



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS

Viktoras Šinkariovas

SAVAIME IŠSILYGINANČIŲ BETONO MIŠINIŲ SUDĖTIES
TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Darius Pupeikis

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS
STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA

**SAVAIME IŠSILYGINANČIŲ BETONO MIŠINIŲ SUDĖTIES
TYRIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

Katedros vedėjas

prof. V. Vaitkevičius

Data

Vadovas

doc. dr. D. Pupeikis

Data

Recenzentas

Data

Atliko

STM-4 gr. stud.

Viktoras Šinkariovas

Data

**PARENGTO BAIGIAMOJO DARBO SAVARANKIŠKUMO
PATVIRTINIMAS**

Patvirtinu, kad parengtas magistro baigiamasis darbas

SAVAIME IŠSILYGINANČIŲ BETONO MIŠINIŲ

SUDĖTIES TYRIMAS

(įrašyti pavadinimą)

- atliktas savarankiškai ir nebuvo kaip visuma pateiktas jokiam dėstomajam dalykui atsiskaityti šiame ar ankstesniuose semestruose;
- nebuvo pateiktas atsiskaityti kitame KTU fakultete arba kitoje Lietuvos aukštojoje mokykloje;
- turi visas į baigiamojo darbo literatūros sąrašą įtrauktą informacijos šaltinių nuorodas.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Data

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS

STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA

Magistro baigiamasis darbas

SAVAIME IŠSILYGINANČIŲ BETONO MIŠINIŲ SUDĖTIES TYRIMAS

Viktoras Šinkariovas

Savaime išsilyginantis betono mišinys – statybinė medžiaga leidžianti paspartinti apdailos darbus susijusius su grindimis. Ši plačiai naudojama medžiaga yra vertinama statybvietėse, tačiau visdar pasižymi didele kaina. Varijuojant sudėtinėmis mišinio dalimis galima keisti tam tikras produkto savybes tokias kaip sklidumas, susitraukimo deformacijos ar stiprumas. Sudėtinių dalių keitimu galima taip pat ir sumažinti mišinio savikainą. Darbe sudaromos mišinių sudėtys pakeičiant brangiausią sudėtinę dalį – aluminatinį cementą pigia rišamąja medžiaga – šlakiniu cementu. Sudėtys tikrinamos atliekant sklidumo bei stipruminius bandymus tikrinant ar gaminys nepraranda pagrindinių savaime išsilyginančio mišinio savybių.

Reikšminiai žodžiai: savaime išsilyginantis, aluminatinis cementas, šlakinis cementas, reologija, grindų mišinys.

Master final work

RESEARCH OF SELF-LEVELING CONCRETE COMPOUND COMPOSITION

Viktoras Šinkariovas

Self-leveling concrete compound – building material which allows to speed up finishing work related to the floor. It is widely used in practice but it still remains costly. Varying components of the mixture can change certain properties of the product such as flow characteristics, shrinkage deformation or strength. It is possible to reduce price of final product by changing components of the mixture. In this master final work different configurations of mixtures are being generated by changing the most expensive component aluminate cement to a cheap slag cement. All configurations are tested for flow characteristics, compressive strength, flexural strength evaluating whether the product does not lose the basic self-leveling compounds properties.

Keywords: self-leveling, aluminate cement, slag cement, floor compound

Turinys

Įvadas.....	7
1. Savaimė išsilyginančių mišinių teorinė analizė	8
1.1. Reikalavimai keliama savaimė išsilyginantiems grindų mišiniams.....	9
1.2. Žaliavos naudojamos savaimė išsilyginančių grindų mišinių gamybai	12
1.3. Reologija	12
1.4. Mineraliniai komponentai	15
1.5. Įmaišos	21
1.6. Apibendrinimas	26
2. Savaimė išsilyginančių mišinių sudedamosios dalys bei tyrimų metodikos.	27
2.1. Rišamosios medžiagos	27
2.2. Užpildai	28
2.3. Įmaišos	29
2.4. Tyrimų metodikos	30
3. Savaimė išsilyginančių mišinių sudėčių tyrimų rezultatai ir jų aptarimas.....	34
3.1. Sudėtys	34
3.2. Sklidumo bandymo rezultatai.....	37
3.3. Stiprumo lenkiant bandymo rezultatai	39
3.4. Stiprumo gniuždant bandymo rezultatai	41
3.5. Bandinių rišimosi trukmė	43
3.6. Sukurtų sudėčių kainų palyginimas.....	44
Išvados.....	47
4. Naudota literatūra	48

Ivadas

Šiuolaikinėje statyboje plačiai naudojami įvairaus tipo sausieji mišiniai, dėl greito paruošimo ir lengvo naudojimo juos stengiamasi pritaikyti prie kuo daugiau specifinių statybos procesų. Vienas tokių yra grindų įrengimas, betonuojant grindis vis dažniau yra naudojamas savaime išsilyginantis mišinys. Ši priemonė pagreitina įrengimo procesą, sumažina statytojo kaštus darbuotojams bei broko riziką. Šis pasisekimą gavęs gaminyje yra sudėtingos daugiakomponentės sudėties, kurios keičiama norint mišiniams suteikti pageidaujamų savybių. Mišiniuose naudojamos tiek mineralinės sudėtinės dalys, tiek kompleksiniai modifikatoriai-įmaišos, suteikiančios savaime išsilyginantiems grindų mišiniams labai specifinių savybių. Viena pagrindinių medžiagų savaime išsilyginančiame grindų mišinyje yra aluminatinis cementas. Greitai besirišanti rišamoji medžiaga mišiniui suteikia ne tik stiprumo tačiau ir trumpą rišimosi trukmę leidžiančią per kelias valandas pasiekti tinkamas naudojimui savybes.

Vienas didžiausių trūkumų neleidžiančių dar plačiau įsiskverbti į rinką šiai statybinei medžiagai yra jos kaina. Prieš tai minėtas aluminatinis cementas yra kone brangiausia mišinio sudedamųjų dalių. Ją pakeitus kita rišamąja medžiaga suteikiančia tokias pat ar panašias eksploatacines savybes šiam gaminiui galima žymiai sumažinti kaštus reikiamus žaliavoms įsigyti. Viena pigiausių rišamųjų medžiagų prieinamų Lietuvos rinkoje yra šlakinis cementas, todėl darbe bus bandoma juo pakeisti aluminatinį cementą ir patikrinti galimybes pasiekti tokiu pačius eksploatacinius rodiklius.

Darbo tikslas – ištirti savaime išsilyginančio mišinio rišamosios medžiagos – aluminatinio cemento, pakeitimo galimybę kita rišamąja medžiaga, užtikrinant analogiškas mišinio savybes.

Darbo uždaviniai:

1. Nustatyti savaime išsilyginančio mišinio tipinę sudėtį ir jo komponentų įtaką mišinio savybėms;
2. Suprojektuoti savaime išsilyginančio mišinio sudėtis, pakeičiant aluminatinį cementą kita rišamąja medžiaga – šlakiniu cementu;
3. Nustatyti suprojektuotų mišinių sklidumo, susitraukimo deformacijų ir stiprumines savybes;
4. Išanalizuoti aluminatinio cemento pakeitimo galimybę šlakiniu cementu;
5. Palyginti ištirtų savaime išsilyginančių mišinių finansinę išraišką.

1. Savaime išsilyginančių mišinių teorinė analizė

Savaime išsilyginantys mišiniai, skirti išorės ir vidaus grindims bei nedidelių pagrindo nelygumų baigiamajam išlyginimui ant betono, šildomų grindų ir kitų pagrindų.[1]

Grindų konstrukcijos yra įvairios ir mišinių sudėtys parenkamos atsižvelgiant į įrengtų grindų funkcijas, kurios būna gana įvairios. Grindų konstrukciją galima suskirstyti į atskirus sluoksnius, kuriems ir parenkamos mišinių sudėtys:

- pagrindinis;
- hidroizoliacinis;
- šilumos ir garso izoliacinis;
- gruntinis;
- išlyginamasis;
- uždengiamasis.[1]

Grindų konstrukcija, sluoksnių skaičius jų storis ir reikalavimai kiekvienam sluoksniui priklauso nuo grindų paskirties bei pagrindo, ant kurio bus klojamos. Mišiniai naudojami grindis klojant ant grunto, ant lygaus ir nelygaus paviršiaus perdangų plokščių, įrengiant garso ir šilumos izoliacijas. Mišinių sudėčių parinkimas priklauso nuo eksploatacijos sąlygų (temperatūros, drėgmės, šalčio), apkrovų pobūdžio ir kitų veiksnių. Modifikuoti sausieji mišiniai gali tenkinti visus reikalavimus, keliamus atskiriems grindų dangų sluoksniams.[1]

Tokiais mišiniais labai patogu atnaujinti seną nusidėvėjusį betoną tokiose vietose kaip daugiaaukštės automobilių stovėjimo aikštelės, sandėlių grindys ir t.t., kurių nusidėvėjimas daugiausiai įtakotas nuo temperatūrų kaitos, cheminio poveikio ar didelių eksploatacinių apkrovų. Daugumoje tokių nusidėvėjimų atvejų problemos kyla tik dėl pačio paviršiaus pažeidimų, todėl nereikia keisti visos konstrukcijos kai galima tiesio išlieti naują, ploną išlyginamąjį sluoksnį, kuris yra pigesnis bei reikalauja trumpesnių terminų.

Tokio tipo dangos remontai šiuo metu dažniausiai yra atliekami dviem būdais: atvežamo betono paskleidimas paviršiuje ir sutankinimas vibruojant arba vietoje sumaišyto betono paskleidimas paviršiuje ir sutankinimas vibruojant. Atsirandant vis daugiau naujų cheminių priedų galima pagaminti labai geras savybes turintį skystą betono mišinį. Toks betono mišinys ir yra vadinamas savaime išsilyginančiu. Pirmą kartą buvo sukurtas Japonijoje siekiant sumažinti kvalifikuotų specialistų poreikį. Tuo pačiu augant betono panaudojimui sudėtingiems architektūriniais statiniais ir kuriant mažagabarites konstrukcijas su labai artimai išdėliota armatūra labai svarbu sukurti gerai tarpus užpildantį betoną kuris užtikrintų reikiamą stiprumą bei ilgaamžiškumą.[2]

Polimerinius mineralinius išlyginamųjų grindų dangų sausuosius mišinius sudaro daugelis komponentų, todėl jų tarpusavio sąveika, kokybė, kietėjimo greitis, technologinės savybės daro įtaką įrengiamų grindų kokybei.[1]

Parenkant sudėtis būtina atsižvelgti į šiuos reikalavimus:

- paruošto skiedinio savaiminio pasklidimo trukmė - ne ilgiau kaip 15 min;
- sukietėjęs skiedinys nesusitraukia arba susitraukia minimaliai, jeigu tai leidžia reglamentas;
- paklotame skiedinyje neturi būti sedimentacijos požymių;
- neturi būti pleišėjimo sluoksnio visu storiu;
- paviršiuje neturi susidaryti putų.

Išlyginamieji grindų mišiniai - daugiakomponentė sistema, susidedanti iš grynųjų cementų, frakcionuoto smėlio, mineralinių priedų ir įvairios paskirties įmaišų, kurios padidina mišinių slankumą, plastiškumą, sumažina iki minimumo sedimentaciją, padidina sukibimo su pagrindu ir lenkiamąją stiprį, atsparumą šalčiui, reguliuoja susitraukimo deformatyvumą.[1]

Grindų dangos sluoksnio storis, priklausomai nuo mišinio sudėties, gali būti nuo 3 iki 10 mm ir nuo 3 iki 25 mm. Pagrindiniai techniniai reikalavimai išlyginamosioms grindims pateikiami 1.1 lentelėje.

Sausųjų mišinių gamyba išlyginamosioms grindims yra sudėtingas techninis ir technologinis procesas. Grindų paviršius, nesvarbu, ant kokio pagrindo būtų klojamas, privalo būti lygus, glotnus ir leidžiantis per trumpą laiką tęsti grindų įrengimo darbus, naudotinas pastatų viduje ir išorėje.[1]

1.1. Reikalavimai keliami savaime išsilyginantiems grindų mišiniams

Išlyginamieji mišiniai pagal atskiras specifines savybes skirstomi į klases. Reikalavimai atskiroms savybėms pagal klasifikavimą pateikiami 1.1-1.4 lentelėse.[1]

1.1 lentelė. Sukietėjusio skiedinio skirstymas į klases ir reikalavimai gniuždomajam stipriui

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

Stiprumo gniuždant klasę atitinkančią cementinio tipo mišinį privalo deklaruoti gamintojas gaminantis konkretų gaminį. Stiprumas turi būti nustatomas vadovaujantis EN 13892-2.

Stiprumo gniuždant klasė turi būti žymimas raide C (*ang. Compression*) ir skaitmeniu žyminčiu gaminio stiprumą N/mm^2 pagal lentelę 1.1

1.2 lentelė. Sukietėjusių skiedinių skirstymas į klases ir reikalavimai lenkiamajam stipriui

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

Stiprumo lenkiant klasę atitinkančią cementinio tipo mišinį privalo deklaruoti gamintojas gaminantis konkretų gaminį. Stiprumas turi būti nustatomas vadovaujantis EN 13892-2.

Stiprumo lenkiant klasė turi būti žymima raide F (*ang. Flexural*) ir skaitmeniu žyminčiu gaminio stiprumą N/mm^2 pagal lentelę 1.2

Cementinių mišinių naudojamų tokiose aplinkose, kur jie veikiami trinties nusidėvėjimas turi būti nustatomas pagal EN 13892-3; EN 13892-4; EN 13892-5 pasirinktinai. Taip pat nusidėvėjimo klasė turi būti deklaruojama gamintojo gaminančio konkretų gaminį. Priklausomai nuo būdo nustatant nusidėvėjimą šis rodiklis gali būti žymimas:

1.3 lentelė. Nusidėvėjimas pagal Bohme metodą

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

Pagal Bohme metodą matuojamas nusidėvėjimo kiekis $cm^3/50cm^2$, raidė A (*ang. Abrasion*).

1.4 lentelė. Sukietėjusių cemento skiedinių skirstymas į klases ir reikalavimai nusidėvėjimui

Klasė pagal nusidėvėjimą	AR6	AR4	AR2	AR1	AR0,5
Didžiausias nusidėvėjimas, μm	600	400	200	100	50

Nusidėvėjimas pagal BCA metodą žymimas raidėmis AR (*ang. Abrasion Resistance*), po jų seka skaitmuo žyminti didžiausia nusidėvėjimo lygį 100 μm .

1.5 lentelė. Reikalavimai išlyginamųjų skiedinių grindų dangoms, kai juda transportas

Klasės žymuo	Leidžiama apkrova grindims į ploto vienetą				
	RWA 300	RWA 100	RWA 20	RWA 10	RWA 1
Trinties jėga N/cm^2	300	100	20	10	1

Išlyginamųjų medžiagų dėvimojo sluoksnio atsparumo dilimui bandymas, veikiant ratukais raidės RWA (ang. Rolling Wheel Resistance) po jų seka skaitmuo parodantis nusidėvėjimo kiekį cm^3 .

