



**Kauno technologijos universitetas**

Statybos ir architektūros fakultetas

# **Šviesai laidaus betono panaudojant akrilo strypelius tyrimai**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Guoda Balvočiūtė**

Projekto autorė

**Doc. dr. Ernestas Ivanauskas**

Vadovas

---

**Kaunas, 2021**



**Kauno technologijos universitetas**

Statybos ir architektūros fakultetas

# **Šviesai laidaus betono panaudojant akrilo strypelius tyrimai**

Baigiamasis magistro projektas

Statybinių konstrukcijų ir gaminių inžinerija (6211EX008)

---

**Guoda Balvočiūtė**

Projekto autorė

**Doc. dr. Ernestas Ivanauskas**

Vadovas

**Doc. dr. Arūnas Aleksandras  
Navickas**

Recenzentas

---

**Kaunas, 2021**



**Kauno technologijos universitetas**

Statybos ir architektūros fakultetas

Guoda Balvočiūtė

## **Šviesai laidaus betono panaudojant akrilo strypelius tyrimai**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

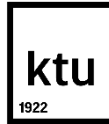
Patvirtinu, kad mano, Guodos Balvočiūtės, baigiamasis projektas tema „Šviesai laidaus betono panaudojant akrilo strypelius tyrimai“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

Guoda Balvočiūtė

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS**

**Magistro baigiamojo projekto užduotis**

Studijų programa: 6211EX008 STATYBINIŲ KONSTRUKCIJŲ IR GAMINIŲ INŽINERIJA

Baigiamojo projekto tema (lietuvių k.):  
ŠVIESAI LAIDŽIŲ BETONINIŲ STATYBOS PRODUKTŲ TYRIMAI IR PANAUDOJIMAS

Baigiamojo projekto tema patvirtinta dekanu potvarkiu Nr.: 2020 m. lapkričio 30 d. Nr. V25-09-18

(lietuvių k.):  
ŠVIESAI LAIDŲ BETONO PANAUDOJANT AKRILŲ STRYPELIUS TYRIMAI

(anglų k.):  
RESEARCH OF LIGHT TRANSMITTING CONCRETE USING ACRYLIC RODS

Pradiniai duomenys darbui (pagal poreikį):

--

**Baigiamojo projekto dalys:**

	<b>Atlikti</b>
Įvadas	<b>x</b>
Literatūros apžvalga	<b>x</b>
Metodologija	<b>x</b>
Eksperimentiniai tyrimai	<b>x</b>
Analitiniai tyrimai	<input type="checkbox"/>
Skaitiniai tyrimai	<input type="checkbox"/>
Ekonominė dalis	<input type="checkbox"/>
Išvados	<b>x</b>

**Kita informacija (pagal poreikį), susitikimų su vadovu savaitės diena (-os) bei laikas:**

--

**Vadovas:** \_\_\_\_\_ Doc. dr. Ernestas Ivanauskas \_\_\_\_\_  
(indėlis 100 %) \_\_\_\_\_  
*pareigos, vardas, pavardė* \_\_\_\_\_ *parašas*

**Konsultantas:** \_\_\_\_\_  
(indėlis \_\_\_\_\_ %) \_\_\_\_\_  
*pareigos, vardas, pavardė* \_\_\_\_\_ *parašas*

**Konsultantas:** \_\_\_\_\_  
(indėlis \_\_\_\_\_ %) \_\_\_\_\_  
*pareigos, vardas, pavardė* \_\_\_\_\_ *parašas*

**Studentas:** \_\_\_\_\_ Guoda Balvočiūtė \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ *vardas, pavardė* \_\_\_\_\_ *parašas*

Balvočiūtė, Guoda. Šviesai laidaus betono panaudojant akrilo strypelius tyrimai. Magistro baigiamasis projektas / vadovas / Doc. dr. Ernestas Ivanauskas; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): inžinerijos mokslai, Statybos inžinerija (E05).

Reikšminiai žodžiai: šviesai laidus betonas, optinis pluoštas, polimetilmetakrilatas, akrilas, betonas.

Kaunas, 2021. 45 p.

### **Santrauka**

Šviesai laidus betonas viena inovatyviausių ir mažiausiai ištirtų medžiagų. Šis betonas turi nemažai pranašumų lyginant su įprastu betonu, todėl norint kuo racionaliau išnaudoti šios medžiagos turimas savybes svarbu tirti ir analizuoti šviesai laidų betoną.

Tiriamąjį darbą buvo gaminami šviesai laidaus betono bandiniai panaudojant akrilo strypelius, norint ištirti pagrindines savybes ir nustatyti, kokią įtaką daro betone esantis skirtingas pluošto kiekis.

Magistro baigiamąjį projektą sudaro šios dalys: literatūros apžvalga ir išvados, tyrimo metodų aprašymas, bandinių gamybos procesas, rezultatų ir pritaikymo sričių aptarimas, galutinės darbo išvados. Apžvalginėje dalyje aptariamos šviesai laidaus betono pritaikymo galimybės, pagrindinių medžiagų savybės, galimi gamybos technologijos būdai, pagrindinės šviesai laidaus betono savybės. Metodinėje dalyje aprašoma visų atliekamų tyrimų eiga. Toliau aprašoma pasirinkta bandinių gamybos technologija ir gamybos proceso eiga, aptariami ir analizuojami gauti rezultatai, pateikiamos išvados.

Šiame darbe buvo ištirtos šios šviesai laidaus betono savybės: gniuždymo stipris, laidumas šviesos srautui prieš ir po sendinimo ultravioletinių spindulių kameroje, vandens įgėris ir atsparumas šalčiui. Taip pat laboratoriniais tyrimais buvo nustatyta užpildų granulimetrinė sudėtis, savaimė susitankinančio betono mišinio tankis, slankumas, klampa, nustatytas oro kiekis mišinyje.

Balvočiūtė, Guoda. Research of Light Transmitting Concrete Using Acrylic Rods / supervisor Doc. dr. Ernestas Ivanauskas; Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: light transmitting concrete, optical fiber, polymethyl methacrylate, acrylic, concrete.

Kaunas, 2021. 45 p.

### **Summary**

Light-transmitting concrete is one of the most innovative and least researched materials. This concrete has a number of advantages over conventional concrete, so it is important to study and analyze light-transmitting concrete in order to make the most rational use of its properties.

During the research work, light-transmitting concrete samples were produced using acrylic rods to investigate the main properties and to determine the effect of different amounts of fiber in the concrete.

The master's final project consists of the following parts: literature review and conclusions, description of research methods, sample production process, discussion of results and areas of application, final conclusions of the work. The review part discusses the application possibilities of light-transmitting concrete, the properties of the main materials, possible production technology methods, the main properties of light-transmitting concrete. The methodological part describes the course of all performed research. The selected sample production technology and the course of the production process are described below, the obtained results are discussed and analyzed, and conclusions are presented.

In this work, the following properties of light-transmitting concrete were investigated: compressive strength, conductivity to light flow before and after aging in an ultraviolet chamber, water absorption and resistance to frost. Also, the granulometric composition of the aggregates, the density, slump-flow, viscosity of the self-compacting concrete mix, and the amount of air in the mix were determined by laboratory tests.

## Turinys

<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>9</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>10</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>12</b>
<b>1. Literatūros apžvalga .....</b>	<b>13</b>
1.1. Šviesai laidus betonas ir jo gaminių pritaikymas .....	13
1.2. Polimetilmetakrilato fizikinės savybės.....	13
1.3. Savaime susitankinantis betonas .....	14
1.4. Šviesai laidaus betono gamybos technologija .....	14
1.5. Pagrindinės šviesai laidaus betono savybės .....	15
1.5.1. Stipris gniuždant ir lenkiant.....	15
1.5.2. Laidumas šviesai .....	20
1.5.3. Vandens įgėriamumas ir poringumas .....	21
1.5.4. Atsparumas šalčiui.....	22
1.5.5. Tankis .....	23
1.5.6. Laidumas šilumai.....	24
1.5.7. Atsparumas UV spinduliutei .....	24
1.6. Literatūros apžvalgos išvados.....	25
<b>2. Metodai ir bandinių gamyba .....</b>	<b>26</b>
2.1. Tyrimo metodai .....	26
2.1.1. Granulimetrinės sudėties nustatymas .....	26
2.1.2. Betono mišinio tankio nustatymas.....	27
2.1.3. Oro kiekio betono mišinyje nustatymas manometru .....	28
2.1.4. Betono mišinio slankumo nustatymas pagal pasklidos skersmenį.....	29
2.1.5. Betono klampos klasės nustatymas pagal betono pasklidimo greitį .....	31
2.1.6. Betono klampos klasės nustatymas pagal ištekėjimo trukmę (V pavidalo piltuvus).....	31
2.1.7. Stiprumo gniuždant nustatymas .....	33
2.1.8. Šviesos pralaidumo nustatymas.....	34
2.1.9. Šviesos pralaidumo nustatymas po bandinių pagreitinimo ultravioletinės spinduliuotės kameroje .....	34
2.1.10. Vandens įgėrio nustatymas.....	35
2.1.11. Atsparumo šalčiui nustatymas tūriniu užšaldymo ir atšildymo metodu.....	36
2.2. Bandinių gamybos procesas .....	37
<b>3. Tyrimų rezultatai.....</b>	<b>40</b>
3.1. Granulimetrinės sudėties rezultatai .....	40
3.2. Savaime susitankinančio betono mišinio tyrimų rezultatai .....	40
3.2.1. Oro kiekio betono mišinyje nustatymo rezultatai.....	40
3.2.2. Betono mišinio pasklidos nustatymo rezultatai .....	41
3.2.3. Betono mišinio klampos nustatymo rezultatai .....	41
3.3. Stiprio gniuždant rezultatai.....	41
3.4. Šviesos srauto perduodamo per bandinius rezultatai.....	43
3.5. Šviesos laidumo po sendinimo UV kameroje rezultatai.....	44
3.6. Vandens įgėrio rezultatai .....	44
3.7. Betono atsparumo šalčiui tyrimo tūriniu užšaldymu ir atšildymu rezultatai.....	45
3.8. Šviesai laidaus betono panaudojimo sritys.....	46

<b>Išvados .....</b>	<b>47</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>48</b>
<b>Priedai.....</b>	<b>52</b>
1 priedas. Granulometrinės sudėties nustatymas. Sijojimo metodas.....	52
2 priedas. Stiprumo gniuždant nustatymas .....	53
3 priedas. Betoninių bandinių šviesos pralaidumo parametrai .....	54
4 priedas. Stiprumo gniuždant nustatymas praėjus 100 šalčio ciklą .....	60



## Lentelių sąrašas

<b>1 lentelė.</b> Stambumas arba smulkumas pagal stambumo modulį [31] .....	27
<b>2 lentelė.</b> Savaimė susitankinančio betono pasklidos klasė [36] .....	31
<b>3 lentelė.</b> Savaimė susitankinančio betono klampos klasė ( <i>t</i> 500) [36] .....	31
<b>4 lentelė.</b> Savaimė susitankinančio betono klampos klasė ( <i>t<sub>v</sub></i> ) [36] .....	33
<b>5 lentelė.</b> Betono atsparumo šalčiui markė [43] .....	37
<b>6 lentelė.</b> Betono mišinio sudėtis .....	37
<b>7 lentelė.</b> Savaimė susitankinančio betono mišinio parametrai .....	41
<b>8 lentelė.</b> Savaimė susitankinančio betono mišinio pasklidos klasė .....	41
<b>9 lentelė.</b> Savaimė susitankinančio betono mišinio klampa pagal pasklidimo greitį ir ištekėjimo trukmę .....	41
<b>10 lentelė.</b> Šviesai laidaus betono bandinių laidumas šviesai .....	43
<b>11 lentelė.</b> Bandinių laidumo šviesai parametrai po sendinimo UV kameroje .....	44
<b>12 lentelė.</b> Šviesai laidaus betono bandinių vandens įgeriamumo parametrai .....	45

## Paveikslų sąrašas

<b>1 pav.</b> Metilmetakrilato ir polimetilmetakrilato struktūra [10] .....	13
<b>2 pav.</b> Pluošto išdėstymas [18].....	15
<b>3 pav.</b> Šviesai laidaus betono stipris gniuždant po 7 ir 28 dienų [21].....	16
<b>4 pav.</b> Gniuždymo ir lenkimo bandymų rezultatai [22] .....	16
<b>5 pav.</b> Šviesai laidaus betono su optiniu pluoštu lenkimo bandymo schema [22].....	17
<b>6 pav.</b> Gniuždymo bandymo stiprumo palyginimas diagramoje [23].....	17
<b>7 pav.</b> Vidutinis betono bandinių atsparumas gniuždymui. B – betoninis bandinys be optinio pluošto, A1 – betoninis bandinys su 3,2 % optinio pluošto, kai gniuždymo jėga veikė lygiagrečiai pluošto, A2 – betoninis bandinys su 3,2 % optinio pluošto, kai gniuždymo jėga veikė statmenai pluošto [1] ....	18
<b>8 pav.</b> Stiprio gniuždant kitimas laike pagal pluošto skersmenį (1,5 mm, 2 mm, 3 mm) [24] .....	19
<b>9 pav.</b> Stipris lenkiant priklausomai nuo optinio pluošto kiekio (po 7 ir 90 dienų) [24] .....	19
<b>10 pav.</b> Gniuždymo ir lenkimo jėgos veikimo kryptis pluošto atžvilgiu [25] .....	20
<b>11 pav.</b> Gniuždymo atsparumo tyrimo bandinių be pluošto ir su pluoštu rezultatai [25].....	20
<b>12 pav.</b> Šviesos praeinančios per bandinį intensyvumas priklausomai nuo pluošto kiekio [27] .....	21
<b>13 pav.</b> Optinio pluošto/matricos sąveikos su esamomis tuštumomis SEM analizė (padidinta 160 kartų) [25] .....	22
<b>14 pav.</b> Šalčio ciklų bandymo metodologija [28] .....	23
<b>15 pav.</b> Šviesai laidaus betono bei šviesai laidaus betono panaudojant lengvuosius užpildus bandinių tankiai [29].....	23
<b>16 pav.</b> Bandinių laidumas šilumai [19] .....	24
<b>17 pav.</b> PMMA šviesos laidumas prieš ir po švitinimo [13].....	25
<b>18 pav.</b> Oro kiekio matavimo indas ir jo schema: 1 – ventilis A, 2 – ventilis B, 3 – pompa, 4 – pagrindinis oro ventilis, 5 – manometras, 6 – oro kamera, 7 – oro išleidimo ventilis, 8 – prispaudimo mechanizmas, 9 – prailgintas kalibravimo vamzdelis, 10 – indas [34].....	29
<b>19 pav.</b> Pagrindo plokštės parametrai [35].....	30
<b>20 pav.</b> Betono mišinio pasklidimas .....	30
<b>21 pav.</b> Kūgis užpildytas betono mišiniu .....	31
<b>22 pav.</b> V pavidalo piltuvo schema ir parametrai [37].....	32
<b>23 pav.</b> V pavidalo piltuvas užpildytas betono mišiniu .....	32
<b>24 pav.</b> Hidraulinis presas Controls „Pilot4“ .....	33
<b>25 pav.</b> Apšvieta.....	34
<b>26 pav.</b> Bandiniai UV spinduliuotės kameroje .....	35
<b>27 pav.</b> Vidinių formos sienelių matmenys bei akrilo strypelių išdėstymas, kai bandinyje yra 6 %, 4 % ir 2 % strypelių .....	38
<b>28 pav.</b> Akrilo strypeliai ir vidinės formų sienelės .....	38
<b>29 pav.</b> Metalinė forma prieš supilant ir jau išliejus betono mišinį .....	39
<b>30 pav.</b> Šviesai laidaus betono bandinys ir vaizdas išdidintas su mikroskopu .....	39
<b>31 pav.</b> Smėlio fr. 0/2 granulimetrinės sudėties grafikas .....	40
<b>32 pav.</b> Betono bandinių stipris gniuždant priklausomai nuo pluošto kiekio .....	42
<b>33 pav.</b> Bandinių suirimas gniuždant: a) – kontrolinio betono bandinys, b) – šviesai laidaus betono bandinys gniuždytas, kai pluoštas išdėstytas horizontaliai, c) – šviesai laidaus betono bandinys gniuždytas, kai pluoštas išdėstytas vertikaliai .....	42
<b>34 pav.</b> Šviesai laidaus betono bandiniai – su 2 %, 4 % ir 6 % pluošto (žiūrėti iš apačios į viršų)..	43

<b>35 pav.</b> Šviesai laidūs betoniniai bandiniai praėjus 100 šaldymo ciklą: a) – bandiniai su 2 % pluošto, b) – bandiniai su 4 % pluošto, c) – bandiniai su 6 % pluošto.....	45
<b>36 pav.</b> Stiprio gniuždant kitimas priklausomai nuo pluošto kiekio bandiniuose prieš ir po šalčio ciklą .....	46

## Įvadas

Betonas kaip medžiaga buvo pažįstama dar Antikos laikais, tačiau medžiagos struktūra ir sudėtinės dalys stipriai skyrėsi nuo mums žinomo šių dienų betono. Tačiau tik praėjus keliems tūkstančiams metų, betonas įgavo didžiulę svarbą žmonių gyvenime, kai sparčiai plėtėsi miestai, tobulėjo pramonė. XIX amžiaus viduryje, nenuostabu, kad būtent pramonės revoliucijos metu, Didžiojoje Britanijoje buvo sukurta ir užpatentuota pagrindinė betono sudedamoji dalis – portlandcementis. Neilgai trukus, buvo išrastas armuotas betonas, kuris greitai išpopuliarėjo ir leido statyti tvaresnius ir daugiau aukštų turinčius pastatus.

Betonas yra viena labiausiai paplitusių statybinių medžiagų, kuri pasižymi dideliu tvirtumu, ilgaamžiškumu ir prieinamumu. Tačiau betonas turi ir trūkumų, iš kurių vienas yra neestetinė išvaizda, norint tai pakeisti yra reikalinga papildoma apdaila. Tačiau bėgant metams statybų technologijos sparčiai vystosi, sukuriama vis daugiau inovatyvių medžiagų, viena jų – šviesai laidus betonas.

Vengrų architekto Arono Losonczy dėka statybų sektoriuje įvyko didžiulis perversmas. Mokslininkas į vieną medžiagą sujungė dvi sunkiai suderinamas savybes – skaidrumą ir didelę masę, o savo kūrinį pavadino šviesai laidžiu betonu (*LiTraCon – Light Transmitting Concrete*). Pagrindinė idėja, gaminant tokius konstrukcinius elementus kaip blokai ar plokštės, yra tolygiai išdėstyti optinius pluoštus horizontalia kryptimi prieš išliejant betoną. Šis betonas turi panašias stiprumo savybes kaip ir įprastas betonas, tačiau taip pat atrodo estetiškai, o praleisdamas šviesą leidžia matyti daiktų siluetus ir žmonių kontūrus. Naujos medžiagos reikšmė didžiulė, todėl informacija greitai išplito ir atsirado kitų modifikuotų variacijų nepakeičiant medžiagos pagrindinės savybės – laidumo šviesai [1, 2, 3].

Deja, šviesai laidaus betono panaudojimo kaip statybinės medžiagos tyrimų yra atlikta dar visai nedaug, ypač nustatančių galimo optinio pluošto išdėstymo būdų įtaką šviesos laidumui bei pluošto išdėstymo sąryšiui su fizikinėmis ir mechaninėmis savybėmis.

Darbo tikslas – sukurti šviesai laidaus betono gaminius ir įvertinti jų fizikinių ir mechaninių savybių dėsningumus.

Uždaviniai:

1. nustatyti optimaliausius optinio pluošto įmaišymo būdus į betono mišinį;
2. įvertinti galimo išsidėstymo ir koncentracijos įtaką šviesos pralaidumui;
3. ištirti pagamintų gaminių šviesos pralaidumo sąryšio tendencijas su mechaninėmis savybėmis;
4. palyginti įprastų betoninių bandinių ir šviesai laidžių betoninių bandinių mechanines ir fizikines savybes;
5. apžvelgti šviesai laidžių betoninių statybos produktų pritaikymo sritis.

## 1. Literatūros apžvalga

### 1.1. Šviesai laidus betonas ir jo gaminių pritaikymas

Betonas – tai kompozitinė medžiaga, sudaryta iš smulkių ir stambių užpildų, sujungtų su cemento pasta, kuri laikui bėgant kietėja. Betono yra įvairių rūšių, skirtingas betonas gaunamas keičiant betono sudedamųjų dalių proporcijas, įmaišant įvairių priedų. Betonai parenkami priklausomai nuo statomos konstrukcijos tipo, reikalingo stiprumo, aplinkos sąlygų ir pan.

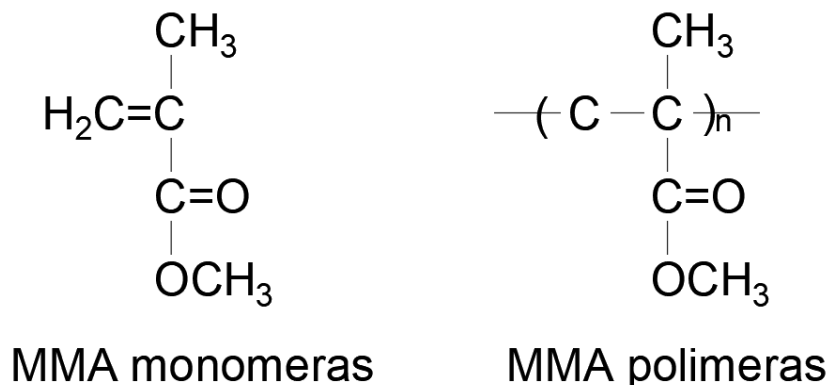
Dar prieš kelis dešimtmečius betonas buvo dažnai nuvertinama statybinė medžiaga, jis buvo neestetiškos išvaizdos ir nepatrauklus [4]. Betonai ilgą laiką buvo naudojami tik konstrukciniais tikslais, tačiau tobulėjant technologijoms bei keičiantis visuomenės poreikiams, taip pat paieškos medžiagos, kuri galėtų perduoti šviesą iš vieno paviršiaus į kitą ir kuri galėtų būti naudojama kaip statybinė medžiaga, mokslininkai atvedė prie naujos kompozitinės medžiagos – šviesai laidaus betono [5].

Šviesai laidus betonas yra inovatyvi medžiaga, kuri buvo sukurta būtent dekoravimo tikslais, tačiau dabar šią medžiagą galima pritaikyti labai įvairiai – statybų, architektūros, apdailos, baldų ir kitose srityse. Betonai, kurio pagrindinė savybė praleisti šviesą, leidžia geriau sąveikauti tarp konstrukcijos ir jos aplinkos, taip sukuriama natūresnė ir labiau vientisa aplinka, tuo pačiu sumažinant išlaidas skirtas papildomai apdailai [6].

