



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS**

Dainius Astrauskas

**NUOTEKŲ DUMBLO UTILIZAVIMO BETONUOSE
TYRIMAI**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Ernestas Ivanauskas

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS
STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas
Doc. dr. V. Vaitkevičius

NUOTEKŲ DUMBLO UTILIZAVIMO BETONUOSE
TYRIMAI

Baigiamasis magistro projektas
Statybos inžinerija (621H2001)

Vadovas

Doc. dr. Ernestas Ivanauskas

Recenzentas

Darbą atliko

Dainius Astrauskas

KAUNAS, 2015

**PARENGTO BAIGIAMOJO DARBO SAVARANKIŠKUMO
PATVIRTINIMAS**

Patvirtinu, kad parengtas magistro baigiamasis darbas
„Nuotekų dumblo utilizavimo betonuose tyrimai“

- atliktas savarankiškai ir nebuvo kaip visuma pateiktas jokiame dėstomajame dalyke 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.

2015-05-21

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS
STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA

Magistro baigiamasis darbas

NUOTEKŲ DUMBLO UTILIZAVIMO BETONUOSE TYRIMAI

Dainius Astrauskas

Nuotekų dumblo utilizavimas yra viena didžiausių šių laikų problemų. Dideli jo kiekiai yra sandėliuojami nuotekų valyklose, tačiau sandėliavimui reikia daug vietos. Šiame darbe buvo atlikti tyrimai panaudoti dumblą cementiniuose gaminiuose keičiant juo dalį cemento. Nuotekų dumblas buvo degtas 950°C temperatūroje, o paskui susmulkintas. Dumblo pelenais buvo keičiama iki 20% cemento masės. Su suformuotais bandiniais buvo atliekami gniuždymo stiprio, vandens įgėrio ir bandinių poringumo nustatymo bandymai, reologinių savybių tyrimai, EDS analizė. Tyrimai parodė, kad didinant nuotekų dumblo pelenų kiekį bandinių stipris mažėja, tačiau mažiau nei pakeičiama cemento dalis.

Reikšminiai žodžiai: nuotekų dumblas, pelenai, betonai, cementinis akmuo, poringumas, gniuždymo stipris.

KAUNAS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE FACULTY
BUILDING MATERIAL DEPARTMENT

Master final work

SEWAGE SLUDGE UTILIZATION IN CONCRETE RESEARCH

Dainius Astrauskas

Utilization of sewage sludge is one of the biggest problems nowadays. Big amounts of sewage sludge are kept in wastewater treatment facilities but it takes a lot of space. Main goal of this work is to assess the sewage sludge in cementitious products, partial replacement of cement. Sewage sludge was burnt in 950°C temperature and then pulverized. The use of sewage sludge ash in the mixture was changed up to 20% of the cement weight. The formed samples were carried out compressive strength, water absorption and porosity, rheological properties, EDS analysis. Studies have shown that increasing the amount of sewage sludge ash decreases compressive strength but it does not decrease as much as the amount of ash are being increased.

Keywords: sewage sludge, ash, concrete, cement stone, porosity, compressive strength.

Turinys

Įvadas.....	7
1. Literatūros apžvalga	8
1.1. Nuotekų sudėtis.....	8
1.2. Nuotekų dumblo apdorojimas.....	11
1.3. Nuotekų dumblo panaudojimas	15
1.4. Dumblo pelenų panaudojimas betonuose	16
2. Tiriamoji dalis	23
2.1. Naudotos medžiagos	23
2.2. Fizikinių mechaninių savybių tyrimas	27
2.3. Reologinių savybių tyrimas	33
2.4. Cemento hidratacinės šilumos nustatymas	37
2.5. Cementinio akmens struktūra	38
2.6. Cementinio akmens EDS analizė.....	39
Išvados.....	40
Literatūra	41

Ivadas

Atliekos – tai neišvengiama žmogaus veiklos pasekmė. Svarbiausia problema, susijusi su atliekų šalinimu, yra aplinkos tarša. Pastaraisiais dešimtmečiais sauso dumblo šalinimas buvo didelė problema nuotekų valymui dėl aplinkos apsaugos apribojimų. Šio medžiagos nėra leidžiamos šalinti jas paprastai palaidojant dirvožemyje kaip trąšą žemės ūkyje dėl didelių sunkiųjų metalų kiekio. Todėl yra ieškoma vis novatoriškesnių nuotekų dumblo panaudojimų būdų. Vienas iš jų – sauso dumblo pelenų panaudojimas betonuose.

Darbo tikslas – ištirti nuotekų dumblo pelenų, gautų esant 950 °C degimo temperatūrai, panaudojimo galimybes cementiniuose gaminiuose, dalį cemento pakeičiant minėtomis atliekomis.

Keliami uždaviniai:

- Atlikti literatūros apžvalgą;
- Paruošti nuotekų dumblą cementinei tešlai;
- Ištirti cementinės tešlos su nuotekų dumblo pelenais reologines savybes, atlikti hidratacinės šilumos nustatymą;
- Ištirti cementinio akmens su nuotekų dumblo pelenais fizikines ir mechanines savybes bei prognozuoti šių pelenų įtaką cementinių gaminių ilgaamžiškumui.

Tyrimo metodai ir priemonės:

- Mokslinės literatūros analizė;
- Bleino metodu nustatytas degto dumblo savitasis paviršius;
- Reologinės savybės tirtos rotaciniu viskozimetru BHC-3;
- Hidratacijos šilumos matavimas atliktas pusiau adiabatiniu metodu;
- Cementinio akmens fizikinėms ir mechaninėms savybėms nustatyti buvo naudojamos standartinės metodikos.

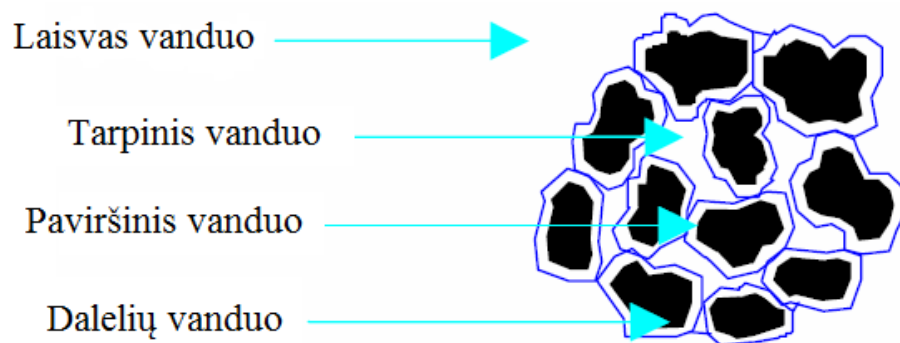
1. Literatūros apžvalga

1.1. Nuotekų sudėtis

Nuotekos į nuotekų valymo įrenginius atkeliauja iš namų, ūkių, gamyklų ir lietaus vandens. Šie komponentai traktuojami kartu, o ne atskirai. Tai reiškia, kad nuotekose yra dideli kiekiai teršalų. Nuotekų dumblą sudaro du pagrindiniai komponentai – skystis ir kietą medžiaga. Skystį sudaro vanduo ir jame ištirpusios medžiagos. Tarp ištirpusių medžiagų gali būti ir organinių, ir neorganinių. Organinės ištirpusios medžiagos gali būti angliavandeniai, riebalų rūgštys, o neorganinės – druskos. Kietąjį dumblo dalį sudaro organinės ir neorganinės kietosios medžiagos. Organinėms medžiagoms priklausytų gyvi organizmai ir jų irimo produktai, o neorganinėms – metalai ir maisto medžiagos.

Dumblo sudedamosios dalys nėra pastovios ir priklauso nuo vietovės sąlygų ir valymo metodų. Nuotekų dumblo pagrindiniai komponentai:

- Vanduo. Nuotekų dumble esantis vanduo gali būti suskirstytas į kelias rūšis, kurios yra pavaizduotos Nr. 1.1.1 pav. Laisvasis vanduo gali būti pašalintas slėgimo proceso metu. Tarpinis vanduo gali būti pašalintas taip pat suslegiant dumblą. Paviršinis vanduo pašalinamas terminio džiovavimo metu. Dalelių vanduo gali būti pašalintas tik dumblo deginimo metu.



1.1.1 pav. Vandens formų pasiskirstymas nuotekų dumble

- Metalai. Dumble yra tokių neorganinių medžiagų kaip metalai. Patys svarbiausi ir pavojingiausi: cinkas, varis, švinas, chromas, nikelis, gyvsidabris, kadmio, sidabras ir alavas. Yra ir mažiau toksiškų metalų kaip geležis ir aliuminis.

- Organinės medžiagos. Dažniausiai daugiau nei 50% sausos dumblo masės sudaro organinės medžiagos. Dauguma jų būna tirpios kaip amino-rūgštys, angliavandeniai ir baltymai.

Dumblo, paimto iš skirtingų teritorijų, savybės skiriasi. Tai priklauso nuo gyventojų populiacijos struktūros, jų valgymo įpročių, metų laiko, pramonės ir žemės ūkio įvairovės. Cheminė sudėtis rodo, kad nuotekų dumblas yra svarbus organinių medžiagų dirvožemiui ir maistinių medžiagų augmenijai šaltinis. Sausoje dumblo masėje organinės medžiagos sudaro apie 45,3%, kuris gali kisti nuo 41,8% iki 51,6%. Variacijos koeficientas yra 18%. Tai matyti lentelėje Nr. 1.1.1 [3].

1.1.1 lentelė. Nuotekų dumblo cheminė sudėtis.