Pagal STR 2.05.13:2004 „STATINIŲ KONSTRUKCIJOS. GRINDYS“ išlyginamasis grindų sluoksnis įrengiamas tada, kai reikia:

- išlyginti nelygų paviršių;
- paslėpti vamzdžius;
- užtikrinti normuojamą grindų šilumos išlaikymą;
- išbetonuoti nuolydį grindims.[19]

Liejant tokį sluoksnį turi būti užtikrintas sluoksnio storis didesnis negu 20mm. Išlyginamajam sluoksniui įrengti turi būti naudojamas ne mažesnis nei 15MPa stiprio gniuždant betonas.

Grindų kokybė ir ilgaamžiškumas priklauso ne tik nuo išlyginamojo mišinio kokybės, skiedinio paruošimo ir liejimo technologijos, bet ir nuo pagrindo, ant kurių liejamas skiedinys, paruošimo. Pagrindas patikrinamas nustatant jo nelygumus, įplyšimus ir kitus defektus. Paviršius, ant kurio liejamas skiedinys, turi būti tvirtas, švarus. Ant jo negali būti riebalinių dėmių, drėgmės. Skiedinio liejimo darbus galima atlikti, kai pagrindo ir aplinkos temperatūra klojant ir kietėjant būtų nuo +5 iki +25 °C. Išlyginamuosius mišinius, sumaišytus su vandeniu, būtina pakloti ant pagrindo per 20-30 min, jeigu gamintojas nenurodo kitų paklojimo terminų.

Cemento mišiniai naudojami grindims išlyginti ir įrengti visuomeninėse ir gyvenamosiose patalpose tiek išorėje, tiek viduje, gipso mišiniai naudotini tik sausose vidaus patalpose.[1]

Doc. dr. Algimantas Pranas Naujokaitis savo knygoje „Statybinės medžiagos. Sausieji statybiniai mišiniai“ [1] pateikia rekomendacijas, kokias vertes turėtų atitikti savaime išsilyginančio grindų mišinio pagrindinės savybės.

1.6 lentelė. Techniniai savybių rekomendacijos išlyginamiesiems grindų mišiniams

Rodiklis	Rodiklių reikšmės, kai sluoksnio storis iki	
	10mm	5mm
Sklidumas (pasklidimo skersmuo), cm, ne mažiau kaip	24	24
Mišinio tankis, kg/m^3 , ne mažesnis kaip	1800	2000
Gniuždomasis stipris, MPa, ne mažesnis kaip	5-70	5-70

Dilumas, g/m ² , ne didesnis kaip	-	2,0
Atsparumas šalčiui, ciklais	-	50
Savaiminis susitraukimas, %, ne didesnė kaip	0,08	0,08
Lenkiamasis stipris, MPa, ne mažesnis kaip	1,0-50,0	1,0-50,0
Sukibimo su pagrindu stipris, MPa, ne mažesnis kaip: su betonu arba tinku su šilumos arba garso izoliaciniu sluoksniu	0,8	0,8
	Ne mažesnis kaip šilumos arba garso izoliacinio sluoksnio tempiamasis stipris	

1.2. Žaliavos naudojamos savaime išsilyginančių grindų mišinių gamybai

Sausųjų savaime išsilyginančių mišinių gamybos technologija ir kokybė tiesiogiai priklauso nuo žaliavų kokybės, jų cheminių bei fizikinių savybių. Svarbiausia ko yra siekiama – kokybė, todėl būtina, kad žaliavų charakteristikos būtų kuo artimesnės idealioms. Pagrindiniai naudojami komponentai tokiems mišiniam pateikti 1.7 lentelėje.

1.3. Reologija

Betono mišinio struktūra susiformuoja iš visų komponentų ir priklauso nuo šių komponentų tarpusavio sąsajų bei kitų ypatumų: ribotą laiką išlikti didesnės konsistencijos, bet vykstant fizikiniams ir cheminiams procesams sparčiai rįstis ir tapti kietąja medžiaga. Jėgos, veikiančios tarp kietųjų mišinio dalelių, yra skirtingos fizikinės prigimtys ir priklauso ne tik nuo dalelių didumo, bet ir nuo skystosios fazės tūrio, jos sudėties, įmaišinių medžiagų jonų, paviršinių įtempimų dydžio. Atsiranda deformacijų, kurių dydis priklauso nuo laisvojo vandens koncentracijos. Kai skystoji fazė persiskirsto, prasideda kietosios fazės persiskirstymas tarp smulkiausių dalelių - cementinės tešlos, smulkiųjų smėlio dalelių, o vėliau ir stambesniųjų. Formuojasi betono mišinio struktūra, pradeda nusistovėti ribinių šlyties įtempimų ir deformacijų santykis. Cementinės pastos reologija priklauso nuo vandens ir cemento santykio, cemento rūšies ir dispersiškumo, mišinio ruošimo būdo bei temperatūros.[11]

Viskozimetru nustatoma priklausomybė tarp deformacijų ir ribinių šlyties įtempimų. Dėl išorinio poveikio deformacija prasideda nuo cementinės tešlos. Apibūdinant tokios pastos (cementinės tešlos) reologines savybes reikia pasirinkti atitinkamą matematinę išraišką, nes tokią medžiagą galima apibūdinti kaip plastinę ar tampriai plastinę ir apytikriai taikyti Bingamo lygtį:

$$\tau = \tau_y + \mu_p v$$

čia τ - šlyties įtempiai; τ_y — kintami šlyties įtempiai, kai $\tau = 0$ - ribiniai dinaminiai šlyties įtempiai; μ_p - plastinis klampis; v - šlyties greičio gradientas.[11]

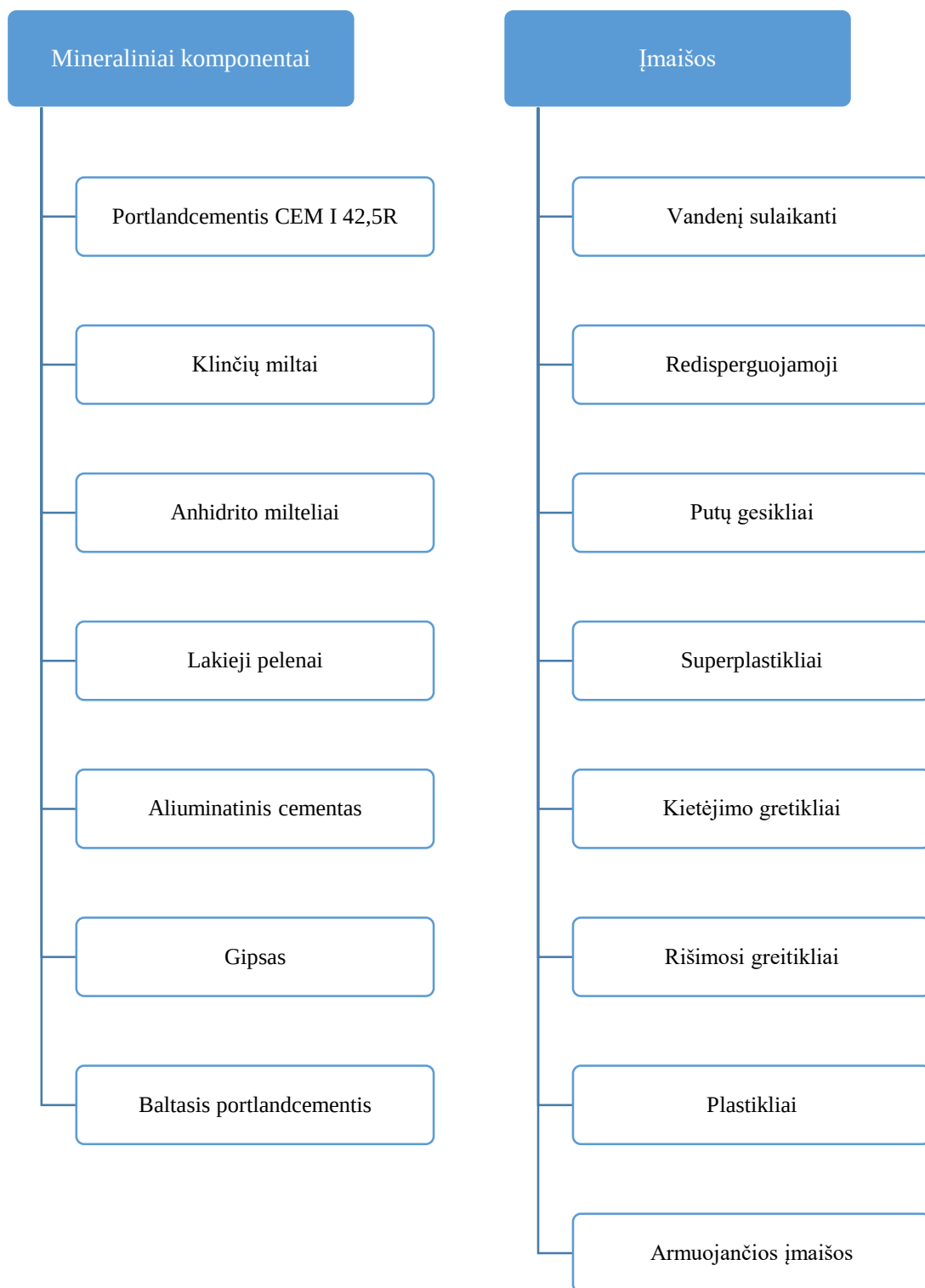
Plastikliai turi didelės įtakos cementinių pastų reologinėms savybėms: sumažina ribinius šlyties įtempimus ir klampį. Įdėjus tam tikrą kiekį, τ_y reikšmė sumažėja beveik iki nulio.

Esant pastoviam vandens ir cemento santykiui mišinio klampis ir bendroji apkrova, lemianti deformacijų pradžią (τ_y), įdėjus plastiklio sumažėja iki nulio.[11]

Plastiklių įmaiša cementinėje tešloje ribinius šlyties įtempius bei plastinę klampį gali sumažinanti, o kartais ir padidinti šias tešlos charakteristikas. Tai priklauso nuo sudėtinių komponentų santykio.

Portlandcemenčio hidrolizės ir hidratacijos greitis priklauso nuo plastiklio kiekio ir jo cheminės sudėties. Plastikliu disperguota cementinė tešla greičiau rišasi ir kietėja, nes cemento dalelės geriau suvilgomos vandeniui. Įmaišos plastiklio poveikis įvairių cemento mineralų rišimosi greičiui yra skirtingas. Trikalcio aluminatas su gipso priedu rišasi greičiau, bet sulėtėja pradinėje rišimosi stadijoje trikalcio silikato hidrolizė. Dėl adsorbcijos plastiklio dalelės patenka ant trikalcio aluminato hidratacijos produktų ir šiek tiek lėtinamai veikia trikalcio silikato mineralų rišimosi greitį.[11]

1.7 lentelė. Pagrindiniai naudojami komponentai savaime išsilyginantiems mišiniams



1.4. Mineraliniai komponentai

1.4.1. Portlandcementis

Portlandcementis (CEM I) yra pagrindinė klasikinė hidraulinė rišamoji medžiaga, priskiriama įprastinių cementų grupei. *Portlandcementis* (CEM I) yra gryniausia cementų atmaina, nes kituose cementuose yra daug priedų (granuliuoto šlako, mikrodulkių, pucolanų, skalūno, klinties arba priedą mišinių).

Norint kontroliuoti cemento rišimosi laiką naudojamas gipsas. Klinkerio miltai turi savybę greitai susirišti, įdedant gipso toks procesas pristabdomas. Nenaudojant gipso cemento skiedinio ar betono mišinių negalima panaudoti, o cementinis akmuo tampa silpnas. Gipsas naudojamas santykiu su cementu $1 \div 3,5\% \text{ SO}_3$.

1.4.2. Klinčių miltai

Klintys (tankios, konglomeratai) tai nuosėdinė karbonatinė uoliena, susidariusi daugiausia jūrose iš mineralo kalcito (CaCO_3). Dažniausios priemaišos yra: molis, aleuritas, smėlis, dolomitas ir kt. Lengvai atskiriamos nuo kitų uolienų nes turi savybę reaguoti su druskos rūgštimi bei išskirti CO_2 . Grynos klintys (kuriose yra mažiau negu penki procentai priemaišų) būna baltos arba pilkšvos spalvos, pilkos spalvos - su molio arba aleurito priemaišomis, tamsios iki juodumo su organinėmis priemaišomis, gelsvos arba rudos atspalvio su geležies priemaišomis. Klintys sudarytos iš įvairaus dydžio bei formų kalcio kristalų. Jų struktūra – gali būti masyvi, sluoksniuota, gniutulinė ar kita. Klintys kasamos atvirose karjeruose Akmenės r. Lietuvoje randamų klinčių spalva - šviesiai pilkšva ir pilka, kartais randama gelsva ir rusva. Klintys yra vidutinio kietumo, minkštos, smulkiakristalės. Sutrupintos klintys naudojamos stambiams (4-63 mm) ir smulkiems (0-4 mm) užpildams gaminti, o sumaltos - mikroužpildams, tokios klintys suteikia sausiems mišiniams specialių savybių.[1]

1.4.3. Anhidrito milteliai

Anhidritas - tai nuosėdinė uoliena, sudaryta iš mineralo tokiu pačiu pavadinimu (CaSO_4). Ši uoliena būna dažniausiai melsvai pilkšvos spalvos, kieta, nepasižymi plyšiais ar didelėmis poromis, ją sudaro smulkūs anhidrito kristalai. Prijungdamas H_2O anhidritas, tampa gipsu ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Dėl šios priežasties šiame minerale daugiausiai randama gipsinių intarpų be to ir kitokių (molio, dolomito) priemaišų. Taip pat, klodo viršutinės ir apatinės dalis uždengia ploni gipsiniai sluoksniai.[3]



1.1 paveikslas. Anhidritas

Lietuvoje anhidritas dažniausiai randamas pietinėje bei pietvakarinėje šalies dalyje. Mažiausiai nuo žemės paviršiaus jis yra nutolęs ties Prienų – Kauno rajonais ir toliau Lenkijos kryptimi užėinant už šalies teritorijos sienų. Apskaičiuota kad šie klodai viršija 1000 milijardų tonų. Toks kiekis yra

prilyginamas niekada nesibaigiančiam.[3]

Kadangi anhidritas yra pakankamai stiprus natūralus akmuo jį galima naudoti šachtinių būdu. Iškasus anhidritą atsiradusios ertmės nėra pavojingos ir jų nereikia specialiai tvirtinti, tokias ertmes galima panaudoti įvairių statybinių, ar energetinių medžiagų saugojimui ir sandėliavimui, galima sandėliuoti net atominio kuro atliekas ar maisto produktus. Anhidritas yra vertinamas kaip cheminė žaliava, ne tik statybinių medžiagų pramonėje. Anhidritas gali būti naudojamas ne tik gipso, cemento ar sieros rūgšties naudojimui, kadangi akmuo pasižymi gražia tekstūra tokį akmenį galima naudoti tiek fasado apdailos plokštėms gaminti tiek kaip estetiškai patrauklią landšafto detalę.[3]

1.4.4. Lakieji pelenai

Lakieji pelenai, yra vienas iš likučių susidariusių degimo proceso metu ir sudaro smulkias daleles, kurios kyla su išmetamosiomis dujomis. Pelenai, kurie nepakyla vadinami dugno pelenais. Pramoniniame kontekste, lakieji pelenai paprastai reiškia pelenus atsiradusius deginant anglį. Lakieji pelenai paprastai surenkami elektrostatinėmis nusodintuvų ar kita dalelių filtravimo įranga dar prieš išmetamosioms dujoms pasiekiant anglimi kūrenamų elektrinių kaminus ir kartu su dugno pelenais pašalinami iš krosnies apačioje, šiuo atveju bendrai žinomi kaip anglies pelenai. Priklausomai nuo sudegintos anglies kilmės ir savybių, pelenų sudėtis gerokai skiriasi, bet visi lakieji pelenai turi didelį kiekį silicio dioksido (SiO_2) ir kalcio oksido (CaO).[4]

Toksiškos sudedamosios dalys priklauso nuo konkrečios anglies kilmės bei savybių, bet gali apimti vieną ar daugiau iš šių elementų didesniais ar mažesniais kiekiais: arsenas, berilis, boras, kadmio, chromo, šešiavalenčio chromo, kobalto, švino, mangano, gyvsidabrio, molibdeno, seleno, stroncio, talio ir vanadžio.

