palyginimas. Betono bandinių gniuždomasis stipris buvo matuojamas pasibaigus keturiems pageidaujamiems kietėjimo laikams, t. y. 3, 7, 14 ir 28 paroms. Po to, prieš optimizuojant kietėjimo laiką, buvo prognozuojamas reikiamas kietėjimo laikas

tam tikram gniuždomojo stiprio kitimo greičiui pasiekti, naudojant lygtį, gautą iš gniuždomojo stiprio pokyčio priklausomybės nuo kietėjimo trukmės kitimo naudojant Weibullo paskirstymo modelį (su 99,99% pasiklovimo lygmeniu). Rezultatai atskleidė, kad reikalingas kietėjimo laikas betonui su nanocementu yra 21 diena, o betonui su paprastu portlandcemenčiu - 28 dienos. Galima daryti išvadą, kad norint sutaupyti statybai reikalingą laiką būtų galima naudoti nanocemento pagrindu pagamintus statybos produktus, lyginant su statybos produktais, pagamintais paprasto portlandcemenčio pagrindu.

1.4. Monolitinio betono perdangoms įrengti naudojamos klojinių sistemos

Lietuvos klojinių rinkoje egzistuoja keletas skirtingų klojinių gamintojų. Rinkoje aktyviai veikia „PERI“, kurie siūlo kelias skirtingas opcijas klojinių pasirinkimui skirtingoms konstrukcijoms. Taip pat bando prie jau sukurtų sistemų integruoti naujas technologijas ir taip klientui pasiūlyti efektyviausią klojinių sprendimo būdą projektui, kuriuo taupyti ne tik išlaidas klojiniam, statybos laikotarpį, bet ir būtų saugūs naudoti. Pagrindinės „Peri“ siūlomos klojinių sistemos perdangoms: „MULTIFLEX“, „SKYDECK“ ir „UNIportal“.

„Peri“ klojinių „MULTIFLEX“ sistemos apžvalga



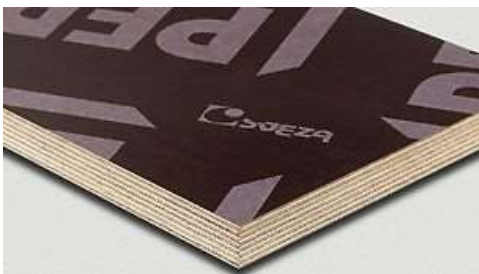
7 pav. MULTIFLEX klojinių sistema

Peri išleistame kataloge pristatoma, kad „MULTIFLEX“ klojinių sistema yra surenkamoji perstatomoji perdangos klojinių sistema, kuri tinka bet kuriam paviršiui ir skirtingiems aukščiams, priklausomai nuo naudojamų statramsčių tipo [10]. Sistemos pagrindiniai privalumai:

- Sistema pritaikoma dideliems ir mažiems tarpatramiams – dideliems tarpatramiams tarp nešančių sijų rekomenduojama naudoti tvirtesnes GT24 sijas, o mažesniems tarpatramiams, ekonominės klasės VT 20K sijas. Taip pat yra galimybė sijas kombinuoti tarpsusavyje;
- Įvairus formų pritaikymas – naudojant sijas teleskopiniu būdu, atsiranda galimybė pritaikyti įvairių perdangų formoms.

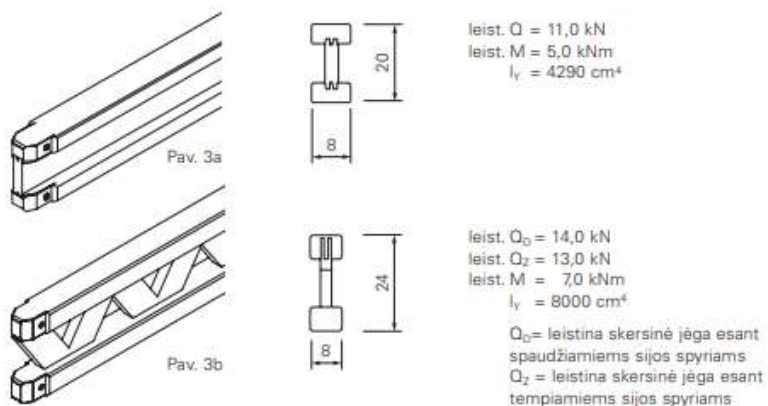
Klojinių sistemą sudaro atskiri elementai:

PERI daugiasluoksnė paklotas-fanera, 21 mm storio, 62,5×2,50 m.;



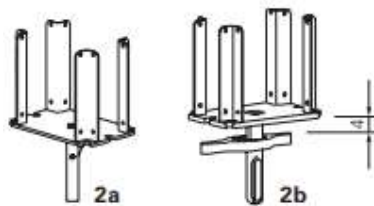
8 pav. PERI daugiasluoksnė fanera-paklotas

VT 20 sija ir GT 24 santvaros tipo sija;



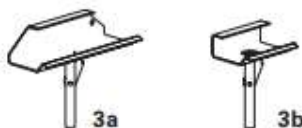
9 pav. VT 20K medinės sijos (a), GT 24 santvaros tipo sijos (b)

Pagrindinė statramsčio galva, užtikrina stabilų vienos arba dviejų sijų palaikymą, taip pat veikia kaip tarpinė atrama atskiroms sijoms;



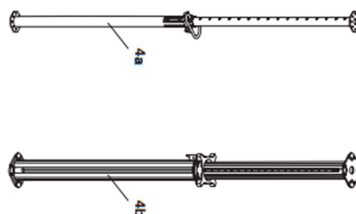
10 pav. Pagrindinė statramsčio galva 20/24S (2a), paslanki galva 20/24 su fiksuojamu kaiščiu (2b)

Tarpinė statramsčio galva tarpiniam parėmimui;



11 pav. Tarpinė statramsčio galva 24 S (3a), tarpinė statramsčio galva 16/20 (3b).

- PERI atramų sistemos



12 pav. Plieno vamzdiniai statramsčiai (4a): PEP, aliuminio statramsčiai (4b)

- Montavimo šakės sijų montavimui ir demontavimui;



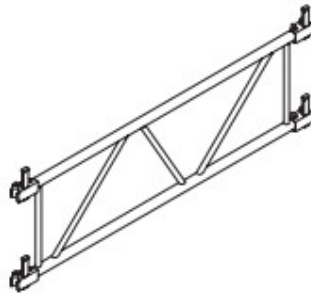
13 pav. Montavimo šakės GT/VT, VT 20 ir GT24 sijoms (b), montavimo šakės 24 GT 24 sijoms (c)

Universalus trikojis, naudojamas kaip montavimo pagalbinė priemonė visiems apvalios ir stačiakampio formos perdangos statramsčiams. Dėl šarnyrinio mechanizmo konstrukcijos, trikojis gali būti montuojamas sienų kampuose arba ties lygiomis sienomis



14 pav. Universalus trikojis

MULTIPROP rėmas MRK reikalingas, kai klojinių atrėmimo aukštis didesnis nei $> 3,0$ m, MP statramsčių sutvirtinimui.



15 pav. MULTIPROP rėmas MRK

MULTIFLEX klojinių montavimo eiga:

1. Uždėti pagrindinę arba tarpinę statramsčio galvą ant statramsčio ir užfiksuoti.
2. Pastatyti statramsčius su pagrindinėmis galvomis reikiamoje padėtyje ant plokščio ir kieto paviršiaus ir užfiksuoti juos trikojų pagalba.
3. Uždėti ant jų iš apačios pagrindines sijas naudojant montavimo šakes ir pastati statramsčius su pagrindinėmis galvomis.
4. Uždėti iš apačios skersines/šalutines sijas naudojant montavimo šakes.
5. Uždėti iš apačios skersines/šalutines sijas naudojant montavimo šakes.
6. Užfiksuoti antrines sijas nuo pasvirimo, uždėti paklotą-fanerą ir prikalti ją vinimis. Išniveliuoti klojinius ir apipurkšti paklotą specialiu tepalu skirtu klojiniams.
7. Pastatyti tarpinius statramsčius su tarpinėmis galvomis prie sijų išlaikant tarpus tarp statramsčių ir reikia sureguliuoti statramsčių aukštį.

„Peri“ klojinių „SKYDECK“ sistemos apžvalga



16 pav. SKYDECK klojinių sistema

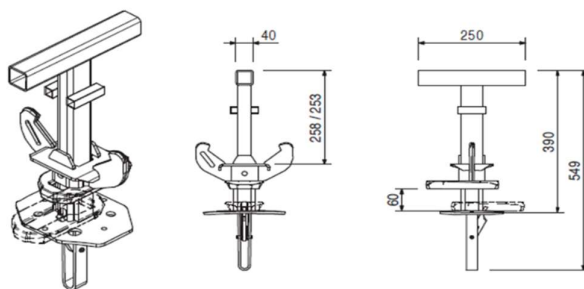
Peri išleistame [11] kataloge pristatoma, kad dirbdami su SKYDECK galima greitai pasiekti gerus rezultatus išlaikant darbų saugos reikalavimus, nes klojiniai pakankamai lengvi, kompaktiški, ergonomiški. Sistema buvo projektuojama standartinėms perdangoms plokštėms iki 43 cm storio, bet su 75 cm klojinių plokštėmis gali būti formuojamos 109 cm storio perdangos plokštės.

Pagrindiniai privalumai:

- Lengvas sistemos montavimas atsirandantis dėl sistemos lengvumo, nes pagrindinių sijų svoris siekia iki 15,5 kg.
- Ankstyvas klojinių išmontavimas priklausantis nuo perdangos storio bei betono sudėties, gali būti išmontuojamos jau po pirmos paros perdangos betonavimo
- Greitas sistemos montavimo laikas dėl sistemos paprastumo ir mažo operacijų kiekio
- Lengvas klojinių valymas dėl specialiai miltelinio būdu padengtų elementų bei plastikinių dalių

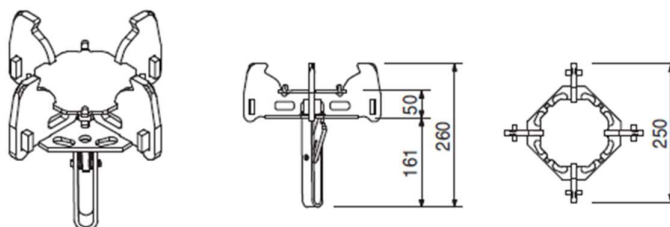
Pagrindiniai sistemos elementai:

- Statramstis;
- Paslanki galva SFK;



17 pav. Paslanki galva SFK

- Kryžminė galva SSK;



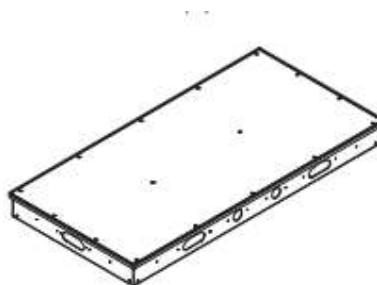
18 pav. Kryžminė galva SSK

- Išilginė sija SLT;



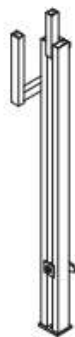
19 pav. Išilginė sija SLT

- Skydas SDP;



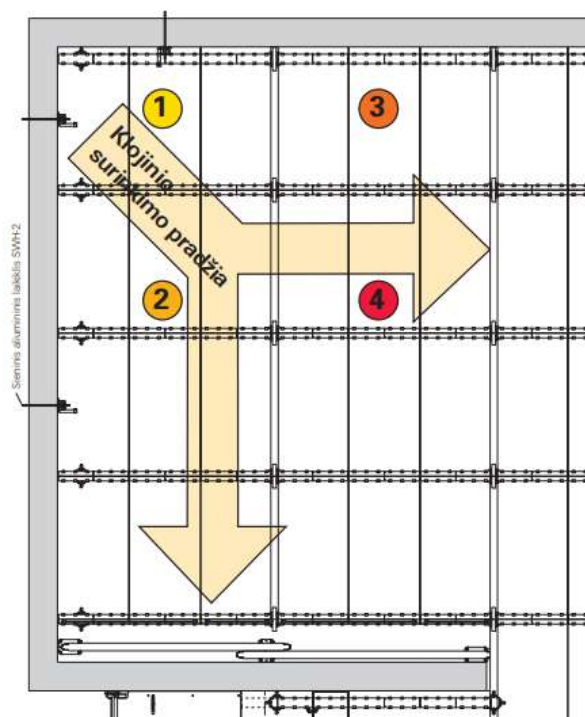
20 pav. Skydas SDP

- Sieninis laikiklis SWH-2.



21 pav. Sieninis laikiklis SWH-2

SKYDECK klojinių montavimo schema skirstoma į 4 etapus, kurie parodyti grafiškai 22 pav.



22 pav. Klojinio surinkimo pradžia

SKYDECK klojinių montavimo eiga:

1. Pirmąjį statramstį su kryžmine galva pastatyti kampe 12,5 cm atstumu nuo išilginės sienos ir 25 cm atstumu nuo skersinės sienos, sutvirtinti trikoju. Antrąjį statramstį su paslankia galva pastatyti 12,5 cm atstumu nuo išilginės sienos ir 2,275 m atstumu nuo skersinės sienos. Po to uždėti pirmąją išilginę siją ir sutvirtinti trikoju.
2. Trečiąjį statramstį su kryžmine galva pastatyti 1,50 m atstumu nuo išilginės sienos ir 25cm atstumu nuo skersinės sienos ir sutvirtinti trikoju. Ketvirtąjį statramstį su paslankia galva pastatyti 1,50 m atstumu nuo išilginės sienos ir 2,275 m atstumu nuo skersinės sienos. Po to uždėti antrąją išilginę siją ir sutvirtinti trikoju.
3. Uždėti pirmus tris skydus. Atkreipti dėmesį į tikslų skydo įleidimą. Visi sekantys skydai, dedami ant išilginių sijų, centruojasi savaime
4. Kas antroje klojinių skydų sekcijoje būtina įmontuoti sieninį laikiklį SWH. Surinkimo metu jis atlieka pagalbinę horizontalios padėties išlaikymo funkciją. Su SWH užfiksuojama tiek išilginė sija, tiek skydas. Dabar galima nuimti trikojus.
5. Surenkant skersinę sekciją pirmiausia statomas ir tvirtinamas statramstis su kryžmine galva. Po to statomas antras statramstis su paslankia galva ir uždedamos išilginės sijos.
6. Antrasis statramstis sutvirtinamas trikoju tam, kad nenuvirstų. Skydai dedami iš apačios. Kas antroje sekcijoje būtina sumontuoti SKYDECK sieninį laikiklį SWH-2
7. Surenkant išilginę sekciją, pirmiausia užkabinamos dvi išilginės sijos, po to jos statramsčių su paslankiomis galvomis pagalba pakeliamos į viršų. Statramsčiai turi būti sutvirtinti trikojais.
8. Skydai dedami iš viršaus. Kas antroje sekcijoje išilgai sienos būtina sumontuoti SKYDECK sieninį laikiklį SWH-2
9. Toliau surinkimas vykdomas sekančiais: montuotojas, esantis apačioje, užkabina išilgines sijas ir statramsčių su paslankia galva pagalba pakelia jas į reikiamą aukštį. Montuotojas, esantis viršuje, uždeda skydus.
10. Pabaigoje sumontuojami plastikiniai SKYDECK intarpai ir niveliuojami klojiniai.

„Peri“ klojinių „UNIPORTAL“ sistemos apžvalga

Norint objekte pagreitinti klojinių surinkimo darbus PERI siūlo statybos aikštelėje arba klojinių nuomos paslaugas teikiančiose įmonėse surinktus modulinius stalus [12], kuriuos reikėtų perkelti krano pagalba į reikiamą pastato aukštą. Šie moduliai į objektą atvežami jau surinkti ir pritaikyti pagal perdangos planą. Tai ekonomišką sprendimą daugiaaukščiams pastatams, kurie turi atvirus fasadus.



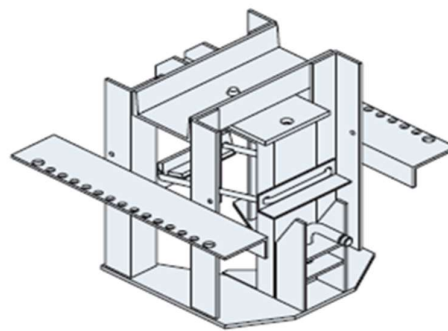
23 pav. „PERI“ perdangos klojinių sistema „UNIportal“

Pagrindiniai privalumai:

- Stalai ant perdangos perkeliama tik visiškai paruošti, taip taupoma statybos trukmė
- Stalai yra kompaktiškų matmenų, storis: 43 cm, plotis iki 2,65 m
- Stalai tinka ir kraštinei perdangai
- Statramsčiai gali judėti dviem kryptimis, tai padeda stalus perstatyti netrukdam, nei parapetams ar perdangų sijoms.

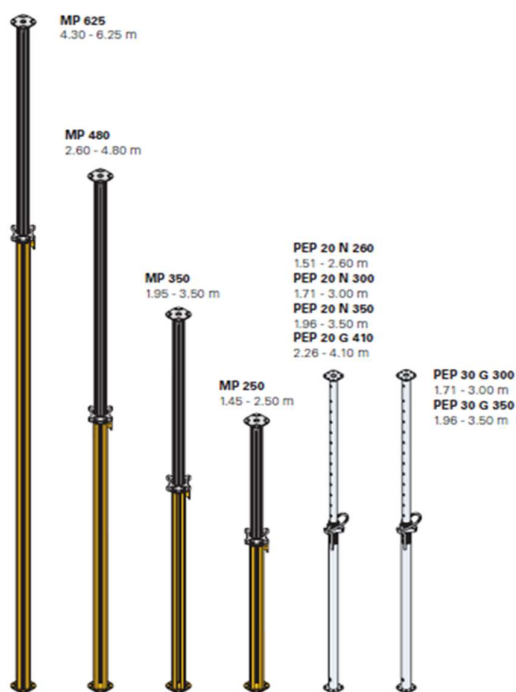
Pagrindiniai sistemos elementai:

- Sutvirtinimo galva – leidžia statramsčius sulenkti į vieną pusę ir neišardant bloko, perkelti į kitą vietą. Kai blokas mechanizmų pagalba padedamas į reikiamą vietą, statramsčiai yra lenkiami atgal. Kai statramsčiai yra statmenas sijai, jis yra užrakinamas.



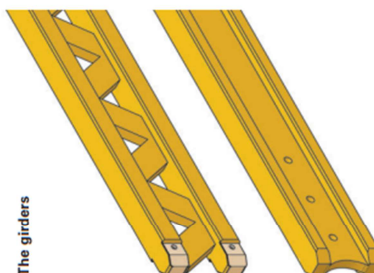
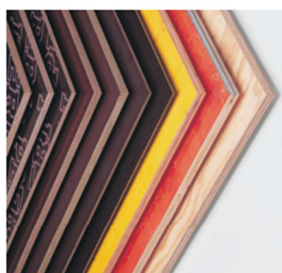
24 pav. Sutvirtinimo galva

- Statramsčiai



25 pav. Statramsčiai ir jų gama

- Fanera ir sijos - kaip ir kitose sistemose yra daugybę faneros pasirinkimo galimybių, o sijos naudojamos standartinės, kaip ir MULTIFLEX sistemoje GT24 ir VT20.



26 pav. Faneros ir sijos

UNIportal klojinių montavimo eiga:

1. Pirmiausia ant lygaus pagrindo sudedamos galvos su tinkama kryptimi, kuri nurodo į kurią pusę bus lankstomi statramsčiai.
2. Dedamos pagrindinės sijos ir tvirtinamos prie galvos
3. Pritvirtinami statramsčiai prie galvų ir užlenkiami
4. Pažymimi tarpai tarp antrinių sijų ir pritvirtinamos skersinės sijos
5. Sudėliojami faneros lakštai ir tvirtinami prie skersinių sijų
6. Krano pagalba surinktas blokas perkeliamas į reikiamą vietą ir pastatomas naudojimui.

1.5. Tinkamos klojinių sistemos parinkimas objektui

[12] leidinyje PERI pristato trijų sistemų: SKYDECK, MULTIFLEX IR UNIPORTAL klojinių sistemų skirtų monolitinėms perdangų plokštėms palyginimus ir išskiria pagrindiniu skirtumus (1 lentelė). SKYDECK sistema finansiškai bus efektyviausia šalyse, kuriuose darbo jėga yra brangi, sistema yra lengviausia iš trijų lyginamų sistemų, o atsipirkimas gaunamas nuo klojinių sumontavimo greičio, kuris yra 66% didesnis lyginant su MULTIFLEX sistema. MULTIFLEX efektyviausiai panaudojama šalyse, kuriuose darbo jėga yra pigi ir atsveria brangesnių klojinių išlaidas. UNIPORTAL sistemos montavimo laikas yra trumpiausias ir didžiausias pranašumas gaunamas objektuose, kurie yra aukštybiniai ir fasadai yra atviri.

1 lentelė. Klojinių sistemų palyginamoji lentelė

Sistemos pavadinimas	Dalių skaičius 1 m ² sistemos	Svoris, kg/m ²	Plotas tenkantis vienai atramai	Montavimo laikas, h/m ²
SKYDECK	2,3	28	3,45	0,15/0,30
MULTIFLEX	3,1	40	2,90	0,25/0,50
UNIPORTAL	0,05	50	5,0	0,10/0,15

2. Tiriamoji dalis

2.1. Laboratorijoje taikyta tyrimų metodika

Betono mišiniai buvo ruošiami 3 skirtingų betono tiekėjų betono mazguose. Betono mišinio sudėtys parinktos pagal standarto LST 1974:2012 [13] reikalavimus. Betono mišiniams ruošti buvo naudojami sausi užpildai. Įmaiša buvo įmaišoma į mišinius kartu su vandeniu, naudojamu mišiniams paruošti. Betono įmaišų kiekiai skaičiuoti proc. cemento masės.

