



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS**

**Karolina Butkutė**

**SAUSŲ SAVAIME IŠSILYGINANČIŲ MIŠINIŲ,  
PANAUDOJANT ANTRINES ŽALIAVAS, TYRIMAI**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Doc. dr. Vitoldas Vaitkevičius

**KAUNAS, 2015**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS**  
**STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA**

TVIRTINU  
Katedros vedėjas  
Doc. dr. Vitoldas Vaitkevičius

**SAUSŲ SAVAIME IŠSILYGINANČIŲ MIŠINIŲ,  
PANAUDOJANT ANTRINES ŽALIAVAS, TYRIMAI**

Baigiamasis magistro projektas  
Statybos inžinerija (621H0001)

**Vadovas**  
Doc. dr. Vitoldas Vaitkevičius

**Recenzentas**

**Projektą atliko**  
Karolina Butkutė

**KAUNAS, 2015**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Statybos ir architektūros

---

(Fakultetas)

Karolina Butkutė

---

(Studento vardas, pavardė)

Statybos inžinerija, 621H0001

---

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Sausų savaimė išsilyginančių mišinių, panaudojant antrines žaliavas, tyrimai“

**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

20 15 m. gegužės 21 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Karolinos Butkutės** baigiamasis projektas tema „Sausų savaimė išsilyginančių mišinių, panaudojant antrines žaliavas, tyrimai“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS**  
**STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA**

Magistro baigiamasis darbas

SAUSŲ SAVAIME IŠSILYGINANČIŲ MIŠINIŲ, PANAUDOJANT ANTRINES  
ŽALIAVAS, TYRIMAI

Karolina Butkutė

Anotacija

Savaime išsilyginantis mišinys – tai daugiakomponentė sistema, kurią sudaro ne tik įprastos, bet ir retos bei brangios medžiagos. Norint gauti aukštos klasės skiedinį pirmiausia turi būti kokybiškos jį sudarančios medžiagos. Be to labai svarbu yra idealiai sukomplektuota tų medžiagų sistema, t.y. granulometrija. Tai bene pats pagrindinis šio mišinio rodiklis. Dėl tokios didelės svarbos vienam iš brangiausių sausų statybinių mišinių šiame magistro projekte nagrinėjau skirtingus inertinius užpildus, kuriais gali būti ir antrinės žaliavos.

Šiame darbe bus pateikti įvairūs užpildų ir antrinių žaliavų variantai, tokie kaip kalkakmenio ir monomineralinio kvarcinio smėlio keitimo variantai į polimineralinį kvarcinį smėlį, maltą kvarcinį smėlį, maltą stiklą, granitmilčius, ceolitą ir maltą dolomitą. Kai kurie iš šių paminėtų užpildų yra kaip atlieka, gautos kitų gamybinių procesų metu. Esant teigiamiems eksperimentų rezultatams tokios paskirties mišinys ne tik atpigėtų, bet ir būtų išspręsta šių atliekų tvarkymo problema.

Atlikusi bandymus nurodytus atitinkamuose standartuose iš visų paminėtų užpildų keitimo variantų geriausių rezultatus davė maltas dolomitas, kuris pakeitė iki tol sistemoje buvusį kalcio karbonatą. Atlikus daug bandymų paaiškėjo, kad kalkakmenį visiškai pakeitus į maltą dolomitą, arba jei jis sudarytų apie 85% kalkakmenio kiekio mišinyje, būtų gauti kai kurie geresni bandymų rezultatai. Be to mišinys atpigėtų apie 7-10 procentų.

Reikšmingi žodžiai: savaime išsilyginantis mišinys, grindys, užpildai, atliekos.

**KAUNAS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE  
DEPARTMENT OF CONSTRUCTIONAL MATERIALS

Master final work

DRY SELF-LEVELLING MORTAR, USING RECYCLED RAW MATERIALS,  
RESEARCH

Karolina Butkutė

Summary

Self-levelling mortar – it's a multicomponent system which is consist not only usual, but also rare and expensive materials. If you want to get a high class mortar, firstly it must be produced from good quality materials. Also it is very important that all materials system will work perfectly together, that means granulometry. It's one of the most important screed characteristic. Due to such a large interest for one of the most expensive dry mixture in this master's final work I deal with different inert aggregates, which can be recycled raw materials.

In this work I will present a variety of different aggregates and recycled raw materials, such as limestone and monomineral quartz sand changing variants to polimineral quartz sand, ground quartz sand, glass, granite, dolomite and zeolite. Some of these aggregates are garbage received by other industrial processes. If experiment results are positive, that means, that this kind of mixture is not only became cheaper, but also it solved these waste management problems.

Following the test specifies in relevant standards from all mentioned aggregates replacement options best results gave ground dolomite, replacing previously used in system calcium carbonate. After many tests it turned out full replacement of limestone to ground dolomite, or if it would be about 85% the amount of limestone in mixture, it would get better test results. By the way the dry mix will be about 7-10% cheaper.

Keywords: self levelling screed, floor, aggregate, waste.

## TURINYS

<b>ĮVADAS</b> .....	7
<b>1. LITERATŪROS ANALIZĖ</b> .....	9
<b>1.1. ISTORIJA IR PALYGINIMAS</b> .....	9
<b>1.2. SAVYBĖS</b> .....	9
<b>1.3. MOKSLINIAI TYRIMAI</b> .....	10
<b>2. TYRIMŲ METODIKA</b> .....	16
<b>2.1. REGLAMENTAVIMAS</b> .....	16
<b>2.2. CHARAKTERISTIKOS</b> .....	18
<b>3. NAUDOTOS MEDŽIAGOS</b> .....	26
<b>3.1. BENDRA INFORMACIJA</b> .....	26
<b>3.2. RIŠAMOJI MEDŽIAGA</b> .....	27
<b>3.3. ĮMAIŠOS</b> .....	30
<b>3.4. UŽPILDAI</b> .....	31
<b>3.4.1. SMĖLIS</b> .....	32
<b>3.4.2. KALKAKMENIS</b> .....	33
<b>3.4.3. CEOLITAS</b> .....	34
<b>3.4.4. MALTAS STIKLAS</b> .....	35
<b>3.4.5. MALTAS KVARCINIS SMĖLIS</b> .....	36
<b>3.4.6. GRANITMILČIAI</b> .....	36
<b>3.4.7. DOLOMITAS</b> .....	37
<b>3.5. EKSPERIMENTAI, BANDYMAI IR REZULTATAI</b> .....	37
<b>IŠVADOS</b> .....	63
<b>LITERATŪRA</b> .....	64

## IVADAS

Pirmieji statybiniai skiediniai – į vandenį supilamų užpildų ir rišamųjų medžiagų mišiniai atsirado daugiau nei prieš 8000 metų, tačiau tik 1893 metais jiems buvo užregistruotas pirmasis patentas. XX amžiaus 5-ame dešimtmetyje buvo pradėti gaminti sausieji statybiniai mišiniai, kurių komponentai buvo sumaišomi dar prieš įpilant vandens.[1]

Bėgant laikui statybos darbų srityse tobulėjo ne tik įrenginiai bei technologiniai veiksmai, bet ir naudojami produktai. Vieni iš populiariausių greitai ir patogiai naudojamų produktų dabartinėse statybose ir yra sausi statybiniai mišiniai. Atsižvelgus į vis didėjančius poreikius, baigiamajame magistro projekte pasirinkta nagrinėti vieną iš jų - savaimė išsilyginantį grindų mišinį.

Savaimė išsilyginantis mišinys savo savybėmis, naudojamomis medžiagomis ir kaina lenkia kitus sausus mišinius, kurie neturi tokių išskirtinumų. Šis mišinys statybos pramonėje atsirado tik 1978 metais, JAV. Nuo to laiko jo savybės vis buvo tobulinamos, net ir dabar esant inovacijų amžiuje, vis dar ieškoma tokių galimybių, kaip: brangių komponentų kiekio sumažinimas, savybių gerinimas, antrinių žaliavų panaudojimas ir, žinoma, kainos mažinimas. Pagrindiniai projekte nagrinėjami uždaviniai ir bus susiję su šiais aspektais.[2]

Šio projekto pagrindiniu uždaviniu pasirinkta tyrinėti savaimė išsilyginančio mišinio inertinius užpildus, jų keitimą ar net visišką pakeitimą į antrines žaliavas. Savaimė išsilyginančiame mišinyje kaip užpildai yra naudojami kvarcinis smėlis ir kalkakmenis. Pagrindinės problemos dėl ko kvarcinio smėlio norima atsisakyti šiuose mišiniuose tai yra vis mažėjantys jo ištekliai Lietuvoje ir vis didėjanti jo kaina. Kitas užpildas – kalcio karbonatas (kalkakmenis). Savaimė išsilyginančio grindų mišinio receptuose kalkakmenis: mažina atsparumą drėgmei ir trinčiai, taip pat mažina sklidumą ir stiprumines savybes, trumpina panaudojimo laiką, be to pasižymi aukšta kaina. Taigi šių užpildų pakeitimas ir mišinio savybių pagerinimas yra pagrindiniai siekiniai (vieni iš keliamų uždavinių).

Baigiamojo magistro projekte keliami uždaviniai:

- savaimė išsilyginančių mišinių gamybai tinkamų užpildų parinkimas Lietuvoje;
- užpildų alternatyvos ribotiems ištekliais ieškojimas norint sumažinti mišinio kainą ir pagerinti savybes;
- antrinių žaliavų panaudojimo galimybių ieškojimas siekiant ekologiškai sutvarkyti atliekas ir taip atpiginti mišinį;
- remiantis etalonine mišinio sudėtimi ir parametrais suprojektuoti kitas eksperimentines mišinio sudėtis su skirtingais užpildais;

- remiantis standartais atlikti bandymus ir matavimus su eksperimentiniais mišiniais;
- gautus duomenis susisteminti ir pateikti išvadas.

Pagrindinis magistro projekto tikslas yra antrinių žaliavų panaudojimas savaime išsilyginančiame grindų mišinyje. Remiantis prieš tai išvardintais faktoriais nuspręsta nagrinėti šių užpildų ir antrinių žaliavų specifiką minėtame mišinyje, t.y.:

- kvarcinio smėlio;
- paprasto smėlio;
- kalkakmenio;
- malto kvarcinio smėlio;
- malto stiklo;
- granitmilčių (granito nuoplovų);
- ceolito;
- malto dolomito.

Su šiomis medžiagomis buvo sumaišyti mišiniai, kuriuose atitinkamo užpildo procentinė dalis keitėsi, taip buvo galima stebėti jų įtaką. Visi gauti rezultatai buvo sisteminami norint sužinoti, kuris iš jų gali duoti teigiamus rezultatus į užsiduotus uždavinius. Visų eksperimentų sudarymo ir atlikimo seka yra pateikiama tolimesnėse darbo dalyse.



# 1. LITERATŪROS ANALIZĖ

## 1.1. ISTORIJA IR PALYGINIMAS

Pirmiausia, sausas statybinis mišinys – tai sausų rišamųjų medžiagų, įmaišų ir užpildų mišinys, kuris pastaruoju metu vis labiau populiarėja dabartinėje rinkoje. Vienas iš pačių sudėtingiausių tokių mišinių yra savaiame išsilyginantis grindų mišinys. Taip yra todėl, kad jo norimos gauti savybės yra labai apibrėžtos ir nėra galimi jokie nukrypimai, kitaip tai nebus geras ir kokybiškas mišinys. Be to tai vienas iš efektyviausiai galinčių realizuoti atliekas gaminių.

Pirmasis savaiame išsilyginantis grindų mišinys buvo pagamintas 1976 metais, ARDEX kompanijoje. [2] Nuo tada šio mišinio gamyba palengva vystėsi toliau, tačiau tik dabar rinkoje šio produkto asortimento plėtra yra įgavusi pagreitį.

Dažnai savaiame išsilyginantis grindų mišinys yra palyginamas arba supainiojamas su išlyginamuoju grindų mišiniu. Bendrai apėmus, šių mišinių savybės yra panašios, tačiau vis dėl to jie yra skirtingi mišiniai.

Išlyginamasis grindų mišinys – tai statybinis mišinys skirtas vidaus ir išorės grindims arba nedidelių pagrindo nelygumų išlyginimui ant betono, šildomų grindų ar kitų paviršių.

Savaiame išsilyginantis grindų mišinys – tai daugiakomponentė sistema, susidedanti iš grynujų cementų, frakcionuoto smėlio, priedų ir įmaišų, kurios didina mišinio slankumą, plastiškumą, sumažina sedimentaciją, didina sukibimą su pagrindu, lenkiamąjį stiprį, atsparumą šalčiui, bei reguliuoja deformatyvumą. Šis mišinys nuo išlyginamojo mišinio skiriasi ir tuo, kad jo takumas yra žymiai didesnis. [3]

## 1.2. SAVYBĖS

Savaiame išsilyginantis mišinys yra homogeninė sistema pasižyminti dideliu takumu. Tai reiškia, kad komponentų dalelės mišinyje pasiskirsto vienodai. Tačiau viena šio mišinio savybė leidžia jam išsiskirti iš kitų mišinių. Mišinys, turėdamas didelį takumą, ant paviršiaus pasklinda lygiu horizontaliu sluoksniu pagal veikiančią gravitacinę jėgą. Šios savybės neturi nė vienas kitas statybinis mišinys.

Taip pat šio mišinio savybės neturi kisti. Yra galimi tik labai maži jų kitimo atvejai. Tačiau tokie atvejai yra reglamentuoti galiojančiais standartais ir bet kokie nukrypimai nuo jų yra negalimi. Pagrindinė mišinio savybė yra ta, kad išlietame, kietėjančiame ar kietame

mišinyje negali susidaryti deformacijų. Dėl galimo jų poveikio išlyginamajame grindų sluoksnyje gali atsirasti trūkiai, kurie yra neleistini.

Savaime išsilyginantys mišiniai gali būti skirstomi pagal panaudojimo sritį, vieni yra naudojami tik vidaus darbams, kiti – vidaus ir išorės darbams. Pastarieji pasižymi atsparumu šalčiui, turi didesnę stiprį, jų sudėtys šiek tiek skiriasi. Kartu su panaudojimo sritimi reikia atsižvelgti į tai, kokia tai aplinka, drėgna ar ne.

Taip pat šios paskirties mišiniai gali skirtis jų darbinėmis ypatybėmis – gali būti liejami rankiniu ir mechaniniu (mašininu) būdu, tik rankiniu arba tik mechaniniu (mašininu) būdu.

Renkantis savaime išsilyginantį mišinį reikia atkreipti dėmesį į tai, kuris tai grindų sluoksnis bus. Šis mišinys gali būti liejamas kaip išlyginamasis sluoksnis, pagrindas po galutine grindų danga, ir kaip užbaigiamoji grindų danga, kurios nebereikia papildomai apdirbti.

### **1.3.MOKSLINIAI TYRIMAI**

Atliekant literatūrinę analizę gilintasi į užsienio ir Lietuvos mokslininkų atliktus tyrimus, nagrinėti jų gauti rezultatai. Ieškant informacijos apie galimus naudoti kitus užpildus savaime išsilyginančiame grindų mišinyje dėmesys atkreiptas į kelis įdomesnius mokslinius straipsnius.

Vienas iš tokių, tai surastos žinios apie malto kvarcinio smėlio panaudojimą. Moksliniais tyrimais nustatyta, kad aktyvūs mineraliniai priedai chemiškai suriša kalkes, padidina cemento atsparumą vandeniui. Dėl to kartais į cementą dedami inertiniai priedai (pavyzdžiui: maltas kvarcinis smėlis ar maltos klintys), kurie jį atpigina, tačiau stiprumo nesumažina. Tokių inertinių priedų naudojimas tik šiek tiek sumažina atsparumą šalčiui. Remiantis šia prielaida ir atliktais bandymais galima sutikti su prieš tai paminėtu teiginiu, kad malto kvarcinio smėlio naudojimas, atitinkamai kiekiais, gali padidinti gauto gaminio stiprumą, dėl ko būtų galima svarstyti apie portlandcemenčio mažinimą sistemoje.

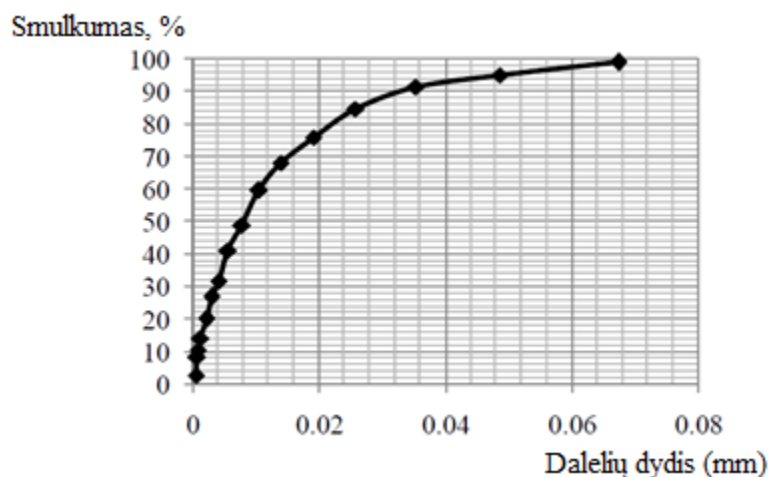
Indijos mokslininkų atliktame tyrime sužinota apie granitmilčių istorinius faktus, galimą panaudojimą statybos produktuose.

Granito pramonė kartu su statybos pramone labiau pradėjo augti nuo 1990 metų, Egipte. Ten slypi labai dideli granito klodai. Egiptas yra 7 pasaulyje valstybė, kuri eksportuoja daugiausiai granito pasaulyje. Dėl to išaugusių perdirbamų atliekų kiekio, kuris yra šarminės prigimties ir labai kenkia ne tik aplinkai bet ir sveikatai, buvo pradėta nagrinėti ir atlikinėti tyrimus kaip būtų galima panaudoti granito atliekas. Vienas iš tokių mokslinių bandymų buvo granito ir marmuro atliekų panaudojimas plytų gamyboje. Tyrimuose nustatyta, kad į plytų sudėtį įvedus šias atliekas pastebėta fizikinių ir mechaninių savybių kaita. Pagal visus

galiojančius reglamentus atlikti bandymai ir gauti rezultatai parodė, kad šių atliekų mišinyje gali būti apie 10 %. Nes tada yra pasiekiamos maksimalios galimos gauti pagerinimo savybės. [18]

Šios minimos atliekos yra gaunamos granito apdirbimo metu, kai akmuo pjaustomas, trupinamas, frakcionuojamas ar kitaip apdirbamas. Vykstant tokiems procesams naudojami įrenginiai labai įkaista, todėl juos nuolat reikia plauti vandeniu, o su juo yra nuplaunamos ir gautos dulkės. Tokiu būdu yra gaunamas labai šarminis vanduo. Toks vanduo kaupiamas karjeruose, kuriuose jis nusodinamas nusodintuvais. Gautas vandens ir dulkių skiedinys sunkvežimiais pilamas laukuose, kur vanduo išdžiūsta ir lieka tik granito dulkės. Taip džiovinamos atliekos sukelia didelį oro užterštumą.

Granito dalelės yra neplastiškos, todėl turi susitraukimo apribojimus ir santykius. Jų granulometrija buvo atliekama šlapio sieto, sedimentacijos būdu (1.1 pav.). 90 % granito dalelių yra mažesnės nei 35  $\mu\text{m}$ , iš jų 50 % yra mažesnės nei 8  $\mu\text{m}$ , 20 % - mažesnės nei 2 mikronai.



1.1 pav. Granito suspensijos miltelių granulometrinė analizė.[18]

Keli faktai paminėti straipsnyje:

- savitasis kietųjų granito dalelių tankis yra  $2837 \text{ kg/m}^3$ ;
- vandens įgeriamumas 27,24 (SL);
- paviršiaus plotas yra maždaug nuo  $4209 \text{ cm}^2/\text{g}$  iki  $4377 \text{ cm}^2/\text{g}$ .

Cheminės analizės metu, spektrometru nustatyta, kad granito nuoplovoje didelė dalis yra sudaryta iš silicio dioksido ( $\text{SiO}_2$ )  $>60\%$ . O visa kita cheminių elementų dalis suvesta į 1.1 lentelę.