Šiam betonui sukurti buvo pritaikyti ir panaudoti optiniai pluoštai. Betonai tampa skaidrus dėl jo viduje esančio optinio pluošto, kadangi pluoštai gali perduoti natūralią arba dirbtinę šviesą be jokios šilumos, šviesos ar fotocheminės reakcijos. Šviesai laidus betonas pasižymi geromis mechaninėmis savybėmis bei puikiomis architektūrinėmis savybėmis, pavyzdžiui, estetinė išvaizda, taip pat šio betono panaudojimo spektras yra labai platus [5, 7, 8]. Dar kitaip vadinamas – permatomas betonas yra novatoriškas sprendimas, kai šis betonas naudojamas pertvaroms, grindiniams, laiptams, kaip fasadų apdaila ir kt. [9].

### 1.2. Polimetilmetakrilato fizikinės savybės

Polimetilmetakrilatas (PMMA) yra vienas iš amorfinių polimerų, kurie priklauso akrilatų šeimai (1 pav.). Tai skaidrus, bespalvis polimeras, kurio stiklėjimo (perėjimas iš skystos į stiklišką būseną) temperatūra svyruoja nuo 100 °C iki 130 °C, o 130 °C temperatūroje polimeras lydosi. Polimetilmetakrilato tankis kambario temperatūroje yra 1,20 g/cm<sup>3</sup>, jis taip pat pasižymi mažu šilumos laidumu, akrilo šilumos laidumo koeficientas –  $\lambda = 0,2 \text{ W/(mK)}$  [10, 11].



1 pav. Metilmetakrilato ir polimetilmetakrilato struktūra [10]

Polimetilmetakrilas, kuris dar kitaip vadinamas akrilu, turi didelį atsparumą saulės spindulių poveikiui, nes dėl ultravioletinės spinduliuotės, kinta nežymiai. Jis pasižymi labai geru šiluminiu stabilumu, yra žinoma, kad gali atlaikyti nuo 100 °C iki –70 °C temperatūrą. Akrilas taip pat pasižymi geromis optinėmis savybėmis, jo lūžio rodiklis yra 1,49, o pavyzdžiui, stiklo lūžio rodiklis svyruoja nuo 1,49 iki 1,96 [10, 12].

Akrilas turi didelį tamprumo (Jungo) modulį ir mažą pailgėjimą lūžtant, todėl jis nesutrūkinėja lūžus ir yra vienas stipriausių termoplastikų, pasižyminčių dideliu atsparumu įbrėžimams. Šis polimeras yra atsparus cheminėms medžiagoms, jo neveikia dauguma laboratorinių chemikalų vandeniniai tirpalai, tačiau jis turi mažą atsparumą chloruotiems ir aromatiniams angliavandeniliams, esteriams ar ketonams [10].

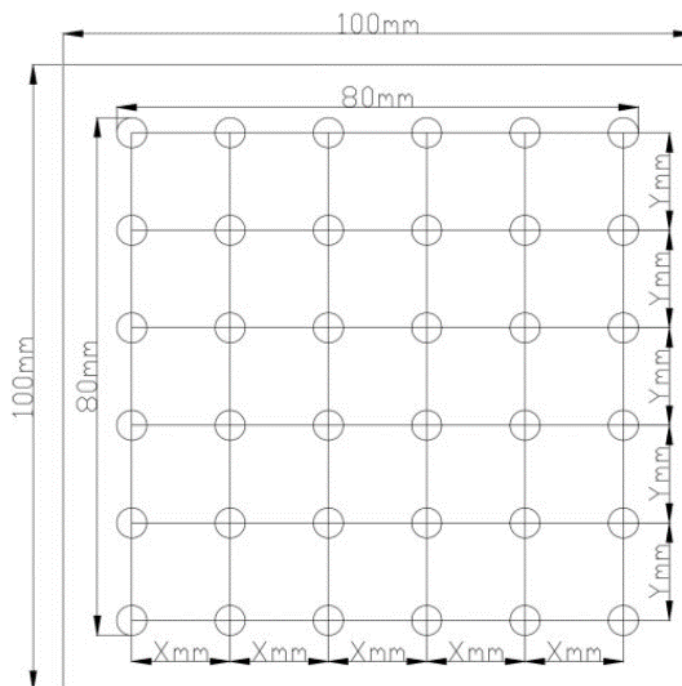
Dėl fizinių savybių polimeras yra labai plačiai pritaikomas įvairiose srityse. Pavyzdžiui, kontaktiniams lęšiams, permatomoms plokštėms, pramoninėms dalims, stiklo pakaitalams (dėl didesnio atsparumo smūgiams), taip pat vaistams gaminti bei automobilių pramonėje (automobilių priekiniai žibintai) ir kt. [13].

### **1.3. Savaimė susitankinantis betonas**

Betonas yra viena svarbiausių statybinių medžiagų, naudojamų šių dienų statyboje, tačiau tobulėjant technologijoms, sudėtingėja ir pastatų konstrukcijos, todėl kai kuriais atvejais betoną būna sunku sutankinti ir betonai negali pasiekti tokio stiprumo, kokį turėtų. Tokijo universiteto mokslininkai suprasdami šią problemą 1990 metais sukūrė savaimė susitankinantį betoną [14]. Šis betonai lengvai pasiskirsto klojiniuose, todėl nesukelia vandens išsiskyrimo ar užpildų išsislukosniavimo, o tai užtikrina geras konstrukcijų eksploatacines savybes. Taip pat betonai gali lengvai tekėti ir užpildyti sudėtingas klojinio formas bei tarpelius tarp armatūrų be jokio papildomo vibravimo ir sutankinimo liejimo metu [15]. Savaimė susitankinantis betonai gali būti naudojamas tiek surenkamo gelžbetonio gaminiams, tiek betonuojant darbų aikštelėje. Naudojant savaimė susitankinantį betoną gaunamos patvarios betoninės konstrukcijos, taupomas darbo laikas ir mažinamas triukšmo lygis, nes nereikia betono mišinio papildomai sutankinti [16].

### **1.4. Šviesai laidaus betono gamybos technologija**

Šviesai laidaus betonai gali būti gaminamas panaudojant skirtingų struktūrų medžiagas [17]. Viena iš jų yra plastikiniai optiniai pluoštai. Norint pagaminti šviesai laidų betoną su optiniu pluoštu, svarbiausia yra teisingai išdėlioti pluoštą taip, kad optiniai pluoštai būtų tolygiai pasiskirstę visame bandinyje (2 pav.). Gamybos procesui atlikti yra naudojamas specialus klojinys, kurio dviejose plokštumose yra išgręžtos kiaurymės, skirtos įterpti pluoštui, likusios plokštumos turi apriboti liejamą betoną iš apačios ir šonų. Pasiruošus klojinį betonai pilamas į formą ir suvibruojamas ant vibracinio stalo [18].



**2 pav.** Pluošto išdėstymas [18]

Tačiau naudoti optinį pluoštą kaip šviesos laidininką yra labai brangu, o jo išdėstymo technologija yra sudėtinga, šios priežastys trukdo plataus masto produkcijos gamybai. Atsižvelgiant į tai, 2010 metais „Italcementi Groupe“ sukūrė naujo tipo šviesą praleidžiančią skaidrią termoplastinę polimerinę dervą.

Šviesai laidaus betono su derva gamybos procesą sudaro keturi etapai: šviesai laidžių elementų formos gamyba, silikoninio klojinio gamyba, šviesai laidžių elementų gamyba, cemento matricos įterpimas. Ši technologija yra paprasta, panaudojus skysto pavidalo dervą sukuriama norimos formos šviesai laidūs elementai, tada jie išdėliojami būsimame bandinio klojinyje ir visas yra užpilama skysto betono mase [19].

## **1.5. Pagrindinės šviesai laidaus betono savybės**

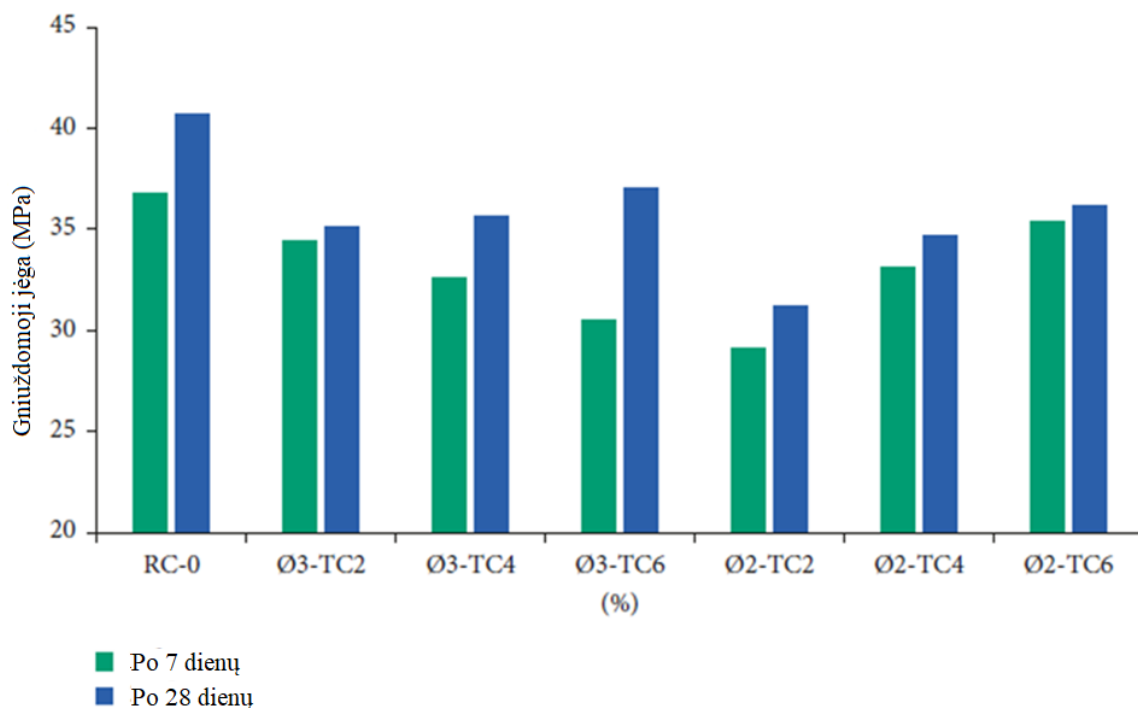
Šviesai laidaus betono savybių tyrimai buvo atlikti daugelio pasaulio šalių universitetuose. Norint išsiaiškinti savybių ypatumus, toliau yra atliekama pasirinktų straipsnių tyrimų analizė.

### **1.5.1. Stipris gniuždant ir lenkiant**

Stiprumas – medžiagos gebėjimas priešintis irimui ir deformacijoms. Šiuos veiksnius sukelia išorinės jėgos ir kiti aplinkos faktoriai. Tai pati svarbiausia konstrukcinių medžiagų, tokių kaip betonas, savybė. Kadangi betono stipris gniuždant yra apie 10-20 kartų didesnis nei stipris tempiant, betoninės konstrukcijos projektuojamos atsižvelgiant būtent į stiprio gniuždant rodiklius [20].

Šviesai laidaus betono pagrindines mechanines savybes ištyrė nemažai tyrėjų, vieni iš jų – Kenijos universitetų tyrėjai. Jie atliko permatomo betono, panaudojant plastikinio optinio pluošto skirtingą tūrio santykį – 2 %, 4 % ir 6 %, gniuždomojo bei lenkiamojo stiprio bandymus. Buvo nustatyta, kad šviesai laidaus betono bandinių gniuždymo stipris yra mažesnis nei įprasto betono, neatsižvelgiant į pluošto skersmenį, vidutiniškai stipris gniuždant buvo 8–24 % mažesnis (3 pav.). Tačiau taip pat pastebima, kad betono gniuždymo stipris santykinai padidėjo, padidėjus optinio pluošto tūrio

santykiui. Lenkimo bandymai parodė, kad bandinių su optiniu pluoštu lenkimo stipris buvo mažesnis nei įprasto betono. Be to, buvo pastebėta, kad permatomo betono lenkimo stipris mažėja, didėjant pluošto tūrio santykiui nepriklausomai nuo pluošto gijų skersmens. Tai siejama su sukibimu tarp optinio pluošto ir cemento matricos lenkimo metu. Remiantis atliktų matavimų rezultatais, permatomo betono lenkimo stipris buvo mažesnis 9–24 % nei įprastinio betono [21].



**3 pav.** Šviesai laidaus betono stipris gniuždant po 7 ir 28 dienų [21]

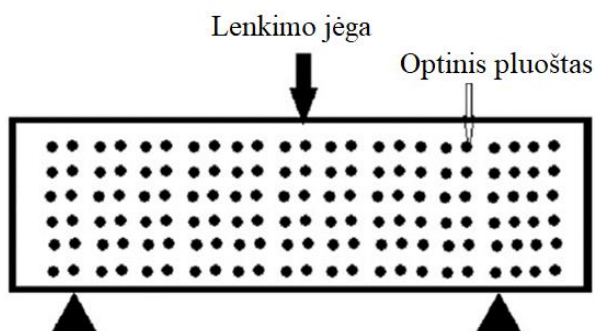
Taip pat Kinijos universitetų tyrėjai, atlikę bandymus su šviesai laidžiu betonu, panaudojant plastikinius optinius pluoštus, nustatė, kad bandinių, paruoštų su skirtingo skersmens ir tūrio pluošto gijomis, gniuždymo ir lenkimo stipriai sumažėjo didėjant pluošto tūrio daliai. Šviesą praleidžianti medžiaga buvo paruošta naudojant polimetilmetakrilao (PMMA) pluoštus, I/II tipo portlandcementį, užpildus, putoms neleidžiantį susidaryti priedą bei vandenį [22].

Optinio pluošto skersmuo (mm)	Tūrio dalis (%)	Pluošto gijų skaičius tiriamame paviršiuje	Stipris po 28 dienų (MPa)	
			Gniuždomasis stipris	Lenkiamasis stipris
–	–	–	70.5	9.1
1	1	1	67.3	8.7
1	2	2	64.1	8.2
1	3	3	61.5	8.0
1	4	4	57.6	7.6
0.5	0.25	1	70.1	9.1
0.5	0.5	2	69.1	8.8
0.5	0.75	3	68.2	8.8
0.5	1	4	66.7	8.6

**4 pav.** Gniuždymo ir lenkimo bandymų rezultatai [22]



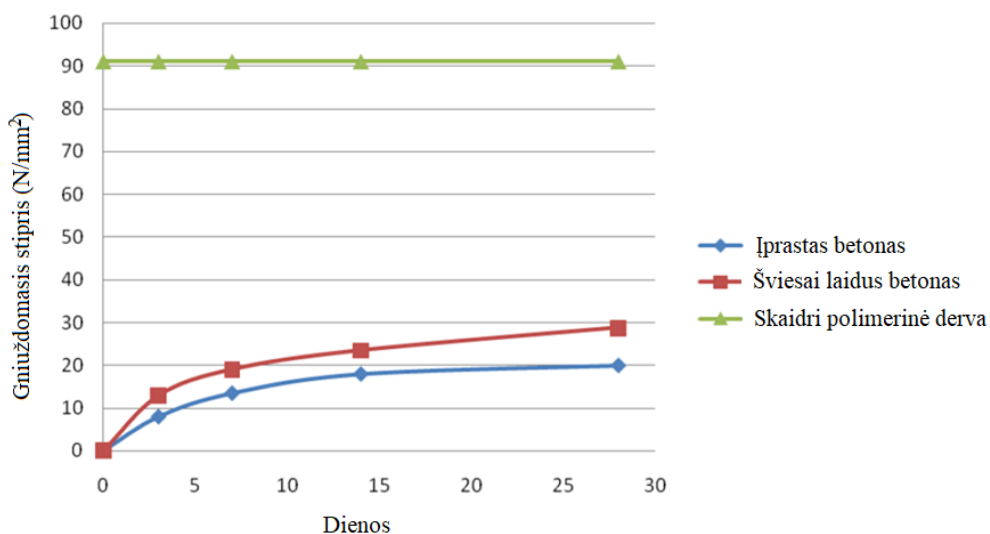
4 paveiksle matoma, kad šviesai laidaus betono stiprumas yra šiek tiek mažesnis nei gryno cemento skiedinio. Bandinių stiprumas mažėja didėjant optinio pluošto tūriui. Atliekant lenkimo bei gniuždymo stiprumo bandymą, pluoštai buvo išdėstyti statmenai jėgos veikimo kryptčiai (5 pav.).



5 pav. Šviesai laidaus betono su optiniu pluoštu lenkimo bandymo schema [22]

Bandinio, kurio šviesai laidžių elementų tūris siekia iki 4 %, gniuždymo stipris yra apie 81 % (19 % mažesnis nei gryno betono be pluoštų), o lenkimo stipris – 83 % palyginus su grynu betonu. Cemento skiedinio be pluošto konsistencijos slankumas, nustatytas pagal Kinijos nacionalinį standartą GB/T2419-2005, buvo 125 mm, kas rodo, kad skiedinys yra geros konsistencijos. Taip pat, skiedinyje nebuvo jokių išsiliejimo ar sluoksniavimosi reiškinių. Nustatyta, kad skiedinio ir šviesą praleidžiančios medžiagos bandinių paviršiai neturėjo aiškiai matomų porų po lenkimo stiprumo bandymų, paviršiai buvo lygūs [22].

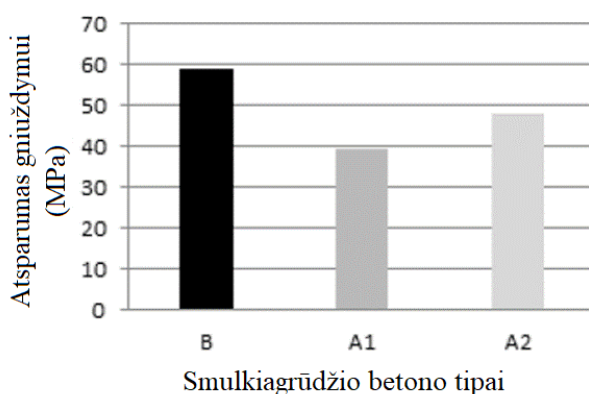
Indijos Technologijos Instituto tyrėjai tyrė šviesai laidaus betono su derva mechanines savybes gniuždymo atsparumo bandymuose nustatė, kad betono stiprumas nežymiai padidėjo naudojant dervą. Tyrimo metu buvo lyginami įprastinio betono 20 MPa stiprumo bandiniai bei to paties betono stiprumo bandiniai panaudojant termoplastinę dervą (6 pav.). Iš atliktų bandymų matoma, kad dervos stiprumas, kuris buvo 91 MPa, laikui bėgant nekito, todėl ši betono mišinio sudedamoji dalis leido pagerinti betono stiprį gniuždamt lyginant su įprastu betonu [23].



6 pav. Gniuždymo bandymo stiprumo palyginimas diagramoje [23]

Kinijos Technologijos universiteto tyrėjai taip pat atliko bandymus su dervos pagrindu pagaminto permatomo betono bandiniais, norėdami iširti šviesai laidaus elemento įtaką betono stiprumui gniuždant. Tyrimuose naudojamas skirtingas dervos ploto santykis atitinkamai buvo – 1,13 %, 2,0 %, 3,62 %, 4,54 % ir 6,2 %. Bandinių gniuždomojo stiprio bandymas buvo atliktas naudojant presą. Atlikus bandymus buvo nustatyta, kad tuo metu, kai bandinyje dervos ploto santykis buvo 4,54 %, jo stipris sumažėjo 1,9 %, o kai santykis buvo 6,2 %, stipris sumažėjo 3,5 %. Paaiškėjo, kad kuo didesnis dervos tūrio santykis, tuo didesnė sąveika tarp dviejų medžiagų, o tai padidino greitesnį įtrūkimų atsiradimą išilgai paviršiaus bei bandinių stiprumo sumažėjimą. Tyrėjai padarė išvadą, kad norint pagaminti šviesai laidų betoną panaudojus dervą, jos ploto santykis neturėtų viršyti 5 %, kadangi šiose ribose dervų įtaka bandinio stiprumui santykinai nedidelė, o gniuždymo stipris buvo panašus į įprasto betono [19].

