



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

Justas Norbutas

**CHEMINIŲ PRIEDŲ IR UŽPILDŲ ĮTAKA BETONINIŲ
GRINDINIO TRINKELIŲ MECHANINĖMS
CHARAKTERISTIKOMS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Loreta Kelpšienė

PANEVĖŽYS, 2017

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

TVIRTINU

Katedros vedėjas
(parašas) Doc. Arūnas Tautkus
(data)

**CHEMINIŲ PRIEDŲ IR UŽPILDŲ ĮTAKA BETONINIŲ
GRINDINIO TRINKELIŲ MECHANINĖMS
CHARAKTERISTIKOMS**

Baigiamasis magistro projektas

Statyba (621J80001)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Loreta Kelpšienė
(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. dr. Saulius Sušinskas
(data)

Projektą atliko

(parašas) Justas Norbutas
(data)

PANEVĖŽYS, 2017

20..... ..

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui:	<u>Justui Norbutui</u>	Grupė	<u>PMS-5</u>
1. Darbo tema:			
Lietuvių kalba:	<i>Cheminių priedų ir užpildų įtaka betoninių grindinio trinkelio mechaninėms charakteristikoms</i>		
Anglų kalba:	<i>Impact of chemical additives and supplements on the mechanical characteristics of concrete paving blocks</i>		

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

2. Darbo tikslas:	<i>Ištirti cheminių priedų ir užpildų įtaką grindinio trinkelio mechaninėms savybėms</i>
--------------------------	--

3. Reikalavimai ir sąlygos:	<i>Darbas turi būti atliktas laikanti magistriniam darbui keliamų reikalavimų. Turi būti atskleistas temos aktualumas, pasiekti keliami darbo tikslai.</i>
------------------------------------	--

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

<i>Išanalizuoti Lietuvoje gaminamų betoninių grindinių trinkelio normatyvinius dokumentus; Nustatyti cheminių priedų ir užpildų įtaką betoninių grindinio trinkelio įmirkiui normaliosiomis sąlygomis; Nustatyti cheminių priedų ir užpildų įtaką betoninių grindinio trinkelio tankiui; Atlikti betoninių grindinio trinkelio gniuždymo stipriui bandymą; Atlikti betoninių grindinio trinkelio tempimo stipriui skėlimu nustatymo bandymą; Atlikti gautų tyrimų rezultatų analizę ir pateikti išvadas.</i>
--

5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.

6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas	<u>2017-01-11</u> (data)
Užduotį gavau:	<u>Justas Norbutas</u> (studento vardas, pavardė, parašas)
	<u>2016-09-12</u> (data)
Vadovas:	<u>Doc. dr. Loreta Kelpšienė</u> (pareigos, vardas, pavardė, parašas)
	<u>2016-09-12</u> (data)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

(Fakultetas)

Justas Norbutas

(Studento vardas, pavardė)

Statyba (621J80001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Cheminių priedų ir užpildų įtaka betoninių grindinio trinkelėjų mechaninėms charakteristikoms“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. sausio 11 d.
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano **Justo Norbuto** baigiamasis projektas tema „Cheminių priedų ir užpildų įtaka betoninių grindinio trinkelėjų mechaninėms charakteristikoms“ parašytas visiškai savarankiškai, o 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)

Norbutas, Justas. Cheminių priedų ir užpildų įtaka betoninių grindinio trinkelėlių mechaninėms charakteristikoms. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Loreta Kelpšienė; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, Technologijų katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Statybos inžinerija.

Reikšminiai žodžiai: grindinys, trinkelė, priedai, cementas, užpildai.

Panevėžys, 2017. 66 p.

SANTRAUKA

Betoninė grindinio trinkelė yra surenkamasis betono elementas, naudojamas kaip paviršiaus apdailos medžiaga. Gaminant betonines grindinio trinkeles, turi būti naudojamos tik tinkamų eksploatacinių savybių ir charakteristikų medžiagos.

Baigiamojo darbo tikslas yra ištirti cheminių priedų ir užpildų įtaką grindinio trinkelėlių mechaninėms savybėms. Šiam tikslui pasiekti buvo išnagrinėta lietuvių ir užsienio literatūra, aprašytos gamybai panaudotos žaliavos, išnagrinėta bandymų metodika. Tyrimui naudotos 3 skirtingų sudėčių betoninės trinkelės. Tyrimams buvo naudoti cementas, džiovintas smėlis, granitinės atsijos, granitinė ir žvirgždo skalda, plastifikuojantis priedas ir vanduo. Remiantis tyrimų metodika buvo nustatytas gaminių tankis, tempimo stipris skeliant, gniuždymo stipris, bendrasis vandens įgėris. Eksperimentinėje dalyje nustatyti tyrimų rezultatai pateikti grafiškai ir lyginami tarpusavyje.

Darbą sudaro 6 dalys: įvadas, literatūros apžvalga, tyrimų metodika, eksperimentinė dalis, išvados, literatūros sąrašas. Darbo apimtis – 66 puslapiai, 23 paveikslai, 26 lentelių, 26 bibliografiniai šaltiniai.

Norbutas, Justas. Impact of Chemical Additives and Supplements on the Mechanical Characteristics of Concrete Paving Blocks. Master`s thesis characteristics of concrete paving blocks / supervisor assoc. prof. Loreta Kelpšienė. Panevėžys Faculty of Technology and Business, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Construction.

Key words: paving, concrete, chemical additives, plasticizer, compressive strength, general water absorption.

Panevėžys, 2017. 66 p.

SUMMARY

A concrete paver is a concrete element to be assembled, which is used as a surface finishing material. In production of pavers only materials of appropriate exploitation features and characteristics must be used.

The objective of the thesis is to research the impact of chemical additives and fillers on mechanical characteristics of pavers. To this end, the Lithuanian and foreign literature sources were analysed, methods of research were investigated. Concrete pavers of three different composition were used for the research. Cement, dried sand, granite screenings, gravel and crushed stone, plasticizer additive and water were used to complete the research. Based on the research methodology, the density of products, splitting tensile strength, compressive strength, general water absorption were established during the research. The experimental part of the thesis includes graphical presentation of the obtained results of the research and they are compared with each other. The thesis consists of six part: Introduction, literature review, research methodology, the experimental part, conclusions, and bibliography. The thesis contains 66 pages, 23 pictures, 26 tables, 26 bibliographical sources.

TURINYS

IVADAS	10
1. BETONINIŲ GRINDINIO TRINKELIŲ MECHANINĖS CHARAKTERISTIKOS IR JŲ TYRINĖJIMAI	12
1.1. Betoninių trinkelų tyrimai ir užsienio šalių patirtis.....	12
1.1.1. Grindinio panaudojimo galimybės	12
1.1.2. Grindinio nelygumas ir važiavimo kokybė	14
1.1.3. Atsparumas slydimui.....	14
1.1.4. Triukšmo generacija.....	15
1.1.5. Grindinio įtaka eismo saugumui	17
1.1.6. Grindinio dangos charakteristikų įtaka eismo sąlygoms Lietuvoje.....	18
1.1.7. Grindinio dangos degradacija ir ekonominiai rodikliai.....	18
1.2. Betoninių grindinio trinkelų sudėtis	20
1.3. Fizinės ir mechaninės betoninių trinkelų savybės	32
1.3.1. Stipris.....	32
1.3.2. Atsparumas šalčiui.....	32
1.3.3. Vandens įgėris	33
1.3.4. Dilumas.....	33
1.3.5. Regimieji požymiai.....	34
1. BETONINIŲ GRINDINIO TRINKELIŲ TYRIMO METODIKA	36
2.1. Lietuvos teisės aktai, reglamentuojantys grindinio trinkelų savybes	36
2.2. Bandinių sudėties pasirinkimai	37
2.3. Tiriamosios savybės	40
2.3.1. Matmenų matavimas.....	40
2.3.2. Betono tankio nustatymas.....	40
2.3.3. Betoninių grindinio trinkelų bendrojo vandens įgėrio nustatymas	41
2.3.4. Gniuždymo stiprio nustatymas	43
2. EKSPERIMENTINĖ DALIS	49
3.1. Betoninių trinkelų tankio tyrimo rezultatų analizė	49
3.2. Betoninių trinkelų bendrojo vandens įgėrio tyrimai.....	52
3.3. Betoninių trinkelų tempimo stiprio skeliant nustatymo tyrimas	54
3.4. Betoninių trinkelų gniuždymo stiprio nustatymo tyrimas	57
IŠVADOS	62
LITERATŪROS SARAŠAS	64
PRIEDAI	67

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Betoninių trinkelų grindinys Nyderlanduose	13
1.2 pav. Iškilusis kalnelis Nyderlanduose.....	13
1.3 pav. Eismo saugumo priemonė Nyderlanduose.....	14
1.4 pav. Betoninė trinkelė naudota Samuels ir kt. (1984) tyrime	16
1.5 pav. Mikrostruktūros, tiesioginio aplinkos poveikio ir apdirbimo veiksnių įtaka užpildo charakteristikoms, kurios nulemia betono mišinio sudėtį ir šviežio bei sukietėjusio betono savybes (Naujokaitis, 2007).....	25
2.1 pav. Smėlis fr. 0/4, žvirgždo skalda fr. 2/8, granito skalda fr. 2/8.....	38
2.2 pav. Sukietėję ir išlaikę formą bandiniai prieš tyrimus.....	39
2.3 pav. Ventiliuojamoji džiovinimo krosnis.....	42
2.4 pav. Gniuždymo stiprio nustatymui naudotas hidraulinis presas.....	44
2.5 pav. Tempimo stiprio skeliant bandymo principas (LST EN 1338:2003+AC:2006)	46
3.1 pav. Sudėties Nr.1 betoninių trinkelų tankis.....	50
3.2 pav. Sudėties Nr.2 betoninių trinkelų tankis.....	50
3.3 pav. Sudėties Nr.3 betoninių trinkelų tankis.....	51
3.4 pav. Betoninių trinkelų tankio vidutinės reikšmės.....	51
3.5 pav. Bendrojo vandens įgėrio vidutinės reikšmės.....	54
3.6 pav. Betoninių trinkelų sudėties Nr. 1 stipris skeliant	55
3.7 pav. Betoninių trinkelų sudėties Nr. 2 stipris skeliant	56
3.8 pav. Betoninių trinkelų sudėties Nr. 3 stipris skeliant	56
3.9 pav. Betoninių trinkelų stipris skeliant	56
3.10 pav. Betoninių trinkelų sudėties Nr.1 gniuždymo stipris.....	58
3.11 pav. Betoninių trinkelų sudėties Nr.2 gniuždymo stipris.....	59
3.12 pav. Betoninių trinkelų sudėties Nr.3 gniuždymo stipris.....	59
3.13 pav. Betoninių trinkelų gniuždymo stipris.....	60

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Tirti betoninių trinkelų grindiniai (Lekso, 1980).....	15
1.2 lentelė. Sumuels ir kt. (1984) tyrimo rezultatai su skirtingomis padangomis	16
1.3 lentelė. Sumuels ir kt. (1984) tyrimo rezultatai su skirtingais automobiliais	17
1.4 lentelė. Dangų dabartinės vertė, kai ESA=30000.....	20
1.5 lentelė. Dangų dabartinės vertė, kai ESA=5 mln.	20
1.6 lentelė. Pagrindinės cheminių betono priedų grupės.....	29
1.7 lentelė. Priedų, naudojamų praeito amžiaus nuo 30 – ūjų metų, sąrašas.....	30
1.8 lentelė. Betoninių trinkelų dviejų įstrižainių didžiausias leidžiamas skirtumas (LST EN 1338:2003).....	32
1.9 lentelė. Betoninių trinkelų atsparumas šaldymui ir atšildymui, naudojant druskas nuo apledėjimo (LST EN 1339:2003)	33
1.10 lentelė. Vandens įgėris	33
1.11 lentelė. Betoninių trinkelų atsparumas dilinimui	33
2.1 lentelė. Gaminio sudėtis Nr. 1	38
2.2 lentelė. Gaminio sudėtis Nr. 2	38
2.3 lentelė. Gaminio sudėtis Nr. 3	39
2.4 lentelė. Leidžiamieji nuokrypiai.....	40
2.5 lentelė. Plokštumo ir išlinkimo nuokrypiai	40
2.6 lentelė. Stačiakampių plieninių plokščių trinkelėms bandyti matmenys milimetrais	43
2.7 lentelė. Grindinio trinkelų aukščio ir nuožulų įvertinimo pataisos koeficientas	44
2.8 lentelė. Koeficiento λ vertės, atsižvelgiant į bandinių skaičių (LST 1551:1999).....	45
2.9 lentelė. Koregavimo koeficientai k	47
3.1 lentelė. Trinkelų tankio apskaičiavimo rezultatai.....	49
3.2 lentelė. Sudėtis Nr. 1 bendrojo vandens įgėrio skaičiavimų rezultatai.....	52
3.3 lentelė. Sudėtis Nr. 2 bendrojo vandens įgėrio skaičiavimų rezultatai.....	52
3.4 lentelė. Sudėtis Nr. 3 bendrojo vandens įgėrio skaičiavimų rezultatai.....	53
3.5 lentelė. Betoninių trinkelų tempimo stipris skeliant, MPa pagal LST EN 1338:2003	55
3.6 lentelė. Betoninių trinkelų gniuždymo stipris, MPa pagal LST 1551:1999	58

IVADAS

Trinkelių klojimas yra vienas iš seniausių kelių, gatvių ir kitų eismo zonų (takų, aikščių) dangų konstrukcijų įrengimo būdų, kuris ir dabar plačiai taikomas, ypač gyvenamosiose vietovėse. Trinkelių ir plokščių nesurištosios dangos yra naudojamos dažniausiai, tačiau, esant poreikiui, vis dažniau yra įrengiamos ir surištosios dangos. Trinkelių ir plokščių surištosios dangos – tai dangos, kurių pasluoksniui ir siūlių užpilui yra panaudoti surištieji statybinių medžiagų mišiniai. Mišrieji būdai, kai tik pasluoksniui arba siūlių užpilui yra naudojami surištieji statybinių medžiagų mišiniai, nėra tinkami. Pagal įrengimo taisyklės IT TRINKELĖS 14 betoninės trinkelės taip pat naudojamos kraštovaizdžio kūrimui, drenuojančioms dangoms, zonoms prie bėginio transporto bėgių, degalinių, lėktuvų aptarnavimo zonoms bei traukinių peronams.

Betoninė grindinio trinkelė yra surenkamasis betono elementas, naudojamas kaip paviršiaus apdailos medžiaga. Gaminant betonines grindinio trinkeles, turi būti naudojamos tik tinkamų eksploatacinių savybių ir charakteristikų medžiagos. Medžiagų tinkamumo reikalavimai turi būti nurodyti gamintojo kontrolės dokumentuose.

Statybinių medžiagų ir gaminių ilgaamžiškumo tyrimai tobulėja, tačiau ilgaamžiškumo klausimas yra vis dar itin aktualus. Grindinio trinkelių ilgaamžiškumas vertinamas tik viena klase ir reikalaujamas rodiklis yra pakankamai aukštas. Vartotojai neturi galimybės pasirinkti skirtingos kokybės gaminio.

Duomenys apie medžiagų senėjimą leidžia vis plačiau taikyti medžiagų antrinį panaudojimą, taupyti žaliavas, didinti produktų eksploataavimo amžių, mažinti naudojimo išlaidas. Dažnai pasitaiko, kad betoninės trinkelės po 2–4 metų eksploataavimo praranda savo estetinę apdailos išvaizdą ir jas reikia keisti naujomis.

Norint žinoti kokiomis sąlygomis medžiagas galima panaudoti arba jų negalima naudoti, būtina suvokti medžiagų savybes, suprasti gamybos technologijos principus. Didėjantis statybos efektyvumas yra vienas iš svarbiausių technikos ir ekonomikos uždavinių. Statybines medžiagas ir jų konstrukcijas, atitinkančias gamybos reikalavimus, galima sukurti tik optimaliai parenkant ir išdėstant jas sudarančius komponentus. Tiksliai parinkus komponentų, iš kurių gaminamas dirbinys, dalių santykius galima gauti visas norimas savybes. Daugiakomponentės medžiagos savybės priklauso ne tik nuo komponentų santykio, bet ir nuo jų savybių, tarpusavio sąveikos, išsidėstymo gaminyje, gamybos būdo ir daugelio kitų veiksnių.

Baigiamojo darbo tikslas – ištirti cheminių priedų ir užpildų įtaką grindinio trinkelių mechaninėms savybėms.

Tiriamasis objektas – betoninės grindinio trinkelės.

Baigiamojo darbo užduotys:

- Išanalizuoti Lietuvoje gaminamų betoninių grindinių trinkelių normatyvinius dokumentus;

- Nustatyti cheminių priedų ir užpildų įtaką betoninių grindinio trinkelėjų įmirkiui normaliosiomis sąlygomis;
- Nustatyti cheminių priedų ir užpildų įtaką betoninių grindinio trinkelėjų tankiui;
- Atlikti betoninių grindinio trinkelėjų gniuždymo stipriui bandymą;
- Atlikti betoninių grindinio trinkelėjų tempimo stipriui skėlimu nustatymo bandymą;
- Atlikti gautų tyrimų rezultatų analizę ir pateikti išvadas.

1. BETONINIŲ GRINDINIO TRINKELIŲ MECHANINĖS CHARAKTERISTIKOS IR JŲ TYRINĖJIMAI

1.1. Betoninių trinkelėjų tyrimai ir užsienio šalių patirtis

Kelio ir gatvės dangos rūšis turėtų būti parenkama taip, kad įsiliėtų į natūralią aplinką ir atspindėtų natūralų kraštovaizdį bei istorinę aplinkos struktūrą. Būtent dėl šios priežasties grindinys dažniausiai įkomponuojamas istorinėse ir reprezentacinėse miestų vietose, taip išlaikant aplinkos autentiškumą ir estetiką. Deja, dažnai pamirštama apie praktinius šios dangos privalumus.

Plačiai naudojami kelių dangos konstrukcijos viršutiniai sluoksniai yra įvairių rūšių asfaltas. Kadangi Lietuvoje ši danga sudaro daugiau nei 65 proc. visų valstybinių kelių, mokslininkai daugiau dėmesio skiria įvairių asfalto dangų tyrimams

Tiek valstybiniuose, tiek ir vietiniuose Lietuvos keliuose grindinys sudaro labai mažą dalį, o atliktų tyrimų, susijusių su šia danga, Lietuvoje apskritai labai mažai. Kalbant apie betoninių trinkelėjų grindinius, tyrimai buvo atliekami norint išanalizuoti šių dangų segmentų, kaip statybinės medžiagos, savybes.

1.1.1. Grindinio panaudojimo galimybės

Užsienio šalyse grindinio dangos funkcijų pritaikymo patirtis yra daug platesnė nei Lietuvoje. Jei Lietuvoje grindinio dangas dažniausiai galime išvysti miestų ir miestelių senamiesčiuose, kitose reprezentacinėse gyvenviečių zonose, tai užsienyje trinkelėmis ar akmenimis grįstų važiuojamųjų dalių pamatyti kur kas dažniau.

Nyderlandų gyvenvietėse grindiniai naudojami kaip puikios asfalto dangų alternatyvos. Dėl savo estetinės išvaizdos grindinys yra lengvai įkomponuojamas gyvenamosiose teritorijose. Šios dangos puikiai tarnauja neintensyvaus eismo gatvėse (1.1 pav.).



1.1 pav. Betoninių trinkelų grindinys Nyderlanduose

Šie gatvių dangos sprendiniai yra paremti smulkiųjų elementų dangos privalumais: norint remontuoti ar pakeisti, lengva pasiekti pagrindo sluoksnius ar požemines infrastruktūras (išskyrus esant surištam sluoksniui); paviršiaus sluoksnis lengvai ir greitai perklojamas išvengiant brangių dangos medžiagų praradimo; pažeisti atskiri grindinio elementai gali būti pakeisti neardant didelio dangos ploto.

Kitas grindinio dangos pritaikymo Nyderlanduose pavyzdys – iškilieji karneliai (1.2 pav.).



1.2 pav. Iškilusis karnelis Nyderlanduose

Taip pat, užsienyje galima rasti pavyzdžių, kai grindinys, atrodytų, įrengiamas ne pagal paskirtį – kaip eismo saugumą didinanti priemonė. Netradicinė grindinio dangos funkcija – važiuojamosios dangos atskyrimas (1.3 pav.).



1.3 pav. Eismo saugumo priemonė Nyderlanduose

1.1.2. Grindinio nelygumas ir važiavimo kokybė

Vienas iš pagrindinių parametrų, nusakančių kelios dangos kokybę, yra kelio dangos lygumas. Jis daro įtaką patogiam važiavimui, kuro sąnaudoms, saugiam eismui.