Iš paruošto betono nustatoma betono mišinio ėminio temperatūra, slankumas ir suformuojami betono bandiniai kubeliai 100×100×100 mm matmenų bei cilindrai, kurių skersmuo 123 mm ir aukštis 250 mm.

Betono mišinio temperatūra matuota skaitmeniniu termometru „Digital Thermometer TFA“, kuris įdedamas į betono mišinį ir laukiama kol nustovi pastovi temperatūra.

Šviežio betono mišinio slankumas nustatytas pagal standarto LST EN 12350-2 [14] reikalavimus (25 pav.). Bandyto metu naudojama įranga: forma bandiniui suformuoti (kūgio formos); tankinimo strypas ($\varnothing=16\pm 1\text{mm}$; $l=600\pm 5\text{ mm}$); piltuvas (nebūtinai); liniuotė; pagrindo plokštė/paviršius; permaišymo indas; kastuvėlis; drėgnas audinys; mentelė; chronometras arba laikrodis. Sudrėkinama kūginė forma ir pagrindo plokštė. Forma pastatoma ant horizontalios pagrindo plokštės/paviršiaus. Formą pildant, ji prie pagrindo plokštės/paviršiaus pritvirtinama arba prispaudžiama, abiem kojomis primynus formos plokšteles. Forma užpildoma trimis sluoksniais, kad kiekvieno storis po sutankinimo būtų apytiksliai vienas trečdalis formos aukščio. Kiekvienas sluoksnis tankinamas 25 strypo dūriais, kurie kiekviename sluoksnio plote turi būti paskirstyti tolygiai. Apatinis sluoksnis badomas šiek tiek pakreiptais dūriais, kurių apie pusė išdėstoma spirale nuo krašto į centrą. Antras ir viršutinis sluoksniai tankinami per kiekvieno jų storį dūriais, smeigiant tik iki sutankintojo sluoksnio. I viršutinį sluoksnį betono mišinio iki jo tankinimo dedama su pertekliumi virš formos. Jei tankinant viršutinis betono mišinio sluoksnis sukrenta žemiau viršutinio formos krašto, reikia dar įdėti betono mišinio, kad perteklius virš formos visada būtų išlaikytas. Sutankinus viršutinį sluoksnį, betono mišinio paviršius sulyginamas pjaunamaisiais ir voluojamaisiais tankinimo strypo judesiais. Neužbertas betono mišinys nuvalomas nuo pagrindo plokštės/paviršiaus. Forma nuo betono mišinio bandinio nutraukiama atsargiai ją keliant vertikalia kryptimi. Betono mišinio bandinio, nutraukus nuo jo kūginę formą, suslūgimo dydis yra betono mišinio konsistencijos rodiklis, matuojamas milimetrais.



27 pav. Betono mišinio slankumo matavimas

Atlikus temperatūros bei slankumo matavimus formuojama po 15 vnt. bandinių kubelių $100 \times 100 \times 100$ mm ir 2 vnt. cilindrų, kurių $\varnothing 123$ mm ir aukštis 250 mm (26 pav.) kiekvienai skirtingų tiekėjų betono sudėčiai. Bandiniai formuojami plastikinėse formose, kurios formuojamos dviem sluoksniais ir tankinamos ant specialios vibravimo aikštelės. Bandiniai suformuoti laikantis standarte LST EN 12350-3 [15] nurodytų reikalavimų.

Po betono bandinių ruošimo cechuose esančioje laboratorijoje, bandiniai transportuojami į KTU Statybos ir architektūros fakulteto laboratoriją, kiekvienai tiriamai sudėčiai atliktas betono temperatūros fiksavimas cemento hidratacijos metu, bandiniams 28 paras kietėjant termo dėžėse.

Betono bandinių formavimo metu betono mišinio ruošimo cechuose esančiose betono tyrimų laboratorijose į cilindrinuose bandiniuose suformuotus mišinius įterpiamos termoporos „HOBO® data loggers“. Termoporos tyrimo metu fiksuos temperatūras kiekvienai atskirai tiriamajai betono mišinio sudėčiai 28 paras (28 pav.).



28 pav. Betono mišinio bandinių cilindrų su viduje esančiomis termoporomis vaizdas

Laboratorijoje bandiniai kubai ir cilindrai su termoporomis patalpunami tyrimui pagamintose specialiose dėžėse, kad būtų sudarytos termosio sąlygos (29 pav.).



29 pav. Betono bandinių patalpinimas į termodėžę

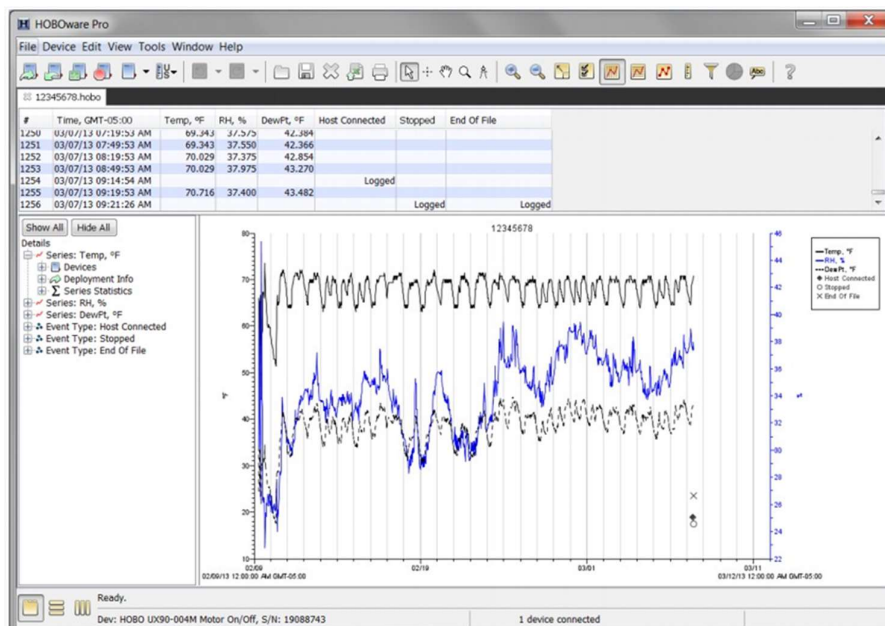
Į du cilindro formos bandinius įbetonuotos termoporos sujungiamos su duomenų kaupikliais „Hobo UX120 4-Channel Analog“ (30 pav.) ir „Hobo U12 4 External Channel“ (31 pav.). Gauti tyrimų duomenys apdorojami kompiuterine programa „Hoboware Data Loggers&Devices“ (32 pav.). Pirmąsias 48 val. temperatūra programos pagalba fiksuojama 15 min. intervalu, o likusias 26 paras temperatūra užrašoma 1 val. intervalu.



30 pav. Duomenų kaupiklis Hobo UX120 4 Channel Analog



31 pav. Duomenų kaupiklis Hobo U12 4 External Channel



32 pav. Kompiuterinės programos „Hoboware Data Loggers&Devices“ pagrindinio lango vaizdas

Norint nustatyti betono stiprį neardančiais metodais statybos aikštelėje yra naudojamas betono kietėjimo kinetikos nustatymo metodas. Šis rodiklis yra nustatomas konkrečiai betono klasei, remiantis laboratoriniais tyrimais, t. y. lygiagrečiai atliekami betono mišinio kietėjimo metu išsiskiriančios šilumos temperatūros matavimai laike bei betono bandinių gniuždomojo stiprio nustatymas. Betono kietėjimo kinetikos rodiklis yra apskaičiuojamas pagal formulę:

$$M(t) = \sum (T_a - T_o) \cdot \Delta t; \quad (1)$$

čia:

$M(t)$ – betono kietėjimo rodiklis laiko atžvilgiu t , °C·val.;

Δt – laiko intervalas, dienomis ar valandomis,

T_a – vidutinė betono mišinio temperatūra laiko intervale Δt ,

T_o – pradinė betono mišinio temperatūra, °C.

Temperatūros pokytis laiko atžvilgiu nustatomas prieš tai aprašytu metodu, naudojant temperatūros jutiklius (termoporas). Betono gniuždomasis stipris nustatomas po 1, 3, 7, 14 ir 28 parų kietėjimo, fiksuojant temperatūros pokyčius kietėjimo metu lakiko atžvilgiu. Žinant betono stiprį prie tam tikros temperatūros yra sudaroma betono stiprio nuo betono kietėjimo rodiklio priklausomybė. Naudojantis sudaryta kreive galima nustatyti betono stiprį esant atitinkam kietėjimui paromis ir prie tam tikros temperatūros.

Sukietėjusio betono bandinių tūris apskaičiuojamas iš bandinių matavimo duomenų kubiniais metrais, apvalinant iki keturių reikšminių skaitmenų. Tikslus gautų bandinių tūris buvo nustatomas matuojant slankmačiu.

Tūris apskaičiuojamas pagal formulę:

$$V=a \cdot b \cdot h; \quad (2)$$

čia:

a, b – kraštinių ilgiai,

h – bandinio aukštis.

Bandinių tankis apskaičiuojamas naudojant bandinio masę ir tūrį pagal formulę:

$$\rho=m/v; \quad (3)$$

čia:

ρ – bandinių tankis, kg/m^3 ;

m – bandinio masė bandymo sąlygomis,

kg; v – bandinio tūris, m^3 .

Betono gniuždomasis stipris nustatytas remiantis standarte LST EN 12390-3 [16] keliamais reikalavimais. Bandiniai gniuždomi iki suirimo gniuždymo bandymo mašina, atitinkančia LST EN 12390-4 [17]. Užrašoma didžiausia bandinio atlaikoma apkrova ir apskaičiuojamas betono stipris gniuždant. Kubiniai bandiniai padedami taip, kad apkrova veiktų statmenai formavimo kryptčiai. Bandinio centras turi sutapti su apatinės plokštės centru $\pm 1\%$ nurodyto kubo kraštinės tikslumu. Parenkamas pastovus apkrovos didinimo nuo $0,2 \text{ MPa/s}$ ($\text{N}/\text{mm}^2 \cdot \text{s}$) iki $1,0 \text{ MPa/s}$ ($\text{N}/\text{mm}^2 \cdot \text{s}$) greitis. Apkrova bandiniui perduodama be smūgių ir nepertraukiamai didinama parinktu pastoviu $\pm 10\%$ greičiu tol, kol toliau nedidėja. Užrašoma didžiausia parodyta apkrova.

Gniuždomasis stipris yra apskaičiuojamas pagal formulę:

$$f_c=F/A, \text{ N}/\text{mm}^2; \quad (4)$$

čia:

f_c – gniuždasis stipris, MPa (niutonais kvadratiniam milimetrui);

F – didžiausia ardomoji apkrova, N;

A – bandinio skerspjūvio plotas, mm², kurį veikė gniuždomoji jėga, apskaičiuojamas iš bandinio matmenų matavimo.

2.2. Statybos aikštelėje taikyta tyrimų metodika

Šio tyrimo tikslas - statybos aikštelėje išbandyti Nurse-Saulo metodą bei naudojant išmaniausias technologijas „SmartRock™ Concrete app“ ir jutiklius-termoporas „Giatec SmartRock2™“ stebėti betono kietėjimą ankstyvojoje stadijoje monolitinėje perdangoje realiu laiku bei nuotoliniu būdu.

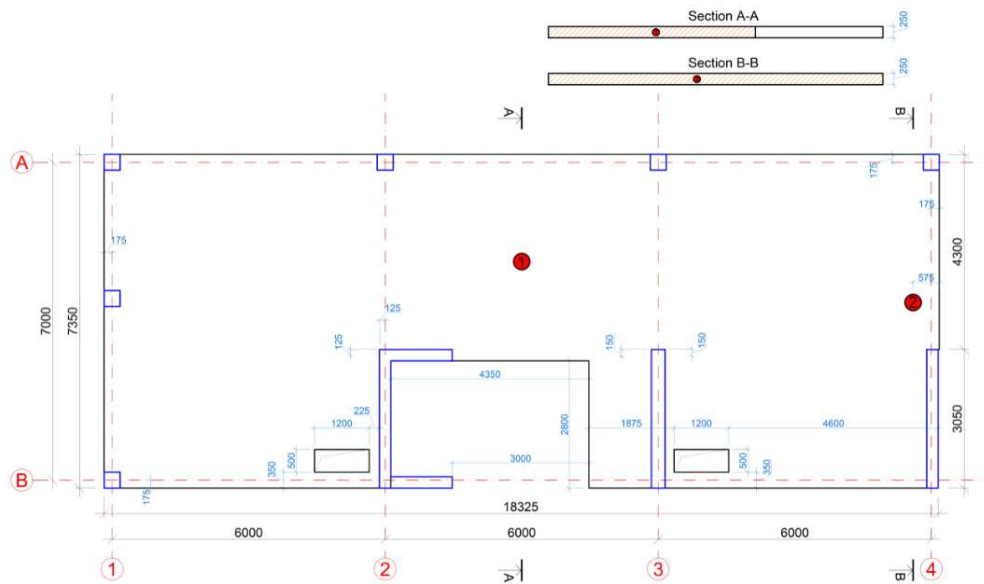
Objekte į monolitinio betono perdangos konstrukciją prieš betono mišinio klojimą į klojinius buvo sumontuoti 2 vnt. jutiklių-termoporų „Giatec SmartRock2“ (33 pav.). Betono monolitinės perdangos schema ir jutiklių-termoporų instaliavimo vietos pavaizduotos (34 pav.). Jutikliai fiksuoja temperatūros pokyčius betono konstrukcijoje kas 15 min. ir kaupia šią informaciją savo atmintinėje. Pasirinktas statybos objektas, esantis Jonavos g. 41F, Kaune. Tyrimui buvo pasirinkta monolitinė perdangos plokštė, kurios storis 250 mm, plotas 126 m². Perdangai įrengti naudota betono klasė C30/37 (LST EN 206-C30/37-XC4-Cl0,2-D_{max}16-S3). Darbai vyko vasaros metu, aplinkos oro temperatūra betonavimo metu buvo apie 20±2°C. Gamintojo pateikti betono mišinio sudėties duomenys surašyti į 2 lentelę.



33 pav. Termopora „Giatec SmartRock2™“

2 lentelė. UAB „B“ tiekėjo betono mišinio sudėties duomenys

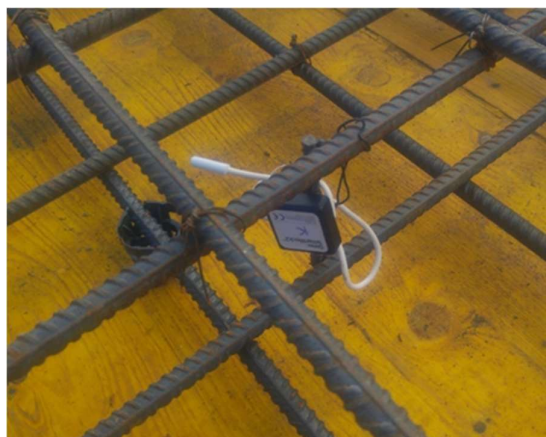
Betono stiprio klasė	Cemento tipas	Vandens ir cemento santykis V/C	Betono mišinio slankumas, mm	Betono mišinio temperatūra, °C	Betono įmaišos tipas ir kiekis procentais
C30/37	CEM I 42,5 R	0,5	140	14,6	plastiklis, 0,55



34 pav. Betono monolitinės perdangos schema ir jutiklių-termoporų instaliavimo vietos

Statybos aikštelėje perdangos betonavimo metu taip pat buvo suformuota 15 vnt. betono bandinių kubelių $100 \times 100 \times 100$ mm matmenų, kurie buvo palikti objekte ant įrengtos betono monolitinės perdangos 28 paras. Kietėjimo metu bandiniai, kaip ir visa perdanga, buvo uždengti polietilene plėvele. Po 1, 3, 7, 14 ir 28 parų kietėjimo bandiniai buvo pristatyti į KTU Statybos ir architektūros fakulteto laboratoriją, kur nustatytas betono bandinių gniuždomasis stipris.

Įrengiant betono monolitinę perdangą jutikliai-termopora „Giatec SmartRock2™“ buvo armatūros rišimo metu sumontuoti ant armatūros strypų (35 pav.). Viena termopora buvo sumontuota įrengiamos betono monolitinės perdangos viduryje, kita – perdangos šone (34 pav.), jutikliai-termopora perdangoje įrengtos 125 mm gylyje.



35 pav. Termopora „Giatec SmartRock2™“ konstrukcijoje pritvirtinta prie armatūros strypo

„Giatec SmartRock2™“ jutikliais-termoporomis temperatūros pokyčiai betono konstrukcijoje fiksuoti kas 15 minučių, o visa informacija sukaupta jų atmintinėje. Į mobilųjį telefoną instaliavus išmaniają programėlę „SmartRock™ Concrete app“ galima nuotoliniu būdu realiu laiku stebėti informaciją, formuoti ataskaitas. Jutiklis-termopora sukaupią informaciją į mobilųjį telefoną perduoda naudojant belaidžio ryšio technologiją (Bluetooth).



36 pav. Išmanioji programėlė „SmartRock™ Concrete app“

Norint, kad „SmartRock™ Concrete app“ programėlė galėtų prognozuoti betono gniuždomąjį stiprį reikalinga suvesti pradinis duomenis. 3 lentelėje pateikiami pasirinktame objekte naudoti pradiniai duomenys.

3 lentelė. Pradiniai duomenys išmaniajai programėlei „SmartRock™ Concrete app“

Rodiklis	Vertė	Matas
Betono gniuždomasis stipris (28 paros)	C30/37	MPa
Betono slankumas	S3	--
Cemento rūšis	CEM I 42,5R	--
Cemento kiekis	340	kg/m ³
Vandens/cemento santykis	0,5	--
Armatūros kiekis	130	kg/m ³
Betono šilumos laidumas	2,32-2,85	W/(m×K)
Specifinė šiluminė talpa	1,09	kJ/(kg×°C)
Betono paviršiaus šilumos konvekcija	17,6	W/(m ² ×K)
Klojinių paviršiaus šilumos konvekcija	5,0	W/(m ² ×K)
Mišinio temperatūra	24,2	°C
Vidutinė aplinkos temperatūra	22,0	°C

3. Tyrimų rezultatai

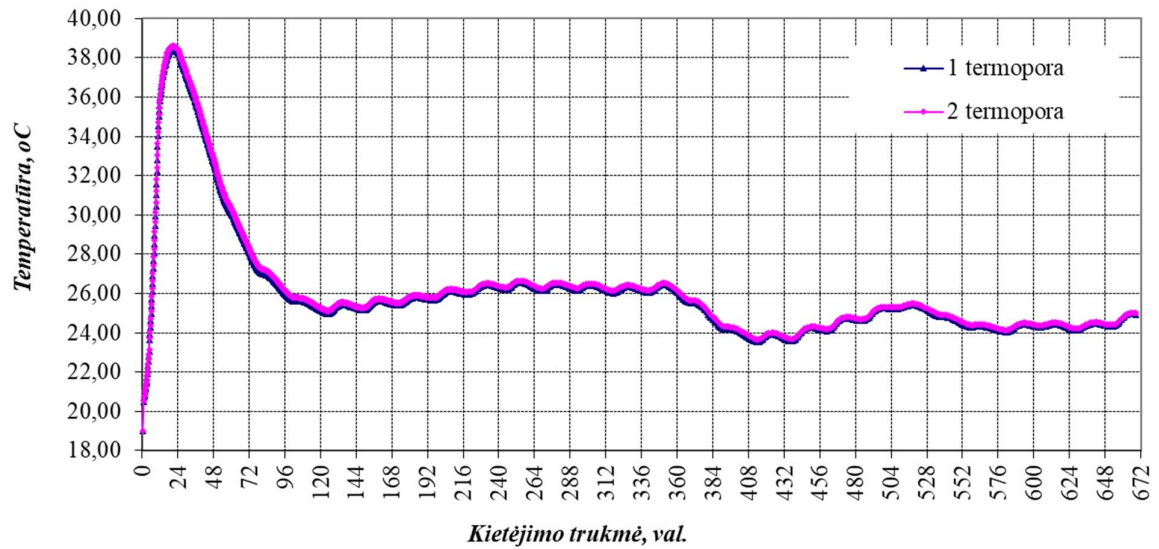
Siekiant sudaryti betono kietėjimo kinetikos prognozavimo kreives, pritaikytas betono monolitinių konstrukcijų – perdangų stebėsenai realiuoju laiku, buvo pasirinkti Kauno bei Vilniaus betono mišinio gamintojai. Šių gamintojų ruošiami betono mišiniai naudojami betono monolitinėms perdangoms įrengti statybos aikštelėje. Tyrimui buvo pasirinktos trys betono klasės: C20/25, C25/30 ir C30/37. Betono mišinio gamintojai buvo užkoduoti ir pažymėti tokia tvarka: „A“ betono mišinio ruošimo cechas, „B“ betono mišinio ruošimo cechas ir „C“ betono mišinio ruošimo cechas. Iš pradžių, paimtoms betono mišinio imtims atliekamas temperatūros bei betono mišinio slankumo matavimas. Vėliau suformuojamas reikiamas betono bandinių kubelių bei cilindų kiekis. Į betono mišinio bandinius cilindrus įstatomos jutikliai-termoporos. Bandiniai pristatomi į laboratoriją, kur atliekamas temperatūros matavimas cemento hidratacijos metu bei nustatomas bandinių gniuždomasis sipris pasirinktu laiku. Tyrimų pagrindu sudarytos betono kietėjimo kinetikos kreives bus naudojamos betono gniuždomojo stiprio prognozavimui realiu laiku statybos aikštelėje stebinti betono monolitines perdangas. Betono kietėjimo ankstyvojoje stadijoje monolitinėje perdangoje realiu laiku bei nuotoliniu būdu stebėjimas bus vykdomas naudojant išmaniąsias technologijas - „SmartRock™ Concrete app“ ir jutiklius-termoporos „Giatec SmartRock2™“.