Elementas	Vidutiniškai	min	max
Vandens pH	7,9	7,7	8,2
Drėgmė, %	59,3	48,1	65,7
Organinės medžiagos, %	45,3	41,8	51,6
C, %	22,1	20,0	25,3
N, %	2,1	1,5	2,7
N-NO ₃ , mg/100g	13,5	8,3	17,4
N-NH ₄ , mg/100g	547,8	213,5	703,4
P ₂ O ₅ , %	2,2	0,9	3,4
P ₂ O ₅ , mg/100 g	754,6	215,4	954,6
K ₂ O, % 0.97 0.35	0,97	0,35	1,36
K ₂ O, mg/100 g	287,6	123,5	395,0
SiO ₂ , %	33,22	20,89	46,41
Al ₂ O ₃ , %	1,98	1,30	2,37
Fe ₂ O ₃ , %	2,53	1,73	3,14
CaO, %	7,06	6,30	7,81
MgO, %	1,72	0,58	3,47
SO ₃ , %	1,83	0,90	3,22
Na ₂ O, %	0,07	0,04	0,11
Mn, mg/kg	300	187	558
Cu, mg/kg	486	136	1347
Zn, mg/kg	795	135	1354
B, mg/kg	53	24	71
Mo, mg/kg	3	1	6
Cd, mg/kg	14	1	39
Pb, mg/kg	107	41	280
Ni, mg/kg	57	15	91
Co, mg/kg	9	4	16
Cr, mg/kg	151	73	187

Nuotekų dumble yra labai daug azoto ir fosforo. Vidutiniškai šių medžiagų būna daugiau nei 2% sausoje masėje. Verčių dispersija fosforo yra didesnė nei azoto. Variacijos koeficientas yra atitinkamai šiose medžiagose 42% ir 24%. Vidutiniškai 24% šio azoto yra amonio formoje. Tai viršija 700 mg/100g sausame dumble. Šis faktas patvirtina, kad nuotekų

dumblas didelę absorbciją. Tai yra dėl nitratų kiekio. Prieinamo fosforo ir kalio yra gana didelis kiekis bendrame kiekyje. Dideli azoto ir fosforo kiekiai yra laikomi labai naudingi. Dėl šių medžiagų dumblo naudojimas kaip trąša yra labai naudingas ir efektyvus [17].

Iš mineralinių medžiagų, kurios sudaro apie 50 sauso nuotekų dumblo masės, pirmoj vietoj yra silicis (33,22%), o paskui kalcis (7,06%). Padidėjęs kalcio, aliuminio (1,98%), sieros (1,83%) kiekiai gerina nuotekų dumblą, nes šios medžiagos turi įtakos dirvožemio druskingumui. Vidutinė magnio vertė yra 1,72%. Natrio oksidų kiekis yra mažas, tačiau jis ir neturėtų viršyti 0,11% sausos dumblo masės [17].

Nuotekų dumble yra aptinkama įvairių sunkiųjų metalų. Daugelis jų (Mn, Zn, Cu, Co, Ni, B, Mo) yra būtini kaip maistinių medžiagų mikroelementai augalams. Šių elementų nepakankamumas nulemia derliaus kiekybės ir kokybės sumažėjimą. Šia prasme nuotekų dumblą galima apibūdinti kaip mišrias trąšas. Tačiau daugelio elementų kiekiai yra per maži augalams. Kita vertus kiti metalai kaip arsenas, kadmio, gyvsidabris, švinas yra toksiškos augalams. Reikėtų paminėti, kad imtuose mėginiuose iš nuotekų valymo įrenginių nei vienas cheminis elementas neviršijo didžiausios leistinos koncentracijos. Todėl nuotekų dumblas gali būti naudojamas tolimesniems tyrimams [18].

Nuotekų dumblas pagal sunkiųjų metalų kiekį yra suskirstytas į tris kategorijas (1.1.2 lentelė). Pirmos dvi kategorijos yra nepavojingos ir jas galima panaudoti įvairiose srityse, o norint panaudoti trečiąją reiktų šalinti sunkiųjų metalų perteklių.

1.1.2 lentelė. Dumblo kategorijos pagal sunkiųjų metalų kiekius [2]

Dumblo kategorija	Sunkiųjų metalų koncentracija, mg/kg						
	Švinas (Pb)	Kadmio (Cd)	Chromas (Cr)	Varis (Cu)	Nikelis (Ni)	Cinkas (Zn)	Gyvsidabris (Hg)
I	<140	<1,5	<140	<75	<50	<300	<1,0
II	140-750	1,5-20	140-400	75-1000	50-300	300-2500	1,0-8,0
III	>750	>20	>400	>1000	>300	>2500	>8,0

Vienas iš svarbiausių dumblo panaudojimą apribojančių veiksnių būtų didelės sunkiųjų metalų koncentracijos [18]. Daugelyje pasaulio šalių tiriamas dumble esančių sunkiųjų metalų poveikis aplinkai, o pats dumblo naudojimas griežtai reglamentuojamas įvairiais normatyviniais dokumentais.

Tiek visame pasaulyje, tiek Lietuvoje sunkiesiems metalams nuotekų dumble nustatyti egzistuoja daugybė metodų. Kadangi dumblo susidarymo, perdirbimo ir sandėliavimo problema yra rimtai, tai šioje srityje dirba daug mokslininkų bei mokslo srities daktarų, kurie bando nustatyti geriausius ir efektyviausius sunkiųjų metalų šalinimo būdus.

1.2. Nuotekų dumblo apdorojimas

Nuotekų dumblas atėjęs iš nuotekų valymo įrenginių užima labai didelį tūrį. Į šį tūrį įeina didelis kiekis vandens. Pašalinus šį vandenį iš dumblo bus veiksmingesni vėlesnio dumblo apdorojimo procesų rezultatai, sumažintos sandėliavimo apimtys ir operacijų bei transportavimo išlaidos. Sumažinus vandens kiekį kitas procesas būtų dumblo stabilizavimas ir patogeninių organizmų nukenksminimas. Vandens sumažinimą nuotekų dumble apima procesai kaip tankinimas, nusausinimas ir stabilizavimas [19].

Dumblo apdorojimo tikslai:

- Dumblo stabilizavimas, siekiant gauti kontroliuojamą organinių medžiagų skaidymą;
- Tūrio, svorio ir kvapo sumažinimas;
- Patogeninių mikroorganizmų kiekio dumble sumažinimas;
- Dumblo savybių pagerinimas prieš tolimesnį panaudojimą ar šalinimą [4].

Dumblo tankinimas. Valant nuotekas biologiniu būdu susidaro perteklinis veiklusis dumblas. Prieš paduodant jį į pūdymą, reikalinga dumblą sutankinti, t. y., padidinti jo koncentraciją ir sumažinti tūrį apie 4,5- 6,0 kartus [11]. Centrifūgavimu, gravitacija, flotacija ar nusodinimu siekiama atskirti kuo daugiau vandens. Kietųjų medžiagų procentas didės, o tūris mažės. Sutankinus nuo 1% iki 2% kietųjų medžiagų sumažina tūrį per pusę. Tankinimas iki 5% kietųjų medžiagų 5 kartus sumažina jo pradinį tūrį. Norimas kietųjų medžiagų procentas priklauso nuo galutinio šalinimo maršruto.

Dumblo tankinimo tikslas yra:

- padidinti fermentuoto dumblo išeią,

- sumažinti dumblo tūrį prieš panaudojant jį žemės ūkyje,
- pagerinti kitų sausinimo įrenginių veiksmingumą,
- sumažinti kondicionavimo reaktorių tūrius,
- pagerinti eksploataciją, patikimumą koncentruojant dumblo išsiskyrimo problemas viename įrenginyje – tankintume, kuri gali būti aprūpintas visais profilaktiniais ir programiniais priežiūros prietaisais.

Dumblo stabilizavimas. Dumblo stabilizavimo procesas siekia paversti organines kietąsias medžiagas į labiau inertiškas formas, kad jas būtų galima sutvarkyti ir pašalinti arba panaudoti. Uždaviniai – vengti kvapų, sumažinti tūrį ir metano susidarymą, jeigu dumblas laidojamas. Fermentacijos jėgos sumažinamos keliais būdais:

- anaerobiniu fermentavimu,
- aerobine stabilizacija,
- chemine stabilizacija,
- šildymu,
- pasterizacija ir švitinimu,
- stabilizacija kalkėmis „Galutinis valymas ir šalinimas“.
- Dumblas stabilizuotas, kai organinių medžiagų sumažėja 40%. Bendras dumblo tūris sumažėja ir padidėja galimybė jį nusausti [4].

Aerobinis fermentavimas. Aerobinis fermentavimas yra aeracijos proceso tąsa ir aktyviojo dumblo proceso variacija. Jis naudojamas tik atliekamo aktyviojo dumblo apdorojimui, atliekamo aktyviojo dumblo mišiniams ar laistomo biofiltro pirminiam dumblui, atliekamam dumblui iš išplėstinių aeracinių įrenginių arba aktyviojo dumblo valymo įrenginiuose, kuriuose nėra pirminio nusėdinimo. Organinis dumblas aeruojamas atviraime aeraciniame rezervuare. Tipiškas išlaikymo laikas pertekliniam aktyviajam dumblui yra 15-20 dienų. Derinant kartu su pirminiu dumblu, šis laikas yra 20-25 dienos. Mezofilinė aeracija reikalauja tik 5-7 dienų. Po aeracijos yra nusėdimo talpa, nebent šalinamas skystas dumblas. Proceso privalumai – bekvapis, humuso pavidalo, biologiškai stabilus galutinis produktas – vertinga trąša. Eksploatacija lengva, nes aerobinis fermentavimas ne toks jautrus aplinkos poveikiams bei netvarkai kaip anaerobinis procesas. Tačiau jį žymiai veikia talpos temperatūra, vieta ir medžiagos rūšis. Fermentuotas dumblas inertiškas, tačiau prastai nusaustėja. Be to, reikia daug energijos ir praranda naudingą šalutinį produktą – metaną.