Bėgant metams, grindinio nelygumas mažėja. Atlikti matavimai (Lekso, 1980) parodė, kad po dvejų eksploatacijos metų skirtingų klojimo šablonų ir formų betoninių trinkelų grindinio dangos nelygumas vidutiniškai sumažėja 6 proc. Tiriamasis ruožas buvo įrengtas kaip greitėjimo juosta užmiesčio kelyje. Jo ilgis – 1,3 km. Šį ruožą sudarė keturių rūšių betoninių trinkelų grindiniai (C–F sekcijos) ir dvi asfalto dangos rūšys – asfaltbetonis (A sekcija) ir pramoninė danga „Salviacim“ (B sekcija).

Dangos nelygumas buvo matuojamas smūgio aparatu iškart po įrengimo. Pirmojo matavimo rezultatai parodė, kada važiavimo kokybė betoninių trinkelų grindiniu yra prastesnė nei asfaltu. Vėliau, po dvejų metų atlikti matavimai parodė sumažėjusį grindinio dangos nelygumą.

Vis dėlto, šių dangų nelygumo reikšmės buvo aukštesnės nei asfalto dangos. Tyrimo išvadose pažymėta, kad betoninių trinkelų grindinio danga tinka ruožuose, kuriuose greitis ribojamas iki 60 km/val.

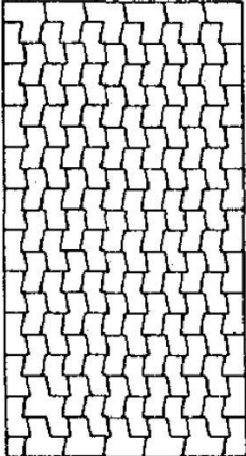
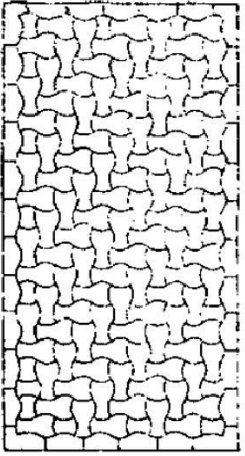
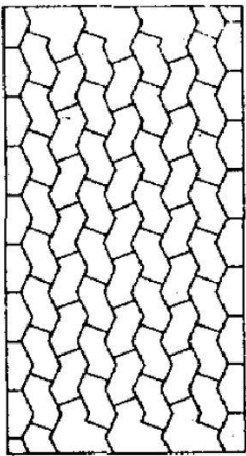
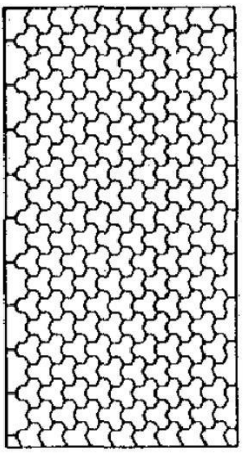
1.1.3. Atsparumas slydimui

Nors naujai įrengtas betoninių grindinio trinkelų grindinys pasižymi aukštais sukibimo rodikliais, jie pablogėja pradėjus eksploatuoti kelią. Stabilus grindinio atsparumas slydimui nusistovi

po poros metų eksploataavimo ir išlieka panašaus lygio kaip ir asfalto dangos. Grindinio atsparumas slydimui iš dalies priklauso ir nuo blokų sudėties bei kitų faktorių, pvz., išdūlėjimo, kuris atsiranda dėl netinkamos betono sudėties arba netinkamo betono kietėjimo režimo gaminant trinkelės.

Danijoje (Lekso, 1980) gan išsamiai yra ištirti skirtingo tipo grindiniai (1.1 lentelė). Stratografu buvo matuojamas kelio sukibimas nuolat judant – važiuojant atitinkamai 20, 40 ir 80 km/val. greičiu. Matavimo duomenys parodė, kad pradėjus eksploatuoti ruožą, per metus rezultatai suprastėjo, tačiau išliko tinkamas dangos sukibimas su ratu.

1.1 lentelė. Tirti betoninių trinkelėlių grindiniai (Lekso, 1980)

Sekcija	C	D	E	F
Trinkelė	KB trinkelė	FISK trinkelė	SF trinkelė	IBF trinkelė
Klojimo šablonas				

Važiuojančios transporto priemonės stabdymo bandymas buvo atliekamas ant sujungiamų betoninių trinkelėlių grindinio ir asfalto (Kanzaki ir kt., 1984). Nustatyta, kad esant šlapiai dangai, 60 km/val. greičiu grindiniu važiuojančio standartinio sedano tipo lengvojo automobilio stabdymo kelias sumažėjo 5 m, lyginant su asfaltu (nuo 26,7 m – asfalto, iki 21,3 m – grindinio). Sutrumpėjęs stabdymo kelias buvo užfiksuotas važiuojant grindiniu ir kitais greičiais – 20 km/val. ir 40 km/val.

1.1.4. Triukšmo generacija

Tvirtinama, kad, važiuojant didesniu greičiu grindiniu (kai padangų keliamas garsas yra dominuojantysis faktorius triukšmo generacijoje), keliamas triukšmas yra didesnis nuo 5 dBA iki 8 dBA nei važiuojant asfaltu. Antra vertus, daugelio tyrimų duomenimis, važiuojant 60 km/val. greičiu ir lėčiau, grindinio keliamas triukšmas, esant sausai dangai, yra identiškas. Atskirų tyrimų rezultatai parodė, kad jis gali būti mažesnis net už triukšmą, keliamą važiuojant asfaltu. Šį skirtumą lemia tai, jog ant grindinio lieka mažiau vandens nei ant asfalto, ir garsas, generuojamas padangoms stumiant

vandenį nuo paviršiaus, yra mažesnis. Generuojamas triukšmas iš dalies priklauso ir nuo automobilio akseleravimo.

Samuels ir kt. (1984), tyrę važiuojant betoninių trinkelėlių grindiniu atsirandantį triukšmą, nustatė garso slėgio lygį pakelėje – 15 m nuo transporto priemonės važiavimo trajektorijos ir susidarantį triukšmą transporto priemonės viduje. Taip pat, buvo tirta ir sujungiamų betoninių trinkelėlių grindinio ir asfaltbetonio dangos triukšmo generacija (1.4 pav.).



1.4 pav. Betoninė trinkelė naudota Samuels ir kt. (1984) tyrime

Siekiant nustatyti generuojamą triukšmą pakelėje, buvo naudojamos keturių rūšių padangos: be protektoriaus (1), du komercinių padangų komplektai su skirtingais raštais (2, 4) ir eksperimentinė (6). Tyrimo metu nustatyta, kad važiuojant betoninių grindinio trinkelėlių danga, generuojamas triukšmas, esant komercinėms padangoms, yra 1,9 dBA mažesnis iki 2,2 dBA didesnis esant 20 km/val. greičiui. Važiuojant 40 km/val. greičiu – nuo 0,5 dBA iki 0,9 dBA mažesnis nei asfalto dangos (1.2 lentelė).

1.2 lentelė. Samuels ir kt. (1984) tyrimo rezultatai su skirtingomis padangomis

	Padanga	Betoninių trinkelėlių grindinys		Asfalto danga	
		20 km/val.	40 km/val.	20 km/val.	40 km/val.
dBA	1	43,4	49,9	42,0	48,5
	2	44,3	50,6	42,1	51,1
	4	44,6	51,4	46,5	52,3
	6	46,0	54,7	51,0	57,1

Generuojamam triukšmui automobilio viduje nustatyti buvo naudojamos keturios skirtingos transporto priemonės: universalas, V8 variklis, 4 pavarų mechaninė greičio dėžė, ER70–14 padangos (1); sedanas, 6 cilindrų variklis, 3 pavarų automatinė greičio dėžė, GR60–14 padangos (2); universalas, 6 cilindrų variklis, 3 pavarų automatinė greičio dėžė, ER70–14 padangos (3); sedanas, 4 cilindrų variklis, 3 pavarų automatinė greičio dėžė, 175–13 padangos (4). Tyrimo metu nustatyta,

kad generuojamas triukšmas automobilio viduje yra didesnis, kai važiuojama grindiniu. Garso slėgio lygis yra didesnis nuo 2 dBA iki 6,0 dBA (1.3 lentelė).

1.3 lentelė. Sumuėls ir kt. (1984) tyrimo rezultatai su skirtingais automobiliais

	Automobilis	Betoninių trinkelų grindinys		Asfalto danga	
		20 km/val.	40 km/val.	20 km/val.	40 km/val.
dBA	1	62,0	64,0	58,0	60,0
	2	57,0	59,0	55,0	55,0
	3	60,0	64,0	56,0	61,0
	4	58,0	63,0	54,0	60,0

1.1.5. Grindinio įtaka eismo saugumui

Ir inžinerinės priemonės, pavyzdžiui, greičio mažinimo kalneliai, saugos salelės ir grindinio danga, suteikia galimybę kontroliuoti ir organizuoti eismą. Projektuotojui parinkus atitinkamus grindinio elementus, vairuotojui ar pėsčiajam suteikiami subtilūs vizualiniai, garsiniai ar jausminiai dirgikliai, kurie perspėja apie pakitusias eismo sąlygas.

Plačiausiai naudojama eismo organizavimo forma grindiniuose yra spalva ir tekstūra. Šios savybės suteikia galimybę grindinius pažymėti eismo organizavimo linijomis (Knol, 2009). Šią unikalią galimybę suteikia tik grindinio danga. Mozaikinis grindinių klojimas leidžia šią dangą panaudoti vietoj vertikalaus ženklinimo arba jam papildyti. Dėl spalvinių savybių, grindinys lenkia asfaltą, kai danga yra sausa. Tačiau, esant drėgnoms sąlygoms, dangų savybės supanašėja. Matomumui pagerinti, esant šlapiai dangai, galima komponuoti tiek atskirų trinkelų spalvą, tiek grindinio tekstūrą ar jo išdėstymą. Norint pagerinti važiavimą pablogėjusiomis sąlygomis, galima naudoti trinkeles su specialiu paviršiaus reljefu, nuožulnumu.

Trinkelų su paviršiais reljefo naudojimas turi turėti du funkcinius aspektus. Pirma – geriau matoma kelio dangos trajektorija. Antra – suteikiama papildomas garsinis dirgiklis, pasikeitus danga. Šie dangos bruožai buvo sėkmingai panaudoti organizuojant eismą Adelaidėje ir Sidnėje (Mavin, 1980). Adelaidėje betoninių trinkelų grindinio naudojimas išvažiavimuose ir sankryžose davė gerų rezultatų: sumažėjo transporto priemonių greitis ir užvažiavimų ant pėsčiųjų skaičius. Tvirtinama, kad taip atsitiko todėl, kad vairuotojai, važiuodami kita danga, atsiradus garsiniams dirgikliams transporto priemonėje, instinktyviai sumažino greitį.

Kaip jau minėta, grindinio danga pasižymi prastesniu lygumu nei asfaltas. Grindinys tinka ruožuose, kur projektuojamas greitis yra iki 60 km/val., tačiau tai galima panaudoti ir ten, kur greičio apribojimai yra ignoruojami.

1.1.6. Grindinio dangos charakteristikų įtaka eismo sąlygoms Lietuvoje

Lietuvoje grindinys tradiciškai puošia miestų ir miestelių istorines bei reprezentacines erdves, tačiau, sprendžiant iš jau aptartų šios dangos savybių, galima suprasti, kad jos naudojimo galimybės neapsiriboja vien estetika.

Užsienio šalyse grindinys jau kelis dešimtmečius sėkmingai funkcionuoja kaip eismo srautą reguliuojanti ir kontroliuojanti priemonė. Lengvas pagrindo sluoksnių, požeminių infrastruktūrų pasiekiamumas, galimybė iš naujo perkloti tuos pačius smulkiuosius grindinio elementus ar juos pakeisti, neardant didelio dangos ploto, grindinį paverčia gana ekonomiška alternatyva kitoms gatvės dangoms.

Nors pagrindinė kelio ir gatvės dangos charakteristika – nelygumas – grindiniuose netenkina privalomų standartų greitam eismui vykdyti, šios dangos gali būti įrengiamos ten, kur yra ignoruojami greičio ribojimai. Galima sutikti su teiginiu, kad automobilio vairuotojas, atsiradus garsiniams ir jutiminiams dirgikliams transporto priemonėje, instinktyviai keičia vairavimo stilių ir, norėdamas sumažinti diskomfortą ir padidėjusį triukšmą automobilio salone bei nekenkti savo automobiliui, sumažina greitį.

1.1.7. Grindinio dangos degradacija ir ekonominiai rodikliai

Betoninių trinkelinių grindinių degradacijos atveju, pažaidos atsiranda šios dangos paviršiuje, nors dažniausiai regresinių procesų priežastys slypi ne trinkelėse. Jei dangos konstrukcija suprojektuota tinkamai ir statybos darbai atlikti pagal numatytą specifiką, rizika, jog danga sulūš, sumažėja iki minimumo.

Michau ir kt.(1988) analizavo tipines betoninių trinkelinių grindinių pažaidas ir jų atsiradimo priežastis. Tyrimas atliktas sunkiasvorių transporto priemonių stovėjimo aikštelėje, autobusų parko teritorijoje ir degalinės aikštelėje.

Pradėjus eksploatuoti sunkiasvorių transporto priemonių stovėjimo aikštelę, grindinio danga ėmė degraduoti ir eksploatacijos rodikliai sparčiai blogėjo, kol galiausiai nebetenkino ribinių reikšmių. Grindinio degradaciją charakterizavo šios pažaidos:

- Provėžos, susidariusios sunkiojo transporto srauto pravažiavimo vietose.
- Trinkelinių nutrupėjimai ir išdužimai, susidariusios tose vietose, kur transporto priemonės apsisukinėdavo ar manevruodavo.
- Tampriosios deformacijos dėl apkrovų.

- Trinkelių iškrypimai ir kampiniai poslinkiai.
- Atsparumo šlyčiai sumažėjimas dėl siūlių iširimo.

Tyrimė nustatyta, jog grindinio konstrukcija atitiko projekte nurodytus sluoksnio storius, naudotas medžiagas ir kitas specifikacijas. Pagrindinė dangos degradacijos priežastis – nekokybiškas dangos įrengimas.

Autobusų parko teritorijoje susiformavo provėžos ties įvažiavimu į teritoriją. Vidutinis provėžų gylis siekė 30 mm, vietomis – iki 100 mm. Pastebėta, jog tose vietose trinkelės buvo atitrūkusios nuo grindinio, o pro siūles veržėsi molingas gruntas. Pagrindinė provėžų vystymosi priežastis – nepakankama pagrindo sluoksnių laikomoji geba. Konstrukcija buvo nepritaikyta esamoms apkrovoms.

Degalinės aikštelėje išsivystė šios betoninių trinkelių grindinio pažaidos:

- Atskirų trinkelių tekstūra tapo ne vienoda.
- Dalis trinkelių buvo sulūžusios ar išdužusios.

Trinkelių išdėstymas nebuvo vientisas, siūlių plotis svyravo nuo 0 mm iki 12 mm;

Pagrindinė dangos degradacijos priežastis – netinkamų trinkelių danga. Grindinio elementai netenkino projekte numatytų specifikacijų.

Smulkių elementų degradacijos mechanizmas susideda iš įvairių faktorių. Gaminys turi atitikti gniuždymo ir tempimo stiprio reikalavimus, vandens absorbcijos ir tankio ribines vertes (Visser, 2006). Silpnos betoninės trinkelės pasižymi mažesniu tankiu, didesniu vandens įsisavinimu, dideliu poringumu. Šios savybės skatina betoninių trinkelių trupėjimą, lūžimą, skilimą, dūlėjimą.

Užsienyje atlikta nemažai dangų gyvavimo ciklo naudos – kaštų skaičiavimų. Kai kuriuose tyrimuose pastebima, jog urbanizuotose vietovėse įrengtos grindinio dangos yra priimtinesnės nei kitos dangų paviršiaus alternatyvos (Haviv ir kt. 2009, Archondo-Callao ir kt. 2009).

Hein ir kt. (2009) lygino savivaldybių kelių gyvavimo ciklo kaštus. Atliktos dangos gyvavimo ciklo kaštų analizės komponentai buvo šie: dangos tarnavimo laikas, diskonto norma, įrengimo kaštai, dangos remonto tipas ir periodas, priežiūros intensyvumas. Gyvavimo ciklo kaštų skaičiavimai atlikti standžių, nestandžių ir sujungiamų betoninių trinkelių dangų tipams.

Skaičiavimuose buvo priimta, jog danga projektuojama 20-čiai metų. Ekvivalentinis standartinių ašių skaičius (80 kN) buvo parinktas pagal du scenarijus. Pirmasis – kai eismas ramus, ESA – 300 000 ašių ir antrasis – kai eismas intensyvus, ESA – 5 mln. ašių. Pagal pirmąjį scenarijų, dangų gyvavimo ciklo kaštų skaičiavimai, naudojant 2009 metų pradžios kainas Kanadoje, pateikti 1.4 lentelėje

1.4 lentelė. Dangų dabartinės vertė, kai ESA=30000

Dangos tipas	Statybos kaina, EUR	Remonto ir prižiūros kaštai, EUR	Visa dabartinė vertė, EUR
Asfaltbetonis	203766	128652	332418
Betonas	393469	27593	421062
Sujungiamų betoninių trinkelių grindinys	341578	17404	358982

Pagal antrąjį scenarijų dangų gyvavimo ciklo kaštų skaičiavimai, naudojant 2009 metų pradžios kainas Kanadoje, pateikti 1.5 lentelėje

1.5 lentelė. Dangų dabartinės vertė, kai ESA=5 mln.

Dangos tipas	Statybos kaina, EUR	Remonto ir prižiūros kaštai, EUR	Visa dabartinė vertė, EUR
Asfaltbetonis	310500	124724	435224
Betonas	393469	27592	421061
Sujungiamų betoninių trinkelių grandinys	387985	15009	402994

Atlikti skaičiavimai parodė, kad intensyviame savivaldybės kelyje efektyviausia kloti sujungiamų betoninių trinkelių grindinį.

1.2. Betoninių grindinio trinkelių sudėtis

1.2.1. Cementas

Betoninių grindinio trinkelių gamyboje plačiausiai naudojamos neorganinės rišamosios medžiagos. Medžiagos, sumaišytos su vandeniu, veikiamos vidinių fizikinių ir cheminių procesų,

sudaro plastišką, savaime kietėjančią tešlą, kuri pamažu virsta kietu akmeniniu kūnu. Išskiriamos hidraulinio (cementai) ir orinio (gipsas, kalkės) kietėjimo neorganinės rišamosios medžiagos.

Pagal standartą (LST EN 197-1 2001), cementas – tai tam tikros cheminės sudėties neorganinių medžiagų milteliai, kurie su vandeniu sudaro ilgainiui sukietėjančią tešlą. Cementas yra 27 atmainų, iš jų 5 yra pagrindinės:

- CEM I – portlandcementis;
- CEM II – sudėtinis portlandcementis;
- CEM III – šlakinis cementas;
- CEM IV – pucolaninis cementas;
- CEM V – sudėtinis cementas.

CEM I – tai portlandcementis su 5 % priedų, CEM II – tai sudėtinis portlandcementis su 6–20 % arba iki 35 % priedų. CEM III – tai šlakinis portlandcementis su 35–65 % priedų, CEM IV – pucolaninis portlandcementis su 11–55 % priedų, CEM V – sudėtinis cementas, turintis 18–50 % šlako priedų ir 18–50 % priedų. Su daugiau klinkerio portlandcementis jungiasi ir kietėja greičiau ir 90 % stipri pasiekia po trijų parų kietėjimo. Portlandcementis pradeda jungtis ne anksčiau kaip po 45 min., o baigia ne vėliau kaip po 12 valandų. Portlandcemenčio kietėjimui ypač svarbi aplinkos temperatūra. Krintant temperatūrai portlandcementis kietėja lėčiau, esant nuliui laipsnių nekietėja, o kylant aplinkos temperatūrai, jis kietėja sparčiau. Paprastas, normaliai sukietėjęs portlandcementis yra atsparus šalčiui.