Anksčiau lakieji pelenai dažniausiai buvo išleidžiami į atmosferą, tačiau atsižvelgus į aplinkos apsaugą Europos sąjunga reikalauja, kad lakieji peleniai būtų perfiltruoti prieš išleidžiant. Apie 43% pelenų yra perdirbama, dažnai naudojami papildyti portlandcemenčio betono gamybai.[4]

Dėl savo pucolaninių savybių, lakieji pelenai naudojami kaip portlandcemenčio pakaitalas betono mišiniuose. Lakieji pelenai dažnai pakeičia iki 30% portlandcemenčio masės, tačiau gali būti panaudotas didesnėmis dozėmis prie tam tikrų aplinkybių. Lakieji pelenai gali pagerinti betoninio stiprumą ir padidinti jo cheminį atsparumą ir ilgaamžiškumą.[5]

Lakieji pelenai gali žymiai pagerinti betono pritaikomumą. Dėl rutulio formos pelenų dalelių, jie gali padidinti cemento našumą kartu mažinant vandens poreikį.[5]

1.4.5. Aliuminatinis cementas

Aliuminatinis cementas – tai hidraulinė rišamoji medžiaga, turinti savybę labai greitai kietėti, kurios pagrindą sudaro mažo bazingumo kalcio aluminatai. Tam kad jį išgauti yra smulkiai sumalama išdegta iki žaliavos arba išlydyta įkrova, paruoštą iš didelį aliuminio oksidų kiekį turinčių sudedamųjų dalių bei kalkių arba klinčių.[6]

Aliuminatinis cementas yra sudarytas iš 30-50% AlO , 35-45% CaO , 5-15% SiO , 5-15% FeO . Jis gaunamas iš degtų kalkių, klinčių arba boksitų. Boksitai – tai uoliena, kurią sudaro su geležies oksido, kvarco ar kitų įmaišų turintis aliuminio. Nepageidaujama, kad žaliavose būtų SiO ir MgO priemaišų, kadangi gaminant medžiagą susidaro balastinis junginys – gelenitas $2CaO \cdot SiO \cdot AlO$ ir špinelis $MgO \cdot AlO$, kurie nepasižymi rišamosiomis savybėmis. Aliuminatinis cementas gali būti gaminamas dvejais būdais: lydymu arba degimu iki sukepimo. Dažniausiai yra naudojamas pirmasis būdas, kadangi degimui iki sukepimo reikia itin grynų žaliavų ir jis pasižymi mažu įkrovos sukepimo intervalu. Jei lydymas vyksta redukuojančioje aplinkoje, tuomet nesudaromas galenitas, kadangi SiO redukuojasi iki silicio, o FeO - iki metalinės geležies ir tampa ferosiliciu, pastarasis, esti labai sunkus, todėl nugrimzda ant krosnies dugno tokiu būdu atsiskiria nuo išlydyto cemento.[6]

Vienas didžiausių aliuminatinio cemento privalumų yra tai, kad jis turi savybę itin sparčiai kietėti. Tokio cemento rišimosi greitis yra normalus. Aliuminatinis cementas skirstomas į tokias markes: 400, 500 ir 600. Ši markė atspindi stiprumą po 3 parų, skirtingai nei portlandcemento ir daugelio kitų rišamųjų medžiagų, kurių markės rodo stiprumą po 28 parų. Sukietėjęs cementas neturi $Ca(OH)$, dėl šios priežasties jis itin atsparus agresyviam vandeniui ir aukštomis temperatūroms. Šis cementas tankiu lenkia portlandcementį, nes turi gausiau

vandens susijungusio į hidratinius junginius, taip pat turi daug Al (OH) gelio. Dėl šių priežasčių aliuminatinis cementas pasižymi ganėtinai dideliu atsparumu šalčiui.[7]

Dėl savybės išskirti daug šilumos hidratacijos metu aliuminatinis cementas dažniausiai nėra naudojamas gelžbetonio konstrukcijose ar betonuose, kurie kietėja prie didesnės negu 25°C temperatūros. Tačiau plačiai naudojamas ten, kur reikia greitai kietėjančio, atsparaus agresyviai vandeniui ar šalčiui aukštos klasės betono. Aliuminatinis cementas tinka gaminti tokiems gaminiais, kurie bus naudojami veikiant sūriam vandeniui ar sieros dioksido dujoms. Iš tokio cemento gaminami atsparūs aukštomis temperatūroms betonai bei plėtrieji ir nesitraukiantys cementai.[7]

Aliuminatinio cemento privalumai:

- vienas pagrindinių privalumų yra tai, kad jis atlaiko aukštų temperatūrų poveikius, todėl gali būti naudojamas statiniuose kur veikia aukštos temperatūros;
- rišimosi pradžios laikas yra 3 valandos, o galutinio rišimosi laikas 5 valandos;
- aliuminatinis cementas kietėdamas išskiria aukštą temperatūrą, todėl gali būti naudojamas žemose temperatūrose;
- pasižymi dideliu atsparumu agresyviai cheminiam poveikiui;
- greitai kietėdamas pasiekia $\sim 40\text{N/mm}^2$ per vieną dieną, o per tris dienas pasiekia 50N/mm^2 .

Aliuminatinio cemento trūkumai:

- didelė medžiagos kaina;
- išskiria daug šilumos kietėdamas, todėl negali būti naudojamas didelėms konstrukcijoms betonuoti;
- esant sąlyčiui su įprastu portlandcemenčiu mažėja aliuminatinio cemento stipris.

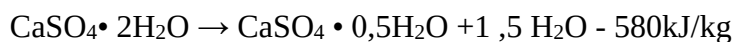
1.4.6. Gipsas

Teorinė medžiaga. Gipsas yra gamtoje paplitęs mineralas. Jo randama šiaurinėje Lietuvos dalyje. Dideliems gipso klotams atsirasti palakios sąlygos yra uždari vandens telkiniai tokie, kaip jūros pamažu garinant vandenį.[8]

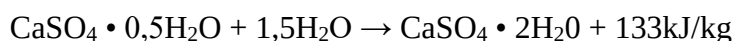
Statybinis gipsas - miltelių pavidalo baltos spalvos orinė rišamoji medžiaga, sudaryta iš pusvandenio kalcio sulfato ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$), gaunama gamtinio gipso uolieną termiškai apdorojant 160-180 °C temperatūroje. Gipsinės rišamosios medžiagos gaminamos iš dalies arba visiškai dehidratavus gamtinį gipsą ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ir džiovimą gamtinį anhidritą (CaSO_4). Taip gaunamas β – $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ - pushidratis gipsas (statybinis gipsas). Aukštavertis (α -

CaSO₄ - 0,5H₂O) pushidratis gipsas gaunamas sočiuose vandens ganiose iš dalies dehidratavus 105-125 °C gipsą ir sumalus.[8]

Gipso susidarymo metu vyksta endoterminė reakcija:



Gipsui dehidratuoti naudojami virimo katilai, būgninės džiovyklos, šachtinės krosnys ir kt. Sumaišytas su vandeniu statybinis gipsas kietėja. Tuo metu vyksta hidratacijos (vandens prisijungimo) reakcija:



Gipsas yra greitai besirišanti ir kietėjanti rišamoji medžiaga. Rišimosi trukmė priklauso nuo malimo smulkumo, žaliavų mineralinės sudėties ir įvairių cheminių priedų. Pagal rišimosi trukmę gipsas skirstomas į rūšis.[8]

Kietėdamas gipsas chemiškai suriša apie 18,6 % vandens. Likęs didelis laisvojo vandens kiekis išgaruoja ir sudaro didelį gipso akmens atvirą poringumą (iki 40 %), o tai sąlygoja nedidelį jo stiprį ir atsparumą šalčiui bei didelį vandens įgeriamumą. Gipso savitasis tankis yra apie 2320kg/m³, kietumas pagal Moso skalę yra 2. Gipsas kretėdamas plečiasi, jo tūrio padidėjimas siekia 1 %. Dėl to gipsas gerai užpildo formą ir gaunami tikslios formos liejiniai. Kietėjant gipso liejiniams nesusidaro plyšių, todėl gaminius iš gipso galima gaminti be užpildų.[8]

1.8 lentelė. Gipso rišimosi trukmės

Gipso rūšis	Rišimosi pradžia, min.	Rišimosi pabaiga, min.
Greitai besirišantis	≤2	≤15
Normalei besirišantis	≤6	≤30
Lėtai besirišantis	≤20	-

Gipso malimo smulkumas turi įtakos rišimosi greičiui ir stiprumui. Stambesnės gipso dalelės vandenyje tirpsta lėčiau, todėl ir kietėjimas sulėtėja. Paprastai malinio smulkumas nusakomas likučio ant sieto, kurio akelės kraštinės ilgis 0,2 mm, procentais pagal LST EN 13279-1. Dažniausiai liekana ant šio sieto sudaro ne daugiau kaip 15 %. Pagal sumalimo smulkumą gipsas skirstomas į grubaus (< 23 %), vidutinio (< 14 %) ir smulkaus (< 2 %) malimo gipsą.[8]

Nustatant gipso normalaus tirštumo testą naudojamas Sutardo viskozimetras - tuščiaaviduris metalinis cilindras ir graduota stiklinė plokštelė. Vandens sąnaudos normalaus tirštumo testui paruošti sudaro (50-70 %) β modifikacijos ir (35-45 %) α modifikacijos.[8]

Gipso gniuždymo stipris labai priklauso nuo drėgnumo. Gipso bandinių, džiovintų iki 60 °C temperatūroje stipris yra 2-2,5 karto didesnis už drėgną bandinių stiprį po 1.5 val. kietėjimo. Gipso akmens stiprumas vandenyje ar sudrėkus sumažėja dėl dihidrato tirpimo ir kristalinės struktūros irimo. Gipsui būdingas didelis suminkštėjimo koeficientas K_s (atsparumas vandeniui, išreikštas įmirkytos ir sausos medžiagos stiprių santykiu). Gipso pagrindo rišamųjų medžiagų privalumas yra tas, kad jos yra nebrangios ir lengvai naudojamos. Jos naudojamos statybų pramonėje (tinkas, gipskartonio plokštės), medicinoje (įtvarai), stomatologijoje, mene (skulptūros, meninio metalo liejimo formos), interjero puošyboje.[8]

1.4.7. Baltasis portlandcementis

Baltieji ir spalvotieji portlandcemenčiai gaminami pasitelkiant švarias klintis ir kreidą ir kaoliną. Naudojamos žaliavos su ribotais geležies ir chromo oksidais, manganu ir panašiais dažomaisiais oksidais. Gamyboje baltojo portlandcemenčio klinkeris yra balinamas ir sumalamas su gipsu, kadangi turi žalią atspalvį.[1]

Įprastai portlandcementis yra pilkos spalvos, ją lemia mangano oksidai, geležies oksidai ir kitos dažomosios įmaišos. Malant žaliavas spalvotųjų cementų gamybai į dedama pigmentų suteikiančių spalvą, tokių kaip: chromo oksidų, mangano dioksido, kobalto oksido, geležies.[1]

1.9 lentelė. Klinkerio mineraloginė sudėtis

Fe_2O_3	MnO	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
0,25-0,35%	0,005-0,015%	35-50%	35-45%	14-17%	0,9-1,4%

Baltumo laipsnis yra vienas svarbiausių baltojo portlandcemenčio rodiklių, jis svyruoja tarp aštuoniasdešimties ir devyniasdešimties procentų. Cemento baltumo laipsnis nustatomas pagal etaloną – lyginant su BaSO_4 plokšte. Šiuo metu rinkoje prieinami baltieji cementai pasižymi tokiais techniniais parametrais: baltumo laipsnis -ne mažiau kaip 84,5 %, gniuždomasis stipris po 28 parų - ne mažiau kaip 52,5 MPa.[1]

1.4.8. Šlakinis cementas

Šlakinis portlandcementis, pagal LST EN 197-1 priskiriamas CEM III klasei, gaunamas malant paprasto cemento klinkerį ir granuliuotus aukštakrosnių šlakus iki smulkių

granulių. Tokiame cemente šlakai sudaro 35-95% masės. Šlakinis cementas kietėja gerokai lėčiau negu paprastas cementas tačiau yra atsparus sulfatams bei pasiekia didesnę stiprumą po 28 parų. Lyginant su paprastu portlandcemenčiu šlakinis cementas pasižymi:

- geresnėmis klijavimo savybėmis;
- didesniu gniuždomuoju bei lenkiamuoju stipriu;
- mažesniu įgeriamumu;
- didesniu atsparumu agresyviai cheminiam poveikiui;
- yra šviesesnės spalvos.[15]

Betonas sudėtyje turintis šakinio cemento geriau sukimba su armatūra gelžbetonio konstrukcijose, neleidamas armatūrai rūdyti ir prarasti savo stiprumines savybes.[16] Dėl šios priežasties bei dėl pasiekiamo didesnio stiprio po 28 parų kietėjimo (ir pastoviai didėjančio) nei paprastas portlandcementis šlakinis cementas dažnai naudojamas masyvioms gelžbetoninėms konstrukcijoms gaminti.

1.5. Įmaišos

1.5.1. Vandenį sulaikančios

Naudojant tokias įmaišas sumažinamas arba visiškai eliminuojamas vandens atsiskyrimas mišinyje. Vandenį sulaikančios įmaišos dėl savo savybės stabdyti vandens atsiskyrimą padidina gaminių stiprumą gniuždant iki 80% lyginant su mišiniais, kuriuose tokios įmaišos nėra naudojamos.[9].