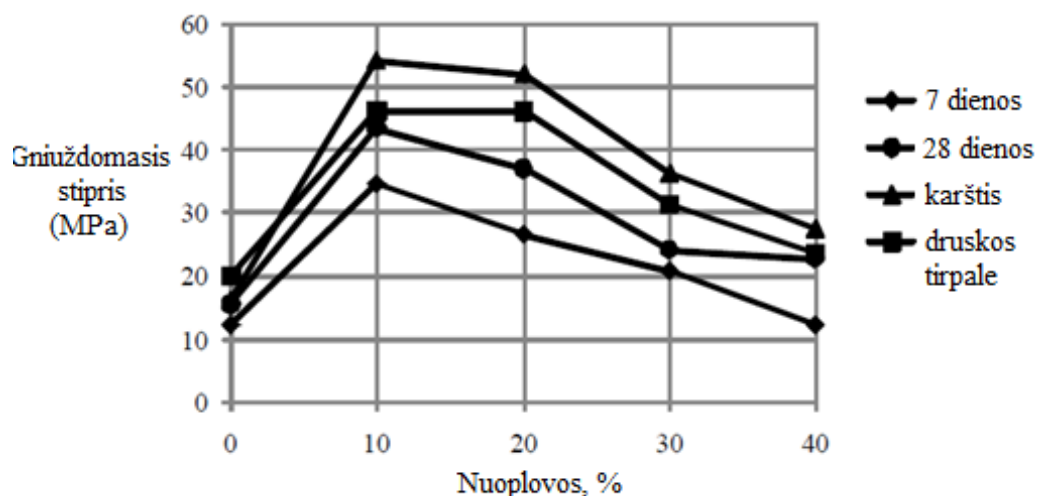
1.1 lentelė: Cheminė granito nuoplovų analizė

Pagrindinių sudedamųjų dalių koncentracija	Masės dalis, %	
	[18]*	[35]*
SiO <sub>2</sub>	69,99	72,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,01	14,42
K <sub>2</sub> O	4,30	4,12
Na <sub>2</sub> O	3,57	3,69
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,98	1,22
LOI	1,90	-
CaO	1,68	1,82
MgO	0,82	0,71
TiO <sub>2</sub>	0,34	0,30
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,10	0,12
MnO	0,07	0,05
SO <sub>3</sub>	0,02	-
Cl	0,02	-

\*- pagal nurodytus šaltinius gauti duomenys.

Kaip matoma iš 1.1 lentelės duomenų, net nagrinėjant skirtingus šaltinius granito nuoplovų cheminė sudėtis mažai kinta, tai rodo, kad nepriklausomai nuo granito susidarymo zonos jo sudėtis yra labai panaši. Todėl naudojant tokias medžiagas mišinyje jos duos pastovias ir nekintančias savybes, t.y. suteiks stabilumą, kas yra labai svarbu.

Visi prieš tai išvardinti bandymai buvo lygiagrečiai atliekami su marmuro atliekų dalelėmis. Tačiau lyginant stipruminius rezultatus, gautus gaminant plytas, marmuro stipriai gauti mažesni nei granito. Atlikti stiprių nustatymai gaminant betonines plytas su granito nuoplovomis yra pateikti 1.2 paveiksle. Jame parodyta, kaip nuo granito nuoplovų masės didinimo ir skirtingų sąlygų bei laiko keičiasi plytų stipruminės savybės.[18]

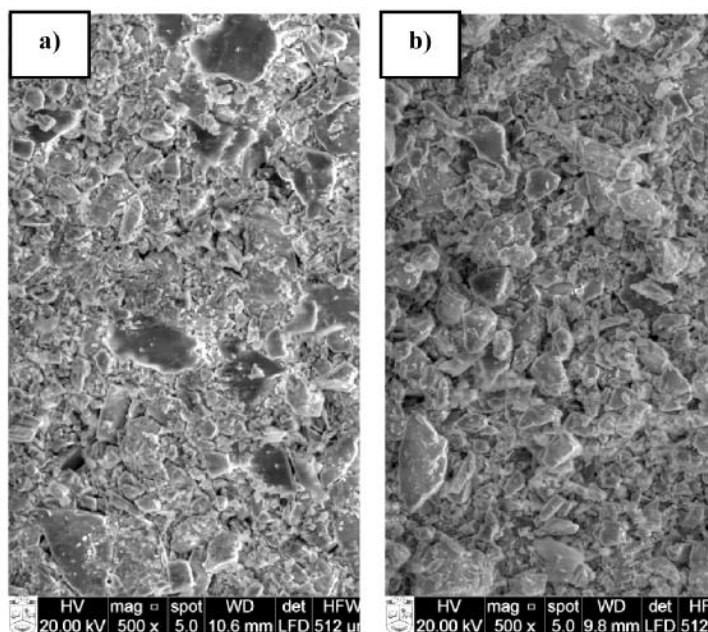


1.2 pav. Granito nuoplovų stiprių bandymai.[18]

Kauno technologijos universitete, kuris turi puikias laboratorijas, buvo atlikti granito nuoplovų bandymai. Dėl vis didėjančių granitinių atliekų kiekio Lietuvoje buvo nagrinėtas jų utilizavimo ir panaudojimo betone hipotezės. Buvo atlikti bandymai, kuriais nustatyti įvairūs granito nuoplovų parametrai:

- savitasis tankis – 2600-2800 kg/m<sup>3</sup>;
- piltinis tankis – 1600 kg/m<sup>3</sup>;
- molio ir dulkių kiekis – 32 %;
- vandens įgėris – 0,1-0,6 %;
- kietumas (pagal Moso skalę) – 5-7.

Granito dalelės buvo stebimos, žiūrint pro elektroninį skenuojantį mikroskopą (SEM). 1.3 a paveikslėlyje pateiktas vaizdas kaip atrodo nemaltos granito nuoplovos, b – granito nuoplovų vaizdas po 10 minučių malimo. Taip pat buvo atlikti paviršiaus ploto matavimai. Buvo stebima, kaip jie kinta malant granito nuoplovas atitinkamą laiką. Gauti rezultatai pateikti 1.2 lentelėje.



1.3 pav. Granito nuoplovų vaizdas pro elektroninį mikroskopą.[19]

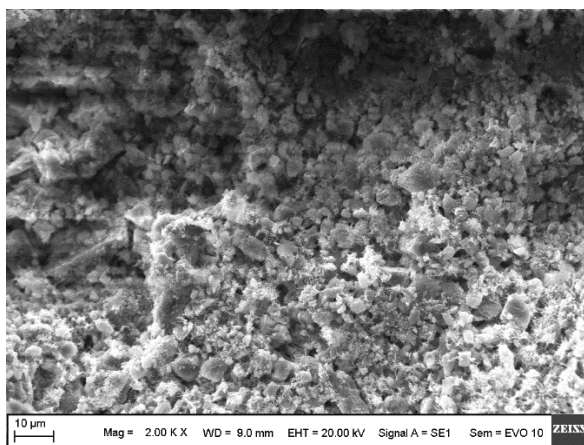
1.2 lentelė: Granito nuoplovų paviršiaus ploto kitimas malant

Malimo laikas, min	0	5	10	15	20
Konkretus paviršiaus plotas, cm <sup>2</sup> /g	4532	5805	6822	6989	7272
Vidutinis dalelių dydis, μm	70,63	-	50,43	-	-

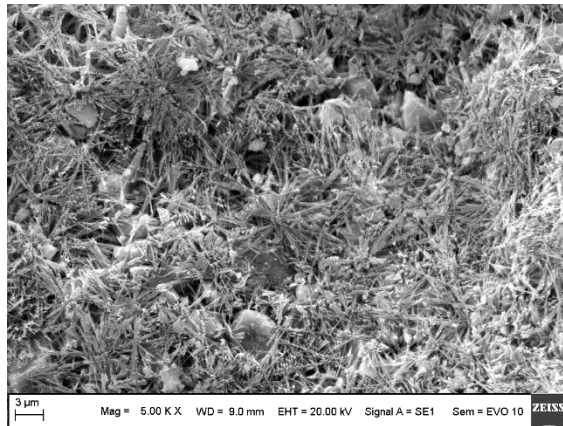
Atliktų bandymų išvada yra panaši, kaip ir prieš tai aprašyto tyrimo. Granito nuoplovas efektyviausia naudoti kai jos sudaro apie 10 % mišinio masės. Be to išsiaiškinta, kad esant tokiam kiekiui granitmilčių sistemoje yra galimi cemento kiekio mažinimo variantai.[19]

Kinijos mokslininkų straipsnis apie perdirbtos gumos panaudojimą teigia, kad iki 15% užpildo pakeitus perdirbtos gumos dalelėmis galima pasiekti maksimalius rezultatus. Tyrimai buvo atlikti su savaime išsilyginančiu grindų mišiniu ir asfalto danga. Vertinant savaime išsilyginantį mišinį, įvedus į jo matricą perdirbtos gumos lenkiamasis ir gniuždomieji stipriai santykinai padidėjo. Pastebėta, kad guma mišinio sklidumą veikia taip pat, kaip ir vibravimas. [30]

Vienas iš Lietuvoje vykdomų bandymų su savaime išsilyginančiu mišiniu buvo atlikti ir KTU Statybos ir architektūros fakultete. Mokslinio tyrimo metu buvo nagrinėjama ceolito, naftos krekingo metu naudojamo katalizatoriaus panaudojimas, kaip atliekos ir technogeninės medžiagos, keičiant aliuminatinį cementą į sintetinį ceolitą. Tyrimas buvo atliekamas norint išsiaiškinti ar būtent tokios paskirties mišiniuose tai yra prasminga, naudinga ir įmanoma daryti. Gauti rezultatai parodė, kad ceolitas yra netinkama medžiaga norint sumažinti aliuminatinio cemento kiekį mišinyje nes tada neįvykus pucolaninėms reakcijoms nesusidaro etringitas (1.4 pav.), kuris yra atsakingas už mažas mišinio deformacijas ir reikiamą stiprio gavimą. SEM nuotraukoje pateiktas vaizdas parodo kaip savaime išsilyginančio mišinio sistema atrodo be aliuminatinio cemento, tik su ceolitu. Toks mišinys turi mažą lenkiamąjį ir gniuždomąjį stiprius, bei neleistinai dideles deformacijas. Kitoje SEM nuotraukoje matomas labai gražus etringito ‘adatu’ išsidėstymas mišinyje (1.5 pav.), dėl ko mišinys tampa pastovesnis ir atsparesnis mechaniniams poveikiams. Kaip rišamoji medžiaga abiejuose mišiniuose yra naudojamas portlandcementis. [34]



1.4 pav. SEM nuotrauka be aliuminatinio cemento. [34]



1.5 pav. SEM nuotrauka su aluminatiniu cementu. [34]

Atsižvelgiant į šio mokslinio darbo metu gautas išvadas, ceolitas savaime išsilyginančiame mišinyje bus naudojamas kaip užpildas.

Be įvairių medžiagų tyrimų yra atkreipiamas dėmesys ir į bandymo metodus. Vienas iš jų yra mišinio susitraukimo matavimo metodai. Deformacijas ir susitraukimus įprastiniu būdu galima matuoti turint specialias formas, specialų stovą su jame įtvirtintu mikrometru. Tačiau be šio tipinio būdo esti ir kitų galimų bandymų. Bene tiksliausias bandymo metodas yra 3D deformacijų matavimas formoje. Matavimus su šiuo prietaisu atliko Prancūzijos mokslininkai, kurie metalinėje formoje išliejo savaime išsilyginantį mišinį su sulfo-aluminatiniu cementu. Jie stebėjo, kaip kinta mišinio deformacijos ankstyvajame kietėjimo etape. Matuodami deformacijas formoje jie apjungė du skirtingus matavimus t.y. klasikinį susitraukimų matavimą ir 3D vaizdą gautą su jutikliais. Apjungus šiuos metodus gaunama labai tiksli tiek fizikinių, tiek mechaninių savybių apžvalga kietėjančiame savaime išsilyginančiame grindų mišinyje. 1.6 paveiksle pateiktas formos ir matuojamo mišinio vaizdas.[32]



1.6 pav. 3D deformacijų matavimas.[32]

Dar vienas deformacijų matavimo būdas buvo nagrinėjamas taip pat Prancūzų mokslininkų, kurie skiedinio susitraukimus matavo metalinėse formose su lazeriais. Didžiausią svarbą jie teikė susidarantioms deformacijos per pirmas 24 valandas. Į metalines formas, kurių matmenys  $4\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 16\text{ cm}$ , buvo pilamas mišinys. Paleidus įrenginį jis nuolat matuodavo

bandinio pakitimus. Toks bandymas pavaizduotas 1.7 paveiksle, kuriame iš šonų pavaizduota lazerių matavimo vieta.[33]



1.7 pav. Skiedinio matavimas formoje su lazeriais.[33]

## 2. TYRIMŲ METODIKA

### 2.1. REGLAMENTAVIMAS

Šiame skyriuje išvardinti standartai ir reglamentuojami nurodymai norint tinkamai atlikti bandymus su savaiame išsilyginančiu grindų mišiniu.

Vienas iš pagrindinių standartų yra LST EN 13813, „Grindų išlyginamosios medžiagos ir besiulės grindys. Išlyginamosios medžiagos. Savybės ir reikalavimai“. Jame nurodyti žymėjimų santrumpos, savybių skirstymai, atitikties įvertinimai, žymėjimai ir patvirtinimo kriterijų procedūros.[4]

Kitas svarbus standartas yra LST EN 13318, „Grindų išlyginamosios medžiagos ir besiulės grindys. Apibrėžtys“. Šiame standarte yra nurodyti pagrindiniai terminai, medžiagų apibūdinimai, išlyginamųjų grindų mišinių tipai ir medžiagų charakteristikos, mišinio klojimo ypatumai, konstrukciniai sprendimai ir elementai, gamintojams reikalingų deklaruoti parametų sąrašas.[5]

Bandymo metodai nurodyti kituose, toliau išvardintuose standartuose. Išlyginamųjų grindų LST EN 13892 standarto dalys, kuriose aprašyti pagrindiniai bandymai:

- LST EN 13892-1, „Grindų išlyginamųjų medžiagų bandymo metodai. Ėminių ėmimas, bandinių pagaminimas ir laikymas bandymams“. Jame aprašyta, kaip reikia pasidaryti formas tolimesniems bandymams. Kokios turi būti jų laikymo sąlygos.
- LST EN 13892-2, „Grindų išlyginamųjų medžiagų bandymo metodai. Lenkiamojo ir gniuždomojo stiprio nustatymas“. Jame aprašomi reikalavimai bandomoms prizmėms, kaip jos turėtų būti gniuždomos ir lenkiamos, taip pat kaip yra apskaičiuojama prizmę veikianti jėga.



- LST EN 13892-3, „Grindų išlyginamųjų medžiagų bandymo metodai. Atsparumo dėvėjimuisi nustatymas Böhme metodu“. Šiame standarte reglamentuojama bandymo eiga, kokie turi būti prietaiso ir abrazyvinės medžiagos parametrai. Taip pat iliustruojama, kaip atrodo šio bandymo prietaisas.
- LST EN 13892-4, „Grindų išlyginamųjų medžiagų bandymo metodai. Atsparumo dilumui nustatymas“. Čia įvardijami visi reikalingi atlikti veiksniai, formų tikslumai, gaunamų rezultatų apdorojimo tvarka.
- LST EN 13892-5, „Grindų išlyginamųjų medžiagų bandymo metodai. Išlyginamųjų medžiagų dėvimojo sluoksnio atsparumo dilumui, veikiant rutuliukais nustatymas“. Aprašoma bandymo eiga ir kaip apskaičiuoti gautus duomenis. Taip pat nurodomas principinis prietaiso vaizdas.
- LST EN 13892-6, „Grindų išlyginamųjų medžiagų bandymo metodai. Paviršiaus kietumo nustatymas“. Nurodoma kaip reikia atlikti bandymą ir kaip apskaičiuoti paviršiaus kietumą.
- LST EN 13892-7, „Grindų išlyginamųjų medžiagų bandymo metodai. Išlyginamosios medžiagos, ant kurios uždėta grindų danga, atsparumo dilumui, veikiant ratukais, nustatymas“. Aprašyti bandinio parametrai, pasiruošimo darbai ir pačio bandymo eiga. Taip pat gautų rezultatų apdorojimas ir atlaikančios apkrovos dydis.
- LST EN 13892-8, „Grindų išlyginamųjų medžiagų bandymo metodai. Sukibimo stiprio nustatymas“. šioje dalyje aprašyti bandinio parametrai, bandymo eiga ir gautų rezultatų apipavidalinimas.

Iš visų išvardintų bandymo metodikų savaime išsilyginančio mišinio gamintojai rekomenduotinai turi deklaruoti parametrus nurodytus 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė: Gamintojų galimi deklaruojami parametrai

Bandymo standartas		Minimali vertė pagal EFNARC*
Atsparumas gniuždymui	LST EN 13892-2	>C20 (N/mm <sup>2</sup> )
Atsparumas lenkimui	LST EN 13892-2	>F5 (N/mm <sup>2</sup> )
Atsparumas dėvėjimuisi	LST EN 13892-3	Böhme (A)
Atsparumas dilumui	LST EN 13892-4	„BCA“ (AR)
	LST EN 13892-5	Rolling Wheel (RWA)

\*- EFNARC ( angl. European Federation of National Associations Representing producers and applicators of specialist building products for Concrete) Europos federacijos Nacionalinė atstovaujančių gamintojų Asociacija ir specializuotų betoninių statybos gaminių pritaikomumas.

Atsižvelgiant į tai, kad mišinyje bus naudojamos įvairios antrinės žaliavos buvo ieškoma standartizuota informacija, kaip turėtų būti elgiamasi su savaime išsilyginančiais mišiniais. Bene vienintelis tai apibūdinantis standartas yra EN 12620 Betono užpildai. Jame apibrėžtos savybės tokių užpildų ir mikroužpildų, kurie gaminami iš gamtinių ir dirbtinių medžiagų, antrinių medžiagų ir jų mišinių. Jis yra taikomas visų atmainų betono, tarp jų ir kelių bei kitokioms dangoms, surenkamųjų gaminių gamybai, užpildams, kurių dalelių tankis  $>2000 \text{ kg/m}^3$ . Taip pat taikomas užpildams iš antrinių žaliavų, kurių tankis  $1500\text{-}2000 \text{ kg/m}^3$  (su išimtimis). Užpildai iš antrinių žaliavų yra įtraukti į standartus (pvz.: įgaliojimas M/125 Aggregates), tačiau nauji bandymų metodai dar yra rengimo etape. Neįprastos kilmės antrinių žaliavų standartizavimo darbai tik pradedami nagrinėti, todėl reikia daugiau laiko norint aiškiai apibrėžti tokių medžiagų kilmę ir savybes. Prieš pateikiant į rinką antrinę žaliavą (atlieką), kaip užpildą, ji visiškai turi atitikti standartų ir reglamentų dėl pavojingų medžiagų reikalavimus (EN 12620 standarto ZA priedas).[36]

Be šių išvardintų standartų įrengiant grindis reikia vadovautis STR 2.05.13:2004 „Statinių konstrukcijos. Grindys“. Jame yra nurodyti grindims keliami reikalavimai, dangų tipai ir parinkimai.

## 2.2.CHARAKTERISTIKOS

Išlyginamieji mišiniai pagal pagrindinę juos sudarančią rišamąją medžiagą skirstomi:[4]

- CT – cementiniai mišiniai;
- CA – kalcio sulfato (gipsiniai) mišiniai;
- MA – magnezitiniai (magnio oksido) mišiniai;
- AS – asfalto mastikos mišiniai;
- SR – sintetinės dervos mišiniai.

Esant skirtingoms pagrindinėms rišamosioms išlyginamųjų mišinių medžiagoms 2.2 lentelėje yra nurodomi bandymai, kurie turi būti atliekami tik tam tikros rūšies mišiniui.[5]

Viena iš pagrindinių savaime išsilyginančio mišinio charakteristikų yra liejamo sluoksnio storis. Priklausomai nuo gamintojo jis gali svyruoti nuo 1 iki 50 mm. Lietuvoje parduodamų tokio tipo mišinių sluoksnio storis svyruoja nuo 1-3 mm iki 10-35 mm.

2.2 lentelė: Atliekamų bandymų svarba, pagal rišamosios medžiagos tipą

Pagrindinė mišinio rišamoji medžiaga	Gniuždomasis stipris	Lenkiamasis stipris	Atsparumas dėvėjimuisi Böhme metodu	Atsparumas dilumui	Atsparumas dilumui, veikiant rutuliukais	Paviršiaus kietumas	Atsparumas įdubimams	Uždėtos grindų dangos atsparumas dilumui, veikiant ratukais	Rišimosi laikas	Savaiminis susitraukimas ir išsiplėtimas	Konsistencija	pH lygis	Tamprumo modulis	Atsparumas smūgiams	Sukibimo stipris
Cementas	N	N	N <sup>a</sup> (vienas iš 3)	O	-	O	O	O	O	O	O	O	O	O <sup>a</sup>	O
Kalcio sulfatas	N	N	O	O	O	O	-	O	O	O	O	N	O	-	O
Magnezitas	N	N	O	O	O	N <sup>a</sup>	-	O	-	O	O	O	O	-	O
Asfalto mastika	-	-	O	O	O	-	N	O	-	-	-	-	-	-	-
Sintetinė derva	O	O	-	N <sup>a</sup> (vienas iš 2)	O	-	O	-	O	O	O	-	O	N <sup>a</sup>	N
N – normatyvinis; O – optimalus, prireikus; - - nėra svarbus; <sup>a</sup> – tik išlyginimo medžiagoms naudojamoms paviršiuje.															