Šlakinis portlandcementis – šis portlandcementis gaminamas iš kartu sumaltų portlandcemenčio klinkerio ir aukštakrosnių metalurginių šlakų bei gipso. Dažniausiai naudojami granuliuotieji šlakai, gaminami staigiai ataušinus ketaus ir kitų metalų aukštakrosnių šlakus. Šlakinis portlandcementis naudojamas tiems patiems tikslams kaip ir paprastas portlandcementis. Šie cementai kietėdami išskiria mažiau šilumos, todėl naudojami masyvioms konstrukcijoms, yra atsparesni sulfatų poveikiui bei kaitrai, tačiau šalčiui atvirkščiai – mažiau atsparūs. Tinka povandeniniams, hidrotechniniams statiniams.

Mikrodulkių portlandcementis (CEM II/A-D) – šis portlandcementis gaminamas iš klinkerio mikrodulkių. Mikrodulkės malamos kartu su klinkeriu, gali būti natūralios arba specialiai paruoštos.

Pucolaninis portlandcementis (CEM II/A-P; CEM II/B-P; CEM II/A-Q; CEM II/B-Q). Šis portlandcementis gaminamas keturių atmainų su hidrauliniiais priedais. Priedai gali būti gamtiniai arba dirbtiniai. Tai smulkiai sumaltos medžiagos, kurios suteikia hidrauliškumo savybių. Hidrauliniai priedai padidina portlandcemenčio atsparumą vandeniui, druskoms, jis pigesnis. Dirbtiniai priedai neturi pastebimai didinti vandens sąnaudų normaliai tešlai gauti, mažinti betono ar skiedinio stiprumo ar skatinti armatūros korozijos. Pucolaniniai portlandcemenčiai atsparesni sulfatams, nes vykstant

hidratacijai susidaro atsparesni hidroaliuminatai. Šiems cementams sumaišyti sunaudojama daugiau vandens, o betonas ne toks atsparus šalčiui ir oro veiksniams, didesnės jų susitraukimo ir brinkimo deformacijos. Betonas su šiais cementais tinka naudoti konstrukcijoms vandenyje ir po žeme.

Pelenų portlandcemenčiai – šie portlandcemenčiai taip pat gaminami keturių atmainų (CEM II/A-V; CEM II/B-V; CEM II/A-W; CEM II/B-W). Šių cementų gamybai naudojami elektrostatiniais arba mechaniniais filtrais sugaudyti kūrenant susmulkintomis akmens anglimis susidarantys pelenai. Pelenai gali būti rūgštieji ir baziniai. Pelenų portlandcemenčių paskirtis tokia pati kaip ir pocolaninių portlandcemenčių.

Skalūnų portlandcementis – šis cementas gaminamas dviejų atmainų (CEM II/A-T; CEM II/B-T). Aktyvusis priedas – degtas ir smulkiai sumaltas skalūnas. Toks priedas gali hidrauliškai kietėti, jam būdinga hidraulinis aktyvumas.

Klintonis portlandcementis – šis cementas gaminamas keturių atmainų (CEM II/A-L; CEM II/B-L; CEM II/A-LL; CEM II/B-LL). Jis gaunamas maišant maltas klintis su klinkeriu. Šiame cemente negali būti molio bei organinių priemaišų.

Sudėtinis portlandcementis – šis cementas gaminamas dviejų atmainų (CEM II/A-M; CEM II/B-MM) su įvairiais priedais: aukštakrosnių šlakais, silicinėmis mikrodulkėmis, gamtiniais ir degtais pusolanais, siliciniais ir kalciniais pelenais, degtu skalūnu bei klintimis.

Šlakinis cementas yra gaminamas iš trijų atmainų (CEM III/A; CEM III/B; CEM III/C). Šių cementų pagrindinis skirtumas nuo šlakinių portlandcemenčių yra tai, jog žymiai sumažinta portlandcemenčio klinkerio dalis, daugiau dedama smulkiai sumaltų aukštakrosnių šlakų. Rišasi ir kietėja lėčiau, sukietėjęs cementinis akmuo mažesnio stiprumo, tačiau atsparesnis mineralizuotam vandeniui.

Šlakinis sulfatams atsparus cementas – šlakinis sulfatams atsparus cementas gaminamas su portlandcemenčio klinkeriu, kuriame normuotas C_3A kiekis. Malant pridedama granuliuotų aukštakrosnių šlakų kaip ir įprastiniame šlakiniame cemente. Šis cementas iš pradžių kietėja lėčiau, bet po 28 parų kietėjimo stipris atitinka standartinį.

Pucolaninis cementas – šis cementas gaunamas dviejų atmainų (iš portlandcemenčio klinkerio, degant silicinėms mikrodulkėms, iš pucolano ar pelenų bei gipso). Šio cemento hidratacija mažai skiriasi nuo pucolaninio portlandcemenčio, todėl naudojamas analogiškai. Tinkamiausia naudoti kai kuriems sausiesiems mišiniams gaminti.

Sudėtinis cementas yra cementas gaminamas dviejų atmainų (CEM V/A; CEM V/B). Gaunamas kartu sumalus portlandcemenčio klinkerį, aukštakrosnių šlakus, pucolaninius priedus arba silicinius pelenus, bei gipsą, kurio kiekis ribojamas.

Mūro cementas – gaunamas kartu sumalus portlandcemenčio klinkerį ir granuliuotą aukštakrosnių šlaką pridedant gipso. Mūro cementas naudojamas mūro skiediniams ir sausiesiems mišiniams. Jie lėčiau kietėja ir yra žemesnių klasių, tačiau pigesni už kitus cementus.

Be šių cementų yra ir kiti – tai baltasis ir spalvotieji portlandcemenčiai, aliuminatinis cementas, rūgštims atsparus cementas, fosfatiniai cementai (Naujokaitis 2007).

1.2.2. Užpildai

Gaminant betonines grindinio trinkeles, naudojami užpildai. Užpildai yra santykinai nebrangios medžiagos, kurios nedalyvauja kompleksinėse cheminėse reakcijose su vandeniu. Kaip įprasta, jie buvo laikomi inertine užpildomąja medžiaga betone. Tačiau, pamažu augant supratimui apie užpildų įtaką daugeliui betono savybių, tradicinis požiūris apie juos pasikeitė. Betono ir skiedinio užpildai sudaro 85 % jų masės. Tai gamtinės uolienos arba dirbtinės medžiagos. Dažniausiai užpildų gaunama iš gamtinių uolienų, kurios specialiai išvalomos, iškasamos ir perdirbamos, išvalomos, trupinamos, rūšiuojamos ir tiekiamos betonų gamintojams.

Užpildai gali būti susidarę gamtoje dūlėjant gamtinėms uolienoms: smėliui, žvirgždui. Jų grūdėliai būna įvairių formų: apskriti, plokšti ir pailgi, paviršius nuzulintas, nugludintas. Pagal grūdelių stambumą užpildai skirstomi į stambiuosius, smulkiuosius, smulkeles ir mikroužpildus.

Tinkamai parinkus užpildų grūdelių dydį, jų tarpusavio santykį ir rūšį galima pagaminti norimų savybių dirbinių. Nuo užpildų savybių, jų koncentracijos mišinyje priklauso gaminio struktūra ir savybės. Užpildai paprastai užpildo gaminio tūrį, o vienoks ar kitoks rišiklis, kurio tūris mišinyje paprastai būna kelis kartus mažesnis už užpildo tūrį, tik suriša mišinyje užpildo daleles (Naujokaitis, 2007).

Siekiant, kad užpildų kokybė atitiktų LST EN 12620:2002 standarto reikalavimus, tiriamos pagrindinės užpildų savybės:

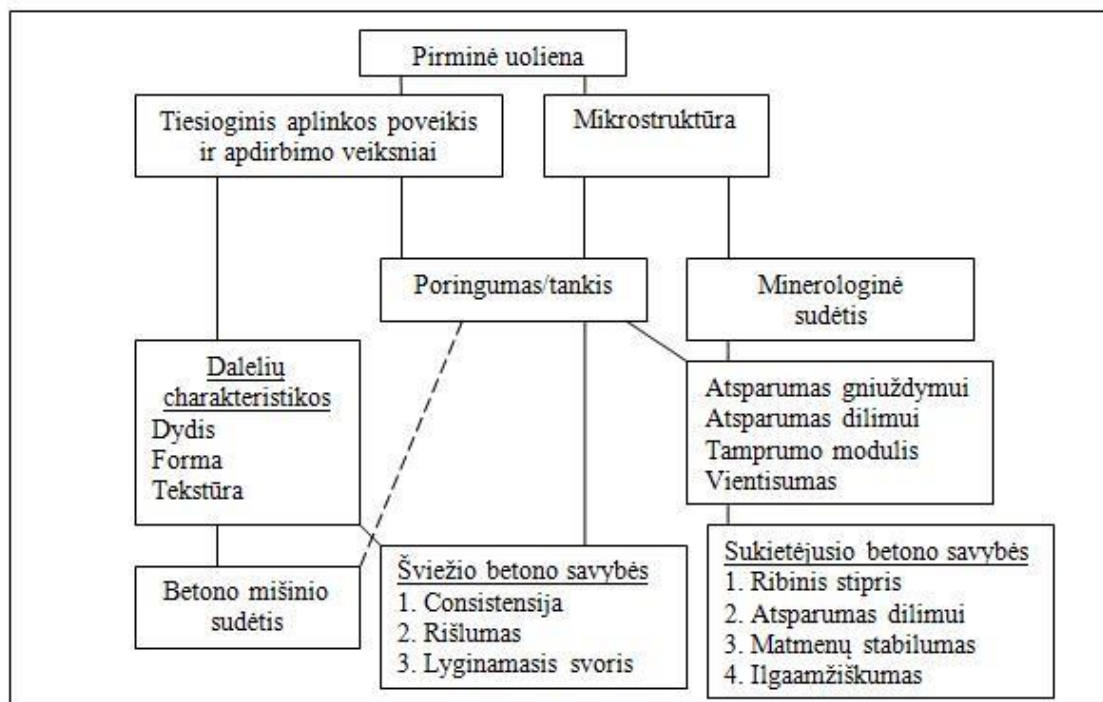
1. granulimetrinė sudėtis;
2. stambiojo užpildo dalelių forma;
3. kriauklelių kiekis stambiajame užpilde;
4. smulkelių kiekis;
5. smulkelių kokybė;
6. fizikiniai reikalavimai;
7. stambiojo užpildo atsparumas irimui;
8. stambiojo užpildo atsparumas dėvėjimuisi;
9. dalelių tankis ir vandens įgėris;
10. piltinis tankis;
11. ilgaamžiškumas;

12. stambiojo užpildo atsparumas šalčiui;
13. tūrio pastovumas – susitraukimas džiustant;
14. šarminis reaktyvumas;
15. stambiojo užpildo iš antrinių medžiagų sudėtinių dalių klasifikacija;
16. cheminiai reikalavimai;
17. chloridai;
18. sieros junginiai.

Sunkiems betonams vartojami smėlis (smulkus užpildas), žvirgždas, žvyras, skalda arba žvirgždo skalda. Lengviems betonams naudojami lengvi natūralūs užpildai: susmulkinta pemza, trepelas, tufas bei dirbtiniai užpildai, tai keramzitas, kūryklų šlakas, agloporitas, perlitas, medienos trupiniai ir pjuvenos, stiklo trupiniai, mažos putų polistireno granulės (1–3 mm), polipropileno pluošteliai ir kt. Gamtiniai užpildai gaunami perdirbus gamtines uolienas arba gaminat iš augalinės kilmės žaliavų: medienos, šiaudų, linų ir daugelio kitų. Dirbtiniams užpildams priskiriami kai kurie specialiai gaminami produktai arba pramonės atliekos, kurių struktūra persiformavo gamybos procese, tai keramzitas, šlakai, polimerinės medžiagos (Matschei, 2007).

Stambusis užpildas yra toks, kurio dalelių stambumas (D) ne didesnis kaip 4 mm ir (d) ne mažesnis kaip 2 mm. Tai dažniausiai būna natūralus žvirgždas – trupintų žvirgždo ir smėlio kiekio santykis žvyre būna netinkamas ir nepastovus, todėl jis sijojamas atskiriant į smėlį ir žvirgždą. Stambesni kaip 63 mm dydžio grūdėliai trupinami į žvirgždo skaldą (Naujokaitis, 2007).

Projektuojant betono mišinio sudėtį būtina žinoti kai kurias užpildų charakteristikas (tankį, tuštumėtumą, drėgnumą, piltinį ir dalelių tankius). Dalelių tankis, jų dydžio pasiskirstymas, forma ir paviršiaus tekstūra nulemia šviežio betono savybes. Mineraloginė užpildo sudėtis nulemia jo gniuždymo stiprį, kietumą, tamprumo modulį ir vientisumą (turi įtakos įvairioms sukietėjusio betono, turinčio užpildo, savybėms). Kaip įvairios užpildo charakteristikos, kurios yra svarbios betono gamyboje, priklauso nuo medžiagos mikrostruktūros, tiesioginio aplinkos poveikio sąlygų ir apdirbimo veiksmų, parodyta 1.5 pav.



1.5 pav. Mikrostruktūros, tiesioginio aplinkos poveikio ir apdirbimo veiksnių įtaka užpildo charakteristikoms, kurios nulemia betono mišinio sudėtį ir šviežio bei sukietėjusio betono savybes (Naujokaitis, 2007)

Plačiausiai užpildų savybės skirstomos pagal įtaką mišinio sudėčiai ir šviežio bei sukietėjusio betono elgsenai. Remdamasis užpildų mikrostruktūra ir apdirbimo veiksniais, G. B. Badrakovas užpildų savybes skirsto į šias grupes:

- Charakteristikos, priklausančios nuo poringumo (tankis, vandens įgeriamumas, stipris, kietumas, tamprumo modulis ir vientisumas);
- Charakteristikos, priklausančios nuo tiesioginio aplinkos poveikio ir apdirbimo veiksnių (dalelių dydis, forma ir tekstūra);
- Charakteristikos, priklausančios nuo cheminės ir mineraloginės sudėties (stipris, kietumas, tamprumo modulis ir žalingų priemaišų kiekis).

J. M. Illstonas teigia, kad užpildo atsparumas gniuždymui, atsparumas dilimui ir tamprumo modulis yra susijusios savybės, kurios priklauso nuo užpildo poringumo. Daugelio granitų, bazaltų, titnagų, kvarcinių smiltainių ir klinčių atsparumo gniuždymo ir tamprumo modulio dydžiai svyruoja atitinkamai (210 – 310) MPa ir (70 – 90) GPa.

Žalingos priemaišos – tai smulkios dalelės, patenkančios kartu su smulkiu arba stambiu užpildu, ir gebančios neigiamai veikti betono technologiškumo, rišimosi, kietėjimo ir ilgaamžiškumo charakteristikas. Be anksčiau minėto neigiamo poveikio, žalingos priemaišos betone gali sukelti tam tikras nepageidaujamas chemines reakcijas. Vienos iš tokių medžiagų yra geležies sulfidai, o ypač markazitas, kurios, patekusios kartu su užpildais, betone sukelia plečiamąsias reakcijas.

Betono užpildams keliami reikalavimai ir savybių tyrimo metodika yra nurodyti standartuose. Lietuvos standartai su mažomis išimtimis atitinka tarptautinius. Tačiau žaliavos ne visuomet gali patenkinti reikalavimus, kad iš jų būtų galima gaminti aukštos kokybės užpildus.

Pasak J. Deltuvos, su Lietuvoje turima perdirbimo įranga gaminant betono užpildus iš vietinių žaliavų, susiduriama su būdingais sunkumais:

1. Sunku užtikrinti vienodą granulimetrinę sudėtį, ypač žvirgždo ir smėlio, nes žaliavos granulimetrinė sudėtis nevienoda.

2. Užpildo dalelių stiprumas nevienodas. Dalies karbonatinių uolienu stipris yra 40 MPa, o granitinių siekia iki 250 MPa.

3. Dauguma užpildų mažai atsparūs šalčiui – iki 50 užšaldymo ir atšildymo ciklų. Užpildų atsparumą šalčiui dažniausiai riboja silpnos dalelės, kurios įgeria daug vandens, turi mažą suminkštėjimo koeficientą, yra mažai atsparios šalčiui.

1.2.3. Vanduo

Vanduo yra vienas iš paprasčiausių cheminių junginių, o betonai – tai mišinys, susidedantis iš cemento, užpildų (smėlio, žvyro arba skaldos) bei vandens. Pagrindiniai betonui keliami reikalavimai, yra stiprumas gniuždymui, plastiškumas.

Vandeniui, kuris skirtas betonui gaminti, nekeliama jokie specialūs reikalavimai. Pasak M. Baženovo betono mišinio paruošimui naudojamas geriamasis arba kitoks vanduo, kurio pH ne mažiau kaip 4 t.y. jis neturi būti rūgštus. Tinka vandentiekio, upių, ežerų, lietaus arba gruntinis vanduo. Jame neturi būti priemaišų, stabdančių cemento kietėjimą arba sukeliančių armatūros koroziją.

Jeigu vanduo ir yra netinkamas gerti, jis gali būti panaudojamas betono gamyboje. Keliamus reikalavimus betono stiprumui gali tenkinti rūgštus, šarmingas, sūrus ar spalvotas vanduo. Tai svarbus atvejis, nes pakartotinai naudojamas vanduo, patenkantis iš malimo ir kitų pramoninių operacijų, gali būti saugiai panaudotas betono gamyboje. Nežinomos charakteristikos vandens tinkamumas nustatomas lyginant cemento rišimosi laiką ir cemento skiedinio kubelių stiprumą su nurodytos charakteristikos švaraus vandens bandiniais. Kubeliai, pagaminti iš nežinomos charakteristikos vandens, turi turėti tokį patį arba mažiausiai 90 % atsparumą gniuždymui, lyginant su švariu vandeniu, po 7 ir 28 parų kietėjimo. Vandens kokybė neturi įtakoti cemento rišimosi laiko iki nustatyto leistino lygio (LST EN 1008:2003, Сычев 1974).

Vanduo betono mišinio ruošimui turi būti be kenksmingų priemaišų – sulfatų, mineralinių, organinių rūgščių, riebalų, cukraus ir kt., trukdančių betonui normaliai kietėti. Vanduo, kuriame druskų yra ne daugiau kaip 5000 mg/l, sulfatų mažiau kaip 2700 mg/l ir kurio pH<4, tinka mišiniui ruošti. Geriausiai tinka geriamasis bei švarus upių ir ežerų vanduo. Vanduo turi atitikti LST EN 1008:2003 standarto reikalavimus.

Vandens ir cemento santykis – tai vandens kiekis (kg) kubiniame metre betono, padalytas iš cemento kiekio. Santykis svyruoja tarp 0,8 ir 0,3 gaminant betoną stacionariame ar mobiliajame mazge. Šis santykis – tai teorinė vidutinė vertė, kuri gali keistis transportavimo ir vibracijos metu. Kuo jis mažesnis, tuo betono kokybė geresnė. Daugelis architektų ir inžinierių mano, jog vandens ir cemento santykis yra vienintelis betono kokybei svarbus dalykas. Tačiau būtina atsiminti tai, jog formuojant betoną šis santykis pakinta.

1.2.4. Priedai

Norint reguliuoti betono mišinio ar sukietėjusio betono savybes ir siekiant sutaupyti cemento kiekius, naudojami įvairūs priedai. Jie būna dviejų rūšių :

- Cheminiai, kurie įvedami į betoną nedideliais kiekiais (0,1 – 2 % skaičiuojant nuo cemento masės).
- Smulkiai malti mineraliniai (5 – 20 % ir daugiau, skaičiuojant nuo cemento masės).

G. B. Badrakovas teigia, kad cheminių priedų panaudojimas yra daug universalesnis, lankstesnis ir prieinamesnis būdas, leidžiantis reguliuoti betono savybes ir jo gamybos technologiją. Tokie priedai tiekiami vandens tirpalo, miltelių arba emulsijos pavidalu. Optimalus priedo kiekis priklauso nuo cemento rūšies, betono mišinio sudėties, konstrukcijos gamybos technologijos. Priedų kiekis dažniausiai skaičiuojamas procentais nuo cemento masės. Pagal R. F. Fieldman, plastifikuojantys priedai sudaro 0,1 – 0,3 %, superplastifikatoriai 0,5 – 1 %, orą įtraukiantys 0,01 – 0,05 %, kietėjimą greitinantys 1 – 2 % skaičiuojant nuo cemento masės. Praktikoje optimalus priedų kiekis parenkamas bandymų keliu.