Anaerobinis fermentavimas. Šis procesas yra stabilizavimo metodas, kurio tikslas sumažinti dumblo tūrį, stabilizuoti turinį iš dalies dezinfekuojant. Procesas vyksta uždarant

dumblą inde tam tikroje temperatūroje tam tikram laikui. Anaerobinis fermentavimas redukuoja nuotekų kietąsias medžiagas iki beveik nekvapaus mišinio, kurį galima nusausinti ir pašalinti. Organinės kietosios medžiagos suskystinamos, sumažėja tūris ir gaminamos metano dujos. Tradiciniame anaerobiniame dumblo fermentatoriuje naudojama bakterinė dumblo naikinimo sistema. Įrenginys saugo ir fermentuoja dumblą. Taip atsiranda stabilizuotas dumblas, kuriame aktyviai nesiveisia bakterijos. Kvapas nežymus. Anaerobiškai fermentuotas dumblas periodiškai išmetamas galutiniam pašalinimui. Šioje stadijoje dumblas beveik juodas ir turi žemės kvapą.

Susidaro degios dujos – amoniakas NH_3 , metanas CH_4 ir anglies dvideginis CO_2 bei kai kurie sulfidai. Gautas dujas galima panaudoti. Dujų kiekis priklauso nuo fermentatoriaus biologinio aktyvumo ir lakių kietųjų medžiagų procento paduodamame dumble. Galima pasirinkti įvairius variantus, įskaitant standartinio greičio, vienfazį greitą, dvifazį ir atskirą fermentavimo procesus. Jie paprastai veikia mezofiliniame spektre tarp 30-38°C. Termofilinis fermentavimas veikia 49-57°C. Galima imtis ir „šalto“ fermentavimo dumblo baseinuose. Dvilypiuose sodintuvuose derinamas pirminis nusodinimas ir fermentavimas. Kitas tipas – šildomi fermentatoriai [4]. Perdurbant biodegraduojamas atliekas biodujų gamybos įrenginiuose, degradacijos laipsnis žymiai didesnis nei komposto [5].

Kondicionavimas. Padaryti dumblą drenuojamą, filtruojamą ar centrifuguojamą. Naudojami terminiai ar cheminiai procesai. Dumblo kondicionavimas yra tolesnių nusausinimo įrenginių efektyvaus veikimo pagrindas. Vandens proporcija net po tankinimo labai didelė. Dalis prijungto vandens išstumama ir paverčiama į laisvą vandenį, kurį lengviau pašalina nusausinimas. Cheminis kondicionavimas surenka dumblo daleles („dribsniai“). Naudojami neorganiniai reagentai – metalų druskos ir kalkės. Cheminis kondicionavimas gali sumažinti paduodamo dumblo drėgmę nuo 90-95% iki 60-85% priklausomai nuo apdorojamų kietųjų medžiagų prigimties.

Galutinis apdorojimas ir šalinimas. Stabilizavimas kalkėmis. Stabilizavimą kalkėmis galima naudoti skysto dumblo pirminiam apdorojimui arba apdorojimui po valymo, kad stabilizuoti nusausintą dumblą. Tai labai paprastas procesas su tokiais privalumais, kaip mažos išlaidos ir eksploatacijos paprastumas. Į dumblą pridedama tiek kalkių, kad pH lygis būtų pakeltas iki 12 ar daugiau. Didelis pH patogenams netinka, taigi dumblas neišskirs kvapo ir nebus pavojingas sveikatai. Jei pH nukris žemiau 12, vėl atsinaujins biologinis skilimas. Mažiausiai dvejoms valandoms reikia pridėti tiek kalkių, kad išnyktų patogenai, helmitų kiaušinėliai ir kelias dienas būtų didelis pH. Naudojamos gesintos arba negesintos kalkės [5; 6].

Džiovinimas karščiu. Džiovinimas karčiu tai vandens sumažinimas garinant 310°C temperatūroje. Tikslas – pašalinti vandenį, kad dumblas lengvai sudegtų arba perdirbti jį į trąšas. Džiovinimo dumblo drėgmė mažiau 10% [4]. Tačiau dėl didelių energetinių sąnaudų mažai betaikomas [6].

Kompostavimas. Kanalizacijos dumblo kompostavimas naudojamas dumblo patogenų stabilizavimui ir sumažinimui. Kompostavimą galima apibūdinti kaip kietų atliekų apdorojimo metodą, kuriame aerobinėmis sąlygomis organinis komponentas biologiškai suyra. Irimo metu išsiskirianti šiluma sunaikina daugelį žmogaus patogenų, išlikusių ankstesnėse nuotekų valymo stadijose. Tinkamai kompostuotas dumblas yra higieniška, nežalinga, humuso pavidalo medžiaga. Kompostavimas labai atsiperkantis ir aplinkos apsaugai tinkantis pasirinkimas [7]. Kompostuojant kyla temperatūra ir naikinami patogeniniai organizmai. Tokį dumblą galima naudoti daržininkystėje, sodininkystėje ir kitose žemės ūkio šakose. Yra keli kompostavimo metodai. Pagrindiniai veiksmai vienodi visiems: drėgmė, temperatūra, pH, deguonis ir biogeninių medžiagų pusiausvyra dumble.

Spalva bei nutekėjimo nuosėdos privalo būti kontroliuojamos, siekiant išvengti paviršiaus ir gruntinių vandenų užteršimo. Akmens skalda, lakieji pelenai, asfaltas ir betonas naudojami pagrindo dangoms; iš jų labiausiai tinka betonas.

Kvapo kontrolė vienas esmingiausia dalykų, kuriais reikia rūpintis. Kvapus sudaro kanalizacijos dumblas, bet ne komposto mišinys. Kontroliuojamas deguonies ir drėgmės lygis bei reikiama temperatūra. Svarbus geras vietos drenažas ir drenuojamų vandenų valymas. Tinkama aikštelės prižiūra, įskaitant kompostavimo vietos bei įrango išvalymą, taip pat prisideda prie kvapo kontrolės [4].

Deginimas. Dumblo deginimu siekiama maksimaliai sumažinti jo tūrį (80%). Galima sunaikinti daugelį patogeninių ir toksinių komponentų. Deginant taipogi pašalinami kvapai per šiluminę oksidaciją aukštoje temperatūroje. Deginimas yra veiksmingas būdas sunaikinti organines medžiagas įskaitant lakiąsias medžiagas, kurios prisideda prie blogo kvapo, bei kitas organines medžiagas, skleidžiančias dvokiančius garus. Šiam procesui reikalingas pakankamas kuro ir oro tiekimas [20]. Nors garų organiniai junginiai užteršto oro srautuose yra degūs, tačiau šiluminė vertė šių srautų yra nedidelė, todėl vis tiek bus reikalingas didelis kuro kiekis. Net jeigu deginimo procesas yra veiksminga šalinant kvapus iš nuotekų dumblo jis šiuo tikslu yra retai naudojamas. Paprastai jis yra naudojamas pašalinti toksiškas organines medžiagas. Garų oro srautai deginimo procesu metu yra panaudojami vietoj oro reikalingo degimui dumblo deginimui.

Pats svarbiausias dumblo deginimo faktorius yra deginimo temperatūra. Dumbblas paprastai gerai dega 430-480°C temperatūroje, bet 760-820°C temperatūra reikalinga, kad būtų pašalinti kvapai ir dūmai. 770°C temperatūroje sunaikinami lakiųjų riebalų rūgščių kvapai [21].

Jei temperatūra nebūtų pakankamai aukšta, įvairūs pavojingi junginiai gali susidaryti dumble. Todėl padidinti ir išlaikyti aukštą temperatūrą papildomai yra naudojamos papildomos degimo kameros. Jose yra sudeginami junginiai, kurie nesudegė pagrindinėje degimo kameroje. Papildomų kamerų temperatūra siekia 1090°C. Padidinti šiluminės oksidacijos veiksmingumą naudojami metalai kaip sidabro, nikelio, chromo, platinos lydiniai kaip katalizatoriai [22].

Kapitaliniai ir eksploataciniai kaštai deginimo procesui yra dideli, reikalingi labai aukštos kvalifikacijos operatoriai. Likučiai, įskaitant emisijas į orą ir likusius pelenus gali turėti neigiamus poveikius aplinkai, kaip pvz., sunkieji metalai neišnyksta. Terminį pakartotiną įsiurbimą naudoja vidutinio ir mažo dydžio įrenginiai, kur negalima pasirinkti galutinio dumblo pašalinimo būdų [4; 6]. Deginimas nenaudojant specialios įrangos, sukelia žalą augmenijai ir gyvūnijai, sukelia taršą anglies dvideginiu ir monoksidu [5].

1.3. Nuotekų dumblo panaudojimas

Ką daryti su apdorotu dumblu, lemia jo cheminė sudėtis ir nuolatinė kokybės kontrolė. Nuotekų dumbblas panaudotas gali būti įvairiai.

Tręšimui. Nuotekų dumblo naudojimą tręšimui bei rekultivavimui mūsų šalyje reglamentuoja LAND 20-2005 dokumentas. Jo tikslas – reguliuoti nuotekų dumblo naudojimą žemės ūkyje, riebalingųjų sėklų, energetinių kultūrų (greitai augančių želdinių, kurių paskirtis – tiesioginis panaudojimas biokuro gamybai) auginimui bei pažeistų teritorijų (karjerų, išekspluotuočių durpynų, uždaromų sąvartynų, kelių sankasų ir pan.) rekultivavimui taip, kad nebūtų daromas neigiamas poveikis dirvožemiui, augmenijai, gyvūnams ir žmonėms. Lietuvos gyvenviečių I ir II kategorijų nuotekų dumblą galima panaudoti kaip trąšą auginant javus ir technines kultūras, energetinio miško auginimui, apleistų žemių atstatymui, taip pat žvyro, smėlio ar molio karjerų rekultivacijai, miesto želdinių tręšimui arba pakelių sutvirtinimui ir apželdinimui [1].