Pagrindiniai techniniai reikalavimai savaime išsilyginančiam grindų mišiniui: sklidumas, mišinio tankis, gniuždomasis ir lenkiamasis stipriai, atsparumas dėvėjimuisi, dilumui ir šalčiui, deformatyvumas, sukibimo su pagrindu stipris.[3]

Mišinio sklidumas yra matuojamas pagal EN 12706:2004 „Klijai. Hidraukinio kietėjimo grindų glaistų ir (arba) išlyginamųjų mišinių bandymo metodai. Sklidumo nustatymas.“ Bandymo atlikimo eigoje yra naudojama stiklinė plokštelė (30 × 30 × 0,6 cm), nerūdijančio metalo tūbelė (aukštis 50±0,1 mm; Ø - 30±0,1 mm) ir slankmatis. Sumaišytas skiedinys yra supilamas į metalinę tūbelę, pastatyta ant stiklinės plokštelės, iki pilnai ją užpildant. Tada atkėlus tūbelę nuo paviršiaus mišinys pasiskirsto po paviršių. Po daugiau nei 4 minučių slankmačiu yra pamatuojamas gautas skiedinio pasklidimas. Kuo gautas sklidumas yra didesnis, tuo plonesniu sluoksniu ant pagrindo jį galima išlieti.

Sumaišyto skiedinio tankis yra matuojamas 1 litro talpos formoje, juo jį pripildant ir pasveriant.

Sukietėjęs mišinys skirstomas į klases pagal gniuždomąjį (2.3 lentelė) ir lenkiamąjį stipri (2.4 lentelė).[5]

2.3 lentelė: Išlyginamojo mišinio klasės pagal gniuždomąjį stiprį

Klasė	C5	C7	C12	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C50	C60	C70	C80
Gniuždomasis stipris, N/mm <sup>2</sup>	5	7	12	16	20	25	30	35	40	50	60	70	80

2.4 lentelė: Išlyginamojo mišinio klasės pagal lenkiamąjį stiprį

Klasė	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F10	F15	F20	F30	F40	F50
Lenkiamasis stipris, N/mm <sup>2</sup>	1	2	3	4	5	6	7	10	15	20	30	40	50



2.1 pav. Lenkimo – gniuždymo įrenginys.[23]

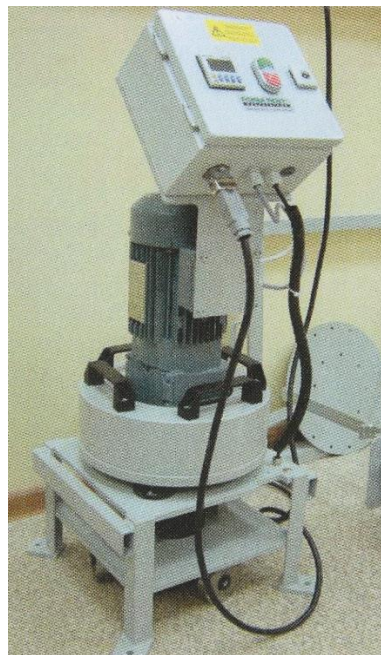
Sukietėjęs grindų mišinys turi būti atsparus dėvėjimuisi nuo jį veikiančių veiksnių. Šie veiksniai gali būti nuo paprasčiausio žmonių srauto vaikščiojimo iki poveikio mechaninėmis priemonėmis. Pagal skirtingus dilumo pobūdžius išlyginamasis grindų mišinys yra skirstomas į skirtingas klases pagal dėvėjimosi pobūdį:

- Atsparumas dėvėjimuisi - jis nustatomas atliekant bandymus Böhme metodu. Šio bandymo metodika nurodyta LST EN 13892-3 standarte. Šios klasės yra nustatomos atsižvelgiant į tai, koks kiekis nudilusios medžiagos gautas atlikus bandymą. Prie mišinio produkto ženklavimo ši klasė yra žymima A raide (A – angl. abrasion; dilumas) (2.5 lentelė)(2.2 pav.).[8]



2.2 pav. Atsparumo dėvėjimuisi Böhme metodu nustatymo mašina.[24]

- Atsparumas dilumui – šio poveikio klasės yra nustatomos remiantis LST EN 13892-4 standartu. Nustatyta klasė yra žymima AR raidėmis (AR – angl. abrasion resistance; atsparumas dilumui). Bandymas parodo maksimalų dėvimą paviršiaus storį arba iki kokio gylio yra paviršiaus dėvėjimasis (2.6 lentelė)(2.3 pav.).[9]



2.3 pav. Atsparumo dilumui nustatymo mašina.[16]

- Išlyginamųjų medžiagų dėvimojo sluoksnio atsparumas dilumui – nustatomas veikiant rutuliukais (riedančiu ratuku) grindų paviršių. Bandymas atliekamas remiantis LST EN 13892-5 standartu. Šis rodiklis nusako, kokį maksimalų kiekį grindų paviršiaus paveikia ratukai bandymo metu, išreiškiamas  $\text{cm}^3$ . Tai atitiktų transporto sukeltos apkrovos veikimą grindims į ploti vienetą išreikštą trinties jėga į  $\text{cm}^2$ . Klasės žymimos RWA raidėmis (RWA – angl. rolling wheel abrasion; riedančio ratuko dilinimas) (2.7 lentelė).[10]

- Išlyginamosios medžiagos, ant kurios uždėta grindų danga, atsparumas dilumui – jis atliekamas grindų paviršių veikiant ratukais (riedančiu ratuku). Bandymo metodika nurodyta LST EN 13892-7 standarte. Šio bandymo esmė yra nustatyti jėgą, klasę, kurios didumą atlaiko riedančio ratuko veikiamas viršutinis dangos paviršius. Žymimas raidėmis RWFC (RWFC – angl. rolling wheel floor covering; riedantis ratukas grindų dangoje) (2.8 lentelė).[12]

2.5 lentelė: Išlyginamųjų mišinių atsparumas dėvėjimuisi pagal Böhme klases

Klasė	A22	A15	A12	A9	A6	A3	A1,5
Dilumo kiekis, $\text{cm}^3/50\text{cm}^2$	22	15	12	9	6	3	1,5

2.6 lentelė: BCA atsparumas nusidėvimui skirstymas į klases

Klasė	AR6	AR4	AR2	AR1	AR0,5
Maksimalus nusidėvimas, $\mu\text{m}$	600	400	200	100	50

2.7 lentelė: Išlyginamojo mišinio atsparumo klasės dilumui, veikiant riedančiu ratuku

Klasė	RWA300	RWA100	RWA20	RWA10	RWA1
Išdilimo kiekis, $\text{cm}^3$	300	100	20	10	1

2.8 lentelė: Išlyginamojo mišinio atsparumo klasės, veikiant viršutinę dangą ratuku

Klasė	RWFC150	RWFC250	RWFC350	RWFC450	RWFC550
Veikianti jėga, N	150	250	350	450	550

Šio projekto metu nebuvo atliekami dėvėjimosi ir dilumo bandymai.

Kitas kietėjančių grindų rodiklis yra paviršiaus kietumo klasė. Jis nustatomas remiantis LST EN 13892-6 standartu. Jo esmė yra nustatyti kokią jėgą (N) atlaiko grindų paviršius (į  $\text{mm}^2$ ). Klasės žymimos SH raidėmis (SH – angl. surface hardness; paviršiaus kietumas). Šio rodiklio skirstymo pagal klases požymiai yra nurodyti 2.9 lentelėje.[11]

2.9 lentelė: Išlyginamojo mišinio paviršiaus kietumo klasės

Klasė	SH30	SH40	SH50	SH70	SH100	SH150	SH200
Paviršiaus kietumas, $\text{N/mm}^2$	30	40	50	70	100	150	200

Dar vienas rodiklis yra tamprumo modulis. Jis skirstomas į klases, kurios žymimos E raide (E – angl. elasticity; elastingumas, tamprumas). Šis rodiklis išreiškiamas matavimo vienetais  $\text{kN/mm}^2$ . Jis gali būti deklaruojamas visų tipų išlyginamiesiems mišiniams, išskyrus, asfalto mastikos pagrindu pagamintus mišinius. Daugiau apie šį rodiklį aprašoma EN ISO 178 standarte. Klasifikavimas nurodytas 2.10 lentelėje.[5]

2.10 lentelė: Išlyginamojo mišinio klasės pagal tamprumo modulį

Klasė	E1	E2	E5	E10	E15	E20	Jei daugiau, kartotinis kas 5
Tamprumo modulis lenkiant, $\text{kN/mm}^2$	1	2	5	10	15	20	25 – 30 ir t.t.

Savaime išsilyginančiam mišiniui dar gali būti matuojamas sukibimo stipris. Šį bandymą aprašo LTS EN 13892-8 standartas, kuriame šis rodiklis deklaruojamas tokiems pat išlyginamiesiems mišiniams, kaip ir tamprumo modulis, visiems, išskyrus asfalto mastikos pagrindu pagamintus mišinius. Šio rodiklio klasės žymimos B raide (B – angl. bond; sukibimas). Jis išreiškia mišinio su pagrindu sukibimo stiprį  $\text{N/mm}^2$ . Šio rodiklio klasifikavimas pateiktas 2.11 lentelėje.

2.11 lentelė: Išlyginamojo mišinio klasės pagal sukibimo stiprį

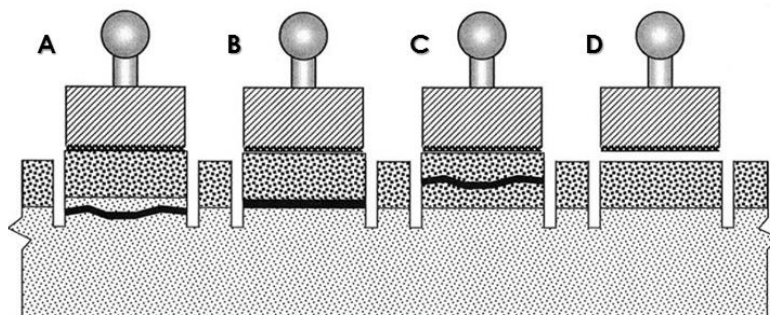
Klasė	B0,2	B0,5	B1,0	B1,5	B2,0
Sukibimo stipris, $\text{N/mm}^2$	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0

Galimi atplėšimo pobūdžiai:

- per pagrindą (2.5 pav. A);
- nuo pačio pagrindo (2.5 pav. B).
- per mišinį (2.5 pav. C);
- per klijų sluoksnį (2.5 pav. D).



2.4 pav. Atplėšimo įrenginys



2.5 pav. Galimos adhezijos matavimo bandymo rezultatų schemas



2.6 pav. Deformacijų matavimo prietaisas.

Kiti 2.12 lentelėje išvardinti bandymai: rišimosi laikas, savaiminis susitraukimas ir išsiplėtimas, konsistencija, pH lygio nustatymo bandymai yra aprašyti LST EN 13454-2+A1:2007 standarte „Išlyginamojo grindų sluoksnio rišikliai, kompoziciniai rišikliai ir gamykliniai mišiniai kalčio sulfato pagrindu. 2 dalis. Bandymo metodai“.

Be paminėtų išlyginamojo mišinio klasifikavimų yra deklaruojamos papildomos charakteristikos, kurias šios paskirties mišinio gamintojai gali deklaruoti pagal poreikį. Šios charakteristikos gali būti:

- elektros varža; pagal LST EN 1081:2002, „Tampriosios grindų dangos. Elektrinės varžos nustatymas“;
- cheminis atsparumas; pagal LST EN 13529:2004, „Betoninių konstrukcijų apsauginiai ir remontiniai produktai bei sistemos. Bandymo metodai. Atsparumas intensyviai cheminiam poveikiui“;
- poveikis deginant; pagal LST EN 13501-1:2007+A1:2010, „Statybos gaminių ir pastato elementų klasifikavimas pagal atsparumą ugniai. 1 dalis. Klasifikavimas pagal atsako į ugnį bandymų duomenis“;
- vandens garų pralaidumas; pagal LST EN 12086:2013, „Statybiniai termoizoliaciniai gaminiai. Pralaidumo vandens garui nustatymas“;
- terminis atsparumas; pagal LST EN 12664:2002; „Šiluminės statybinių medžiagų ir gaminių charakteristikos. Šiluminės varžos nustatymas apsaugotos karštosios plokštės ir šilumos srauto matuoklio metodais. Vidutinės ir mažos šiluminės varžos sausi ir drėgni gaminiai“;
- vandens pralaidumas; pagal LST EN 1062-3:2008, „Dažai ir lakai. Išorės mūro ir betono dengimo medžiagos ir dangų sistemos. 3 dalis. Pralaidumo vandeniui nustatymas“;



- garso izoliacija; pagal EN ISO 140-6:2006, „Garso izoliacijos montavimas pastatuose ir statinių elementuose. 6 dalis. Garso smūgio izoliacija grindims“;
- garso absorbcija; pagal LST EN 12354-6:2004, „Statybinė akustika. Statinių akustinių charakteristikų įvertinimas pagal jų elementų charakteristikas. 6 dalis. Uždarų erdvių garso sugertis“ ir EN ISO 354:2003, „Akustika. Garso sugerties matavimas aidėjimo kameroje“.

Kai kurių, iš prieš tai paminėtų bandymų, suformuoti bandiniai turi atitikti EN 13892-1 standartą, kuris reglamentuoja bandinių formą, dydį ir kiekį, taip pat jų laikymo sąlygos (2.12 ir 2.13 lentelės).[6]

2.12 lentelė: Mėginių ar bandinių formų dydžiai

<b>Bandymas</b>	<b>Mėginio/formos dydis</b>	<b>Reikiamas bandinių skaičius</b>
Lenkiamojo ir gniuždomojo stiprio nustatymas LST EN 13892-2	160 mm x 40 mm x 40 mm	3
Atsparumo dėvėjimuisi nustatymas Böhme metodu LST EN 13892-3 (2.2 pav.)	71 mm x 71 mm x d*	3
Atsparumo dilumui nustatymas LST EN 13892-4 (2.3 pav.)	500 mm x 500 mm x d*	1
Išlyginamųjų medžiagų dėvimojo sluoksnio atsparumo dilumui, veikiant rutuliukais nustatymas LST EN 13892-5	500 mm x 500 mm x d*	1+1
Paviršiaus kietumo nustatymas LST EN 13892-6	160 mm x 40 mm x 40 mm	3
Išlyginamosios medžiagos, ant kurios uždėta grindų danga, atsparumo dilumui, veikiant ratukais, nustatymas LST EN 13892-7	350 mm x 350 mm x d*	3+3
Sukibimo stiprio nustatymas LST EN 13892-8	300 mm x 300 mm x d*	2
*- kai kuriems produktams, storis <i>d</i> gali būti taikomas tik kaip storis, arba storis ant atraminių plokščių		

2.13 lentelė: Bandinių laikymo temperatūros ir laikas

Mišinio pagrindinė medžiaga	Laikymo temperatūra, °C	Išlaikymo laikas paromis			
		Formoje		Išimtos iš formos	
		Drėgmė kameroje 95±5 % RH	65±5 % RH	95±5 % RH	65±5 % RH
Cementas	20±2	2	-	5	21
Kalcio sulfatas	20±2	2	-	-	26
Magnezitas	20±2	-	1	-	27

### 3. NAUDOTOS MEDŽIAGOS

#### 3.1.BENDRA INFORMACIJA

Lyginant savaime išsilyginančio mišinio sudėtis pastebėta, kad yra įvairių galimų receptų variacijų. Tačiau pagal rekomendacijas tokios paskirties mišinį turi sudaryti: rišamoji medžiaga, užpildas (-ai) ir modifikuoti priedai. Pastarieji gali susidaryti iš daugelio skirtingų įmaišų arba vieno ar kelių sudėtinių junginių.

Remiantis išnagrinėtais literatūros šaltiniais, juose rastas teorines savaime išsilyginančio mišinio sudėtis galima lyginti su praktikoje naudojamais receptais. Pagal tai yra suprojektuota etaloninė (pagrindinė) šio magistrinio projekto mišinio receptinė sudėtis, kurią sudaro šie komponentai:

- rišamoji medžiaga 1 – portlandcementis;
- rišamoji medžiaga 2 – aluminatinis cementas;
- rišamoji medžiaga 3 – anhidritas ir statybinės kalkės;
- užpildas 1 – kvarcinis smėlis;
- užpildas 2 – kalkakmenis;
- lėtintojas\* – sausa rūgštinė įmaiša;
- greitintiklis\*;
- redisperguojamoji\* – redisperguojantis polimeras (dispersija);
- superplastiklis\* – plastifikuojantis reologinis priedas;
- stabilizatorius\* - celiuliozės eteris;
- nuputintojas\* - reologinis priedas.

\*- konfidenciali informacija.

Su šiomis išvardintomis medžiagomis sudarytas etaloninis mišinio receptas yra pateiktas 3.10 lentelėje. Pagrindinė šio darbo užduotis yra antrinių žaliavų įvedimas, užpildo pakeitimas, visiškai arba dalimi. Nepaisant to sudedamųjų medžiagų procentinės dalys nesikeis. Vienintelis keičiamas komponentas bus užpildas, t.y. receptuose bus keičiama tik kvarcinio smėlio arba kalkakmenio procentinė dalis. Vietoje jų bus mėginama panaudoti šiuos užpildus:

- paprastą smėlį;
- maltą kvarcinį smėlį;
- maltą stiklą;
- granitmilčius (granito nuoplovas);
- ceolitą;
- maltą dolomitą.

### 3.2. RIŠAMOJI MEDŽIAGA

Rišamoji medžiaga – tai hidraulinė arba orinė medžiaga, kuri pradeda kietėti ore, po to vandenyje, o sukietėjusi išlaiko savo stiprumą tiek ore, tiek vandenyje.[15] Abiejų rūšių rišamoji medžiaga buvo naudojama mišinių receptuose.

Savaime išsilyginančiame grindų mišinyje hidraulinės rišamosios medžiagos yra portlandcementis ir aluminatinis cementas, bei orinės rišamosios medžiagos – kalkės ir kalcio sulfatas (gipsas). Šių medžiagų junginys su kitais komponentais sudaro vientisą sistemą.

Orinės kalkės – tai iš CaO (arba Ca(OH)<sub>2</sub>) susidedančios kalkės, kurios reaguodamos su atmosferoje esančiu anglies dioksidu kietėja. Tokio tipo mišiniuose naudojamos maltos statybinės kalkės sumaišytos su vandeniu pradeda hidrosilikatinį kietėjimo procesą. Šio proceso metu trikomponentėje sistemoje CaO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O susidaro cementuojančios medžiagos.[15] Kalkes aprašantis standartas yra LST EN 459-1:2010 „Statybinės kalkės. 1 dalis. Apibrėžtys, techniniai reikalavimai ir atitikties kriterijai“.

Magistrinio darbo metu atliekant eksperimentus naudotos statybinės gesintos kalkės „Natura“. Tokių kalkių eksploataciniai parametrai nurodyti 3.1 lentelėje:

3.1 lentelė. Kalkių deklaruojamos eksploatacinės savybės

Charakteristika	Deklaruojama savybė
CaO + Mg	≥90 %
MgO	≤5 %
CO <sub>2</sub>	≤4%
SO <sub>3</sub>	≤2 %
Grūdelių dydis, likutis masės % 0,2 mm	≤2 %
Grūdelių dydis, likutis masės % 0,9 mm	≤7 %

Savaime išsilyginančiam grindų mišiniui kalkės greitina rišimąsi, didina stiprį, veikia kaip vandenį sulaikanti įmaiša. Nors mišinyje jų naudojama labai mažai (iki 0,5 %), tačiau tai yra reikšminga.

Gipsinė rišamoji medžiaga – tai gipsas arba anhidritas. Sausų statybinių mišinių gamyboje naudojamas pusvandenis gipsas  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ . Jis būna  $\alpha$  ir  $\beta$  modifikacijos.  $\alpha$  modifikacijos gipsas yra vadinamas statybiniu gipsu, o  $\beta$  – aukštaverčiu gipsu. Šios medžiagos greitai rišasi ir kietėja. Pagrindinis gipso trūkumas – mažas atsparumas drėgmei, todėl mišiniai su gipsu yra naudojami tik viduje esančiose patalpose. Tačiau savaime išsilyginantis mišinys yra naudojamas ir lauke, dėl to sukietėję mišiniai turi būti kiek galima labiau apsaugoti nuo drėgmės. Kitas galimas apsaugos nuo drėgmės būdas yra įvairių įmaišų (polimerinių (hidrofobinių) priedų) įvedimas į mišinio sudėtį. Gipsas turi savybę kietėjant didinti savo tūrį iki 1 %. Šiam mišiniui tai yra neigiama savybė. Bet dėl etringito susidarymo ir kietėjančio portlandcemenčio susitraukimo gipsas yra plačiai naudojamas savaime išsilyginančio mišinio gamyboje.

Šio darbo atliekamų eksperimentų metu naudotas vokiškas kalcio sulfato anhidritas ( $\text{CaSO}_4$ ), kuriame  $\text{CaSO}_4$  kiekis yra daugiau nei 89%.