Pagal poveikį cheminius priedus skirsto į šias klases:

1. reguliuojantys betono mišinio savybes:
 - a. plastifikuojantys, padidinantys betono mišinio slankumą;
 - b. stabilizuojantys, stabdantys betono mišinio išsisluoksniavimą;
 - c. sulaukiantys vandenį, sumažinantys vandens atsiskyrimą.
2. reguliuojantys betono mišinio rišimąsi ir betono kietėjimą:
 - a. greitinantys betono mišinio rišimąsi;
 - b. lėtinantys betono mišinio rišimąsi;
 - c. greitinantys betono kietėjimą;
 - d. užtikrinantys betono kietėjimą esant neigiamai temperatūrai.
3. reguliuojantys betono ar jo mišinio tankį ir poringumą:
 - a. orą įtraukiantys;
 - b. dujas sukeliantys;

- c. putas sudarantys;
 - d. sutankinantys;
 - e. reguliuojantys deformatyvumą;
 - f. plečiantys.
4. didinantys betono apsaugines savybes plienui.
 5. suteikiantys betonui specialių savybių:
 - a. hidrofobizuojantys, mažinantys betono vilgymą;
 - b. antikoroziniai, padidinantys patvarumą agresyviose aplinkose;
 - c. dažantys;
 - d. padidinantys baktericidines ir insekticidines savybes;
 - e. elektros srovę izoliuojantys;
 - f. elektros srovę praleidžiantys;
 - g. priešradiaciniai.

Kai kurie priedai turi daugiafunkcinį poveikį: plastifikuojantį ir orą įraukiantį, plastifikuojantį ir dujas sukeltantį ir taip toliau. Tokiu atveju priedai klasifikuojami pagal jų poveikio daugiau pasireiškiantį efektą.

Plastiklis –betono priedas, kurio bazinė žaliava yra modifikuotas lignino sulfonatas. Dėl sudėtyje esančio medžio cukraus šie plastikliai turi rišimąsi lėtinančių savybių. Šis priedas dozuojamas 0,2 – 0,5 % nuo cemento kiekio.

Superplastikliai – plastiklių grupės priedas, dėl savo įvairios paskirties bei skirtingų žaliavų ši grupė yra daug platesnė. Superplastiklius galima būtų skirstyti į tris grupes: tradiciniai superplastikliai – naftalino arba melanino dervų pagrindu, akrilato dervų pagrindu ir vadinamieji naujos kartos – sintetiniai superplastikliai polikarboksileterio dervų pagrindu. Superplastikliai veikia žymiai stipriau negu plastikliai, tai reiškia, kad jais galima gerokai sumažinti vandens kiekį, žymiai padidinti stiprumą bei plastiškumą. Jie dozuojami 1-2 % nuo cemento kiekio.

Prieššaltinis priedas – žemos metu būtų sunku išsiversti be prieššaltinio priedo. Europoje neleidžiama naudoti priedų, kurie turi chloridų, nes jie sukelia gelžbetonio armatūros koroziją. Šie priedai veikia daugiau kaip greitikliai, taip pat turi cheminių medžiagų, kurios pakeičia vandens užšalimo tašką. Šie priedai turi šalutinį plastifikuojantį poveikį, todėl gaminant vidutinio stiprumo betonus galime nenaudoti plastiklio. Jo dedama 1-2 % nuo cemento kiekio atsižvelgiant į temperatūrą. Naudojant prieššaltinį priedą galima dirbti iki -15 C°. Be abejo, būtina laikytis visų reikalavimų, keliamų darbui su betonu žemos metu. Tarkim, esant aplinkos temperatūrai -5 C°, betono mišinio temperatūra turi būti ne žemesnė kaip +10 C°.

Kietėjimo greitikliai – greitina kietėjimą, betonas gali kietėti ir neigiamoje temperatūroje. Priedai, greitinantys cemento rišimąsi ir kietėjimą, yra kalcio chloridas, natrio chloridas, druskos rūgštis, geležies chloridas, aliuminio sulfatas, kalcio nitratas, kalcio aliuminio chloridas, statybinis gipsas ir jų kompleksai. Iš anksto patikrinus, leidžiama naudoti natrio sulfatą, aliuminio chloridą, trivalentės geležies nitrata. Šių cheminių priedų dedama tam, kad padidėtų stiprumas kietėjimo pradžioje, mažiau reikėtų cemento, trumpiau galima būtų laikyti gaminius šiluminėse kamerose.

Apibendrinant galima išskirti šiuos priedų naudojimo privalumus:

1. mažėja cemento sąnaudos;
2. padidėja atsparumas šalčiui;
3. padidėja nelaidumas vandeniui;
4. sulėtėja rišimosi procesas;
5. pagerėja betono techninės savybės.

1.6 lentelė. Pagrindinės cheminių betono priedų grupės

Priedų ir poveikio grupės	Pagrindiniai priedai ir jų medžiagų tipai
Plastikliai	Sulfatų miltelių raugas (SDB), melasos žlaugtas (UPB), Superplastiklis – skystiklis (C3), dofenas (DF), SBS
Plastikliai – orą įsiurbiantys	Adipo plastiklis (PAŠČ – 1), natrio metilo (etilo) silikonatas (GKŽ 10, GKŽ 11), Mic ir kt
Tankinantieji	Kalcio nitratas, geležies chloridas, geležies nitratas, geležies sulfatas, dervos TEG – 1 ir DEG – 1.
Kietėjimo greitikliai	Kalcio chloridas, natrio sulfatas. Natrio nitritas, kalcio nitratas - nitritas – chloridas, kalcio nitritas – nitratas, poliamidin+derva (S-89), Rhe, Feb, Poz ir kt.
Kietėjimo lėtikliai	Cukraus melasa (SP), sulfitinis mielių raugas, natrio metilo (etilo) siliokonatas, polihidrosiloksanas, Ret, Ren ir kt.

Modernus priedai – tai paprasčiausias ir efektyviausias būdas pakeisti betono mišinio savybes ir padidinti jo kokybę yra sukurti technologijas panaudojant cheminius priedus. Šiuolaikinėje betono gamybos technologijoje cheminiai priedai tampa tokie pat svarbūs, kaip ir rišamosios medžiagos, užpildai ir vanduo betono mišinyje. Priedų naudojimas yra efektyviausias būdas gauti kuo geresnės kokybės gaminį, nepatiriant itin ženklių sąnaudų. Betono mišiniuose naudojant šiuolaikinius priedus gali būti pasiektas didelis stipris, vandens nepralaidumas, atsparumas šalčiui ir betono ilgaamžiškumas (Skripkiūnas, G. 2007) (Gurskis, V. 2008).

Priedai, priklausantys atitinkamai normai plastifikatorių ir superplastifikatorių klasei, žinomi nuo 30-ųjų metų, praeito amžiaus.

Tirpūs vandenyje polimeriniai plastifikuojantys priedai įgalina suformuoti paviršinę plėvelę, pristabdyti pradinę hidrataciją ir kita. Savo ruožtu plastifikuojantis veiksnys, kaip žinoma, priklauso nuo molekulinės sandaros, prigimties, apimties ir hidrofiliųjų grupių padėties, molekulinės masės ir kt.

Ekonominiu požiūriu prieinamiausi techniniai lignosulfonatai (LST). Šių polimerų sandoroje yra iki 20 struktūrinių vienetų, kurių molekulinė masė 20 000 – 30 000 g/mol. Tik dalis turi sulfonatų grupę. LST molekulė apgaubia cemento daleles plėvelę, turinčia neigiamą krūvį. Elektrostatinės jėgos padeda nedaug atstumti daleles ir padidinti klijingumą.

Hidratacijos proceso lėtėjimas priklauso nuo priedų dozavimo. Prie naujos kartos superplastifikatorių, polikarboksilato ir akrilato pagrindu, priklauso junginiai, suteikiantys betono tešlai didelį slankumą esant žemoms V/C vertėms (iki 0,28 – 0,3), kai gaminami tankūs betonai. Betono sudėtyje dėl polikarboksilatų poveikio modifikuojasi kopolimerai. Jų pagrindinė grandinė yra molekulės su laisvomis karboksilinėmis grupėmis ir dažnai su natrio druskomis. Naujų superplastifikatoriaus rūšių sintezės procesų ir savybių įvairovė suteikia galimybę reguliuoti betono mišinio reologines savybes ir vandens mažinimą.

1.7 lentelė. Priedų, naudojamų praeito amžiaus nuo 30 – ūjų metų, sąrašas

Metai	Pagrindiniai cheminiai priedai	Vandens sumažėjimas, %
1932	Sulfoninti naftakebformaldehydai	15–25
1939	Lignosulfonatai	5–15
1960	Sulfoninti melaminformaldehydai	10–25
1993	Polikarboksilatai (akrilatai)	20–30
1997	Polikarboksilato esteriai	25–40

Didžiausią betono mišinio dalį – nuo 65 % iki 80 % – užima inertinis užpildas, cementas užima nuo 6 % iki 15 %, vanduo – nuo 15 % iki 20 % ir oras – nuo 1 % iki 5%. Kiekvienas šių komponentų savo savybėmis ir tūriais sąlygoja betono mišinio ir betono savybes, todėl šiems veiksniams būtina skirti ypatingą dėmesį (Skripkiūnas, G. 2007) (Gurskis, V. 2008).

Betonas nuo gamtinės uolienos skiriasi tuo, kad jis gaunamas dirbtinai sujungus įvairių dydžių inertinius uolienu grūdelius rišamąja terpe – cementiniu akmeniu arba kitokiu rišikliu. Šie sujungiamieji uolienu grūdeliai įprastai vadinami užpildu, kurie priklausomai nuo gaminamos medžiagos paskirties (ir pavadinimo) toliau gali būti skirstomi į betono užpildą, statybinio skiedinio užpildą ir kt. Pagrindinis skirtumas tarp užpildo grupių yra jų sudarančių grūdelių dydis, t.y. užpildo

stambumas; taip pat, gali būti keliami papildomi reikalavimai – stiprumas, mineraloginė sudėtis, švarumas ir kt. (Skripkiūnas, G. 2007) (Gurskis, V. 2008).

Užpildo paskirtis betone yra daugialypė:

- Sudaryti struktūroje karkasą, artinantį betono savybes prie užpildo uolienos savybių.
- Plačiose ribose keisti betono savybes priklausomai nuo naudojamų užpildų savybių, tuo padidinant betono universalumą ir taikymo galimybes.
- Mažinti rišamosios medžiagos sąnaudas betono mišinyje ir daryti jį ekonomiškesnį.
- Mažinti betono jautrumą aplinkos poveikiui ir pokyčiams.

Betone užpildu naudojami mineraliniai grūdėliai: gamtiniai, dirbtiniai arba antriniai, t.y. pakartotinai perdirbti iš anksčiau statyboje naudotų medžiagų.

Pagal tankį užpildai klasifikuojami:

- Lengvasis užpildas, kurio dalelių tankis yra iki 2000 kg/m³ arba piltinis tankis – iki 1200 kg/m³.
- Normalusis užpildas, kurio dalelių tankis yra nuo 2000 kg/m³ iki 3000 kg/m³.
- Sunkusis užpildas, kurio dalelių tankis yra daugiau kaip 3000 kg/m³.

Pagal dalelių stambumą užpildai sąlyginai skirstomi į:

- Stambuosius, kurių dalelės yra stambesnės kaip 4 mm, bet neviršija 63 mm – žvirgždas, žvirgždo skalda, skalda.
- Smulkiuosius, kurių dalelės yra smulkesnės kaip 4 mm – smėlis.
- Mikroužpildus, kurių dalelės yra smulkesnės kaip 0.063 mm – maltos (dažniausiai) uolienos.

Normaliųjų užpildų stiprumas gali būti įvertinamas uolienos stiprumu arba dalelių skalumu pagal LST 1476.7:1997 ir turi atitikti gaminamo betono stiprio klasę (Skripkiūnas, G. 2007).

Užpildų stipris turi atitikti gaminamo betono stiprio klasės reikalavimus, t. y. stambiojo užpildo stipris turi būti $f_u \geq 1,5 f_{cm}$ (LST EN 12620:2002+A1:2008).

Užpildo skalumui S_k perskaičiuoti į užpildo stiprį f_u rekomenduojamos tokios formulės:

$$\text{granito – } f_u = 0.17 S_k^2 - 11.5 S_k + 250, \text{ MPa};$$

$$\text{dolomito – } f_u = 0.27 S_k^2 - 15.8 S_k + 255, \text{ MPa};$$

$$\text{žvirgždo skaldos – } f_u = 0.30 S_k^2 - 14.5 S_k + 215, \text{ MPa};$$

$$\text{žvirgždo – } f_u = 0.30 S_k^2 - 13.3 S_k + 185, \text{ MPa};$$

Betono, kuriam keliami atsparumo šalčiui ir druskai, dilumo bei susitraukimo deformacijų reikalavimai, mišinyje turi būti ribojamas smulkiųjų dalelių ($d < 0,25$ mm) kiekis.

Kai stambiausios užpildų dalelės yra 16 mm ir stambesnės bei: kai mišinyje cemento yra iki 300 kg/m³, smulkesnių kaip 0,125 mm (kartu su cementu) dalelių turi būti iki 350 kg/m³, o iš viso smulkesnių kaip 0,25 mm – ne daugiau kaip 450 kg/m³;

Kai mišinyje cemento yra nuo 300 kg/m³ iki 350 kg/m³, atitinkamai (interpoliuojant) ne daugiau kaip 400 kg/m³ ir 500 kg/m³;

Kai mišinyje cemento yra daugiau kaip 350 kg/m³, atitinkamai ne daugiau kaip 450 kg/m³ ir 550 kg/m³.

Jei stambiausios dalelės yra smulkesnės kaip 16 mm, smulkiųjų dalelių kiekis gali būti atitinkamai didinamas iki 50 kg/m³ (LST EN 12620:2002+A1:2008).

1.3. Fizinės ir mechaninės betoninių trinkelių savybės

Betoninės trinkelės turi atitikti standarto LST EN 1338 reikalavimus, įskaitant nurodymus atitikties įvertinimui, ženklinimui ir bandymo protokolui. Kai stačiakampės trinkelės įstrižainių ilgis didesnis nei 300 mm, didžiausias leidžiamas skirtumas tarp dviejų įstrižainių matavimų turi atitikti 1.8 lentelės reikalavimus. Nestačiakampių trinkelių kitų matavimų nuokrypiai turi būti deklaruojami gamintojo.

1.8 lentelė. Betoninių trinkelių dviejų įstrižainių didžiausias leidžiamas skirtumas (LST EN 1338:2003)

Klasė	Ženklimas	Didžiausias skirtumas mm
2	K	3

1.3.1. Stipris

Betono stipris yra viena iš svarbiausių betono fizikinių savybių, nuo kurios priklauso ir kitos savybės: vandens įgėris, atsparumas šalčiui, dilumas ir kt. Stipris – betono savybė atlaikyti tam tikrą ardančią apkrovą. Stipris būna trijų rūšių: gniuždymo stipris, stipris lenkiant ir stipris tempiant. Priklausomai nuo to, kokiomis sąlygomis eksploatuojami betono gaminiai, nustatomas jų gniuždymo stipris arba lenkiant, arba tempiant (Naujokaitis, A. 2007).

Priklausomai nuo gaminio rūšies ir nuo betono klasės reikalaujami skirtingi gaminių stipriai. Reikalaujami gaminių stipriai yra pateikiami Europos standartuose LST EN1338:2003, LST EN1339:2003, LST EN 1340:2003 ir Lietuvos standarte LST 1551:1999. Charakteristinis tempimo stipris skeliant T turi būti nemažesnis nei 3,6 MPa. Nei vienas pavienis rezultatas neturi būti mažesnis nei 2,9 MPa. Betoninės trinkelės, esant normalioms eksploatavimo sąlygoms, bus pakankamai stiprios ir ilgaamžės jei jos atitiks stiprio reikalavimus.

1.3.2. Atsparumas šalčiui

Atsparumas šalčiui yra svarbi betono savybė, nuo kurios priklauso gaminio ilgaamžiškumas. Atsparumas šalčiui gali būti nustatomas keliais būdais, ir pagal tai skiriamos atsparumo šalčiui klasės. Šaligatvio plytelių LST EN 1339:2003 D priedas, grindinio trinkelių LST EN 1338:2003 D priedas,

gatvės ir vejos bordiūro elementų LST EN 1340:2003 D priedas, latako elementų bei laiptų pakopų betono atsparumas šalčiui nustatomas pagal LST 1428.17 (tūrinio šaldymo būdas) (1.9 lentelė).

1.9 lentelė. Betoninių trinkelų atsparumas šaldymui ir atšildymui, naudojant druskas nuo apledėjimo (LST EN 1339:2003)

Klasė	Ženklimas	Masės nuostolis po atsparumo šaldymui ir atšildymui bandymo kg/m^2
3	D	vidurkio vertė $\leq 1,0$, vidutiniškai, be jokios pavienės vertės $> 1,5$

1.3.3. Vandens įgėris

Šaligatvio plytelių, grindinio trinkelų, gatvės ir vejos bordiūro elementų vandens įgėris turi būti ne didesnis kaip 6 % latakų elementų betono vandens įgėris turi būti ne didesnis kaip 5% stambiagrūdžio ir ne didesnis kaip 6 % – smėlinio betono (1.10 lentelė).

1.10 lentelė. Vandens įgėris

Klasė	Ženklimas	Vandens įgėris, % pagal masę
2	B	≤ 6

1.3.4. Dilumas

Šaligatvio plytelių dylamasis atsparumas nustatomas pagal dilinimo plačiuoju ratu metodą (pagal LST EN 1338:2003 G priedą) ar kaip alternatyva Bėmė bandymo metodą (pagal LST EN 1338:2003 H priedą). Dilinimo plačiuoju ratu bandymas yra standartinis. Dylamojo atsparumo reikalavimai pateikti 1.11 lentelėje.

1.11 lentelė. Betoninių trinkelų atsparumas dilinimui

Klasė	Ženklimas	Reikalavimai	
		Išmatuota pagal bandymo metodą, aprašytą standarto LST EN 1338 G priede	Alternatyviai išmatuota pagal bandymo metodą, aprašytą standarto LST EN 1338 H priede
4	I	$\leq 20 \text{ mm}$	$\leq 18000 \text{ mm}^3/5000 \text{ mm}^2$

1.3.5. Regimieji požymiai.

Išvaizda. Betoninių grindinio trinkelėlių viršutinis paviršius turi būti be matomų defektų, tokių kaip plyšiai ar ištrupėjimai, tikrinant pagal atitinkamų standartų LST EN 1338:2003 ir LST EN 1339:2003, J priedą. Pasireiškiantis dėmėtumas nėra žalingas trinkelės eksploatacinėms savybėms ir nelaikomas reikšmingu (LST EN 1338:2003 LST EN 1339:2003 LST EN 1340:2003, 5.4.1 p.) Gaminių spalva gali būti natūrali (pilka), spalvota (ruda, juoda, raudona ir t.t.), marga (kelių spalvų mišinys). Gaminių paviršiai būna lygūs arba grublėti.

Tekstūra. Tuo atveju, kai trinkelės gaminamos su specialia paviršaus tekstūra, gamintojas tekstūrą turi aprašyti. Trinkelėlių tekstūros pastovumo kitimą gali sukelti neišvengiami žaliavų savybių ir kietėjimo sąlygų pasikeitimai ir nėra laikomi reikšmingais (LST EN 1338:2003 LST EN 1339:2003 LST EN 1340:2003, 5.4.2 p.).

Spalva. Gamintojo nuožiūra spalvotas gali būti apdailinis trinkelės sluoksnis arba visa trinkelė. Tikrinant pagal LST EN 1338:2003 J priedą atitikti turi būti įvertinta atsižvelgiant, ar nėra didelių spalvos skirtumų tarp gamintojo pateiktų ir pirkėjo suderintų bandinių. Trinkelės spalvos pastovumo kitimą gali sukelti neišvengiami žaliavų savybių ir atspalvio kitimai bei kietėjimo sąlygų kitimai ir jie nelaikomi reikšmingais (LST EN 1338:2003 LST EN 1339:2003 LST EN 1340:2003, 5.4.3 p.).

Leistini matmenų nuokrypiai. Gaminio matmenys – tai gaminio ilgis, plotis ir aukštis (storis). Iki 80 mm aukščio (storio) gaminių stačios nuožulos gali turėti 2 mm, o nuo 80 mm iki 150 mm – 3 mm, o kai gaminių aukštis viršija 150 mm – 5 mm nuokrypį nuo vertikalės.

Skiriamosios briaunelės bei sprauskeliai. Skiriamoji trinkelės briaunelė – trinkelėlių pakraščiuose gaminant specialiai suformuojamos betoninės briaunelės (iškišos, sprauskeliai), atskiriančios trinkeles vienodu atstumu. Gaminio skiriamosios briaunelės turi atitikti darbo brėžinį. (LST EN 1338:2003). Gaminamos grindinio trinkelės su šoniniais sprauskeliais dangų įrengimo metu užtikrina stabilų tarpą, kuris įtakoja produkto naudojimo ilgaamžiškumą.