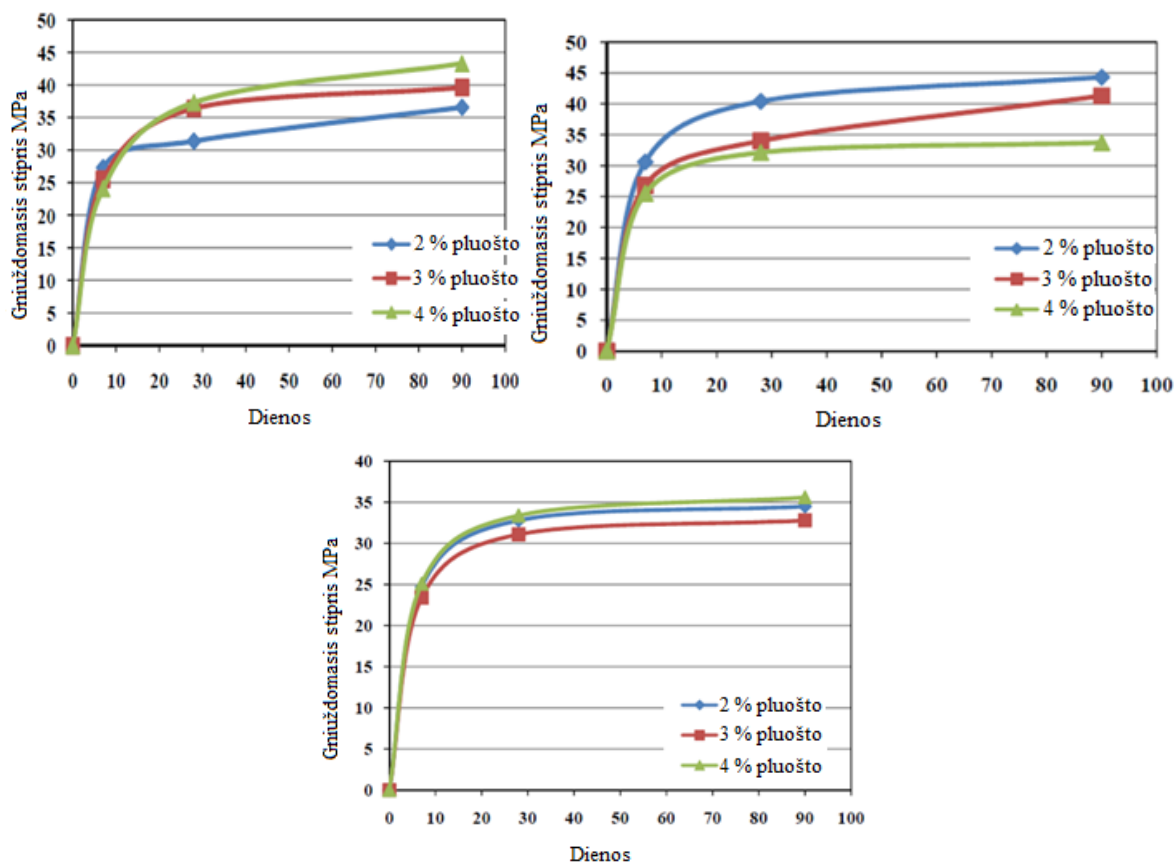
Lenkijos Technologijos universiteto tyrėjai atliko eksperimentinį tyrimą siekdami išanalizuoti gniuždymo apkrovos krypties įtaką šviesai laidaus betono bandiniuose. Rezultatai parodė, kad šviesai laidaus betono bandiniuose optinio pluošto išdėstymo kryptis daro įtaką betono stiprumui. Atsparumo gniuždymui tyrimai buvo atlikti praėjus 28 dienoms po bandinių paruošimo. Tyrėjai lygino dviejų rūšių bandinius: B – įprastinio betono bandinys, A1 ir A2 – šviesai laidaus betono bandiniai su 3,2 % optinio pluošto. Šviesai laidaus betono bandinių atsparumo gniuždymui tyrimai buvo atliekami dviem būdais. Pirmu atveju, gniuždymo jėga veikė lygiagrečiai pluošto išdėstymo kryptčiai (A1), kitu atveju, gniuždymo jėga veikė statmenai pluošto išdėstymo kryptčiai (A2). Atlikus tyrimą buvo nustatyta, kad abiem atvejais panaudojant optinį pluoštą betono atsparumas gniuždymui sumažėjo lyginant su įprastiniu betonu, tačiau lyginant kontrolinį betono bandinį su A1 bandiniu stiprumas sumažėjo 38,3 % (gniuždymo jėga veikė lygiagrečiai pluošto), o A2 bandinio stiprumas sumažėjo 18,9 % (gniuždymo jėga veikė statmenai pluošto) (7 pav.). Galima daryti išvadą, kad šviesai laidaus betono bandinių atsparumas gniuždant tiesiogiai priklauso nuo jėgos veikimo krypties, kuri veikia bandinį [1].



**7 pav.** Vidutinis betono bandinių atsparumas gniuždymui. B – betoninis bandinys be optinio pluošto, A1 – betoninis bandinys su 3,2 % optinio pluošto, kai gniuždymo jėga veikė lygiagrečiai pluošto, A2 – betoninis bandinys su 3,2 % optinio pluošto, kai gniuždymo jėga veikė statmenai pluošto [1]

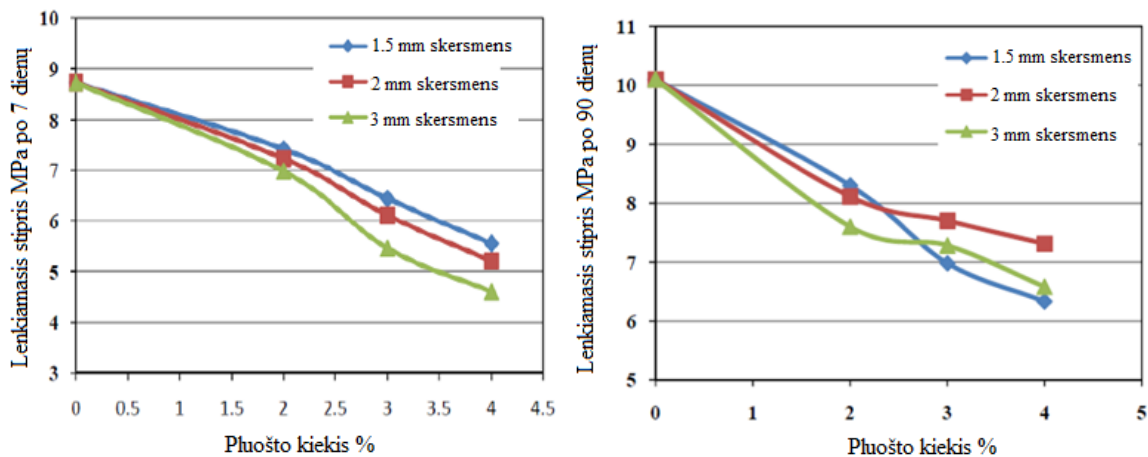
Dar vieno tyrimo metu Indijos GECA universiteto tyrėjas tyręs šviesai laidaus betono savybes nustatė, kad didėjant optinio pluošto kiekiui, betono stipris gniuždant taip pat didėja. Buvo tiriami bandiniai su skirtingo skersmens optiniais pluoštais (1,5 mm, 2 mm, 3 mm), taip pat panaudojant skirtingą pluošto kiekį bandinyje (2 %, 3 %, 4%), o gniuždymo jėga matuota tris kartus – praėjus 7, 28, bei 90 dienų po bandinio išliejimo (8 pav.). Rezultatus palyginus su įprastinio betono bandiniu

buvo gauta, kad gaminiai, kuriuose pluoštas sudarė 4% visos masės, parodė geresnius rezultatus lyginant su kitais bandiniais [24].



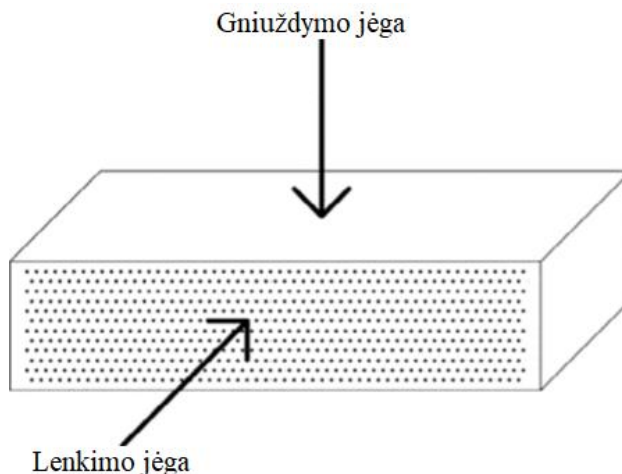
8 pav. Stiprio gniuždant kitimas laike pagal pluošto skersmenį (1,5 mm, 2 mm, 3 mm) [24]

Atlikus lenkimo bandymus, paaiškėjo, kad lenkiamo betono stipris sumažėjo dėl pluošto prastesnio sukibimo su betonu, taip yra todėl, nes optinio pluošto paviršius yra lygus, o tai neleidžia užtikrinti medžiagos vienytiškumo. Lenkimo stipris buvo matuojamas praėjus 7 bei 90 dienų (9 pav.). Pastebėta, kad didėjant pluošto tūriui, stipris lenkiant mažėja nepriklausomai nuo pluošto skersmens ar kiekio [24].



9 pav. Stipris lenkiant priklausomai nuo optinio pluošto kiekio (po 7 ir 90 dienų) [24]

Brazilijos universiteto Rio Grande de Soul tyrėjai tyrė, kokią įtaką optinio pluošto panaudojimas daro betono mechaninėms savybėms nustatė kad, didėjant į kompozitą įterpto polimerinio optinio pluošto kiekiui, medžiagos mechaninės savybės blogėja. Rezultatai buvo gauti panaudojant skirtingus optinio pluošto kiekius.



**10 pav.** Gniuždymo ir lenkimo jėgos veikimo kryptis pluošto atžvilgiu [25]

Atliekant betono gniuždymo bandymą buvo gauta, kad naudojant bandinius, kuriuose optinio pluošto kiekis yra 2–3,5 % gniuždymo stipris sumažėjo 5,38 %, o padidinus pluošto kiekį nuo 3,5 % iki 5 % stipris sumažėjo 6,3 % (11 pav.). Matoma tiesioginė sąsaja tarp optinio pluošto betone kiekio ir gniuždymo stiprio mažėjimo. Atlikus lenkimo bandymus, buvo pastebėta, kad pluoštų naudojimas betone turi tam tikrų pranašumų, tokių kaip plyšių atsiradimo greičio sumažėjimas, didelės plastinės deformacijos, pagerėjęs mišinio kietėjimas ir elastingumas. Atlikus lenkimo bandymą buvo gauti rezultatai, kad pridėjus optinio pluošto, sumažėjo skiedinio lenkimo stipris, dėl pluošto padėties matricoje, nes jėga pluoštus veikė išilgai (10 pav.). Labai didelis pluošto kiekis gali žymiai sumažinti skiedinio rišimosi veikimą, o tuo pačiu pabloginti jau sustingusio bandinio mechanines savybes [25].

Bandinių vidutinis gniuždomasis stipris be pluošto ir panaudojant pluoštą po 28 dienų

Pluošto išdėstymas	Pluošto kiekis (%)	Vidutinis atsparumas gniuždymui (MPa)	Standartinis nuokrypis	Variacijos koeficientas (%)
	0	56.81	1.17	2.06
	2	57.06	1.53	2.68
	3.5	53.99	1.96	3.62
	5	50.64	2.80	5.52

**11 pav.** Gniuždymo atsparumo tyrimo bandinių be pluošto ir su pluoštu rezultatai [25]

### 1.5.2. Laidumas šviesai

Tiriant pagrindinę šviesai laidaus betono savybę buvo atlikta nemažai tyrimų, norint nustatyti, kokią įtaką šviesos laidumui daro naudojamo pluošto kiekis betone. Brazilijos universiteto tyrėjų atliktame darbe buvo ištirtos šviesai laidaus betono šviesos pralaidumo savybės. Pirmiausia buvo ištirtas

betonas be optinio pluošto, kadangi bandinys buvo neporėtas, jo šviesos laidumas buvo lygus 0 lx (apšvietos matavimo vienetas – Liuksas lygus 1 lm šviesos srauto, krintančio 1 m<sup>2</sup> ploto paviršiu). Bandinių, kuriuose buvo nuo 2 % iki 3,5 % polimerinio pluošto, šviesos pralaidumas padidėjo 48 %, o tiriamuose objektuose, kur pluošto kiekis buvo 3,5–5 %, šviesos laidumas padidėjo iki 120 %. Buvo padaryta išvada, kad kuo didesnis polimerinio optinio pluošto kiekis betone, tuo daugiau šviesos jis praleidžia [25].

Dar vieno tyrimo metu Pietų Korėjos Seoultech universiteto tyrėjai tyrė šviesai laidaus betono su akrilinais strypais bei vamzdeliais atininkamai 3 mm, 5 mm, 10 mm skersmens šviesos laidumą lyginant su įprastiniu betonu. Atlikus bandymą buvo pastebėta, kad mažesnio diametro vamzdeliai geriau praleidžia šviesą atsižvelgiant į tai, kad yra didesnis vamzdelių išdėstymo tankumas. Taip pat buvo nustatyta, kad esant didesnio skersmens vamzdeliams yra perduodamas didesnis šviesos kiekis, tačiau per betoną matomo objekto tikslumas yra mažesnis [26].

Taip pat grupė tyrėjų iš Sirto, Sidnėjaus bei Malaizijos universitetų atliko eksperimentinį tyrimą, norėdami ištirti šviesai laidaus betono šviesos pralaidumo savybes. Tyrimo metu buvo tiriami įprastinio betono bandiniai bei bandiniai su skirtingu optinio pluošto kiekiu betone, kurių kiekis svyravo nuo 0,00 % iki 1,59 %, o pluošto skersmuo buvo 0,3 mm, 0,5 mm, 0,75 mm ir 1,5 mm. Atlikus tyrimą paaiškėjo, kad šviesos laidumas per bandinį stipriai priklauso nuo optinio pluošto kiekio išsidėsiusio paviršiaus plote, didėjant pluošto kiekiui didėjo ir šviesos pralaidumas (12 pav.). Buvo pastebėta, kad didžiausias šviesos, pereinančios per bandinį, intensyvumas buvo 75,53 lx, kai pluošto kiekis betone buvo 1,5 %, tačiau bandinys su didžiausiu pluošto kiekiu praleido tik 46,30 lx, taip įvyko todėl, kad pluoštai buvo išdėstyti mažesniais tarpais tarp pluoštų, nei likusiuose bandiniuose [27].

Betono mišinys	Pluoštas (%)	Pluošto didėjimas (%)	Praeinantis šviesos kiekis (lux)
C0	0.00	0.00	0.00
C0.3-1	0.06	100.00	1.74
C0.5-1	0.12	77.89	6.31
C0.75-1	0.36	69.76	18.16
C1.5-1	1.43	74.24	75.53
C0.75-0.5	1.59	33.58	46.30

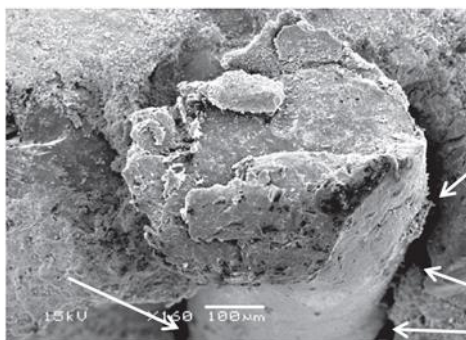
**12 pav.** Šviesos praeinančios per bandinį intensyvumas priklausomai nuo pluošto kiekio [27]

### 1.5.3. Vandens įgeriamumas ir poringumas

Vandens įgeriamumas – medžiagos savybė absorbuoti ir perduoti vandenį kapiliarinėmis poromis. Jis gali būti nustatomas pagal masę arba pagal tūrį. Vandens įgeriamumas yra svarbus projektuojant betoną, skirtą eksploatuoti regionuose, kuriuose vyrauja žema temperatūra, nes nuo vandens įgeriamumo tiesiogiai priklauso medžiagos atsparumas šalčiui [20].

Poringumas parodo, kokią medžiagos tūrio dalį užima poros. Nuo medžiagos poringumo priklauso kitos medžiagos savybės, pavyzdžiui, didėjant poringumui, mažėja medžiagos stiprumas. Poringumas gali būti dviejų tipų – atviras ir uždaras. Medžiagų, kurios pasižymi atviru poringumu, atsparumas šalčiui yra mažas, o vandens įgeriamumas didelis, tokios medžiagos taip pat gerai sugeria garsą [20].

Brazilijos universiteto Rio Grande de Soul tyrėjai atliko kapiliarinio vandens absorbcijos bandymus su šviesai laidžiu betonu. Jie nustatė, kad didėjant pluošto kiekiui, kapiliarų absorbcija didėja. Buvo pastabėta, kad dėl prastesnio sukibimo tarp optinio pluošto ir betono, įtakos galėjo turėti pluošto lygus, vandeniui atsparus ir slidus paviršius, tai taip pat lėmė tuštumų atsiradimą medžiagoje. Panaudojus skenuojantį elektroninį mikroskopą (SEM) buvo iširta, kad medžiagoje atsirado tuštumų, o tai galėjo paveikti medžiagos mechaninį stiprį ir susilpninti medžiagą (13 pav.). Atliekant kapiliarinio vandens absorbcijos tyrimus, buvo matomas tiesioginis ryšys tarp didesnio optinio pluošto tankio medžiagoje ir bandinių vandens įmirkio, tai nulėmė ertmių susidarymas [25].



**13 pav.** Optinio pluošto/matricos sąveikos su esamomis tuštumomis SEM analizė (padidinta 160 kartų) [25]

#### 1.5.4. Atsparumas šalčiui

Atsparumas šalčiui – medžiagos, prisotintos vandeniui, gebėjimas atlaikyti ciklišką užšaldymą ir atšildymą be žymių irimo požymių. Daugkartinio užšaldymo ir atšildymo metu medžiagos porose užšalancio vandens tūris padidėja 9 %, todėl susidaro dideli tempimo įtempiai ir medžiagos suyra, tačiau tai vyksta palaipsniui, kadangi medžiagos poros nebūna visiškai užpildytos vandeniui, o porose užšalantis vanduo suspaudžia ten likusį orą. Tokiu būdu sumažėja pavojingi įtempiai ir medžiagos irimo procesas sulėtėja [20].

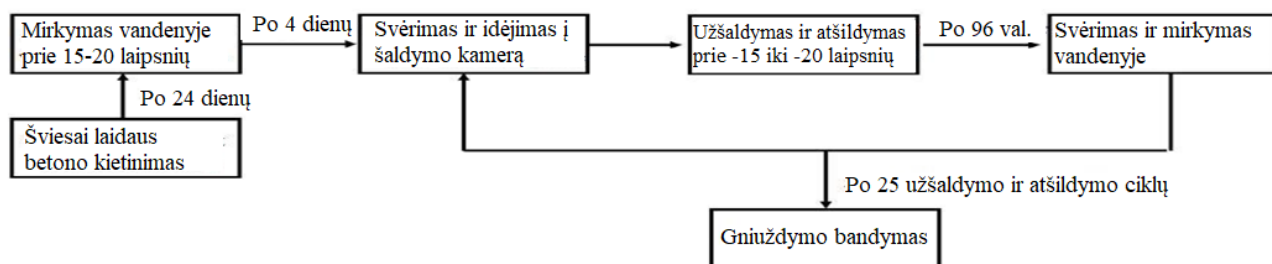
Indijos SRM instituto tyrėjai ištyrė šviesai laidaus betono su optiniu pluoštu mechanines savybes ir atliko atsparumo šalčiui bandymą (14 pav.). Tyrimo metu buvo panaudota skirtingas optinio pluošto tūrio santykis atitinkamai 0 % (bandinyje nebuvo pluošto), 1 %, 2 %, 3 %, 4 %, 5 % bei 6 %. Atlikus 25 šalčio ciklus buvo gauta, kad šviesai laidaus betono atsparumas gniuždymui daugiausiai sumažėjo 42 % ir jį galima išreikšti taip [28]:

$$\rho_f = \left( \frac{f_{c0} - f_{cn}}{f_{c0}} \right) \cdot 100 \quad (1.5.1)$$

čia:

$f_{c0}$  – atsparumas gniuždymui prieš bandymą;

$f_{cn}$  – atsparumas gniuždymui atlikus šalčio ciklų bandymą.



14 pav. Šalčio ciklų bandymo metodologija [28]

### 1.5.5. Tankis

Indijos universitetų tyrėjai taip pat tyrė šviesai laidus betono savybes atliko tankio nustatymo tyrimą ir pastebėjo, kad į betono bandinį įmaišant optinio pluošto skaidulų, bandinio tankis nežymiai sumažėja. Tyrėjai atliko bandymą panaudojant įprastinį betono mišinį bei mišinį, kuriame panaudoti betono lengvieji užpildai (aukštakrosnės šlakas), taip pat buvo naudojamas skirtingas optinio pluošto kiekis – 3 %, 4 %, 5 % (15 pav.). Atlikus bandymą buvo pastebėta, kad abejais atvejais bandinio tankis nežymiai mažėja didėjant optinio pluošto kiekiui bandinyje [29].

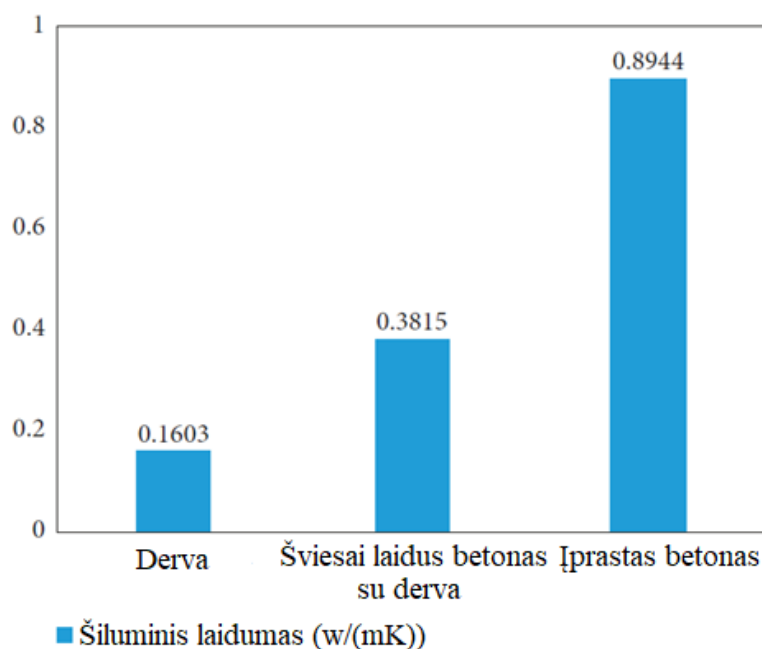
Serijos Nr.	Pluoštas (%)	Bandinio Nr.	Svoris (g)	Tankis	Vidutinis tankis
<b>I</b> Įprastinis šviesai laidus betonas					
1.	3%	I	8514.00	2522.67	2520.93
2.		II	8463.50	2507.70	
3.		III	8547.00	2532.44	
4.	4%	I	8478.00	2512.00	2517.23
5.		II	8508.00	2520.89	
6.		III	8501.00	2518.81	
7.	5%	I	8386.00	2484.74	2475.95
8.		II	8385.00	2484.44	
9.		III	8298.00	2458.67	
<b>II</b> Lengvasis šviesai laidus betonas					
1.	3%	I	6564.00	1944.89	1943.35
2.		II	6553.50	1941.78	
3.		II	6559.00	1943.41	
4.	4%	I	6489.00	1922.67	1923.25
5.		II	6507.00	1928.00	
6.		III	6477.00	1919.11	
7.	5%	I	6486.00	1921.78	1921.97
8.		II	6497.00	1925.04	
9.		III	6477.00	1919.11	

15 pav. Šviesai laidus betono bei šviesai laidus betono panaudojant lengvuosius užpildus bandinių tankiai [29]

### 1.5.6. Laidumas šilumai

Medžiagos savybė praleisti šilumą vadinama šilumos laidumu. Šilumos laidumas apibūdinamas laidumo koeficientu, kuo mažesnė šilumos laidumo koeficiento vertė, tuo geresnės medžiagos izoliacinės savybės. Medžiagų šiluminis laidumas tiesiogiai priklauso nuo jų cheminės sudėties, porų pobūdžio, tankio, struktūros bei drėgnio. Šilumos laidumo koeficientas yra svarbus skaičiuojant atitvarų šiluminę varžą [20].