Biodujoms. Pūdymo metu išgaunamas metanas. Nuotekų dumblas anaerobinėmis sąlygomis (bedeguonėje aplinkoje) dėl metaną gaminančių mikroorganizmų yra suskaidomas ir gaunamas metanas, pagrindinė sudedamoji gamtinių dujų dalis. Šis procesas yra lengvai

valdomas, automatizuotas. Biodujų išėiga yra nemaža ir dar gana svarbu yra tai, kad, išgaunant biodujas, metano procentinė dalis yra maždaug 60%. Dėl to galima gaminti ir elektros energiją, ir šilumą, ir karštą vandenį, ir t.t. Procesui reikalinga tam tikra temperatūra, maždaug 35–36 laipsnių, kurioje prasideda metaną gaminančių bakterijų gyvybinis šuolis, ir toje temperatūroje jos labai lengvai organines medžiagas suskaido iki metano. Aišku, būna ir šalutinių dujų, bet pagrindinė sudedamoji dalis yra būtent jų [8].

Betonui. Žmonių populiacijos augimas, taip pat ir nuotekų kiekio didėjimas parodo, kad nuotekų dumblo pelenų bus vis daugiau. Taigi yra manoma, kad statybų pramonė turėtų pradėti naudoti atliekas iš kitų pramonės šakų kaip statybines medžiagas. Jei mes galvojame apie dumblo pelenų atsikratymą, tai puikiai galime suprasti šių pelenų panaudojimą betonuose. Kadangi pasaulinė Portlandcemento paklausa iki 2050 metų yra linkusi išaugti beveik 200% , tai reiškia, kad ir betono statinių pagausės panašia proporcija. Todėl jau yra atlikta nemažai bandymų su nuotekų dumblo pelenų panaudojimu betonuose.

1.4. Dumblo pelenų panaudojimas betonuose

Pirmas bandymas [9]. Skirtingų teritorijų nuotekų dumblas turi skirtingą cheminę sudėtį, dėl ko yra tikimasi skirtingo betono pajėgumo. Dumblo pagrindą sudaro silicis, kalcis ir aliuminis. Pasirinkto eksperimentinio bandymui dumblo sudėtis matoma lentelėje nr. 1.4.1.

1.4.1 lentelė. Cheminė dumblo sudėtis

Elementai	LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Mg	K ₂ O	P ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Br	Na ₂ O	Zn	Kiti
%	21.3	54.5	8.9	7.3	2.1	1.8	1.3	0.9	0.5	0.4	0.2	0.8

Dėl didelio dumblo kiekio sumažėjimo degimo metu ir neigiamo aliejų ir riebalų poveikio betono stiprumui degimo procesas buvo vykdomas 650°C temperatūroje. Pagrindinis vizualiai matomas pokytis buvo dumblo spalvos pakitimas iš šviesiai kreminės į pilką. Taip pat buvo atlikti tyrimai nustatyti mineraloginę sudėtį (1.4.2 lentelė).

1.4.2 lentelė. Mineraloginė sudėtis

Prieš kalkėjimą	Po kalkėjimo
Kvarcas(SiO_2)	Kvarcas(SiO_2)
Muskovitas ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})_{10}(\text{OH},\text{F})_2$)	Muskovitas ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})_{10}(\text{OH},\text{F})_2$)
Kalcitas (CaCO_3)	Ialitas ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$)
Dolomitas ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)	

Rezultatai parodė, kad dvi kristalines formas kalcito ir dolomito buvo pašalintos iš dumblo. Tai siejama su CO_2 pasišalinimu iš dumblo degimo metu. Tikėtina, kad kalcito ir dolomito kristalai pasikeitė į kalcio ir magnio oksidus. Taip pat susidarė nauja kristalinė forma – ilitas, jos cheminė struktūra panaši į muskovito. Akivaizdu, kad degimo procesas ne tik pašalina organines medžiagas, bet taip pat pakeičia ir kristalines fazes.

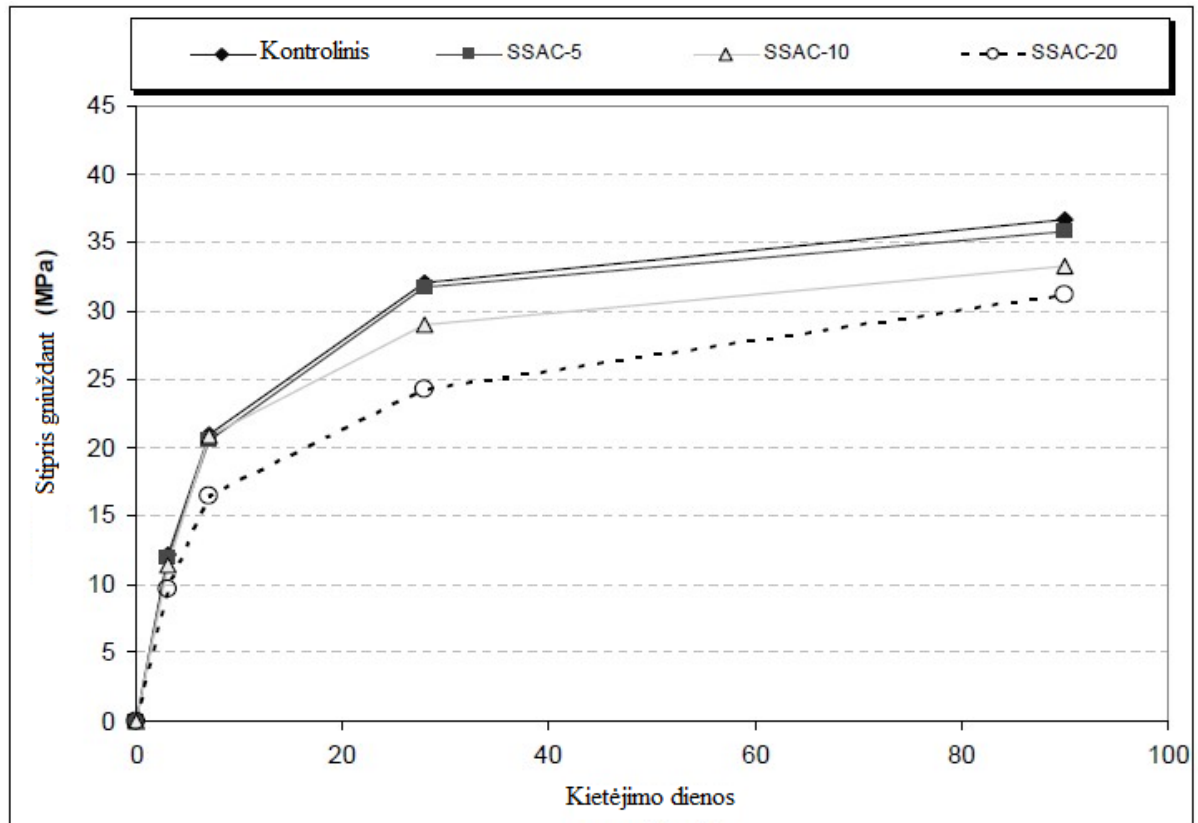
Betono bandiniams buvo naudojama Portlandcementis II. Kad pagerinti betono pajėgumą buvo naudojami superplastikliai. Buvo sumaišyti 4 skirtingi betono mišiniai: be dumblo pelenų, su 5 % pelenų nuo cemento kiekio, su 10 % ir su 20 %. V/C santykis buvo imamas 0,45 ir 0,55. Lentelėje nr. 1.4.3 parodomas betono mišinio komponentai vienam kubiniam metrui betono.

1.4.3 lentelė. Betono mišinio komponentai kubiniam metrui.

Mišinys	Cementas (Kg)	Žvirgždas (Kg)	Smėlis (Kg)	Dumblas (Kg)	Superplastiklis (Kg)	Vanduo (l)	
						V/C=0.55	V/C=0.45
Kontrolinis	360	861	852	0	3.6	198	162
SSAC - 5	360	861	852	18	3.6	198	162
SSAC-10	360	861	834	36	3.6	198	162
SSAC-20	360	861	798	72	3.6	198	162

Bandiniai buvo palikti vienai dienai kambario temperatūroje (23°C), paskui jie buvo įmerkti į vandenį iki stiprumo bandymų. Bandinių matmenys buvo $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$. Stiprumas gniuždant buvo tikrinamas po 3, 7, 28 ir 90 dienų, o stiprumas lenkiant po 28 dienų. Vandens įmirkis buvo tikrinamas po 28 dienų bandinių, kurių matmenys $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$.

Paveikslėlyje nr. 1.4.1 matomi bandinių su V/C santykiu 0,55 stiprio gniuždant rezultatai.