Pagrindinės įmaišos mažinančios vandens atsiskyrimą yra modifikuoti celiuliozės eteriai, šie eteriai turi savybę tirpti vandenyje, šios įmaišos taip pat mažina susitraukimus sukietėjusiuose mišiniuose, didina mišinio sukibimą su pagrindu, ilgina laiko tarpą, kurį užtrunka susidarydama paviršiaus plutelė aplinkos temperatūrai esant minimaliai yra atsparios poveikiams kuriuos sukelia šarmai bei didina stiprį, kurį pasiekia galutinis sukietėjęs gaminys.

Populiariausi šios įmaišos gamintojai bei platintojai yra šie: methocel, wolocel, mecellose; komacel, bermocoll, addilose, solvitose, agocel, culminal, integral Waterproofer, sikament ir kt.

Metilceliuliozė įduoda mišiniams savybę neatskirti vandens aplinkos temperatūrai esant nuo 4 iki 40°C. Naudojant tokias įmaišas pagerėja mišinio klijumas, padidėja mišinio sukibimas su pagrindu bei neišsiskiria vanduo. Celiuliozės eterių naudojimas leidžia sumažinti vandens bei cemento santykį nepakeičiant mišinio savybių. Tokios įmaišos yra pakankamai efektyvios todėl mišiniuose jų dedama tik 0,1-0,25% nuo visos gaminamo mišinio masės.

1.5.2. Redisperguojamoji

Redisperguojamosios įmaišos yra polimero latekso milteliai, tokie milteliai veikia sudarydami tvirtą arba lanksčią plėvę ant mineralinių medžiagų matricos. Dėl tokios šios susidariusios plėvelės dalelės sudarančios mišinį tarpusavyje sukimba geriau, tampa ne tokios aktyvios. Tokia įmaiša yra ir rišamoji medžiaga kuri gali būti traktuojama, kaip papildoma neįtakojanti mišinio rišamųjų medžiagų hidratacijos greičio.[10]

Pagrindinės įmaišų savybės:

- adgezija, tvirtos arba tamprios plėvės susidarymas;
- atsparumas šarmams, geras maišymasis su cementais; minimali įmaišinės plėvelės ant medžiagų grūdelių susidarymo temperatūra;
- didelis redispergavimo greitis;
- nepraranda savybių sumaišytas su kitomis įmaišomis.

Susidaranti struktūra portlandcemenčiui kietėjant netampa visiškai tanki. Sukietėjusio cementinio akmens struktūroje atsiranda minimalių įtrūkimų, trūkumų, taip pat susidaro tuštymės ir mikroporos. Dėl šių defektų atsiradimo esti skirtumai tarp teorinių ir realiu medžiagų savybių. Statybiniai mišiniai pasižymi tokia struktūra, kuri turi daugybę ertmių bei kapiliarų susijungiančių tarpusavyje taip atskirdami kietąsias daleles ir sudarydami tuščią erdvę.

Naudojant redisperguojančiuosius junginius mišiniuose tokius kaip stireno akrilatas ar lateksas patobulinama sukietėjusių gaminių struktūra ir pagerėja savybės. Polimerinės įmaišos taip pat gali būti traktuojamos rišamoji medžiaga. Mišinyje susikongravę polimeriniai junginiai porų sienelės padengia tvirta elastinga plėve, kuri gerai sąveikauja su visais mišinį sudarančiais komponentais taip padidindamas sukietėjusio gaminio tankį ir padarydamas jį atsparesniu aplinkos fiziniams bei mechaniniams poveikiams.[11]. Regispergatoriumi pagerintas mišinys nuo paprasto cementinio mišinio skiriasi tuo, kad jis yra stipresnis, labiau atsparus atmosferos poveikiams. Ši įmaiša padidina mišinio atsparumą šalčiui, dilimui, sumažina mišinio pralaidumą vandeniui, sumažina trapumą.

Redisperguojančioms įmaišoms sąveikaujant su vandeniu mišinyje susidaro lipni polimerine medžiaga užpildanti poras bei įtrūkimus atsiradusius sukietėjusio mišinio struktūroje. Ši elastinga medžiaga padidina gaminio stiprumą atplėšimui nuo pagrindo, ženkliai padidina sukietėjusio mišinio elastingumą, padaro jį stipresniu. Daugumoje sričių, kur yra naudojami cementiniai mišiniai be kitų savybių ne mažiau svarbi yra ir savybė mišiniui sukibti su pagrindu gaminį naudojant. Mišiniai su cementinėmis ar gipsinėmis rišamosiomis

medžiagomis gali pasiekti solidų sukibimo stiprumą su šiurkštaus paviršiaus medžiagomis tokiomis kaip betonas, statybinė keramika ir pan. tačiau tokie mišiniai itin prastai sukimba su lygaus paviršiaus medžiagomis tokiomis kaip metalo gaminiai, glazūruotos keraminės ar akmens masės plytelės, plastikais dengti gaminiai ir pan. Redisperguojanti įmaiša stipriai padidina mišinio sukibimą su minėtomis medžiagomis dėl tos priežasties tokios įmaišos plačiai naudojamos glaistuose bei tinkuose, ypatingai naudojamuose agresyviomis lauko sąlygomis, elastinguose plytelių klijuose naudojamuose lauko sąlygomis arba ant šildomų grindų, savaime išsilyginančiuose grindų mišiniuose. Vienas pagrindinių kriterijų keliamų tokiems mišiniam užtikrinant jų kokybę yra polimerinės plėvelės susidarymo žemiausia temperatūra ir jos polimerizacijos temperatūra. Ši temperatūra nusako minimalią temperatūrą prie kurios mišinys vis dar pasižymi slankumu bei takumu. Polimerizacijos temperatūra – temperatūra, kuriai esant polimerinė plėvelė gaubianti mišinio daleles keičia būseną iš plastiškos į standžią.[10] Neretai tokie mišiniai naudojami esant nedidelėms temperatūroms dėl to yra svarbus mišinių naudojimo temperatūrų diapazonas, o šį rodiklį parodo polimerinės plėvelės susidarymo minimali temperatūra.

1.5.3. Putų gesikliai

Putų gesikliai dar vadinami nuputintojais yra įmaišos išstumiančios iš mišinio maišymo metu įsiurbtas putas. Nuputintojai reguliuoja mišinio dearaciją klojimo ant paviršių metu. Didžiausią įtaką oro burbulėlių susidarymui turi vandenilio jonų koncentracija ir mišinio pH. Sumažinant pH iki neutralaus reakcijos susiskaldo.

Putų gesikliai didina skysto mišinio paviršiaus įtempimus taip priversdami iškilusius į paviršių oro burbuliukus susprogti. Tokios įmaišos plačiai naudojamos skystesnės konsistencijos cementiniuose mišiniuose, dažuose, lakuose.[1]

1.5.4. Superplastikliai

Superplastikliai tai įmaišos leidžiančios ženkliai sumažinti vandens kiekį mišinyje nepakeičiant mišinio konsistencijos. Naudojant superplastiklį ir tokį patį vandens kiekį padidinamas mišinio sklidumas. Kadangi naudojant superplastiklį sumažinamas v/c santykis sukietėję mišiniai pasižymi geresnėmis stipruminėmis savybėmis. Po kietinimo vieną parą mišiniai pasiekia 140% geresnius stiprumo rezultatus, o po 28 parų kietinimo gaminiai pasiekia 115% geresnius stipruminius rezultatus lyginant su tais pačiais mišiniais nenaudojant

superplastiklio. Išlaikant vienodą vandens ir cemento santykį pasiekama 120mm didesnis sklidumas lyginant su tuo pačiu gaminiu nenaudojant superplastiklio.[1]

1.5.5. Išsiplėtimą reguliuojančios

Išsiplėtimą reguliuojančios įmaišos tai pagreitinančios cemento rišimosi bei kietėjimo greitį įmaišos. Pagreitinus mišinio rišimąsi bei kietėjimą pasiekiamas didesnis pradinis stiprumas. Reguluojant mišinių išsiplėtimą išvengiama betono įtrūkimų reguliuojamos susitraukimų deformacijos. Tam, kad padidinti cemento išsiplėtimą yra naudojamas magnio oksidas kuri reaguodamas su cementu verčia jį plėstis.

1.5.6. Armuojančios įmaišos

Savaime išsilyginantiems mišiniams armuojančiomis įmaišos naudojamos mažo tankio plaušeliai. Tai pilki ploni plaušeliai (fibros), naudojant tokias įmaišas yra pagerinami pagrindiniai mišinio rodikliai tokie kaip stipris lenkiant, tempiant, smūginis tūsumas, padidinamas atsparumo šalčiui ciklų kiekis, sumažinamos susitraukimo deformacijos. Tokios fibros negali būti naudojamos kaip mišinio užpildai, tačiau jų naudojimas pagerina užpildų granulimetrinę sudėtį. Į mišinius paprastai dedama apie 0,1-2,0% nuo mišinio masės.

Naudojamų fibrų efektyvumas priklauso nuo plaušelių ilgio, egzistuoja tokia samprata kaip plaušelių kritinis ilgis. Tai ilgis priklausantis nuo konkrečios sistemos ypatybių tačiau apibrėžiantis minimalų plaušelių ilgį prie kurio armuojančios įmaišos išnaudoja visą savo potencialą. Kai plaušelių ilgis yra mažesnis negu kritinis plaušelių ilgis tada sistemoje atsiradus vidiniams įtempiams plaušelio galas ištrūksta iš cementinio akmens taip nesustabdydamas betono trūkių. Tuo tarpu kai plaušelių ilgis viršija kritinį plaušelių ilgį atsiradus vidiniams sistemos įtempiams plaušelis neištrūksta iš cementinio akmens, o sulaiko deformaciją iki kol nutrūksta taip išnaudodamas visą savo stiprumą. Kuo sistemoje mažesnis kritinis plaušelių ilgis tuo armuojančios įmaišos yra efektyvesnės ir labiau sustiprina sistemą. Esant didesniam plaušelių ilgumui cementinis mišinys sutvirtinamas labiau tačiau kai kurie polimeriniai plaušeliai turi savybę deformuotis iki 800% savo ilgio nepasiekdami stiprumo ribos. Tiek deformavusis plaušeliams cementinis akmuo suyra nesuirus naudojamiems armavimo plaušeliams. Tokiu atveju plaušelinė armatūra išnaudojama labiausiai. Kritinį plaušelių ilgį galima apskaičiuoti pagal formulę [1]:

$$L_{kr} \approx 0,5R_{fd}d_{vid}R_{ad},$$

čia L_{kr} - kritinis plaušelių ilgis; R_f - vidutinis plaušelių stipris tempiant; d_{vid} - vidutinis plaušelių skersmuo; R_{ad} - adgezinis stiprumas riboje plaušeliai-matrica.

Armuojantys plaušeliai labiausiai išnaudojami tuomet kai pasiekiamas maksimalus plaušelių bei sistemos, kurioje jie naudojami sukibimas. Vienas geriausių būdų padidinti šį rodiklį cementiniuose arba gipsiniuose mišiniuose yra redisperguojančių įmaišų naudojimas, tokios įmaišos sukuria polimerinę dispersiją tarp visu sistemos komponentų taip padidindamas adgezinį stiprumą. Taip pat naudojant redisperguojančias įmaišas yra padidinamas sukietėjusio gaminio atsparumas šalčiui, sumažinamas vandens įgeriamumas.

Naudojant trumpus plaušelius lengviau susimaišo mišinys ir plaušeliai pasiskirto tolygiai bei pasiekiamas optimalus sukietėjusio mišinio stiprumas. Ilgesni plaušeliai netolygiai pasklinda mišinyje ir blogai maišosi, todėl naudojant ilgus plaušelius turi būti pasitelkti specialūs mišinio maišymo prietaisai.

Renkantis armuojančias įmaišas būtinas įvertinti šias savybes:

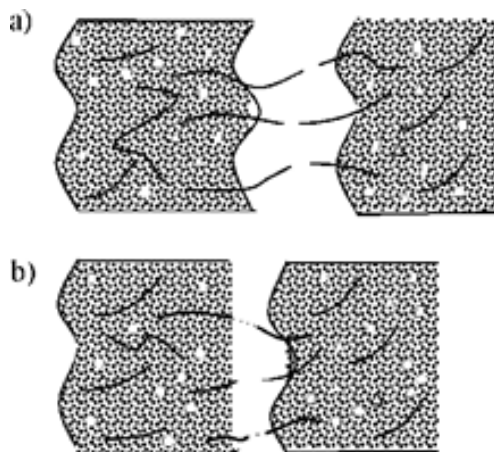
- poliakrilatiniai (ricem), stiklo plaušeliai didina kompozito tamprumą elastingumą ir stiprumą. Plaušelių stiprumas žymai didesnis už kompozito stiprumą (kompozito stipris 0,0037 GPa), todėl tinkamiausi iki 0,5 mm ilgio o paviršius specialiai paruoštas - rifliuotas;
- polipropileniniai plaušeliai yra mažo tankio, todėl maišymo metu galimas mišinio išsisluoksniavimas, be to mažas atsparumas šalčiui (iki -15 °C);
- celiulioziniai ir poliamidiniai plaušeliai turi hidrofilinių ir higroskopinių savybių, didelis tamprumo modulis, pakankamai atsparūs nuovargiui, gerai sukimba su rišamosiomis medžiagomis.

Rinkoje galima įsigyti įvairios cheminės sudėties armuojančių įmaišų, jos gaminamos 50-1000 μ m ilgių. Visi gamintojai bet plaušelių ilgio pateikia taip pat ir pagrindines jų savybes todėl kiekvienam konkrečiam mišiniui galim parinkti individualiai geriausiai tinkantį gaminį. Skirtingų armuojančių įmaišų plaušelių savybės lentelėje 1.10. [1].

1.10 lentelė. Pagrindinės plaušelių savybės

Plaušelių savybės	Plaušelių tipas ir cheminis pavadinimas				
	Stiklo	Poliakrilato Ricem	Celiuliozės Technocel	Poliamidas (neilonas)	Polipropilenas
Tankis, g/cm ³	2,55	1,18	1,1-1,3	1,1-1,3	0,91
Skersmuo, μ m	105-0	6-20	25	30-100	15-30
E modulis, GPa	88-700	>15	1,8-4,3	0,6-5,5	0,5-5,0

Stipris tempiant, GPa	2,0-3,5	0,6-1,0	0,02-0,50	0,3-0,7	0,2-0,5
Ribinės deformacijos tempiant, %	4,8-5,0	5-10	0,8-4,0	5-70	15-50



1.2 pav. Sintetinių plaušelių įtaka kompozito stiprumui: a - plaušeliai nutrūksta; b - plaušeliai deformuojasi, kompozitas dar nesuiręs

1.6. Apibendrinimas

Išanalizavus savaime išsilyginančių mišinių sudėtis bei sudedamąsias dalis nustatyta, kad tokiuose mišiniuose 65-90% mišinio sudaro rišamosios medžiagos ir užpildai. Likusi mišinio dalis – įmaišos leidžiančios pritaikyti cementinį mišinį prie reikiamų sąlygų bei pagerinti savybes, kuriomis pasižymi savaime išsilyginantys betono mišiniai. Tam, kad pasiekti tokias savybes yra naudojama nemažai įmaišų leidžiančių reguliuoti, rišimosi greitį, oro kiekį mišinyje, konsistenciją ir t.t. Pagrindinės rišamosios medžiagos naudojamos mišinyje yra portlandcementis, gipsas bei aluminatinis cementas. Pastaroji medžiaga yra brangi sudedamoji dalis dėl savo gamybos proceso tačiau ši medžiaga suvaldo susitraukimus mišinyje, todėl yra labai svarbus komponentas.