Kinijos universiteto tyrėjai, kurie tyrė šviesai laidaus betono su derva šilumos laidumo savybes nustatė, kad toks betonas šilumą praleidžia blogiau nei įprastas betonas. Tyrimo metu buvo iširtas įprasto betono, betono su derva bei dervos kaip atskiros medžiagos šiluminis laidumas (16 pav.). Buvo gauta, kad betono su derva šilumos laidumas yra net 60 % mažesnis, taip yra todėl, kad derva nėra geras laidininkas, o dviejų medžiagų sujungimas į vienalytišką medžiagą taip pat galėjo daryti įtaką perduodant šilumą [19].

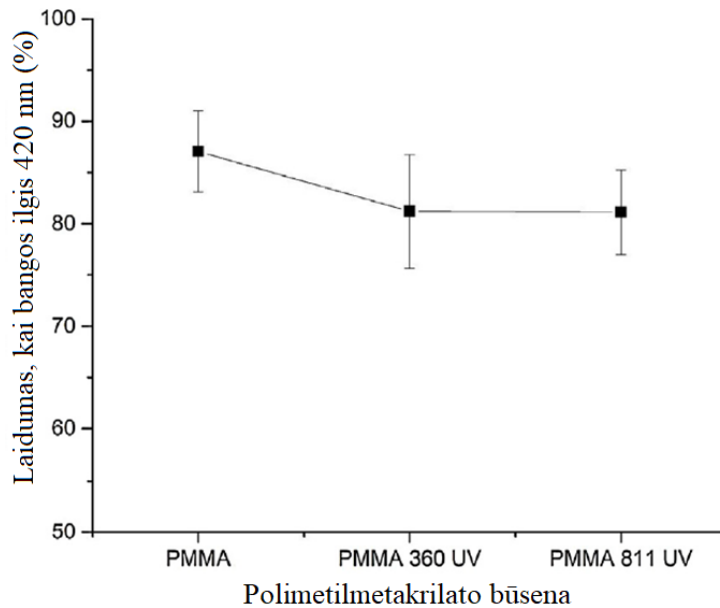


16 pav. Bandinių laidumas šilumai [19]

### 1.5.7. Atsparumas UV spinduliutei

Ultravioletinė spinduliuotė pavojinga ne tik žmogui bet ir visoms medžiagoms, kurias tiesiogiai veikia UV spinduliai. Norint nustatyti, kokią įtaką polimetilmetakritatui daro ultravioletinė spinduliuotė, Brazilijos karinio inžinerijos instituto tyrėjai atliko tyrimą. Tyrimo metu polimetilmetakrilato (PMMA) bandiniai buvo veikiami UV-B spinduliuotės oksiduojančioje atmosferoje ir buvo įvertinti atliekant šviesos laidumo bandymus. Bandiniai buvo laikomi senėjimo kameroje, kurioje buvo palaikoma kambario temperatūra. Optinės savybės prieš ir po švitinimo buvo įvertintos ultravioletinių spindulių spektroskopija (sąveikos tarp medžiagos ir spinduliuojamos energijos tyrimas). Atlikus tyrimą buvo nustatyta, kad polimetilmetakrilato, veikiamo UV spinduliuote, laidumas šviesai sumažėjo 5 % ir 7 % atitinkamai po 360 valandų ir 811 valandų UV kameroje (17 pav.) [13].





17 pav. PMMA šviesos laidumas prieš ir po švitinimo [13]

## 1.6. Literatūros apžvalgos išvados

Literatūros šaltinių duomenys parodė, kad daugelio tyrimų metu buvo pasiekti teigiami šviesai laidaus betono rezultatai, betonas pasižymėjo geresnėmis mechaninėmis ir fizikinėmis savybėmis – esant nedideliame pluošto kiekiui padidėja atsparumas gniuždant, didelis laidumas šviesai, mažesnis tankis, žymiai sumažėjęs šilumos laidumas lyginant su įprastu betonu, geros ilgaamžiškumo savybės. Tačiau norint pagaminti kokybišką šviesai laidų betoną yra svarbu tinkamai išdėlioti pluoštą, kad jis visame gaminyje būtų pasiskirstęs tolygiai, būtų kuo mažiau nuokrypių.

Nepaisant to, kad medžiaga yra perspektyvi, šviesai laidas betonas nėra plačiai naudojamas, kadangi per mažai atlikta tyrimų nustatant optimaliausią pluošto kiekį, norint išlaikyti gerą atsparumą gniuždant, perduodant didelį šviesos srauto kiekį, taip pat mažai žinoma, kokią įtaką pluoštas daro vandens įgeriamumui bei šalčio atsparumui. Tikslinga atlikti tyrimus ir analizuoti gautus rezultatus, siekiant išplėsti panaudojimo galimybes.

## 2. Metodai ir bandinių gamyba

### 2.1. Tyrimo metodai

#### 2.1.1. Granulimetrinės sudėties nustatymas

Bandymui atlikti naudojama įranga:

- sietų rinkinys;
- dangtis ir dugnas;
- svarstyklės;
- mechaninis kratiklis.

Granulimetrinės sudėties tyrimas atliekamas norint nustatyti užpildo frakciją bei apibūdinti jo savybes.

Granulimetrinės sudėties nustatymas atliekamas vadovaujantis LST EN 933-1:2012 standartu [30]. Bandymui atlikti pasveriamas reikiamas smulkiųjų dalelių kiekis  $m = 500$  g, paruošiama reikalingas sietų skaičius, sietai parenkami pagal LST EN 1260+A1:2008 standartą [31]. Bandymui naudojami smulkiųjų dalelių užpildui skirti 2 mm, 1 mm, 0,500 mm, 0,250 mm, 0,125 mm ir 0,063 mm dydžio sietai. Sietai sujungiami į rinkinį dedant vieną ant kito eilės tvarka, nuo rečiausio iki tankiausio, uždedami dangtis ir dugnas. Sietų rinkinys dedamas į mechaninį kratiklį ir pakratomas. Po to iš rinkinio imama po vieną sietą, pradedant nuo rečiausio, sietas su dangčiu ir dugnu dar pasijojamas rankomis, prižiūrint, kad medžiaga nenusibarstytų. Medžiaga, kuri išbyrėjo, suberiama ant kito eilėje esančio sieto. Sijojimo procesas laikomas baigtu, kai liekana ant sieto sijojant 1 min pakinta ne daugiau kaip 1,0 %.

Medžiagos liekana ant rečiausio sieto pasveriamas ir masė pažymima  $R_1$ . Sietai sveriami iš eilės vienas paskui kitą ir liekanos masė atitinkamai pažymima  $R_2, R_3, \dots, R_i$ . Ant sietų rinkinio dugno likusi išbira pasveriamas ir jos masė pažymima  $P$ .

Dalinės liekanos ant kiekvieno sieto apskaičiuojamos pagal formulę:

$$R_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100 \quad (2.1.1)$$

čia:

$R_i$  – dalinė liekana ant skaičiuojamo sieto, %;

$m_i$  – liekanos ant skaičiuojamo sieto masė, g;

$m$  – bandinio masė, g.

Užpildo stambumas arba smulkumas priklauso nuo stambumo modulio. Smulkūs užpildai pagal granulimetrinę sudėtį žymimi raidėmis  $C$  – stambus,  $M$  – vidutinio stambumo,  $F$  – smulkus. Po raidžių  $C, M$  arba  $F$  rašoma raidė  $F$ , kuri žymi stambumo modulį. Užpildo stambumas arba smulkumas nustatomas pagal 1 lentelę:

**1 lentelė.** Stambumas arba smulkumas pagal stambumo modulį [31]

Stambumo modulis		
CF	MF	FF
Nuo 4,0 iki 2,4	Nuo 2,8 iki 1,5	Nuo 2,1 iki 0,6

Užpildo stambumo modulis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$FM = \frac{\sum\{(> 4) + (> 2) + (> 1) + (> 0,5) + (> 0,25) + (> 0,125)\}}{100} \quad (2.1.2)$$

čia:

$FM$  – stambumo modulis;

$\sum\{(> 4) + \dots + (> 0,125)\}$  – suminių liekanų suma masės procentais ant nurodytų sietų.

Betonui rekomenduojama naudoti smėlį, kurio stambumo modulis  $FM = 1,5 - 3,5$ , o norint pagaminti stipresnį betoną, smėlis turi būti kuo stambesnis [32].

### 2.1.2. Betono mišinio tankio nustatymas

Bandymui atlikti naudojama įranga:

- matavimo indas;
- sudrėkintas audinys;
- svarstyklės;
- mentelė;
- kastuvėlis.

Betono mišinio tankio nustatymas atliekamas pagal LST EN 12350-6:2019 standartą [33]. Atliekant tyrimą nustatomas matavimo indo tūris, taip pat nustatoma indo masė, indas sudrėkinamas šlapiu audiniu. Matavimo indas užpildomas betono mišiniu iki viršaus, indo kraštai nuvalomi. Matavimo indas su betono mišiniu pasveriamas. Gautos vertės užrašomos ir apskaičiuojamas betono mišinio tankis pagal formulę:

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (2.1.3)$$

čia:

$D$  – betono mišinio tankis,  $kg/m^3$ ;

$m_1$  – tuščio matavimo indo masė,  $kg$ ;

$m_2$  – matavimo indo su betono mišiniu masė,  $kg$ ;

$V$  – matavimo indo tūris,  $m^3$ .

Betono mišinio tankis apvalinamas 10  $kg/m^3$  tikslumu.

### 2.1.3. Oro kiekio betono mišinyje nustatymas manometru

Bandymui atlikti naudojama įranga:

- oro slėgio matavimo indas;
- mentelė;
- sudrėkintas audinys;
- guminė kriaušė.

Oro kiekio betono mišinyje nustatymas atliekamas vadovaujantis LST EN 12350-7:2019 standartu [34]. Prieš atliekant tyrimą oro slėgio matavimo indas sudrėkinamas šlapiu audiniu (18 pav.). Naudojant mentelę betono mišinys sudedamas į indą taip, kad būtų pašalinta kiek įmanoma daugiau oro, esančio ertmėse. Indo kraštai nuvalomi, uždedamas dangtis ir sandariai prispaudžiamas prie indo. Pagrindinis oro ventilis yra uždaromas ir atidaromi A ir B ventiliai. Gumine kriaušė vanduo purškiamas per A arba B ventilį, kol vanduo pasirodo per kitą ventilį. Abu ventiliai yra uždaromi. Uždaromas oro išleidimo ventilis ir oras pumpuojamas į oro kamerą, kol manometro rodyklė atsiduria ties pradinio slėgio žyme. Po kelių sekundžių suspaustas oras atvėsta ir stabilizuojasi iki kambario temperatūros, manometro rodyklė nustatoma ties pradinio slėgio žyme, pumpuojant arba išleidžiant orą. Atidaromas pagrindinis oro ventilis, nuskaitoma gauta reikšmė, kuri rodo tariamąjį oro kiekį  $A_1$ . Ventiliai A ir B atidaromi, kad sumažėtų slėgis prieš nuimant dangtį.

Betono mišinio oro kiekis inde apskaičiuojamas pagal formulę:

$$A_c = A_1 - G \quad (2.1.4)$$

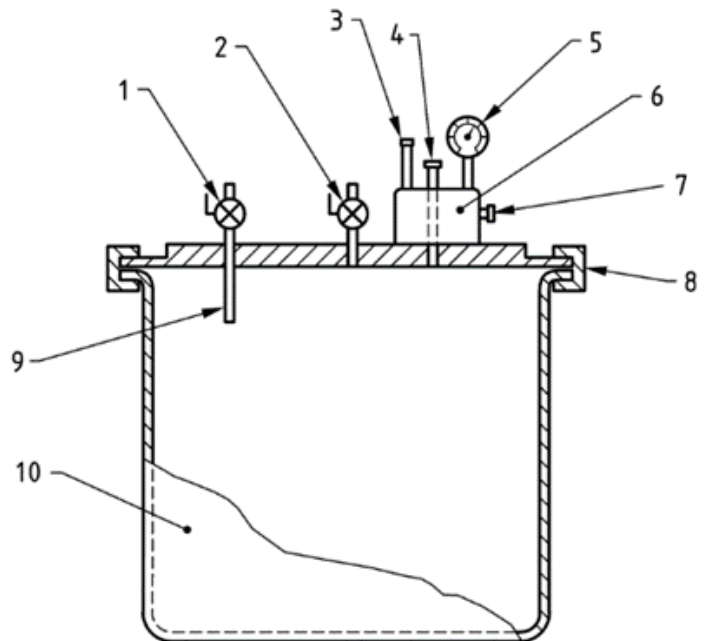
čia:

$A_c$  – oro kiekis tiriamame mišinyje, %;

$A_1$  – tariamas oro kiekis tiriamame mišinyje, %;

$G$  – užpildų pataisos koeficientas, priimama, kad  $G = 0$ .

Oro kiekio reikšmė mišinyje apvalinama 0,1 % tikslumu.



**18 pav.** Oro kiekio matavimo indas ir jo schema: 1 – ventilis A, 2 – ventilis B, 3 – pompa, 4 – pagrindinis oro ventilis, 5 – manometras, 6 – oro kamera, 7 – oro išleidimo ventilis, 8 – prispaudimo mechanizmas, 9 – prailgintas kalibravimo vamzdelis, 10 – indas [34]

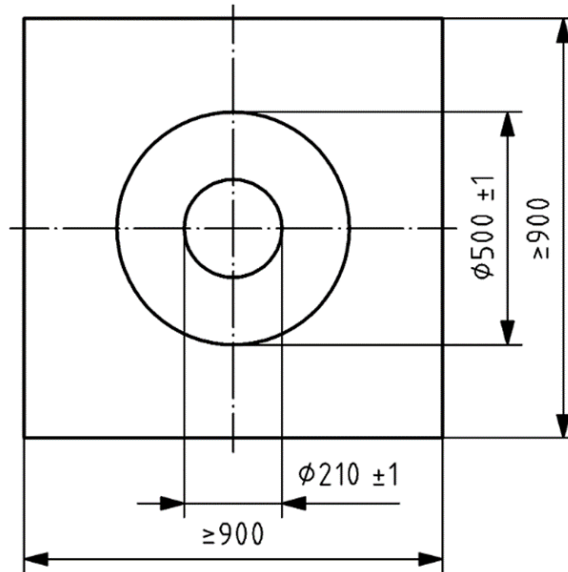
#### 2.1.4. Betono mišinio slankumo nustatymas pagal pasklidos skersmenį

Bandymui atlikti naudojama įranga:

- nupjautas kūgis;
- sudrėkintas audinys;
- ruletė;
- kastuvėlis;
- chronometras;
- pagrindo plokštė pagaminta iš lygios plieninės plokštės, kurios matmenys 900×900 mm.

Betono mišinio slankumo tyrimas ir laikas  $t_{500}$  naudojami savaime susitankinančio betono takumui ir srautui įvertinti, kai nėra kliūčių.

Betono slankumo bandymas naudojant standartinį kūgį atliekamas pagal LST EN 12350-8:2019 standartą [35]. Atliekant tyrimą pagrindo plokštė padedama ant lygaus paviršiaus, plokštės paviršius nuvalomas šlapiu audiniu, ant viršaus į reikiamą vietą pastatomas kūgis. Kaip pavaizduota 19 pav. kūgis pastatomas plokštės centre į 210 mm skersmens specialiai tam skirtą apskritimą, kojomis tvirtai įsiremiama į žemę, kol pilamas betono mišinys, kūgis laikomas prispaustas prie pagrindo, kad po juo nepratekėtų betonas. Vienu judesiu kūgis staigiai keliamas vertikalia kryptimi aukštyn netrukdam betono mišinio tekėjimui, tuo pat metu chronometru matuojamas laikas  $t_{500}$  (laikas  $t_{500}$  yra srauto greičio matas ir savaime susitankinančio betono klampumo rodiklis), kai betono pasklidimo skersmuo yra ties 500 mm skersmens žyma, laikas sustabdomas ir laukiama, kol betono mišinys stabilizuosis ir nustos tekėti (20, 21 pav.). Plačiausioje vietoje išmatuojamas pasklidusio mišinio skersmuo  $d_1$  ir 90° kampu nuo  $d_1$  nutolęs skersmuo  $d_2$ .



**19 pav.** Pagrindo plokštės parametrai [35]

Pasklidos vertė  $SF$  apskaičiuojama pagal formulę:

$$SF = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (2.1.5)$$

čia:

$SF$  – pasklida,  $mm$ ;

$d_1$  – didžiausias pasklidusio mišinio skersmuo,  $mm$ ;

$d_2$  – pasklidusio mišinio skersmuo, nutolusio  $90^\circ$  kampū nuo  $d_1$ ,  $mm$ .



**20 pav.** Betono mišinio pasklidimas

Betono pasklidos klasė parenkama pagal 2 lentelėje nurodytas reikšmes.

## 2 lentelė. Savaimė susitankinančio betono pasklidimo klasės [36]

Klasė	Pasklidimo skersmuo, mm
SF1	Nuo 500 iki 650
SF2	Nuo 660 iki 750
SF3	Nuo 760 iki 850

### 2.1.5. Betono klamos klasės nustatymas pagal betono pasklidimo greitį

Betono klamos nustatymas atliekamas pagal 2.1.4. punkte aprašyto bandymo metodiką remiantis LST EN 12350-8:2019 standartu [35].



21 pav. Kūgis užpildytas betono mišiniu

Betono klamos klasė parenkama pagal 3 lentelėje nurodytas reikšmes.

## 3 lentelė. Savaimė susitankinančio betono klamos klasė ( $t_{500}$ ) [36]

Klasė	Pasklidimo greitis, s iki 500 mm ( $t_{500}$ )
VS1	< 2
VS2	≥ 2

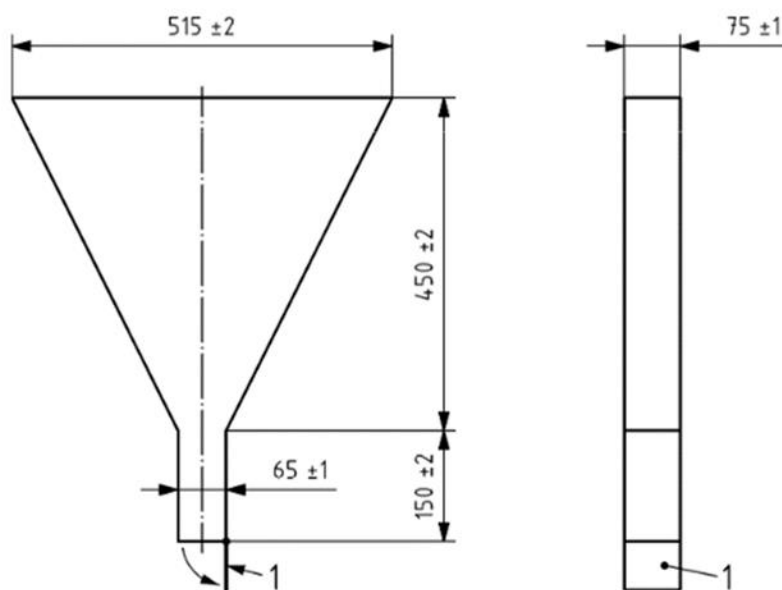
### 2.1.6. Betono klamos klasės nustatymas pagal ištekėjimo trukmę (V pavidalo piltuvas)

Bandymui atlikti naudojama įranga:

- V pavidalo piltuvas;
- indas, skirtas betonui subėgti;
- chronometras.

V pavidalo piltuvo bandymas naudojamas savaime susitankinančio betono klampumui ir užpildymo gebėjimui įvertinti.

Betono klamos nustatymo bandymas naudojant V pavidalo piltuvą atliekamas vadovaujantis LST EN 12350-9:2010 standartu (22 pav.) [37]. Prieš atliekant bandymą piltuvai bei uždarymo dangtelis yra sudrėkinami šlapiu audiniu. Piltuvo dangtelis yra sandariai uždarytas ir be jokio maišymo ar mechaninio sutankinimo supilamas betono mišinys taip, kad mišinys visiškai užpildytų piltuvą iki pat viršaus (23 pav.). Po piltuvu yra pastatomas indas, į kurį bandymo metu subėgs betono mišinys. Pasiruošiamas chronometras laikui matuoti, per kurį mišinys subėga į indą, laikas nustojamas matuoti tada, kai vertikalia kryptimi žiūrint iš viršaus į piltuvą yra matomas indas, į kurį tekėjo betonas. Laikas  $t_v$  yra V – tunelio srauto laikas.



22 pav. V pavidalo piltuvo schema ir parametrai [37]



23 pav. V pavidalo piltuvai užpildyti betono mišiniu



Pagal gautą  $t_v$  laiką naudojantis 4 lentelė yra nustatoma betono mišinio klamos klasė.

**4 lentelė.** Savaimė susitankinančio betono klamos klasės ( $t_v$ ) [36]

Klasė	Ištekėjimo trukmė, s ( $t_v$ )
VF1	< 9,0
VF2	Nuo 9,0 iki 25,0

### 2.1.7. Stiprumo gniuždant nustatymas

Bandymui atlikti naudojama įranga:

- hidraulinis presas Controls „Pilot4“;
- svarstyklės;
- slankmatis.

Bandinių gniuždomojo stiprio nustatymas atliekamas pagal LST EN 12390-3:2019 standartą [38]. Stiprumo tyrimas atliekamas praėjus 28 paroms po bandinių suformavimo, bandymui atlikti naudojamas hidraulinis presas Controls „Pilot4“, kurio maksimali gniuždymo jėga 300 kN (24 pav.). Prieš atliekant bandymą visi tiriamieji bandiniai yra išmatuojami slankmačiu ir pasveriami. Bandiniai tarp preso plokščių dedami centruotai ir apkraunami jėga iki suirimo.



**24 pav.** Hidraulinis presas Controls „Pilot4“

Užregistruojama didžiausia bandinio atlaikymo jėga ir pagal formulę apskaičiuojamas bandinio stipris gniuždant:

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (2.1.6)$$

čia:

$f_c$  – stipris gniuždant, *MPa* ( $N/mm^2$ );

$F$  – didžiausia ardomoji jėga, *N*;

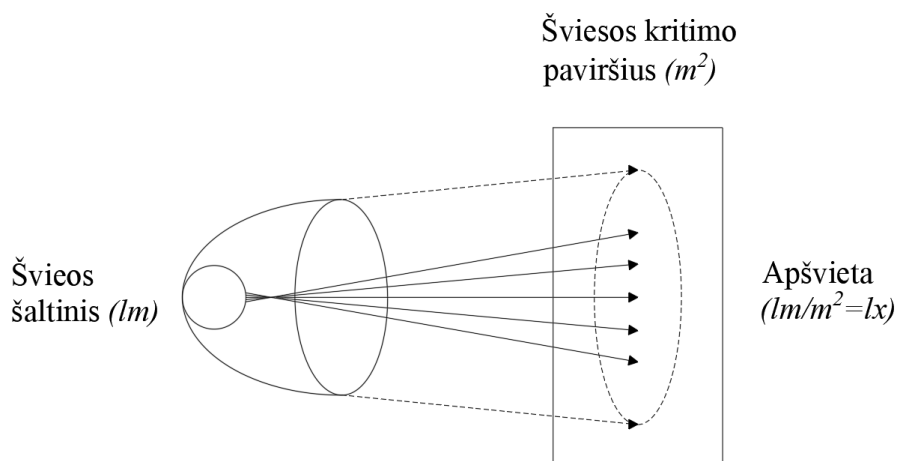
$A_c$  – bandinio skerspjūvio plotas, kurį veikia gniuždomoji jėga,  $mm^2$ .