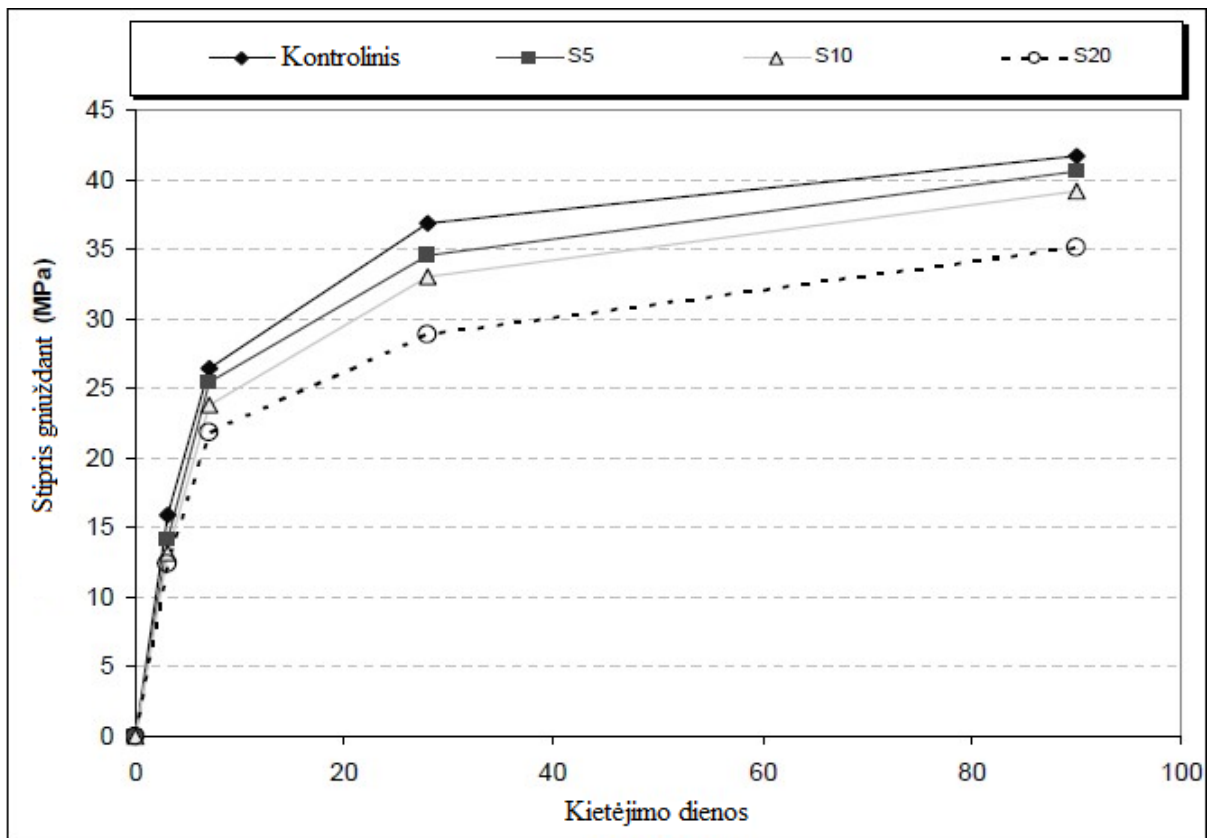
1.4.1 pav. Stipris gniuždant V/C=0,55.

Po trijų dienų bandinių stiprio skirtumai nėra žymūs. Nuo 7 iki 28 dienų betono su 5% dumblo pelenų nerodo beveik jokio stiprumo netekimo lyginant su betonu be dumblo pelenų. Betonai su 10% prarado apie 10% stiprumo ir proporcingai stiprumą prarado betonai su 20% pelenų.

Betonai su 20% dumblo pelenų po 90 dienų rodo stiprumo padidėjimą beveik pasiekdamas betono stiprumą su 10% pelenų. Tai gali būti dėl to, kad dumblo pelenų dalelės gali elgtis kaip papildomos vietos hidratacijos produktų pagerindamos bendrą hidratacijos procesą.

Bandinių rezultatai, kai V/C santykis 0,45, rodo kad betonai su 5% ar 10% dumblo pelenų rodo minimalius stiprumo gniuždant nuostolius. Netgi 20% pelenų naudotas bandinys po 28 dienų pasiekė aukštesnį nei 25MPa stiprumą.

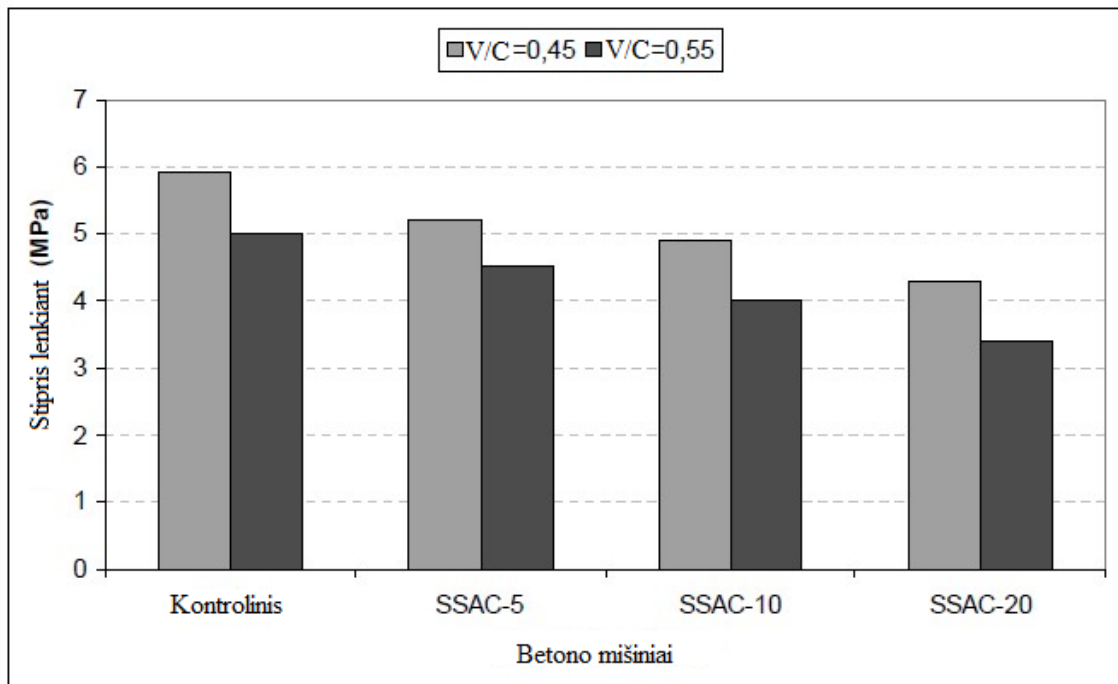
Paveikslėlyje nr. 1.4.2 matomi bandinių su V/C santykiu 0,45 stiprio gniuždant rezultatai. Rezultatai rodo, kad mažesnis vandens kiekis nulemia didesnę stiprumą gniuždant, susijusį su tankesne mikrostruktūra.



1.4.2 pav. Stipris gniuždamt V/C=0,45.

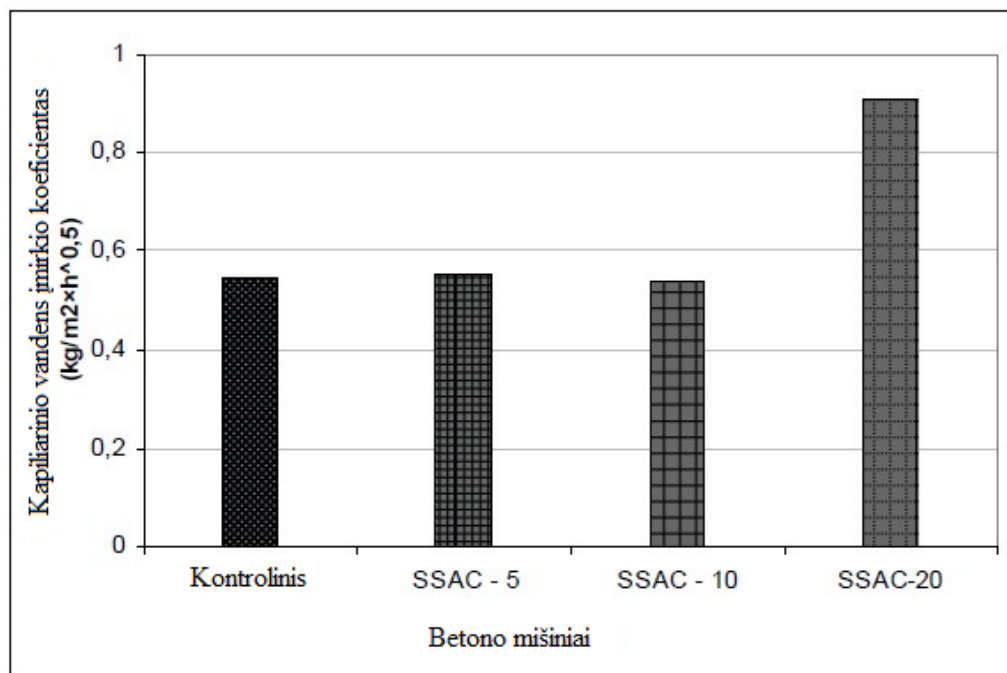
Bandinys su 20% dumblo peleningumu po 28 dienų pasiekė beveik 30MPa stiprumą gniuždamt. Šiam hidratacijos periodui dumblo kiekis veikia stiprų gniuždamt proporcingai.

Paveikslėlyje nr. 1.4.3 matomas bandinių stiprumas lenkiant. Rezultatai rodo, kad dumblo kiekio didinimas veda prie stiprumo lenkiant mažėjimo. V/C santykio mažinimas veda prie didesnio tankumo ir stiprumo lenkiant.



1.4.3 pav. Stiprumas lenkiant

Kapiliarinio vandens įmirkio koeficientai parodo 1.4.4 paveikslėlyje. Rezultatai parodo, kad 5% ar 10% dumblo pelenų naudojimas nekeičia betono kapiliarinio tinklo. Bet kai naudojama 20% pelenų kapiliarinio vandens įmirkio koeficientas padidėja beveik dvigubai, tačiau vis tiek išlieka nepavojingas.