2. Savaime išsilyginančių mišinių sudedamosios dalys bei tyrimų metodikos.

2.1. Rišamosios medžiagos

Tyrimai buvo atliekami kuriant skirtingus receptus savaime išsilyginančiam mišiniui, varijuojant rišamosiomis medžiagomis. Kaip rišamosios medžiagos buvo naudojami šie produktai:

- Cementas CEM I;
- Cementas CEM III;
- Gipsas.

2.1.1. Cementas CEM I

CEM I buvo naudojamas baltas cementas SILBETA. Toks cementas tai ideali sudėtinė dalis ir betonams, iš kurių gaminamas grindinys ir plokštės, karnizai, dekoratyviniai paneliai, skulptūros, spalvoti glaistai siūlėms užpildyti ir t.t.

Techniniai duomenys

Tipas: CEM I 52.5 N

Stiprumo klase: 52,5

Atsparumas sulfatams: $C_3A - 4\%$

Šarmu kiekis: 0,1-0,3%

Malimas: 410 m²/kg, pagal Bleino metodą

Tankis ir kietėjimas

Medžiagos tankis: 3150 kg/m³

Skiedinio tankis: 1100 kg/m³

Rišimosi pradžia (EN 196-1): 120 min.

Sandėliavimo laikas: ~ 24 mėn.

2.1 lentelė. CEM I kietėjimo laikas

Kietėjimo laikas pagal EN 196-1	1 diena	2 dienos	7 dienos	28 dienos
Stipris, MPa	19	32	54	70

2.1.2. Cementas CEM III

Šlakinis cementas buvo naudojamas AB „Akmenės cementas” gamybos CEM III/B 32,5N-LH/SR sulfatams atsparus žematemperatūris šlakinis cementas. Toks cementas naudojamas statybinių medžiagų gamyboje kaip hidraulinė rišamoji medžiaga tinkavimo, mūrijimo skiediniams ir įvairiems betonams paruošti.[17]

Techniniai duomenys

Tipas: CEM III 32.5 N

Stiprumo klase: 32,5

Atsparumas sulfatams: $\text{SO}_3 < 4\%$

Šarmu kiekis: $< 2\%$

Tankis ir kietėjimas

Medžiagos tankis: 2750-3200 kg/m³

Rišimosi pradžia (EN 196-1): 75 min.

Sandėliavimo laikas: ~ 24 mėn.

Gniuždymo stipris: $\geq 32,5; \leq 52,5$

2.1.3. Gipsas

Gipsas buvo naudojamas gamintojo UAB SILBETA

Rišimosi laikas: 10 ± 2 min.

Likutis ant sieto nr. 0,2 mm - 6,2%.

Stiprumas lenkiant - 4,4 N/mm².

Stiprumas gniuždant - 7,2 N/mm²

2.2. Užpildai

2.2.1. Smėlis

Gaminant skirtingus mišinius buvo naudojamas tas pats užpildas siekiant ištirti įtaką daromą keičiant tik rišamąsias medžiagas. Užpildui buvo pasirinktas 0,0-0,4 mm frakcijos kvarcinis smėlis, papildomai prasijotas per tokios pačios frakcijos sieta prieš atliekant bandymus su sudėtimis.

2.3. Įmaišos

2.3.1. Celiuliozė

Celiuliozės eteris buvo naudojamas WALOCEL[™] MKS 10000 PF 60. Šis eteris sukurtas specialiai cemento pagrindu gaminamiems mišiniams tokiems kaip plytelių klijai ar pan. Cemento pagrindu pagamintiems mišiniams jis suteikia gerai subalansuotas savybes tokias kaip vandens sulaikymo trukmė.

Medžiaga sulaiko vandenį tuo ilgiau, kuo didesnės dalelės ją sudaro. Šis celiuliozės eteris yra gerai suderinamas su visomis įprastinėmis mineralinėmis ir organinėmis rišamosiomis medžiagomis.

2.3.2. Redispergatorius

Mišinyje redisperguojanti medžiaga buvo naudojama DOW[™] Latex Powder (DLP) 2000. Šis redispergatorius gali būti naudojamas daugelyje statybinių mišinių tam, kad pagerinti pagrindines gipso ar cemento pagrindu gaminamų produktų savybes. Ypatingai rekomenduojama šią medžiagą naudoti produktuose, kurie naudojimo metu yra veikiami didelių temperatūrinių ar mechaninių apkrovų.

2.3.3. Nuputintojas

Savaime išsilyginančio mišinio porų mažinimui naudojami nuputintinimo milteliai FOAMASTER PD 1. Ši medžiaga lengvai maišosi su visomis cementinių mišinių sudėtinėmis dalimis. Kadangi ši įmaiša sumažina burbuliukų susidarymą bei sukuria sąlygas pasišalinti susidariusiems oro burbuliukams galutinis produktas pasižymi mažesnėmis susitraukimo deformacijomis, mažesniu poringumu, bei kitomis aktualiomis neigiamomis savybėmis būdingomis cemento pagrindu gaminamiems mišiniams.

2.3.4. Superplastiklis

Bandant skirtingus mišinius buvo dedamas superplastiklis MIGHTY 21PSD. Ši medžiaga pagerina mišinio savybę savaime išsilyginti, reologines savybes bei sumažina reikiama vandens kiekį, reikalinga tešlai pagaminti.

2.4. Tyrimų metodikos

2.4.1. Bandinių maišymas

Bandinių maišymas buvo atliekamas automatine betono maišykle AUTOMIX 65-L0006/A, vengiant galimų neatitikimų, kiekvienas bandinys maišomas identišškai pagal standartą EN 196-1 „Cementas. Bandymo metodai. 1 dalis. Stiprumo (aktyvumo) nustatymas“.

Laikantis standarto reikalavimų visos mišinio sudedamosios dalys (cementas, užpildai, vanduo), naudojamos mišiniui, buvo kambario temperatūros. Maišymas išskirstomas į kelis etapus: į indą supilamas mišinys ir maišomas nedideliu greičiu 30s; įpilamas vanduo ir mišinys maišomas tokiu pačiu greičiu 30s; padidinamas maišyklės greitis ir maišymas tęsiamas dar 30s; maišymas sustabdomas 90s, mišinys esantis ant indo sienelių nuvalomas ir paskirstomas indo viduryje; mišinys maišomas dideliu greičiu dar 60s.

Toks maišymas užtikrina tolygų visų sudedamųjų dalių pasiskirstymą mišinyje, bei užtikrina reikiamą mišinio konsistenciją išvengiant gumulėlių susidarymo.

2.4.2. Bandinių kietinimas

Atlikus bandymus su skystu mišiniu likusi tešlos dalis paskirstoma į specialiai tam skirtas formas. Prieš įpilant mišinį formos gerai išvalomos ir sutepamos tepalu tam, kad sukietėjęs gaminys nepriliptų prie formos sienelių. Naudojamos formos matmenys 160mm x 40mm x 40mm tai atitinkanti standartą forma, kuria naudojantis galima pagaminti reikalingas prizmes stiprumo lenkiant bei stiprumo gniuždant bandymams atlikti.

Pagal ISO 554 maišymas bei bandymai atliekami esant $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ temperatūrai bei $(50 \pm 5) \%$ santykinei oro drėgmei. Tokiomis pačiomis sąlygomis bandiniai yra kietinami 28 paras iki juos bandant stiprumui lenkiant bei stiprumui gniuždant.



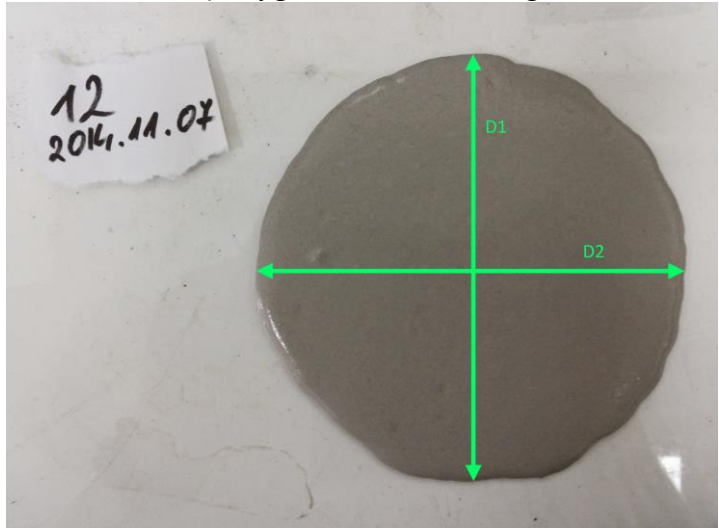
2.1 paveikslas. Maišykle AUTOMIX 65-L0006/A

2.4.3. Sklidumo bandymas

Bandymai atlikti vadovaujantis standartu LST EN 12706 „Klijai. Hidraulinio kietėjimo glaistų bandymo metodas. Sklidumo nustatymas.“

Eksperimentas atliekamas pripildant 30mm skersmens ir 50mm aukščio vamzdelį pastatytą ant lygaus, horizontalaus, stiklinio paviršiaus šviežiai sumaišytu mišiniu iki pat viršaus. Tik pripildžius vamzdelis atkeliamas vertikalia kryptimi nuo stiklo ant kurio jis pastatytas į 50 – 100mm aukštį per 2 sekundes, mišiniui leidžiama nutekėti nuo vamzdelio sienelių per 10 – 15 sekundžių. Mišiniui leidžiama laisvai pasklisti ne trumpiau kaip 4 minutes, po to matuojamas susidariusio tešlos blyno skersmuo dvejomis kryptimis (D1; D2 iliustracijoje). Pagal LST EN 13892-1 siekiant bandymo tikslumo toks bandymas kartojamas ne mažiau trijų kartų vienam mišiniui.

Lietuvos standartas LTS EN 13813 „Grindų išlyginamosios medžiagos ir besiulės grindys. Išlyginamosios medžiagos. Savybės ir reikalavimai“ sklidumo savaine išsilyginančioms medžiagoms neapibrėžia, tačiau darant bandymus buvo pastebėta, kad receptai, kurie pasklinda mažesniu negu 90mm skersmeniu neturi savybės išsilyginti. Tai buvo pastebėta formuojant prizmes stiprumo bei lenkimo bandymams.



2.2 paveikslas. Sklidumo bandymas

2.4.4. Stiprumo gniuždant bandymas



2.3 paveikslas. ZwickRoell presas

Bandymas buvo atliekamas pagal standartą LST EN 13892-2 „Grindų išlyginamųjų medžiagų bandymo metodai. 2 dalis. Lenkiamojo ir gniuždomojo stiprio nustatymas“. Bandymai atliekami su šešiais bandiniais likusiais po trijų prizmių bandymo stiprumui lenkiant patikrinti. Eksperimentai

atlikti naudojantis ZwickRoell presu atitinkančiu standartą EN 196-1. Preso viršutinė dalis

laisvai prisitaikanti prie bandinio pakrypimo, o apatinė dalis kildama spaudžia bandinį iki testo pabaigos. Kiekvienas bandinys padedamas taip, kad presas spaustų bandinių šoninius paviršius ir įspraudžiamas tarp dviejų metalinių plokštelių kurių matmenys 40 x 40 mm, o storis bent 10 mm. Apkrova spaudžia bandinį palaipsniui, be staigių jėgos šuolių iki kol bandinys suyra 2400 N/s greičiu. Didžiausias pasiektas gniuždomasis stipris apskaičiuojamas pagal formulę:

$$R_c = \frac{F_c}{A};$$

čia: F_c – didžiausia pasiekta apkrova, N; A – bandinio paviršiaus plotas, mm^2

Stiprumo gniuždant klasė turi būti žymimas raide C (ang. *Compression*) ir skaitmeniu žyminčiu gaminio stiprumą N/mm^2 pagal lentelę 1.1 [18]

2.4.5. Stiprumo bandymas lenkiant

Stiprumo lenkiant bandymas atliktas pagal standartą LST EN 13892-2 „Grindų išlyginamųjų medžiagų bandymo metodai. 2 dalis. Lenkiamojo ir gniuždomojo stiprio nustatymas“.

Remiantis standartu EN 13892-1 buvo suformuoti trys bandiniai stiprumui lenkiant patikrinti: 40 x 40 x 160mm matmens prizmės, išlietos specialiose formose, po 28 parų



2.4 paveikslas. Stiprumo bandymas lenkiant

kietėjimo prizmės buvo lenkiamos presu ZwickRoell atitinkančiu EN 196-1. Eksperimentas atliekamas bandinį padedant į presą tam pritaikytoje vietoje, kurioje jis remiasi dviem taškais savo apatine prizmės briauna ant besisukančių cilindų. Eksperimento eigoje bandinys veikiamas iš viršaus vertikalia kryptimi apkraunant bandinį ties jo viduriu tokiu pačiu besisukančiu cilindru iki tol, kol bandinys sulūžta pusiau. Apkrovos greitis 0,1 MPa/s. Didžiausias pasiektas stiprumas lenkiant apskaičiuojamas pagal formulę:

$$R_t = \frac{1,5F_f \cdot l}{bd^2} N/mm^2$$

Stiprumo lenkiant klasė turi būti žymimas raide F (ang. *Flexural*) ir skaitmeniu žyminčiu gaminio stiprumą N/mm^2 pagal lentelę 1.2 [18]

2.4.6. Rišimosi greičio nustatymas

Tešlos rišimosi greitis buvo nustatytas Viko prietaisu su strypeliu pagal LST EN 196-3. Rišimosi pradžia laikoma kai Viko prietaiso strypas po bandymo sustoja 6mm atstumu nuo cilindro dugno.

Bandymui atlikti buvo naudojamas Viko prietaisas su strypeliu, cilindrinis indas su mentele, laboratorinis peilis, svarstyklės, graduota menzūra, kūginis žiedas, stiklinė plokštelė.

Bandymo eiga. Viko prietaiso žiedas sutepamas tepalu ir pripildomas paruoštos tešlos iki kol žiedas būtų pilnas, o paviršius lygus.

Pripildytas tešlos cilindras padėtas ant stiklinės plokštelės padedamas po viko prietaiso strypeliu. Strypelis nuleidžiamas žemiau, iki tokio lygio, kad siektų tešlos viršų. Praėjus 4 min nuo bandymo pradžios, strypelis paleidžiamas smigti į tešlą. Po 30s arba strypeliui atsirėmus į dugną strypelis fiksuojamas.