Betoninių aplinkos tvarkymo gaminių išvaizdos vertinimas

Spalvų svyravimas

Paklojus spalvotus betono gaminius dažnai atsiranda skirtingų nuomonių dėl išgrįsto ploto vaizdo. Jei ginčiuose dėl panaudotų medžiagų techninių savybių galima remtis daugybe kontrolės ir techninių reikalavimų bei bandymų, kad būtų nustatyta, ar pakloti gaminiai atitinka kokybės normas, tai vertinant dangos išvaizdą nuomonių skirtumai dažniausiai nėra objektyvūs ir priklauso nuo kiekvieno žmogaus individualaus skonio.

Betono gaminiai yra masinė produkcija iš natūralių gamtinių žaliavų, kurias naudojant ir ypač griežtai kontroliuojant visus technologinius procesus, turinčius įtakos spalvai, vis tiek gali atsirasti spalvinių svyravimų. Šiuos svyravimus sąlygoja daug veiksnių. Tokių kaip naudojamo cemento

atspalvis, užpildų spalva, vandens ir cemento santykis betono mišinyje, pigmentų kokybė, betono gaminių kietėjimo sąlygos, gaminių amžius ir kiti. Atspalvio nuokrypio dydis priklauso nuo to, ar šie veiksniai jungiasi, ar kompensuoja vienas kitą (Naujokaitis, A. 2007).

Siekiant išvengti nepageidaujamo spalvų svyravimo, grindžiant dangas gaminiai imami ne mažiau kaip iš trijų paketų. Visai dangai išgrįsti reikalingą gaminių kiekį rekomenduojama imti iš vienos gamybos partijos.

Paviršiaus išbalimai

Įvairiems faktoriams sąlygojant kartais ant betono ir jo produktų pasirodo baltos dėmės. Tai – kalkių nuosėdos. Dažniausiai šis reiškinys vadinamas išbalimu ar pabalimu.

Kalkinis išbalimas atsiranda, kai kietėjant cementui išsiskiria kalkės, kurios ištirpsta mišinio sudėtyje esančiame vandenyje (pirminis išbalimas), ar Lietuvoje (antrinis išbalimas). Betono gaminių paviršius pasidengia kalkėmis, kurios reaguoja su ore esančiu anglies dioksidu, pavirsdamos netirpiu kalcio karbonatu. Betono paviršiuje susidaręs kalcio karbonatas toliau reaguoja su vandenyje ištirpusiu anglies dioksidu, sudarydamas kalcio hidrokarbonatą, kuris tirpsta vandenyje. Jis ypatingai gerai matomas spalvotame paviršiuje. Išbalimas palaipsniui išnyksta veikiant aplinkos faktoriams (lietui, eismui ir t.t.). Tačiau atmosferoje esančios rūgščiosios dalelės trukdo kalkių apnašų išnykimui nuo betono gaminių paviršiaus (Nagročkienė, D. ir kt. 2010).

Paviršiaus faktūra

Lietuvos aplinkos tvarkymo gaminių rinkoje stebima tendencija, jog keliami vis didesni reikalavimai betoninių trinkelėlių ir šaligatvio plytelių paviršių lygumui. Lygūs paviršiai gaunami naudojant gaminių apdailiniam sluoksniui smulkius užpildus – dažniausiai smulkų smėlį. Tai pablogina gaminio savybes: stiprį, dilumą ir ilgaamžiškumą. Lygūs paviršiai, ypač po lietaus, tampa slidūs ir gali būti nelaimingo atsitikimo priežastimi.

Gaminių apdailiniam sluoksniui naudojant granitines atsijas ir skaldele, gaunamas nedidelis paviršiaus šiurkštumas pagerina sukibimą, sumažindamas slydimo pavojų.

Tekstūros pastovumo kitimą gali sukelti neišvengiami žaliavų savybių ir kietėjimo sąlygų pasikeitimai ir nėra laikomi reikšmingais (LST EN 1338:2003 LST EN 1339:2003 LST EN 1340:2003, 5.4.2 p.).

1. BETONINIŲ GRINDINIO TRINKELIŲ TYRIMO METODIKA

2.1. Lietuvos teisės aktai, reglamentuojantys grindinio trinkelės savybes

- Automobilių kelių dangos konstrukcijos iš trinkelės ir plokščių įrengimo taisyklės IT TRINKELĖS 14;
- Automobilių kelių trinkelės, plokščių ir kitų medžiagų techninių reikalavimų aprašas TRA TRINKELĖS 14;
- Automobilių kelių dangos konstrukcijos iš trinkelės ir plokščių įrengimo metodiniai nurodymai MN TRINKELĖS 14;
- LST EN 206-1: 2002 Betonai. 1 dalis. Techniniai reikalavimai, savybės, gamyba ir atitiktis;
- LST 1974:2012. LST EN 206-1 taikymo taisyklės ir papildomieji nacionaliniai reikalavimai
- LST EN 1008:2002 Vanduo betonui. Techniniai vandens ėminių ėmimo, bandymo ir tinkamumo reikalavimai, įskaitant gražinamą iš gamybos betono pramonėje vandenį, pakartotinai naudojamą betono mišiniui ruošti;
- LST EN 12620:2002+A1:2008 Betono užpildai;
- LST EN 197-1:2011.Cementas. Įprastinių cementų sudėtis, techniniai reikalavimai ir atitikties požymiai;
- LST EN 933 Užpildų geometrinių savybių nustatymo metodai;
- LST EN 1097 Užpildų mechaninių ir fizikinių savybių nustatymo metodai;
- LST EN 1367 Užpildų šiluminių savybių ir atsparumo atmosferos poveikiams nustatymo metodai;
- LST L 1428.17:2005 Betonai. Bandymo metodai. Atsparumo šalčiui nustatymas;
- LST 1551.1:1999/1K:2002 Betoniniai aplinkos tvarkymo gaminiai. Bandymo metodai. Stiprio gniuždant ir lenkiant nustatymas;
- LST EN 1338:2003+AC: 2006 Betoninės grindinio trinkelės. Reikalavimai ir bandymo metodai;
- Automobilių kelių standartizuotų dangų konstrukcijų projektavimo taisyklės KPT SDK 07
- LST EN 1015-2 „Mūro skiedinio bandymo metodai. 2 dalis. Skiedinio jungtinio ėminio ėmimas ir paruošimas bandymui“;
- LST EN 1015-11 „Mūro skiedinio bandymo metodai. 11 dalis. Sukietėjusio skiedinio lenkiamojo ir gniuždomojo stiprio nustatymas“;
- LST EN 1015-12 „Mūro skiedinio bandymo metodai. 12 dalis. Sukietėjusių tinko skiedinių sukibimo su pagrindu stiprio nustatymas“;

- LST EN 1339 „Betoninės grindinio plokštės. Reikalavimai ir bandymo metodai“;
- LST EN 1340 „Betoniniai bordiūrai. Reikalavimai ir bandymo metodai“;
- LST EN 1341 „Gamtinio akmens plokštės, skirtos grindiniui. Reikalavimai ir bandymo metodai“;
- LST EN 1342 „Tašytų gamtinių akmenų trinkelės, skirtos grindiniui. Reikalavimai ir bandymo metodai“;
- LST EN 1343 „Gamtinio akmens bordiūrai, skirti grindiniui. Reikalavimai ir bandymo metodai“;
- LST EN 1344 „Keraminiai grindinio blokai. Reikalavimai ir bandymo metodai“;
- LST EN 1367-1 „Užpildų šiluminių savybių ir atsparumo atmosferos poveikiams nustatymo metodai. 1 dalis. Atsparumo šaldymui ir atšildymui nustatymas“;
- LST CEN/TS 12390-9 „Betono bandymas. 9 dalis. Atsparumas cikliškam užšalimui ir atitirpimui. Atskilinėjimas“;
- LST EN 14188-1 „Siūlių tarpikliai (užpildikliai) ir sandarikliai. 1 dalis. Karštųjų siūlių sandariklių techniniai reikalavimai“.

2.2. Bandinių sudėties pasirinkimai

Atlikus literatūros analizę, susipažinus su betoninio grindinio trinkelėlių gamybai naudojamomis medžiagomis ir jų savybėmis, metodinėje dalyje aprašau pagrindinius bandymo metodus, kurie bus atliekami eksperimentinėje dalyje. Vandens ir cemento santykis (V/C) – 0,32. Gamybai buvo pasirinktos trys skirtingos sudėtys. Naudotos žaliavos:

1. cementas CEM I 42,5 R ;
2. džiovinatas smėlis fr. 0/4 (LST EN 120620:2003) (2.1 pav);
3. granitinės atsijos fr. 0/5 (LST EN 120620:2003);
4. granitinė skalda fr. 2/8 (LST EN 120620:2003) (2.1 pav);
5. žvirgždo skalda fr. 2/8 (LST EN 120620:2003) (2.1 pav.);
6. plastifikuojantis priedas (Lubricon TB);
7. vanduo (LST EN 1008:2003).



2.1 pav. Smėlis fr. 0/4, žvirgždo skalda fr. 2/8, granito skalda fr. 2/8

LUBRICON TB – efektyvus plastikis modifikuotų lignosulfonatų pagrindu, skirtas mažo slankumo cementiniams betono mišiniams gaminti. Tai rudas vandeninis $1,13\text{--}1,15\text{ g/cm}^3$ tankio skystis, pH – 4,5 – 5,0, $\text{Na}_2\text{O} < 0,5\%$, chloridų kiekis $< 0,05\%$, nelakiujų medžiagų – 30–31 %. *LUBRICON TB* yra paviršiaus aktyvioji medžiaga, disperguojanti cemento, pucolanų ir užpildo daleles. Gaunamas vienalytiškesnis mažesnio V/C santykio betono arba skiedinio mišinys, kuriame mažiau vandens. Pilamas į jau sudrėkintą mišinį. Minimalus įmaišos kiekis – 0,2 %, maksimalus – 1,0 % cemento ir mikroužpildų masės. Įmaišos efektyvumui didinti rekomenduojama daryti bandomuosius mišinius, nes įmaišos dozei įtakos turi užpildų rūšis jų granulimetrinė sudėtis, maišymo trukmė, mišinio tankinimo būdas ir kitos įmaišos. Gaminio sudėtis 1m^3 (2.1–2.3 lentelėse):

2.1 lentelė. Gaminio sudėtis Nr. 1

Cementas, kg	340,6243
Smėlis 0/4 fr., kg	1080,48
Granitinės atsijos 0/5 fr., kg	77,3333
Granito skalda 2/8 fr., kg	750,2667
Žvirgždo skalda 2/8 fr., kg	0,0
Plastiklis LUBRICON TB, % nuo cemento	0,0

2.2 lentelė. Gaminio sudėtis Nr. 2

Cementas, kg	340,6243
Smėlis 0/4 fr., kg	1080,48
Granitinės atsijos 0/5 fr., kg	77,3333
Granito skalda 2/8 fr., kg	750,2667
Žvirgždo skalda 2/8 fr., kg	0,0

Plastiklis LUBRICON TB, % nuo cemento	0,15394
---------------------------------------	---------

2.3 lentelė. Gaminio sudėtis Nr. 3

Cementas, kg	340,6243
Smėlis 0/4 fr., kg	1080,48
Granitinės atsijos 0/5 fr., kg	77,3333
Granito skalda 2/8 fr., kg	0,0
Žvirgždo skalda 2/8 fr., kg	750,2667
Plastiklis LUBRICON TB, % nuo cemento	0,0

Bandiniai buvo formuojami ir kietinami tokiu eiliškumu:

- Į betono maišyklę suberiamas atsvertas cemento kiekis, smulkus užpildas ir stambus užpildas ir viskas gerai išmaišoma.
- Reikalingas vandens kiekis sumaišomas su atsvertu priedo kiekiu, kuris įpilamas į sausą masę.
- Gautas mišinys sudedamas į 200x100x6 formas, išteptas alyva ir sutankinama ant vibracinio stalo.
- Po paros kietėjimo formos išardomos, gauti bandiniai išimami ir 28 paras išlaikomi vandenyje.
- Sukietėję ir išlaikę formą bandiniai paruošiami tyrimams (2.2 pav.).



2.2 pav. Sukietėję ir išlaikę formą bandiniai prieš tyrimus

2.3. Tiriamosios savybės

2.3.1. Matmenų matavimas

Matavimo tikslas – išsiaiškinti ar trinkelės atitinka gamintojo deklaruotus matmenis, gautus rezultatus apdoroti ir paruošti tolimesniems skaičiavimams. Gamintojo deklaruoti leidžiamieji gaminimo matmenų nuokrypiai pateikti 2.4, 2.5 lentelėse.

2.4 lentelė. Leidžiamieji nuokrypiai

Trinkelės storis, mm	Ilgis, mm	Plotis, mm	Storis, mm
< 100	± 2	± 2	± 3
≥ 100	± 3	± 3	± 4
Skirtumas tarp bet kurių dviejų pavienės trinkelės storio matavimų turi būti ≤3 mm			

2.5 lentelė. Plokštumo ir išlinkimo nuokrypiai

Matuoklio ilgis, mm	Didžiausias išgaubimas, mm	Didžiausias įgaubimas, mm
300	1,5	1,0
400	2,0	1,5

Paruošimas

Nuo trinkelės, kuri bus matuojama, pašalinamos visos atplaišos.

Matmenų matavimas

Matavimo įranga, kuria galima matuoti 0,5 mm tikslumu.

Įranga

Slankmatis, tikslumas 0,5 mm.

Procedūra

Išmatuojami atitinkami gaminio matmenys. Kiekvienas matmuo matuojamas dviejose skirtingose vietose ir faktiniai matmenys užrašomi, apvalinant iki artimiausio sveiko skaičiaus milimetrais.

2.3.2. Betono tankio nustatymas

Tankis – tai natūralios būsenos medžiagos tūrio vieneto masė, išreikšta absoliučiai sausos medžiagos masės (m) ir tūrio (V) santykiu.

Naudojama įranga. *Džiovinimo spinta, techninės svarstyklės ir slankmatis.*

Nustatymo eiga. Bandiniai džiovinami iki pastovios masės džiovinimo spintoje $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ temperatūroje. Kiekvienas bandinys pasveriamas techninėmis svarstyklėmis ir slankmačiu išmatuojamos jo plokštumos. Paskui pagal formules apskaičiuojami bandinių tūriai ir surandamas betono tankis.

$$\rho = \frac{m}{V}, g/cm^3; \quad (1)$$

čia

ρ – medžiagos tankis, g/cm^3 ;

m – medžiagos masė, g;

V – medžiagos tūris, cm^3 .

Tai svarbiausias visas medžiagas apibūdinantis rodiklis, nuo kurio priklauso stipris, vandens įgeriamumas, kitos savybės.

Akytų medžiagų natūralus tankis priklauso nuo drėgnio: pastarajam didėjant, tankis irgi didėja. Dėl to gali būti nustatomas natūralaus drėgnio, įmirkytų ir išdžiovintų medžiagų tankis. Kuo medžiaga akytesnė, tuo daugiau skiriasi šios reikšmės.

2.3.3. Betoninių grindinio trinkelų bendrojo vandens įgėrio nustatymas

Bandinys, išlaikytas (20 ± 5) $^{\circ}\text{C}$ temperatūros aplinkoje, yra mirkomas iki pastovios masės ir po to džiovinamas iki pastovios masės. Masės nuostolis išreiškiamas procentais nuo bandinio sausos masės.

Naudojama įranga. *Ventiliuojamoji džiovinimo krosnis* (2.3 pav.), kurios talpos litrais ir ventiliacinių kanalų ploto kvadratiniais milimetrais santykis yra mažesnis nei 0,2 ir kurioje turi būti palaikoma (105 ± 5) $^{\circ}\text{C}$ temperatūra. Krosnies tūris turi būti bent 2,5 karto didesnis už bandinių, kurie džiovinami tuo metu, tūrį. *Indas plokščiu pagrindu*, kurio tūris bent 2,5 karto didesnis negu mirkomų bandinių ir aukštis bent 50 mm didesnis negu bandinių aukštis. *Svarstyklės*, sugraduotos gramais, sveriančios 0,1 % tikslumu. *Kietas šepetys. Audeklas.*

Bandinių paruošimas

Šepečiu nuvalomos dulkės, atplaišos ir kt. Kiekvienas bandinys laikomas (20 ± 5) $^{\circ}\text{C}$ temperatūros aplinkoje.



2.3 pav. Ventiliuojamoji džiovinimo krosnis

Procedūra

Bandymai atliekami pagal LST EN 1338:2003+AC:2006. Bandiniai panardinami į geriamąjį $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ temperatūros vandenį ir laikomi, kol bus pasiekta pastovi M_1 masė. Tarp bandinių turi būti mažiausiai 15 mm tarpai, o virš bandinių turi būti mažiausiai 20 mm vandens. Mažiausia mirkymo trukmė turi būti 3 paros, ir pastovi masė bus pasiekta, kai dviejų svėrimų kas 24 h rezultatai skiriasi mažiau nei 0,1 %. Prieš svėrimą bandiniai nušluostomi sudrėkintu ir išgręžtu audeklu, kad būtų pašalinamas vandens perteklius. Gerai išdžiovinto betono paviršius yra pilkas. Kiekvienas bandinys dedamas į džiovinimo krosnį taip, kad atstumas tarp bandinių būtų mažiausiai 15 mm. Bandinys džiovinamas $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ temperatūros krosnyje, kol pasiekama pastovi masė M_2 . Mažiausia džiovinimo trukmė ne mažiau kaip 3 paros ir pastovia masė laikoma tokia masė, kai dviejų svėrimų rezultatai kas 24 h skiriasi mažiau nei 0,1 %. Bandiniai prieš svėrimą atvėsunami iki kambario temperatūros.

Bandymo rezultatu apskaičiavimas

Apskaičiuojamas kiekvieno bandinio vandens įgėris W_a masės procentais pagal formulę:

$$W_a = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100 \% \quad (2)$$

čia M_1 –pradinė bandinio masė (g); M_2 –galutinė bandinio masė (g).

Apskaičiuojamas vandens įgėris kaip visų bandinių vandens įgėrio verčių vidurkis.

2.3.4. Gniuždymo stiprio nustatymas

Stipris gniuždant – tai medžiagos, kuri suyra veikiamą gniuždymo apkrovos, stiprumo riba, išreikšta gniuždymo jėgos ir gniuždomo ploto santykiu.

Naudojama įranga: bandymui naudojama *gniuždymo bandymo mašina* (2.4 pav.), atitinkanti EN 123904. *Plieninės plokštės*, kurių storis ne mažesnis kaip 25 mm ir didesnis. Jų matmenys pateikti 2.6-oje lentelėje. *Slankmatis ir tarpumatis. metalinė liniuotė, metalinis kampainis.*

2.6 lentelė. Stačiakampių plieninių plokščių trinkelėms bandyti matmenys milimetrais

Trinkelės aukštis (storis), mm	Stačiakampio formos plokštė, mm	
	plotis	ilgis
per 55 iki 65	60	120
per 65 iki 75	70	140
per 75 iki 85	80	160
per 85 iki 95	90	180
per 95 iki 105	100	200
per 105 iki 115	110	220
per 115	120	240

Šešiakampių, trapecinių bei figūrinių grindinio trinkelėms ir visų formų šaligatvio plytelių gniuždymo stipriui nustatyti naudojamos plieninės plokštės (pagal 2.7 lentelę), kurios dedamos simetriškai gaminio viduryje (apačioje ir viršuje). Plieninė plokštė turi remtis į bandomąjį paviršių visu plotu.

Stačiakampės (kai kraštinių santykis iki 1:2) ir kvadratinės grindinio trinkelės arba jų pusės bandomos be papildomų metalinių plokščių.

Apkrovimo greitis nustatant trinkelėms stiprį gniuždant - (0,5± 0,1) MPa/s.

Rezultatu apskaičiavimas

Betono bandinio gniuždymo stipris $t R_i$, N/mm² (MPa), apskaičiuojamas pagal formulę:

$$R_i = \frac{F}{S} \times K_i \quad (3)$$

čia F - ardanti jėga, N;

S - gniuždymo paviršiaus arba bandinio su nuožula plotas, mm²;

K_i - trinkelų aukščio ir nuožulų įvertinimo koeficientas (2.7 lentelė).