1.4.4 pav. Vandens įmirkio koeficientai esant V/C=0,45

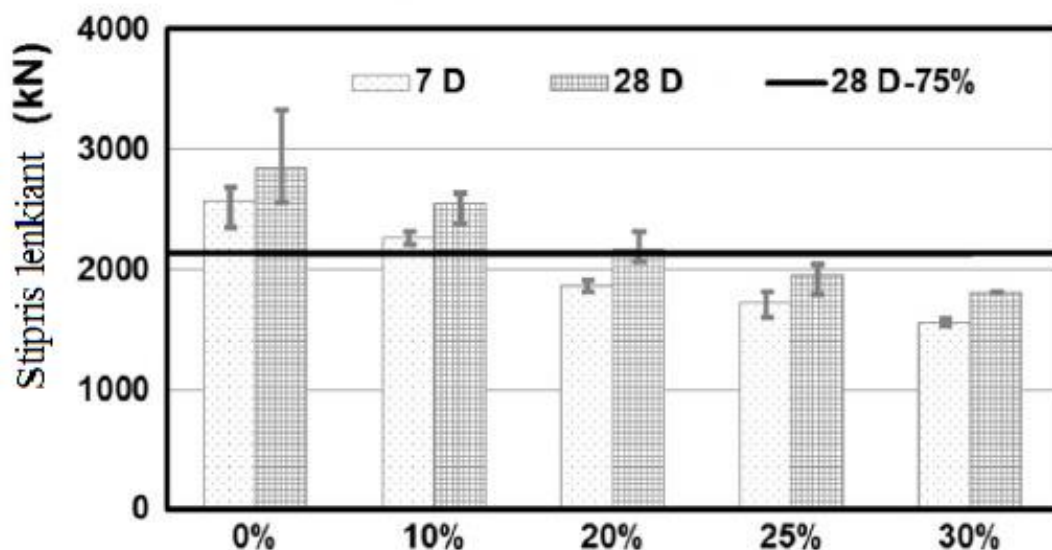
Antras bandymas [10]. Dumbblas buvo deginamas iki 900oC temperatūroje. Jo sudėtyje rasta 30.10% SiO₂, 26.30% Al₂O₃, 7.35% CaO, 5.63% Fe₂O₃ ir 4.30% MgO.

Bandymams buvo naudojamas Portlandcementis CEM II/A-LL 42.5R. Buvo sumaišyti penki skirtingi mišiniai be dumblo pelenų, su 5%, 10%, 20%, 25% ir 30% nuo cement kiekio vietoj cemento. Vandens cemento santykis kontroliniam mišiniui buvo imamas 0.5. Kadangi nebuvo naudojama superplastiklio, tai buvo keliamas vandens kiekis kartu su pelenų kiekiu. Mišinio sudėtis matoma 1.4.4 lentelėje.

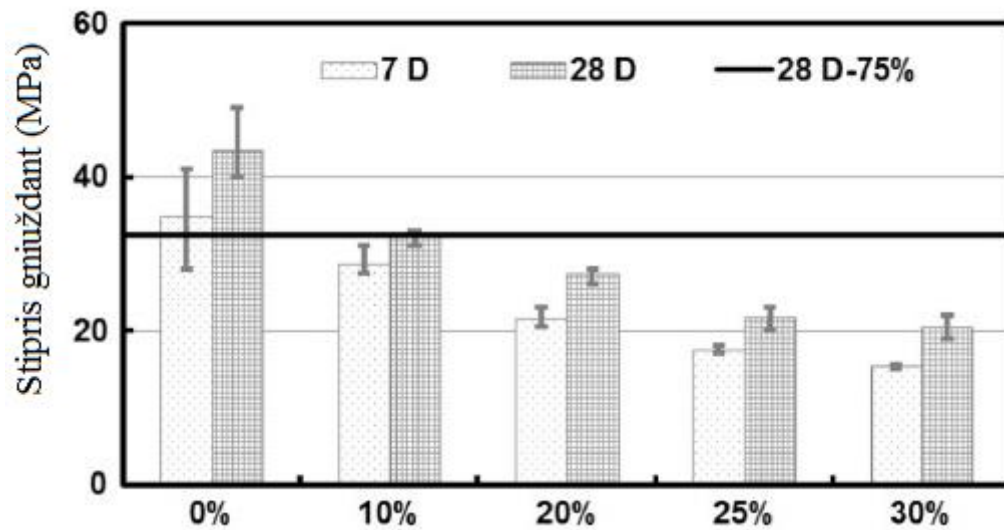
1.4.4 lentelė. Mišinio sudėtis.

Dumblo kiekis (%)	Cementas (CEM II/A-LL 42.5R) (masė, g)	Smėlis (masė, g)	Vanduo (masė, g)	SSA (masė, g)
0	600	1800	300	0
10	540	1800	350	60
20	480	1800	380	120
25	450	1800	400	150
30	420	1800	420	180

Buvo matuojamas bandinių stipris lenkiant ir gniuždant po 7 ir 28 dienų. Stiprumo rezultatai lenkiant matomi 1.4.5, gniuždant 1.4.6 paveikslėlyje.



1.4.5 pav. Stiprumas lenkiant.



1.4.6 pav. Stipris gniuždant.

Iš rezultatų matome, kad didinant pelenų kiekį vietoj cemento stiprumas gniuždant ir lenkiant mažėja. Su 30% dumblo pelenų po 28 parų jis dvigubai mažesnis nei be pelenų.

2. Tiriamoji dalis

2.1. Naudotos medžiagos

Rišamoji medžiaga.

Bandymams naudoto portlandcemenčio CEM I 42,5 R (LST EN 197-1:2011), pagaminto AB "Akmenės cementas", cheminės analizės rezultatai bei fizikinės ir mechaninės savybės pateikiamos 2.1.1 ir 2.1.2 lentelėse.

2.1.1 lentelė. Portlandcemenčio fizikinės ir mechaninės savybės

Savybės	CEM I 42,5 R
Normalaus tirštumo tešla, %	27,5
Savitasis paviršius, m ² /kg	350
Piltinis tankis, kg/m ³	1220
Rišimosi pradžia, min.	140
Rišimosi pabaiga, min.	185
Tūrio kitimo tolygumas	tolygus
Stipris lenkiant (po 28 parų kietėjimo), MPa	9,0
Stipris gniuždant (po 28 parų kietėjimo), MPa	65,2
Stipris gniuždant (po 2 parų kietėjimo), MPa	29,9

2.1.2 lentelė. Portlandcemenčio cheminė ir mineralinė sudėtys

Cheminė sudėtis, %							Mineralinė sudėtis, %			
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O _(ekv.)	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
20,42	5,17	4,09	64,06	3,32	2,69	0,78	61,7	12,3	7,0	13,1

Vanduo: geriamasis gėlas vanduo, kuris yra be rūgščių ir organinių medžiagų, naudojamas maišymui ir betono kietinimui.

Mikroužpildas.

Gautas nuotekų dumblas yra granuliu pavidalu, tokiu pavidalu jis negali būti panaudotas. Naudojami nuotekų dumblo pelenai, kurie buvo gauti degant granules 950° laipsnių temperatūroje. Degdamas tokioje aukštoje temperatūroje nuotekų dumblas netenka apie 70% savo masės.

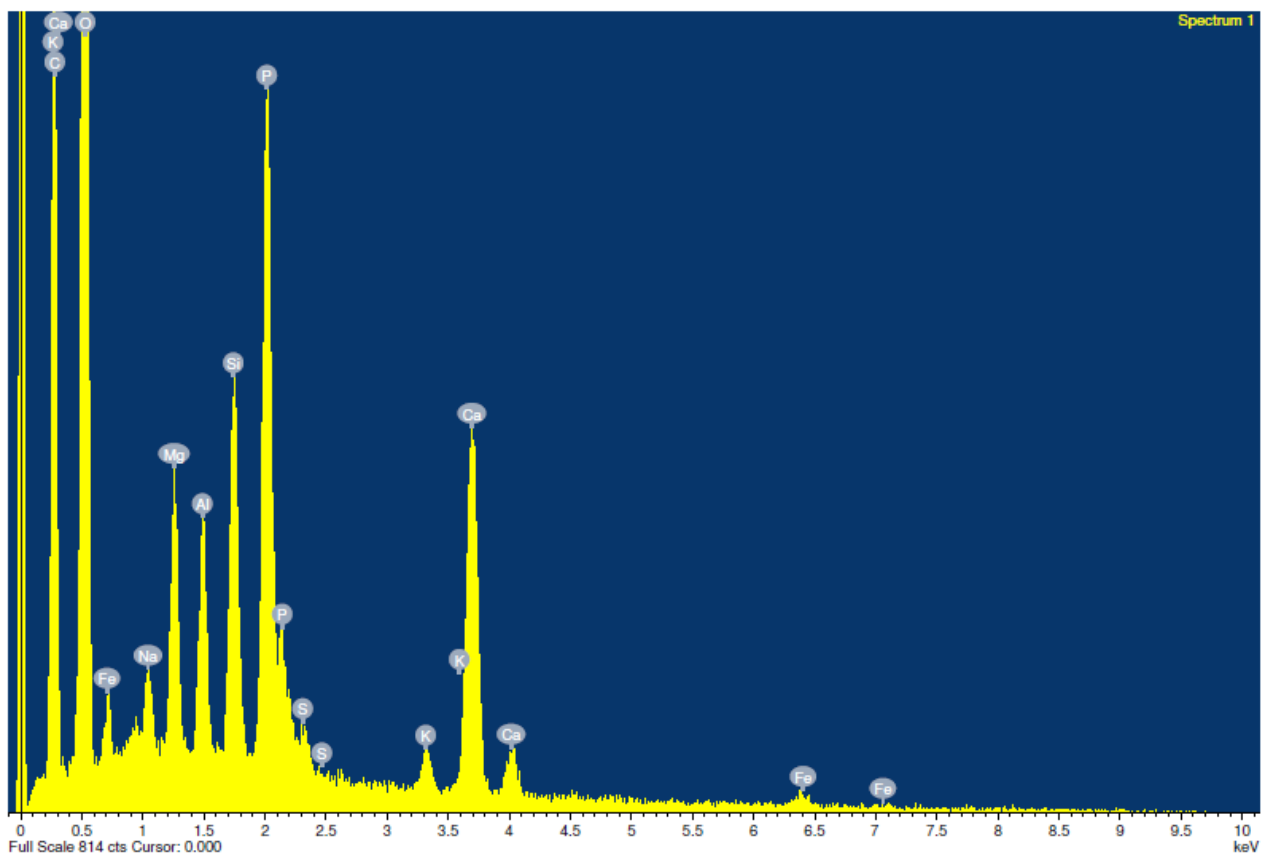


2.1.1 pav. Iš kairės į dešinę: 1) džiovintas, 2) degtas 950° temp. dumblas.