Pati svarbiausia rišamoji medžiaga yra portlandcementis (kalcio silikatai 50-70 %), kuris yra reglamentuojamas pagal LST EN 197-1:2011 standartą. Pagrindiniai komponentai naudojami pagaminti portlandcemenčiui yra klinkeris ir gipsas (mažas kiekis). Be šių medžiagų dar gali būti dedama kreidos, mergelio, molio ir įvairių priedų. Pagal dedamų priedų kieki portlandcemenčiai skirstomi į:

- CEM I – portlandcementis su 5 % priedų;
- CEM II – sudėtinis portlandcementis su 6 – 35 % priedų;
- CEM III – šlakinis portlandcementis su 35 – 95 % priedų;
- CEM IV – pucolaninis portlandcementis su 11 – 55 % priedų;

- CEM V – sudėtinis cementas, kuriame yra 18 – 50 % šlako ir 18 – 50 % pucolanų.[15]

Savaime išsilyginančiame mišinyje yra naudojamas latviškas CEM I 42,5 R klasės portlandcementis, kurio rišimosi pradžia yra daugiau nei po 60 minučių. Toks cementas yra vidutinės stiprio klasės, be kurios dar yra 32,5 ir 52,5. Dėl reikalingo greito kietėjimo naudojamas didelio ankstyvojo stiprio cementas, žymimas raide R. Pagal ankstyvojo stiprio laiką dar yra L – mažo ir N – normalaus ankstyvojo stiprio portlandcemenčiai.

Portlandcemenčio hidratacija yra sudėtingas procesas, jos metu skirtingo dydžio dalelės hidratuojasi skirtingu greičiu. Didelę įtaką šiam procesui turi aplinkos temperatūra, tačiau greičiausiai kietėjimo procesas vyksta esant 20 °C temperatūrai.[15]

Savaime išsilyginančio mišinio sistemoje taip pat labai svarbus yra aliuminatinis cementas. Darbo metu naudotas turkiškas aliuminatinis cementas. Tai specialus portlandcementis, kuris gaminamas iš kalcio karbonato, daug aliuminio turinčių boksitų ir geležies laužo, į kurį dar yra dedama kokso. Pagrindinis tokio cemento mineralas yra kalcio aluminatas. Aliuminatinis cementas pagal pavadinimą, dėl jame esančio  $Al_2O_3$  kiekio, gali būti skirstomas į:

- įprastinį aliuminatinį cementą – iki 50 %  $Al_2O_3$ ;
- daugiaaliuminatinį cementą – 50 – 70 %  $Al_2O_3$ ;
- ypač daugiaaliuminatinį cementą - >70 %  $Al_2O_3$ .

Šis cementas pradeda rištis po 30 min, o baigia ne vėliau kaip po 12 val., taip greitai įgaudamas stiprį ir veikdamas kaip greitiklis. Be šio cemento savaime išsilyginantis grindų mišinys nebūtų greitai kietėjantis. Geriausiai šis cementas kietėja ne aukštesnėje nei 25 °C temperatūroje, kuri didžiąją laiko dalį turi būti pastovi. Mišiniai su aliuminatinium cementu yra labai jautrūs bet kokiems temperatūros ar stipriems oro srauto pokyčiams ir žemesnei nei 20°C temperatūrai. Dėl savo savybės įkaisti, išskirti daugiau hidratacijos šilumos, aliuminatinis cementas nenaudojamas dideliems masyvams betonuoti (pvz. besiūlėms grindims). Yra atveju kai šis cementas nėra būtinas savaime išsilyginančių mišinių gamyboje. Tokiu atveju, vietoje jo, gali būti naudojamas amorfinis aliuminio oksidas. Šis priedas sistemą veikia kaip kietėjimo greitiklis.

Sukietėjęs aliuminatinis cementas tampa tankus, atsparus karščiui, šalčiui, vandeniui, sulfatams ir sieros dioksido prisotintam vandeniui. Dėl šių savybių savaime išsilyginančiame grindų mišinyje esantis aliuminatinis cementas mažina kitų rišamųjų medžiagų sukeltas problemas.[4][15]

### 3.3.ĮMAIŠOS

Įmaišos – sausame statybiniame mišinyje įmaišos naudojamos savybių gerinimui, reguliavimui ar modifikavimui.[3] Savaiame išsilyginančiame mišinyje yra naudojamos tokios įmaišos: antiputintojas, greitiklis, lėtintojas, plastifikatorius, redisperguojamoji ir stabilizatorius. Šios įmaišos gali būti dedamos į mišinį kaip atskiros medžiagos, arba gali būti naudojami jų junginiai.

Antiputintojas (putų pašalintojas) – tai reologinis priedas, neutralios arba šarminės reakcijos miltinės įmaišos, kurios reguliuoja arba panaikina maišant atsiradusias iš oro įsiurbtas putas. Jie suteikia paviršiui glotnumą, eliminuoja kraterius, padidina stiprį. Mažindamas mišinio pH, maišymo metu padidėjus įtempimams putų burbuliukai priverčiami kilti į viršų ir sunykti. Juo gali būti įvairūs angliavandeniliai, mineraliniu ar silikoninių alyvų pagrindu gautos įmaišos.

Greitiklis – tai hidratacijos reguliatorius, padedantis greičiau rištis ir kietėti cementui. Jis reikalingas tam, kad padidinti stiprio augimą po pirminio rišimosi, t.y. po paros ir daugiau. Ši įmaiša formuojamų grindų stiprį po 28 parų gali padidinti iki 80%. Juo gali būti: ličio karbonatas, kalcio formiatas, geležies chloridas, amorfinis aliuminio oksidas. Atliekant eksperimentus naudoti natrio karbonato milteliai – kalcinuota soda.

Lėtintojas – taip pat hidratacijos reguliatorius, kuris vėlina rišimosi laiką, suteikia norimas darbines savybes ir atvirą laiką. Teoriškai jis didina gniuždomąjį stiprį iki 80%, bet praktikoje dėl skirtingų medžiagų nesuderinamumo stipris gali ir mažėti. Dėl didelio kiekio kietėjimą greitinančių įmaišų lėtiklis tampa reikalinga įmaiša sistemoje. Juo gali būti: citrinos ar vyno rūgštis, trinatrio citratas, natrio gliukonatas. Eksperimentų metu naudojau citrinos rūgštį.

Plastifikatorius (superplastiklis) – tai įmaiša, kuri nekeičia mišinio konsistencijos, bet mažina vandens kiekį. Kitaip tariant, nedidinant vandens kiekio mišinyje jis gali turėti didesnį sklidumą. Kartu su kitų medžiagų deriniu jis suteikia savaiminio išsilyginimo savybę. Be to padidina gniuždomąjį stiprį, po paros - 140 %, po 28 parų – 115 %. Žymiausių firmų naudojami plastifikatoriai: Sika, ViscoCrete, Melment, Melflux, Elotex. Nagrinėjamo mišinio sudėtyje naudotas natrio kazeinas, kuris yra natūralus baltymas.

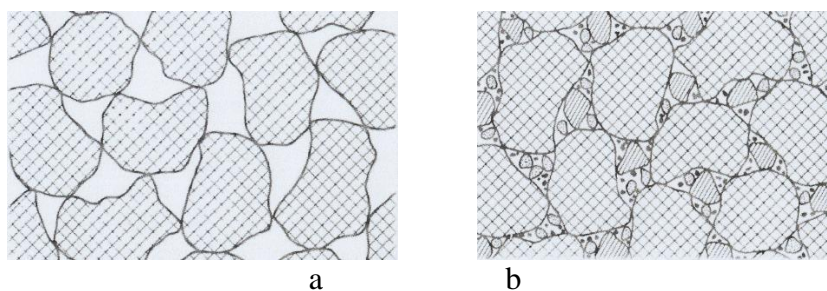
Redisperguojamoji – kitaip dar vadinama dispersija, tai polimerinė medžiaga, kuri padidina sukibimą (adheziją), elastingumą, atsparumą šarmams, gerina takumą, sumažina akytumą, tačiau nedidina gniuždomojo stiprio. Veikia kaip papildoma rišamoji medžiaga, kuri nekeičia hidratacijos greičio. Sukietėjusi ji užpildo tuštumas, poras ir kapiliarus, sudaro

standžią ir elastingą plėvelę. Populiariausi redisperguojančių įmaišų gamintojai: Dairen, Neolith, Vinnapas, Rhoximat, Elotex.

Stabilizatorius – tai įmaiša, kuri reguliuoja mišinio klojumą, neleidžia išsisluoksniuoti, atsiskirti vandeniui. Stabilizatoriumi gali būti specialus priedas - celiuliozės eteris. Jis sumažina sedimentaciją ir fazių atsiskyrimą. Kitaip tariant metilceliuliozės eteriai tai polimerai, veikiantys kaip vandenį sulaikanti įmaiša. Jais gali būti mažos klampos celiuliozės ar krakmolo eteriai. Žymiausi pavadinimai: Bermocoll, Mecellose, Starvis.[3][16]

### 3.4.UŽPILDAI

Užpildas - tai kaip pagrindinė kietoji fazė mišinyje, kurią sumaišius su vandeniu, prasideda sąveika su kitomis mišinyje esančiomis medžiagomis. Dėl to užpildo dalelių paviršiaus plotas turi būti kuo didesnis, tuomet jis kartu su rišamąja medžiaga sudarys erdvinę sandarą, kurios lietimosi taškuose atsiradusi tarpusavio sąveikos energija darys kūną stipresniu (3.1 pav.). Norint gauti kuo stipresnę konstrukciją reikia, kad užpildų dalelių dydis būtų kuo labiau artimas optimaliai užpildų granulometrijos kreivei ir vienodesnio dydžio, o forma kuo artimesnė ovalui (nebūtų plokščia). Tada bus gaunamas didesnis gniuždomasis stipris, nes sudaroma tankesnė struktūra. Be to, jei užpildas bus su mažesniu vandens įgėriu, tai iš jo pagamintas mišinys reikalaus mažesnio vandens kiekio norimai konsistencijai gauti. Dėl to bus gaunami didesni konstrukcijos stipriai.

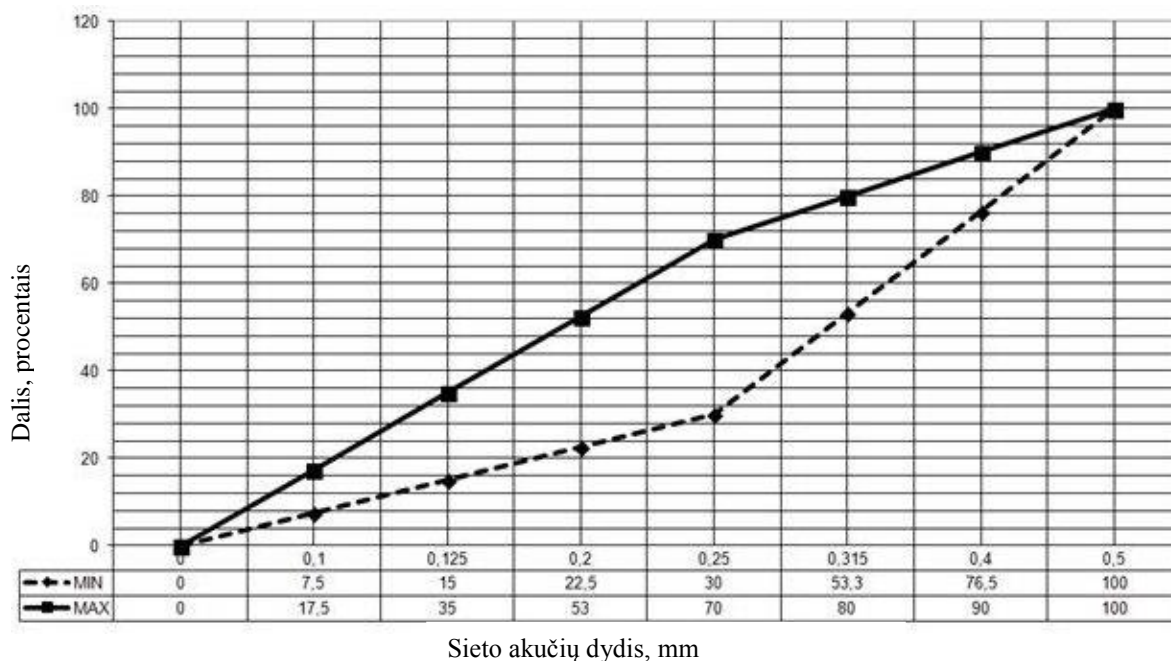


3.1 pav. Užpildų dalelių struktūra:

a – vieno dalelių dydžio užpildo struktūra; b – skirtingų dalelių dydžio užpildo struktūra.

Lietuvoje sausiems statybiniamis mišiniamis naudojamiems užpildams yra taikomas LST EN 13139:2013+AC:2004 „Skiedinio užpildai“ standartas. Norint gauti labai kokybišką mišinį reikia suderintos granulometrinės sudėties užpildų. Rekomendacinė smėlio, naudojamo savaime išsilyginančiuose grindų mišiniuose, granulometrinė sudėtis pateikta 3.2 paveiksle. Tokių suderintų užpildų kaina labai didelė, o išteklių - riboti. Siekiant tinkamiausio varianto

savaime išsilyginančio grindų mišinio gamyboje geriausia būtų naudoti geros kokybės monomineralinį kvarcinį smėlį.



3.2 pav. Rekomenduotina savaime išsilyginančiame mišinyje naudojamo smėlio granulometrija.

### 3.4.1. SMĖLIS

Savaime išsilyginančiame mišinyje pagrindinis užpildas yra kvarcinis smėlis, tačiau nagrinėjant jo alternatyvas pirmiausia jį keisiu kitu užpildu, t.y. polimineraliniu kvarciniu smėliu. Šis smėlis nuo monomineralinio kvarcinio smėlio skiriasi tuo, kad jame nėra tokio didelio SiO<sub>2</sub> kiekio. Taip pat šis smėlis yra sudarytas iš daugelio mineralų nuolaužų, ne taip kaip monomineralinis kvarcinis smėlis iš beveik vienodo mineralo (kvarco, feldšpato ir pan.).

Magistriniame darbe naudoto AB „Anykščių kvarco“ kvarcinio smėlio (fr. 0,0-0,5) granulometrija (vidutinės reikšmės) nurodyta 3.2 lentelėje. Tokio tipo karjerinis smėlis prieš atliekant bandymus buvo išdžiovintas 105°C temperatūroje ir išfrakcionuotas iki 0,0-0,5 mm frakcijos.[21]

3.2 lentelė. Kvarcinio smėlio granulometrija

Sieto akučių skersmuo, mm	0,71	0,5	0,25	0,125	0
Dalinis likutis ant sieto, %	0	0,4	25,9	62,4	11,3

Kaip alternatyva naudotas polimineralinis kvarcinis smėlis (toliau – paprastas smėlis) buvo gaunamas iš UAB „Rizgonys“ priklausančių karjerų. Prieš atliekant bandymus jis buvo



taip pat paruošiamas iki tokios pačios frakcijos 0,0-0,5 mm. Šio smėlio granulometrija nurodyta 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. Paprasto smėlio granulometrija

<b>Sieto akučių skersmuo, mm</b>	<b>0,71</b>	<b>0,5</b>	<b>0,25</b>	<b>0,125</b>	<b>0</b>
<b>Dalinis likutis ant sieto, %</b>	0	0,2	7,1	50,1	42,6

Norint su užpildais pagerinti mišinio sklidumą į jo sudėtį galima įterpti mikroužpildo: dolomito, klinčių ar kalkakmenio.[16]

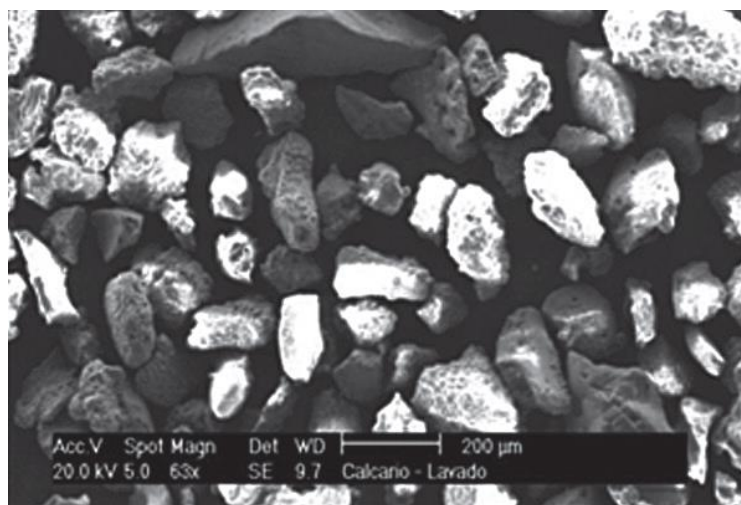
### 3.4.2. KALKAKMENIS

Norint sudaryti tankesnę mišinio dalelių struktūrą į mišinį yra dedama mikro užpildo – kalcio karbonato, kitaip dar vadinamo kalkakmenio. Šio darbo metu naudojamas kalkakmenis yra iš AB „Naujasis Kalcitas“, jo granulometrija pateikta 3.4 lentelėje. Tokį kalkakmenį daugiau nei 90 % sudaro  $\text{CaCO}_3$ .

3.4 lentelė. Kalkakmenio granulometrija

<b>Sieto akučių skersmuo, mm</b>	<b>0,71</b>	<b>0,5</b>	<b>0,25</b>	<b>0,125</b>	<b>0</b>
<b>Dalinis likutis ant sieto, %</b>	0,0	0,0	0,2	2,1	97,7

Kalkakmenis yra vidutinio kietumo medžiaga, minkšta ir smulkiakristalė. Dėl šių savo savybių jis sumažina gaminių paviršiaus atsparumą trinčiai, taip pat ir stiprumines savybes. Be to jis didina vandens įgeriamumą, dėl ko gaminiai gali prarasti savo stabilumą nesisluoksniuoti, ko pasekoje grindys gali sutrūkinėti. Dėl šių neigiamų savybių darbe nagrinėjama ir šio užpildo pakeitimas kitu, stabilesniu užpildu.



3.3 pav. Kalkakmenio dalelių forma.[28]

### 3.4.3. CEOLITAS

Ceolitas – tai per milijonus metų susiklostę vulkaniniai pelenai, kurie buvo veikiami aukštos temperatūros ir slėgio. Tokiu būdu susiformavęs ceolitas yra gamtinis, kitaip dar vadinamas klinoptilolitu. Pagrindinė ceolitų savybė yra absorbuoti įvairias medžiagas iš dujų mišinių, tirpalų ir kitų medžiagų ar junginių. Specialiai apdirbtas ceolitas gali būti naudojamas kaip geležies sulfato pakaitalas mažinanti vandenyje tirpstančio chromo (IV) kiekį.[26]

Ceolito milteliai – kaip alternatyvi atlieka, technogeninė žaliava, galinti atlikti užpildo ir rišamosios medžiagos savybes. Tokiu būdu gali būti ne tik mažinamas kalkakmenio, bet ir portlandcemenčio kiekis mišinyje. Pats ceolitas, kaip medžiaga, įvairiuose procesuose naudojama sugerti (absorbuoti) į save nereikalingas daleles, ko pasekoje jame susikaupia ne tik kenksmingos dalelės, bet ir naudingi statyboje elementai. Ceolito milteliai yra smulkios frakcijos (3.5 lentelė), todėl teoriškai gali pakeisti kalkakmenio dalį mišinyje. Jo piltnis tankis tik apie 950 kg/m<sup>3</sup>, taip iš dalies būtų lengvinama konstrukcija. Dėl savo apvalesnės dalelių formos jis gali suformuoti lygesnį ir glotnesnį paviršių.

Tyrimuose naudojamas ceolitas buvo gautas kaip gamybinė atlieka, kuri susidaro chemijos ir naftos pramonėje. Dėl to ji reikalauja papildomo apdirbimo dėl jame susikaupiančių kenksmingų medžiagų. Naftos kerlinge naudojamas katalizatorius yra naftos perdirbimo pramonės katalizinio krekingo metu susidariusios atliekos, tai ir yra aptartoji technogeninė medžiaga – aliumosilikatinis ceolitas. Dėl savo atsparumo karščiui, stipruminių, mechaninių, fizikinių ir cheminių savybių gerinimo jis gali būti naudojamas ne tik karščiui atspariuose betonuose, bet savaime išsilyginančių grindų mišinyje. Kaip rišamoji medžiaga naudojamas ceolitas leidžia pagerinti portlandcemenčio hidratacijos procesą. Dėl ko mišinyje gali mažėti ne tik rišamosios medžiagos, bet ir įmaišų kiekis. Tačiau atsižvelgus į 1.3 skyriuje aptartus mokslinius tyrimus galima sakyti, kad ceolitas nėra tinkamas pakaitalas rišamajai medžiagai savaime išsilyginančiuose mišiniuose. Kol kas sintetiniai ceolitai dar nėra plačiai naudojami statybos produktuose, tačiau jo tariamai suteiktos pagerinimo savybės gali būti labai naudingos. [17]

3.5 lentelė. Ceolito granulometrija

Sieto akučių skersmuo, mm	0,71	0,5	0,25	0,125	0
Dalinis likutis ant sieto, %	0,0	0,0	0,2	7,0	89,2

### 3.4.4. MALTAS STIKLAS

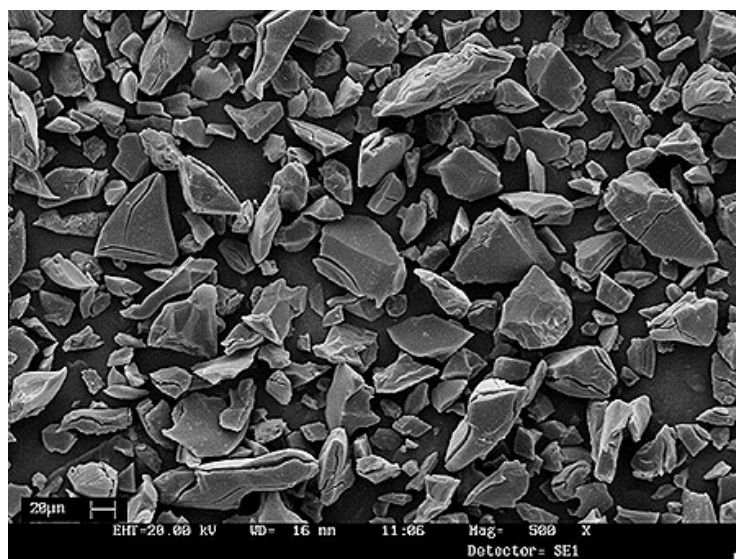
Stiklas – tai kieta, trapi, amorfinė termoplastinė medžiaga, kurio didžiąją dalį sudaro  $\text{SiO}_2$  (>60 %). Dėl savo savybių ir sukaupto atliekų kiekio stiklas gali būti perdirbamas į aukštos kokybės kietos pudros miltelius. Tokia medžiaga yra ekologiška, nekenkianti sveikatai ir aplinkai. Nors jo kaina ir nėra pigesnė nei kalkakmenio, tačiau jis puikiai gali pakeisti tokios frakcijos užpildą ir suteikti teigiamų savybių statybiniam mišiniui. Šiems naudotiems stiklo milteliams gauti buvo malamas langinis, taros ir tonuotas stiklas.