2.4 pav. Gniuždymo stiprio nustatymui naudotas hidraulinis presas

2.7 lentelė. Grindinio trinkelų aukščio ir nuožulų įvertinimo pataisos koeficientas

Trinkelės aukštis, mm	Pataisos koeficientas K_i	
	Trinkelė be nuožulų arba kai naudojamos plieninės plokštės	Trinkelė su nuožula, platesnė kaip 5 mm
50-60	0,96	1,0
70	1,06	1,12
80	1,12	1,18
90	1,15	1,21
100	1,18	1,24
110	1,21	1,27
120	1,24	1,32
130	1,27	1,36
140	1,32	1,39

150	1,39	1,44
-----	------	------

Kai bandoma 10 ar daugiau bandinių, gniuždymo stipris gali būti įvertinamas statistiškai, įrodant, kad grindinio trinkelė

$$R_{vid.} - \lambda s > 40;$$

čia λ - koeficientas, randamas 2.8-oje lentelėje;

s - išbandytų bandinių stiprio standartinis nuokrypis, apskaičiuojamas pagal formulę:

$$s = \sqrt{1/(n-1) \sum_{i=1}^n (R_i - R_{vid})^2} \quad (4)$$

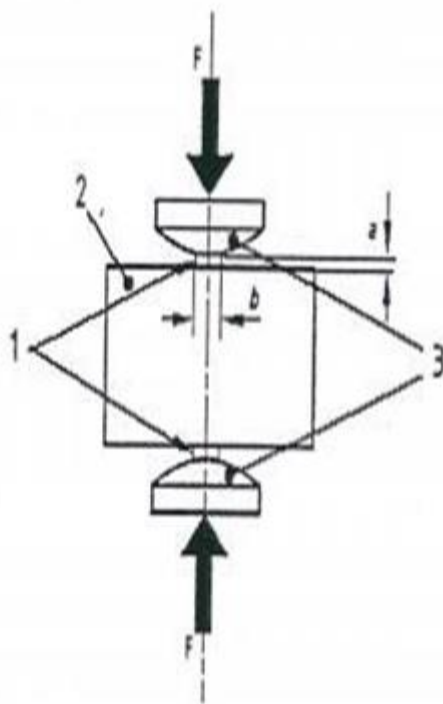
2.8 lentelė. Koeficiento λ vertės, atsižvelgiant į bandinių skaičių (LST 1551:1999)

<i>Bandinių skaičius, n</i>	λ
10	2,11
15	1,89
20	1,78
25	1,71
30	1,66
> 35	1,61
PASTABA! Tarpiniai dydžiai randami interpoliuojant.	

2.3.5. Trinkelė tempimo stiprio skeliant nustatymas

Metodo esmė: Bandiniai skeliami iki suirimo bandymo mašina. Užrašoma didžiausia bandinio atlaikoma apkrova ir apskaičiuojamas skeliamasis stipris.

Iranga: Bandymo mašinos skalė per visą tikėtinos apkrovos intervalą turi būti $\pm 3\%$ tikslumo ir turi būti galima apkrovą didinti nurodytu greičiu. Prie bandymo mašinos turi būti prietaisas iš dviejų standžių atramų, kurių sąlyčio paviršių spindulys 75 ± 5 mm. D_{vi} standžios atramos turi būti toje pačioje vertikaloje plokštumoje su ± 1 mm tolerancija kraštuose. Viršutinė atrama įrengta taip, kad galėtų pasisukti apie savo skersinę ašį. D_{vi} apkrovos paskirstymo juostos turi būti 15 ± 1 mm pločio (b), 4 ± 1 mm storio (a) ir mažiausiai 10 mm ilgesnės už laukiamą skilimo plokštumą (2.5 pav.).



2.5 pav. Tempimo stiprio skeliant bandymo principas (LST EN 1338:2003+AC:2006)

Paiškinimas: 1 – apkrovos paskirstymo juostos; 2 – trinkelė; 3 – standžios atramos.

Paruošimas

Naudojama visa trinkelė, nuo jos pašalinus bet kokias atplaišas, iškilimus ir kt. Jei paviršius šiurkštus, tekstūruotasis arba kreivas, jis turi būti paruošiamas šlifuojant arba išlyginant. Išlyginus pašalinama tiek medžiagos, kad paviršius taptu plokščias.

Trinkelės panardinamos į 20 ± 5 °C temperatūros vandenį ir laikomos 24 ± 3 h, po to išimamos, sausai nušluostomos ir tuoj pat bandomos.

Procedūra

Trinkelė dedama į bandymo mašiną su apkrovos paskirstymo juostomis ant viršutinio ir apatinio paviršių, kad jos liestųsi su atramomis. Įsitikinama, ar apkrovos paskirstymo juostų ir atramų ašys yra vienoje linijoje su trinkelės skėlimo pjūviu.

Skėlimo pjūvis turi būti parinktas tokia pirmumo tvarka:

- 1) bandymas atliekamas pagal ilgiausią trinkelės skėlimo pjūvį, lygiagrečiai ir simetriškai su kraštais, žiūrint, kad būtų išlaikyta ši sąlyga:
 - Skėlimo pjūvio atstumas į bet kurią viršutinio paviršiaus pusę bent 0,5 trinkelės storio per mažiausiai 75 % plotą;
- 2) jei negalima pasiekti pirmiau nurodytos sąlygos, bandymas atliekamas pagal išilginę dviejų skėlimo pjūvių kryptį taip, būtų patenkinta tokia sąlyga:

- Atstumas vieno skėlimo pjūvio nuo kito skėlimo pjūvio arba bet kurios viršutinio sluoksnio pusės yra bent 0,5 trinkelės storio per mažiausiai 75% nagrinėjamo skėlimo pjūvio ilgį;
 - 3) jei negalima pasiekti nei vienos iš aukščiau minėtų sąlygų, skėlimo pjūvis turi būti pasirinktas taip, kad būtų pasiektas proporcingai didžiausias bendras pjūvio ilgis, atitinkantis atstumo reikalavimus;
 - 4) jei trinkelės pjūvis yra kvadratinis, skėlimo pjūvis turi būti pasirinktas taip, kad tai būtų trumpiausias ilgis, einantis per plokštumos ploto centrą.
- Apkrova didinama švelniai ir pastoviu greičiu, kuris atitinka įtempių didėjimą $0,05 \pm 0,01$ Mpa/s. Suirimo apkrova užrašoma.
- Apskaičiuojam trinkelės irimo plokštumos plotas pagal formulę:

$$S = l \cdot t, \quad (5)$$

čia S – irimo plotas, kvadratiniais milimetrais; l– irimo ilgio dviejų matavimų vidurkis: vienas trinkelės viršuje, kitas jos apačioje, milimetrais; t– trinkelės suirimo plokštumos storis, milimetrais, ir trijų matavimų vidurkis: vienas per vidurį ir po vieną prie galų.

Bandymo rezultatų apskaičiavimas:

Jei bandymas atliktas išilgai dviejų skersinių tos pačios trinkelės pjūvių, trinkelės tempimo stipriu skeliant yra laikomas dviejų atskirų rezultatų vidurkis. Trinkelės stipris T, megapaskaliais, apskaičiuojam pagal lygtį:

$$T_n = 0.637 \times k \times \frac{P}{S};$$

čia T – stipris, megapaskaliais (Mpa); P – ardančioji apkrova, niutonais (N); k – trinkelės storio koregavimo koeficientas apskaičiuojam pagal lygtį:

$$k = 1,3 - 30(0,18 - t / 1000)^2, \text{ jei } 140\text{mm} < t \leq 180\text{mm}$$

arba

$$k = 1,3 \quad \text{jei } t > 180\text{mm}$$

arba

kai $t \leq 140\text{mm}$, nustatoma pagal 2.9 lentelę.

2.9 lentelė. Koregavimo koeficientai k

t, mm	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
k	0,71	0,79	0,87	0,94	1,00	1,06	1,11	1,15	1,19	1,23	1,25

2.3.6. Tempimo stiprio skeliant atitikties vertinimo statistiniu metodu taikymas

Pagal vidinę gamybos kontrolę atitiktis gali būti nustatyta pagal kokybinį, arba statistinį vertinimą. Remiantis skėlimo bandymo eiliškumo schema, galima vertinti kokybiškai arba statistiškai, bet visada pradedama pagal kokybę, kadangi statistinis metodas reikalauja gana daug apskaičiuotų standartinių nuokrypių rezultatų.

Pagrindinė formulė

$$\overline{X}_n \geq 3,6 + q_n \times s \text{ (MPa)} \quad (6)$$

\overline{X} – n gaminių ėminio vidurkis;

q_n – priėmimo koeficientas;

s – gamybos įrangos standartinis nuokrypis.

Priėmimo koeficientai

Priėmimo koeficientai, priklausantys nuo ėminių skaičiaus, yra tokie:

$$n=2 \quad q_2 = 0.6;$$

$$n=4 \quad q_4 = 0.9;$$

$$n=8 \quad q_8 = 1.2;$$

$$n=16 \quad q_{16} = 1.3.$$

2. EKSPERIMENTINĖ DALIS

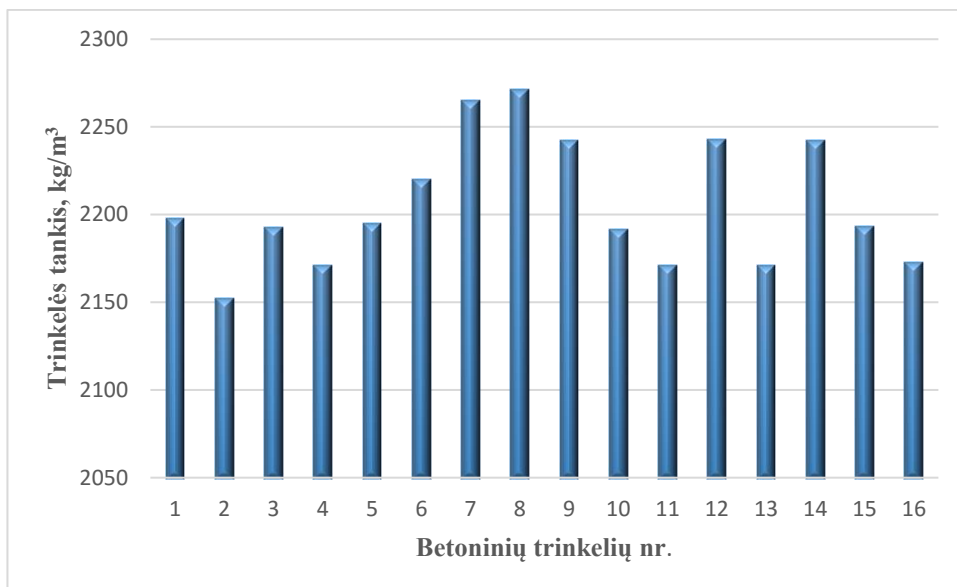
Eksperimentinėje dalyje naudojant Microsoft Excel programą yra analizuojami apdoroti bandymų rezultatai. Pagal LST EN 1338:2003 kiekvienam bandymui buvo pagaminti po 16 betoninių skirtingos sudėties trinkelėlių .

3.1. Betoninių trinkelėlių tankio tyrimo rezultatų analizė

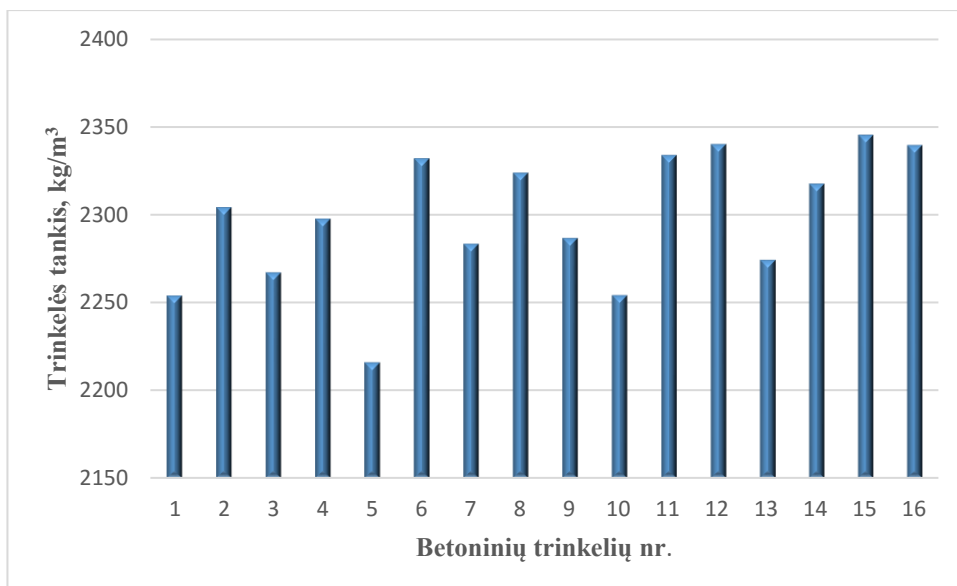
Tyrimas atliktas pagal 2.2.2 papunktyje aprašytą metodiką. Sukietėjusių ir išdžiovintų iki pastovios masės betono tankio tyrimų rezultatai pateikti 3.1 lentelėje ir 3.1–3.4 pav.:

3.1 lentelė. Trinkelėlių tankio apskaičiavimo rezultatai

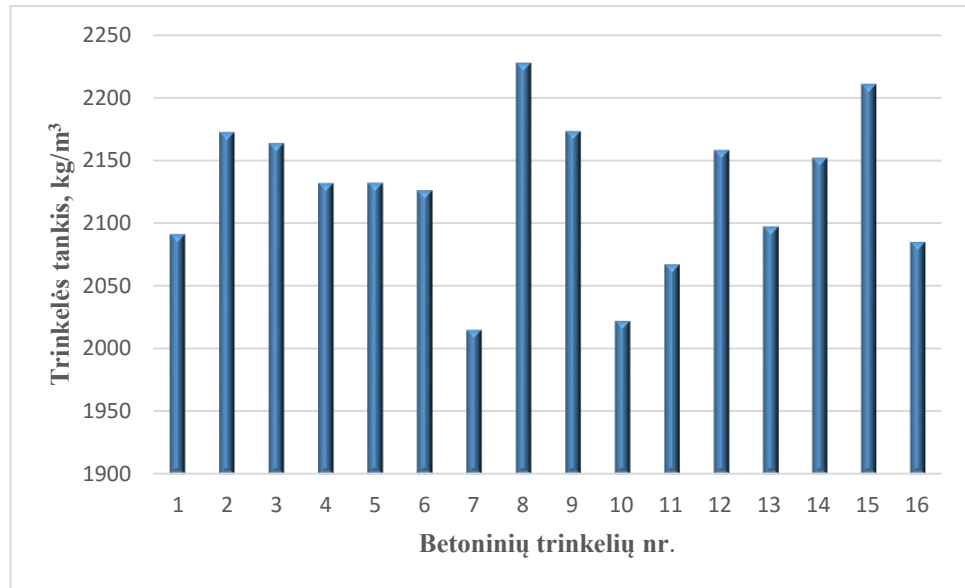
Nr.	Sudėties Nr.1 tankis kg/m ³	Sudėties Nr.2 tankis kg/m ³	Sudėties Nr.3 tankis kg/m ³
1	2197,3	2254,5	2090,7
2	2151,8	2304,7	2172
3	2191,8	2267,6	2163,3
4	2170,3	2298,1	2131,4
5	2194	2216,2	2131,5
6	2219,3	2332,4	2125,7
7	2264,2	2283,8	2014,4
8	2270,9	2324,1	2227
9	2241,7	2287	2172,8
10	2191	2254,6	2021,6
11	2170,4	2334,2	2066,5
12	2242,5	2340,3	2157,7
13	2170,2	2274,6	2096,7
14	2241,5	2317,9	2151,4
15	2192,5	2345,6	2210,3
16	2172,2	2339,8	2084,5
Vidurkis	2205,1	2298,5	2126,1



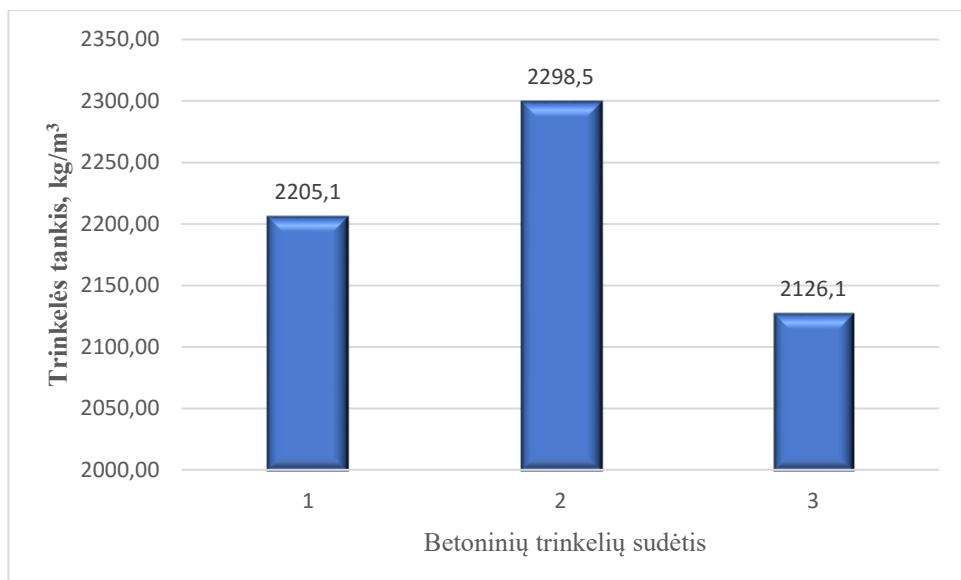
3.1 pav. Sudėties Nr.1 betoninių trinkelių tankis



3.2 pav. Sudėties Nr.2 betoninių trinkelių tankis



3.3 pav. Sudėties Nr.3 betoninių trinkelių tankis



3.4 pav. Betoninių trinkelių tankio vidutinės reikšmės

Išvada. Iš gautų rezultatų matome, kad didžiausias trinkelių tankis yra gaminio sudėties Nr. 2 ($2298,5 \text{ kg/m}^3$), kuri buvo gaminama su granitine skalda ir plastifikuojančiu priedu. Mažiausias gaminio tankis yra sudėties Nr. 3 ($2126,1 \text{ kg/m}^3$), kuri buvo gaminamas naudojant granitines atsijas ir žvirgždą. Naudojant granitinę skaldą be plastifikuojančio priedo tankis yra 3,5 proc. didesnis nei naudojant žvirgždą be plastifikuojančio priedo. Betoninių trinkelių tankis svyruoja taip:

- Sudėtis Nr. 1 – nuo $2151,8 \text{ kg/m}^3$ iki $2270,9 \text{ kg/m}^3$;
- Sudėtis Nr. 2 – nuo $2216,2 \text{ kg/m}^3$ iki $2345,6 \text{ kg/m}^3$;
- Sudėtis Nr. 3 – nuo $2014,4 \text{ kg/m}^3$ iki $2227,0 \text{ kg/m}^3$.

3.2. Betoninių trinkelų bendrojo vandens įgėrio tyrimai

Tyrimui buvo naudota 16 skirtingos sudėties trinkelų. Bandiniai, išlaikyti (20 ± 5) °C temperatūros aplinkoje, buvo mirkomi iki pastovios masės ir po to džiovinami iki pastovios masės. Masės nuostolis išreiškiamas procentais nuo bandinio sausos masės. Tyrimas atliktas vadovaujantis 2.2.3 papunktyje aprašyta metodika. Betoninių trinkelų vandens įgėrio rezultatai yra pateikti 3.2–3.4 lentelėse ir pavaizduoti 3.5 pav.