Gauti pelenai yra susmulkinami, kad būtų juos galima naudoti pakeičiant cemento dalį betono mišinyje. Išdegti pelenai 950°C temperatūroje yra smulkinami grūstuve. 2.1.2 pav. galima pastebėti, kaip kinta spalva išdegus nuotekų dumblą skirtingose temperatūrose. Degtas dumblas 750°C temperatūroje yra rudos spalvos, 950°C šviesiai rusvos, o 1350°C yra juodos spalvos.



2.1.2 pav. Iš kairės į dešinę: 1) džiovintas, 2) degtas 750°C temp. ir susmulkintas, 3) degtas 950°C temp. ir susmulkintas, 4) degtas 1350°C temp. dumblas.

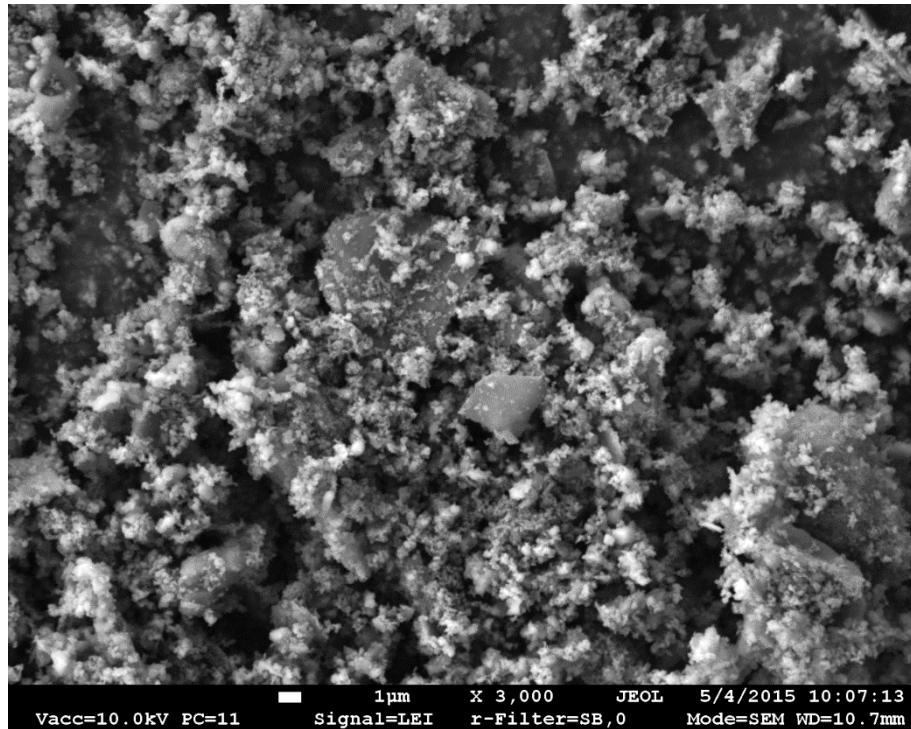


2.1.3 pav. Nuotekų dumblo pelenų cheminių elementų pasiskirstymo analizė.

2.1.3 lentelė. Degto nuotekų dumblo cheminių elementų sudėtis.

Elementas	Kiekis, %
Anglis, C	18,2
Deguonis, O	36,7
Natris, Na	0,55
Magnis, Mg	3,49
Aliuminis, Al	1,68
Silicis, Si	2,97
Fosforas, P	12,07
Siera, S	0,26
Kalis, K	1,05
Kalcis, Ca	17,74
Geležis, Fe	5,21

Iš gautų duomenų matyti, kad degtą nuotekų dumblą pagrinde sudaro anglies (18,2%), kalcio (17,74%) mineralai, yra nemažai fosforo (12,07%). 2.1.4 pav. matosi mikroskopo pagalba 3000 kartų išdidintas degto 950°C temperatūroje dumblo vaizdas.



2.1.4 pav. Degtas nuotekų dumblas

Nuotekų dumblo savitajam paviršiui nustatyti buvo naudojamas Oro pralaidumo (Bleino) metodas. Šis metodas yra palyginamasis, todėl prietaisas kalibruojamas, naudojant žinomo savitojo paviršiaus medžiagos miltelius (kvarcinio smėlio).

Ant į tūtą įdėto perforuoto sluoksnio uždedamas filtruojamasis popierinis skritulėlis. Pasvertas reikiamas kiekis nuotekų dumblo atsargiai, be nuostolių suberiamas į tūtą. Bandinys tūtoje, atsargiai sutankinamas ir ant jo paviršiaus uždedamas filtras. Į tūtą įstatomas plunžeris ir atsargiai spaudžiamas tol, kol jo galvutės apačioje esantis ribotuvas pasiekia tūtos briauną ir į ją atsiremia. Po to plunžeris atsargiai patraukimas į viršų apie 5 mm, pasukamas 90° kampu ir vėl atsargiai prispaudžiamas iki ribotuvo. Ištraukus plunžerį gaunamas žinomo poringumo deginto dumblo sluoksnis, pagal kurio pralaidumą orui apskaičiuojamas savitasis paviršius. Atsargiai nesuardant suformuoto nuotekų dumblo sluoksnio, tūta įkišama į tepalu pateptą prietaiso manometro vamzdelio angą ir stebima, ar kinta skysčio lygis. Kai skysčio lygis pastovus, įjungiamas prietaisas. Per tą patį nuotekų dumblo sluoksnį oras perleidžiamas dar kartą, fiksuojama trukmė ir bandymo metu esanti temperatūra. Apskaičiuojamas gautų matavimo trukmių vidurkis t [14].

Gavus oro pralaidumo trukmę per bandomąją medžiagą ir etaloninę, pagal 2.1 formulę apskaičiuojamas deginto dumblo savitasis paviršius.

$$S = \frac{\rho_{0etal}}{\rho_{0band}} \cdot \frac{\sqrt{t_{band}}}{\sqrt{t_{etal}}} \cdot S_{etal}, \quad (2.1)$$

čia: ρ_{0etal} – etaloninės medžiagos (kvarcinio smėlio) dalelių tankis kg/m^3

ρ_{0band} – tiriamosios medžiagos (degintas dumbblas) dalelių tankis kg/m^3

t_{band} – oro pralaidumo laikas per bandomąją medžiagą (degintą dumblą), s

t_{etal} – oro pralaidumo laikas per etaloninę medžiagą (kvarcinį smėlį), s

S_{etal} – etaloninės medžiagos savitasis paviršius, cm^2/g

Degto nuotekų dumblo savitasis paviršius gautas $6500 \text{ cm}^2/\text{g}$. Jis yra vos ne dukart didesnis nei cemento.

2.2. Fizikinių mechaninių savybių tyrimas

Cemento akmens mechaninėms savybėms nustatyti buvo ruošiama cemento tešla, kurioje dalis cemento buvo keičiama nuotekų dumblo pelenais nuo 2,5 % iki 20 % cemento masės. Visais bandymo atvejais vandens ir cemento santykis V/C buvo pastovus 0,4. Cemento tešlos sudedamosios dalys pateiktos 2.2.1 lentelėje. Cementinė tešla buvo ruošiama ir bandiniai formuojami pagal LST EN 196-1 standartą. Mišinio ruošimui buvo naudojama laboratorinė „Automix” maišyklė (2.2.1 pav.). Bandymams buvo suformuota po 4 vienetus kiekvienos sudėties badinių, kurių matmenys $20 \times 20 \times 20 \text{ mm}$. Po paros bandiniai išformuojami ir kietinami $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūroje.



2.2.1 pav. Laboratorinė maišyklė „Automix“

2.2.1 lentelė. Cemento tešlos sudedamosios dalys.

Dumblo pelenų kiekis, %	Cemento kiekis, g	Dumblo kiekis, g	Vandens kiekis, g
0	300,0	0	120
2,5	292,5	7,5	120
5	285,0	15,0	120
10	270,0	30,0	120
20	240,0	60,0	120

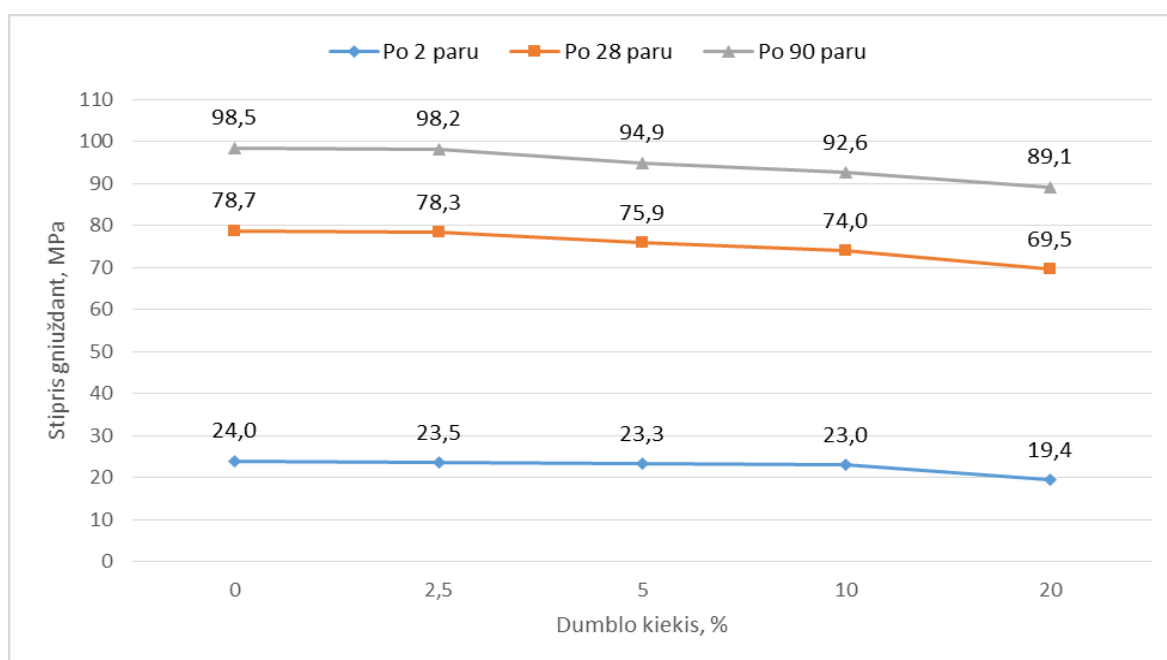
Gniuždymo stipris buvo nustatinėjamas pagal LST EN 196-1, gniuždant 20x20x20mm kubelius po 2, 28 ir 90 parų kietėjimo.