Malto stiklo milteliai darbo metu buvo naudojami iš „Glass Milling LT“, jų frakcija yra 0-0,125 mm (<0,063 mm = 99%). 3.6 lentelėje pateikta malto stiklo cheminė sudėtis.

3.6 lentelė. Malto stiklo miltelių cheminė sudėtis

Oksidas	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$	$\text{CaO}+\text{MgO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Kiti
Procentinė dalis	71,0 – 73,0	1,5 – 2,0	13,0 – 14,0	8,0 – 10,5	<0,3	<0,5

Tokių miltelių piltnis tankis apie  $720 \text{ kg/m}^3$ , savitasis paviršius –  $2000 - 17000 \text{ cm}^2/\text{g}$ . Tokio didelio savitojo paviršiaus medžiaga apie save gali lengvai ir daug tankiau prijungti kitus mišinio komponentus, ko pasekoje gaunamas didesnis gaminio stipris. Taip pat ši pudra yra labai mažai (arba visai) neįgerianti medžiaga, atspari vandeniui ir netirpi jame, dėl ko sumažėja naudojamo vandens kiekis mišinyje. Taip pat ji pasižymi atsparumu ugniai ir cheminiam poveikiui. Bene vienintelis šios medžiagos minusas tai netaisyklinga forma (3.4 pav.). Dėl šios savybės malto stiklo miltelius naudojant savaime išsilyginančiame grindų mišinyje sumažėja jo sklidumas.



3.4 pav. Malto stiklo pudros dalelių forma. [27]

### 3.4.5. MALTAS KVARCINIS SMĖLIS

Dar viena smulkaus užpildo atmaina – maltas kvarcinis smėlis. Šis maltas smėlis savo savybėmis yra toks pat kaip ir kvarcinis smėlis, skiriasi tik jų granulometrija ir kaina. Maltas kvarcinis smėlis yra tas pats kvarcinis smėlis, naudojamas kaip pagrindinis stambus užpildas, tik sumaltas mechaniniu būdu. Darbe naudotas „Anykščių kvarco“ maltas kvarcinis smėlis, 0-0,125 mm smulkumo frakcijos. Jo cheminė sudėtis ir granulometrija atitinkamai nurodytos 3.7 ir 3.8 lentelėse.

3.7 lentelė. Malto kvarcinio smėlio cheminė sudėtis

Oksidai	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
Procentinė dalis (ne daugiau kaip)	99,2	0,05	0,60	0,1

3.8 lentelė. Malto kvarcinio smėlio granulometrija

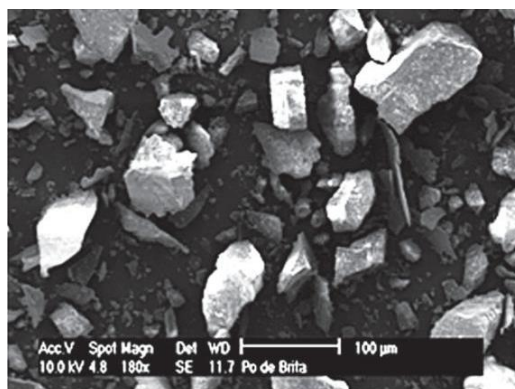
Akučių dydis, mm	0,125	0,063
Liekana ant sieto, %	Ne daugiau 0,1	Ne daugiau 1,0

Dėl savo smulkumo ir tinkamos (ovalesnės) dalelių formos jis idealiai užpildo ertmes tarp kitų užpildų ir įmaišų, taip sudarydamas tankesnę (stipresnę) sistemą su didesniu sklidumu.

### 3.4.6. GRANITMILČIAI

Granitas – tai magminė vulkaninės kilmės uoliena atspari dilumui. Ji pasižymi dideliu tankiu ir stipriu gniuždant, mažu įgeriamumu, yra ilgaamžė ir patvari. Granitmilčiai, kitaip dar vadinamos granito nuoplovos ar atsijos, jau yra pradėtos naudoti savaime sutankėjančiuose betonuose, todėl ir pasirinkau jį naudoti savaime išsilyginančiame grindų mišinyje.

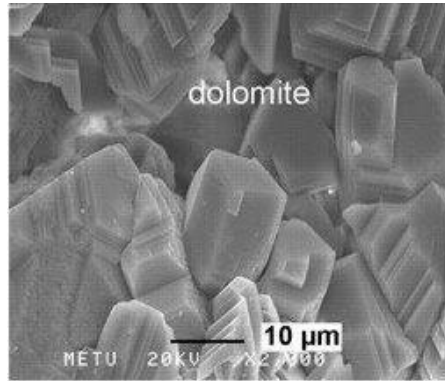
Tyrimuose naudoti granitmilčiai, kaip inertinė antrinė žaliava, yra gauta iš UAB „Granitas“, 0-0,063 mm smulkumo frakcijos, šviesiai pilkos spalvos milteliai. Jie gaunami iškastinę žaliavą granitą smulkinant į įvairias frakcijas ar pjaustant įvairius gaminius.



3.5 pav. Granitmilčių dalelių forma.[28]

### 3.4.7. DOLOMITAS

Dolomitas – tai iš kalcio ir magnio karbonatų susidariusi uoliena. Šios uolienos kietumas pagal Moso klasę yra apie 4, tankis apie 3000 kg/m<sup>3</sup>. Jis yra visiškai netirpus vandenyje, turi atsparumą rūgštims ir yra netoksiškas.



3.6 pav. Dolomito dalelių forma.[29]

Darbo metu naudotas maltas dolomitas yra iš „RBaltic“. Jo cheminė sudėtis pateikta 3.9 lentelėje, granulometrija 3.10 lentelėje, o kiti techniniai duomenys yra:

- Tankis – 1000 kg/m<sup>3</sup>;
- Tūrinis tankis – 2750 (±50) kg/m<sup>3</sup>;
- Savitasis paviršius – 500 (±100) m<sup>2</sup>/kg.

3.9 lentelė. Dolomito miltelių cheminė sudėtis

Oksidai	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Kiti
Vid. vertė, %	1,65	0,37	0,35	0,05	30,02	20,5	0,13	0,05	0,26	0,03	0,02	46,39

3.10 lentelė. Dolomito miltelių granulometrija

Sieto akučių skersmuo, mm	<0,063	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2
Dalinis likutis ant sieto, %	11,7	50,2	15,3	8,8	12,3	1,2	0,5

### 3.5.EKSPERIMENTAI, BANDYMAI IR REZULTATAI

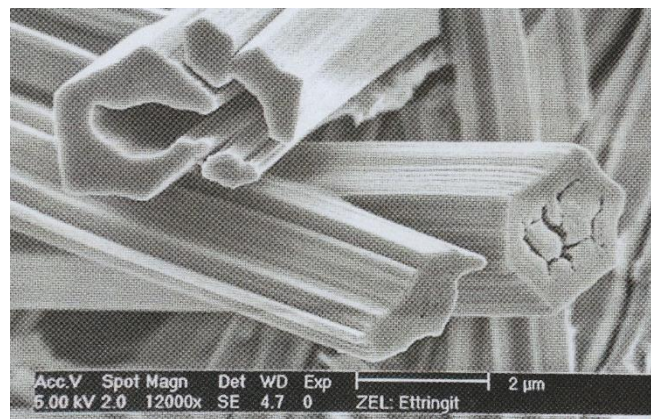
Savaime išsilyginantis mišinys yra sudėtingas sausas statybinis mišinys. Jį sudaro daug komponentų, kuriuos suderinti tarpusavyje būna pakankamai sunku. Nepaisant to, kai kurios iš naudojamų medžiagų yra labai brangios. Tačiau sukurti nebrangų savaime išsilyginantį mišinį yra įmanoma, tik reikia atrasti naujas, vis tobulėjančių technologijų pagalba, gautas medžiagas.

Šiame skyriuje bus pateikti tipinių savaimė išsilyginančio mišinio sudėčių komponentai (3.7 pav.). Visos mišinį sudarančios medžiagos išvardintos 3.1 skyriuje.



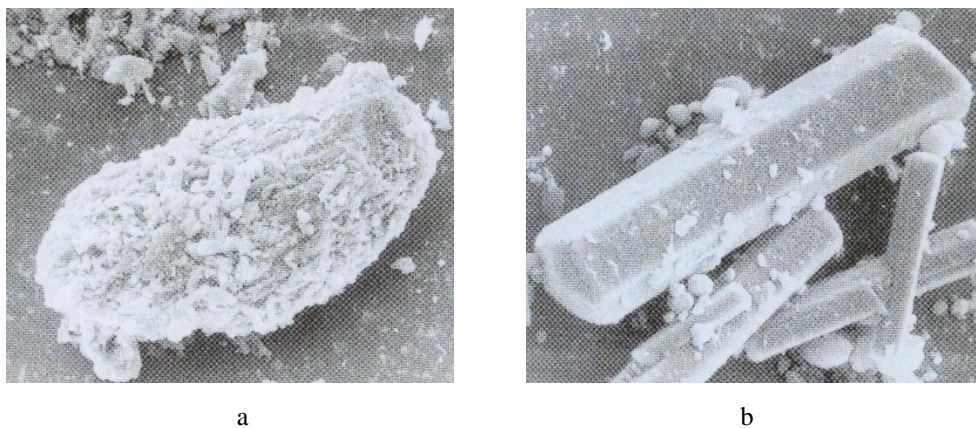
3.7 pav. Savaimė išsilyginančio mišinio komponentai.

Šiame mišinyje yra gaunama kombinuota trijų rišiklių sistema. Ją sudaro portlandcementis, aluminatinis cementas ir kalcio sulfatas (anhidritas). Susijungus šioms medžiagoms yra gaunama pagrindinė mišinio hidratinė fazė – etringitas (3.8 – 3.9 pav.).

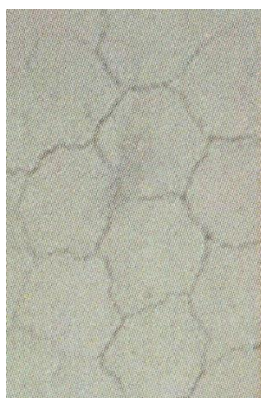


3.8 pav. Mišinyje susidaręs etringitas.

Etringito sistemos pasižymi greitu kietėjimu taip sukeldamos plėtimąsi, kuris kompensuoja susitraukimą. Mišinyje svarbu naudoti tik tiksliai reikiamą kalcio sulfato kiekį, nes per dideli jo kiekiai gali paskatinti per didelį mišinio plėtimąsi, kas sukeltų per didelius išsiplėtimus, dėl ko grindys sutrūktų (3.10 pav.).[16]

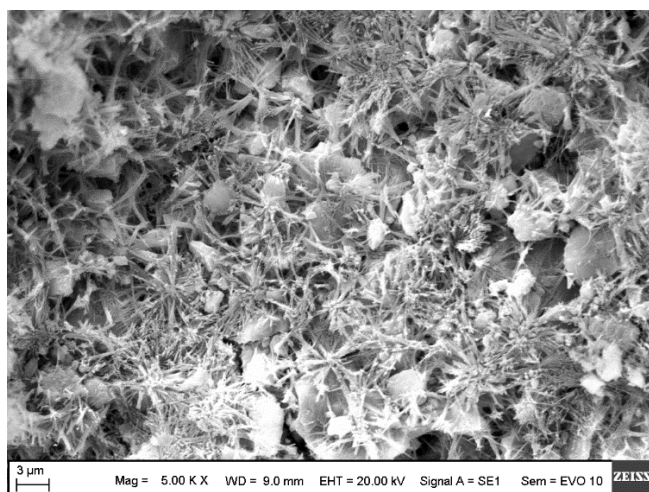


3.9 pav. Etringito struktūra: a –  $\alpha$  tipo kristalinė,  $\beta$  tipo amorfinė.



3.10 pav. Etringito iššauktas per didelis išsiplėtimas.

3.11 paveiksle pavaizduota kaip realiai atrodo etaloninės mišinio sudėties sukietėjęs mišinys, kiek jame yra susidariusio etringito. Šioje, kaip ir kitose nuotraukose etringitas yra tarsi „adatų“ pavidalo vamzdeliai. Šios 3.8 ir 3.9 nuotraukos padarytos naudojantis SEM (Skenuojančiu Elektriniu Mikroskopu).



3.11 pav. Etringito susidarymas etaloninės sudėties mišinyje.

3.10 lentelėje pateiktos tipinės savaimė išsilyginančio grindų mišinio sudėtys, kurios buvo nurodytos literatūros šaltiniuose ir statybinių cheminių įmaišų gamintojų rekomendacijose. Lentelėje pateikta procentinė, mišinį sudarančių medžiagų, išraiška.

3.10 lentelė: Savaime išsilyginančio grindų mišinio tipinės sudėtys

<b>Pavadinimas</b> <b>Medžiaga</b>	<b>Sika</b> <b>ViskoCrete</b>	<b>Elotex SLC</b> <b>2CEE</b>	<b>1.1*</b>	<b>1.2*</b>	<b>1.3*</b>	<b>Standart*</b>	<b>M**</b>
<b>Rišamoji medžiaga 1</b> <i>Portlandcementis</i>	21-27	20-30	10	40	18,5	46	18
<b>Rišamoji medžiaga 2</b> <i>Aliuminatinis cementas</i>	10-12	0-5	20	-	11,5	3	4
<b>Rišamoji medžiaga 3</b> <i>Kalcio sulfatas, kalkės</i>	3-9	1-8	12,5	4	6,5	3	4,5
<b>Užpildas 1</b> <i>Kv. smėlis</i>	40-50	40-50	30	40	41	44	40
<b>Užpildas 2</b> <i>Mikroužpildai</i>	9-13	5-15	24	12	19,4	-	31
<b>Lėtintojas</b> <i>Statybinė rūgštis</i>	0,1-0,3	0,01-0,1	0,1	-	-	-	0,1
<b>Greitintojas</b> <i>Kalcio formiatas</i>	-	-	0,08	-	0,1	-	0,1
<b>Redisperguojamoji</b> <i>Polimeras</i>	-	0-2	2,5	2,5	2	3,1	1,65
<b>Superplastiklis</b>	0,05-0,5	1,5-2,5	0,15	0,6	0,4	-	0,5
<b>Stabilizatorius</b> <i>Celiuliozė</i>	0-0,06	0,05-0,15	0,6	1,05	0,45	0,01	0,05
<b>Nuputintojas</b>	0-0,2	0-0,1	0,2	0,05	0,2	0,9	0,1
<b>Vanduo</b>	21-23	~20	-	-	-	25	23

\*- sudėtys rastos [1] literatūros šaltinyje.

\*\* - mano suprojektuota mišinio sudėtis.

3.11 lentelėje užpildų keitimams buvo sukurtos kitos mišinių sudėtys, pagal kurias buvo atliekami pagrindiniai 2.2 skyriuje išvardinti bandymai, o gauti rezultatai pateikti toliau skyriuje. Buvo atlikti 7 skirtingų medžiagų keitimo variantai. Dėl tikslesnės įtakos vertinimo pasirinkta mišinyje keisti vienu metu tik vieną medžiagą, t.y. variacija su vienu užpildu buvo vykdoma keičiant tik dviejų medžiagų procentinius kiekius mišinyje.

Etaloninė sudėtis vadinama M-4. Prieš atliekant magistrinio tiriamojo darbo eksperimentus ši sudėtis išnagrinėta ir pasirinkta todėl, kad mišinys su šia sudėtimi atitinka visus 2.1 lentelėje keliamus reikalavimus. Viso darbo metu iš svarbiausių paminėtų eksperimentų nebuvo daromi dilumo ir dėvėjimosi bandymai.





tendencija, kad pats gamintojas pasirenka kokios atsparumo klasės bus gaminamas produktas. Tyrimų pradžioje apžvelgtos, rinkoje esančių gamintojų pateiktų mišinių lenkimo ir gniuždymo stiprių, klasės. Iš atliktos analizės nuspręsta tolimesniuose tyrimuose, atliekant bandymus, remtis šiais dydžiais:

- lenkimo stiprio klasė – nemažesnė nei F5 ( $\geq 5 \text{ N/mm}^2$ );
- gniuždymo stiprio klasė – nemažesnė nei C25 ( $\geq 25 \text{ N/mm}^2$ );
- sklidumas – ne mažesnis nei 14 cm;
- Vandens / Kieto sauso mišinio santykis – 0,23 (remiantis rinkoje esančių produktų santykiu).

Atlikinėjant bandymus bus išmatuoti šie parametrai:

- vandens ir sauso mišinio (kietos dalies) santykis (V/K);
- sauso mišinio granulometrija (3.12 lentelė);
- šviežio mišinio sklidumas;
- prizmių masė, tankis ir tūris (pagal išmatuotus matmenis) po 2, 7 ir 28 parų;
- lenkiamasis stipris;
- gniuždomasis stipris;
- sukibimo stipris;
- deformacija ( $\geq 1 \text{ mm/m}$ ).

Bandymai atlikti pagal toliau išvardintus standartus:

- LST EN 13892-1, „Grindų išlyginamųjų medžiagų bandymo metodai. Ėminių ėmimas, bandinių pagaminimas ir laikymas bandymams“. Jame aprašyta, kokių reikalavimų laikiausi formuojant prizmes tolimesniems bandymams, kokios turi būti jų laikymo sąlygos.
- LST EN 13892-2, „Grindų išlyginamųjų medžiagų bandymo metodai. Lenkiamojo ir gniuždomojo stiprio nustatymas“. Jame aprašyti reikalavimai suformuotoms prizmėms ir kaip reikia atlikti lenkiamojo ir gniuždomojo stiprio nustatymo bandymus.
- EN 13892-8, „Grindų išlyginamųjų medžiagų bandymo metodai. Sukibimo stiprio nustatymas“ ir ASTM C 1583. „Standartinis tyrimo metodas. Betono stipris tempiant paviršių ir sukibimo stipris ar betono stipris tempiant remonto ir paviršinių medžiagas tiesioginiu įtempimu“. Pagal šį standartą matavau atplėšimo stiprį nuo pagrindo (betono).

- LST EN 12706, „Klijai. Hidraulinio kietėjimo grindų glaistų ir (arba) išlyginamųjų mišinių bandymo metodai. Sklidumo nustatymas“. Šiame standarte aprašyta kaip matuoti mišinio sklidumą, bandymo reikalavimai ir eiga.

Remiantis pastaruoju standartu, šviežio mišinio sklidumas buvo nustatomas dviem būdais. Pirmasis – remiantis etaloniniu V/K santykiu ( $V/K = 0,23$ ), buvo sumaišomi bandinių mišiniai ir išmatuojamas gautas sklidumas (13 lentelė). Antras – reikiamo V/K santykio nustatymas norint gauti etaloninį sklidumą ( $L \geq 14$  cm) (14 lentelė). Tokiu būdu buvo stebima ir lyginama tarpusavyje, kaip keičiasi visų mišinių sklidumas ir V/K santykis.