### 2.1.8. Šviesos pralaidumo nustatymas

Bandymui atlikti naudojama įranga:

- spektrometras MK350S;
- šviesos šaltinis.

Atliekant tyrimą matuojama apšvieta – šviesos srautas, kuris tenka vienetiniam paviršiaus plotui, matavimo vienetas – liuksas ( $lx = 1 \frac{lm}{m^2}$ ) [39]. Bandymo metu matuojamas šviesos srautas, kuris praeina per skirtingo ilgio bei skirtingą pluošto kiekį turinčius šviesai laidžius betoninius bandinius. Prieš pradėdant bandymą paruošiama naudojama įranga – šviesos šaltinis ir spektrometras MK350S, kuris taip pat veikia kaip liuksmetras. Kaip pavaizduota 25 paveiksle, tarp šviesos šaltinio ir liuksmetro dedamas bandinys ir matuojamas per bandinį praeinantis šviesos srautas.



25 pav. Apšvieta

### 2.1.9. Šviesos pralaidumo nustatymas po bandinių pagreitinto sendinimo ultravioletinės spinduliuotės kameroje

Bandymui atlikti naudojama įranga:

- ultravioletinės spinduliuotės kamera.

Bandinių apšvitos liuminescencinėmis ultravioletinėmis lempomis nustatymas atliekamas remiantis LST EN ISO 16474-3:2014 standartu [40]. Norint imituoti dienos šviesos spektrinį spinduliavimą, bandymo metu naudojamos fluorescencinės UV lempos. Tyrimui atlikti pasirinkamas metodas, kai naudojamos UVA-340 lempos, kurių bangos ilgis 340 nm (tai ilgos bangos, kurių nesugeria ozono sluoksnis), o bangos ilgio spektro apšvita  $0,83 \text{ W/m}^2/\text{nm}$ , taip pat nustatoma  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatūra, pasirinktos sąlygos yra užprogramuojamos, kad jos veiktų nuolat viso bandymo metu. Bandiniai dedami į ultravioletinės spinduliuotės kamerą, kur laikomi pasirinktą laikotarpį (26 pav.). Ultravioletinės spinduliuotės kamera turi atitikti reikalavimus nurodytus LST EN ISO 16474-1:2014 standarte [41].

Atlikus šviesai laidžių bandinių pagreitintą sendinimą ultravioletinės spinduliuotės kameroje, vėl matuojamas šviesos srautas praeinantis per bandinius pagal 2.1.8. punkte aprašyto bandymo metodiką.



26 pav. Bandiniai UV spinduliuotės kameroje

#### 2.1.10. Vandens įgėrio nustatymas

Bandymui atlikti naudojama įranga:

- džiovinimo krosnis su natūraliu arba priverstiniu vėdinimu;
- indas, kurio talpa mažiausiai 2,5 karto didesnė už panardinamų bandinių tūrį;
- svarstyklės, kurių tikslumas 0,1 %.

Vandens įgeriamumo tyrimas atliekamas pagal LST EN 13369:2018 standarto F dalį [42]. Tiriama bandiniai panardinami į indą su vandeniu, trumpiausias bandinių mirkymo laikotarpis yra trys paros, jie vandenyje laikomi tol, kol yra pasiekama pastovi masė  $m_1$ . Pastovi masė laikoma pasiekta tada, kai 24 h intervale du kartus sveriamo bandinio masės tarpusavyje skiriasi mažiau nei 0,1 %.

Pasiekus bandinių pastovią masę, jie dedami į džiovavimo krosnį, kurios temperatūra  $105 \pm 5$  °C, kol pasiekia pastovią masę  $m_2$ , trumpiausias bandinių džiovavimo laikotarpis yra trys paros. Pastovi masė laikoma pasiekta tada, kai 24 h intervale du kartus sveriamo bandinio masės tarpusavyje skiriasi mažiau nei 0,1 %. Prieš pasveriant ir užrašant masę  $m_2$ , bandinys aušinamas nuo 30 min iki 1 h. Pilnai išdžiovinti bandiniai pasveriami.

Bandinių vandens įgėris apskaičiuojamas pagal formulę:

$$W_i = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 \quad (2.1.7)$$

čia:

$W_i$  – vandens įgėris, %;

$m_1$  – įmirkusios medžiagos masė,  $g$ ;

$m_2$  – sausos medžiagos masė,  $g$ .

#### **2.1.11. Atsparumo šalčiui nustatymas tūriniu užšaldymo ir atšildymo metodu**

Bandymui atlikti naudojama įranga:

- šaldymo kamera su priverstine oro konvekcija, kurioje palaikoma  $-18 \pm 2$  °C temperatūra;
- svarstyklės, kurių tikslumas būtų 0,1 %;
- slankmatis.

Betoninių bandinių atsparumo šalčiui nustatymas atliekamas remiantis LST 1428-17:2016 standartu [43]. Bandiniai prieš atliekant tyrimą ištraukiami iš indo su vandeniu, kuriame jie buvo laikomi betono kietėjimo metu, išmatuojami slankmačiu bei pasveriami ir sužymimi. Atliekant bandymą tiriama, kaip cikliškas užšaldymas ir atšildymas veikia įprasto betono bandinius bei bandinius, kuriuose yra įmaišytas skirtingas optinio pluošto kiekis. Bandiniai tyrimo metu yra stebimi ir apžiūrimi kas keletą ciklų.

Betono bandinių atsparumas yra nustatomas pagal gniuždomąjį stiprį. Jei bandinių serijos vidutinis gniuždymo stipris po reikiamo užšaldymo ir atšildymo ciklų skaičiaus nėra pakitęs (sumažėjęs) arba pakitęs (sumažėjęs) ne daugiau kaip 5 % lyginant su kontroliniais bandiniais, laikoma, kad betonas atlaikė atsparumo šalčiui tyrimą.

Betono gniuždymo stiprio sumažėjimas po šalčio bandymų apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\Delta f = \frac{f_s - f_k}{f_k} \cdot 100 \quad (2.1.8)$$

čia:

$\Delta f$  – betono bandinių gniuždomojo stiprio sumažėjimas lyginant su kontroliniais bandiniais, %;

$f_s$  – bandinių po užšaldymo ir atšildymo ciklų gniuždomojo stiprio verčių vidurkis, *MPa*;

$f_k$  – kontrolinių bandinių prieš atsparumo šalčiui tyrimą gniuždomojo stiprio verčių vidurkis, *MPa*.

Jeigu po atsparumo šalčiui tyrimo bandinių gniuždymo stipris pakito (sumažėjo) daugiau kaip 5 % lyginant su kontroliniais bandiniais, tai betonas neišlaikė atsparumo šalčiui tyrimo.

Betono atsparumo šalčiui markės parenkamos pagal 5 lentelę:

**5 lentelė.** Betono atsparumo šalčiui markės [43]

Betono atsparumo šalčiui markė	F25	F35	F50	F75	F100	F150	F200	F300	F400	F500	F600	F800	F1000
Ciklų skaičius, po kurių apžiūrimi ir bandomi betono bandiniai	25	35	50	75	100	100* 150	150* 200	200* 300	300* 400	400* 500	500* 600	600* 800	800* 1000
* Tarpinio bandymo užšaldymo ir atšildymo ciklų skaičius.													

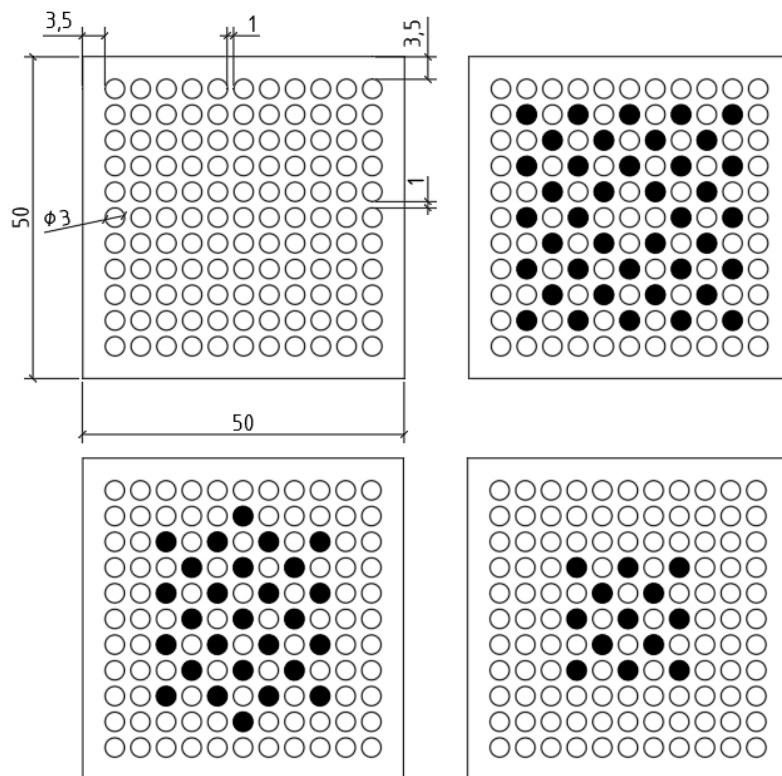
## 2.2. Bandinių gamybos procesas

Bandiniams suformuoti buvo gaminamas savaime susitankinantis betono mišinys, mišinio sudėtis 1m<sup>3</sup> pateikiama 6 lentelėje:

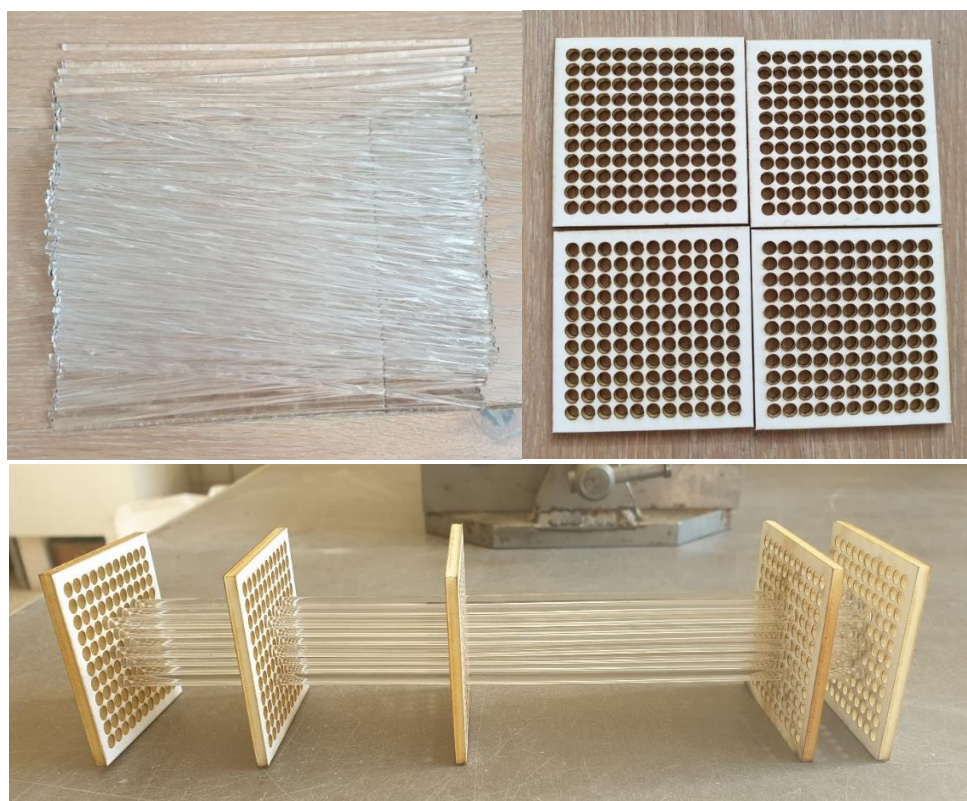
**6 lentelė.** Betono mišinio sudėtis

Medžiaga	Masė, kg/m <sup>3</sup>
Cementas CEM I 42,5 R	550
Smulkus užpildas (smėlis)	1400
Vanduo	230
Superplastiklis (2 % nuo cemento masės)	11

Bandiniams gaminti buvo naudojami šviesą praleidžiantys akrilo strypeliai 3 mm skersmens ir 20 cm ilgio, taip pat specialiai lazerinio pjovimo staklėmis išpjauti kartoniniai trafaretai – vidinės formų sienelės (50×50×3 mm). Akrilo strypeliai formose buvo išdėstomi trimis būdais, panaudojant 2 %, 4 % ir 6 % strypelių nuo visos bandinio masės (27 pav.). Formuojant bandinius akrilo strypeliai buvo susmaigstyti į kartoninius trafaretus tam, kad pilant betono mišinį bei tankinant rankiniu būdu, strypeliai išlaikytų savo pradinę poziciją ir neišsibarstytų bandinyje (28 pav.).



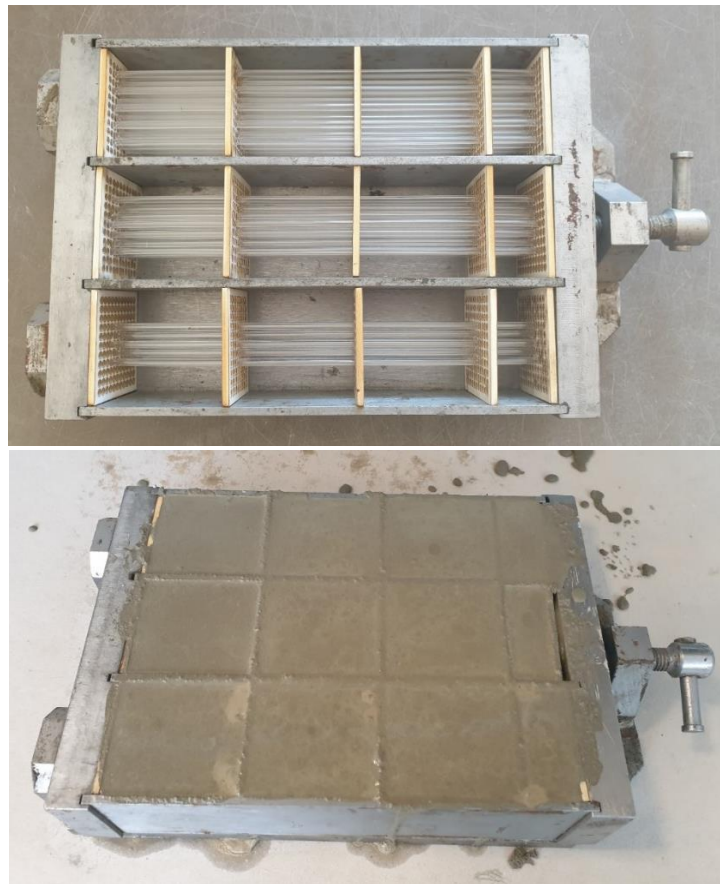
**27 pav.** Vidinių formos sienelių matmenys bei akrilo strypelių išdėstymas, kai bandinyje yra 6 %, 4 % ir 2 % strypelių



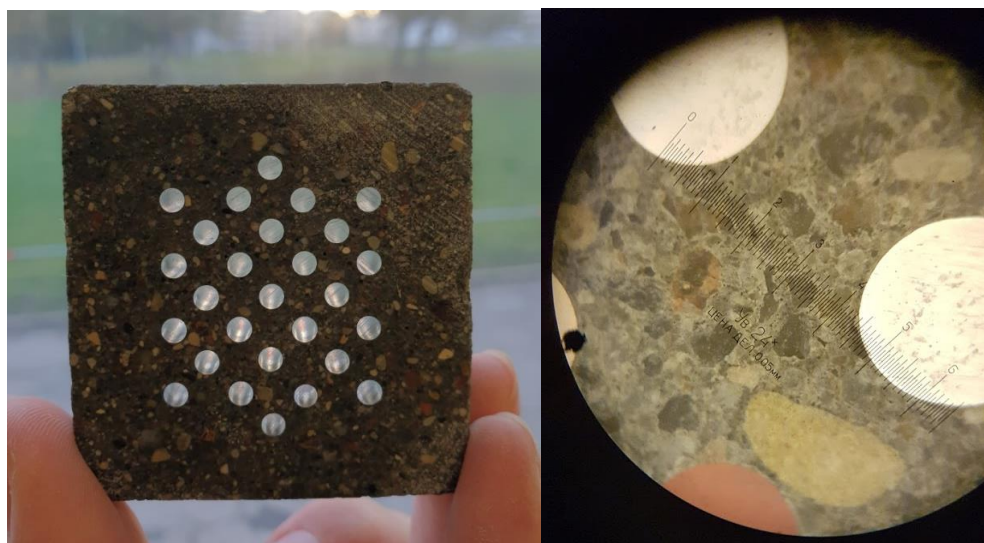
**28 pav.** Akrilo strypeliai ir vidinės formų sienelės

Betono mišinys buvo pilamas į specialiai paruoštas formas (50×50×200 mm), supiltas mišinys buvo šiek tiek patankintas rankomis švelniai padaužant formas į pagrindą, kad užsipildytų visi tarpai tarp

akrilo strypelių (29 pav.). Praėjus 24 h bandiniai buvo išformuoti ir sudėti į indą su vandeniu, kur laikomi 28 paras, kad sustiprėtų. Praėjus betono kietėjimo trukmei, suformuotos sijos buvo supjaustytos statmenai akrilo strypelių išdėstymo kryptčiai į kubelius (50×50×50 mm) panaudojant šlapio pjovimo stakles (30 pav.).



**29 pav.** Metalinė forma prieš supilant ir jau išliejus betono mišinį

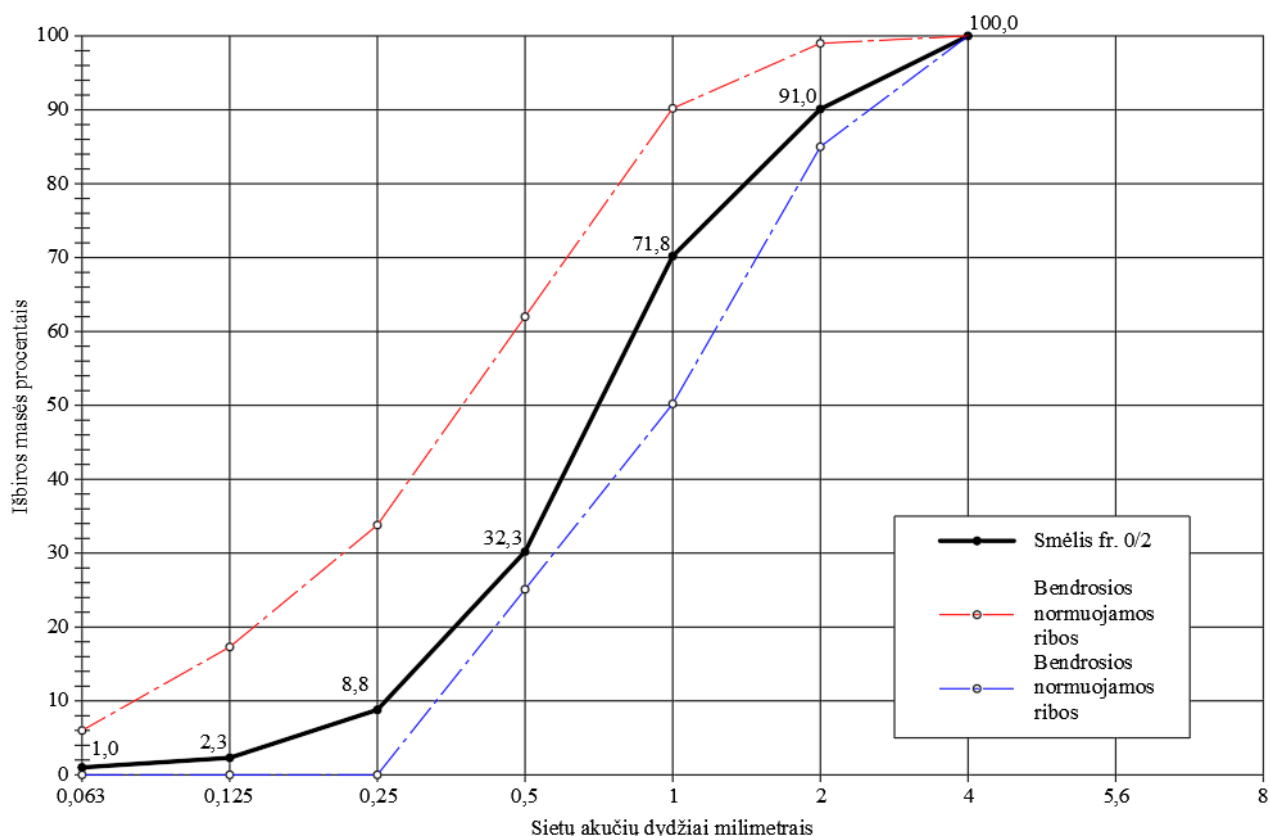


**30 pav.** Šviesai laidaus betono bandinys ir vaizdas išdidintas su mikroskopu

### 3. Tyrimų rezultatai

#### 3.1. Granulimetrinės sudėties rezultatai

Granulimetrinės sudėties bandymo metu buvo ištirta užpildo granulimetrinė sudėtis ir nustatyta smulkiųjų dalelių (smėlio) frakcija – fr. 0/2, taip pat nustatytas smėlio stambumo modulis, pagal gautus duomenis išbrėžtas grafikas (31 pav.). Pagal stambumo modulį užpildas priklauso *CF* grupei, nes  $FM = 2,94$  (*CF* yra nuo 4,0 iki 2,4), tai rodo, kad smėlis yra stambus. Granulimetrinės sudėties duomenys pateikti 1 priede.