3.1. Betono mišinio gamintojo „A“ betono kietėjimo rodiklis

Tyrimai pradami atlikti „A“ betono mišinio ruošimo ceche. Betono mišinio ruošimo ceche paimtų betono mišinio sudėčių atitinkami duomenys bei mišinio temperatūra ir slankumas pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė. UAB „A“ betono mišinio ruošimo ceche paimtų sudėčių duomenys

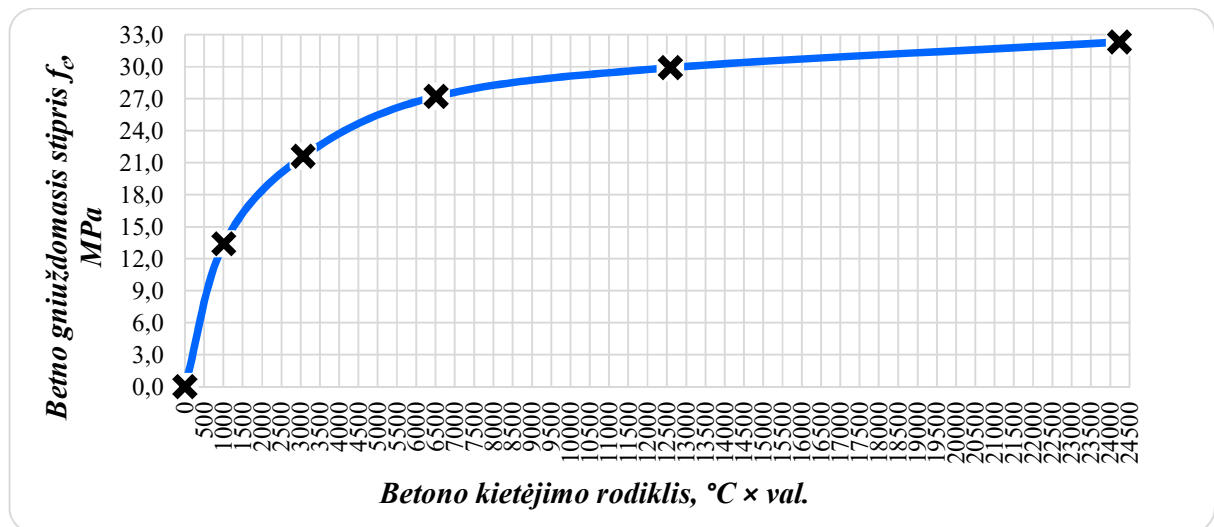
Sudėties Nr.	Betono stiprio klasė	Cemento tipas	Vandens ir cemento santykis V/C	Betono mišinio slankumas, mm	Betono mišinio temperatūra, °C	Betono įmaišos tipas ir kiekis procentais
1	C20/25	CEM I 42,5 R	0,65	190	19,0	plastiklis, 0,5
2	C25/30	CEM II/A-LL 42,5 R	0,58	160	23,9	plastiklis 0,5 ir lėtiklis, 0,2
3	C30/37	CEM II/A-LL 42,5 R	0,50	180	21,3	plastiklis, 0,5



37 pav. Betonų mišinio C20/25 temperatūros kitimas 28 parų kietėjimo metu

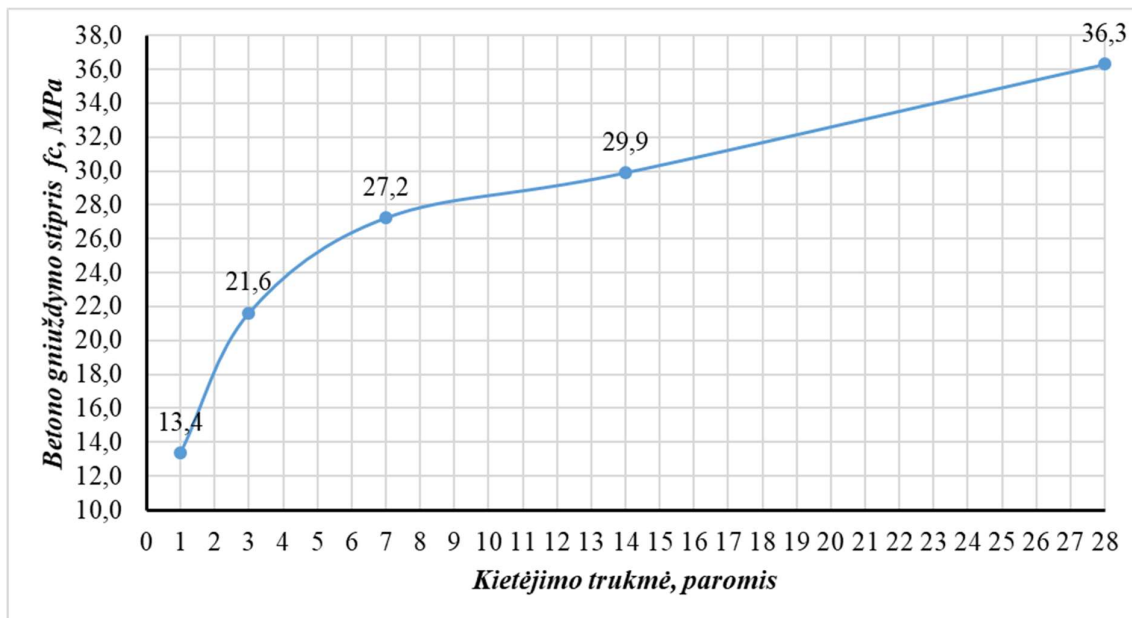
Prekinio betono C20/25 mišinio temperatūros kitimo duomenys 28 parų kietėjimo metu pateikiami 37 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad betonas didžiausią temperatūrą 38,62 °C pasiekė po 21 val. kietėjimo. Po 3 kietėjimo parų betonas pasiekė 28,3°C temperatūrą, po 7 parų – 25,5°C, po 14 parų – 26,2 °C ir po 28 parų – 25,0 °C.

C20/25 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio pateikiama 38 paveiksle.



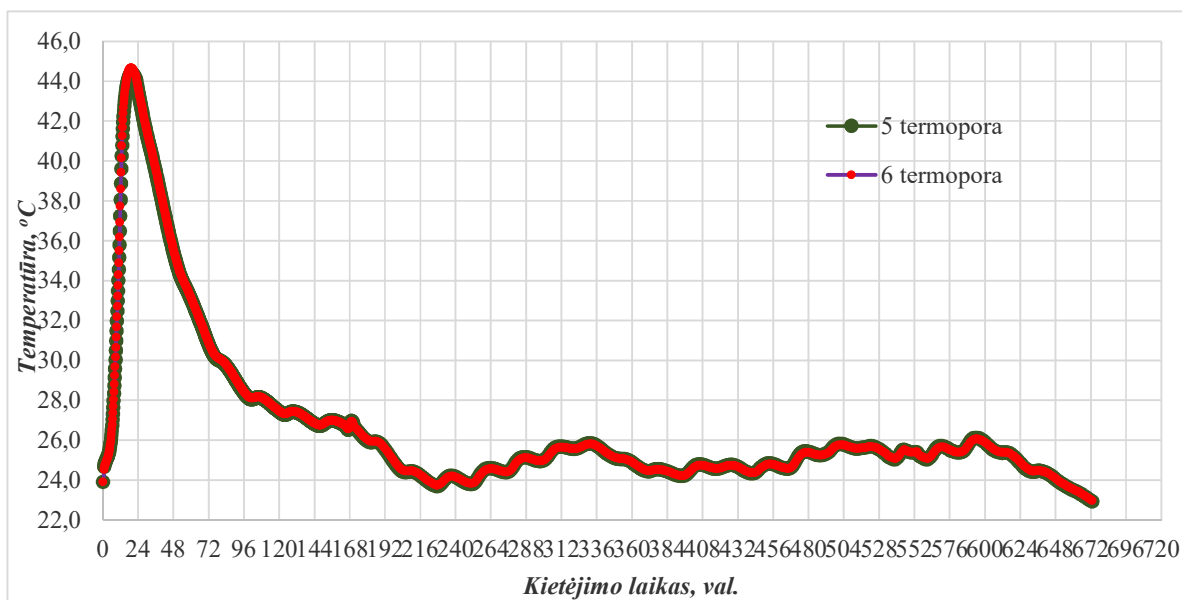
38 pav. Prekinio betono C20/25 gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio

C20/25 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo kietėjimo trukmės paromis pateikiama 39 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad betonas po paros pasiekė gniuždomąjį stiprį 13,4 MPa, po 3 parų – 21,6 MPa, po 7 parų – 27,2 MPa, po 14 parų – 29,9 MPa ir po 28 parų – 36,3 MPa.



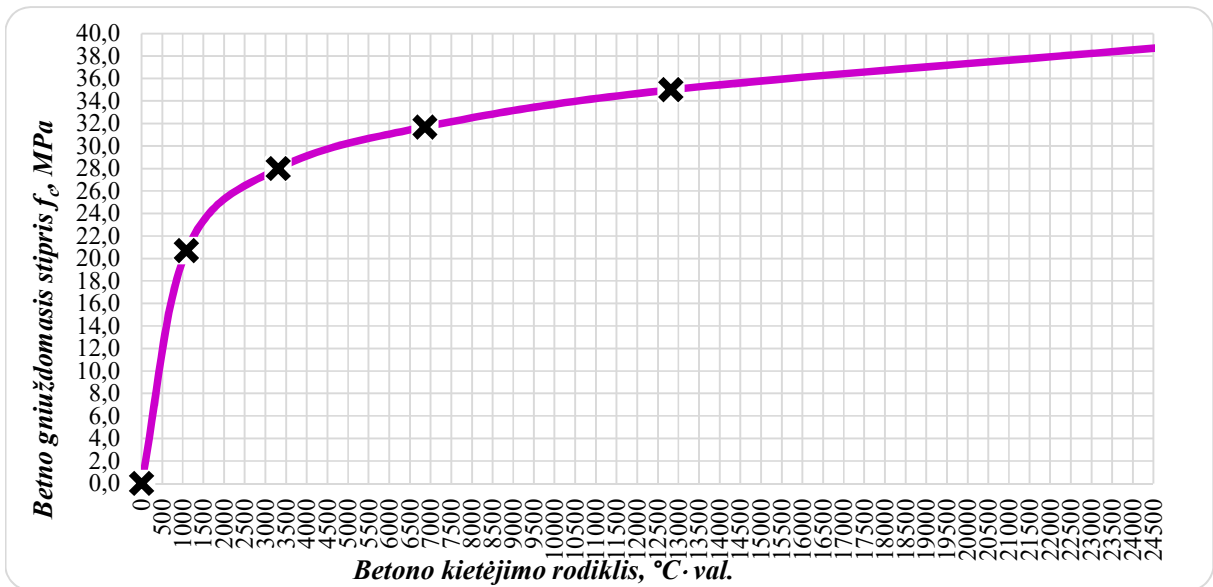
39 pav. C20/25 betono klasės gniuždomojo stiprio kietėjimo kinetika

Prekinio betono C25/30 mišinio temperatūros kitimo duomenys 28 parų kietėjimo metu pateikiami 40 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad betonas didžiausią temperatūrą 44,5 °C pasiekė po 18 val. kietėjimo. Po 1 paros kietėjimo 44,0 °C, po 3 kietėjimo parų – 31,5 °C temperatūrą, po 7 parų – 26,7 °C, po 14 parų – 25,5 °C ir po 28 parų – 22,9 °C.



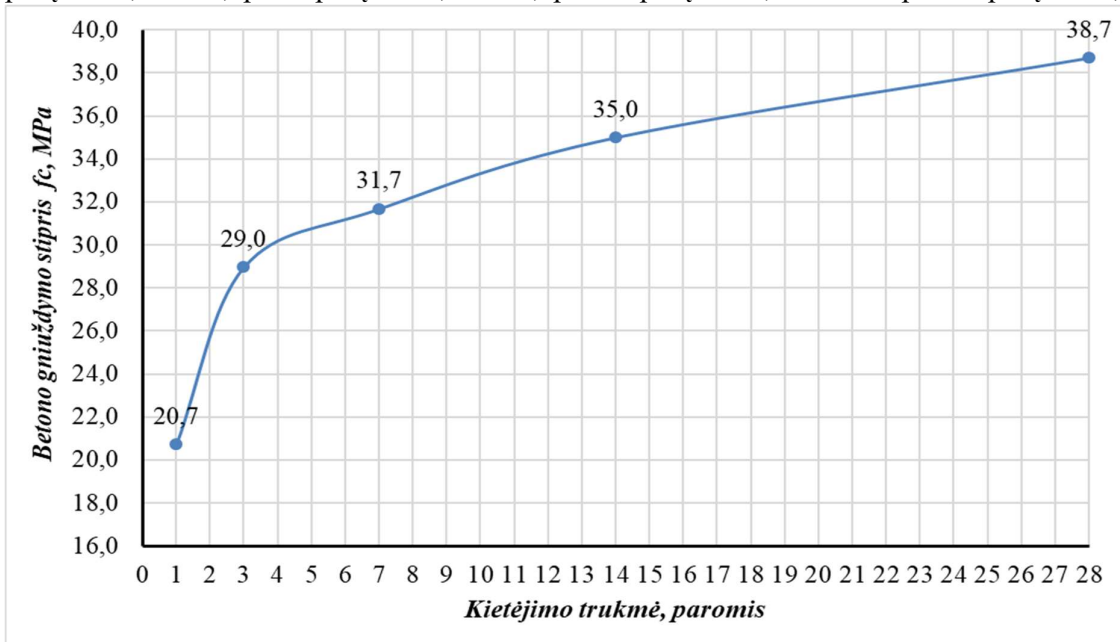
40 pav. Betono mišinio C25/30 temperatūros kitimo pokytis

C25/30 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio pateikiama 41 paveiksle.



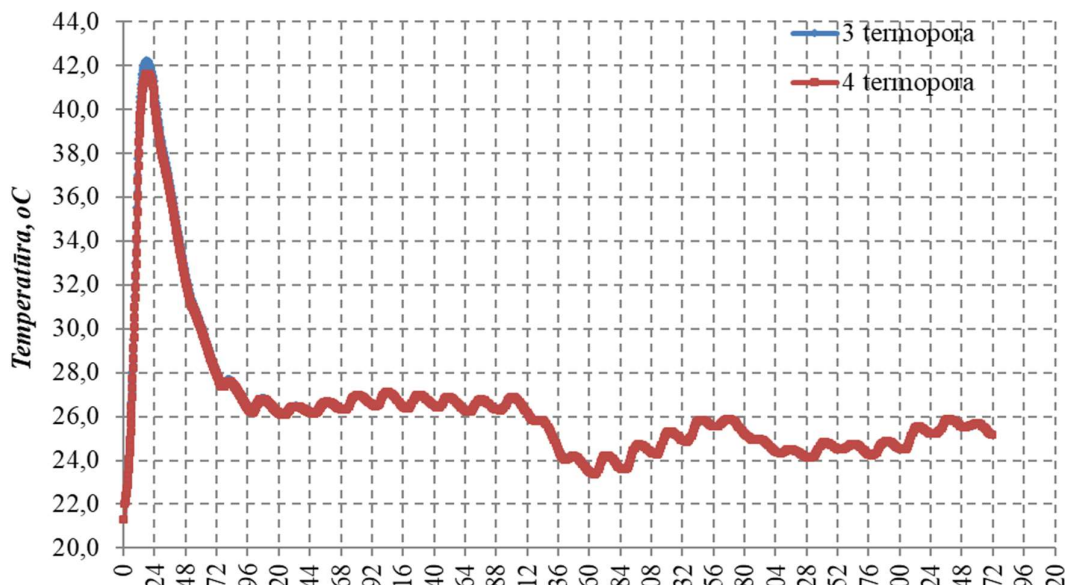
41 pav. C25/30 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio

C25/30 betono klasės gniuždojo stiprio priklausomybė nuo kietėjimo trukmės paromis pateikiama 42 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad betonas po paros pasiekė gniuždomąjį stiprį 20,7 MPa, po 3 parų – 29,0 MPa, po 7 parų – 31,7 MPa, po 14 parų – 35,0 MPa ir po 28 parų – 38,7 MPa.



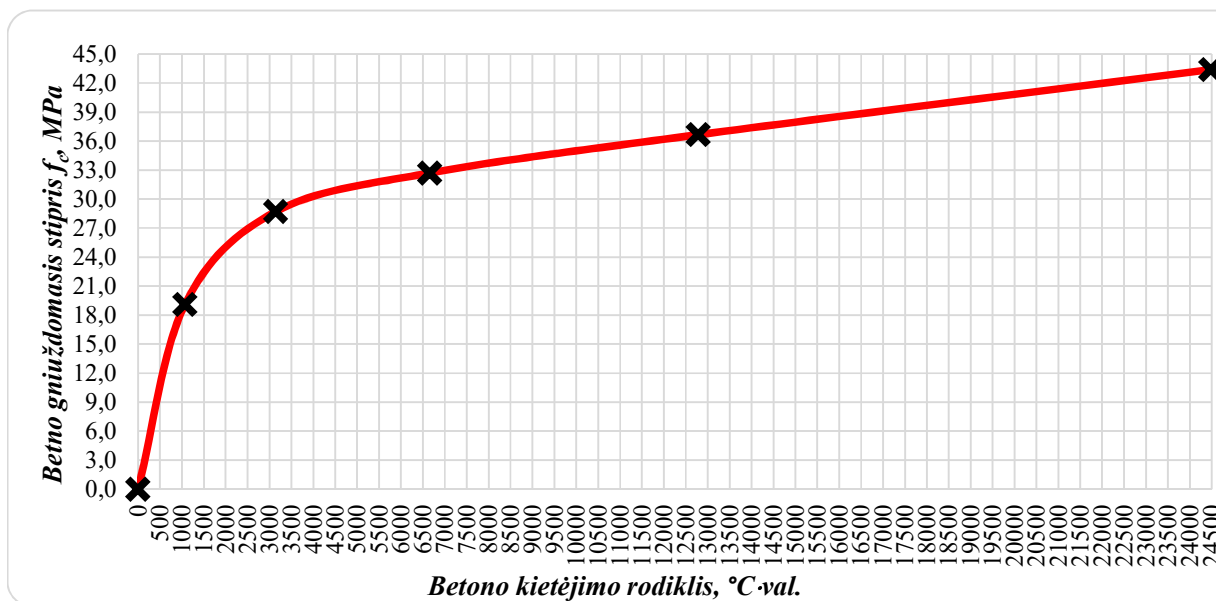
42 pav. C25/30 betono gniuždomojo stiprio kietėjimo kinetika

Prekinio betono C30/37 mišinio temperatūros kitimo duomenys 28 parų kietėjimo metu pateikiami 43 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad betonas didžiausią temperatūrą 41,9 °C pasiekė po 18 val. kietėjimo. Po 1 paros kietėjimo 41,2 °C, po 3 kietėjimo parų – 27,9°C temperatūrą, po 7 parų – 26,4 °C, po 14 parų – 24,9 °C ir po 28 parų – 25,2 °C.



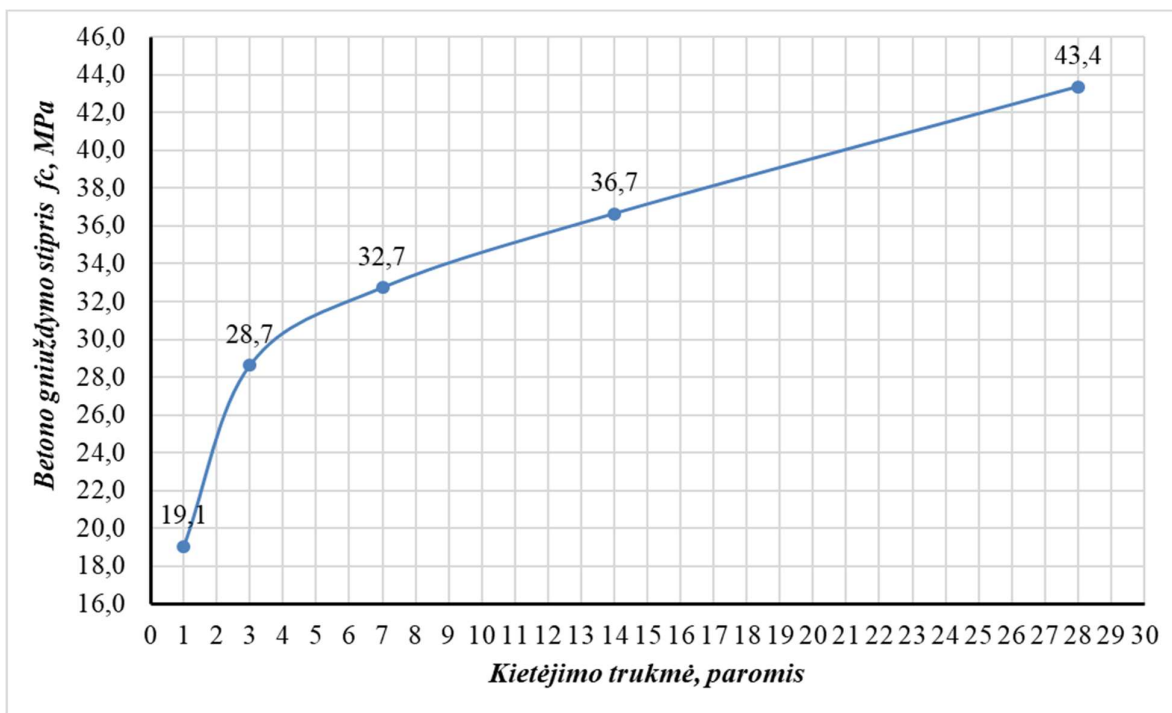
43 pav. Betono mišinio C30/37 temperatūros kitimo pokytis

C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio pateikiama 44 paveiksle.