3.2 lentelė. Sudėties Nr. 1 bendrojo vandens įgėrio skaičiavimų rezultatai

Nr.	Sauso bandinio masė m _s , g	Vandens prisotinto bandinio masė m _d , g	Vandens įgeriamumas pagal masę W _m , %
1	2598,2	2690,8	3,6
2	2544	2651,2	4,2
3	2594,7	2707,5	4,3
4	2567,3	2676,5	4,3
5	2592,9	2708,7	4,5
6	2622,9	2719,3	3,7
7	2676,5	2781,9	3,9
8	2685,2	2798,3	4,2
9	2649,6	2763,3	4,3
10	2590,7	2698,1	4,1
11	2567,1	2676,3	4,3
12	2653,9	2766,6	4,2
13	2565	2669,8	4,1
14	2649,6	2765,3	4,4
15	2593,1	2710,9	4,5
16	2567,1	2676,3	4,3
Vidurkis:			4,18

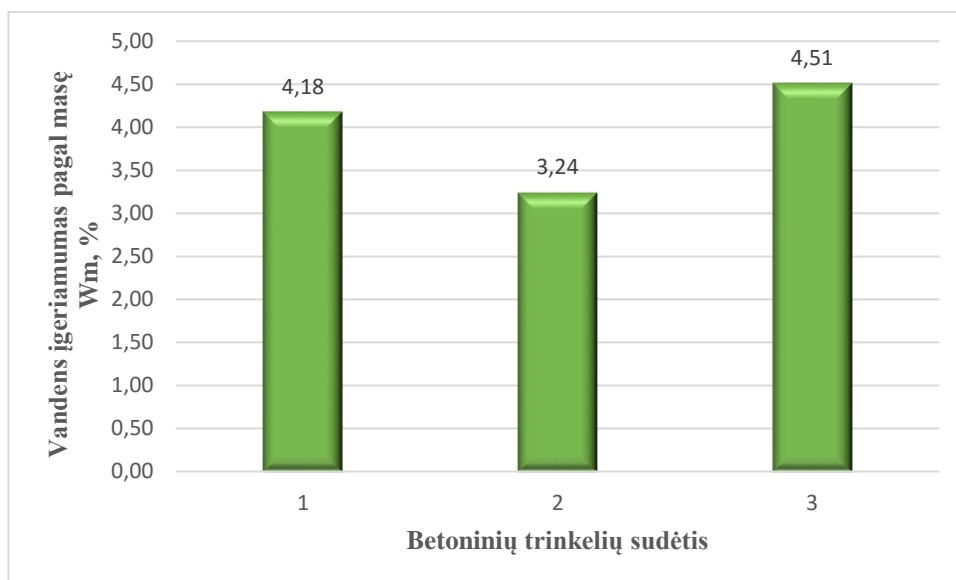
3.3 lentelė. Sudėties Nr. 2 bendrojo vandens įgėrio skaičiavimų rezultatai

Nr.	Sauso bandinio masė m _s , g	Vandens prisotinto bandinio masė m _d , g	Vandens įgeriamumas pagal masę W _m , %
1	2668,9	2770,6	3,8
2	2723,7	2795,5	2,6
3	2685,5	2773,8	3,3
4	2714,6	2818,9	3,8
5	2622,8	2711,6	3,4
6	2758,6	2850,3	3,3
7	2701,4	2775,9	2,8
8	2747,7	2822	2,7

Nr.	Sauso bandinio masė m_s, g	Vandens prisotinto bandinio masė m_d, g	Vandens įgeriamumas pagal masę $W_m, \%$
9	2702,9	2807,4	3,9
10	2667,2	2754,2	3,3
11	2762,7	2855,6	3,4
12	2768,5	2849	2,9
13	2688	2781,7	3,5
14	2739	2832,7	3,4
15	2773,6	2846,4	2,6
16	2763,9	2850,3	3,1
Vidurkis:			3,24

3.4 lentelė. Sudėties Nr. 3 bendrojo vandens įgėrio skaičiavimų rezultatai

Nr.	Sauso bandinio masė m_s, g	Vandens prisotinto bandinio masė m_d, g	Vandens įgeriamumas pagal masę $W_m, \%$
1	2465,6	2581,8	4,7
2	2565,7	2693,6	5,0
3	2558,6	2684,9	4,9
4	2518,9	2621,3	4,1
5	2517,4	2624,1	4,2
6	2513,3	2636	4,9
7	2379,8	2517	5,8
8	2635,9	2735,2	3,8
9	2575,7	2670,1	3,7
10	2387,1	2515,1	5,4
11	2446,2	2552,1	4,3
12	2553,5	2660,8	4,2
13	2480,2	2610,3	5,2
14	2546,9	2651,7	4,1
15	2589,5	2677,5	3,4
16	2470,6	2581,8	4,5
Vidurkis:			4,51



3.5 pav. Bendrojo vandens įgėrio vidutinės reikšmės

Išvada. Pagal gautus rezultatus darau išvadą, kad mažiausias įgėris, gaunamas gaminant betonines grindinio trinkeles pagal sudėtį Nr.2 (3,24 %), kur buvo gaminama su granitine skalda ir plastifikuojančiu priedu. Didžiausias vandens įgėris pagal sudėtį Nr. 3 (4,51 %) kur buvo gaminamas naudojant granitines atsijas ir žvirgždą. Vandens įgėris 7,3 % mažesnis naudojant granitinę skaldą be plastifikuojančio priedo nei naudojant žvirgždą be plastifikuojančio priedo. Visų sudėčių gauti rezultatai atitinka standarto LST EN1338:2003 keliamus reikalavimus. Betoninių trinkelėlių vandens įgėris svyruoja:

Sudėtis Nr. 1 – nuo 3,6 % iki 4,5 %;

Sudėtis Nr. 2 – nuo 2,6 % iki 3,9 %;

Sudėtis Nr. 3 – nuo 3,4 % iki 5,8 %.

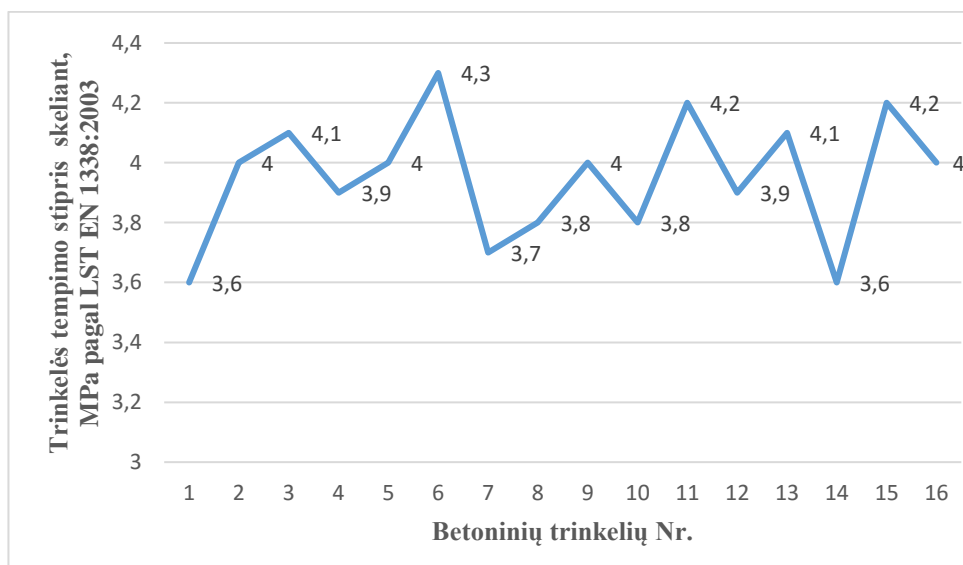
Galima daryti išvadą, kad kuo didesnis trinkelėlių tankio dydis tuo mažesnė yra jų bendrojo vandens įgėrio reikšmė.

3.3. Betoninių trinkelėlių tempimo stiprio skeliant nustatymo tyrimas

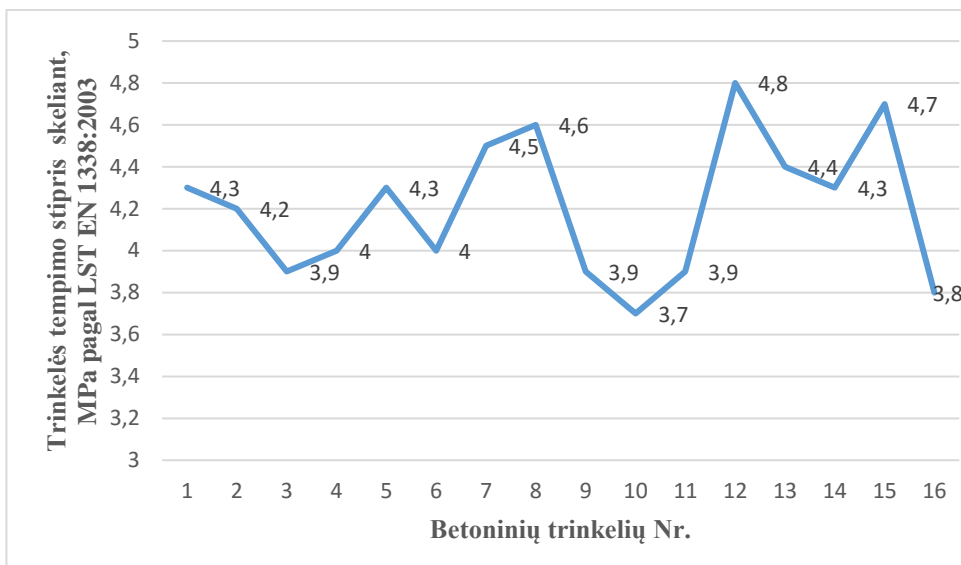
Tyrimo metu, betono trinkelėlių tempimo stipris buvo nustatomas po 28 kietėjimo parų. Bandiniai buvo skeliami iki suirimo bandymo mašina, užrašoma didžiausia bandinio atlaikoma apkrova ir apskaičiuojamas skeliamasis stipris. Grindinio trinkelėlių tempimo stiprio skeliant stiprio nustatymui buvo pagaminta po 16 kiekvienos sudėties bandinių. Visų sudėčių bandymo rezultatai pateikti 3.5 lentelėje ir 3.6–3.9 paveiksluose. Tyrimas atliktas 2.2.5 papunktyje vadovaujantis aprašyta metodika.

3.5 lentelė. Betoninių trinkelėjų tempimo stipris skeliant, MPa pagal LST EN 1338:2003

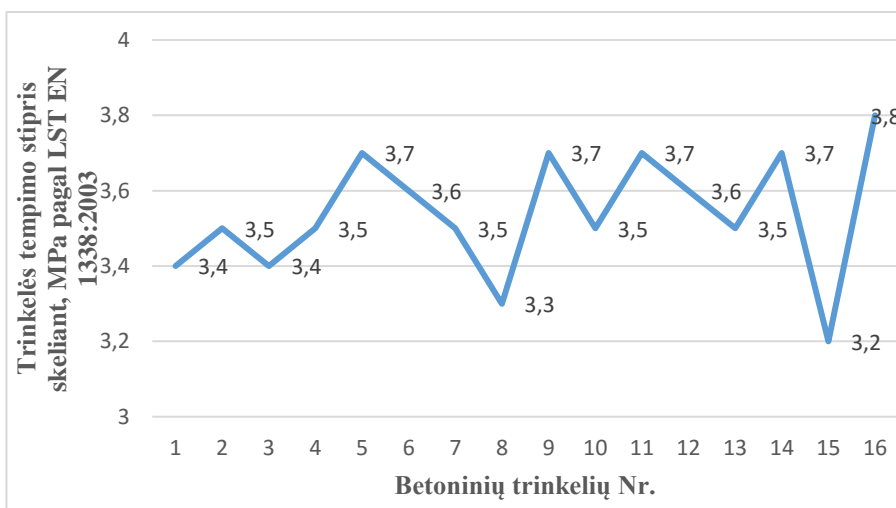
Nr.	Sudėtis Nr.1	Sudėtis Nr.2	Sudėtis Nr. 3
1	3,6	4,3	3,4
2	4	4,2	3,5
3	4,1	3,9	3,4
4	3,9	4	3,5
5	4	4,3	3,7
6	4,3	4	3,6
7	3,7	4,5	3,5
8	3,8	4,6	3,3
9	4	3,9	3,7
10	3,8	3,7	3,5
11	4,2	3,9	3,7
12	3,9	4,8	3,6
13	4,1	4,4	3,5
14	3,6	4,3	3,7
15	4,2	4,7	3,2
16	4	3,8	3,8
Vidurkis	3,95	4,21	3,54



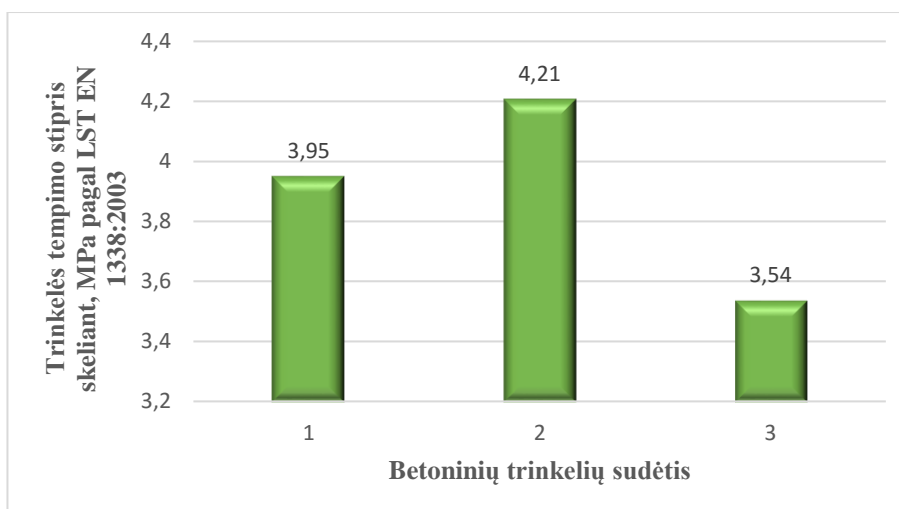
3.6 pav. Betoninių trinkelėjų sudėties Nr. 1 stipris skeliant



3.7 pav. Betoninių trinkelių sudėties Nr. 2 stipris skeliant



3.8 pav. Betoninių trinkelių sudėties Nr. 3 stipris skeliant



3.9 pav. Betoninių trinkelių stipris skeliant

Betoninių trinkelų tempimo stiprio skeliant atitikties vertinimas statiniu metodu

Betoninių trinkelų standartinis nuokrypis apskaičiuojamas naudojant Microsoft Excel programos STDEVA funkcija.

Betoninių trinkelų sudėties Nr.1 tempiamojo stiprio skėlimu standartinis nuokrypis – 0,21.

$$\overline{X_n} \geq 3,6 + q_n \times s \text{ (MPa)};$$

$$3,95 \geq 3,6 + 1,3 \times 0,21 \text{ (MPa)};$$

$$3,95 \geq 3,87 \text{ (MPa)}.$$

Betoninių trinkelų sudėties Nr.2 tempiamojo stiprio skėlimu standartinis nuokrypis – 0,34.

$$\overline{X_n} \geq 3,6 + q_n \times s \text{ (MPa)};$$

$$4,21 \geq 3,6 + 1,3 \times 0,34 \text{ (MPa)};$$

$$4,21 \geq 4,04 \text{ (MPa)}.$$

Betoninių trinkelų sudėties Nr.2 tempiamojo stiprio skėlimu standartinis nuokrypis – 0,16.

$$\overline{X_n} \geq 3,6 + q_n \times s \text{ (MPa)};$$

$$3,54 \leq 3,6 + 1,3 \times 0,16 \text{ (MPa)};$$

$$3,54 \leq 3,81 \text{ (MPa)}.$$

Išvada: Pagal gautus rezultatus darytina išvada, kad didžiausias tempiamojo stiprio skėlimu rezultatas 4,21 MPa yra gaunamas gaminant betonines grindinio trinkeles pagal sudėtį Nr.2, kuri buvo gaminama su granitine skalda ir plastifikuojančiu priedu. Mažiausias tempiamojo stiprio skėlimu rezultatas 3,54 MPa gaunamas naudojant granitines atsijas ir žvirgždą. Sudėtys Nr.1 ir Nr.2 atitinka standarto LST EN1338:2003 reikalavimus, o sudėtis Nr. 3 neatitinka standarto LST EN1338:2003 reikalavimų. Sudėtis Nr.3 tempiamojo stipris skėlimu rezultatas 10 proc. mažesnis nei sudėties Nr. 1. Betoninių trinkelų tankis ir bendrojo vandens įgeris turi įtakos tempiamojo stiprio skėlimu rezultatui. Betoninių trinkelų stipris skeliant svyruoja:

- Sudėtis Nr. 1 – nuo 3,6 MPa iki 4,3 MPa;
- Sudėtis Nr. 2 – nuo 3,7 MPa iki 4,8 MPa;
- Sudėtis Nr. 3 – nuo 3,2 MPa iki 3,8 MPa.

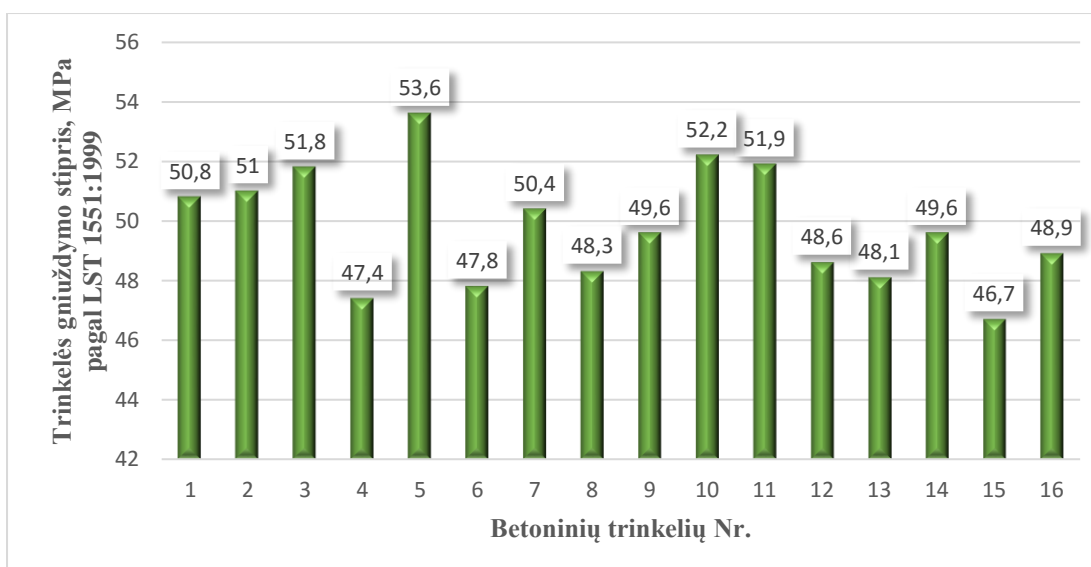
3.4. Betoninių trinkelų gniuždymo stiprio nustatymo tyrimas

Betono trinkelų gniuždymo stipris buvo nustatomas po 28 kietėjimo parų. Tam buvo naudojamas hidraulinis presas, kuris fiksavo gniuždomąją apkrovą, užrašoma didžiausia bandinio atlaikoma apkrova ir apskaičiuojamas gniuždymo stipris. Grindinio trinkelų gniuždymo stiprio nustatymui buvo pagaminta po 16 kiekvienos sudėties bandinių. Visų sudėčių bandymo rezultatai yra

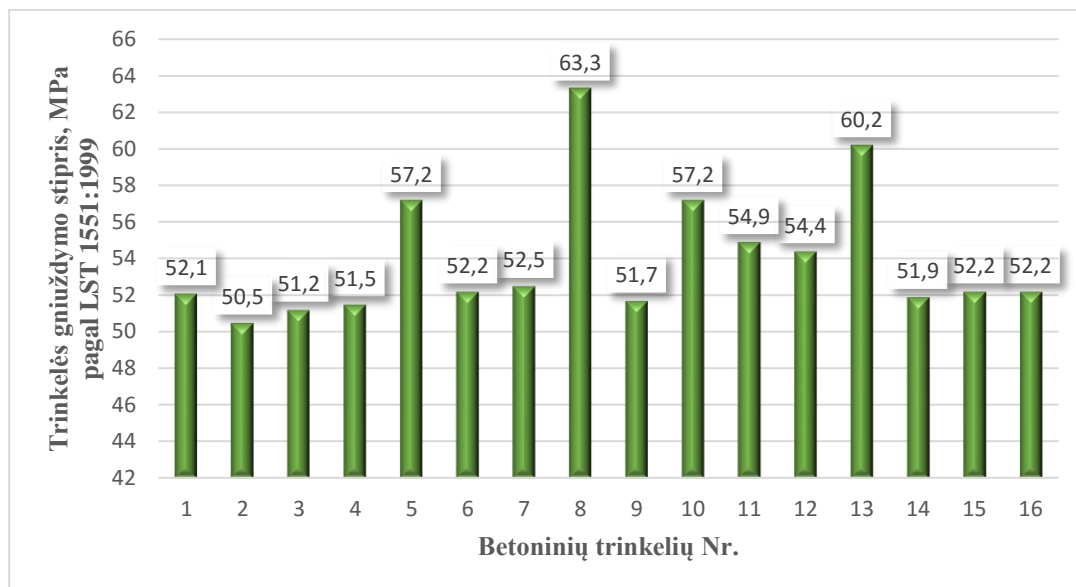
pateikti 3.6 lentelėje ir 3.10–3.13 paveiksluose. Tyrimas atliktas vadovaujantis 2.2.4 papunktyje aprašyta metodika.