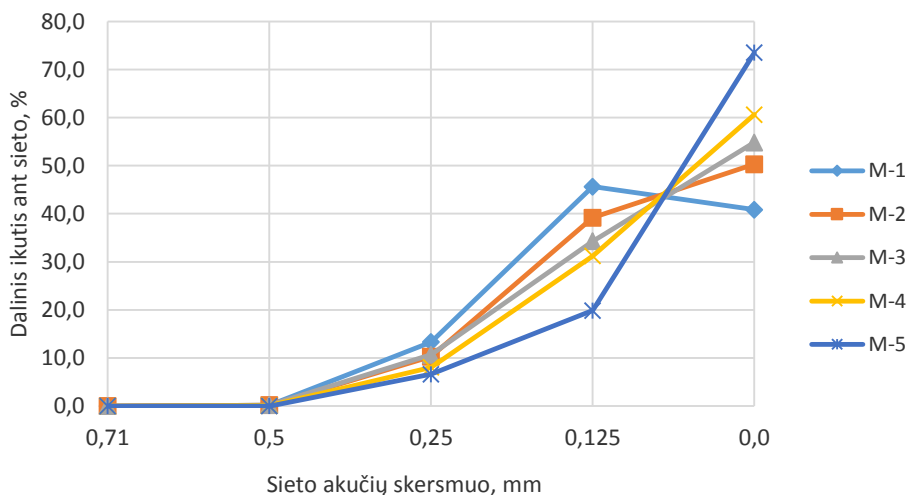
Gavus reikiamo (etaloninio) sklidumo mišinį, iš jo buvo suformuojamos 3 prizmės, kurios pagal LST EN 13892 standartą buvo atitinkamai laikomos 2 paras prizmėse (drėgmė -  $95 \pm 5$  %, temperatūra -  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ), 5 paras drėgnoje aplinkoje (drėgmė -  $95 \pm 5$  %, temperatūra -  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) ir tada 21 parą normaliose sąlygose iki pirminio kietėjimo pabaigos (drėgmė -  $65 \pm 5$  %, temperatūra -  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Po 28 parų prizmėms buvo išmatuotas lenkiamasis ir gniuždomasis stipriai. Visų bandymų metu, po 2, 7 ir 28 parų, prizmės buvo sveriamos, matuojami jų matmenys, atliekama vizualinė analizė (duomenys 3.14 ir 3.15 lentelėse).

3.12 lentelė. Sausų eksperimentinių mišinių granulometrija

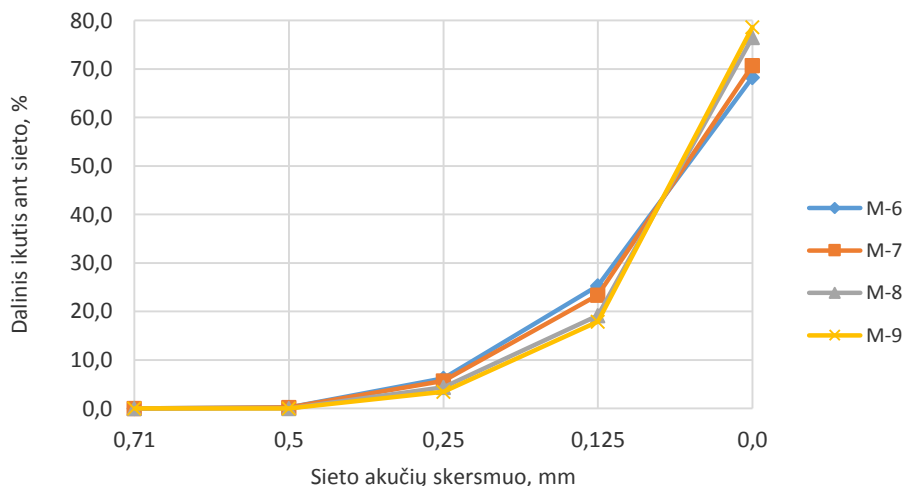
Recep -to pava- dini- mas	Granulometrija											
	likutis ant sieto, g						likutis ant sieto, %					
	0,71	0,5	0,25	0,125	0,0	Suma	0,71	0,5	0,25	0,125	0,0	Suma
<b>M-1</b>	0,0	0,2	12,8	43,9	39,3	96,2	0,0	0,2	13,3	45,6	40,9	100,0
<b>M-2</b>	0,0	0,2	9,9	37,7	48,4	96,2	0,0	0,2	10,3	39,2	50,3	100,0
<b>M-3</b>	0,0	0,2	10,2	32,7	52,3	95,4	0,0	0,2	10,7	34,3	54,8	100,0
<b>M-4</b>	0,0	0,1	7,8	30,3	58,8	97,0	0,0	0,1	8,0	31,2	60,6	100,0
<b>M-5</b>	0,0	0,0	6,3	18,9	69,9	95,1	0,0	0,0	6,6	19,9	73,5	100,0
<b>M-6</b>	0,0	0,2	6,0	24,4	65,8	96,4	0,0	0,2	6,2	25,3	68,3	100,0
<b>M-7</b>	0,0	0,2	5,5	22,6	68,3	96,6	0,0	0,2	5,7	23,4	70,7	100,0
<b>M-8</b>	0,0	0,0	4,1	17,9	71,6	93,6	0,0	0,0	4,4	19,1	76,5	100,0
<b>M-9</b>	0,0	0,0	3,3	17,2	75,5	96,0	0,0	0,0	3,4	17,9	78,6	100,0
<b>M-10</b>	0,0	0,4	11,2	22,2	62,6	96,4	0,0	0,4	11,6	23,0	64,9	100,0
<b>M-11</b>	0,0	0,3	12,0	24,5	58,9	95,7	0,0	0,3	12,5	25,6	61,5	100,0
<b>M-12</b>	0,0	0,4	12,1	18,8	66,3	97,6	0,0	0,4	12,4	19,3	67,9	100,0
<b>M-13</b>	0,0	0,5	13,3	24,0	59,8	97,6	0,0	0,5	13,6	24,6	61,3	100,0
<b>M-14</b>	0,0	0,5	12,4	24,2	60,3	97,4	0,0	0,5	12,7	24,8	61,9	100,0
<b>M-15</b>	0,0	0,5	13,5	23,0	60,9	97,9	0,0	0,5	13,8	23,5	62,2	100,0
<b>M-16</b>	0,0	0,1	7,8	26,7	62,8	97,4	0,0	0,1	8,0	27,4	64,5	100,0
<b>M-17</b>	0,0	0,0	7,7	27,6	61,8	97,1	0,0	0,0	7,9	28,4	63,6	100,0
<b>M-18</b>	0,0	0,1	7,5	27,3	61,5	96,4	0,0	0,1	7,8	28,3	63,8	100,0

<b>M-19</b>	0,0	0,1	7,0	28,8	60,7	96,6	0,0	0,1	7,2	29,8	62,8	100,0
<b>M-20</b>	0,0	0,0	6,8	30,5	59,5	96,8	0,0	0,0	7,0	31,5	61,5	100,0
<b>M-21</b>	0,0	0,2	7,5	30,9	58,6	97,2	0,0	0,2	7,7	31,8	60,3	100,0
<b>M-22</b>	0,0	0,1	9,2	21,9	65,3	96,5	0,0	0,1	9,5	22,7	67,7	100,0
<b>M-23</b>	0,0	0,3	10,9	19,8	65,8	96,8	0,0	0,3	11,3	20,5	68,0	100,0
<b>M-24</b>	0,0	0,3	10,0	19,9	65,9	96,1	0,0	0,3	10,4	20,7	68,6	100,0
<b>M-25</b>	0,0	0,1	7,8	30,3	58,8	97,0	0,0	0,1	8,0	31,2	60,6	100,0
<b>M-26</b>	0,0	0,3	10,6	19,0	56,6	86,5	0,0	0,4	12,3	22,0	65,4	100,0
<b>M-27</b>	0,0	0,3	10,2	19,6	57,0	87,1	0,0	0,3	11,7	22,5	65,4	100,0
<b>M-28</b>	0,0	0,3	10,0	20,5	54,9	85,7	0,0	0,4	11,7	23,9	64,1	100,0
<b>M-29</b>	0,0	0,3	9,8	19,9	56,3	86,3	0,0	0,4	11,4	23,1	65,2	100,0
<b>M-30</b>	0,0	0,3	10,4	21,5	55,2	87,4	0,0	0,3	11,9	24,6	63,2	100,0

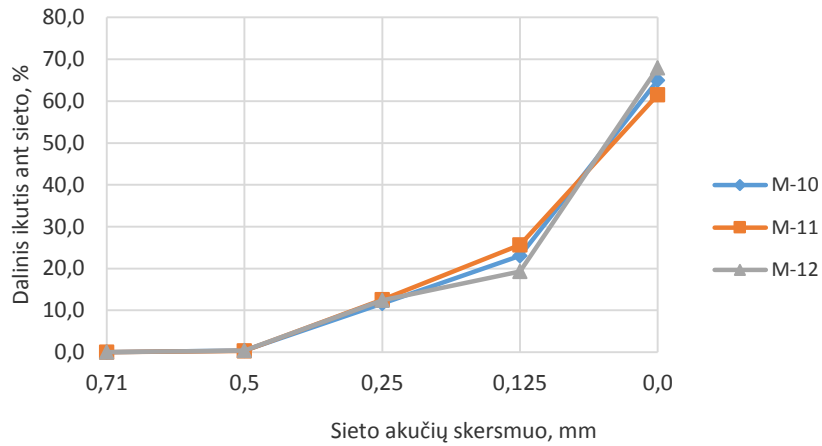
Visos šios mišinių granulometrijos yra suvestos į atitinkamus grafikus pagal tai, koks užpildas buvo keičiamas.



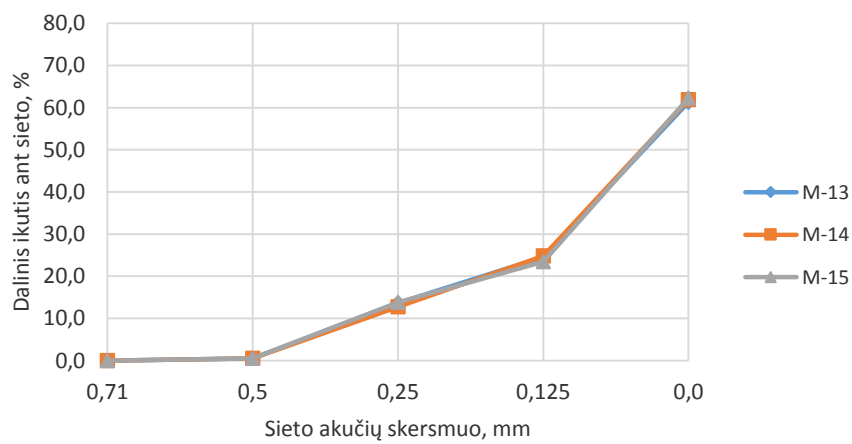
3.12 pav. M-1, M-2, M-3, M-4, M-5 mišinių granulometriją (kvarcinio smėlio ir kalkakmenio keitimas).



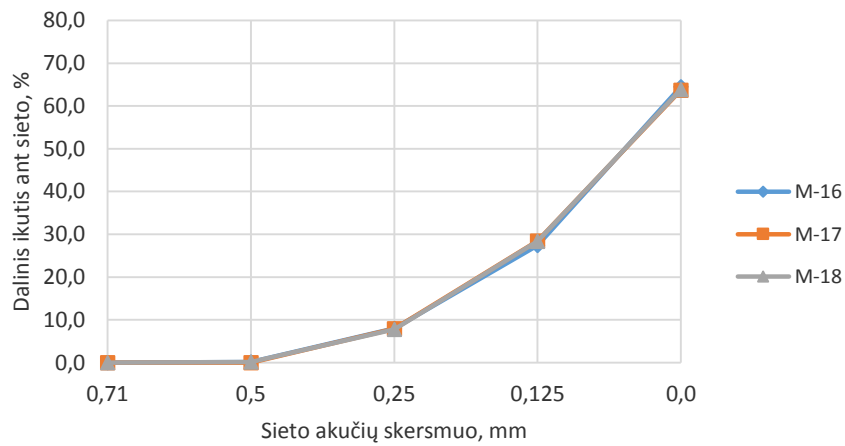
3.13 pav. M-6, M-7, M-8, M-9 mišinių granulometriją (smėlio ir kvarcinio smėlio keitimas).



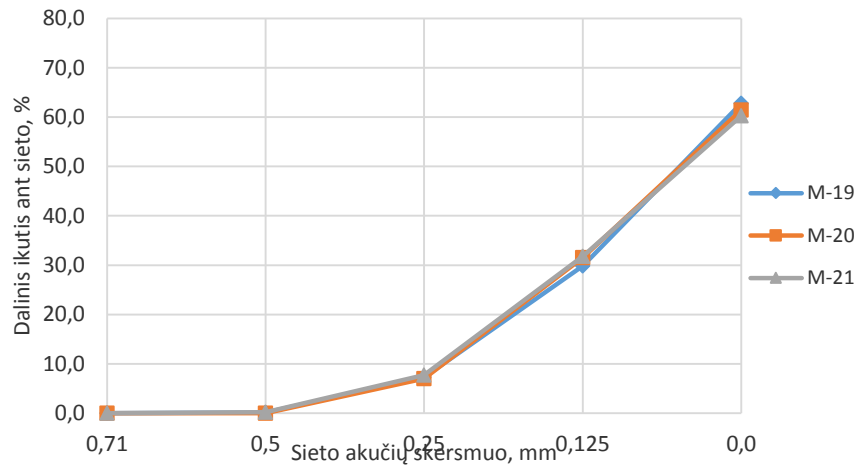
3.14 pav. M-10, M-11, M-12 mišinių granulometrija (malto kvarcinio smėlio ir kalkakmenio keitimas).



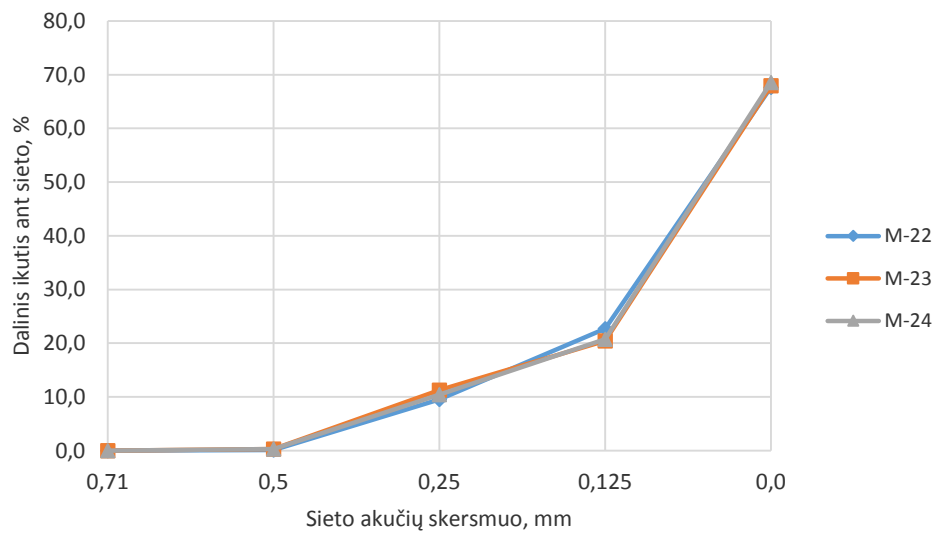
3.15 pav. M-13, M-14, M-15 mišinių granulometrija (malto stiklo miltelių ir kalkakmenio keitimas).



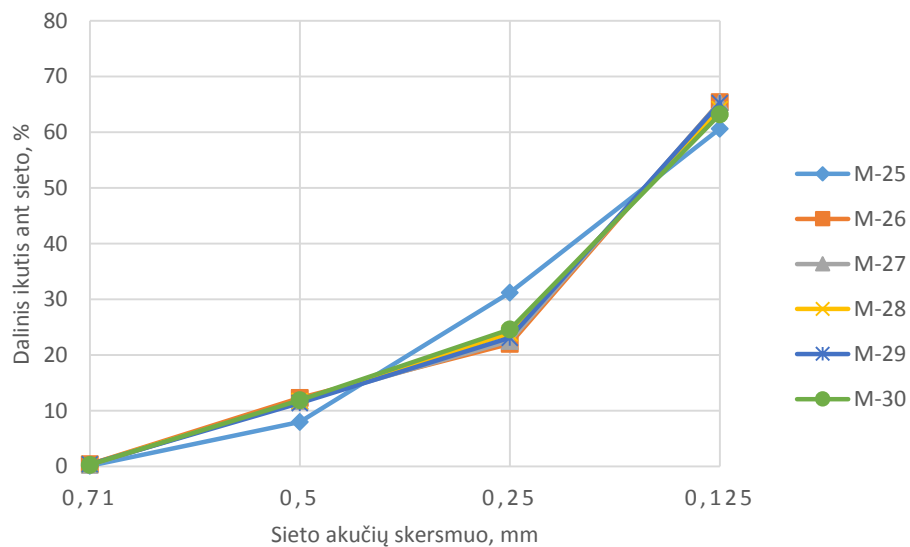
3.16 pav. M-16, M-17, M-18 mišinių granulometrija (granitmilčių ir kalkakmenio keitimas).



3.17 pav. M-19, M-20, M-21 mišinių granulometrija (ceolito miltelių ir kalkakmenio keitimas).



3.18 pav. M-22, M-23, M-24 mišinių granulometrija (dolomito miltų ir kalkakmenio keitimas).



3.19 pav. M-25, M-26, M-27, M-28, M-29, M-30 mišinių granulometrija (dolomito miltų ir kalkakmenio keitimas).

Iš atliktų granulometrijų, pavaizduotų 3.12-3.19 pav. pastebima, kad tos pačios medžiagos procentiniai nuokrypiai yra labai nežymūs. Dažniausi nukrypimai pastebimi ant 0,125 mm akučių diametro sieto. Tai parodo, kad keičiant dvi medžiagas procentiniais kiekiais, jų granulometrijos yra labai panašios. Savaimė išsilyginančiuose grindų mišiniuose granulometrija yra pagrindinis faktorius, svarbu, kad stambių ir smulkių dalelių kiekis mišinyje būtų pasiskirstęs tolygiai.

Vienas iš pagrindinių paruošto mišinio parametrų yra sklidumas. Atlikus analizę 3.13 lentelėje matoma, kad geriausiomis sklidumo savybėmis pasižymi malto stiklo milteliai. Tam įtakos turi ir beveik identiška medžiagų granulometrija (lyginant su kalkakmeniu), ir tai, kad šių miltelių dalelės galimai yra apvalesnės nei kitų bandytų medžiagų. Taipogi šiam faktui įtakos teikia ir malto stiklo miltelių neįgeriamumas. Pats prasčiausias rezultatas buvo gautas kalkakmenį keičiant ceolitu. Su nurodytu vandens kiekiu kai kuriais atvejais sklidumo pamatuoti buvo neįmanoma. Tai parodo, kad ceolito dalelės yra stipriai į save įgeriančios, ne tik kenksmingas daleles, bet ir vandenį.

3.13 lentelė. Mišinių sklidumo palyginimas (kai V/K=0,23)

Medžiaga	Kalkakmenis	Kv. smėlis	Maltas kv. smėlis	Malto stiklo milteliai	Granitmilčiai	Ceolitas	Dolomitas
Keista iš	Kv. smėlis	Smėlis	Kalkakmenis	Kalkakmenis	Kalkakmenis	Kalkakmenis	Kalkakmenis
%	Sklidumas, cm						
<b>10</b>	13,6	13,4	14,2	14,5	14,0	11,7	14,3
<b>20</b>	13,5	13,6	14,5	14,9	14,2	-	14,2
<b>30</b>	13,1	13,8	14,6	14,7	13,4	-	13,5

3.14 lentelėje galima pamatyti, kaip keitėsi V/K santykis norint gauti etaloninio sklidumo mišinį, kai kuriais atvejais šis santykis buvo žymiai didesnis arba mažesnis nei etaloninis. Taip pat lentelėje suvesti apskaičiuoti bandinių tūriai ir stiprių vidurkiai. Pastariesiems išmatuoti kiekvienam mišiniui buvo formuojamos trys prizmės, kurių stipriai buvo matuojami tik po 28 parų. Iš gautų trijų rezultatų buvo vedamas vidurkis. Bandinių tūriai buvo sekami visas 28 paras ir matuojami po 2, 7 ir 28 parų.

3.15 lentelėje suvesti lenkiamųjų stiprių vidurkiai, o 3.16 lentelėje – gniuždomųjų stiprių vidurkiai. Didžiausius vidutinius lenkiamuosius stiprius parodė kvarcinio smėlio keitimas į kalkakmenį ir kalkakmenio keitimas į dolomitą. Didžiausius vidutinius gniuždomuosius stiprius davė kalkakmenio keitimas į maltą kvarcinį smėlį ir kalkakmenio keitimas į dolomitą.

Pagal šiuos gautus rezultatus tolimesnėje tyrimų eigoje nuspręsta nagrinėti kalkakmenio keitimą į antrinę žaliavą, dolomitą. Kadangi kalkakmenis mišinyje sudaro apie 30%, tai bus parinkti 6 atskiri kalkakmenio ir dolomito santykiai mišinyje, nuo vienos medžiagos iki kitos

visiško procentinės dalies sudarymo mišinyje. Tarpusavyje šių mišinių stipriai palyginti 3.17 lentelėje su etaloniniu mišiniu be dolomito. Tiek lyginant lenkiamuosius, tiek gniuždomuosius stiprius pastebėta, kad rezultatai yra trūkios sekos (kreivės). Didinant dolomito kiekį mišinyje stipriai netolygiai didėja ir mažėja. Tačiau geriausių rezultatų davė mišinys, kuriame visą 30% (kalkakmenio dalis nuo mišinio masės) sudaro dolomitas. Gavus tokius rezultatus galima teigti, kad dolomitas didina lenkiamąjį ir gniuždomąjį stiprį, priešingai, nei kalkakmenis. Tai po gi su dolomitu gaunamas didesnis sklidumas, dėl ko galima sumažinti vandens kiekį mišinyje, tai reiškia, kad dolomitas yra mažiau įgerianti medžiaga nei kalkakmenis. Šių 6 bandinių tankis kito nedaug, tačiau pastebėta, kad didžiausias jis buvo su M-27 mišinio bandiniais, kur malto dolomito ir kalkakmenio dalys sudėtyje yra lygios.