44 pav. C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio

C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo kietėjimo kinetikos paromis pateikiama 45 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad betonas po paros pasiekė gniuždymąjį stiprį 19,1 MPa, po 3 parų – 28,7 MPa, po 7 parų – 32,7 MPa, po 14 parų – 36,7 MPa ir po 28 parų – 43,4 MPa.



45 pav. C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio kietėjimo kinetika

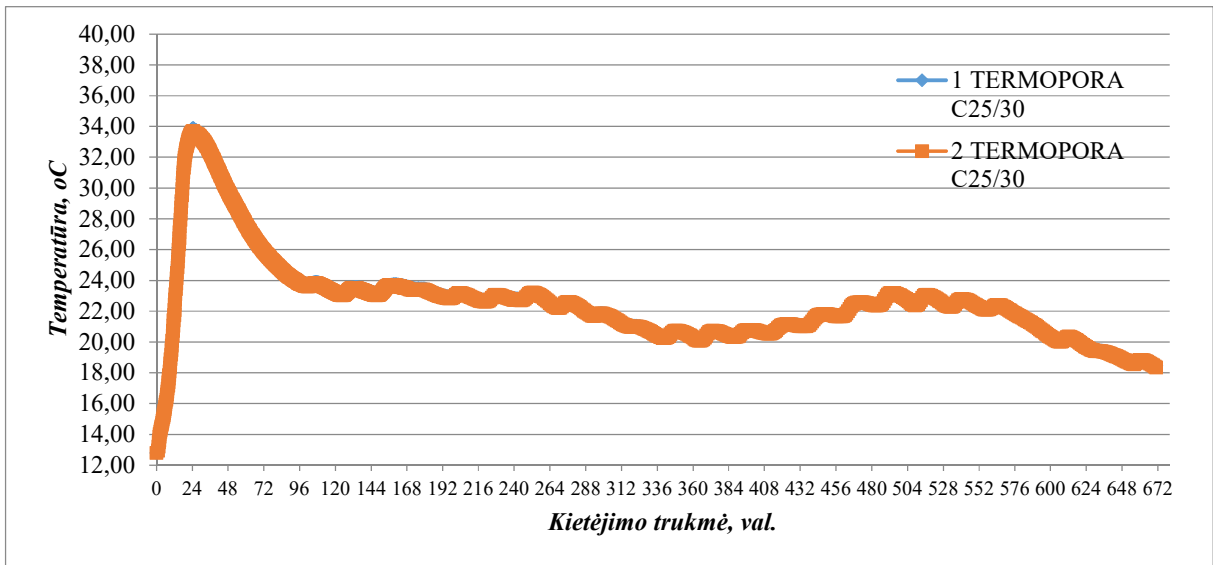
3.2. Betono mišinio gamintojo „B“ betono kietėjimo rodiklis

Ta pačia seka tyrimai atliekami ir „B“ betono mišinio ruošimo ceche. Betono mišinio ruošimo ceche paimtų betono mišinio sudėčių atitinkami duomenys pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. UAB „B“ betono mišinio ruošimo ceche paimtų sudėčių duomenys

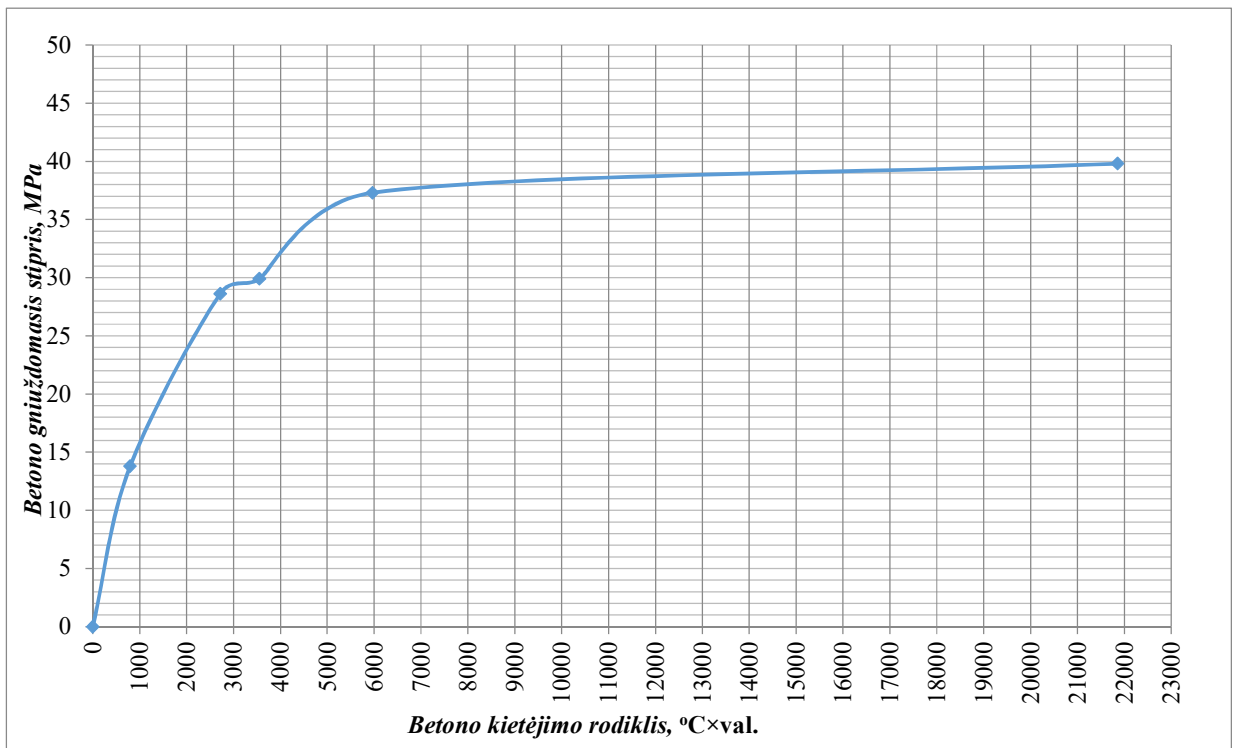
Sudėties Nr.	Betono stiprio klasė	Cemento tipas	Vandens ir cemento santykis V/C	Betono mišinio slankumas, mm	Betono mišinio temperatūra, °C	Betono įmaišos tipas ir kiekis procentais
1	C20/25	CEM I 42,5 R	0,65	190	19,0	plastiklis, 0,5
2	C25/30	CEM II/A-LL 42,5 R	0,58	160	23,9	plastiklis 0,5 ir lėtiklis, 0,2
3	C30/37	CEM II/A-LL 42,5 R	0,50	180	21,3	plastiklis, 0,5

Prekinio betono C25/30 mišinio temperatūros kitimo duomenys 28 parų kietėjimo metu pateikiami 46 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad betonas didžiausią temperatūrą 33,91 °C pasiekė po 24,50 val. kietėjimo. Po 1 paros kietėjimo 33,86 °C, po 3 kietėjimo parų – 26,10 °C temperatūrą, po 7 parų – 23,62 °C, po 14 parų –23,54 °C ir po 28 parų – 18,46 °C.



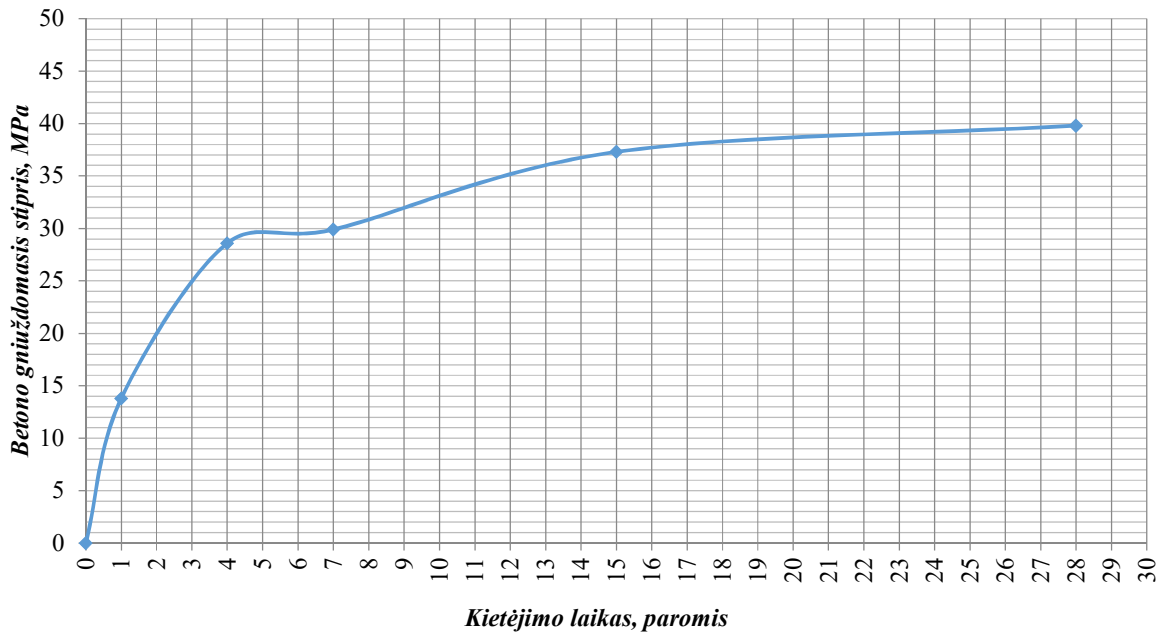
46 pav. Betono mišinio C25/30 temperatūros kitimo pokytis

C25/30 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio pateikiama 47 paveiksle.



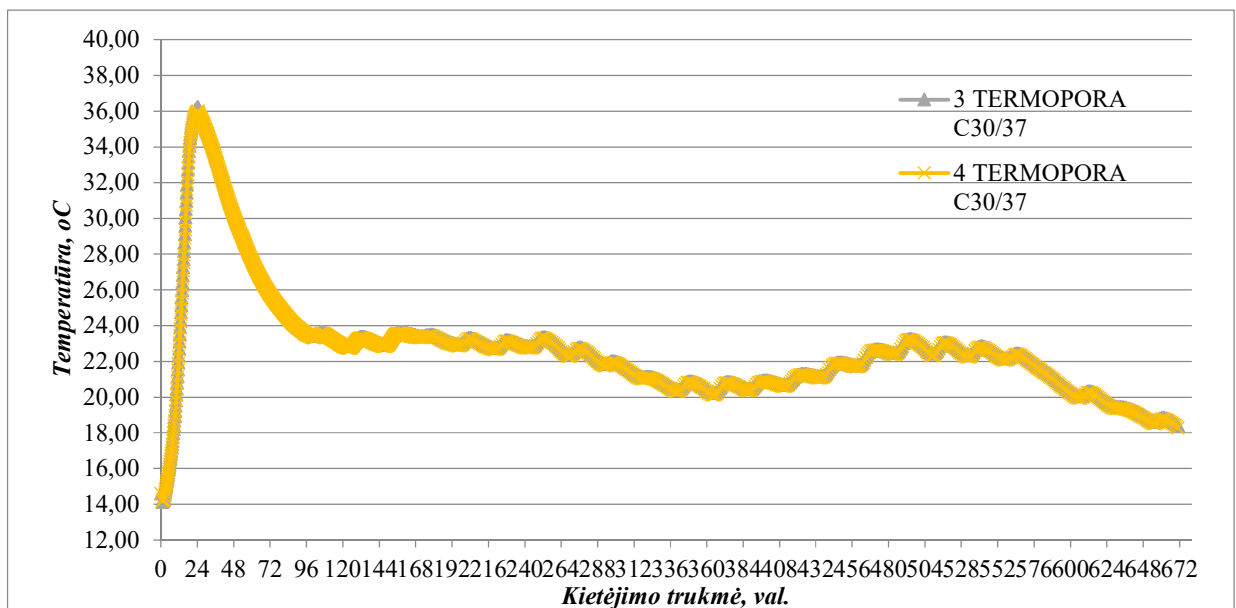
47 pav. C25/30 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio

C25/30 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo kietėjimo kinetikos paromis pateikiama 48 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad betonas po paros pasiekė gniuždomąjį stiprį 13,8 MPa, po 4 parų – 28,6 MPa, po 7 parų – 29,9 MPa, po 15 parų – 37,3 MPa ir po 28 parų – 39,8 MPa.



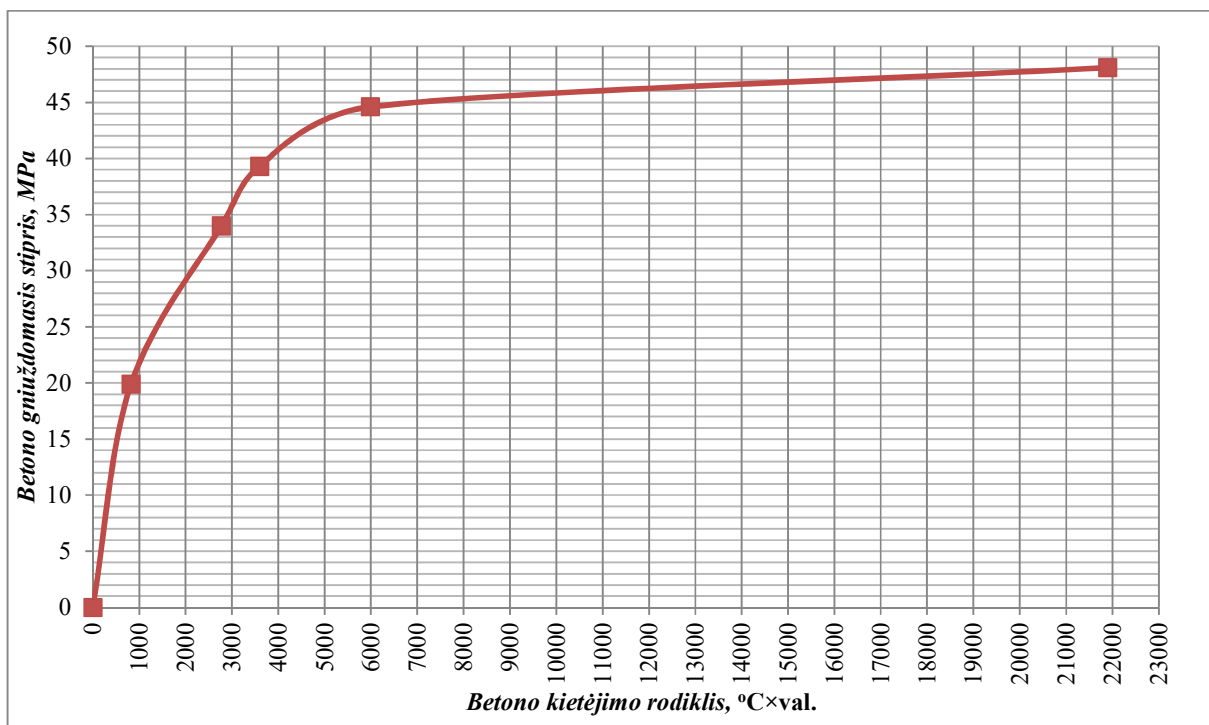
48 pav. C25/30 betono gniuždomojo stiprio kietėjimo kinetika

Prekinio betono C30/37 mišinio temperatūros kitimo duomenys 28 parų kietėjimo metu pateikiami 49 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad betonas didžiausią temperatūrą 36,23 °C pasiekė po 24,50 val. kietėjimo. Po 1 paros kietėjimo 36,21 °C, po 3 kietėjimo parų – 25,87°C temperatūrą, po 7 parų – 26,4°C, po 14 parų – 20,57 °C ir po 28 parų – 18,41 °C.



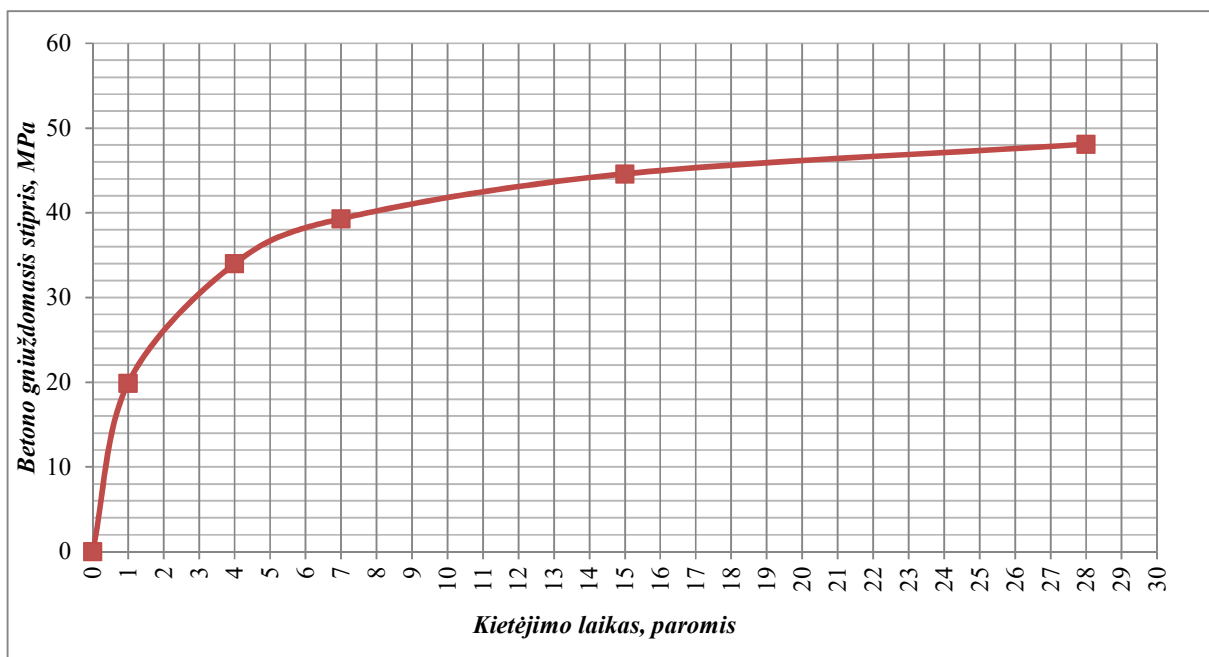
49 pav. Betono mišinio C30/37 temperatūros kitimo pokytis

C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio pateikiama 50 paveiksle.



50 pav. C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio

C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo kietėjimo kinetikos paromis pateikiama 51 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad betonas po paros pasiekė gniuždomąjį stiprį 19,9 MPa, po 4 parų – 34,00 MPa, po 7 parų – 39,3 MPa, po 15 parų – 44,6 MPa ir po 28 parų – 48,1 MPa.



51 pav. C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio kietėjimo kinetika

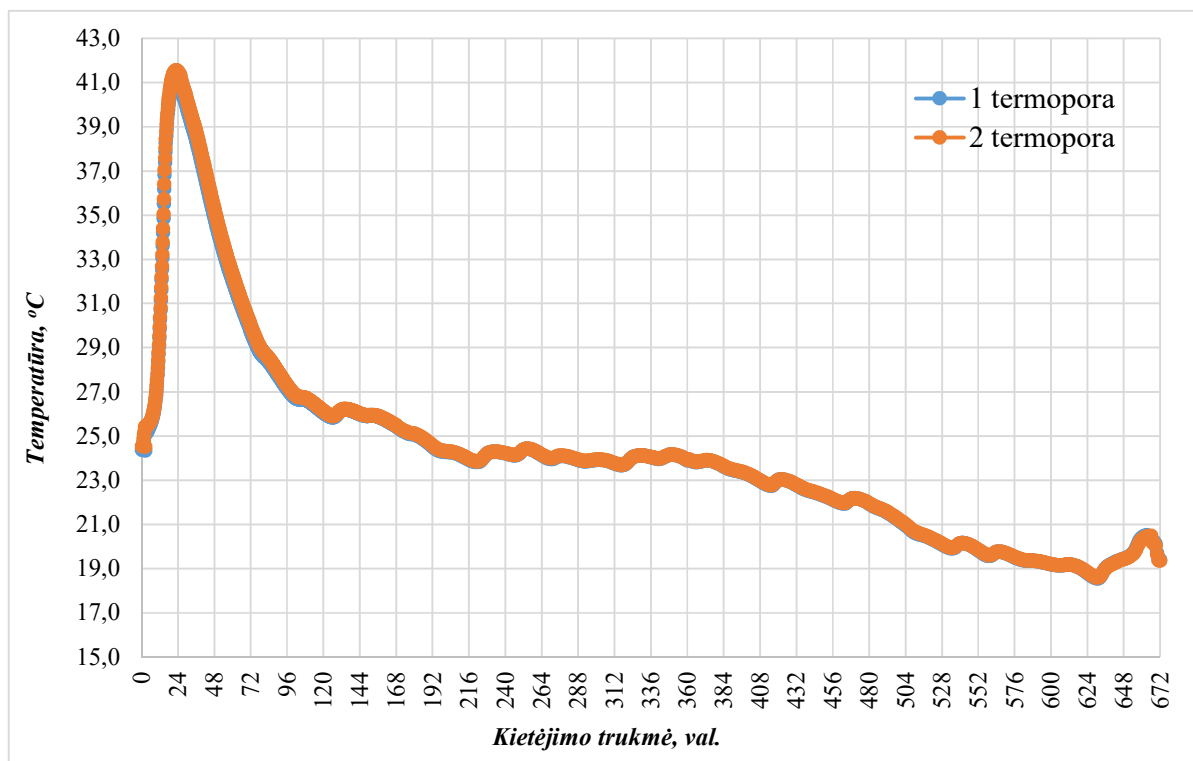
3.3. Betono mišinio gamintojo „C“ betono kietėjimo rodiklis

Ta pačia seka tyrimai atliekami ir „C“ tiekėjo betono mišinio ruošimo ceche. Betono mišinio ruošimo ceche paimtų betono mišinio sudėčių atitinkami duomenys pateikti 6 lentelėje.