31 pav. Smėlio fr. 0/2 granulimetrinės sudėties grafikas

#### 3.2. Savaimė susitankinąčio betono mišinio tyrimų rezultatai

Savaime susitankinąčio betono mišinio kokybę nusako šie pagrindiniai rodikliai: mišinio tankis, oro kiekis betono mišinyje bei betono mišinio konsistencija, kuri yra nustatoma pagal mišinio pasklidos bei klamos bandymus. Pagal šiuos parametrus galima spręsti, ar betonas yra kokybiškas ir ar jį galima naudoti pagal nurodytą paskirtį.

##### 3.2.1. Oro kiekio betono mišinyje nustatymo rezultatai

Oro kiekio mišinyje nustatymo bandymo metu buvo gauta, kad oras sudaro 1,6 % visos betono mišinio masės, yra žinoma, kad esant kuo mažesniai oro kiekiui betono mišinyje, betono atsparumo gniuždant vertės yra didesnės, todėl tikėtina, kad betonas bus stiprus (7 lentelė). Taip pat bandymo metu buvo nustatytas betono mišinio tankis –  $2270 \text{ kg/m}^3$ .



**7 lentelė.** Savaimė susitankinančio betono mišinio parametrai

Indo tūris, l	Indo masė, kg	Indo masė su bandiniu, kg	Tankis, kg/m <sup>3</sup>	Oro kiekis, %
8	3,95	22,07	2270	1,6

**3.2.2. Betono mišinio pasklidimo nustatymo rezultatai**

Betono pasklidimo klasė įvertinama pagal 2 lentelėje pateiktus duomenis. Rezultatai rodo, kad savaimė susitankinančio betono pasklidimo klasė atitinka SF2 klasę, kai pasklida yra 660–750 mm (8 lentelė).

**8 lentelė.** Savaimė susitankinančio betono mišinio pasklidimo klasė

Pasklidusio mišinio skersmuo $d_1$ , mm	Pasklidusio mišinio skersmuo $d_2$ , mm	Pasklida SF, mm	Klasė
740	760	750	SF2

**3.2.3. Betono mišinio klampos nustatymo rezultatai**

Betono klampa buvo įvertinta dviem būdais: pagal pasklidimo greitį ir ištekėjimo trukmę. Iš 3 ir 4 lentelėse pateikiamų duomenų buvo gauta, kad betono klamos klasė pagal pasklidimo greitį yra VS1, o pagal ištekėjimo greitį – VF1 (9 lentelė).

**9 lentelė.** Savaimė susitankinančio betono mišinio klampa pagal pasklidimo greitį ir ištekėjimo trukmę

Pasklidimo greitis, s iki 500 mm ( $t_{500}$ )	Betono klamos klasė pagal pasklidimo greitį	Ištekėjimo trukmė, s ( $t_v$ )	Betono klamos klasė pagal ištekėjimo greitį
1,14	VS1	8,95	VF1

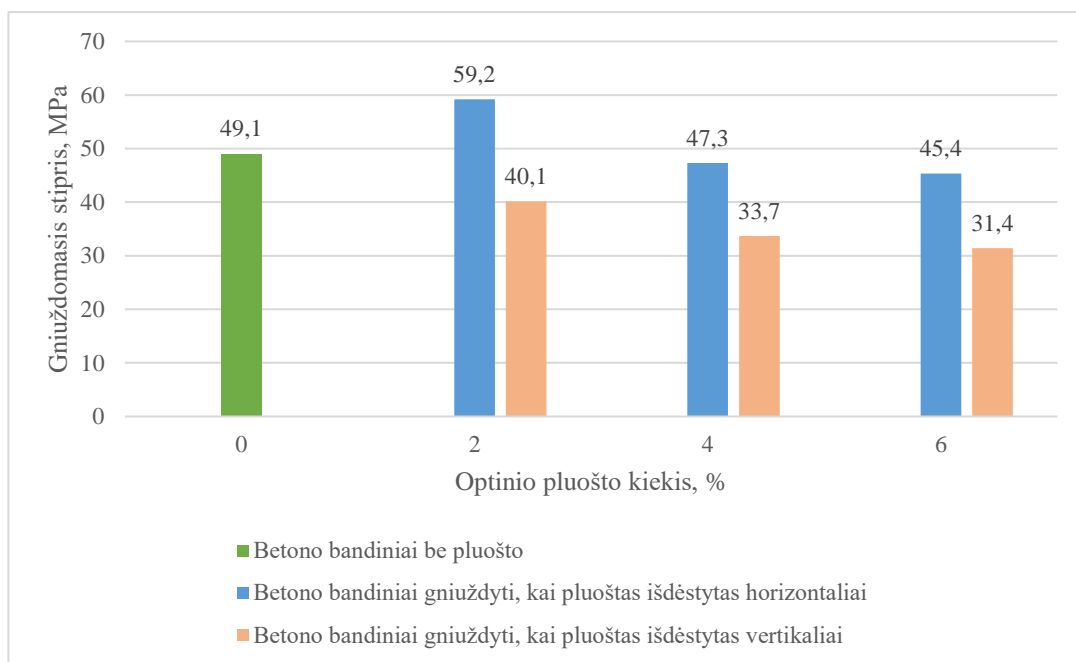
**3.3. Stiprio gniuždant rezultatai**

Pati svarbiausia betono savybė yra betono gebėjimas atlaikyti gniuždymo įtempius, betono stipris ypatingai priklauso nuo vandens ir cemento kiekio santykio, užpildų, kietėjimo sąlygų ir trukmės, todėl šviesai laidžių betoninių bandinių gniuždymo stiprio nustatymo bandymas buvo atliekamas praėjus 28 paroms po bandinių suformavimo, o visą kietėjimo laikotarpį jie buvo laikomi vandenyje.

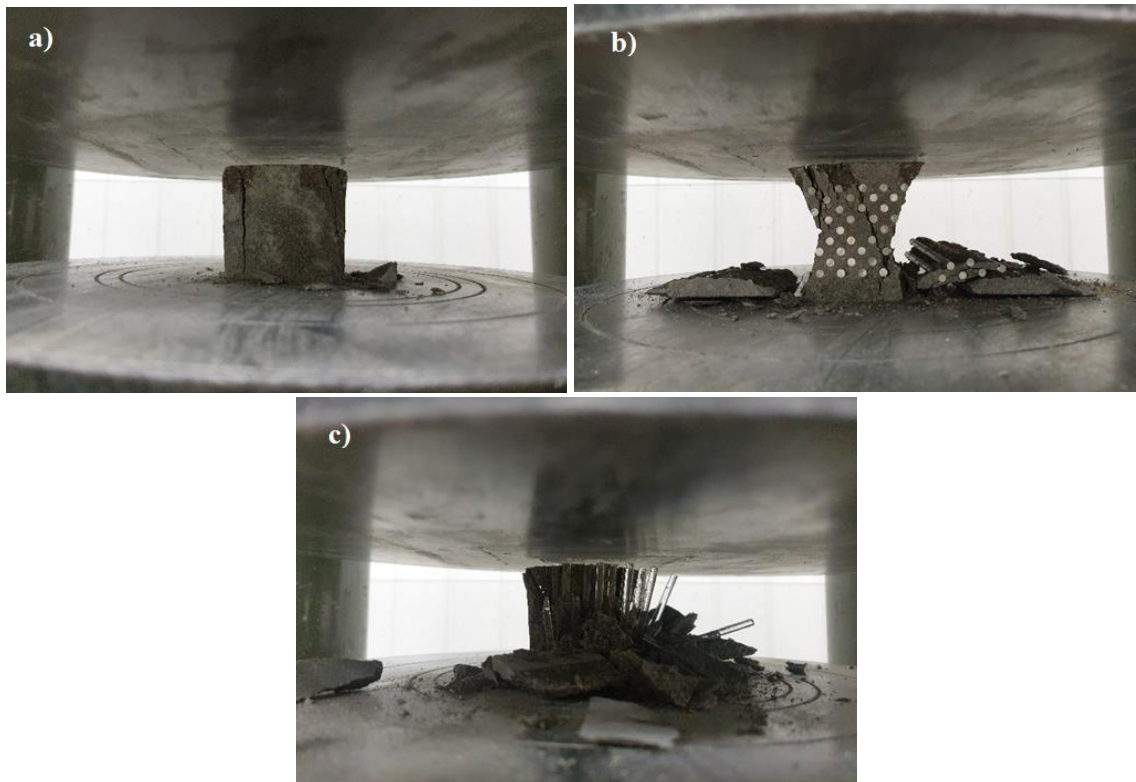
Gniuždymo bandymo metu buvo tiriami betoniniai bandiniai, kuriuose buvo 0 %, 2 %, 4 %, 6 % optinio pluošto. Bandiniai, kuriuose buvo įdėtas skirtingas pluošto kiekis, buvo gniuždomi dvejomis kryptimis, kai pluoštas išdėstytas horizontaliai ir kai pluoštas išdėstytas vertikalčiai (33 pav.). Buvo palyginti kontroliniai betono bandiniai su šviesai laidaus betono bandiniais gniuždytais skirtingomis kryptimis. Iš pateiktų rezultatų matyti, kad kontrolinio betono stipris gniuždant buvo 49,1 MPa. Šviesai laidaus betono bandiniai gniuždyti, kai pluoštas buvo išdėstytas vertikalčiai, atlaikė mažesnę gniuždomąją stiprį – 40,1 MPa, 33,7 MPa ir 31,4 MPa, priklausomai nuo optinio pluošto kiekio bandinyje atitinkamai 2 %, 4 %, ir 6 %.

Šviesai laidaus betono bandiniai gniuždyti, kai pluoštas išdėstytas horizontaliai, atlaikė šiek tiek mažesnę gniuždomąją stiprį lyginant su kontroliniu bandiniu, tačiau bandinio, kuriame buvo 2 % pluošto, gniuždymo stipris buvo didesnis nei kontrolinio betono. Gniuždyti bandiniai su vertikalčiai išdėstytu pluoštu atlaikė 18–36 % mažesnę gniuždomąją stiprį, o bandiniai su horizontaliai išdėstytu pluoštu – iki 8 % mažesnę stiprį lyginant su kontroliniais bandiniais, taip pat bandinio su 2 % pluošto

stipris gniuždant buvo net 20,5 % didesnis nei kontrolinio bandinio. Taip yra todėl, kad bandiniuose su 2% pluošto apsauginis sluoksnis yra žymiai didesnis nei bandiniuose su 4 % ar 6 % pluošto, taip pat šiuo atveju nedidelis pluošto kiekis bandinyje suarmuoja betoną (32 pav.). Betoninių bandinių gniuždymo parametrai pateikiami 2 priede.



**32 pav.** Betono bandinių stipris gniuždant priklausomai nuo pluošto kiekio



**33 pav.** Bandinių suirimas gniuždant: a) – kontrolinio betono bandinys, b) – šviesai laidaus betono bandinys gniuždytas, kai pluoštas išdėstytas horizontaliai, c) – šviesai laidaus betono bandinys gniuždytas, kai pluoštas išdėstytas vertikalčiai

### 3.4. Šviesos srauto perduodamo per bandinius rezultatai

Šviesos laidumo bandymui atlikti buvo naudojami 6 skirtingo ilgio bei skirtingą pluošto kiekį turintys bandiniai. Tarpusavyje buvo palyginti 50 mm ir 150 mm ilgio bandiniai, kuriuose buvo 2 %, 4 % arba 6 % pluošto (34 pav.). 10 lentelėje matome, kaip keitėsi apšvieta priklausomai nuo pluošto kiekio ir ilgio. Didžiausias šviesos srautas buvo gautas, kai bandinyje buvo 6 % pluošto, o jo ilgis buvo 50 mm, o mažiausias šviesos srautas praeinantis per bandinį buvo, kai bandinyje buvo 2 % pluošto, o jo ilgis – 150 mm. Iš gautų rezultatų matoma, kad palyginus abu bandinius, kuriuose buvo 2 % pluošto, ilgesniojo bandinio apšvieta buvo net 43,5 % mažesnė nei 50 mm ilgio bandinio, tačiau palyginus bandinius su 4 % pluošto matoma, kad 150 mm bandinio apšvieta padidėjo 5,7 % lyginant su 50 mm ilgio bandiniu, o bandiniuose su 6 % pluošto 150 mm bandinio apšvieta sumažėjo 44, 2 %. Taip pat palyginus visus 50 mm ilgio bandinius tarpusavyje buvo gauta, kad bandiniai su 6 % pluošto praleido 30,7 % daugiau šviesos nei bandiniai, kuriuose buvo 2 % pluošto, o palyginus 150 mm bandinius perduodamas šviesos srautas buvo panašus – 31,1 %. Rezultatai rodo, kad bandinių laidumas šviesai stipriai priklauso nuo pluošto kiekio juose, taip pat nuo bandinio ilgio, per kurį praeina šviesos srautas, pastebima tendencija, kuo pluošto daugiau, tuo didesnis šviesos srautas yra perduodamas per bandinį, tačiau kuo bandinys ilgesnis, tuo mažesnis bandinio laidumas šviesai. Betoninių bandinių šviesos pralaidumo parametrai pateikiami 3 priede.

10 lentelė. Šviesai laidaus betono bandinių laidumas šviesai

Bandinys	Apšvieta, lx	Koreliacinė spalvų temperatūra, K
I (2 %, $l = 50 \text{ mm}$ )	58,88	5530
II (4 %, $l = 50 \text{ mm}$ )	97,63	5844
III (6 %, $l = 50 \text{ mm}$ )	191,80	5924
IV (2 %, $l = 150 \text{ mm}$ )	33,24	5549
V (4 %, $l = 150 \text{ mm}$ )	103,20	5273
VI (6 %, $l = 150 \text{ mm}$ )	107,00	5995



34 pav. Šviesai laidaus betono bandiniai – su 2 %, 4 % ir 6 % pluošto (žiūrėti iš apačios į viršų)

### 3.5. Šviesos laidumo po sendinimo UV kameroje rezultatai

Šviesai laidžių betoninių bandinių sendinimo UV kameroje bandymas yra svarbus, norint nustatyti kaip ši kompozitinė medžiaga galėtų reaguoti į natūralios aplinkos poveikį.

Tyrimo metu šviesai laidūs 50 mm ir 150 mm ilgio betono bandiniai su 2 %, 4 % ir 6 % pluošto buvo laikomi UV kameroje 10 parų – tai atitinka vienerius metus bei dar 10 parų, susumavus tai būtų dveji metai. Dėl pasirinktos per aukštos temperatūros UV kameroje bandiniai sutrūkinėjo, todėl jų perduodamas šviesos srautas nebus lyginamas su pradiniu šviesos srautu, kurį bandiniai perdavė prieš sendinimą. Iš 11 lentelėje pateikiamų bandymo metu gautų rezultatų matome, kaip pasikeitė šviesos srautas perduodamas per bandinį, visais atvejais po dvejų metų sendinimo jis sumažėjo lyginant su bandiniais sendintais vienerius metus. Mažiausias apšvietos sumažėjimas buvo bandiniuose su 6 % pluošto nepriklausomai nuo bandinio ilgio, taip galėjo įvykti dėl to, kad esant dideliame pluošto kiekiui bandiniuose jie praleidžia didesnę šviesos srautą, todėl UV spinduliuotė ne taip žymiai paveikia bandinius lyginant su bandiniais, kuriuose pluošto kiekis buvo mažesnis. Norint gauti tikslesnius rezultatus, bandymą reikėtų pakartoti pasirenkant žemesnę temperatūrą.

**11 lentelė.** Bandinių laidumo šviesai parametrai po sendinimo UV kameroje

Bandinys	I (2 %, $l = 50 \text{ mm}$ )	II (4 %, $l = 50 \text{ mm}$ )	III (6 %, $l = 50 \text{ mm}$ )	IV (2 %, $l = 150 \text{ mm}$ )	V (4 %, $l = 150 \text{ mm}$ )	VI (6 %, $l = 150 \text{ mm}$ )
Po 1 metų, lx	395,0	874,6	1654,0	2083,0	4054,0	2541,0
Po 2 metų, lx	237,4	459,8	1218,0	1052,0	2379,0	2177,0
Apšvietos sumažėjimas, %	39,9	47,4	26,4	49,5	41,3	14,3

### 3.6. Vandens įgėrio rezultatai

Betono vandens įgėris stipriai priklauso nuo poringumo, esant dideliame medžiagos poringumui, ji pasižymi dideliu vandens įgėriu, tai reiškia, kad atsparumas šalčiui bus mažas, taip pat mažėja stiprumas bei laidumas šilumai, pavyzdžiui, betono vandens įgeriamumas neturėtų viršyti 7 %.

Vandens įgeriamumo bandymo metu buvo tiriami šviesai laidūs betoniniai bandiniai su 2 %, 4 % bei 6 % pluošto. Atliekant tyrimą buvo lyginamos įmirkusių bei išdžiovintų bandinių masės, tikslūs bandymo duomenys pateikiami 12 lentelėje. Pastebima, kad visų bandinių vidutinis vandens įgėris panašus – apie 3 %. Mažiausias vandens įgėris – 2,54 % buvo bandiniuose, kuriuose buvo panaudota 2 % pluošto, tai galėjo turėti įtakos didesniai šalčio atsparumui, bandiniuose su 4 % ir 6 % pluošto vandens įgėris atitinkamai buvo 3,02 % bei 2,89 %, todėl ir gniuždomojo stiprio po šalčio ciklų sumažėjimas buvo panašus. Kadangi bandinių vandens įgeriamumas yra mažas, galima manyti, kad bandinių poringumas taip pat yra mažas, o tą galėjo nulemti ganėtinai geras pluošto ir betono sukibimas.

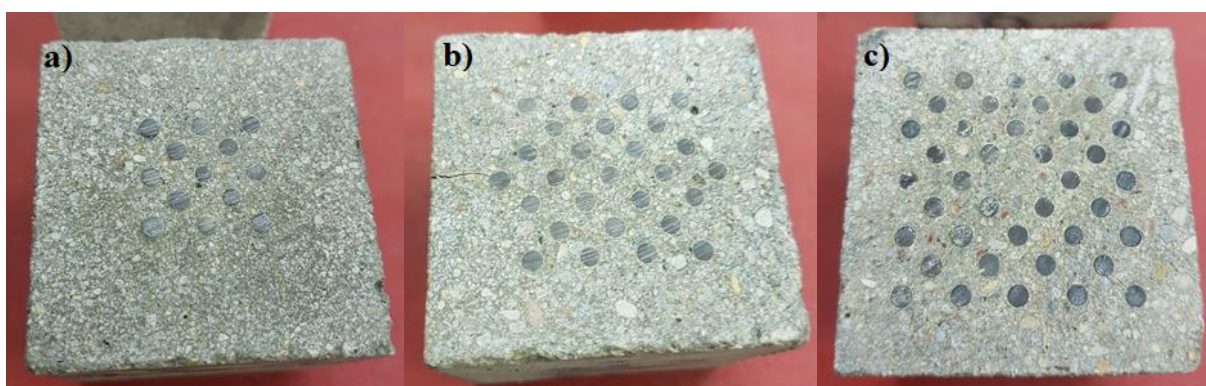
**12 lentelė.** Šviesai laidaus betono bandinių vandens įgeriamumo parametrai

Pluošto kiekis bandinyje	Bandinio numeris	Įmirkusio bandinio masė, g	Sauso bandinio masė, g	Vandens įgėris, %	Vidutinis vandens įgėris
2%	I	285,8	279,5	2,25	2,54
	II	298,2	290,0	2,83	
4%	III	277,5	269,2	3,08	3,02
	IV	293,0	284,6	2,95	
6%	V	276,4	268,6	2,90	2,89
	VI	272,1	264,5	2,87	

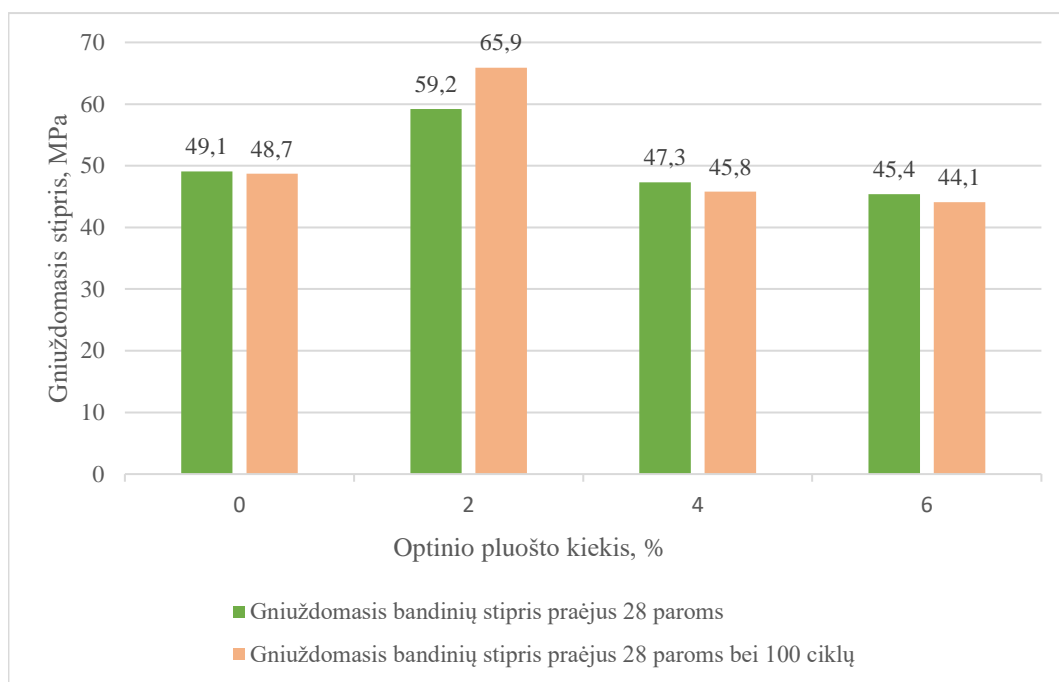
### 3.7. Betono atsparumo šalčiui tyrimo tūriniu užšaldymu ir atšildymu rezultatai

Vienas svarbiausių betono ilgaamžiškumo rodiklių yra be žymaus irimo atlaikyti daugkartinį užšaldymą ir atšildymą. Atsparumo šalčiui tyrimas svarbus dėl to, nes porose užšalancio vandens tūris padidėja, dėl ko susidaro dideli įtempiai ir betonas neišlaikęs suyra.