3.14 lentelė. Gauti mišinių bandymų duomenys

Pavadinimas	Keitimas/ Variacija	Vandens / Kieto santykis	Sklidumas su V/K-0,23, cm	Sklidumas, cm	Prizmių tankis, kg/m <sup>3</sup>		Prizmių tankis, kg/m <sup>3</sup>		Prizmių tankis, kg/m <sup>3</sup>		Lenkiamasis stipris, N/mm <sup>2</sup>	Gniuždomasis stipris, N/mm <sup>2</sup>
					Po 2 parų	Po 7 parų	Po 28 parų					
M-1	Kv. Smėlis (71%) / kalkakmenis (0%)	0,275	12,2	14,0	1	2010	1	2000	1	1790	3,10	15,14
					2	2030	2	2000	2	1800		
					3	2050	3	2010	3	1820		
M-2	Kv. Smėlis (61%) / kalkakmenis (10%)	0,245	13,6	14,0	1	2010	1	1980	1	1830	3,68	19,32
					2	2000	2	1980	2	1830		
					3	1990	3	1980	3	1800		
M-3	Kv. Smėlis(51%) / kalkakmenis(20%)	0,24	13,5	14,1	1	1920	1	1920	1	1770	4,41	21,61
					2	1930	2	1930	2	1760		
					3	1910	3	1910	3	1760		
M-4	Kv. Smėlis(41%) / kalkakmenis(30%)	0,24	13,1	14,0	1	1920	1	1910	1	1820	4,74	22,85
					2	1910	2	1890	2	1820		
					3	1890	3	1880	3	1800		
M-5	Kv. Smėlis(31%) / kalkakmenis(40%)	0,25	12,8	14,1	1	1920	1	1920	1	1750	4,56	24,27
					2	1910	2	1910	2	1750		
					3	1900	3	1900	3	1740		
M-6	Papr. Smėlis(10%) / Kv. Smėlis (31%)	0,24	13,8	14,3	1	1930	1	1920	1	1810	4,74	25,76
					2	1920	2	1910	2	1810		
					3	1910	3	1900	3	1810		
M-7	Papr. Smėlis(20%) / Kv. Smėlis (21%)	0,24	13,6	14,3	1	1940	1	1920	1	1780	3,99	24,69
					2	1930	2	1920	2	1790		
					3	1910	3	1910	3	1800		
M-8	Papr. Smėlis(30%) / Kv. Smėlis (11%)	0,245	13,4	14,2	1	1920	1	1790	1	1730	1,82	17,76
					2	1920	2	1790	2	1730		
					3	1920	3	1790	3	1730		



<b>M-9</b>	Papr. Smēlis(41%) / Kv. Smēlis (0%)	0,255	12,8	14,8	1	1920	1	1910	1	1720	1,91	14,19
					2	1880	2	1880	2	1680		
					3	1880	3	1900	3	1710		
<b>M-10</b>	Maltas kv. smēlis(10%)/ Kalkakmenis (20%)	0,23	14,2	14,2	1	1910	1	1900	1	1790	3,22	22,37
					2	1900	2	1890	2	1790		
					3	1900	3	1890	3	1780		
<b>M-11</b>	Maltas kv. smēlis(20%)/ Kalkakmenis (10%)	0,215	14,5	14,2	1	1950	1	1950	1	1880	3,97	29,90
					2	1930	2	1910	2	1850		
					3	1940	3	1920	3	1850		
<b>M-12</b>	Maltas kv. smēlis(30%) / Kalkakmenis (0%)	0,22	14,6	14,1	1	1930	1	1920	1	1800	3,72	25,12
					2	1950	2	1950	2	1820		
					3	1960	3	1930	3	1810		
<b>M-13</b>	Maltas stiklas (10%)/ Kalkakmenis(20%)	0,22	14,5	14,1	1	1900	1	1900	1	1800	3,44	20,75
					2	1920	2	1890	2	1790		
					3	1890	3	1890	3	1780		
<b>M-14</b>	Maltas stiklas (20%)/ Kalkakmenis(10%)	0,215	14,9	13,9	1	1980	1	1970	1	1780	4,48	19,16
					2	1990	2	1990	2	1780		
					3	1980	3	1970	3	1770		
<b>M-15</b>	Maltas stiklas (30%)/ Kalkakmenis (0%)	0,21	14,7	14,0	1	2010	1	2010	1	1850	4,48	27,37
					2	1960	2	1950	2	1830		
					3	1990	3	1960	3	1820		
<b>M-16</b>	Granitmilčiai (10%)/ Kalkakmenis (20%)	0,22	14	13,8	1	1920	1	1900	1	1810	2,99	18,58
					2	1930	2	1930	2	1830		
					3	1920	3	1910	3	1800		
<b>M-17</b>	Granitmilčiai (20%)/ Kalkakmenis (10%)	0,23	14,2	14,2	1	1890	1	1900	1	1830	4,53	26,40
					2	1900	2	1920	2	1830		
					3	1900	3	1900	3	1820		
<b>M-18</b>	Granitmilčiai (30%)/ Kalkakmenis (0%)	0,245	13,4	14,3	1	1890	1	1880	1	1800	4,10	22,38
					2	1890	2	1890	2	1800		
					3	1890	3	1890	3	1790		
<b>M-19</b>	Ceolitas (10%)/ Kalkakmenis(20%)	0,26	11,7	14,0	1	1880	1	1870	1	1700	2,56	13,47
					2	1850	2	1850	2	1690		
					3	1860	3	1860	3	1720		
<b>M-20</b>	Ceolitas (20%)/ Kalkakmenis(10%)	0,31	-	14,0	1	1800	1	1800	1	1600	2,15	9,17
					2	1800	2	1800	2	1600		
					3	1770	3	1770	3	1580		
<b>M-21</b>	Ceolitas (30%)/ Kalkakmenis(0%)	0,4	-	14,0	1	1760	1	1740	1	1470	1,00	3,74
					2	1750	2	1750	2	1470		
					3	1770	3	1760	3	1460		
<b>M-22</b>	Dolomitas (10%)/ Kalkakmenis(20%)	0,225	14,3	14,2	1	1960	1	1960	1	1870	4,49	25,05
					2	1970	2	1960	2	1880		
					3	1950	3	1950	3	1890		
<b>M-23</b>	Dolomitas (20%)/ Kalkakmenis(10%)	0,23	14,2	14,2	1	1980	1	1980	1	1850	3,10	21,70
					2	1990	2	1970	2	1850		
					3	1990	3	1970	3	1850		

<b>M-24</b>	Dolomitas (30%)/ Kalkakmenis(0%)	0,235	13,5	14,0	1	1960	1	1960	1	1880	4,14	29,30
					2	1990	2	1960	2	1880		
					3	1970	3	1990	3	1900		
<b>M-25</b>	Dolomitas(16,7%)/ Kalkakmenis(83,3 %)	0,22	14,7	14,5	1	1920	1	1900	1	1840	2,90	26,65
					2	1930	2	1910	2	1850		
					3	1940	3	1900	3	1860		
<b>M-26</b>	Dolomitas(33,3%)/ Kalkakmenis(66,7 %)	0,225	14,6	14,5	1	1920	1	1860	1	1830	2,88	26,84
					2	1930	2	1860	2	1840		
					3	1910	3	1870	3	1830		
<b>M-27</b>	Dolomitas (50%)/ Kalkakmenis (50%)	0,22	14,7	14,5	1	1930	1	1880	1	1850	3,03	27,03
					2	1960	2	1930	2	1870		
					3	1960	3	1930	3	1880		
<b>M-28</b>	Dolomitas(66,7%)/ Kalkakmenis(33,3 %)	0,22	14,7	14,5	1	1940	1	1920	1	1850	2,92	26,85
					2	1920	2	1890	2	1830		
					3	1910	3	1890	3	1830		
<b>M-29</b>	Dolomitas(83,3%)/ Kalkakmenis(16,7 %)	0,22	14,7	14,5	1	1940	1	1910	1	1860	3,05	26,66
					2	1930	2	1900	2	1850		
					3	1920	3	1880	3	1840		
<b>M-30</b>	Dolomitas(100%)/ Kalkakmenis (0%)	0,215	14,8	14,5	1	1940	1	1910	1	1870	3,06	27,10
					2	1920	2	1880	2	1840		
					3	1920	3	1920	3	1840		

3.15 lentelė. Prizmių lenkiamojo stiprio palyginimas

<b>Medžia- ga</b>	<b>Kalkak- menis</b>	<b>Paprastas smėlis</b>	<b>Maltas kv. smėlis</b>	<b>Malto stiklo milteliai</b>	<b>Granit- milčiai</b>	<b>Ceolitas</b>	<b>Dolomitas</b>
<b>Keistas iš</b>	<b>Kv. smėlis</b>	<b>Kv. smėlis</b>	<b>Kalkak- menis</b>	<b>Kalkak- menis</b>	<b>Kalkak- menis</b>	<b>Kalk- menis</b>	<b>Kalkak- menis</b>
<b>%</b>	<b>Lenkiamasis stipris, N/mm<sup>2</sup></b>						
<b>10</b>	3,68	4,74	3,22	3,44	2,99	2,56	4,49
<b>20</b>	4,41	3,99	3,97	4,48	4,53	2,15	3,10
<b>30</b>	4,74	1,82	3,72	4,48	4,10	1,00	4,14
<b>Vidurkis</b>	4,27	3,51	3,70	4,13	3,86	1,90	3,90

Be prieš tai išvardintų rezultatų apžvalgos iš 3.15 lentelės duomenų matoma, kad geriausiu rezultatu pagal lenkiamąjį stiprį pasižymi kelios medžiagos. Keičiant tik 10 % medžiagos geriausius rezultatus parodė paprastas smėlis. Pakeitus 20 % medžiagos geriausius rezultatus davė granitmilčiai. Remiantis tuo galima teigti prieštarigus argumentus Indijos mokslininkams, kurie geriausius rezultatus gavo naudodami tik 10 % granitmilčių. Nagrinėjamą užpildą pakeitus 30% geriausius rezultatus parodė kvarcinio smėlio keitimas į

kalkakmenį. Nors didesnę įtaką lenkimui turi polimero panaudojimas mišinyje, tačiau galima teigti, kad užpildas taip pat turi tam įtakos.

3.16 lentelė. Prizmių gniuždomojo stiprio palyginimas

Medžiaga	Kalkakmenis	Paprastas smėlis	Maltas kv. smėlis	Malto stiklo milteliai	Granitmilčiai	Ceolitas	Dolomitas
Keistas iš	Kv. smėlis	Kv. smėlis	Kalkakmenis	Kalkakmenis	Kalkakmenis	Kalkakmenis	Kalkakmenis
%	Gniuždomasis stipris, N/mm <sup>2</sup>						
10	19,32	17,76	22,37	20,75	18,58	13,47	25,05
20	21,61	24,69	29,90	19,16	26,40	9,17	21,70
30	22,85	25,76	25,12	27,37	22,38	3,74	29,30
Vidurkis	21,26	22,73	25,79	22,42	22,45	8,79	25,35

Lyginant gniuždomojo stiprio rezultatus, įvedus 10 % kitos medžiagos geriausią rezultatą davė dolomito milteliai, M-30. Šis mišinys parodė ir didžiausią stiprį lenkiant. Mišinyje esant 20 % bandomos medžiagos, geriausią rezultatą davė maltas kvarcinis smėlis. Su čia medžiaga gautas gniuždomasis stipris yra didžiausias iš visų atliktų bandymų. Įvedus 30 % medžiagos geriausią rezultatą ir vėl davė dolomito milteliai. Lyginant lenkiamojo ir gniuždomojo stiprių rezultatus galima teigti, kad geriausias iš visų bandytų mišinių yra M-22, kur dolomito milteliai sudaro 10% viso mišinio masės.

3.17 lentelė. Prizmių stiprio palyginimas kalkakmenį keičiant į dolomitą

Pavadinimas	M-4	M-25	M-26	M-27	M-28	M-29	M-30
Dolomito keitimas %	0	16,7	33,3	50	66,7	83,3	100
<b>Stipris, N/mm<sup>2</sup>:</b>							
Lenkiamasis	4,74	2,90	2,88	3,03	2,92	3,03	3,06
Gniuždomasis	22,85	26,65	26,84	27,03	26,85	26,66	27,10

Lyginant M-4 ir geriausio iš M-25 – M-30 mišinių gautus stipruminius parametrus pastebėta, kad didesnį lenkiamąjį stiprį turi M-4 mišinys, tačiau didesnį gniuždomąjį stiprį turi M-30 mišinys, kuriame kalkakmenis (užpildas 2) 100% yra pakeičiamas į maltą dolomitą. Dėl to galima daryti išvadą, kad su didesniu V/K santykiu (M-4) mišinys duoda mažesnes gniuždomojo stiprio reikšmes, tačiau jei V/K santykis yra mažesnis stipris aiškiai padidėja (M-30). Tai taip pat įtakos turi ir darbinėms mišinio savybėms.










Atsižvelgus į daugelį darytų bandymų reikia paminėti tai, kad pagrindinės etaloninės stiprių reikšmės vis dėl to nėra išpildytos. Nėra pasiekta F5 lenkimo stiprio klasė. Gavus reikiamą C25 gniuždomo stiprio klasę nėra gaunami kiti reikalavimai, tokie kaip lenkiamojo stiprio klasė ar darbinės savybės (skiedinio nesisluoksniavimas).


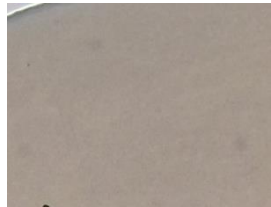


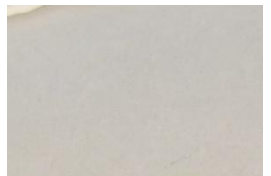


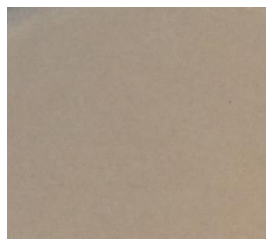


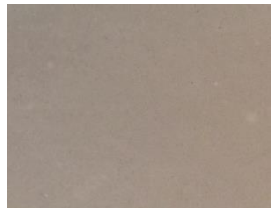
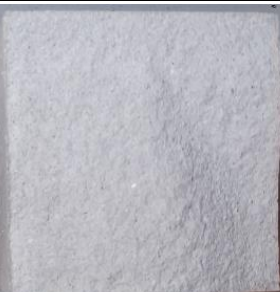
Atliekant mišinių maišymo ir bandymų atlikimą buvo atliekamas vizualinis vertinimas, kurio gauti rezultatai suvesti 3.18 lentelėje. Toliau yra pateikiami vizualinio vertinimo kriterijai:





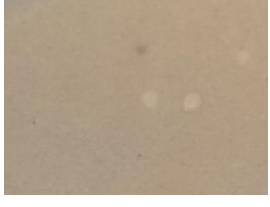
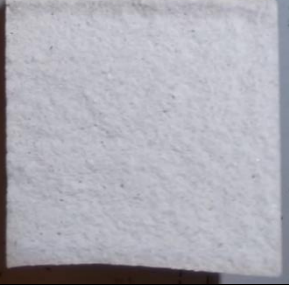

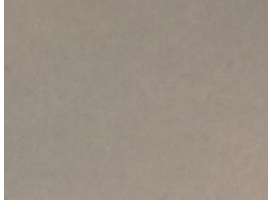


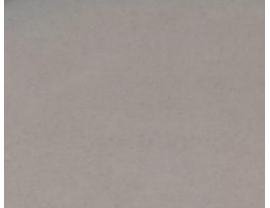
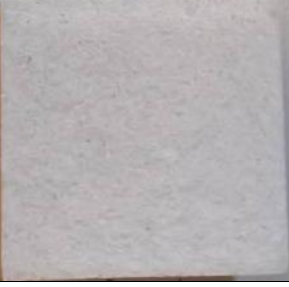
- išsisluoksniavimas išpylus šviežią mišinį;
- sukietėjusio mišinio paviršiaus (ne)lygumas;
- sukietėjusio mišinio paviršiaus kraterių buvimas;
- išsisluoksniavimas perskėlus prizmę.


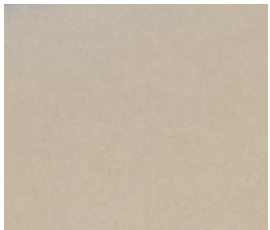


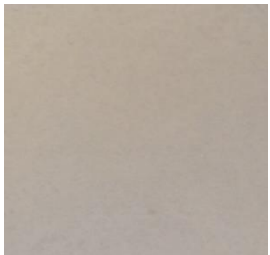




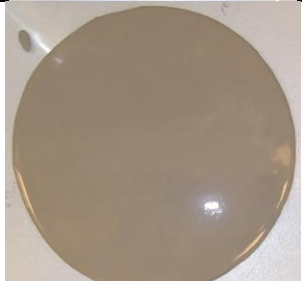
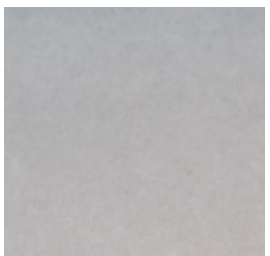

Šioje lentelėje taip pat pateiktos ir nuotraukos kaip atrodė ką tik sumaišytas mišinio skiedinys matuojant jo sklidumą, sukietėjusio paviršiaus vaizdas išpylus šviežią mišinį didesniame plote ir prizmės išsisluoksniavimas perlaužus ją po 28 parų.

3.18 lentelė. Vizualinis vertinimas




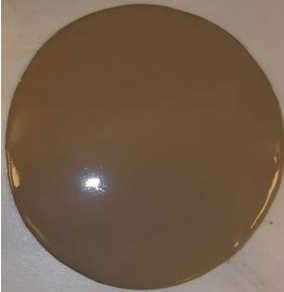


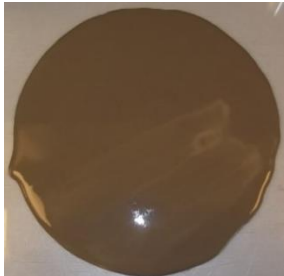



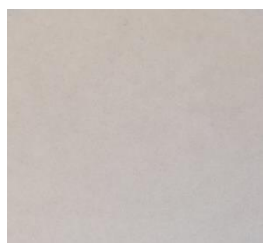

Pavadinimas	Šviežio skiedinio išsiliuksniavimas*	PO 28 PARŲ			Šviežio skiedinio išsiliuksniavimas su reikiamu V/K santykiu	Sukietėjęs išlieto mišinio paviršius	Perlaužtos prizmės išsiliuksniavimas po 28 parų	Pastabos
		Paviršius <i>Lygus / nelygus</i>	Krateriai <i>Yra/nėra</i>	Išsiliuksniavimas perlaužus prizmę				
M-1	Yra	Lygus	Nėra	Viršuje 2,3 mm (baltas)				Iškarto išskiria vandenį, didelė sedimentacija
M-2	Yra	Nelygus	Nėra	Viršuje 1 mm (baltas)				Iškarto išskiria vandenį, didelė sedimentacija
M-3	Yra	Nelygus	Yra	Apačioje 1 mm (gelsvas)				Iškarto išskiria vandenį, didelė sedimentacija




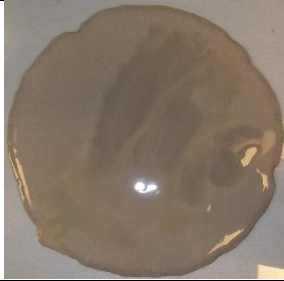
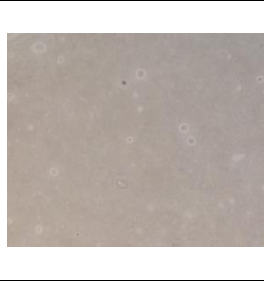







<b>M-4</b>	Ne	Neltgus	Yra	Apačioje 1 mm (baltas)				Išskiria vandenį
<b>M-5</b>	Taip	Lygus	Nėra	Apačioje 1 mm (baltas)				Labai išskiria vandenį
<b>M-6</b>	Ne	Lygus	Yra	Apačioje 3 mm (gelsvas)				Šviežiame mišinyje kyla labai daug oro burbuliukų
<b>M-7</b>	Ne	Nelygus	Yra	Apačioje 1 mm (gelsvas)				Yra polinkis išskirti į paviršių vandenį

<b>M-8</b>	Ne	Lygus	Yra	Apačioje 1,2 mm (gelsvas)				Yra polinkis išskirti į paviršių vandenį, išskiria į paviršių oro burbulus
<b>M-9</b>	Taip	Nelygus	Yra	Viršuje 3 mm, apačioje 1 mm (gelsvas)				Išskiria į paviršių vandenį
<b>M-10</b>	Ne	Nelygus	Yra	Viršuje 6 mm (šviesiai pilkas), apačioje 1 mm (gelsvas)				Etaloninis V/K santykis
<b>M-11</b>	Ne	Lygus	Yra	Viršuje 4,5 mm (gelsvas), apačioje 0,5 (gelsvas)				Geras mišinys

<b>M-12</b>	Taip	Lygus	Yra	Apačioje 1 mm (baltas)				Išskiria į paviršių vandenį
<b>M-13</b>	Ne	Nelygus	Yra	Viršuje 1 mm (baltas)				Geras mišinys
<b>M-14</b>	Taip	Nelygus	Yra	Viršuje 1 mm (gelsvas)				Išskiria į paviršių vandenį
<b>M-15</b>	Taip	Nelygus	Yra	Viršuje 7 mm (baltas)				Lėtai reaguoja su vandeniu, išskiria oro burbulus



<b>M-16</b>	Ne	Lygus	Yra	Viršuje 3 mm (gelsvas), apačioje 3 mm (šviesiai pilkas)				Plastiškas, yra polinkis išskirti į paviršių vandenį
<b>M-17</b>	Ne	Nelygus	Yra	Viršuje mm (baltas), šviesios dėmės				Yra polinkis išskirti į paviršių vandenį
<b>M-18</b>	Taip	Nelygus	Yra	Viršuje 2,2 mm (šviesus-tamsus)				Išskiria į paviršių vandenį
<b>M-19</b>	Taip	Lygus (tepus)	Yra	Nėra				Išskiria į paviršių vandenį

M-20	Taip	Lygus (tepus)	Yra	Nėra				Sunkiai juda, didelis V/K santykis, išskiria į paviršių vandenį
M-21	Taip	Lygus (tepus)	Yra	Nėra				Sunkiai juda, didelis V/K santykis, išskiria į paviršių vandenį
M-22	Ne	Lygus	Yra	Viršuje 7,8 mm (baltas), apačioje 1,5 mm (gelsvas)				Gerai sklinda, maišosi
M-23	Ne	Lygus	Yra	Apačioje 1 mm (gelsvas), viršuje atrodo drėgnas, bet išdžiūsta				Yra polinkis išskirti į paviršių vandenį

<b>M-24</b>	Ne	Lygus	Yra	Apačioje 1 mm (gelsvas), viršuje atrodo drėgnas, bet išdžiūsta				Yra polinkis išskirti į paviršių vandenį
-------------	----	-------	-----	--	---	---	---	--

\*- šviežio skiedinio išsisluoksniavimas vertinamas stebint šviežiai sumaišytą ir išpiltą ant stiklo skiedinį, matuojant sklidumą, jo išvaizdos vertinimas praėjus 5 minutėms po išpylimo. Perbraukus paviršių mentele tampa ryškiau pastebima, arba ne, vandens išsiskyrimas, kuris parodo, kad mišinys yra išsisluoksniavęs ar linkęs išskirti vandenį.