6 lentelė. UAB „C“ betono mišinio ruošimo ceche paimtų sudėčių duomenys

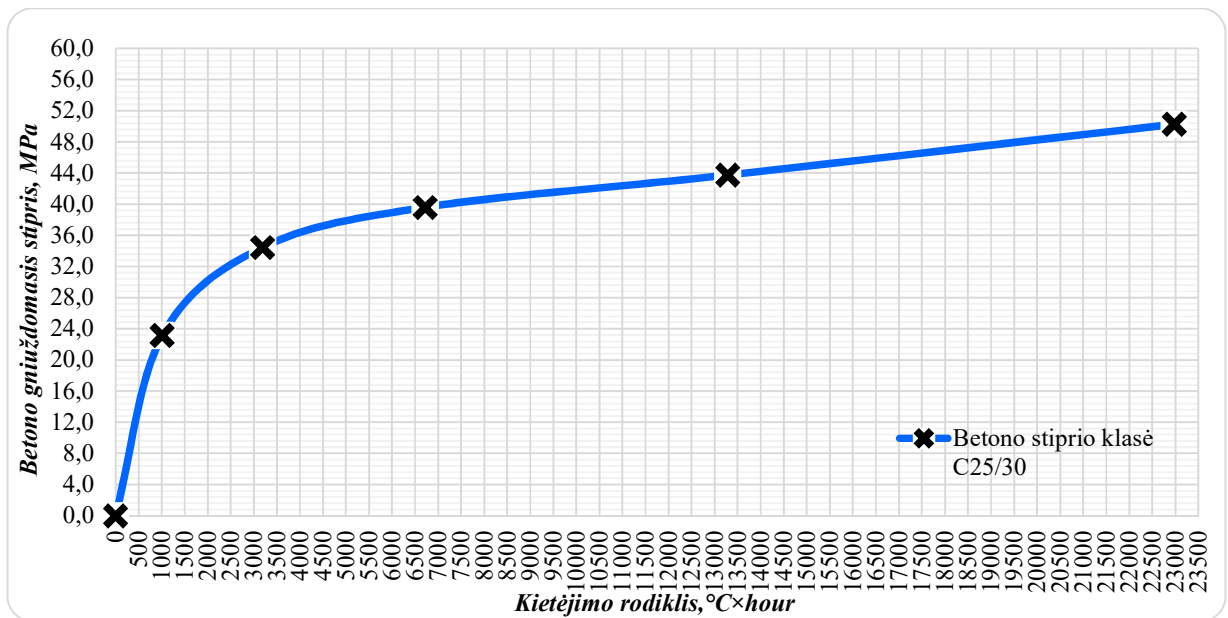
Sudėties Nr.	Betono stiprio klasė	Cemento tipas ir kiekis, kg	Vandens ir cemento santykis V/C	Betono mišinio slankumas, mm	Betono mišinio ėminio temperatūra, °C	Betono įmaišos tipas ir kiekis procentais cemento masės
1	C25/30	CEM I 42,5 N, 300	0,49	220	23,8	Plastiklis; 0,6 ir lėtiklis 0,2; pelenai 30 kg
2	C30/37	CEM II/A-LL 42,5 N, 355	0,40	150	24,6	Plastiklis; 0,6

Prekinio betono C25/30 mišinio temperatūros kitimo duomenys 28 parų kietėjimo metu pateikiami 52 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad betonas didžiausią temperatūrą 41,55 °C pasiekė po 23,25 val. kietėjimo. Po 1 paros kietėjimo 41,51 °C, po 3 kietėjimo parų – 30,01 °C temperatūrą, po 7 parų – 25,49 °C, po 14 parų – 23,89 °C ir po 28 parų – 19,37 °C.



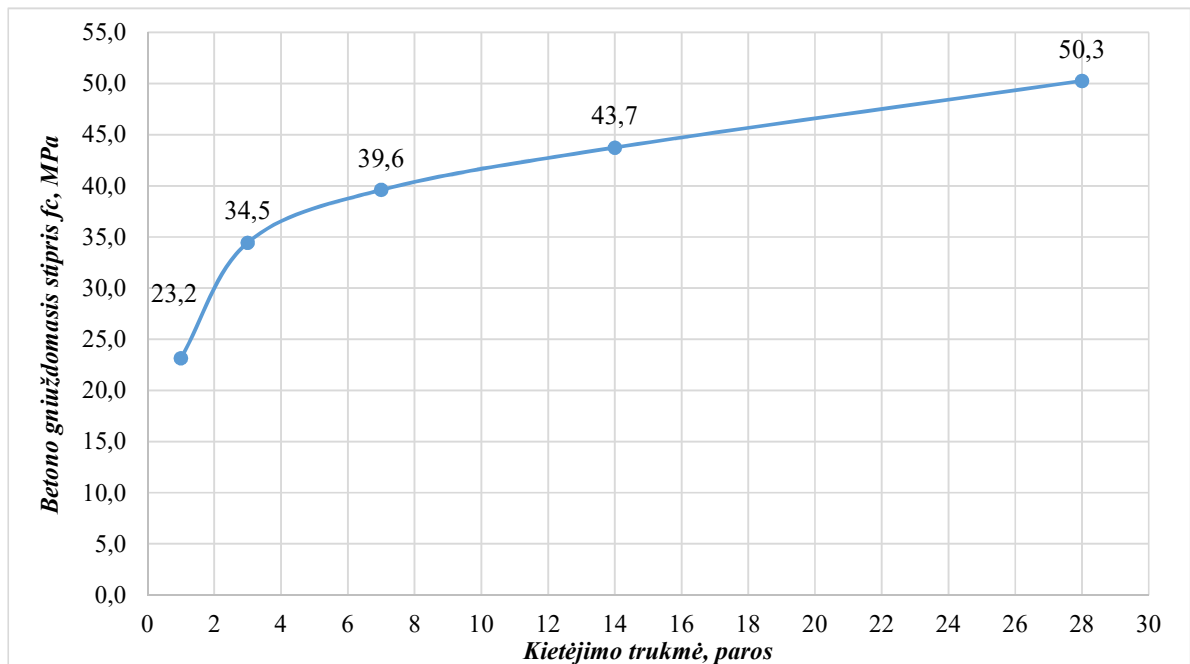
52 pav. Betono mišinio C25/30 temperatūros kitimo pokytis

C25/30 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio pateikiama 53 paveiksle.



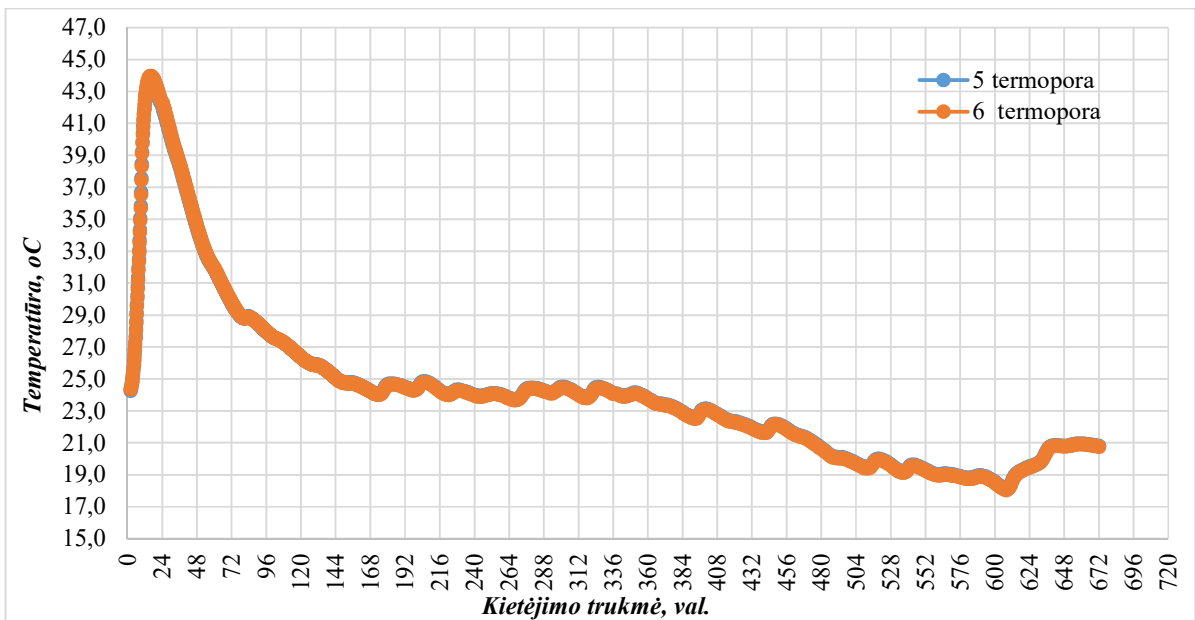
53 pav. C25/30 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio

C25/30 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo kietėjimo trukmės paromis pateikiama 54 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad betonas po paros pasiekė gniuždomąjį stiprį 23,2 MPa, po 3 parų – 34,5 MPa, po 7 parų – 39,6 MPa, po 14 parų – 43,7 MPa ir po 28 parų – 50,3 MPa.



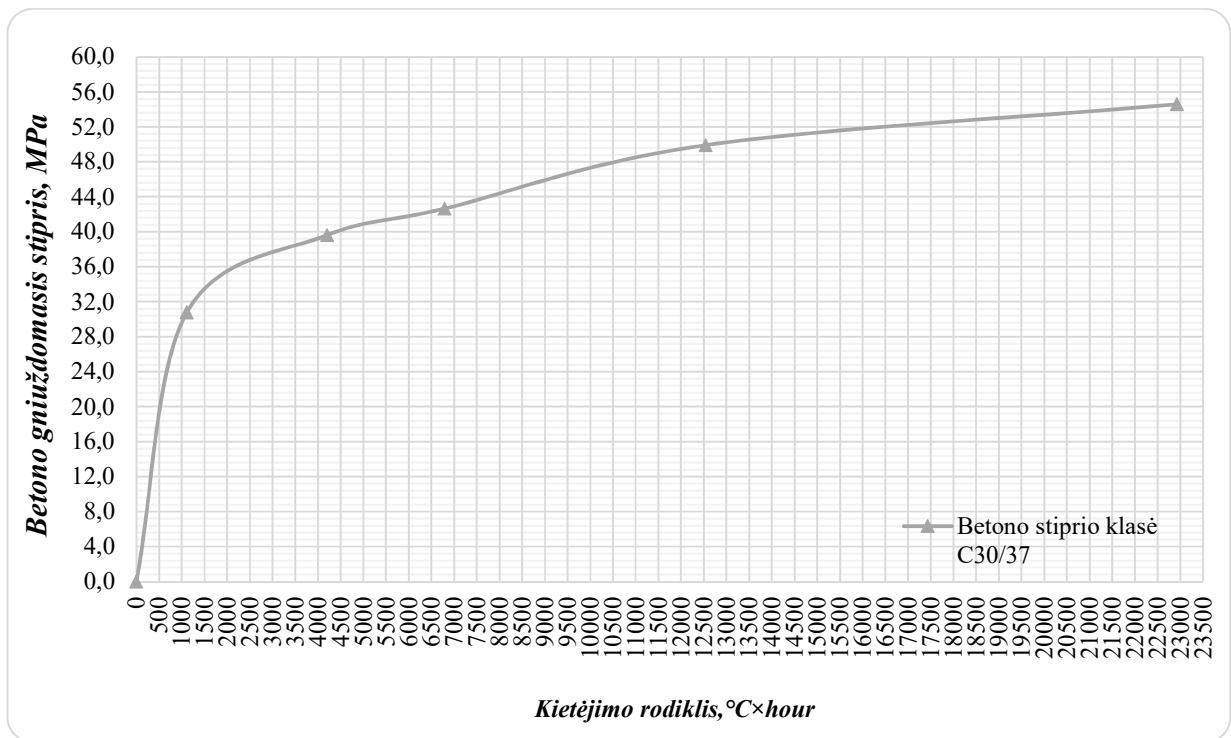
54 pav. C25/30 betono gniuždomojo stiprio kietėjimo kinetika

Prekinio betono C30/37 mišinio temperatūros kitimo duomenys 28 parų kietėjimo metu pateikiami 55 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad betonas didžiausią temperatūrą 43,98 °C pasiekė po 16 val. kietėjimo. Po 1 paros kietėjimo 42,24 °C, po 3 kietėjimo parų – 29,82 °C temperatūrą, po 7 parų – 24,24°C, po 14 parų – 24,07 °C ir po 28 parų – 20, 82 °C.



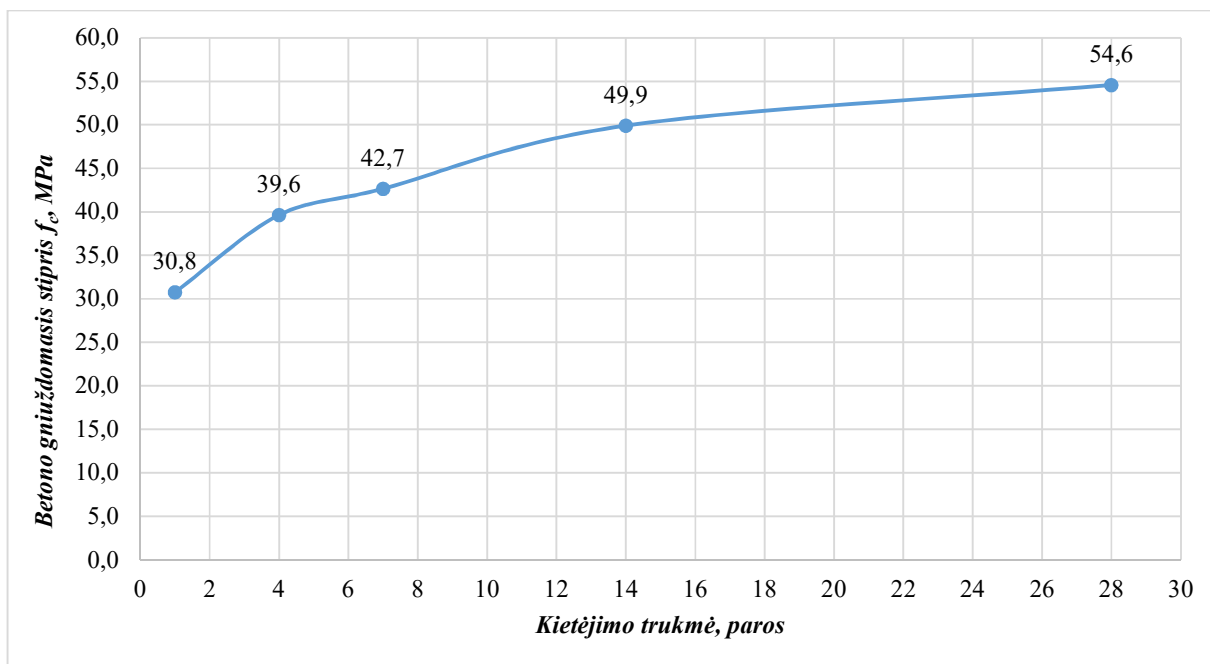
55 pav. Betono mišinio C30/37 temperatūros kitimo pokytis

C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio pateikiama 56 paveiksle.



56 pav. C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio

C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo kietėjimo trukmės paromis pateikiama 57 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad betonas po paros pasiekė gniuždomąjį stiprį 30,8 MPa, po 3 parų – 39,6 MPa, po 7 parų – 42,7 MPa, po 14 parų – 49,9 MPa ir po 28 parų – 54,6 MPa.



57 pav. C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio kietėjimo kinetika

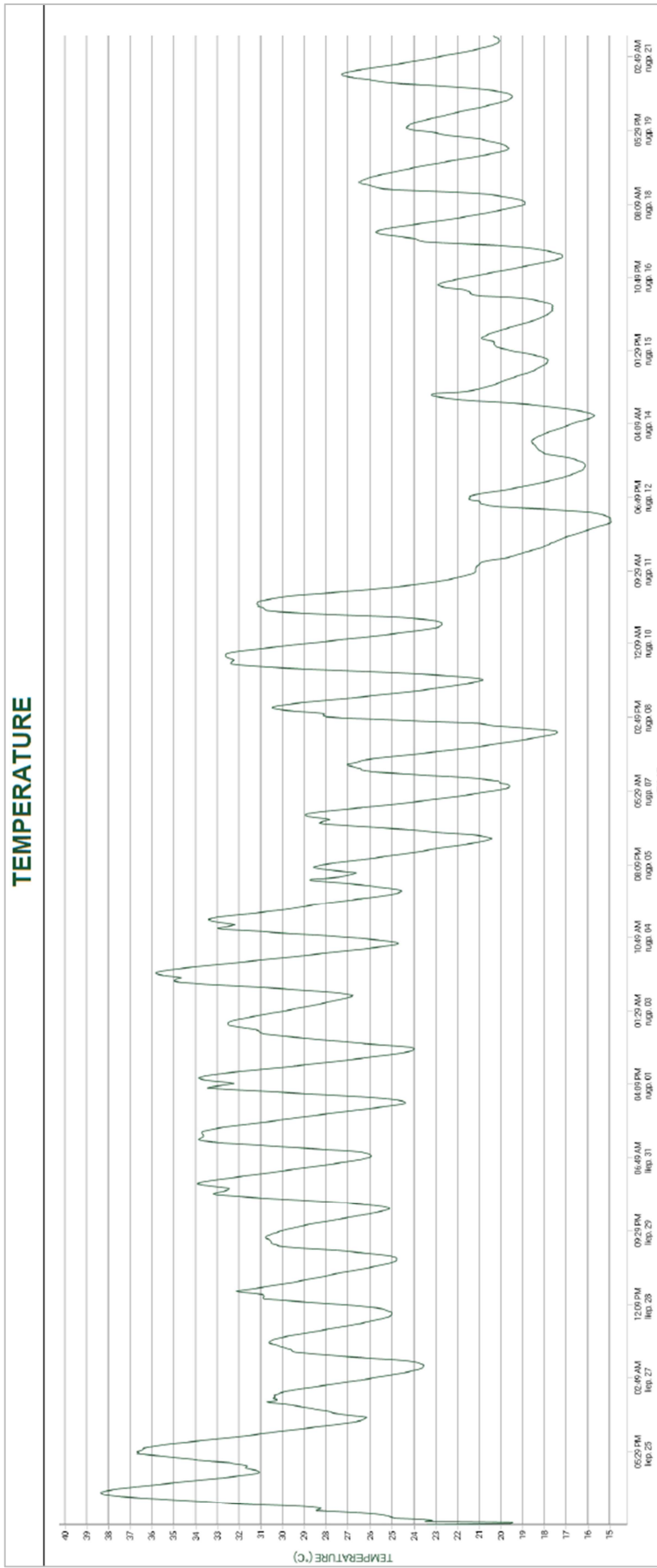
3.4. Statybos aikštelėje gauti duomenys

Pasirinktas statybos objektas, esantis Jonavos g. 41F, Kaune. Tyrimui buvo pasirinkta monolitinė perdangos plokštė, kurios storis 250 mm, plotas 126 m². Perdangai įrengti naudota betono klasė C30/37 (LST EN 206-C30/37-XC4-CI0,2-D_{max}16-S3). Darbai vyko vasaros metu, aplinkos oro temperatūra betonavimo metu buvo apie 20±2°C. Gamintojo pateikti betono mišinio sudėties duomenys surašyti į 2 lentelę. Informacija buvo renkama pasitelkiant jutiklius-termoporas „Giatec SmartRock2“ bei mobiliąją programėlę „SmartRock“.