2.5 paveikslas. Viko prietaisas

2.4.7. Tankis

Lietuvos standartas LST EN 13813 „Grindų išlyginamosios medžiagos ir besiulės grindys. Išlyginamosios medžiagos. Savybės ir reikalavimai“ tankio savaime išsilyginančioms medžiagoms neapibrėžia todėl tankis buvo lyginamas su kontroliniu bandiniu SAKRET NSP (3-20 mm), šiuo metu prieinamu rinkoje. Mokomojoje literatūroje sutinkamos rekomendacijos mažiausiam tokio tipo mišinio tankiui 1800 kg/m^3 . Tankis apskaičiuojamas praėjus 28 paroms po bandinių suformavimo.

3. Savaime išsilyginančių mišinių sudėčių tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

3.1. Sudėtys

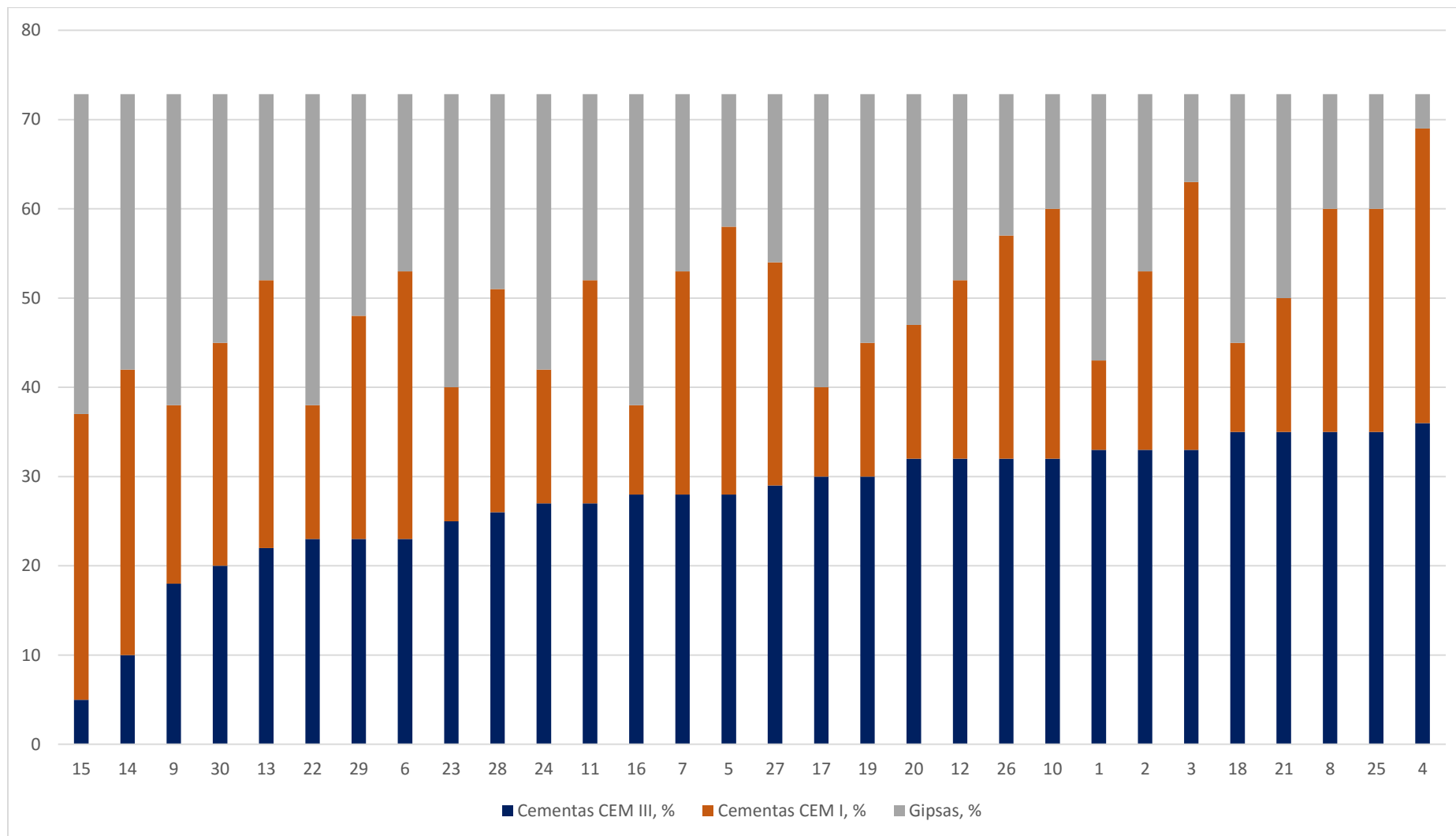
Siekiant patikrinti ar įmanoma pakeitus vieną pagrindinių savaime išsilyginančio mišinio sudėtinę dalį, pasiekti bent minimalių reikalavimų, keliamų tokiam gaminiui buvo sugeneruota 30 skirtingų receptų keičiant rišamųjų medžiagų proporcijas išlyginamajam mišiniui pagaminti. Užpildų bei priedų proporcijos išlaikytos pastovios tam, kad nenukentėtų tyrimo tikslumas. Receptai buvo generuojami atsižvelgiant į mokomojoje A. Naujokaičio knygoje pateiktas proporcijų rekomendacijas savaime išsilyginantiems mišiniams. Visos sudėtys pateiktos lentelėje 3.1.

3.1 lentelė. Naudotų sudėčių proporcijos

Eilės nr	Cementas CEM I, %	Cementas CEM III, %	Gipsas, %	Celiulio zė, %	Redispergatorius, %	Plastiklis, %	Smėlis, %	Nuputint ojas, %
Rekomenduojama	4-30	20-35	20-35	0,05-0,1	2,0-2,5	0,3-3	20-25	0,05-0,5
1	10	33	29,85	0,1	2	2	23	0,05
2	20	33	19,85	0,1	2	2	23	0,05
3	30	33	9,85	0,1	2	2	23	0,05
4	33	36	3,85	0,1	2	2	23	0,05
5	30	28	14,85	0,1	2	2	23	0,05
6	30	23	19,85	0,1	2	2	23	0,05
7	25	28	19,85	0,1	2	2	23	0,05
8	25	35	12,85	0,1	2	2	23	0,05
9	20	18	34,85	0,1	2	2	23	0,05
10	28	32	12,85	0,1	2	2	23	0,05
11	25	27	20,85	0,1	2	2	23	0,05
12	20	32	20,85	0,1	2	2	23	0,05
13	30	22	20,85	0,1	2	2	23	0,05
14	32	10	30,85	0,1	2	2	23	0,05
15	32	5	35,85	0,1	2	2	23	0,05
16	10	28	34,85	0,1	2	2	23	0,05
17	10	30	32,85	0,1	2	2	23	0,05
18	10	35	27,85	0,1	2	2	23	0,05
19	15	30	27,85	0,1	2	2	23	0,05
20	15	32	25,85	0,1	2	2	23	0,05
21	15	35	22,85	0,1	2	2	23	0,05

22	15	23	34,85	0,1	2	2	23	0,05
23	15	25	32,85	0,1	2	2	23	0,05
24	15	27	30,85	0,1	2	2	23	0,05
25	25	35	12,85	0,1	2	2	23	0,05
26	25	32	15,85	0,1	2	2	23	0,05
27	25	29	18,85	0,1	2	2	23	0,05
28	25	26	21,85	0,1	2	2	23	0,05
29	25	23	24,85	0,1	2	2	23	0,05
30	25	20	27,85	0,1	2	2	23	0,05

3.1 grafikas. Rišamųjų medžiagų pasiskirstymas mišiniuose



3.2. Sklidumo bandymo rezultatai

Atlikus bandymus užfiksuota 30 rezultatų, nepavykusių bandymu nebuvo. Kadangi Lietuvos standartas LTS EN 13813 „Grindų išlyginamosios medžiagos ir besiulės grindys. Išlyginamosios medžiagos. Savybės ir reikalavimai“ nenurodo normų, kurias reikia pasiekti sklidumo bandymu, gauti rezultatai lyginami su jau prieinamo rinkoje gaminio SAKRET NSP (3-20 mm) sklidumo bandymo rezultatais. Kontrolinio bandinio rezultatai pasiekti atliekant bandymus identiškomis sąlygomis bei įranga, todėl tikslumo nuokrypis minimalus.

3.2 lentelė. Sklidumo bandymo rezultatai

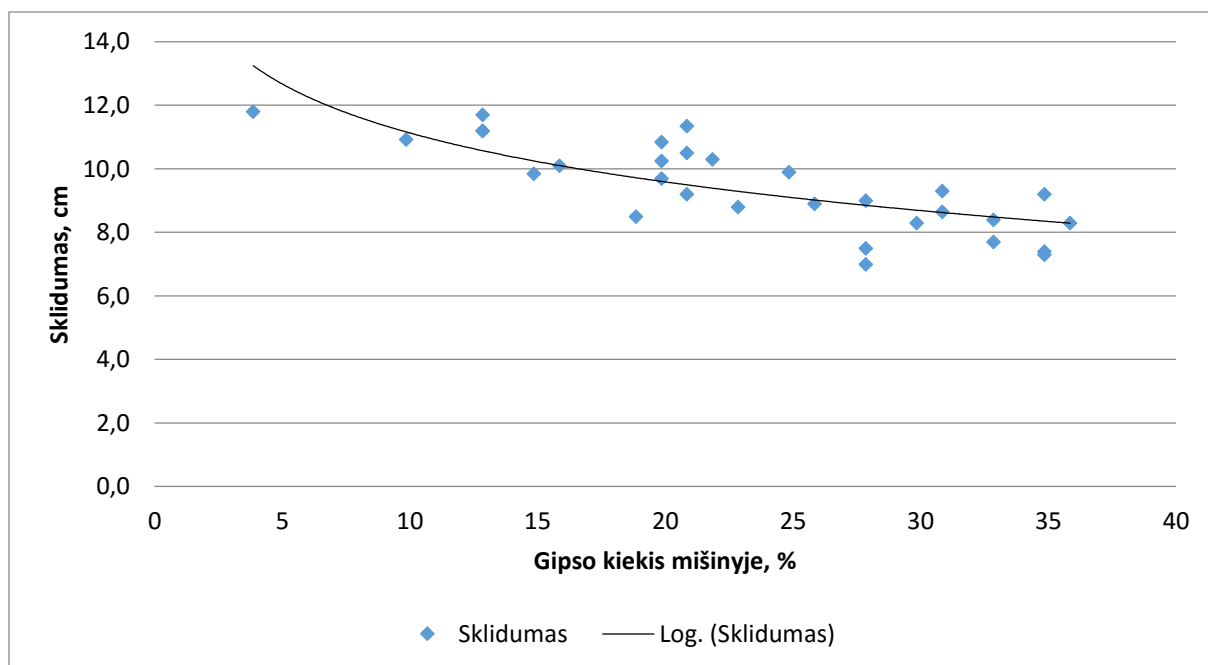
Bandinys	D1, cm	D2, cm	Vidurkis, cm	Skirtumas, cm	%
Sakret	11,2	11,1	11,2	0,0	0,0%
1	8,3	8,4	8,4	-2,8	-25,1%
2	10,9	11,0	10,9	-0,2	-2,0%
3	11,0	11,0	11,0	-0,2	-2,1%
4	11,8	11,8	11,8	0,7	5,8%
5	9,9	9,7	9,8	-1,4	-12,3%
6	10,3	10,3	10,3	-0,9	-7,8%
7	9,7	9,9	9,8	-1,4	-12,1%
8	11,2	11,2	11,2	0,1	0,4%
9	9,2	9,3	9,3	-1,9	-17,0%
10	11,7	11,6	11,7	0,5	4,5%
11	9,2	9,2	9,2	-2,0	-17,5%
12	11,4	11,5	11,4	0,3	2,5%
13	10,5	10,3	10,4	-0,7	-6,7%
14	8,7	8,7	8,7	-2,5	-22,2%
15	8,3	8,4	8,4	-2,8	-25,1%
16	7,3	7,3	7,3	-3,9	-34,5%
17	8,4	8,4	8,4	-2,8	-24,7%
18	7,5	7,5	7,5	-3,7	-32,7%
19	7,0	7,1	7,1	-4,1	-36,8%
20	8,9	9,0	9,0	-2,2	-19,7%
21	8,8	8,8	8,8	-2,4	-21,1%
22	7,4	7,5	7,5	-3,7	-33,2%
23	7,7	7,6	7,7	-3,5	-31,4%
24	9,3	9,5	9,4	-1,8	-15,7%
25	11,2	11,2	11,2	0,1	0,4%
26	10,1	10,0	10,1	-1,1	-9,9%
27	8,5	8,5	8,5	-2,7	-23,8%
28	10,3	10,3	10,3	-0,8	-7,6%
29	9,9	9,8	9,9	-1,3	-11,7%

30	9,0	9,0	9,0	-2,2	-19,3%
----	-----	-----	-----	------	--------

Gavus rezultatus pastebėta, kad 6 bandinių pasiektas rezultatas skiriasi nuo kontrolinio SAKRET bandinio 5% ar mažiau, 5 bandinių pasiektas rezultatas viršija kontrolinio bandinio rezultatą parodydamas geresnį sklidumą, atliekant šių bandinių vizualinę kontrolę nepastebimas mišinio sluoksniavimasis būdingas labai sklidiems gaminiams. Mažiau nei 90mm sklidumas pasiektas su 12 bandinių, vėliau šiais bandiniais pildant prizmes sekančiam bandymui atlikti pastebėta, kad mišiniai neturi savybes išsilyginti, ant paviršiaus atsiradę nelygumai perpilinėjant mišinį lieka, ir sukietėja. Sklidumas besiskiriantis nuo kontrolinio bandinio 5-20% pasiektas su 12 bandinių, tiriant šių receptų sklidumą pastebėta, kad jie išlaiko savybę savaime išsilyginti, tačiau pasklinda mažiau nei kontrolinis bandinys.

Pasiekti rezultatai rodo, kad 18 iš bandytų sudėčių t.y. 60% turi savybę savaime išsilyginti ir gali būti tinkamos naudojimui pagal paskirtį jei atitiks keliamus reikalavimus stiprumo gniuždant bei stiprumo lenkiant bandyme. Likusi dalis t.y. 40% rezultatų pasklinda mažiau nei 90mm ir praranda savybę savaime išsilyginti. Pastebėta, kad receptuose, kurie pasklinda mažiau nei 90mm gipsas, kuris yra viena iš rišamųjų mišinio dalių, sudaro daugiau nei 20% mišinio dalies.

3.1 paveikslas. Sklidumo priklausomybė nuo gipso kiekio mišinyje*



*Sklidumo badymai atlikti išlaikant tą patį vandens kiekį mišiniuose bei tokią pačią rišamųjų medžiagų procentinę dalį mišinio atžvilgiu.