3.6 lentelė. Betoninių trinkelių gniuždymo stipris, MPa pagal LST 1551:1999

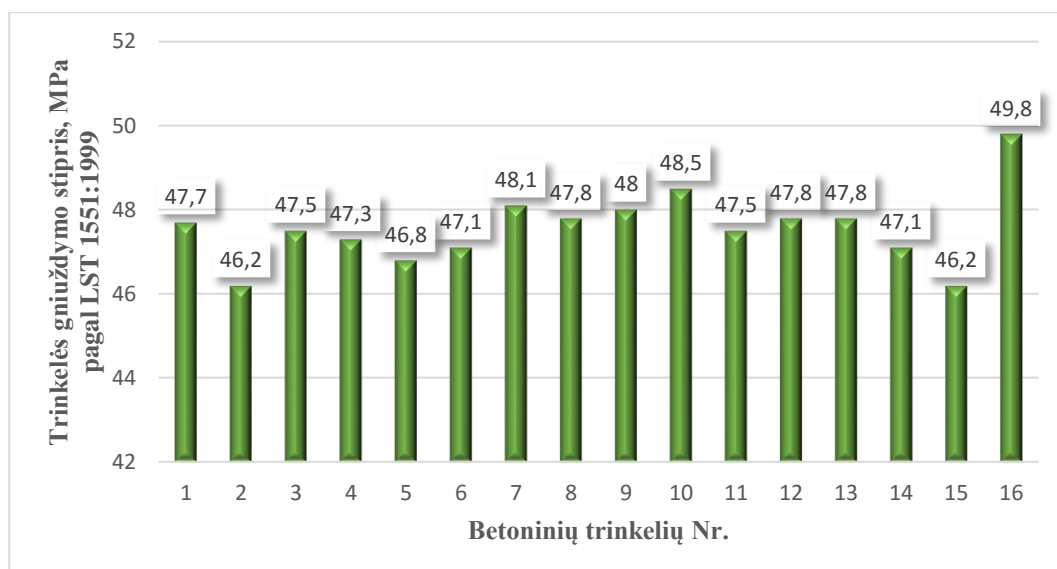
Nr.	Sudėtis Nr.1	Sudėtis Nr.2	Sudėtis Nr. 3
1	50,8	52,1	47,7
2	51	50,5	46,2
3	51,8	51,2	47,5
4	47,4	51,5	47,3
5	53,6	57,2	46,8
6	47,8	52,2	47,1
7	50,4	52,5	48,1
8	48,3	63,3	47,8
9	49,6	51,7	48
10	52,2	57,2	48,5
11	51,9	54,9	47,5
12	48,6	54,4	47,8
13	48,1	60,2	47,8
14	49,6	51,9	47,1
15	46,7	52,2	46,2
16	48,9	52,2	49,8
Vidurkis	49,8	54,1	47,6



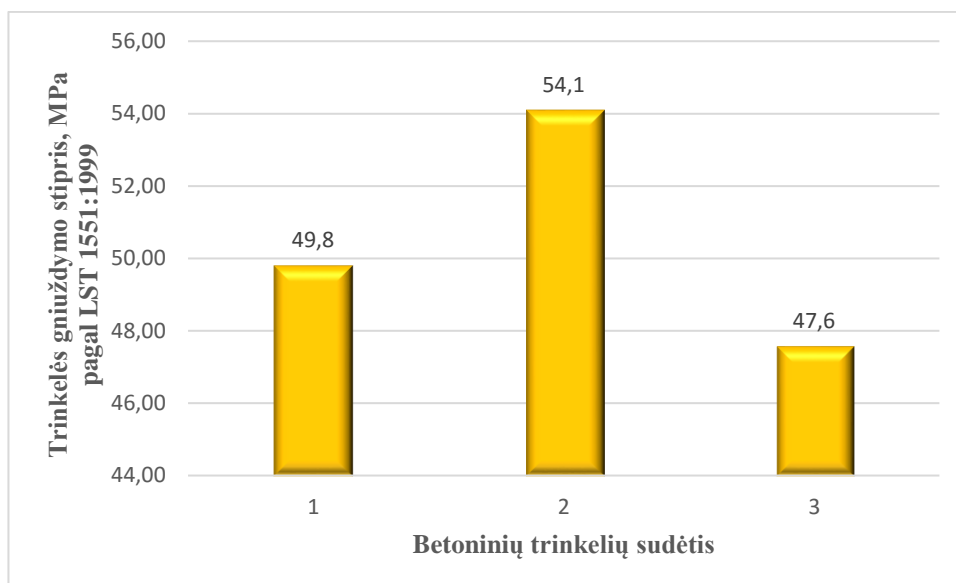
3.10 pav. Betoninių trinkelių sudėties Nr.1 gniuždymo stipris



3.11 pav. Betoninių trinkelių sudėties Nr.2 gniuždymo stipris



3.12 pav. Betoninių trinkelių sudėties Nr.3 gniuždymo stipris



3.13 pav. Betoninių trinkelėlių gniuždymo stipris

Betoninių trinkelėlių gniuždymo atitikties vertinimas statiniu metodu

Betoninių trinkelėlių standartinis nuokrypis apskaičiuojamas naudojant Microsoft Excel programos STDEVA funkcija.

Betoninių trinkelėlių sudėties Nr.1 gniuždymo stiprio standartinis nuokrypis – 1,97.

$$R_{\text{vid.}} - \lambda s > 40;$$

$$49,8 - 1,87 \times 1,97 > 40 \text{ (MPa)};$$

$$46,1 > 40 \text{ (MPa)}.$$

Betoninių trinkelėlių sudėties Nr.2 gniuždymo stiprio standartinis nuokrypis – 3,63.

$$R_{\text{vid.}} - \lambda s > 40;$$

$$54,1 - 1,87 \times 3,63 > 40 \text{ (MPa)};$$

$$47,3 > 40 \text{ (MPa)}.$$

Betoninių trinkelėlių sudėties Nr.3 gniuždymo stiprio standartinis nuokrypis – 0,87.

$$R_{\text{vid.}} - \lambda s > 40;$$

$$47,6 - 1,87 \times 0,87 > 40 \text{ (MPa)};$$

$$46,0 > 40 \text{ (MPa)}.$$

Išvada: Pagal gautus rezultatus darytina išvada, kad didžiausias gniuždymo stiprio rezultatas 54,1 MPa gaunamas gaminant betonines grindinio trinkeles pagal sudėtį Nr.2, kuri buvo gaminama su granitine skalda ir plastifikuojančiu priedu. Mažiausias gniuždymo stiprio rezultatas – 47,6 MPa, kuris gaunamas naudojant granitines atsijas ir žvirgždą. Sudėtys Nr. 1 ir Nr.3 neatitinka standarto LST 1551:1999 reikalavimų, o sudėtis Nr. 2 atitinka standarto LST 1551:1999 reikalavimus. Be to,

sudėties Nr. 3 gniuždymo stipris 5 proc. mažesnis nei sudėties Nr. 1. Atitinkamai, betoninių trinkelų stipris skeliant svyruoja taip:

- Sudėtis Nr. 1 – nuo 46,7 MPa iki 53,6 MPa;
- Sudėtis Nr. 2 – nuo 50,5 MPa iki 63,3 MPa;
- Sudėtis Nr. 3 – nuo 46,2 MPa iki 49,8 MPa.

IŠVADOS

1. Plastifikuojančio priedo panaudojimas betoninių grindinio trinkelių gamyboje pagreitina mišinio rišamąsi, padaro jį plastiškesnį, pagreitina kietėjimą, padidina stiprumą, nelaidumą vandeniui.

2. Plastifikuojančio priedo panaudojimas betoninių grindinio trinkelių gamyboje gali sumažinti vandens ir cemento kiekius, kurie įtakoja ekonomiką, didėjant cemento kainoms.

3. Eksploatuojant betoninių grindinio trinkelių dangas, joms negalima vykdyti vikšrinių transporto priemonių eismas, danga negali būti perkraunama didesnėmis apkrovomis, nei numatyta projektinėje dangos konstrukcijoje. Defektai betoninių grindinio trinkelių dangose atsiranda dėl blogai pagamintos ir įrengtos dangos bei netinkamos jos eksploatacijos.

4. Defektai betoninių grindinio trinkelių eksploatacijos metu gali atsirasti dėl netikslios mišinio sudėties, technologinių gamybos parametrų ir kt. Todėl būtina nuolat kontroliuoti pagrindines produkcijos savybes.

5. Statybinių medžiagų ir gaminių ilgaamžiškumo tyrimai tobulėja, tačiau ilgaamžiškumo problemos yra labai aktualios. Grindinio trinkelių ilgaamžiškumas vertinamas tik viena klase ir reikalaujamas rodiklis yra pakankamai didelis.

6. Trinkelė didžiausias tankis yra gaminio sudėties Nr. 2 ($2298,5 \text{ kg/m}^3$), kur buvo gaminama su granitine skalda ir plastifikuojančiu priedu. Mažiausias gaminio tankis sudėties Nr. 3 ($2126,1 \text{ kg/m}^3$), kur buvo gaminamas naudojant granitines atsijas ir žvirgždą. Betoninių trinkelė tankis svyruoja nuo $2014,4 \text{ kg/m}^3$ iki $2345,6 \text{ kg/m}^3$.

7. Mažiausias įgėris, gaunamas gaminant betonines grindinio trinkeles pagal sudėtį Nr. 2 (3,24 proc.), kur buvo gaminama su granitine skalda ir plastifikuojančiu priedu. Didžiausias vandens įgėris pagal sudėtį Nr. 3 (4,51 proc.) kur buvo gaminamas naudojant granitines atsijas ir žvirgždą. Visų sudėčių gauti rezultatai atitinka standarto LST EN1338:2003 keliamus reikalavimus. Betoninių trinkelė vandens įgėris svyruoja nuo 2,6 % iki 5,8 %.

8. Didžiausias tempiamojo stiprio skėlimu rezultatas 4,21 MPa yra gaunamas gaminant betonines grindinio trinkeles pagal sudėtį Nr. 2, kuri buvo gaminama su granitine skalda ir plastifikuojančiu priedu. Mažiausias tempiamojo stiprio skėlimu rezultatas 3,54 MPa gaunamas naudojant granitines atsijas ir žvirgždą. Sudėtyys Nr. 1 ir Nr. 2 atitinka standarto LST EN1338:2003 reikalavimus, o sudėtis Nr. 3 neatitinka standarto LST EN1338:2003 reikalavimų. Betoninių trinkelė tankis ir bendrojo vandens įgėris turi įtakos tempiamojo stiprio skėlimu rezultatui. Betoninių trinkelė stipris skeliant svyruoja nuo 3,2 MPa iki 4,8 MPa.

9. Didžiausias gniuždymo stiprio rezultatas 54,1 MPa gaunamas gaminant betonines grindinio trinkeles pagal sudėtį Nr. 2, kuri buvo gaminama su granitine skalda ir plastifikuojančiu priedu. Mažiausias gniuždymo stiprio rezultatas – 47,6 MPa, kuris gaunamas naudojant granitines atsijas ir žvirgždą. Sudėtys Nr. 1 ir Nr. 3 neatitinka standarto LST 1551:1999 reikalavimų, o sudėtis Nr. 2 atitinka standarto LST 1551:1999 reikalavimus. Betoninių trinkelių stipris skeliant svyruoja nuo 46,2 MPa iki 63,3 MPa.

10. Betoninių trinkelių sudėties Nr. 3, kurios buvo gaminamos naudojant granitines atsijas ir žvirgždą, tankis 3,5 proc. mažesnis, vandens įgėris 7,5 proc. didesnis, tempiamasis stipris skeliant 10 proc. mažesnis, gniuždymo stipris 5 proc. mažesnis nei betoninių trinkelių sudėties Nr. 1, kurios buvo gaminamos naudojant granitines atsijas ir granitinę skaldą.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

Baranauskaitė, E. 2013 „Plastifikuojančio priedo kiekio įtaka betono savybėms“. Vilnius. VGTU.

Сычев, М. М. Твердение вяжущих веществ. Ленинград: Стройиздат, 1974. 58 с.

Deltuva, J. 1982. Statybinės medžiagos. Mokslas, Vilnius. 348 p.

Deltuva J., Gailius A., Gumuliauskas A., Kalinauskas L., Malakauskas M., Martynaitis M. 1982 Statybinės medžiagos. Vilnius, Mokslas. 348 p.

Gurskis, V. 2008. Statybinės medžiagos. Kaunas: Ardiva, 8-54 p.

Haviv, Sh.; Ishai, I.; Argaman, G. 2009. The City of Eilat is Going for Concrete Block Paving, iš Proc. of the 9th International Conference on Concrete Block Paving. Buenos Aires. <http://sept.org/techpapers/1462.pdf>

Lekso, S. 1980. The Use Of Concrete Block Pavements for Highways, iš Proc. of the First International Conference on Concrete Block Paving: 102–103 p. Niukastlas. <http://sept.org/techpapers/83.pdf>

Knol, J. 2009. The Powerful Possibilities of Small Element Pavement for Designers of Public Space. 9th. International Conference on Concrete Block Paving. Buenos Aires, Argentina, 2009/10/18-21

Leonovič, I., Laurinavičius, A., Čygas, D., 2014. Keliai ir klimatas. Vilnius: Technika. 166 p

Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos generalinio direktoriaus 2014 m. vasario 21 d. įsakymas Nr. V-70 „Dėl automobilių kelių trinkelė, plokščių ir kitų medžiagų techninių reikalavimų aprašas TRA TRINKEĖS 14 patvirtinimo“, Teisės aktų registras, 2014-02-21, Nr. 1955.

Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos generalinio direktoriaus 2014 m. vasario 21 d. įsakymas Nr. V-72 „Dėl automobilių kelių dangos konstrukcijos iš trinkelė ir plokščių įrengimo metodiniai nurodymai MN TRINKEĖS 14 patvirtinimo“, Teisės aktų registras, 2016-02-21, Nr. 1923.

Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos generalinio direktoriaus 2014 m. vasario 21 d. įsakymas Nr. V-71 „Dėl automobilių kelių dangos konstrukcijos trinkelėlių ir plokščių įrengimo taisyklių ĮT TRINKELEŠ 14 patvirtinimo“, Teisės aktų registras, 2014-02-21, Nr. 1924.

Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos generalinio direktoriaus 2008 m. sausio 21 d. įsakymas Nr. V-7 „Dėl automobilių kelių standartizuotų dangų konstrukcijų projektavimo taisyklių KPT SDK 07 patvirtinimo“, Teisės aktų registras, 2008-02-07, Nr. 16-569.

LST EN 1338:2003+AC:2006. Betoninės grindinio trinkelės. Reikalavimai ir bandymo metodai. Vilnius. VGTU. 5-10 p.

LST EN 1339:2003. Betoninės grindinio plokštės. Reikalavimai ir bandymo metodai. Vilnius. 4 p.

LST EN 1340:2003. Betoniniai bordiūrai. Reikalavimai ir bandymo metodai.

LST 1551.1:1999/1K:2002. Betoniniai aplinkos tvarkymo gaminiai. Bandymo metodai. Stiprio gniuždant ir lenkiant nustatymas.

LST EN 12620:2003 Betono užpildai. Vilnius, 2003. 6 - 10 p.

LST EN 12620:2002. Betono užpildai. Vilnius, 2002.

LST EN 1008:2003 Vanduo betonui. Techniniai vandens ėminių ėmimo, bandymo ir tinkamumo reikalavimai, įskaitant grąžinamą iš gamybos betono pramonėje vandenį, pakartotinai naudojamą betono mišiniui ruošti. Vilnius, 2003. 18 p.

LST EN 197-1: 2001. Cementas. 1 dalis. Įprastinių cementų sudėtis, techniniai reikalavimai ir atitikties kriterijai. Vilnius, 2002. 16 p.

Matschei T. ir kt. Cement and Concrete Research 2007. The role of calcium carbonate in cement hydration.

Mavin, K.C., 1980. Interlocking block paving in Australian Residential streets. Proceedings 1st international conference on concrete block paving, newcastle, 150-154 p.

Michau, P., Wilson, D. E. 1988. An Evaluation of Typical Concrete Block Pavement Failures in South Africa, iš Proc. of the Third International Conference on Concrete Block Paving: 243–250. Roma. <http://sept.org/techpapers/124.pdf>

Nagrockienė, D., Žurauskienė, R., Mačiulaitis, A., Kičaitė, A., Gailius, A. Červokienė, A. 2010. Medžiagų mokslas. Laboratorinių darbų metodikos nurodymai. Vilnius: Technika 94-97 p.

Naujokaitis, A. 2007. Statybinės medžiagos. Betonai. Vilnius: Technika. 200-209 p.

Skripkiūnas, G. 2007. Statybinių konglomeratų struktūra ir savybės. Kaunas. Lietuva. 336 p.

<http://www.keliiirtiltai.lt/>.

PRIEDAI

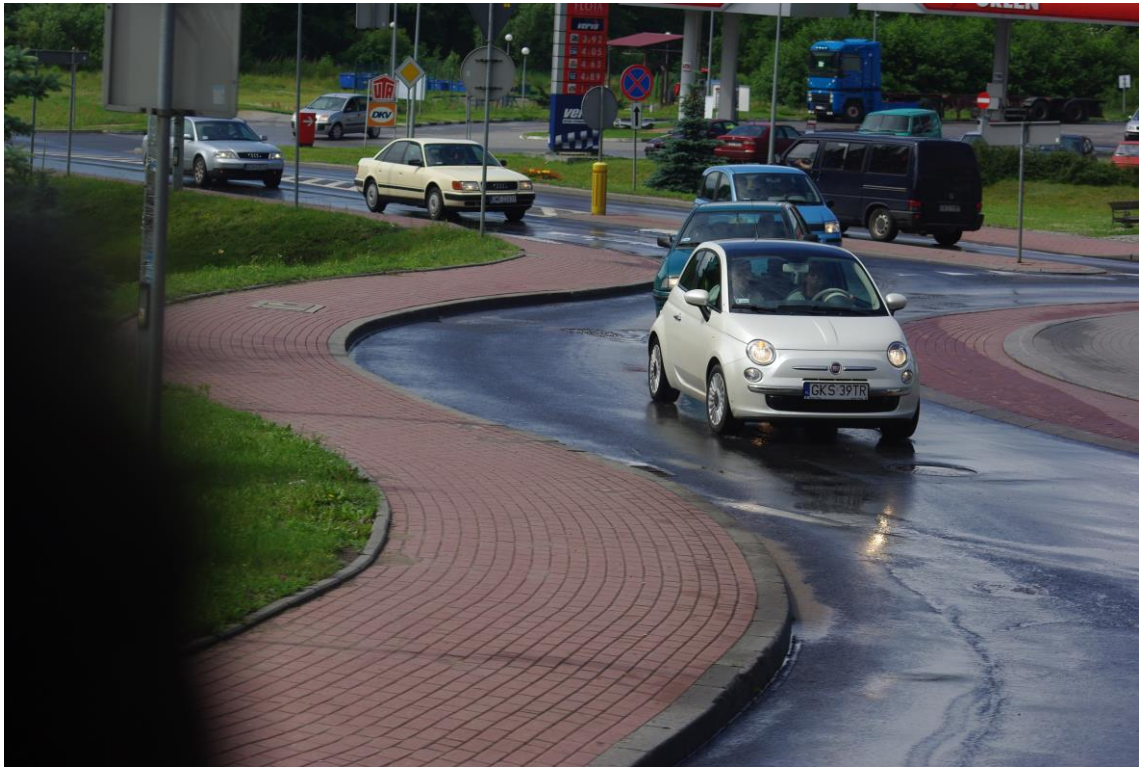
Betoninių grindinio trinkelių panaudojimas Nyderlanduose. Autoriaus nuotraukos



1 pav. Betoninių trinkelių panaudojimas automobilių stovėjimo aikštelėje



2 pav. Betoninių trinkelių panaudojimas automobilių stovėjimo aikštelėje



3 pav. Betoninių trinkelų panaudojimas žiedinės sankryžos prieigose



4 pav. Betoninių trinkelų panaudojimas gatvės susiaurinimui



5 pav. Betoninių trinkelų panaudojimas greičio mažinimo kalneliui



6 pav. Betoninių trinkelų panaudojimas eismo juostų atskyrimui



7 pav. Betoninių trinkelų panaudojimas eismo juostų atskyrimui



8 pav. Betoninių trinkelų panaudojimas gyvenamajame kvartale



9 pav. Betoninių trinkelų panaudojimas automobilių stovėjimui



10 pav. Betoninių trinkelų panaudojimas žiedinės sankryžos įrengimui