7 lentelė. Statybos aikštelėje naudoto betono mišinio sudėties duomenys

Sudėties Nr.	Betono stiprio klasė	Cemento tipas ir kiekis, kg	Vandens ir cemento santykis V/C	Betono mišinio slankumas, mm	Betono mišinio ėminio temperatūra, °C	Betono įmaišos tipas ir kiekis procentais cemento masės
3	C30/37	CEM II/A-LL 42,5 R	0,50	180	21,3	plastiklis, 0,5

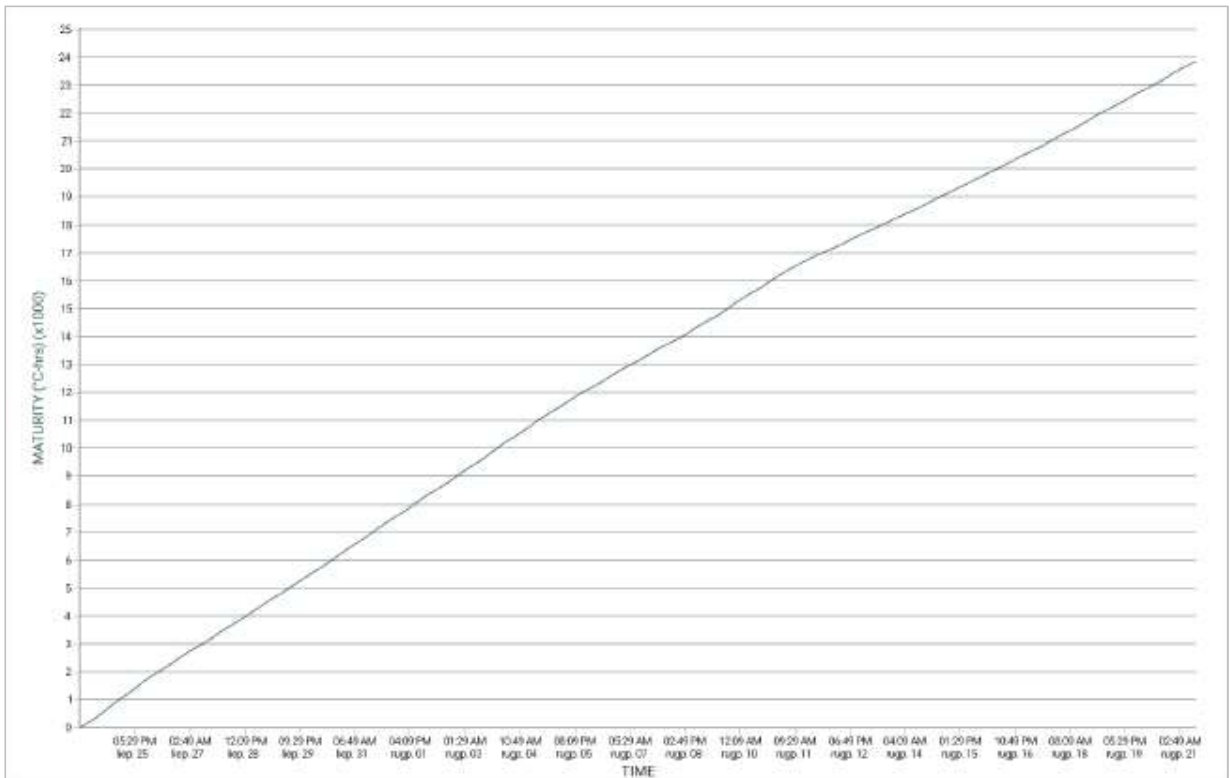
Prekinio betono C30/37 mišinio temperatūros kitimo duomenys 28 parų kietėjimo metu iš perdangos viduryje esančio jutiklio-termoporos pateikiami 58 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad betonas didžiausią temperatūrą 38,23 °C pasiekė dar nepaėjęs nei vienai parai. Po 1 paros kietėjimo temperatūra pasiekė 35,0 °C, po 3 kietėjimo parų – 25,00 °C temperatūrą, po 7 parų – 28,00 °C, po 14 parų – 22,47 °C ir po 28 parų – 18,41 °C.



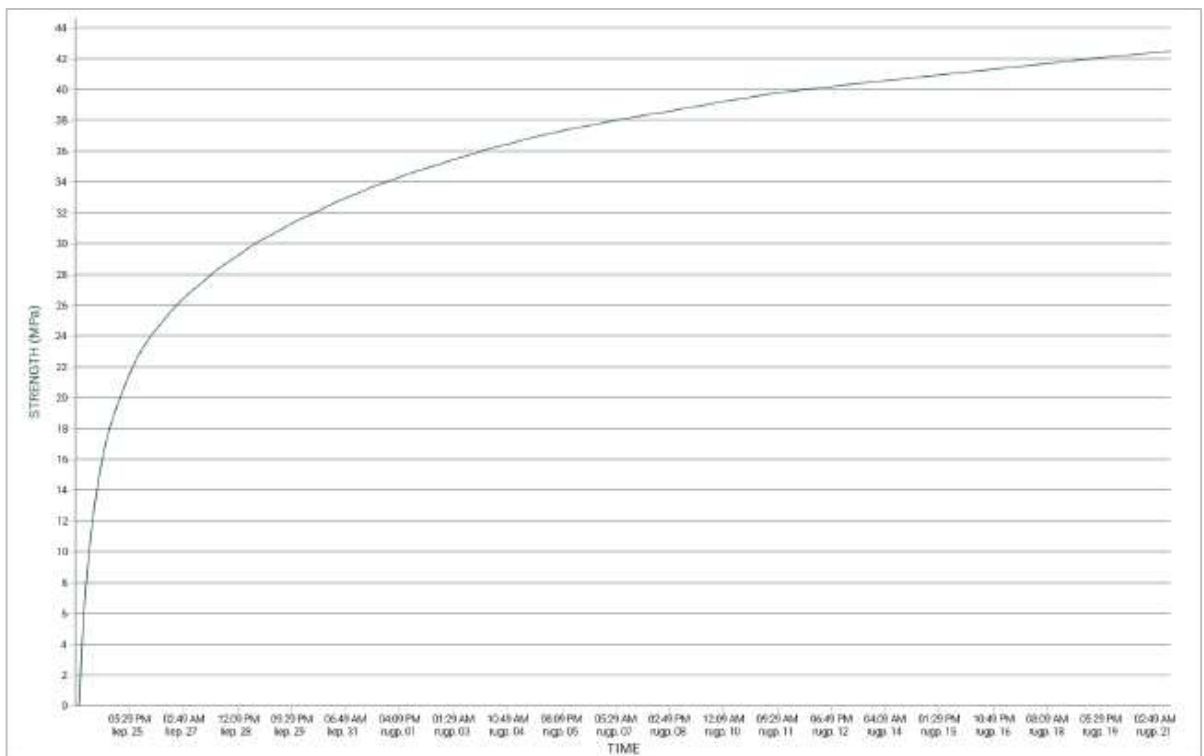
58 pav. Betono mišinio C30/37 temperatūros kitimo duomenys (iš perdangos viduryje esančios termoporos)

59 paveiksle pateiktas temperatūrvlandžių kitimo grafikas, o 60 paveiksle – prognozuojamas betono gniuždomasis stipris.

C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo kietėjimo trukmės paromis iš perdangos viduryje esančios termoporos pateikiama 60 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad betonas po paros pasiekė gniuždomąjį stiprį 14,4 MPa, po 3 parų – 29,1 MPa, po 7 parų – 38,0 MPa, po 14 parų – 40,3 MPa ir po 28 parų – 47,4 MPa.



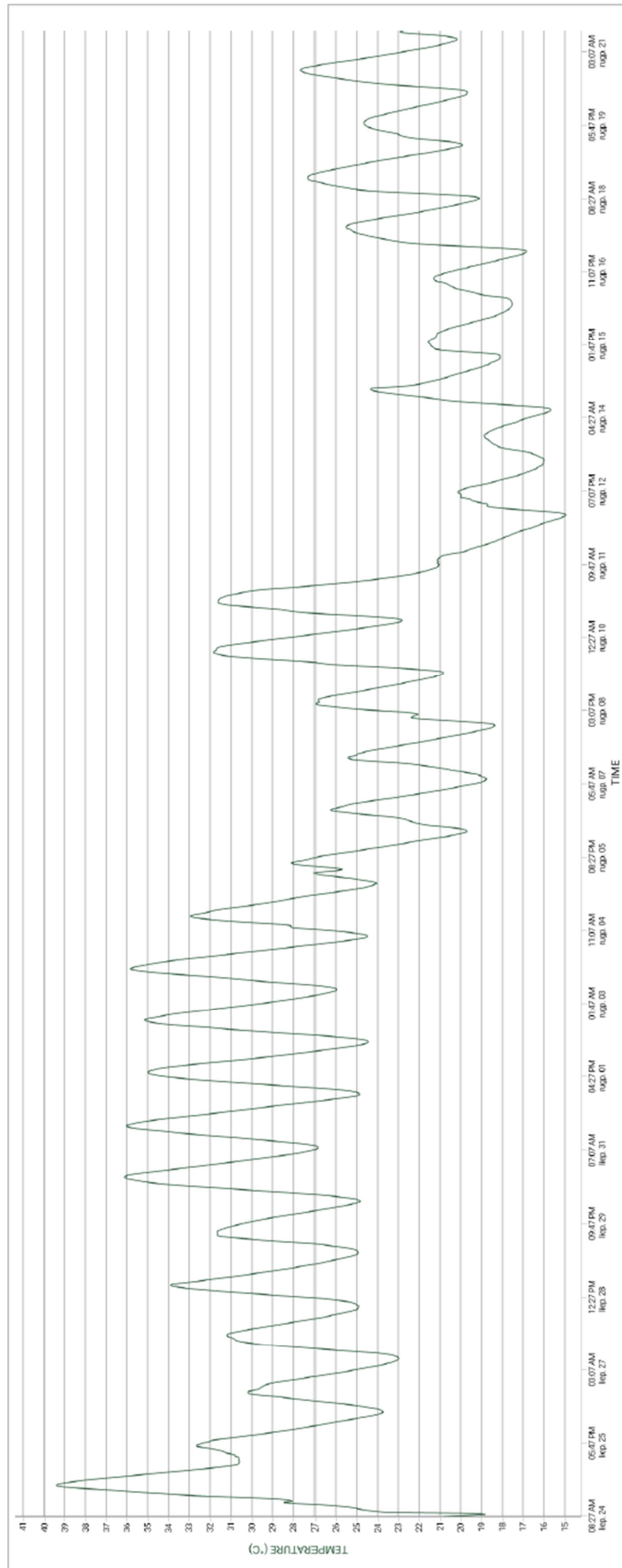
59 pav. Betono kietėjimo rodiklio grafikas (duomenys iš perdangos viduryje esančios termoporos)



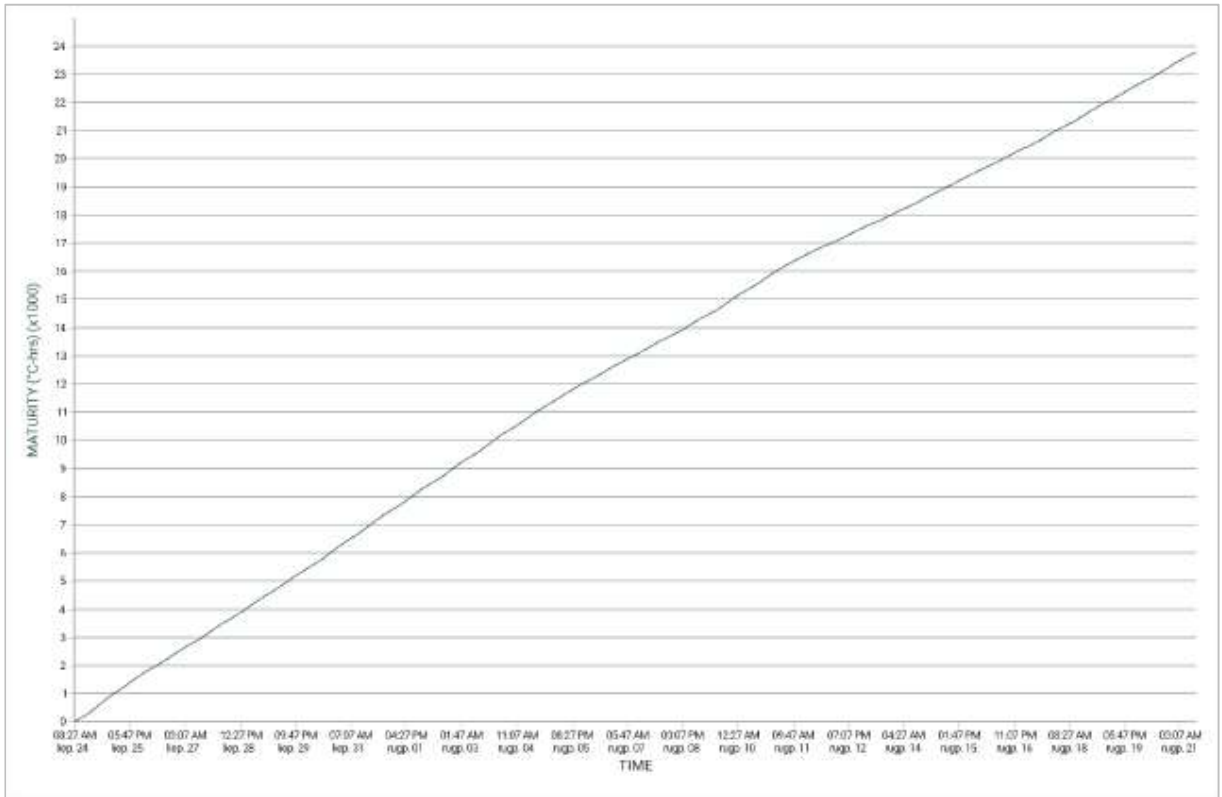
60 pav. Prognozuojamas betono gniuždomasis stipris (duomenys iš perdangos viduryje esančios termoporos)

61 paveiksle pateikiami duomenys iš perdangos šone esančios termoporos. Iš šio paveikslo matyti, kad betonas didžiausią temperatūrą 39,33 °C pasiekė dar nepraėjus nei parai. Po 1 paros kietėjimo 31,0 °C, po 3 kietėjimo parų – 27,00 °C temperatūrą, po 7 parų – 29,00 °C, po 14 parų – 20,47 °C ir po 28 parų – 18,41 °C.

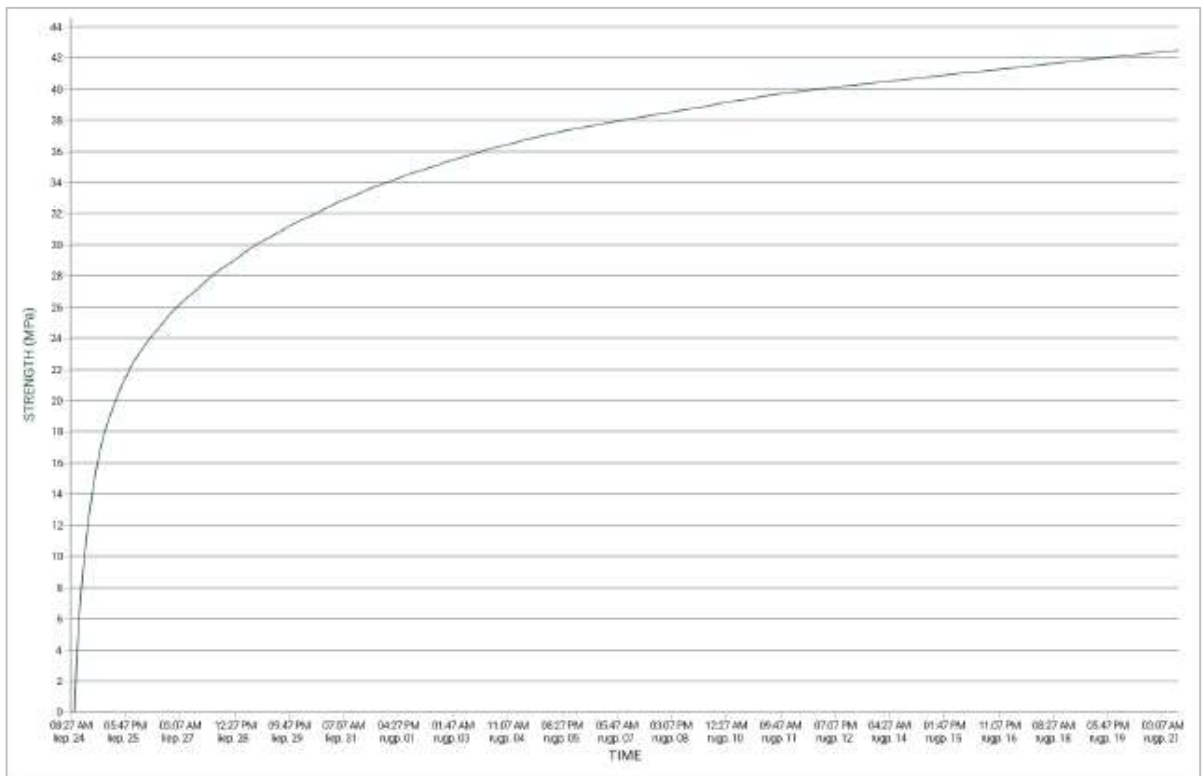
C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo kietėjimo trukmės paromis iš perdangos šone esančios termoporos pateikiama 62 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad betonas po paros pasiekė gniuždomąjį stiprį 14,4 MPa, po 3 parų – 29,1 MPa, po 7 parų – 38,0 MPa, po 14 parų – 40,3 MPa ir po 28 parų – 47,4 MPa.



61 pav. Temperatūros kitimo duomenys tyrimo metu (duomenys iš perdangos šone esančios termoporos)



62 pav. Betono kietėjimo rodiklio grafikas (duomenys iš perdangos šone esančios termoporos)



63 pav. Prognozuojamas betono gniuždomasis stipris (duomenys iš perdangos šone esančios termoporos)

Gautus rezultatus laboratorijoje tarp „A“, „B“ ir C betono tiekėjų palyginsime tarpusavyje įvertinant:

- betono mišinio temperatūros kitimą 28 parų kietėjimo laikotarpiu,
- betono gniuždomojo stiprio priklausomybę nuo betono kietėjimo rodiklio,
- betono gniuždomojo stiprio kietėjimo kinetiką.

Taip pat atliksime gautų duomenų iš objekto, pasitelkiant jutiklius-termoporas bei „Giatec SmartRock2“ mobiliąją programėlę „SmartRock“, ir gautų duomenų laboratorijoje palyginimą.

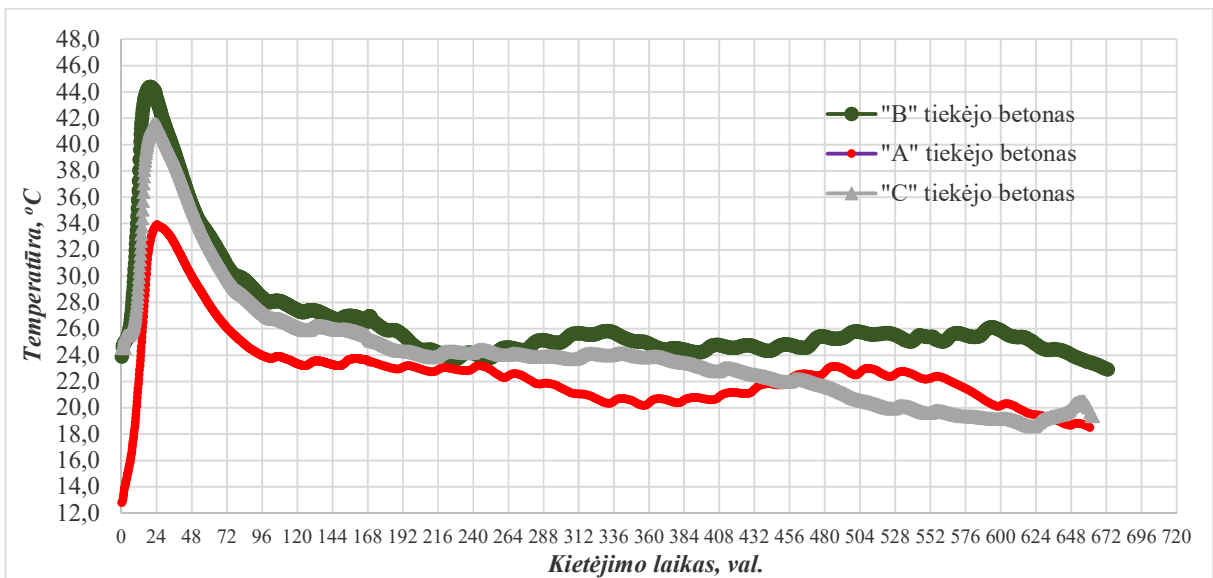
3.5.1. Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ betono klasių C25/30 kietėjimo rodiklio palyginimas

Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ betono klasių C25/30 sudėtys pateiktos 8 lentelėje.