Palyginus sklidumo rezultatus su mišinių sudėtimis pastebėta tendencija, kad didėjant gipso kiekiui mišinyje mažėja mišinio savybė laisvai pasklisti. Ši priklausomybė apibūdinama formule:

$$y = -2,222\ln(x) + 16,243$$

Tokią priklausomybę galima paaiškinti gipso rišimosi greičiu, kadangi laikas praėjęs nuo pirmo gipso sąlyčio su vandeniu iki sklidumo bandymo pabaigos yra apie 20 minučių, todėl gipsas pradeda rištis ir mažina mišinio savybę laisvai sklirti, o taip pat ir savaime išsilyginti.

Rišimosi pradžios ir pabaigos laikas priklauso nuo pushidratinio dalelių smulkumo, cheminių priedų ir žaliavų mineralinės sudėties. Pushidratinių gipsų rišimosi pradžia įvyksta ne anksčiau kaip greitai kietėjančiam kaip 2 min., normaliai kietėjančiam - 6 min., o lėtai kietėjančiam ne mažiau kaip - 20 min. [1]

Gipso rišimosi problemą galima spręsti naudojant įmaišas stabdančias šį procesą, vadinamuosius rišimosi lėtiklius, tokios įmaišos sukuria sąlygas kontroliuoti mišinio rišimosi trukmę. Rišimosi lėtikliai veikia stabdydami gipso tirpimo procesą dėl šios priežasties pailgėja laiko tarpas reikalingas mišiniui susirišti. Toks priedas galėtų padėti padidinti savaime išsilyginančio mišinio sklidumą jei tokiam mišinyje reikia naudoti didesnę dalį greitai bepradedančio rištis gipso.

Didžiausią sklidumą (≥ 11 cm) pavyko pasiekti su šešiomis sudėtimis, penkiose iš šių sudėčių gipso dalis $< 14\%$ ir vienoje 21% . Palyginimui kontrolinis bandinys SAKRET NSP (3-20 mm) pasiekia sklidumą 11,2cm.

3.3. Stiprumo lenkiant bandymo rezultatai

Atlikus stiprumo lenkiant bandymą gauta 90 rezultatų, nepavykusių bandymų nebuvo. Pagal Lietuvos standartą LST EN 13813 „Grindų išlyginamosios medžiagos ir besiulės grindys. Išlyginamosios medžiagos. Savybės ir reikalavimai“ gauti rezultatai skirstomi į klases. Pagal kiekvieno konkretaus renovuojamo ar statomo objekto naudojimo specifiką parenkami reikiamos klasės mišiniai. Tarptautinė asociacija EFNARC, kuriai priklauso tokios kompanijos kaip Sika Services AG (Šveicarija); UTT Mapei (Italija); CIFA SpA (Italija); Putzmeister Iberica SA (Ispanija) ir t.t. rekomenduojama stiprumo lenkiant klasė, pagal EN 13892-2, savaime išsilyginančiam betonui yra $\geq F5$.

Bandymas atliktas taip pat ir su sklidumo bandyme naudotu kontroliniu mišiniu SAKRET NSP (3-20 mm). Gauti bandomųjų mišinių rezultatai lyginami su kontroliniu bandiniu.

3.3 lentelė. Stiprumo lenkiant bandymo rezultatai.

Bandinys	Bandymas Nr1, N/mm ²	Bandymas Nr2, N/mm ²	Bandymas Nr3, N/mm ²	Vidurkis, cm	Skirtumas, cm	%	Klasė
Sakret	2,82	2,99	2,90	2,90	0,00	0%	F2
1	4,38	4,53	4,49	4,47	1,57	35%	F4
2	4,50	4,59	4,53	4,54	1,64	36%	F4
3	4,09	4,21	4,14	4,15	1,25	30%	F4
4	4,41	4,56	4,49	4,49	1,59	35%	F4
5	4,27	4,52	4,40	4,40	1,50	34%	F4
6	3,23	3,16	3,15	3,18	0,28	9%	F3
7	3,59	3,50	3,59	3,56	0,66	19%	F3
8	5,07	4,98	5,02	5,02	2,12	42%	F5
9	4,19	4,03	4,11	4,11	1,21	29%	F4
10	4,91	4,99	4,94	4,95	2,05	41%	F4
11	4,61	4,67	4,73	4,67	1,77	38%	F4
12	4,25	4,22	4,22	4,23	1,33	31%	F4
13	3,91	3,78	3,86	3,85	0,95	25%	F3
14	3,52	3,22	3,58	3,44	0,54	16%	F3
15	2,97	3,00	3,01	2,99	0,09	3%	F2
16	4,19	4,28	4,18	4,22	1,32	31%	F4
17	5,01	5,14	5,08	5,08	2,18	43%	F5
18	4,81	4,97	4,98	4,92	2,02	41%	F4
19	2,12	2,01	2,08	2,07	-0,83	-40%	F2
20	3,55	3,56	3,54	3,55	0,65	18%	F3
21	5,97	6,00	6,01	5,99	3,09	52%	F5
22	6,32	6,40	6,47	6,40	3,50	55%	F6
23	5,10	5,15	5,05	5,10	2,20	43%	F5
24	4,23	4,01	4,16	4,13	1,23	30%	F4
25	3,50	3,31	3,43	3,41	0,51	15%	F3
26	5,25	5,17	5,23	5,22	2,32	44%	F5
27	5,37	5,39	5,44	5,40	2,50	46%	F5
28	6,30	6,44	6,38	6,37	3,47	54%	F6
29	6,66	6,48	6,63	6,59	3,69	56%	F6
30	4,39	4,46	4,49	4,45	1,55	35%	F4

Išanalizavus bandymo rezultatus pastebėta, kad 97% bandinių savo stiprumu lenkiant viršija kontrolinio bandinio SAKRET stiprumą lenkiant. Tik 3% bandytų sudėčių t.y. vienas receptas pasiekė mažesnę stiprį lenkiant nei kontrolinis bandinys kurio stipris lenkiant 2,90 N/mm², tačiau visos bandytos sudėtys pakliuvo į tą pačią F2 ar aukštesnę stiprumo lenkiant klasę pagal EN 13892-2 negu kontrolinis gaminy.

Stiprumo klasę F5 atitiko 9 iš bandytų mišinių t.y. 30%, o 3 t.y. 10% iš jų net pakliuvo į F6 klasę pasiekdami aukštesnę negu 6 N/mm² stiprumą lenkiant. Palyginus rezultatus su

rišamųjų medžiagų proporcijomis matyti, kad 5 iš 9 kartų sudėtyse nr.: 8; 26; 27; 28; 29 pasiekiamas F5 ar didesnės klasės stiprumas lenkiant tuo atveju, kai CEM I santykis su likusiomis rišamosiomis medžiagomis yra 0,52 t.y. kai CEM I sudaro 30% visų rišamųjų medžiagų.

3.2 paveikslas. Stiprumo lenkiant rezultatai.



3.4. Stiprumo gniuždant bandymo rezultatai

Atlikus stiprumo gniuždant bandymą gauta 180 rezultatų, nepavykusių bandymų nebuvo. Pagal Lietuvos standartą LST EN 13813 „Grindų išlyginamosios medžiagos ir besiulės grindys. Išlyginamosios medžiagos. Savybės ir reikalavimai“ gauti rezultatai skirstomi į klases. Pagal kiekvieno konkretaus renovuojamo ar statomo objekto naudojimo specifiką parenkami reikiamos klasės mišiniai.

3.4 lentelė. Stiprumo gniuždant bandymo rezultatai.

Bandi nys	Bandy mas Nr1, MPa	Bandy mas Nr2, MPa	Bandy mas Nr3, MPa	Bandy mas Nr4, MPa	Bandy mas Nr5, MPa	Bandy mas Nr6, MPa	Vidur kis	Skirt umas	%	Klas ė
Sakret	24,9	22,1	24,2	23,1	24,6	25,3	24,0	0,0	0%	C20
1	35,3	35,2	33,6	36,0	35,5	35,7	35,2	11,2	32%	C35
2	34,6	35,8	33,6	34,5	34,4	35,0	34,7	10,6	31%	C30
3	37,0	36,7	37,6	37,2	37,8	36,5	37,1	13,1	35%	C35
4	35,3	34,6	34,8	35,3	35,6	35,5	35,2	11,2	32%	C35
5	25,0	25,8	23,8	24,9	25,3	25,0	25,0	0,9	4%	C25
6	13,9	19,8	18,6	18,8	19,0	18,6	18,1	-5,9	-33%	C16
7	20,4	19,9	21,0	20,5	20,3	19,8	20,3	-3,7	-18%	C20

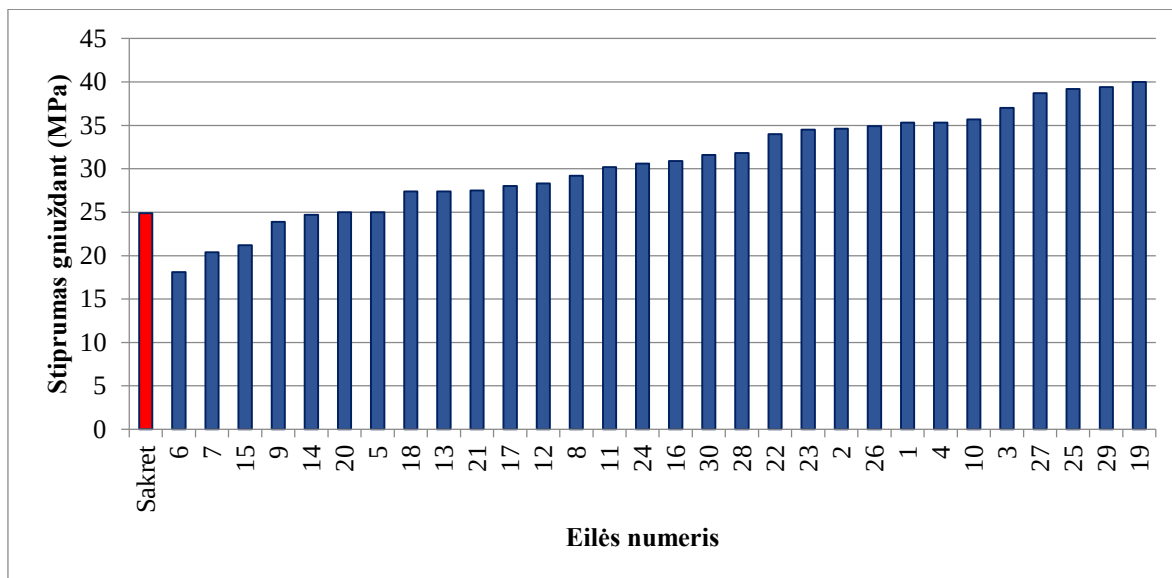
8	29,2	28,2	30,1	29,9	29,1	28,7	29,2	5,2	18%	C25
9	23,9	23,1	24,1	24,3	23,7	24,2	23,9	-0,2	-1%	C20
10	35,7	35,1	33,2	35,9	35,8	35,5	35,2	11,2	32%	C35
11	30,2	29,2	28,3	32,6	31,0	30,2	30,3	6,2	21%	C30
12	28,3	31,4	27,8	28,0	27,9	28,2	28,6	4,6	16%	C25
13	27,4	28,3	27,5	26,7	27,1	27,5	27,4	3,4	12%	C25
14	24,7	23,6	23,7	25,5	25,6	24,9	24,7	0,6	3%	C20
15	21,2	21,0	22,3	20,7	21,0	20,8	21,2	-2,9	-14%	C20
16	30,9	31,3	30,7	30,1	32,1	30,6	31,0	6,9	22%	C30
17	28,0	27,4	27,8	28,7	29,8	26,9	28,1	4,1	14%	C25
18	27,4	25,1	26,3	28,6	28,5	27,6	27,3	3,2	12%	C25
19	40,0	40,3	40,6	40,2	39,7	40,5	40,2	16,2	40%	C40
20	24,5	23,2	23,6	24,7	24,8	25,0	24,3	0,3	1%	C20
21	27,5	28,0	29,2	27,0	26,8	27,0	27,6	3,6	13%	C25
22	34,0	33,1	35,3	34,7	34,1	33,2	34,1	10,0	29%	C30
23	34,5	33,6	35,7	35,3	34,1	33,8	34,5	10,5	30%	C30
24	30,6	28,7	29,2	31,0	30,8	31,3	30,3	6,2	21%	C30
25	39,2	40,1	38,8	39,7	39,0	39,1	39,3	15,3	39%	C35
26	34,9	36,2	35,7	33,3	34,6	34,9	34,9	10,9	31%	C30
27	38,7	37,3	37,2	38,9	39,6	39,8	38,6	14,6	38%	C35
28	31,8	27,4	32,2	30,6	30,5	32,7	30,9	6,8	22%	C30
29	39,4	38,3	39,5	40,1	39,8	39,3	39,4	15,4	39%	C35
30	31,6	32,7	31,2	30,8	31,5	32,0	31,6	7,6	24%	C30

Pagal EFNARC rekomenduojama stiprumo gniuždant klasė, pagal EN 13892-2, savaime išsilyginančiam betonui yra $\geq$ C20.

Išanalizavus bandymo rezultatus pastebėta, kad 80% bandinių savo stiprumu gniuždant viršija kontrolinio bandinio SAKRET stiprumą gniuždant. Tik 20% bandytų sudėčių t.y. šeši receptai pasiekė mažesnę stiprį gniuždant nei kontrolinis bandinys kurio stipris gniuždant 24,9 MPa, tačiau 97% bandytų sudėčių pakliuvo į tą pačią C20 ar aukštesnę stiprumo gniuždant klasę pagal EN 13892-2:2003 negu kontrolinis gaminy.

Lyginant gautus bandymų rezultatus su naudotomis rišamųjų medžiagų proporcijomis pastebimas mišinių stiprumo gniuždant pokytis didėjant rišamosios medžiagos CEM III procentiniai daliai mišinyje. Pastebima, kad mišiniai, kuriuose šlakinis cementas sudaro mažesnę negu 20% dalį nepasiekia didesnės kaip C20 stiprumo gniuždant klasės. Priešingai, mišiniai, kurių šlakinio cemento procentinė dalis yra didesnė negu 28% pasiekia ne mažesnę, kaip C25 stiprumo gniuždant klasę.

3.3 paveikslas. Stiprumo gniuždant rezultatai.



3.5. Bandinių rišimosi trukmė

Atlikus sklidumo, stiprumo gniuždant bei stiprumo lenkiant bandymus nustatyta, kad pakeičiant aliuminatinį cementą šlakiniu cementu galima pasiekti panašių ar net geresnių stipruminių rodiklių. Tačiau, kas liečia, vieną iš didžiausių savaime išsilyginančio grindų mišinio privalumų – rišimosi bei kietėjimo greitį, čia suprojektuoti mišiniai akivaizdžiai nusileidžia rinkoje prieinamam SAKRET NSP (3-20 mm) mišiniui. Atlikus rišimosi greičio bandymus Viko prietaisu nustatyta kad mišiniai pradeda rištis po 2-3 valandų, tuo tarpu kontrolinis bandinys rištis pradeda per 30 minučių, o kaip deklaruoja gamintojas ant tokiu mišiniu išlygintų grindų vaikščioti galima jau po 4 valandų.

3.5 lentelė. Rišimosi pradžios eksperimento rezultatai.