Atsparumo šalčiui tyrimui atlikti buvo naudojami 4-ių skirtingų tipų bandiniai: betoniniai bandiniai be pluošto, betoniniai bandiniai su 2 % pluošto, betoniniai bandiniai su 4 % pluošto ir betoniniai bandiniai su 6 % pluošto (35 pav.). Prieš padedant bandymą visi bandiniai buvo laikomi vandenyje tol, kol pasiekė pastovią masę, tada bandiniai buvo pasverti ir išmatuoti, tikslūs bandinių parametrai pateikiami 4 priede. Praėjus 100 šalčio ciklų bandiniai buvo sugniuždyti, o jų vidutinis gniuždymo stipris buvo palygintas su kontrolinių bandinių stipriu. Visų tipų betoniniai bandiniai atlaikė atsparumo šalčiui tyrimą ir atitinka F100 šalčio atsparumo klasę, kadangi gniuždomojo stiprio sumažėjimas lyginant su kontroliniais bandiniais svyravo nuo 0,82 % iki 3,17 %, tačiau pastebima, kad betoninių bandinių, kuriuose buvo 2 % pluošto, stipris išaugo net 11,32 %. Stipris padidėjo dėl to, kad betonas yra atsparus šalčiui, irimas prasidėjo ties apsauginiu sluoksniu, o bandinių su 4 % ir 6 % pluošto apsauginis sluoksnis buvo per mažas (36 pav.). Taip pat pastebima, kad mažesnis vandens įgėris padidina bandinių atsparumo šalčiui ciklų skaičių, kadangi vandens įgėrio tyrimo metu buvo nustatyta, jog į betoninį bandinį su 2 % pluošto vandens įsigėrė mažiausiai.



**35 pav.** Šviesai laidūs betoniniai bandiniai praėjus 100 šaldymo ciklų: a) – bandiniai su 2 % pluošto, b) – bandiniai su 4 % pluošto, c) – bandiniai su 6 % pluošto



**36 pav.** Stiprio gniuždant kitimas priklausomai nuo pluošto kiekio bandiniuose prieš ir po šalčio ciklą

### 3.8. Šviesai laidus betono panaudojimo sritys

Atlikus pasirinktus bandymus ir išanalizavus gautus rezultatus nustatyta, kad norint išlaikyti betono stiprumo savybes gaminant šviesai laidų betoną optimaliausia naudoti 2 % pluošto nuo visos gaminio masės, o norint pasiekti efektyviausią betono laidumą šviesos srautui optimaliausia naudoti 6 % pluošto.

Šviesai laidus betonas yra tinkamas naudoti vidutinio klimato regionuose, kai vasaros yra vidutinio šilumo, o žiemos vidutinio šaltumo. Šviesai laidus betonas yra ypač tinkamas nešildomiems ar dalinai šildomiems statiniams. Nors toks betonas kol kas nėra labai plačiai naudojamas, būtų galima išskirti kelias galimas šviesai laidus betono pritaikymo sritis. Tokį betoną būtų galima naudoti architektūriniais elementams: grindiniams, terasų elementams, balkonų sienelėms, taip pat parko elementams, suoliukams, dekoravimo elementams, laiptams, fasadų apdailai, pertvaroms ir pan.

## Išvados

1. Atlikus šviesai laidaus betono bandinių gniuždymo stiprio nustatymo bandymus po 28 parų kietėjimo su skirtingu akrilo strypelių kiekiu bandiniuose buvo nustatyta, kad betono stipris gniuždamas sumažėja iki 8 %, kai bandiniai gniuždomi su horizontaliai išdėstyta pluoštu, o kai bandiniai yra gniuždomi su vertikalčiai išdėstyta pluoštu, stipris sumažėja 18–36 %, lyginant su kontrolinio betono bandiniais.
2. Išmatavus bandinių laidumo šviesai galimybes buvo nustatyta, kad medžiagos storis daro įtaką šviesos laidumui, bandiniai, kurių ilgis buvo 50 mm šviesos praleido 43,5–44,2 % daugiau nei 150 mm ilgio bandiniai. Taip pat pastebėta, kad 50 mm ir 150 mm bandiniai, kuriuose buvo 6 % pluošto šviesos praleido 30,7–31,1 % daugiau lyginant su bandiniais, kuriuose buvo 2 % pluošto.
3. Išmatavus bandinių šviesos laidumą, kurie buvo sendinami ultravioletinių spindulių kameroje vienerius ir dvejus metus, nustatyta, kad ultravioletinė spinduliuotė mažiausiai įtakos padarė bandiniams, kuriuose buvo 6 % pluošto – šviesos srauto perdavimas po dvejų metų sumažėjo 14,3 % ir 26,4 % atitinkamai 150 mm ir 50 mm ilgio bandiniuose.
4. Ištyrus šviesai laidaus betono bandinių vandens įgeriamumo savybes buvo nustatyta, kad optinio pluošto kiekis betone nedaro įtakos vandens įgėriui, visais atvejais įgėris buvo apie 3%.
5. Atlikus atsparumo šalčiui bandymą nustatyta, kad praėjus 100 ciklų bandinių stiprumas gniuždamas sumažėjo nuo 0,82 % iki 3,17 %, tačiau bandiniai, kuriuose buvo 2 % pluošto, pasižymėjo 11,32 % didesniu stipriu gniuždamas nei prieš bandymą.
6. Įvertinus atliktų tyrimų rezultatus buvo aptartos galimos šviesai laidaus betono panaudojimo sritys. Tokio tipo betoną būtų galima naudoti architektūriniais elementams, tokiems kaip grindiniai, terasų elementai, balkonų sienelės, parko elementai, suoliukai ir kt.

## Literatūros sąrašas

1. HALBINIAK, J. and SROKA, P. Translucent Concrete as the Building Material of the 21st Century. *TEKA. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2015, 15(1), 23-28. ISSN 1641-7739.
2. SAWANT, A. B., JUGDAR, R. V. and SAWANT, S. G. Light Transmitting Concrete by using Optical Fiber. *International Journal of Inventive Engineering and Sciences*. 2014, 3(1), 23-28. ISSN 2319-9598.
3. NANDRAM, B. S. and MOTE, P. S. Review study of Light Transmitting Concrete. *Journal of Advances and Scholarly Researches in Allied Education*. 2018, 15(2), 519-522. ISSN 2230-7540.
4. KASHIYANI, B. K., RAINA, V., PITRODA, J. and SHAH, B. K. A Study on Transparent Concrete: A Novel Architectural Material to Explore Construction Sector. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*. 2013, 2(8), 83-87. ISSN 2277-3754.
5. NIMBALKAR, S., JAYRAJ, G. K. and RAJE, S. Light Transmitting Concrete-A Brief Review. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2019, 6(2), 2286-2289. ISSN 2395-0072.
6. Nikhil, K., UMMER, F. N., SILAL, A. K., JURAIGE, M., RAMEESA, S. and SHABEEBA, O. Experimental Analysis of Translucent Concrete by using Optical Fibers. *SSRG International Journal of Civil Engineering (SSRG-IJCE)*. 2016, 3(3), 69-74. ISSN 2348-8352.
7. SAID, S. H. State of the Art Developments in Light Transmitting Concrete. *Materials Today: Proceedings*. 2020, 33(4), 1967-1973. ISSN 2214-7853.
8. SHAHMIR, N. G. and BHAT, M. Structural and Luminance Properties of Light Transmitting Concrete. *Annales de Chimie: Science des Materiaux*. 2020, 44(3), 185-190. ISSN 1958-5934.
9. CHIEW, S. M., IBRAHIM, I. S., SABRINI, N. N., ARIFFIN, M. A. M., LEE, H. S., and SINGH, J. K. Development of Light-Transmitting Concrete – A Review. *Materials Today: Proceedings*. 2020, 0(0), 1-5. ISSN 2214-7853.
10. ALI, U., KARIM, K. J. B. A. and BUANG, N. A. A Review of the Properties and Applications of Poly (Methyl Methacrylate) (PMMA). *Polymer Reviews*. 2015, 55(4), 678-705. ISSN 1558-3724.
11. BERTO, F., CAMPAGNOLO, A., ELICES, M. and LAZZARIN P. A Synthesis of Polymethylmethacrylate Data from U-notched Specimens and V-notches with End Holes by Means of Local Energy. *Materials and Design*. 2013, 49, 826-833. ISSN 0261-3069.
12. BUDWING, R. Refractive Index Matching Methods for Liquid Flow Investigations. *Experiments in Fluids*. 1994, 17(5), 350-355. ISSN 0723-4864.
13. MONSORES, K. G. D. C., SILVA, A. O., OLIVEIRA S. S., RODRIGUES J. G. P. and WEBER R. P. Influence of Ultraviolet Radiation on Polymethylmethacrylate (PMMA). *Journal of Materials Research and Technology*. 2019, 8(5), 3713-3718. ISSN 2238-7854.
14. TEJASWINI, G. L. S. and RAO A. V. A Detailed Report on Various Behavioral Aspects of Self-Compacting Concrete. *Materials Today: Proceedings*. 2020, 33(1), 839-844. ISSN 2214-7853.
15. SURYA, T. R., PRAKASH, M., SATYANARAYANAN, K. S., CELESTINE, A. K. and PARTHASARATHI, N. Compressive Strength of Self Compacting Concrete Under Elevated Temperature. *Materials Today: Proceedings*. 2020, 0(0), 1-5. ISSN 2214-7853.
16. BROUWERS, H. J. H. and RADIX, H. J. Self-Compacting Concrete: Theoretical and Experimental Study. *Cement and Concrete Research*. 2005, 35(11), 2116-2136. ISSN 0008-8846.



17. ZIELINSKA, M. and CIESIELSKI, A. Analysis of Transparent Concrete as an Innovative Material Used in Civil Engineering. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017, 245(2), 1-8. ISSN 1757-899X.
18. SHEN, J. and ZHOU, Z. Light Transmitting Performance and Energy-Saving of Plastic Optical Fibre Transparent Concrete Products. *Indoor and Built Environment*. 2020, 0(0), 1-15. ISSN 1423-0070.
19. SHEN, J. and ZHOU, Z. Preparation and Study of Resin Translucent Concrete Products. *Advances in Civil Engineering*. 2019, 2019, 1-12. ISSN 1687-8094.
20. GURSKIS, Vincas. *Statybinės medžiagos: mokomoji knyga*. Kaunas: Ardiva, 2008. ISBN 978-9955-896-24-1.
21. TUAUM, A., SHITOTE, S., OYAWA, W. and BIEBERHAN, M. Structural Performance of Translucent Concrete Façade Panels. *Advances in Civil Engineering*. 2019, 2019, 1-10. ISSN 1687-8094.
22. LI, Y., LI, J., WAN, Y. and XU, Z. Experimental Study of Light Transmitting Cement-Based Material (LTCM). *Construction and Building Materials*. 2015, 96, 319-325. ISSN 0950-0618.
23. SINGH, S., SINGH, G. K., SINGH, D., MISHRA, B. K., SINGH, A. P., GUPTA, S. and SHARMA, A. Light Transmitting Concrete Using clear Casting resin. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering*. 2018, 7(1), 27-33, ISSN 2319-8354.
24. KADAM, O. Translucent Concrete. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*. 2017, 14(3), 18-31. ISSN 2320-334X.
25. HENRIQUES, T. S., MOLIN, D. C. and MASUERO, A. B. Study of the Influence of Sorted Polymeric Optical Fibers (POFs) in Samples of a Light-Transmitting Cement-Based Material (LTCM). *Construction and Building Materials*. 2018, 161, 305-315. ISSN 0950-0618.
26. KIM, B. Light Transmitting Lightweight Concrete with Transparent Plastic Bar. *The Open Civil Engineering Journal*. 2017, 11(1), 615-626. ISSN 1874-1495.
27. ALTLOMATE, A., ALATSHAN, F., MASHIRI, F. and JADAN, M. Experimental Study of Light-Transmitting Concrete. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*. 2016, 7(3-4), 133-139. ISSN 2093-7628.
28. PAUL, S. and DUTTA, A. Translucent Concrete. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 2013, 3(10), 1-10. ISSN 2250-3153.
29. BHANUSE, U. M., BABAR, A. B., RANVEER, A. C. Smart Light Translucent Concrete By Using Optical Fiber. *Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering & Technology*. 2015, 5(1), 10-18. ISSN 2278-179X.
30. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 933-1:2012]. *Bandymai geometrinėms savybėms nustatyti. 1 dalis. Granulimetrinės sudėties nustatymas. Sijojimo metodas = Tests for geometrical properties of aggregates – Part 1: Determination of practicle size distribution – Sieving method: Europos standartas EN 933-1:2012 turi Lietuvos standarto statusą*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2012.
31. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 12620:2003+A1:2008]. *Betono užpildai = Aggregates for concrete: Europos standartas EN 12620:2002+A1:2008 turi Lietuvos standarto statusą*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2008.
32. GURSKIS, Vincas. *Statybinių medžiagų laboratoriniai darbai: metodiniai patarimai*. Kaunas: Ardiva, 2008. ISBN 978-9955-896-14-2.

33. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 12350-6:2019]. *Betono mišinio bandymai. 6 dalis. Tankis = Testing fresh concrete – Part 6: Density: Europos standartas EN 12350-6:2019 turi Lietuvos standarto statusą.* Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2019.
34. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 12350-7:2019]. *Betono mišinio bandymai. 7 dalis. Oro kiekis. Slėginiai metodai = Testing fresh concrete – Part 7: Air content – Pressure methods: Europos standartas EN 12350-7:2019 turi Lietuvos standarto statusą.* Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2019.
35. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 12350-8:2019]. *Betono mišinio bandymai. 8 dalis. Susitankinantis betonas. Slankumo bandymas naudojant standartinį kūgį = Testing fresh concrete – Part 8: Self-compacting concrete – Slump-flow test: Europos standartas EN 12320-8:2019 turi Lietuvos standarto statusą.* Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2019.
36. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 206:2013+A1:2017]. *Betonas. Specifikacija, eksploatacinės savybės, gamyba ir atitiktis = Concrete – Specification, performance, production and conformity: Europos standartas EN 206:2013+A1:2016 turi Lietuvos standarto statusą.* Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2017.
37. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 12350-9:2010]. *Betono mišinio bandymai. 9 dalis. Susitankinantis betonas. Bandymas, naudojant V pavidalo piltuvą = Testing fresh concrete – Part 9: Self-compacting concrete – V-funnel test: Europos standartas EN 12350-9:2010 turi Lietuvos standarto statusą.* Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2010.
38. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 12390-3:2019]. *Sukietėjusio betono bandymai. 3 dalis. Bandinių gniuždymo stipris = Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of test specimens: Europos standartas EN 12390-3:2019 turi Lietuvos standarto statusą.* Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2019.
39. BUTRIMAITĖ, J., DEMENTEJEV, A., GADONAS, R., DIKČIUS, G., JASEVIČIŪTĖ, J., KARENAUSKAITĖ, V., SIRUTKAITIS, V. ir SMILGEVIČIUS, V. *Fizika biomedicinos ir fizinių mokslų studentams 2 dalis.* Vilnius: Vilniaus universiteto leidykla, 2004. ISBN 9986-19-595-9.
40. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 16474-3:2014]. *Dažai ir lakai. Apšvitos laboratoriniais šviesos šaltiniais metodai. 3 dalis. Liuminescencinės ultravioletinės lempos (ISO 16474-3:2013) = Paints and varnishes – Methods of exposure to laboratory light sources – Part 3: Fluorescent UV lamps (ISO 16474-3:2013): Europos standartas EN ISO 16474-3:2013 turi Lietuvos standarto statusą.* Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2014.
41. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 16474-1:2014]. *Dažai ir lakai. Apšvitos laboratoriniais šviesos šaltiniais metodai. 1 dalis. Bendrieji nurodymai (ISO 16474-1:2013) = Paints and varnishes – Methods of exposure to laboratory light sources – Part 1: General guidance (ISO 16474-1:2013): Europos standartas EN ISO 16474-1:2013 turi Lietuvos standarto statusą.* Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2014.
42. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 13369:2018]. *Bendrosios surenkamųjų betoninių gaminių taisyklės = Common rules for precast concrete products:*

*Europos standartas EN 13369:2018 turi Lietuvos standarto statusą. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2019.*

43. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST 1428-17:2016]. *Betonas. Bandymo metodai. 17 dalis. Atsparumo šalčiui nustatymas tūriniu užšaldymu ir atšildymu = Concrete – Test methods – Part 17: Determination of frost resistance to volumetric freezing and thawing.* Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2016.

## Priedai

### 1 priedas. Granulimetrinės sudėties nustatymas. Sijojimo metodas

**1 lentelė.** Smėlio fr. 0/2 granulimetrinės sudėties tyrimo duomenys

Bandomosios dalos masė		M <sub>1</sub> =500, g		
Sieto akučių dydis, mm	Liekanos masė R <sub>i</sub> , g	Liekanos dalis (R <sub>i</sub> /M <sub>1</sub> )x100, %	Suminė liekana,%	Išbiros kiekis, % 100-(R <sub>i</sub> –M <sub>1</sub> x100)
2	45,20	9,0	9,0	91,0
1	96,20	19,2	28,2	71,8
0,500	197,50	39,5	67,7	32,3
0,250	117,60	23,5	91,2	8,8
0,125	32,30	6,5	97,7	2,3
0,063	6,40	1,3	99,0	1,0
Medžiagos kiekis likęs ant rinkinio dugno P (0)	2,60	0,5	99,5	0,5
Smulkiųjų dalelių kiekis, %		0,52		
ΣR <sub>i</sub> + P		497,8		
Sijojimo nuostoliai, %		0,50	<1	
Smulkumo modulis			2,94	

## 2 priedas. Stiprumo gniuždant nustatymas

1 lentelė. Betoninių bandinių gniuždymo parametrai

Optinio pluošto kiekis bandinyje, %	Bandinio numeris	Matmenys, mm			Svoris, g	Tankis, kg/m <sup>3</sup>	Gniuždymo jėga, kN	Gniuždymo stipris, Mpa	Vidutinis gniuždymo stipris, Mpa
0	I	47,29	48,74	50,14	261,7	2264	112,9	49,0	49,1
	II	46,75	48,71	49,60	257,8	2282	111,3	48,9	
	III	47,40	48,39	48,91	254,7	2270	113,1	49,3	
Gniuždyta statmenai optinio pluošto									
2	I	49,58	50,14	51,01	276,2	2178	146,5	58,9	59,2
	II	48,95	50,13	51,62	289,5	2285	145,8	59,4	
	III	47,70	49,81	50,62	268,5	2232	140,9	59,3	
4	I	49,27	49,88	51,10	282,5	2250	115,1	46,8	47,3
	II	47,57	49,82	51,88	278,0	2261	113,5	47,9	
	III	46,99	49,88	51,72	274,9	2268	110,6	47,2	
6	I	49,74	50,54	53,18	291,8	2183	113,9	45,3	45,4
	II	47,85	49,65	53,51	277,3	2181	109,2	46,0	
	III	47,39	50,58	51,72	274,6	2215	107,4	44,8	
Gniuždyta lygiagrečiai optinio pluošto									
2	I	48,29	50,17	51,55	288,7	2312	104,3	40,3	40,1
	II	49,15	50,12	51,17	295,7	2346	102,2	39,8	
	III	49,33	50,03	51,44	291,0	2292	103,5	40,2	
4	I	47,76	49,81	51,71	278,8	2266	87,4	33,9	33,7
	II	49,90	49,93	51,37	288,4	2253	85,2	33,2	
	III	49,85	50,01	53,02	286,8	2170	90,1	34,0	
6	I	47,31	50,21	52,17	274,8	2217	82,5	31,5	31,4
	II	49,55	50,26	51,64	284,9	2215	79,2	30,5	
	III	46,29	49,69	53,25	269,6	2201	85,3	32,2	

### 3 priedas. Betoninių bandinių šviesos pralaidumo parametrai

## SPECTRUM TEST REPORT



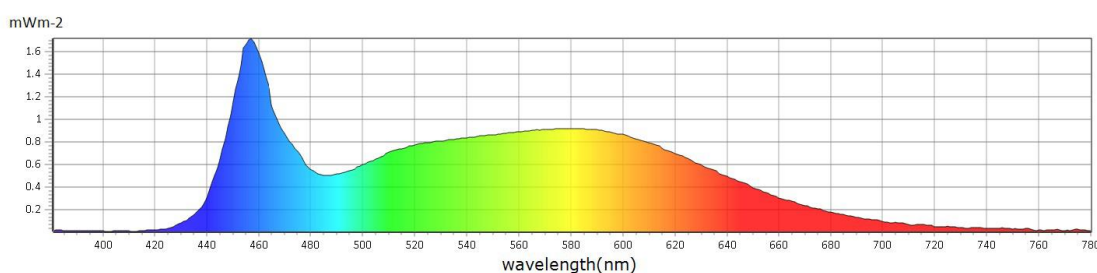
#### Information

User :	Measure Time :15:04:39
Model NO. : MK350S	Light Source :
Memo :	
I mėginys	

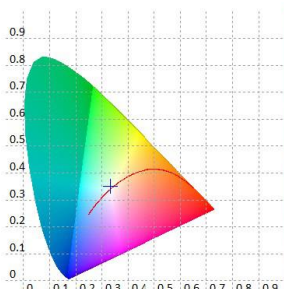
#### BASIC

CCT	: 5530 K
x	: 0.3317
y	: 0.3514
LambdaD	: 550 nm
LambdaP	: 456 nm

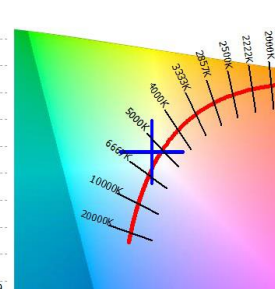
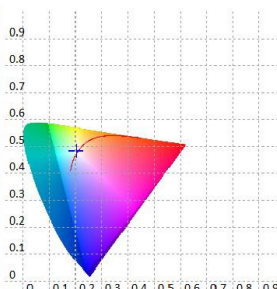
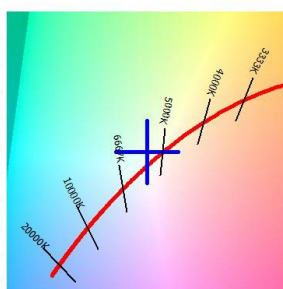
#### Spectrum



#### CIE1931



#### CIE1976



#### Features

CCT : 5530 K	x10 : 0.3379	delta-x : 0.0000	LambdaD : 550 nm	PPFD : 0.8230 umolm-2s-1	S/P : 2.14	R3 : 95.2	R10 : 79.9
LUX : 58.88 lx	y10 : 0.3534	delta-y : 0.0110	LambdaP : 456 nm	PFD : 0.8416 umolm-2s-1	IRR : 0.1839	R4 : 78.6	R11 : 78.0
I-Time : 1000 ms	u'10 : 0.2059	delta-u' : -0.0042	Purity : 5.04%	PFD-B : 0.2127 umolm-2s-1	CQS : 81.4	R5 : 81.4	R12 : 57.9
x : 0.3317	v'10 : 0.4845	delta-v' : 0.0055	fc : 5.472	PFD-G : 0.3867 umolm-2s-1	CRI : 83.2	R6 : 86.7	R13 : 84.9
y : 0.3514	X : 55.58	Duv : 0.0055	Rf : 82.4	PFD-R : 0.2236 umolm-2s-1	TLCI : 69.8	R7 : 85.0	R14 : 97.7
u' : 0.2025	Y : 58.88	MEL : 54.62 lx	Rg : 91.2	PFD-UV : 0.0006 umolm-2s-1	R1 : 81.7	R8 : 65.2	R15 : 74.9
v' : 0.4826	Z : 53.08	LambdaPV : 1.721	GAI : 79.9	PFD-FR : 0.0180 umolm-2s-1	R2 : 91.9	R9 : 5.2	