8 lentelė. Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ betono klasių C25/30 sudėtys

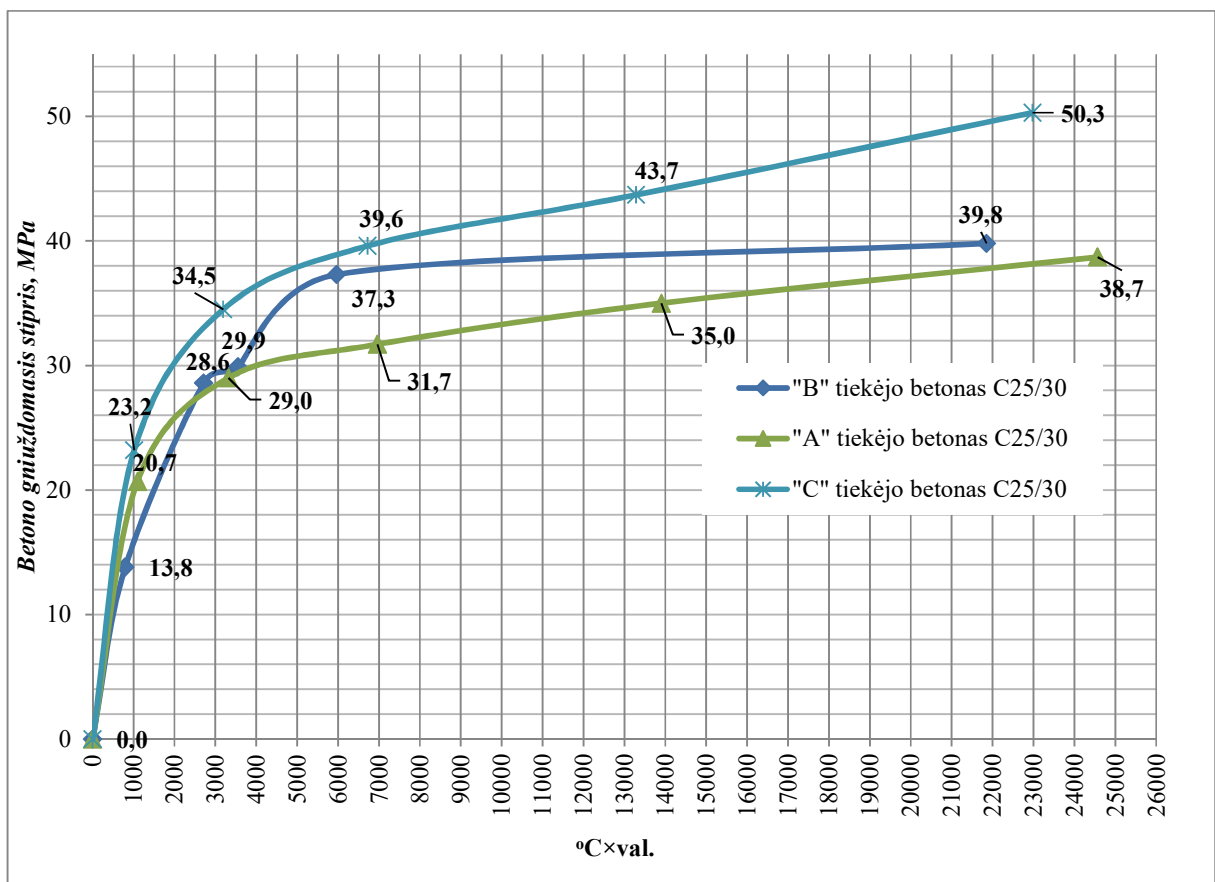
Sudėties Nr.	Betono stiprio klasė	Cemento tipas	Vandens ir cemento santykis V/C	Betono mišinio slankumas, mm	Betono mišinio temperatūra, °C	Betono įmaišos tipas ir kiekis procentais
A	C25/30	CEM II/A-LL 42,5 R	0,58	160	23,9	plastiklis 0,5 ir lėtiklis, 0,2
B	C25/30	CEM II/A-LL 42,5 R	0,58	160	23,9	plastiklis 0,5 ir lėtiklis, 0,2
C	C25/30	CEM I 42,5 N	0,49	220	23,8	Plastiklis; 0,6 ir lėtiklis 0,2; pelenai 30 kg

Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ prekinio betono C25/30 mišinio temperatūros kitimo duomenys 28 parų kietėjimo metu pateikiami 64 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad „A“ tiekėjo C25/30 klasės betonas didžiausią temperatūrą 44,5°C pasiekė po 18 val. kietėjimo. Po 1 paros kietėjimo 44,0 °C, po 3 kietėjimo parų – 31,5 °C temperatūrą, po 7 parų – 26,7 °C, po 14 parų – 25,5°C ir po 28 parų – 22,9 °C. „B“ tiekėjo C25/30 klasės betonas didžiausią temperatūrą 33,91 °C pasiekė po 24,50 val. kietėjimo. Po 1 paros kietėjimo 33,86 °C, po 3 kietėjimo parų – 26,10 °C temperatūrą, po 7 parų – 23,62 °C, po 14 parų – 23,54 °C ir po 28 parų – 18,46 °C. „C“ tiekėjo C25/30 klasės betonas didžiausią temperatūrą 41,55 °C pasiekė po 23,25 val. kietėjimo. Po 1 paros kietėjimo 41,51 °C, po 3 kietėjimo parų – 30,01 °C temperatūrą, po 7 parų – 25,49 °C, po 14 parų – 23,89 °C ir po 28 parų – 19,37 °C.



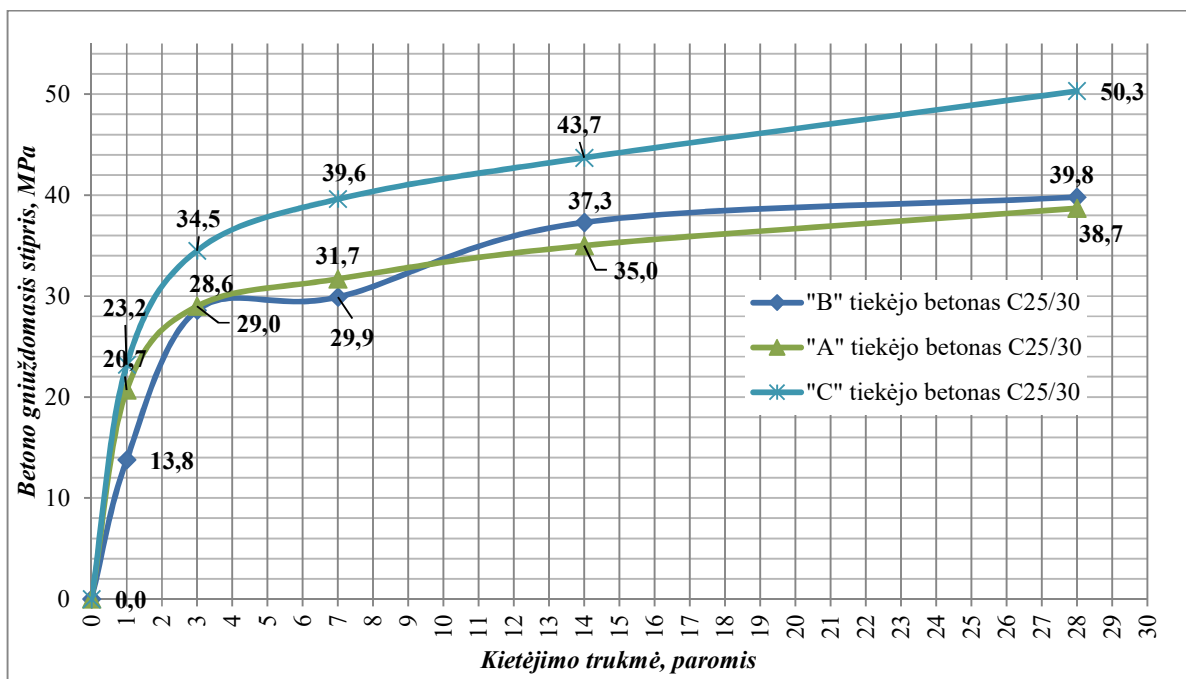
64 pav. Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ prekinio betono C25/30 mišinio temperatūros kitimo duomenys 28 parų kietėjimo metu

Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ C25/30 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo temperatūrvandžių pateikta 65 paveiksle.



65 pav. Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ prekinio betono C25/30 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo temperatūrvandžių

Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ C25/30 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo kietėjimo trukmės paromis pateikiama 66 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad „A“ tiekėjo betonas po paros pasiekė gniuždomąjį stiprį 20,7 MPa, po 3 parų – 29,0 MPa, po 7 parų – 31,7 MPa, po 14 parų – 35,0 MPa ir po 28 parų – 38,7 MPa. „B“ tiekėjo betonas po paros pasiekė gniuždomąjį stiprį 13,8 MPa, po 3 parų – 28,6 MPa, po 7 parų – 29,9 MPa, po 14 parų – 37,3 MPa ir po 28 parų – 39,8 MPa. „C“ tiekėjo betonas po paros pasiekė gniuždomąjį stiprį 23,2 MPa, po 3 parų – 34,5 MPa, po 7 parų – 39,6 MPa, po 14 parų – 43,7 MPa ir po 28 parų – 50,3 MPa.



66 pav. Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ C25/30 betono klasės gniuždomojo stiprio kinetika

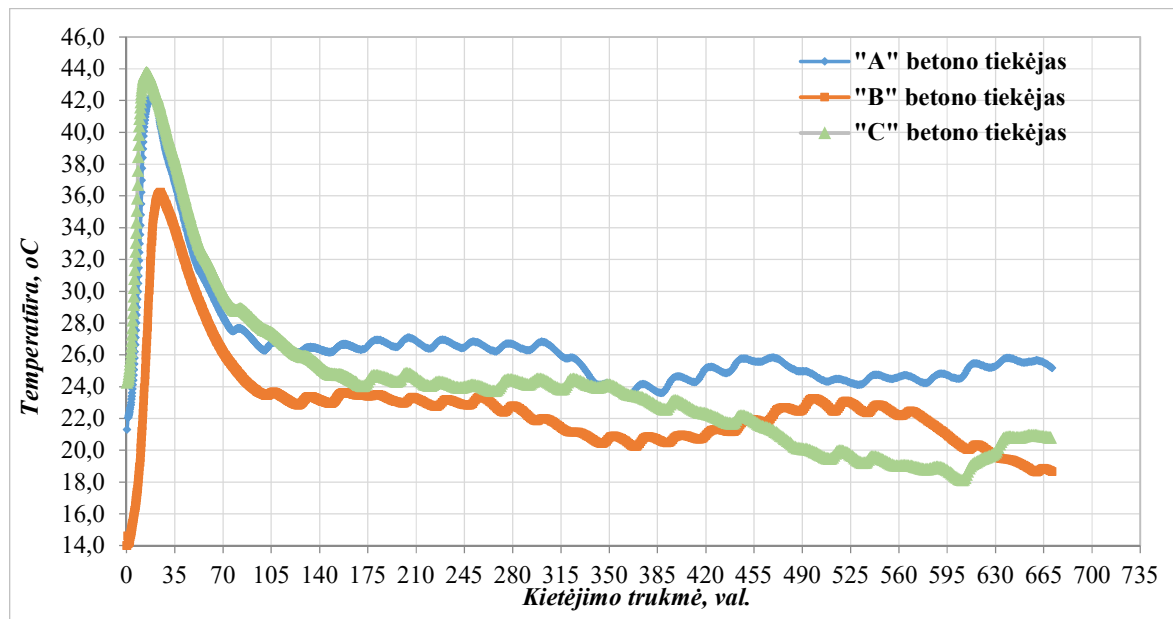
3.5.2. Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ betono klasių C30/37 kietėjimo rodiklio palyginimas

Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ betono klasių C30/37 sudėtyms pateiktos 9 lentelėje.

9 lentelė. Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ betono klasių C30/37 sudėtyms

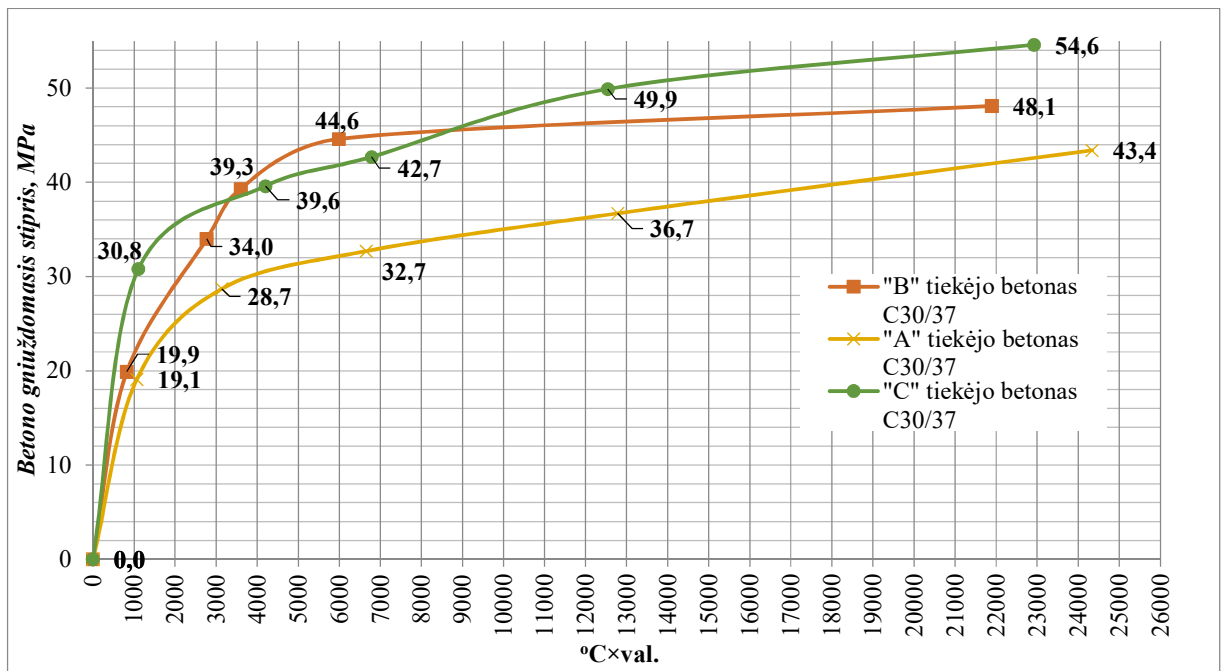
Sudėties Nr.	Betono stiprio klasė	Cemento tipas	Vandens ir cemento santykis V/C	Betono mišinio slankumas, mm	Betono mišinio temperatūra, °C	Betono įmaišos tipas ir kiekis procentais
A	C30/37	CEM II/A-LL 42,5 R	0,5	180	21,3	plastiklis, 0,5
B	C30/37	CEM II/A-LL 42,5 R	0,5	180	21,3	plastiklis, 0,5
C	C30/37	CEM II/A-LL 42,5 N, 355	0,4	150	24,6	Plastiklis; 0,6

Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ C30/37 betono mišinio temperatūros kitimo duomenys 28 parų kietėjimo metu pateikti 67 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad „A“ tiekėjo C30/37 klasės betonas didžiausią temperatūrą 41,9 °C pasiekė po 18 val. kietėjimo. Po 1 paros kietėjimo 41,2 °C, po 3 kietėjimo parų – 27,9 °C temperatūrą, po 7 parų – 26,4 °C, po 14 parų – 24,9°C ir po 28 parų – 25,2 °C. „B“ tiekėjo C30/37 klasės betonas didžiausią temperatūrą 43,98 °C pasiekė po 16 val. kietėjimo. Po 1 paros kietėjimo 42,24 °C, po 3 kietėjimo parų – 29,82 °C temperatūrą, po 7 parų – 24,24°C, po 14 parų – 24,07 °C ir po 28 parų – 20, 82 °C.



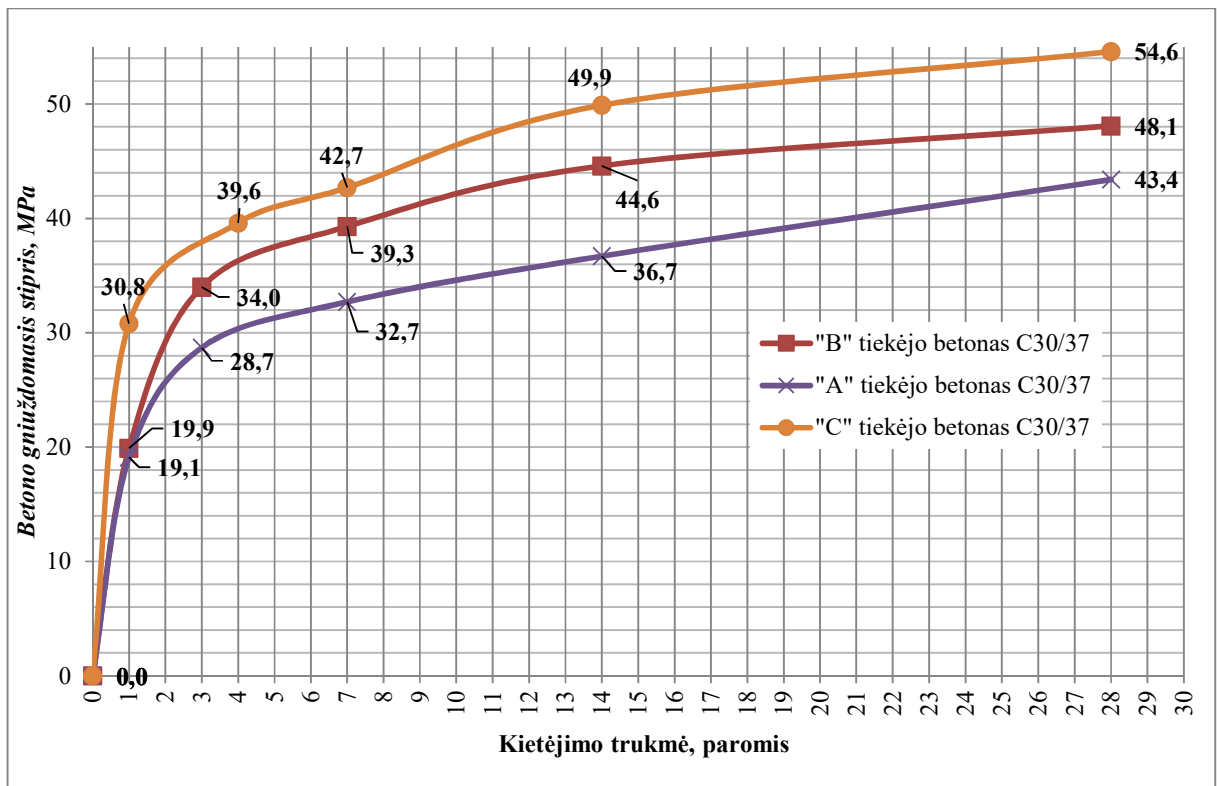
67 pav. Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ C30/37 betono mišinio temperatūros kitimo duomenys 28 parų kietėjimo metu

Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio pateikiama 68 paveiksle.



68 pav. Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio

Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo kietėjimo trukmės paromis pateikta 69 paveiksle.

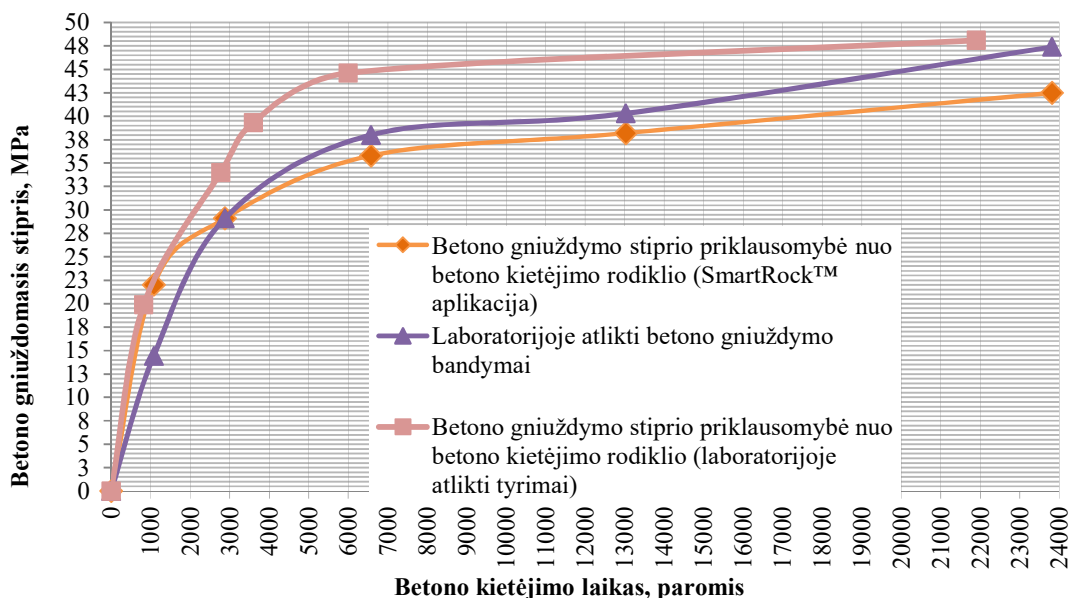


69 pav. Betono mišinio gamintojų „A“, „B“ ir „C“ C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio kietėjimo kinetika

Iš šio paveikslo matyti, kad „A“ tiekėjo betonas po paros pasiekė gniuždomąjį stiprį 19,1 MPa, po 3 parų – 28,7 MPa, po 7 parų – 32,7 MPa, po 14 parų – 36,7 MPa ir po 28 parų – 43,4 MPa. „B“ tiekėjo betonas po paros pasiekė gniuždomąjį stiprį 19,9 MPa, po 4 parų – 34,00 MPa, po 7 parų – 39,3 MPa, po 15 parų – 44,6 MPa ir po 28 parų – 48,1 MPa. „C“ tiekėjo betonas po paros pasiekė gniuždomąjį stiprį 30,8 MPa, po 3 parų – 39,6 MPa, po 7 parų – 42,7 MPa, po 14 parų – 49,9 MPa ir po 28 parų – 54,6 MPa.

3.5.3. Objekte ir laboratorijoje gautų rezultatų palyginimas

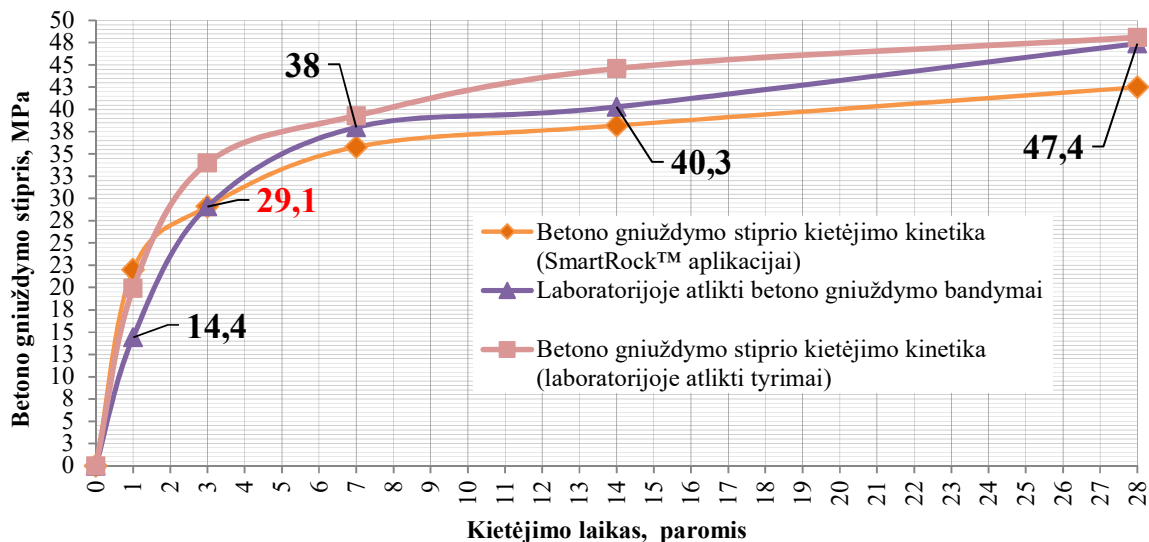
Betono mišinio gamintojo „B“ C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybių nuo betono kietėjimo rodiklio palyginimas remiantis laboratorijoje atiliktais tyrimais bei objekte gautais rezultatais (pasitelkiant „SmartRock“ aplikaciją) pateiktas 70 paveiksle.