Eilės nr.	Strypelio atstumas nuo stikline plokštelės, mm								
	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h
25	0	3	4	7	10	13	17	22	25
8	0	2	3	6	9	12	16	20	24
12	0	3	6	9	12	15	21	25	29
10	0	2	5	8	11	13	18	23	26
4	0	2	4	7	11	14	18	21	25

Esant šiai problemai toks mišinys būtų nekonkurencingas rinkoje ir neaktualus daugumai jį naudojančių statybų rangovų, kadangi statybos aikštelėje statymo trukmė yra vienas tokių procesų, kurį stengiamasi sutrumpinti telkiantis tiek naujausias technologijas, tiek moderniausias statybines medžiagas bei įrankius. Trumpesnė statybos procesų trukmė leidžia

sutaupyti finansinių išteklių bei pagreitinti bendrą statybos trukmę. Esant tokiai laiko svarbai netgi mažesnė gaminio savikaina nepadaro jo patraukliu ar konkurencingu rinkoje.

Rišimosi greitį galima padidinti naudojant specialias įmaišas, kurios ne tik pagreitina rišimąsi bet ir leidžia mišiniui greičiau pasiekti reikiamą stiprumą pirmosiomis hidratacijos valandomis reikalingą pirminiam gaminio naudojimui. Rišimosi greiti taip pat galima padidinti varijuojant rišamųjų medžiagų proporcijomis, naudojant daugiau portlandcemenčio CEM I bei gipso mišinio rišimosi laikas sumažėtų.

Atlikti stiprumo tikrinimo eksperimentai rodo, kad stiprumas gniuždant bei stiprumas lenkiant žymiai viršija kontrolinio bandinio stiprumo rodiklius, todėl galima daryti prielaidą, kad naudojant mažiau rišamųjų medžiagų, pakeičiant jas užpildu bei rišimosi ir kietėjimo greitikliais galima būtų gauti bandinį su savybėmis panašesnėmis į kontrolinį bandinį SAKRET.

3.6. Sukurtų sudėčių kainų palyginimas

Išanalizavus atliktų bandymų rezultatus matyti, kad pakeitus vieną pagrindinių ir daugiausiai kainuojančių rišamųjų medžiagų – aluminatinį cementą savaime išsilyginančių mišinių sudėtyje gerokai pigesne rišamąja medžiaga – šlakiniu cementu, galima pasiekti panašų stiprumą lenkiant, stiprumą gniuždant bei sklidumą. Tačiau yra gerai žinoma, kad be savo gerųjų savybių tokių kaip itin greitas kietėjimas, atsparumas karščiui ar agresyviame vandeniui aluminatinis cementas yra itin brangi rišamoji medžiaga. Savaime išsilyginančiuose mišiniuose aluminatinis cementas užima ~30% sudėties, todėl galutinio produkto kaina labai stipriai priklauso nuo šios medžiagos vertės. Aluminatinis cementas yra brangus dėl savo gamybos technologijos specifikos, tam, kad gauti reikiamas savybes yra specialiai lydoma įkrova tam skirtose krosnyse, vėliau aušinama ir dedama į cementą. Toks procesas yra pakankamai daug laiko užtrunkantis sudėtingas technologiškai ir reikalaujantis didelių investicijų.

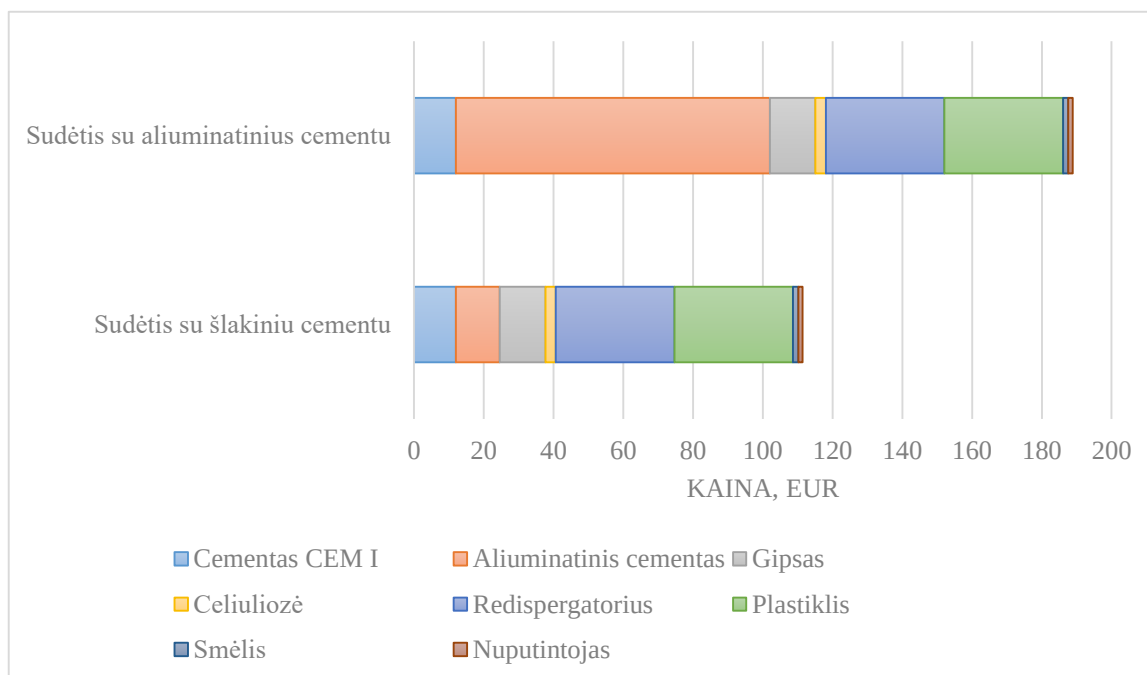
Kitaip nei aluminatinis cementas šlakinis cementas yra gaminamas malant atlikusius aukštakrosnių šlakus. Tokiam cementui pagaminti suvartojama daug mažiau energijos bei specialių žaliavų taip išlaikant žemą cemento savikainą. Nepaisant to, kad šio cemento gamyba yra kur kas paprastesnė šlakinis cementas pasižymi labai geromis savybėmis, tokiomis kaip atsparumas sulfatų ir chloridų tirpalų poveikiui, didelis vandens nepralaidumas atsparumas karščiui. Naudojant šlakinį cementą kaip aluminatinio cemento pakaitalą savaime išsilyginančių mišinių sudėtyje jis užima tokią pat dalį mišinio sudėties ~30% ir turi panašią įtaką galutinio produkto savikainai, kaip ir naudojamas aluminatinis cementas.

Dėl savo paprastesnės gamybos technologijos bei pigesnių žaliavų šlakinis cementas yra kur kas pigesnis nei plačiai savaime išsilyginantiems mišiniams gaminti naudojamas aluminatinis cementas. Atlikus savarankišką rinkos analizę išaiškėjo, kad 2015 metais rinkoje tona šlakinio cemento kainavo vidutiniškai 42EUR tuo tarpu aluminatinio cemento kaina 2015 metais vidutiniškai siekė 300EUR. Lyginant tipines sudėtis toks kainų skirtumas leidžia galutini gaminį atpiginti 1,69 karto, kainų palyginimas pateikiamas 3.5 lentelėje.

3.6 lentelė. Tipinių sudėčių kainų palyginimas.

Medžiaga	Dalis mišinyje, %	Vidutinė kaina, EUR/t	Kaina mišinyje, EUR	
Cementas CEM I, %	15	80	12,00	12,00
Aluminatinis cementas	30	300		90,00
Cementas CEM III, %	30	42	12,60	
Gipsas, %	27,85	47	13,09	13,09
Celiuliozė, %	0,1	3000	3,00	3,00
Redispergatorius, %	2	1700	34,00	34,00
Plastiklis, %	2	1700	34,00	34,00
Smėlis, %	23	6,5	1,50	1,50
Nuputintojas, %	0,05	2500	1,25	1,25
VISO:			111,43	188,83

3.4 paveikslas. Sudėčių kainų palyginimas.



Įvertinant cemento dalį savaime išsilyginančio betono mišinyje ir 2015m. rinkos kainas apskaičiuota, kad pakeitus aliuminatinį cementą šlakiniu cementu galima pasiekti 41% žemesnę tonos gaminio savikainą. Savikainų skirtumai buvo lyginami tarp tipinių savaime išsilyginančių mišinių sudėčių, todėl tikslus savikainų skirtumas gali skirtis priklausomai nuo konkrečiai lyginamų mišinių keičiamos rišamosios medžiagos kiekio mišinyje.

Išvados

- 1 Nustatius savaime išsilyginančio mišinio tipinę sudėtį paaiškėjo, kad 65-90% mišinio sudaro rišamosios medžiagos ir užpildai. Likusi mišinio dalis – įmaišos leidžiančios pritaikyti cementinį mišinį prie reikiamų sąlygų bei pagerinti savybes, kuriomis pasižymi savaime išsilyginantys betono mišiniai.
- 2 Atliekant sklidumo bandymus, varijuojant suprojektuotose savaime išsilyginančių betono mišinių sudėtyse rišamosiomis medžiagomis nustatyta, kad iš rišamųjų medžiagų, mišinio sklidumą labiausiai įtakoja gipso kiekis jame ir kinta pagal priklausomybę $y = -2,222\ln(x) + 16,243$. Penkios iš trisdešimties sudėčių pasklinda geriau negu kontrolinis bandinys SAKRET NSP (3-20 mm), likusios sudėtys nepasiekia tokio pat sklidumo kaip kontrolinis bandinys.
- 3 Pagal stipruminių bandymų rezultatus matyti, kad daugiau negu 95% suprojektuotų sudėčių parodo tą pačią (C20) arba geresnę stiprumo gniuždant klasę pagal EN 13892-2:2003. Taip pat nustatyta, kad 83,3% suprojektuotų mišinių pasiekia didesnę faktinį stiprumą negu kontrolinio bandinio – 24,9MPa.
- 4 Kadangi mišinius sudaro net 73% rišamųjų medžiagų, todėl atlikus bandymus lenkiant rezultatai rodo, kad tik viena iš trisdešimties suprojektuotų sudėčių pasiekia mažesnę stiprumą lenkiant negu kontrolinis bandinys SAKRET NSP (3-20 mm). Todėl tokios sudėtys tinkamos naudoti dideles apkrovas patiriančioms grindims.
- 5 Atlikti tyrimai parodo, kad aliuminatinio cemento mišinyje pakeitimas yra įmanomas, tačiau, suprojektuoti mišiniai pradeda rištis tik po 2-3 valandų, tuo tarpu kontrolinis bandinys rištis pradeda per 30 minučių, o kaip deklaruoja gamintojas ant tokiu mišiniu išlygintų grindų vaikščioti galima jau po 4 valandų.
- 6 Įvertinant 2015m. rinkos kainas apskaičiuota, kad pakeitus aliuminatinį cementą šlakiniu cementu galima pasiekti apie 41% žemesnę gaminio savikainą.

4. Naudota literatūra

- 1 Algimantas Naujokaitis „Statybinės medžiagos. Sausieji statybiniai mišiniai“ Mokomoji knyga. Vilnius „Technika“ 2010.
- 2 Hayakawa, M., Matsuoka, Y. Shindoh, T., „Development and Application of Superworkable Concrete. Proceedings of an International RILEM Workshop on Special Concrete: Workability and Mixing“ 1993. University of Paisley Scotland.
- 3 Juozas Deltuva, Vitoldas Vaitkevičius. „Statybinių nerūdinių medžiagų gavyba, perdirbimas ir naudojimas“. KTU leidykla „Technologija“. 2006
- 4 Scott, Allan N .; Thomas, Michael D. A. (January/February 2007). "Evaluation of Fly Ash From Co-Combustion of Coal and Petroleum Coke for Use in Concrete". ACI Materials Journal (American Concrete Institute)
- 5 Zimmer, F. V. (1970). "Fly Ash as a Bituminous Filler". Proceedings of the Second Ash Utilization Symposium
- 6 D. Nagrockienė, R. Žurauskienė. Statybinės medžiagos ir jų gaminiai. Vilnius: Technika. 2008
- 7 R. Žurauskienė, A.P. Naujokaitis, R. Mačiulaitis, R. Žurauskas. Statybinės medžiagos. Vilnius: Technika. 2012
- 8 Ernestas Ivanauskas, Algirdas Augonis, Ramūnas Gečys, Vitoldas Vaitkevičius. „Statybinių medžiagų laboratoriniai darbai“. Vilniaus pedagoginio universiteto leidykla. 2011
- 9 Distler D. Wassrige Polymerdispersionen Wiley-VCH, Weinheim, 1999
- 10 Henning O., Knöfel D. Baustoffchemie, 4. Wiesbaden/Berlin, Bauferlag GmbH, 1994
- 11 Naujokaitis A. Statybinės medžiagos. Betonai. Vilnius: Technika, 2007
- 12 Martusevičius M., Kaminskas R., Mituzas R. Rišamųjų medžiagų cheminė technologija. Kaunas, Technologija, 2002
- 13 Prieiga per internetą: <http://www.construction-polymers.basf.com> žiūrėta 2014-01-14
- 14 Egidijus Vilimas. CEMENTO TIPO ĮTAKA BETONO SAVYBĖMS. 14-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ 2011 metų teminės konferencijos straipsnių rinkinys.
- 15 „Cement and Concrete Terminology“, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2000.

- 16 „Ground Granulated Blast-Furnace Slag as a Cementitious Constituent in Concrete“
American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1995
- 17 Yahia, A.; Tanimura, M.; Shimoyama, Y. Rheological properties of highly flowable mortar containing limestone filler-effect of powder content and W/C ratio, *Cement and Concrete Research*, 35, 2005, p. 532-539.
- 18 Cemento saugos lapas 1397-CPD-0073 Pagal REACH reglamentą (EB) Nr.1907/2006 ir reglamentą (EB) Nr.453/2010 Peržiūrėta versija: 2.0/LT
- 19 LST EN 13813:2002 “Grindų išlyginamosios medžiagos ir besiūlės grindys. Išlyginamosios medžiagos. Savybės ir reikalavimai” prieiga per internetą <http://www.lsd.lt/standards/catalog.php?ics=0&pid=607419>
- 20 STR 2.05.13:2004 „STATINIŲ KONSTRUKCIJOS. GRINDYS prieiga per internetą “http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=230957&p_query=&p_tr2=
- 21 Statybos inžinieriaus žinynas. Lietuvos statybos inžinierių sąjunga. Vilnius: Technika, 2004, 1095 p.
- 22 Ефремов, И. Ф. Успехи химии. Том. 51, Но. 2, 1982, 285 с.
- 23 Puertas, F.; Santos, H.; Palacios, M.; Martinez-Ramirez, S. Polycarboxylate superplasticizer admixtures: effect on hydration, microstructure and rheological behavior in cement pastes. *Advances in Cement Research*, 2005, 17, No. 2, April, 77-89.
- 24 LST EN 196-3. Cemento bandymo metodai. 3 dalis. Rišimosi trukmių ir tūrio pastovumo nustatymas