Company:

Address:

Postcode/town:

test location:

Date :2020/10/23

phone number

1 pav. I bandinio spektro nustatymo ataskaita

# SPECTRUM TEST REPORT

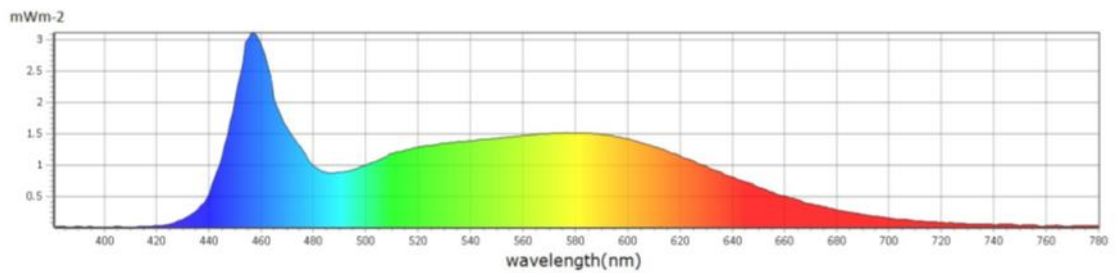
## Information

User :	Measure Time :15:03:44
Model NO. : MK350S	Light Source :
Memo :	
Il mēginys	

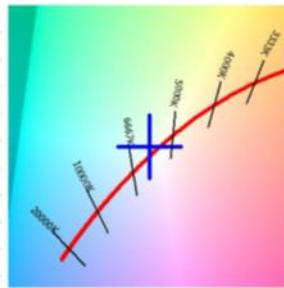
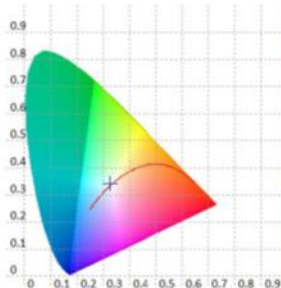
## BASIC

CCT	: 5844 K
x	: 0.3247
y	: 0.3416
LambdaD	: 505 nm
LambdaP	: 456 nm

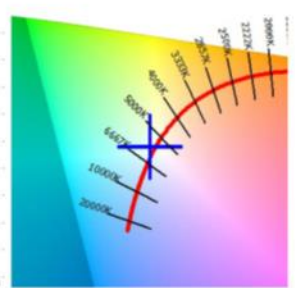
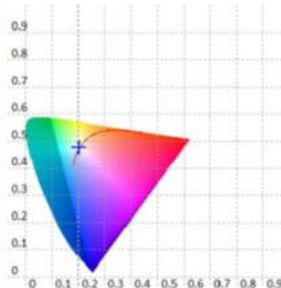
## Spectrum



## CIE1931



## CIE1976



## Features

CCT : 5844 K	x10 : 0.3304	delta-x : -0.0004	LambdaD : 505 nm	PPFD : 1.387 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	S/P : 2.21	R3 : 95.0	R10 : 82.6
LUX : 97.63 lx	y10 : 0.3444	delta-y : 0.0070	LambdaP : 456 nm	PFD : 1.419 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	IRR : 0.3114	R4 : 79.4	R11 : 79.0
I-Time : 1000 ms	u'10 : 0.2042	delta-u' : -0.0029	Purity : 2.59%	PFD-B : 0.3808 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	CQS : 81.6	R5 : 82.7	R12 : 58.1
x : 0.3247	v'10 : 0.4789	delta-v' : 0.0036	fc : 9.074	PFD-G : 0.6397 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	CRI : 84.2	R6 : 87.4	R13 : 86.9
y : 0.3416	X : 92.82	Duv : 0.0038	Rf : 82.4	PFD-R : 0.3670 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	TLCI : 71.1	R7 : 85.1	R14 : 97.7
u' : 0.2014	Y : 97.63	MEL : 94.98 lx	Rg : 91.6	PFD-UV : 0.0010 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	R1 : 83.5	R8 : 67.5	R15 : 77.6
v' : 0.4767	Z : 95.37	LambdaPV : 3.109	GAI : 83.1	PFD-FR : 0.0309 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	R2 : 93.4	R9 : 11.9	

Company:

Address:

Postcode/town:

test location:

Date :2020/10/23

phone number

2 pav. II bandinio spektro nustatymo ataskaita

# SPECTRUM TEST REPORT

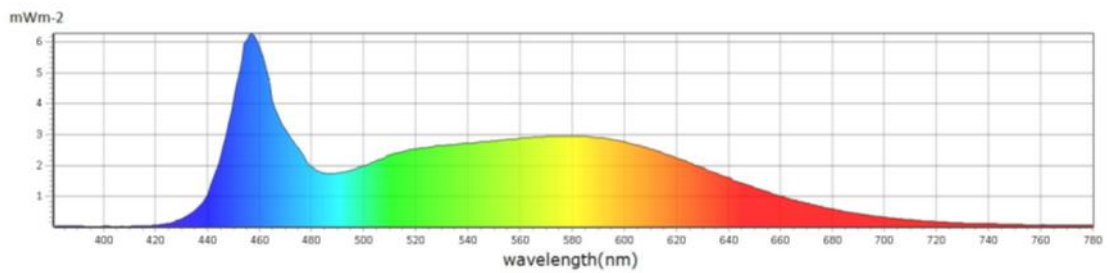
## Information

User :	Measure Time :15:02:20
Model NO. : MK350S	Light Source :
Memo :	
III mėginys	

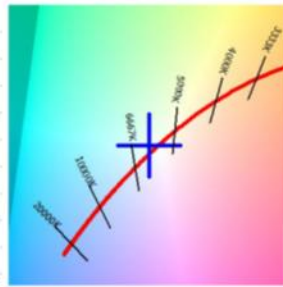
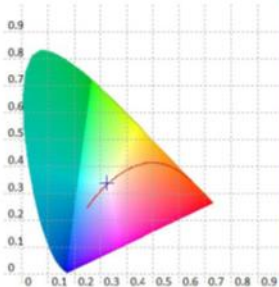
## BASIC

CCT	: 5924 K
x	: 0.3231
y	: 0.3392
LambdaD	: 499 nm
LambdaP	: 456 nm

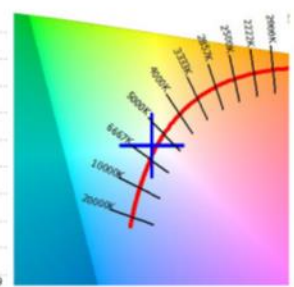
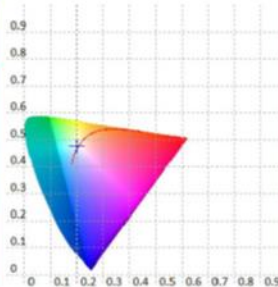
## Spectrum



## CIE1931



## CIE1976



## Features

CCT : 5924 K	x10 : 0.3286	delta-x : -0.0004	LambdaD : 499 nm	PPFD : 2.744 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	S/P : 2.23	R3 : 95.1	R10 : 83.5
LUX : 191.8 lx	y10 : 0.3422	delta-y : 0.0061	LambdaP : 456 nm	PFD : 2.812 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	IRR : 0.6171	R4 : 80.0	R11 : 79.9
I-Time : 1000 ms	u'10 : 0.2038	delta-u' : -0.0026	Purity : 3.18%	PFD-B : 0.7611 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	CQS : 82.0	R5 : 83.4	R12 : 58.4
x : 0.3231	v'10 : 0.4775	delta-v' : 0.0031	fc : 17.82	PFD-G : 1.256 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	CRI : 84.8	R6 : 87.7	R13 : 87.7
y : 0.3392	X : 182.67	Duv : 0.0033	Rf : 82.7	PFD-R : 0.7278 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	TLCI : 72.5	R7 : 85.5	R14 : 97.7
u' : 0.2012	Y : 191.75	MEL : 188.7 lx	Rg : 91.9	PFD-UV : 0.0022 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	R1 : 84.3	R8 : 68.7	R15 : 78.7
v' : 0.4752	Z : 190.86	LambdaPV : 6.283	GAI : 84.1	PFD-FR : 0.0654 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	R2 : 93.8	R9 : 15.3	

Company:

Address:

Postcode/town:

test location:

Date :2020/10/23

phone number

3 pav. III bandinio spektro nustatymo ataskaita



# SPECTRUM TEST REPORT



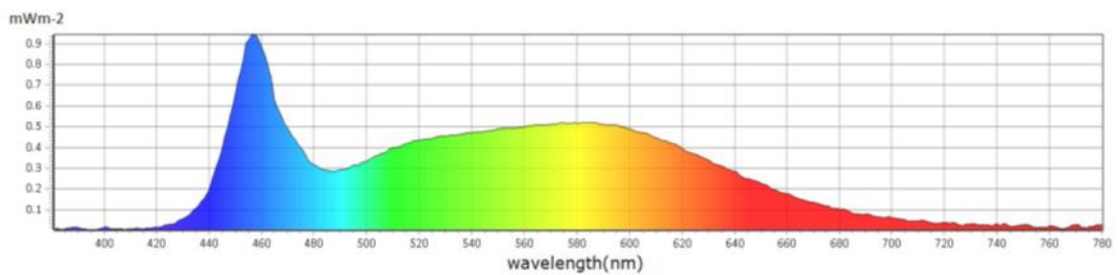
## Information

User :	Measure Time :15:08:23
Model NO. : MK350S	Light Source :
Memo :	
IV mėginys	

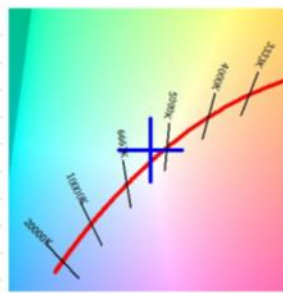
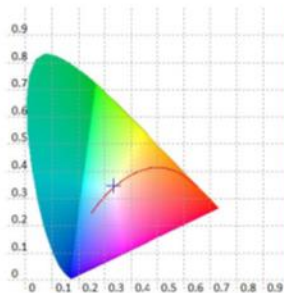
## BASIC

CCT	: 5549 K
x	: 0.3313
y	: 0.3490
LambdaD	: 548 nm
LambdaP	: 456 nm

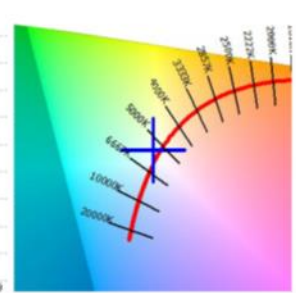
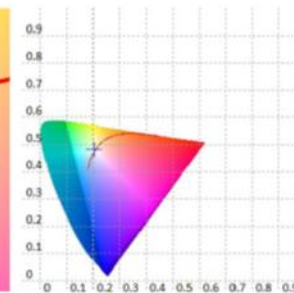
## Spectrum



## CIE1931



## CIE1976



## Features

CCT : 5549 K	x10 : 0.3372	delta-x : 0.0000	LambdaD : 548 nm	PPFD : 0.4680 umolm-2s-1	S/P : 2.14	R3 : 95.3	R10 : 80.4
LUX : 33.24 lx	y10 : 0.3508	delta-y : 0.0089	LambdaP : 456 nm	PFD : 0.4830 umolm-2s-1	IRR : 0.1054	R4 : 79.6	R11 : 79.0
I-Time : 1000 ms	u'10 : 0.2064	delta-u' : -0.0034	Purity : 4.22%	PFD-B : 0.1221 umolm-2s-1	CQS : 81.7	R5 : 82.2	R12 : 59.6
x : 0.3313	v'10 : 0.4831	delta-v' : 0.0045	fc : 3.089	PFD-G : 0.2181 umolm-2s-1	CRI : 83.8	R6 : 86.9	R13 : 85.5
y : 0.3490	X : 31.55	Duv : 0.0045	Rf : 83.0	PFD-R : 0.1278 umolm-2s-1	TLCI : 70.4	R7 : 85.3	R14 : 97.9
u' : 0.2031	Y : 33.24	MEL : 30.93 lx	Rg : 91.8	PFD-UV : 0.0006 umolm-2s-1	R1 : 82.4	R8 : 66.1	R15 : 76.0
v' : 0.4814	Z : 30.45	LambdaPV : 0.9438	GAI : 81.1	PFD-FR : 0.0144 umolm-2s-1	R2 : 92.2	R9 : 7.5	

Company:

Address:

Postcode/town:

test location:

Date :2020/10/23

phone number

4 pav. IV bandinio spektro nustatymo ataskaita

# SPECTRUM TEST REPORT

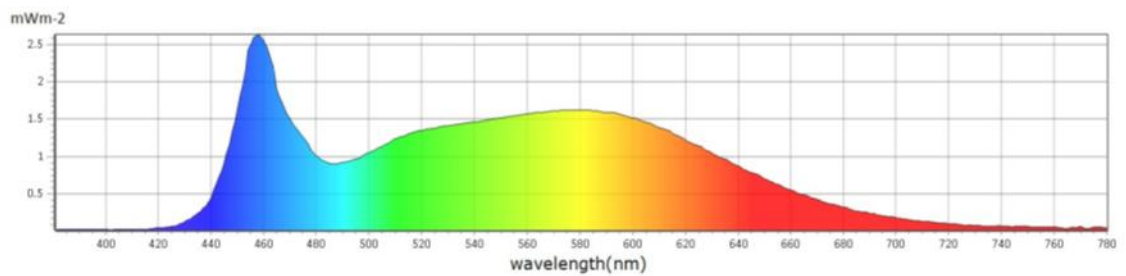
## Information

User :	Measure Time :15:06:33
Model NO. : MK350S	Light Source :
Memo :	
V mėginys	

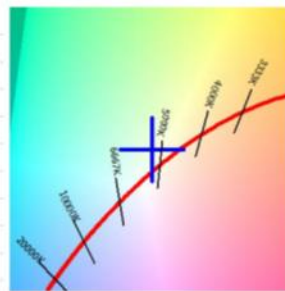
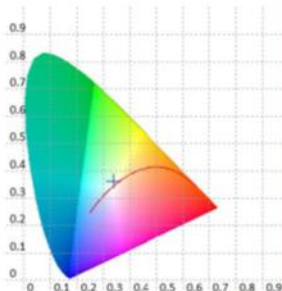
## BASIC

CCT	: 5273 K
x	: 0.3386
y	: 0.3636
LambdaD	: 561 nm
LambdaP	: 457 nm

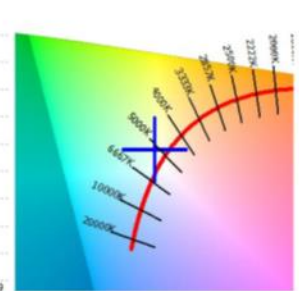
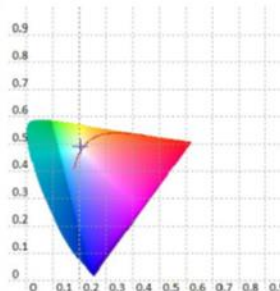
## Spectrum



## CIE1931



## CIE1976



## Features

CCT : 5273 K	x10 : 0.3454	delta-x : 0.0007	LambdaD: 561 nm	PPFD : 1.422 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	S/P : 2.09	R3 : 94.8	R10 : 79.0
LUX : 103.2 lx	y10 : 0.3654	delta-y : 0.0179	LambdaP: 457 nm	PFD : 1.462 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	IRR : 0.3178	R4 : 76.3	R11 : 75.6
I-Time : 1000 ms	u'10 : 0.2064	delta-u' : -0.0062	Purity : 10.66%	PFD-B : 0.3476 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	CQS : 81.1	R5 : 79.7	R12 : 58.2
x : 0.3386	v'10 : 0.4913	delta-v' : 0.0087	fc : 9.592	PFD-G : 0.6787 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	CRI : 81.8	R6 : 86.9	R13 : 83.1
y : 0.3636	X : 96.12	Duv : 0.0085	Rf : 82.0	PFD-R : 0.3960 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	TLCI : 68.7	R7 : 84.0	R14 : 96.9
u' : 0.2026	Y : 103.21	MEL : 92.54 lx	Rg : 89.8	PFD-UV : 0.0015 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	R1 : 79.7	R8 : 62.2	R15 : 71.7
v' : 0.4894	Z : 84.54	LambdaPV : 2.633	GAI : 75.1	PFD-FR : 0.0379 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	R2 : 91.1	R9 : -2.0	

Company:

Address:

Postcode/town:

test location:

Date :2020/10/23

phone number

5 pav. V bandinio spektro nustatymo ataskaita

# SPECTRUM TEST REPORT

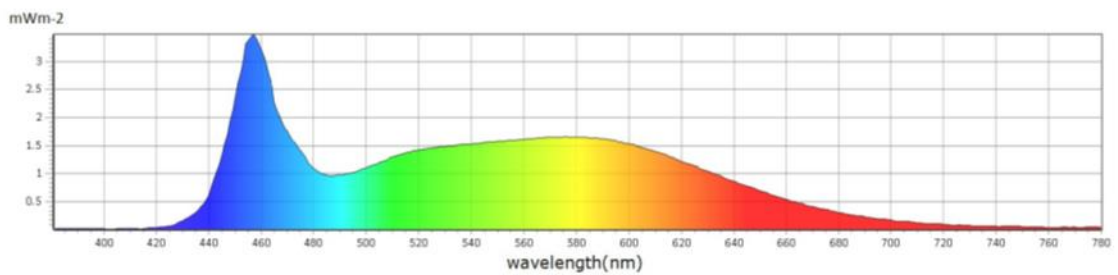
## Information

User :	Measure Time :15:05:42
Model NO. : MK350S	Light Source :
Memo :	
VI mėginys	

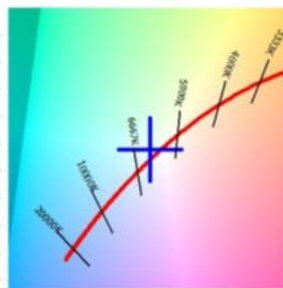
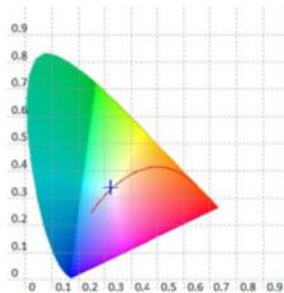
## BASIC

CCT	: 5995 K
x	: 0.3217
y	: 0.3393
LambdaD	: 498 nm
LambdaP	: 456 nm

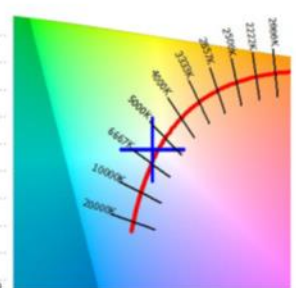
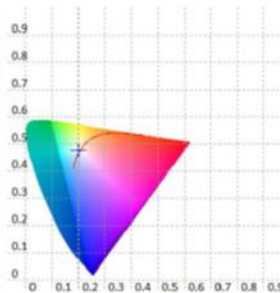
## Spectrum



## CIE1931



## CIE1976



## Features

CCT : 5995 K	x10 : 0.3272	delta-x : -0.0005	LambdaD : 498 nm	PPFD : 1.524 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	S/P : 2.24	R3 : 95.0	R10 : 81.7
LUX : 107.0 lx	y10 : 0.3420	delta-y : 0.0074	LambdaP : 456 nm	PFD : 1.564 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	IRR : 0.3436	R4 : 79.3	R11 : 78.9
I-Time : 1000 ms	u'10 : 0.2029	delta-u' : -0.0032	Purity : 3.69%	PFD-B : 0.4262 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	CQS : 81.5	R5 : 82.4	R12 : 57.7
x : 0.3217	v'10 : 0.4773	delta-v' : 0.0038	fc : 9.947	PFD-G : 0.7029 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	CRI : 84.1	R6 : 87.0	R13 : 86.6
y : 0.3393	X : 101.46	Duv : 0.0041	Rf : 82.4	PFD-R : 0.3949 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	TLCI : 70.9	R7 : 85.3	R14 : 97.7
u' : 0.2002	Y : 107.03	MEL : 105.4 lx	Rg : 91.6	PFD-UV : 0.0016 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	R1 : 83.2	R8 : 67.5	R15 : 77.2
v' : 0.4750	Z : 106.95	LambdaPV : 3.483	GAI : 83.6	PFD-FR : 0.0381 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	R2 : 93.0	R9 : 10.6	

Company:

Address:

Postcode/town:

test location:

Date :2020/10/23

phone number

6 pav. VI bandinio spektro nustatymo ataskaita

#### 4 priedas. Stiprumo gniuždant nustatymas praėjus 100 šalčio ciklų

1 lentelė. Betoninių bandinių gniuždymo parametrai praėjus 100 šalčio ciklų

Optinio pluošto kiekis bandinyje, %	Bandinio numeris	Matmenys, mm			Pradinis svoris, g	Svoris po 100 šaldymo ciklų, g	Tankis, kg/m <sup>3</sup>	Gniuždymo jėga, kN	Gniuždymo stipris, Mpa	Vidutinis gniuždymo stipris po 100 šaldymo ciklų, Mpa	Kontrolinis vidutinis gniuždymo stipris, MPa	Bandinių gniuždomojo stiprio sumažėjimas lyginant su kontroliniais bandiniais, %
0	I	49,30	50,30	47,70	273,2	270,0	2283	114,4	46,1	48,7	49,1	-0,82
	II	48,10	47,30	46,70	247,3	244,3	2299	116,5	51,2			
2	I	51,90	51,70	50,30	309,0	309,7	2295	174,0	64,8	65,9	59,2	11,32
	II	51,70	51,10	50,00	305,7	304,9	2308	176,8	66,9			
4	I	49,50	53,20	50,30	298,8	297,2	2244	116,6	44,3	45,8	47,3	-3,17
	II	50,30	51,70	50,40	292,8	291,7	2226	123,1	47,3			
6	I	50,60	53,40	50,30	293,8	299,9	2207	116,3	43,0	44,1	45,4	-2,86
	II	49,70	51,40	50,20	286,7	286,6	2235	115,4	45,2			