70 pav. C30/37 „B“ tiekėjo betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo betono kietėjimo rodiklio pasinaudojant laboratorijoje atiliktais tyrimais bei objekte gautais rezultatais pasitelkiant „SmartRock“ aplikaciją

Betono mišinio gamintojo „B“ C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio priklausomybių nuo kietėjimo trukmės paromis palyginimas pateiktas 71 paveiksle. Iš šio paveikslo matyti, kad visi trys tyrimai rodo skirtingus rezultatus. Didžiausią skirtumą rodo laboratorijoje atilkti bandymai, kurio rezultatai buvo geriausi dėl palankios terpės betono kietėjimui. Iš šio grafiko matyti, kad objekte prognozuotas betono gniuždomasis stipris (remiantis termoporų-jutiklių „Giatec SmartRock2“ informacija) ženkliai nesiskiria nuo laboratorijoje nustatyto betono gniuždomojo stiprio verčių (grafike pažymėta violetine spalva), o trečiosios paros duomenys netgi sutampa. Atlikus palyginimą

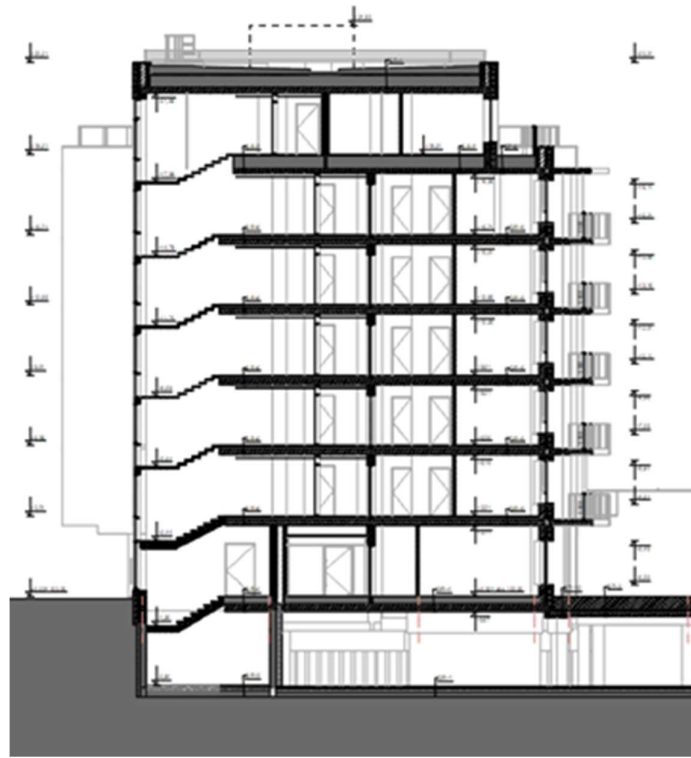
matyti, kad prognozuotas betono gniuždomasis stipris (remiantis termoporų-jutiklių „Giatec SmartRock2” informacija) yra saugus naudoti ir turi netgi atsargą, lyginant su statybos aikštelėje ant monolitinės perdangos kietintų bandinių gniuždomuoju stipriu (nustatytu laboratorijoje).



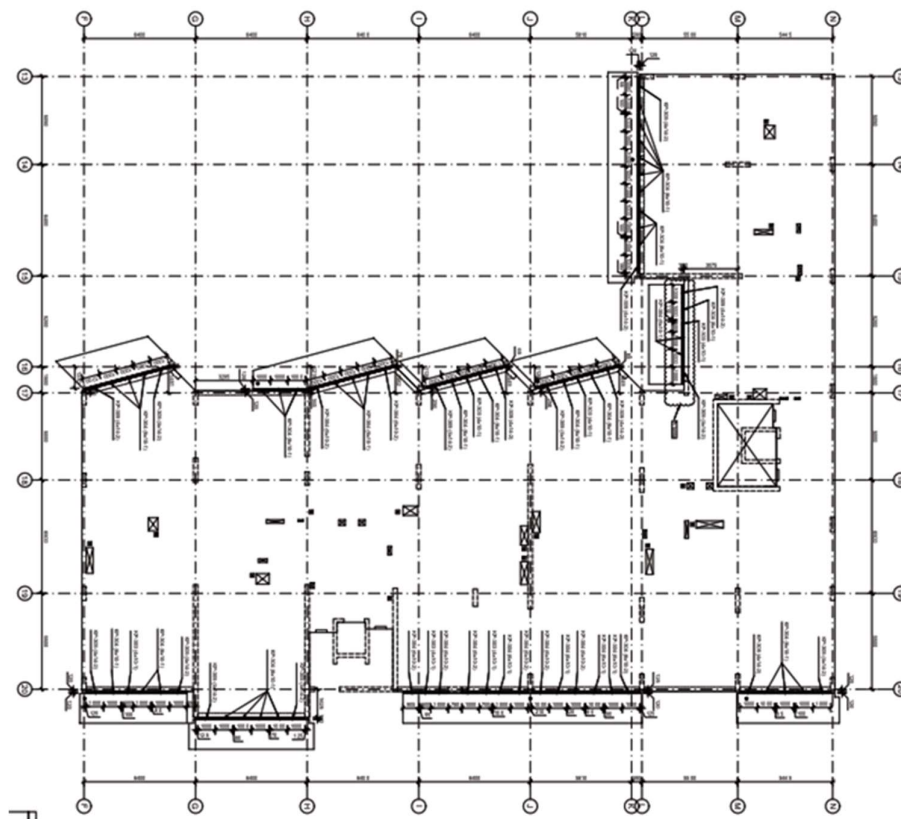
71 pav. Betono mišinio gamintojo „B“ C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio kietėjimo kinetika

3.6. Klojinių panaudojimo efektyvumo vertinimas remiantis kietėjimo kinetikos rodikliu

Šio tyrimo tikslas – įvertinti pasirinkto objekto monolitinių perdangų įrengimui naudojamų klojinių panaudojimo efektyvumą remiantis anksčiau nustatytu betono kietėjimo kinetikos rodikliu. Betono monolitinių perdangų įrengimui klojinių sistemų panaudojimo efektyvumas vertinamas pasirinktam objektui, esančiam Vilniuje. Tai yra gyvenamosios paskirties daugiabutis pastatas, kurio pagrindiniai pastato konstrukciniai elementai sudaryti iš monolitinio betono konstrukcijų. Pastatas yra 7 aukštų su požemine automobilių saugykla (72 pav.). Tipinio aukšto perdangos schema pateikta 73 pav. Perdangos plotas sudaro 920 m². Pastatas bus statomas dviem etapais.



72 pav. Pasirinkto pastato pjūvis 2-2 ašyje



73 pav. Tipinio aukšto monolitinio betono perdangos klojinių išdėstymo schema

Pagal turimus aukštų planus, pjūvius bei anksčiau nustatytus tirtų betono sudėčių kietėjimo rodiklius (75 pav.) buvo parengtas pasirinkto pastato monolitinio betono konstrukcijų statybos darbų kalendorinis grafikas (žiūrėti 1 priedą).

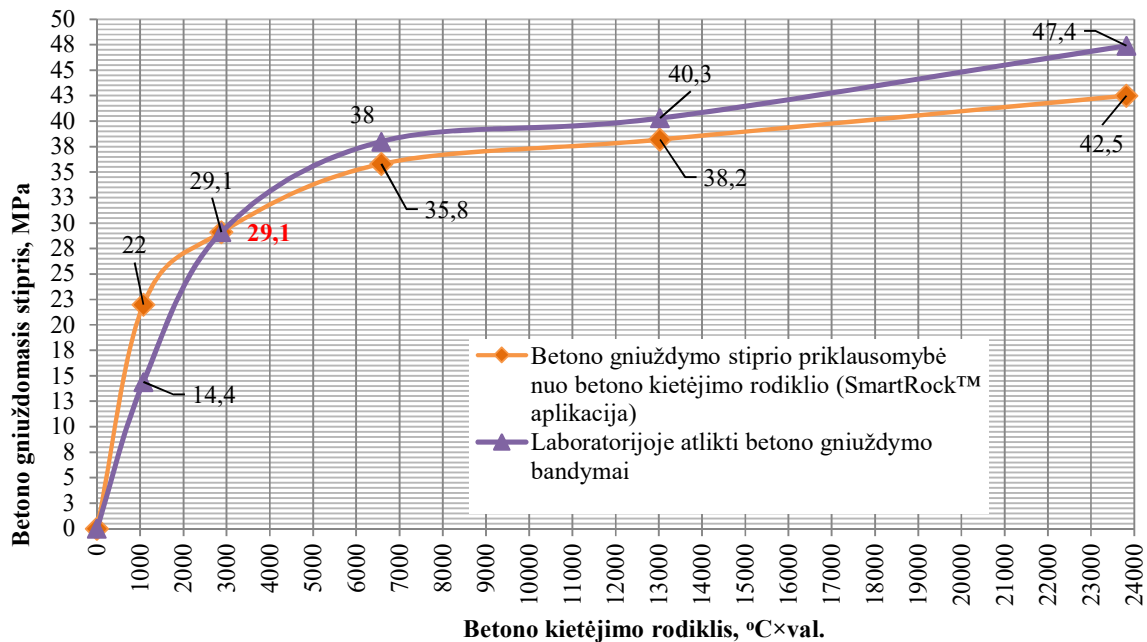
Pagal parengtą statybos darbų kalendorinį grafiką buvo gautas klojinių poreikis betono monolitinei perdangai įrengti.

Klojinių galimas sutaupymas buvo skaičiuojamas pagal prognozuojamą betono gniuždomąjį stiprį, remiantis išmaniosiomis technologijomis. Yra žinoma, kad laikančiųjų konstrukcijų klojinių sistemos gali būti išardomos, kai betono gniuždomasis stipris pasiekia 80 proc. projektinio stiprio, esant tarpataramiui, didesniai nei 6 metrai [18]. Iš 68 pav. ir 75 pav. pateikto grafiko matyti, kad betonas jau po 3,2 paros kietėjimo siekė 80 proc. projektinio stiprio. Vadinasi, remiantis prognozuojamu betono gniuždomuoju stipriu perdangos klojinius galima išmontuoti, o klojinių paramstymui naudojama pirma alternatyva, galimos klojinių ramstymo alternatyvos pateiktos 74 pav. [4].

Location	Load	No backprops	One level of backprops		Two levels of backprops	
		On slab	On slab	In props	On slab	In props
New slab being cast	Total w_p	100%	100%		100%	
Falsework/formwork		100%		100%		100%
On supporting slab 1		100% w_p	70% w_p		65% w_p	
In backprops	w_{b1}			30% w_p		35% w_p
On lower slab 2			30% w_p		23% w_p	
In backprops	w_{b2}					12% w_p
On lower slab 3					12% w_p	

74 pav. Klojinių apkrovų paskirstymo metodas

Toki atveju, išmontuotos klojinių sistemos gali būti toliau naudojamos kitai betono monolitinei perdangai įrengti. Vadinasi, gali būti sutaupomos lėšos klojinių nuomai.

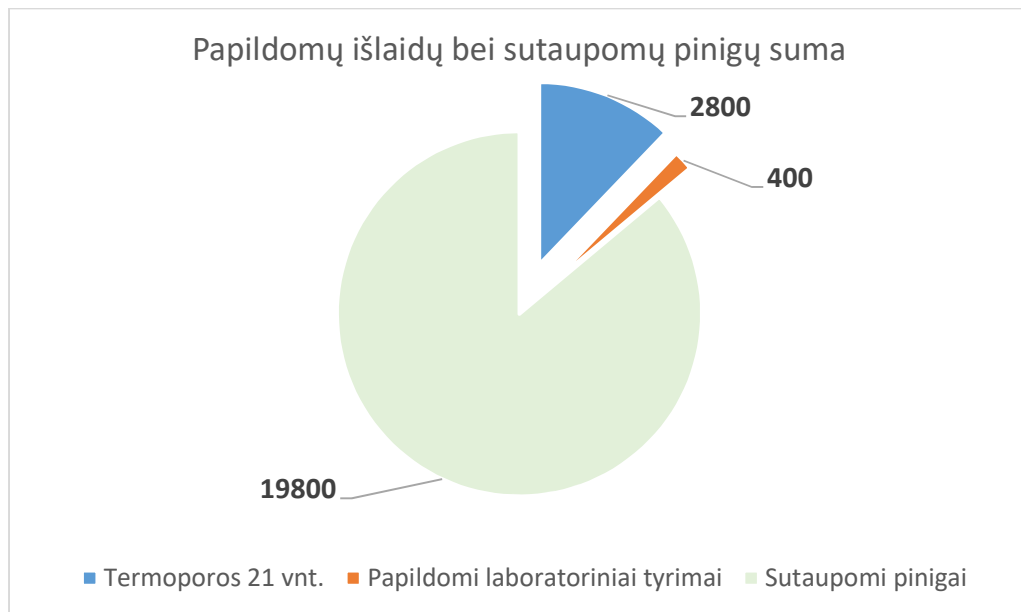


75 pav. C30/37 betono klasės gniuždomojo stiprio kietėjimo kinetika

Iš 76 pav. matyti, kad pasirinktame objekte betono monolitinių perdangų įrengimui visuose aukštuose buvo sumontuotos klojinių sistemos. Buvo naudojami net 4 komplektai klojinių sistemų, kurių nuoma turėjo atsieiti brangiai.



76 pav. Statybvietės nuotrauka su naudojamais klojiniais



77 pav. Papildomų išlaidų bei sutaupomų pinigų skirtumą rodantis grafikas

Pagal sudarytą darbų grafiką ir gautus betono tyrimo rezultatus (75 pav.) matoma, kad šiam objektui būtų sutaupomas vienas klojinių komplektas, nes klojinius ardyti būtų galima jau po 3 parų betono kietėjimo. 1 m² perdangos klojinių komplekto nuomos kaina rinkoje įvertinama 5 Eur/m² be PVM. Pagal tai buvo paskaičiuota, kad per 5,5 mėnesio būtų papildomai sutaupoma 23 tūkst. EUR. Tačiau iš šių sutaupyto pinigų dar reiktų atimti papildomas išlaidas jutikliams-termoporoms įsigyti bei papildomiems laboratoriniams bandymams atlikti. Apytikslės išlaidos jutikliams-termoporoms įsigyti bei papildomiems laboratoriniams bandymams atlikti siektų apie 3,2 tūkst. EUR. Galiausiai gautumėme, kad objekto sąmatoje sutaupytumėme 19,8 tūkst. EUR (77 pav.).

Išvados

1. Betono monolitinių perdangų stebėsenai ankstyvuju betono kietėjimo periodu taikytas „Nurse-Saul“ metodas yra tinkamas dėl savo efektyvumo bei patikimumo. Šio metodo esmė – to paties betono mišinio gamintojo, tos pačios mišinio sudėties ankstyvojo kietėjimo dinamika priklauso nuo temperatūros ir laiko trukmės. Nepriklausomai nuo to, kokioje temperatūros aplinkoje betonas kietėjo, pasiekus tą patį temperatūrvalandžių skaičių, betonas pasiekia tą patį gniuždomąjį stiprį.
2. Sudarius C25/30 bei C30/37 betono stiprio klasių kietėjimo kinetikos kreives gavome, kad betonas jau po 3 parų pasiekia 78% projektinio gniuždomojo stiprio, o jau po 14 parų pasiekia 100% projektinio gniuždomojo stiprio.
3. Iš gautų objekto duomenų matome, kad po 3,2 paros C30/37 klasės betonas pasiekia 80% minimalaus reikalaujamo gniuždomojo stiprio.
4. Lyginant tos pačios sudėties C30/37 betonus iš dviejų skirtingų tiekėjų, matome, kad „B“ tiekėjo betono gniuždomasis stipris per tą patį kietėjimo laiką pasiekiamas didesnis. Pastebima, kad po 3,2 paros kietėjimo, „B“ tiekėjo betonas pasiekia 18% didesnes gniuždomojo stiprio vertes. Po 28 parų kietėjimo matome išliekančią tendenciją, kad „B“ tiekėjo betonas pasiekia 16,5% didesnį gniuždomąjį stiprį. Pagal gautas betono kietėjimo kinetikos kreives klojinius ardyti jau būtų galima po 3 parų.
5. Lyginant laboratorijoje bei statybos aikštelėje gautus tyrimų duomenis, matyti, kad „SmartRock2“ mobili aplikacija prognozuoja tik ~1,5 MPa mažesnes betono gniuždomojo stiprio vertes, lyginant su laboratorijoje nustatytais gniuždomojo stiprio vertėmis.
6. Panaudojant jutiklius-termoporas ir mobilies aplikacijas atsiranda galimybė padidinti klojinių sistemų panaudojimo efektyvumą. Analizuojant klojinių sistemų panaudojimo efektyvumą pasirinktame objekte nustatyta, kad preliminariais skaičiavimais galima sutaupyti iki 19,8 tūkst. Eur.

Rekomendacija.

Lietuvoje galiojančiuose Statybos techniniuose reglamentuose bei taisyklėse galėtų būti įteisintas betono gniuždomojo stiprio prognozavimo metodas, kuris remiasi dar 1950 metais atrastu „Nurse-Saul“ metodu. Šis metodas būtų ypač efektyvus atliekant betono monolitinių konstrukcijų monitoringą, kuomet apie klojinių nuėmimą sprendžiama pagal betono gniuždomąjį stiprį.

Literatūros sąrašas

1. Giatec Scientific Inc. CONCRETE MATURITY CONCEPT, MEASUREMENT AND APPLICATION [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2019-12-03]. Prieiga per: <https://www.giatecscientific.com/>
2. DAUKŠYS, M. ir D. Kriptavičius. Mobiliosios aplikacijos pasiekė statybos technologijų sferą. *SA.lt*. Vilnius: SA.lt (Statyba. Architektūra), 2018, no. 11. 29. ISSN 2538-8797
3. SOUTSOS, Marios and KANAVAIRIS, Fragkoulis. The modified nurse-saul (MNS) maturity function for improved strength estimates at elevated curing temperatures. *Case Studies in Construction Materials*. Volume 9, 2018, e00206 [žiūrėta 2018-12-10]. ISSN 2214-5095. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.e00206>.
4. KRIPTAVIČIUS, Dalius. Pristatymo medžiaga. Betono kietėjimo dinamikos prognozavimas taikant plačiai pasaulyje pripažintą Nurse-Saul metodą“. Vilnius, 2018 m.
5. MI, Zhengxiang and others. Maturity model for fracture properties of concrete considering coupling effect of curing temperature and humidity. *Construction and Building Materials*. 2019, 1-13 [žiūrėta 2018-12-09], ISSN 0950-0618. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.127>.
6. ATIS, Cengiz Duran. Strength properties of high-volume fly ash roller compacted and workable concrete, and influence of curing condition. *Cement and Concrete Research*. 2004, 1112–1121 [žiūrėta 2019-12-03]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884604003564>
7. XUAN, Dongxing, ZHAN, Baojian and SUN POON, Chi. A maturity approach to estimate compressive strength development of CO₂-cured concrete blocks. *Cement and Concrete Composites*. 2018, 85, 153-160 [žiūrėta 2019-01-03], ISSN 0958-9465. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.10.005>.
8. A. ABDEL-JAWAD, Yahia. The maturity method: Modifications to improve estimation of concrete strength at later ages. *Construction and Building Materials*. 2006, Volume 20, Issue 10, 893-900 [žiūrėta 2019-01-04], ISSN 0950-0618. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.06.022>.
9. WAN JO, Byung, CHAKRABORTY, Sumit, and KIM, Heon. Prediction of the curing time to achieve maturity of the nano cement based concrete using the Weibull distribution model. *Construction and Building Materials*. 2015, Volume 84, 307-314 [žiūrėta 2019-01-05], ISSN 0950-0618. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.037>

10. PERI, MULTIFLEX Perstatomoji perdangos klojinių sistema [interaktyvus]. 2008 [žiūrėta 2019-12-03]. Prieiga per: https://www.peri.lt/siuntiniai/katalogai.html#klojiniai_perdangai
11. PERI, SKYDECK Aluminium Panelized Slab Formwork [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2019-12-03]. Prieiga per: https://www.peri.lt/siuntiniai/katalogai.html#klojiniai_perdangai
12. PERI, PERI Slab Tables [interaktyvus]. 2008 [žiūrėta 2019-12-03]. Prieiga per: https://www.peri.lt/siuntiniai/katalogai.html#klojiniai_perdangai
13. [LST 1974:2012]. LST EN 206-1 Taikymo Taisyklės Ir Papildomieji Nacionaliniai Reikalavimai =: Rules of the Application of LST EN 206-1 and Additional National Requirements, Iv. (2012).
14. [LST EN 12350-2:2009]. Betono Mišinio Bandymai: Testing Fresh Concrete, 7. (2011).
15. [LST EN 12350-3:2009]. Betono Mišinio Bandymai: Testing Fresh Concrete, 8. (2011).
16. [LST EN 12390-3:2009]. Sukietėjusio Betono Bandymai: Testing Hardened Concrete, 18. (2011).
17. LST EN 12390-4:2003. Betono Bandymas: Stipris Gniuždant : Bandymo Mašinų Techniniai Reikalavimai, 17. (2003).
18. MALAKAUSKAS, Martynas ir K. Malakauskas. ST 121895674.205.01.01:2014 "Betonavimo darbai" [interaktyvus]. 2014-12-01. 6 [žiūrėta 2019-12-10]. Prieiga per: <http://statybostaisykles.lt/node/4851>

Priedai

1 priedas. Statybos darbų kalendorinis grafikas, sudarytas remiantis MS „Project“ programa.