Kiti bandiniai, t.y. M-25 – M-30 į lentelę nėra įtraukti, nes jų vizualinis vertinimas yra labai panašus į M-22 – M-24 mišinius. M-25 bandinio vaizdas perlaužus prizmę matomas 3.20 pav. lygiai taip pat atrodo ir kiti bandiniai.



3.20 pav. M-25 bandinio skersinis pjūvis po 28 parų.

Atliekant vizualinį vertinimą pirmiausias dėmesys yra skiriamas sklidumo bandymo įvertinimui, po kurio tampa aišku, ko galima tikėtis iš mišinio. Kai kuriuose mišiniuose apibūdinta ir pavaizduota sedimentacija (išsisluoksniavimas) tik dar kartą patvirtina gautus stipruminius rezultatus. Kad vykstant sedimentacijai, skirtingo dydžio mišinio dalelių atsiskyrimui, gautas bandinio stipris bus mažesnis, nei to, kuris nesisluoksniavo.

Po pagrindinių atliktų bandymų su nagrinėtais M-1 – M-24 mišiniais susiformavo išvada, kad toliau yra tikslinga nagrinėti savaime išsilyginančius grindų mišinius su dolomitu. Tokie bandymai buvo atlikti vėlesniuose tyrimuose, o gauti rezultatai taip pat jau paminėti prieš tai esančiose lentelėse. Tačiau be visų išvardintų pagrindinių parametrų nusprendžiau išmatuoti M-25 – M-30 mišinių deformacijas ir atplėšimos stiprį (adheziją).

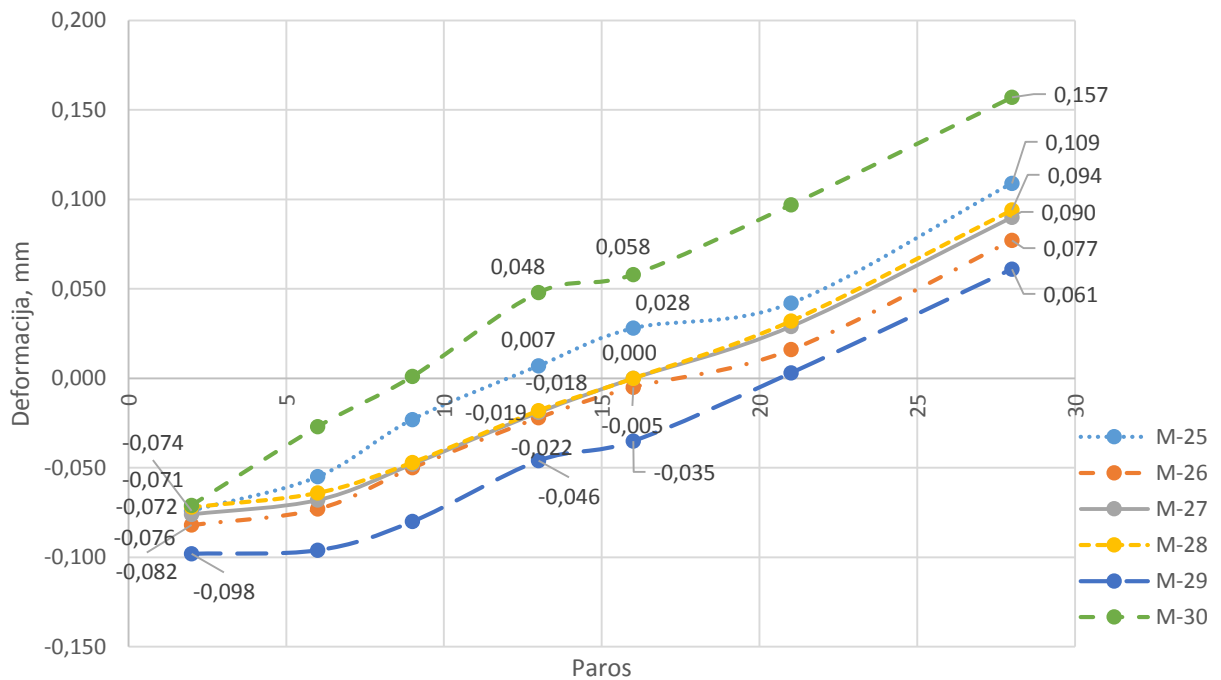
Deformacijų matavimams pagal EN 13892-1 standartą buvo suformuotos prizmės 4 cm × 4 cm × 16 cm. Jos buvo formuojamos specialiose formose, kurių galuose buvo įstatomi metaliniai laikikliai, jų pagalba buvo matuojamos deformacijos. Deformacijų matavimo prietaisas pavaizduotas 2.6 pav.. Jame matoma, kad prie specialaus stovo pritvirtintas mikrometras, vertikaliai įstačius prizmę, parodė deformacijos dydį, kuriuos sekant 28 paras ir yra gautas 3.22 paveiksle pateiktas grafikas.

Aprašyti matavimai prasidėjo po paros kietėjimo, kai buvo pamatuota pirmoji deformacija, kuri tapo atskaitine. Po 2 parų pamatavusi sužinojau pradinę deformaciją, kuri grafike yra pati pirmoji. Taip matuodama prizmes 28 paras gavau paskutinę vertę pavaizduotą žemiau pateiktame grafike.

Pradinius ir galinius deformacijų duomenis suvedus į lentelę apskaičiavau bendrą prizmės deformaciją per 28 paras ir gavau, kad didžiausią susitraukimą davė M-30 mišinys. Mažiausiai susitraukė M-26 ir M-29 mišiniai. Tačiau remiantis LST EN 13892-1 standartu, bandinių deformacija neviršijo leistinos  $\pm 0,25\%$  ribos (16 cm ilgio maksimalus pokytis 0,04 cm, t.y. 0,4 mm).

3.19 lentelė. Deformacijų reikšmės

Pavadinimas	Deformacija, mm		
	Pradinė	Galinė	Skirtumas
<b>M-25</b>	-0,074	0,109	0,183
<b>M-26</b>	-0,082	0,077	0,159
<b>M-27</b>	-0,076	0,09	0,166
<b>M-28</b>	-0,072	0,094	0,166
<b>M-29</b>	-0,098	0,061	0,159
<b>M-30</b>	-0,071	0,157	0,228



3.21 pav. Deformacijų grafikas.

Iš grafiko taip pat galima matyti, kad didžiausias deformacijas davė M-30 mišinys, su malto dolomitu, be kalkakmenio. Mažiausias deformacijas parodė M-29 mišinio prizmė, su 25% malto dolomito ir 5% kalkakmenio. Bendrai apžvelgus deformacijų kreivę gauta trūki, todėl galima daryti išvadą tik pagal mažiausias ir didžiausias reikšmes davusias kreives. Kadangi M-30 ir M-29 mišinių sudėtis skiriasi tik 5% naudoto užpildo sunku spręsti ar gauti rezultatai yra gauti tikri ar tiesiog atsitiktiniai.

Manoma, kad taip yra dėl to, kad mišinys labai reaguoja į aplinkos pokyčius, sudedamųjų medžiagų granulometriją ir cheminę sudėtį. Kitaip tariant tai 'jautrus' mišinys, kuris iki sukietėjimo po 28 parų turi būti kruopščiai prižiūrimas.

Dar vienas bandymas buvo atliktas paskutiniojo projekto etapo metu, tai yra sukibimo stipris atplėšimui nuo pagrindo, kitaip dar vadinama adhezija. Šis stipris buvo matuojamas pagal LTS EN 13892-8 standartą, kuriame yra nurodyti visi atlikimo aspektai. Bandymą atlikau su M-25 – M-30 mišiniais.

Bandymo eiga prasidėjo nuo to, kad ant paruoštos betoninės plokštės, pagal EN 1766 standartą, buvo uždedama apvali  $50 \pm 0,5$  mm skersmens diametro forma į kurią buvo pilamas savaime išsilyginantis mišinys. Iš viso vieno mišinio buvo išliejami 4 tokie bandiniai. Remiantis įvairių gamintojų rekomendacijomis, bandinio storis buvo  $2 \pm 0,5$  mm storio. Tai yra dažniausiai naudojamas mažiausias sluoksnis tokios paskirties mišiniui. Po 28 parų ant bandinio dvikomponenčiais epoksidiniais klijais buvo užklijuojamos metalinės  $50 \pm 0,5$  mm skersmens

diametro plokštelės, kurios 2.4 pav. pavaizduotu atplėšimo įrenginiu buvo atplėštos nuo paviršiaus. Gauti rezultatai ir jų vidurkiaai surašyti 3.20 lentelėje.

3.20 lentelė. Mišinių adhezija nuo betono

Pavadinimas	Gauti rezultatai				Vidurkiaai		
					per klijus	per mišinį	nuo pagrindo
<b>M-25</b>	1,275	1,225	<b>1,044</b>	<b>0,569</b>	<b>0,81</b>	1,25	-
<b>M-26</b>	1,213	<b>0,694</b>	1,319	<b>0,119</b>	<b>0,41</b>	1,27	-
<b>M-27</b>	0,644	<b>0,275</b>	<b>0,794</b>	0,613	<b>0,53</b>	0,63	-
<b>M-28</b>	0,756	<b>1,363</b>	1,088	<b>0,906</b>	<b>1,13</b>	-	0,92
<b>M-29</b>	1,113	0,681	1,188	-	-	0,93	1,11
<b>M-30</b>	<b>1,213</b>	0,706	0,975	0,638	<b>1,21</b>	0,77	-

Iš lentelės duomenų galime matyti, kad didžiausią bendrą atplėšimo stiprį turi M-26 mišinys, kuris atplyšo per mišinį ir atitinka B1,0 klasę pagal sukibimo stiprį. Didžiausią stiprį atplėšiant per klijų sluoksnį davė M-30 mišinys, klasė B1,0, o nuo pagrindo – M-29 mišinys, taipogi B1,0 klasė. Prasčiausius rezultatus parodė M-27 mišinys. Iš 3.22 – 3.24 paveikslėlių galima matyti, kaip realiai po atplėšimo bandymo atrodė mišinys ir metalinė plokštelė.



3.22 pav. Mišinio atplėšimas per klijus.



3.23 pav. Mišinio atplėšimas per mišinio sluoksnį.



3.24 pav. Mišinio atplėšimas nuo pagrindo.

## IŠVADOS

1. Pagal granulimetrinės sudėties grafikus gauta, kad identiškiausias keitimas vyktų tarp kalkakmenio ir granitmilčių. Taip yra todėl, kad šių užpildų dalelių forma yra labai panaši.
2. Vertinant gautus didžiausius sklidumus, su pastoviu V/K santykiu, didžiausią jų davė M-14 mišinys, kuriame 20 % kalkakmenio pakeitė maltas stiklas. Mažiausią sklidumą parodė visi trys mišiniai su ceolitine atlieka, kurios mišinyje buvo 10, 20 ir 30 %. Taip yra todėl, kad maltas stiklas yra visiškai neįgerianti medžiaga, o ceolitinė atlieka priešingai - labai įgerianti.
3. Lyginant lenkiamojo stiprio rezultatus su antrinėmis žaliavomis pastebėta, kad didžiausią iš jų davė mišiniai su maltu stiklu, tačiau užpildo keitimui ši alternatyva atmesta dėl dvigubai didesnės nei kalkakmenis kainos.
4. Atlikus eksperimentus su skirtingomis antrinėmis žaliavomis t.y. maltu stiklu, granitmilčiais, ceolitu ir maltu dolomitu, gauta, kad geriausius gniuždomojo stiprio rezultatus davė savaimė išsilyginantis mišinys, kurio sudėtyje kalkakmenį pakeitė maltas dolomitas.
5. Be gautų didesnių stiprio rezultatų kalkakmenį keisti į maltą dolomitą naudinga, nes tai apie 5-10% pigesnė alternatyva.
6. Mišinyje naudojant maltą dolomitą bus mažinamas gamybinių atliekų kiekis dolomito gaminių gamyboje. Bus efektyviai panaudojama dolomitinė antrinė žaliava.
7. Bendrai apėmus geriausius lenkiamojo stiprio rezultatus parodė M-4 (etaloninis, su 30% kalkakmenio) ir M-6 (su 10 % paprasto ir 30% kvarcinio smėlio) mišiniai, blogiausiai – M-21 (su 30% ceolito).
8. Bendrus geriausius gniuždomojo stiprio rezultatus parodė M-11 (su 20% malto kvarcinio smėlio) mišinys, blogiausiai – M-21 (su 30% ceolito).

## LITERATŪRA

1. R. Bayer, H. Lutz. Dry Mortar. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Sixth Edition. 2003 Electronic Release. [žiūrėta 2015 04 13]. Prieiga per internetą: <http://www.mbam.org.my/mbam/images/MBJ1QO6%28pdf%29/@DryMortar.pdf>.
2. Istorija - [žiūrėta: 2015 04 04]. Prieiga per internetą. <http://www.ardex.lt/ardex/om-ardex/1949.htm>
3. A. Naujokaitis. Statybinės medžiagos. Sausieji statybiniai mišiniai: mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 2010. 364 p.
4. LST EN 13318. Grindų išlyginamosios medžiagos ir besiulės grindys. Apibrėžtys.
5. LST EN 13813. Grindų išlyginamosios medžiagos ir besiulės grindys. Išlyginamosios medžiagos. Savybės ir reikalavimai.
6. EN 13892-1. Grindų išlyginamųjų medžiagų bandymo metodai. Ėminių ėmimas, bandinių pagaminimas ir laikymas bandymams.
7. EN 13892-2. Grindų išlyginamųjų medžiagų bandymo metodai. Lenkiamojo ir gniuždomojo stiprio nustatymas.
8. EN 13892-3. Grindų išlyginamųjų medžiagų bandymo metodai. Atsparumo dėvėjimuisi nustatymas Böhme metodu.
9. EN 13892-4. Grindų išlyginamųjų medžiagų bandymo metodai. Atsparumo dilumui nustatymas.
10. EN 13892-5. Grindų išlyginamųjų medžiagų bandymo metodai. Išlyginamųjų medžiagų dėvimojo sluoksnio atsparumo dilumui, veikiant rutuliukais nustatymas.
11. EN 13892-6. Grindų išlyginamųjų medžiagų bandymo metodai. Paviršiaus kietumo nustatymas.
12. EN 13892-7. Grindų išlyginamųjų medžiagų bandymo metodai. Išlyginamosios medžiagos, ant kurios uždėta grindų danga, atsparumo dilumui, veikiant ratukais, nustatymas.
13. EN 13892-8. Grindų išlyginamųjų medžiagų bandymo metodai. Sukibimo stiprio nustatymas.
14. LST EN 13454-2+A1:2007. Išlyginamojo grindų sluoksnio rišikliai, kompoziciniai rišikliai ir gamykliniai mišiniai kalcio sulfato pagrindu. 2 dalis. Bandymo metodai.



15. D. Nagrockienė, R. Žurauskienė. Statybinės medžiagos ir jų gaminiai: mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 2007, 183 p.
16. A. Thome. Savaimė išsilyginantys mišiniai. Seminaras. Kaunas, 2012.
17. L. Dirsė. Ceolitų panaudojimo hidrotechninėse cementinėse sistemose tyrimas. Kaunas, 2011.
18. Rania A. Hamza, Salah El-Haggar, Safwan Khedr. Marble and granite waste: characterization and utilization in concrete bricks: International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics, Vol. 1, No. 4, November 2011.
19. Vaitkevičius V., Šerelis E., Lygutaitė R.. Production waste of granite rubble utilisation in ultra high performance concrete: Darnioji architektūra ir statyba, No. 2(3). 2013.
20. LST EN 12706. Klijai. Hidraulinio kietėjimo grindų glaistų ir (arba) išlyginamųjų mišinių bandymo metodai. Sklidumo nustatymas.
21. Informacija - [žiūrėta: 2015 02 20]. <http://akvarcas.lt/produktai>.
22. ASTM C 1583. Standartinis tyrimo metodas. Betono stipris tempiant paviršių ir sukibimo stipris ar betono stipris tempiant remonto ir paviršinių medžiagas tiesioginiu įtempimu.
23. Paveikslėlis – [žiūrėta: 2015 04 23]. <http://www.ratiotec.com/en/cement-testing/compression-bending/17-rt-200-10-1-d-servo>.
24. Paveikslėlis – [žiūrėta: 2015 04 23]. <http://www.novanna.co.uk/abrasion-machine-based-on-b%C3%B6hme>.
25. LST EN 13139:2013. Skiedinio užpildai.
26. Aleknevičius M., Naftos krekinge naudoto katalizatoriaus poveikis ugniai atsparių betonų savybėms. Daktaro disertacija. – Vilnius, 2010.
27. Perruso R. C., AlcoverNeto A., Neumann R., Nascimento V. S. R. Powdered microporous glasses: changing porosity through aging. Ceramica vil. 44 n. 289 Sao Paulo, Sept./Oct. 1998.
28. Barra B., Momm L., Guerrero Y., Bernucci L. Characterizations of granite and limestone powder for use as fillers in bituminous mastics dosage. An. Acad. Brass. Cienc. Vol.86, no.2, Rio de Janeiro, June 2014.
29. Geo Science World, Clay and clay minerals, Vol. 62, No. 6, 2014.
30. Zhe L., Guangcheng L. Youjum X., Effects of recycled rubber particles on mechanical properties of self-levelling mortar. Changsha, 2011.
31. EN 1766. Betoninių konstrukcijų apsauginiai ir remontiniai produktai bei sistemos. Bandymo metodai. Standartiniai bandymo metodai.

32. Le-Bihan T., Georgin J. F., Michel M., Ambroise J., Morestin F.. Measurements and modeling of cement base materials deformation at early age: the case of sulfo-aluminous cement. *Cement and concrete research* Vol. 42, Issue 8, August 2012.
33. Fourdrin E., Guigou C., Chappuis J.. Early age shrinkage of mortars: conception of a new device and detailed analysis of a typical experimental curve. *International RILEM workshop on shrinkage of concrete*, 2000, France.
34. Butkutė K., Vaitkevičius V., Kerševičius V.. Ceolitinio priedo ir aliuminatinio cemento įtaka savaime išsilyginančio grindų skiedinio deformacijoms. *Statyba ir architektūra, jaunųjų mokslininkų konferencijos pranešimų medžiaga*, 2014, Kaunas.
35. Vaitkevičius V., Ivnauskas E., Grinys A., Šerelis E.. Granitinės skaldos gamybos atliekų panaudojimo betonuose tyrimai. 2013.
36. LST EN 12620:2003+A1:2008. *Betono užpildai*. – [žiūrėta: 2015 05 15]. <http://www.lsd.lt/standards/catalog.php?ics=0&pid=629740>.