Gniuždymo stipris buvo apskaičiuotas pagal formulę:

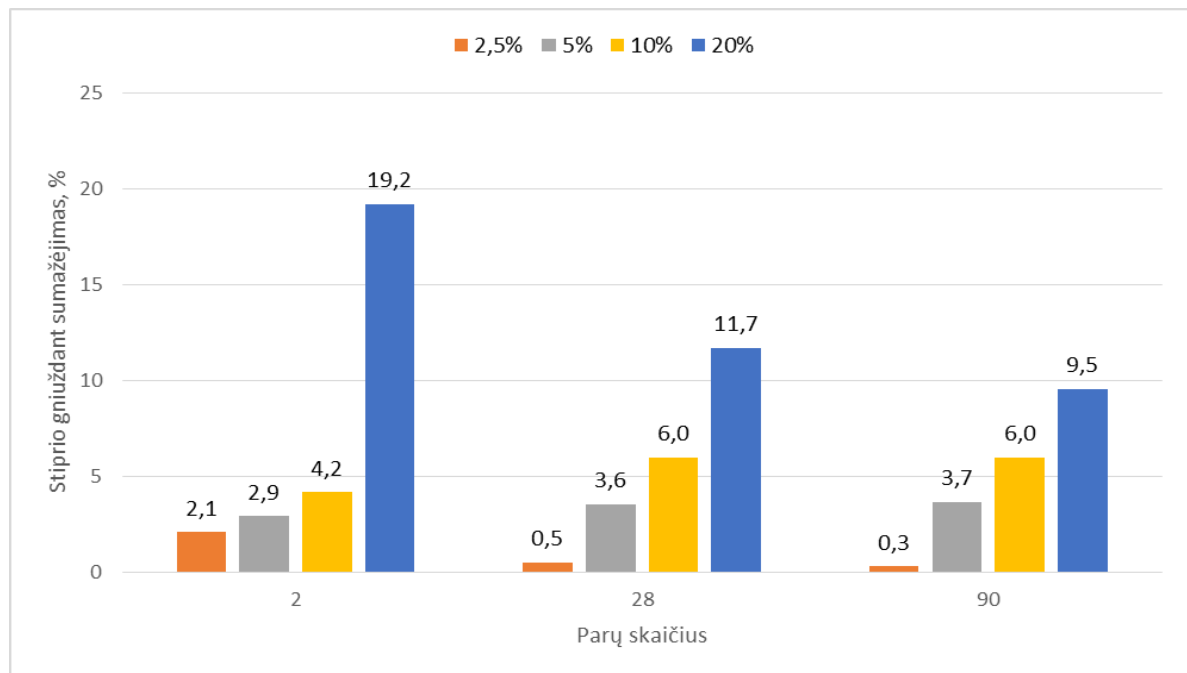
$$f_c = \frac{F}{A_c}; \quad (2.1)$$

Čia: f_c – gniuždymo stipris, MPa;
 F – didžiausia ardančioji jėga, N;
 A_c – gniuždymo plotas, mm²

Nustatytas bandinių gniuždymo stipris ir stiprio pokytis dalį cemento keičiant nuotekų dumblo pelenais pateikiamas 2.2.2, 2.2.3 pav. Iš gautų tyrimų rezultatų matyti, kad po 2 parų labiausiai sumažėjo stipris su 20% dumblo pelenų kiekiu, kuris siekė net 19,2%. Po 28 parų labiausiai sumažėjęs stipris buvo taipogi su 20% dumblo pelenų kiekiu, tačiau procentinis stiprio gniuždant sumažėjimas buvo mažesnis nei po 2 parų ir siekė 11,7%. Po 90 parų stipris su 2,5% dumblo pelenų kiekiu buvo sumažėjęs 0,3%, su 5% - 3,7%, su 10% - 6%, su 20% - 9,5%.



2.2.2 pav. Dumblo pelenų įtaka stipriui gniuždant



2.2.3 pav. Stiprio gniuždant procentinis sumažėjimas

Taigi iš gautų rezultatų galima teigti, kad kuo didesnė cemento dalis keičiama nuotekų dumblo pelenais, tuo stipris gniuždant bus mažesnis, tačiau procentinis stiprumo sumažėjimas vis mažės lyginant su pakeista rišamosios medžiagos dalimi.

Cementinio akmens su degintu nuotekų dumblu tankio nustatymas

Cementinio akmens bandinių 20x20x20 mm tankis buvo nustatomas pagal LST EN 136-1 standarto reikalavimus. Po 28 parų kietėjimo vandenyje, bandiniai buvo nusausinti. Nusausinus bandinius, išmatuoti jų geometriniai parametrai ir jie buvo pasverti. Naudojantis 2.2 formule, apskaičiuotas bandinių tankis.

$$\rho = \frac{m}{a \cdot b \cdot h} = \dots \text{kg} / \text{m}^3, \quad (2.2)$$

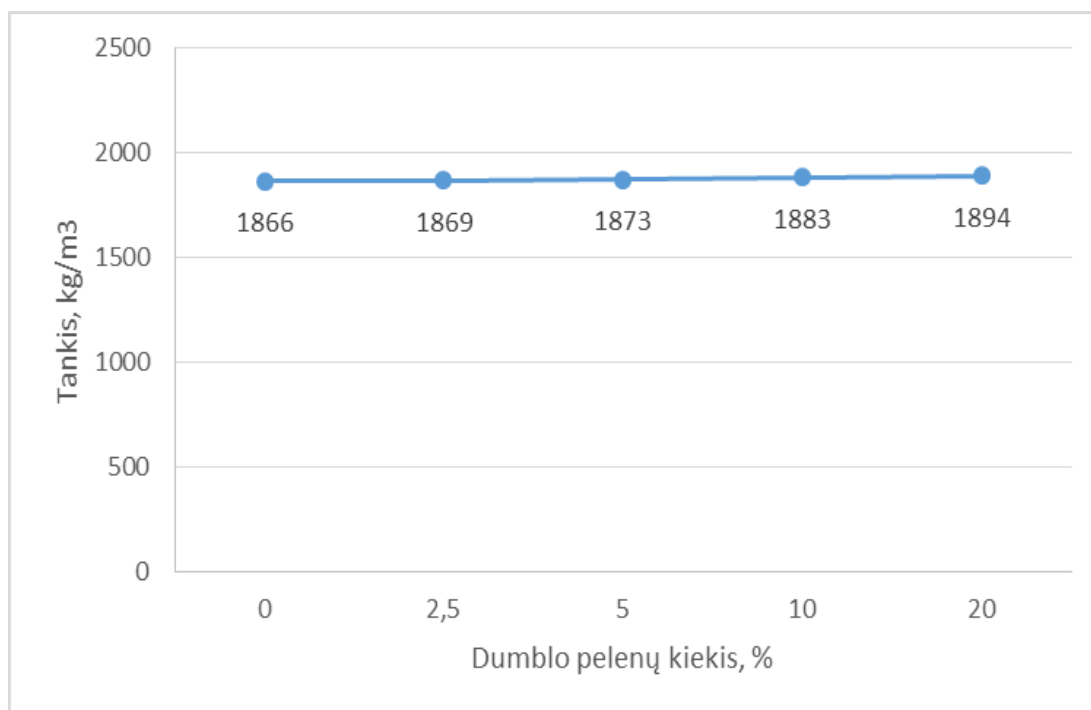
čia: m – bandinio masė, kg;

a – bandinio ilgis, m

b – bandinio plotis, m

h – bandinio auštis, m.

Tankio pokytis gautas išmatavus cementinio akmens bandinius su degintu dumbly, grafiškai pateiktas 2.2.4 pav. Iš grafiko matyti, kad didinant deginto nuotekų dumblo kiekį bandinių tankis praktiškai nekinta arba nežymiai didėja.



2.2.4 pav. Cementinio akmens tankio priklausomybė nuo deginto nuotekų dumblo

Poringumo nustatymas

Bandinių poringumo parametrai nustatyti matuojant vandens įgėrio kinetiką. Pagal šią metodiką nustatomas atviras (kapiliarinis) poringumas, bendras poringumas ir uždaras betono poringumas (įtraukto oro kiekis betone). Taip pat nustatyti porų dydį apibūdinantys santykiniai rodikliai: λ – vidutinio porų dydžio rodiklis ir α – porų dydžio vienodumo rodiklis [14].

Bendras betono poringumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$P_b = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_s}\right), \% \quad (2.3)$$

čia: P_b – bendras betono poringumas, %; ρ_b – betono tankis, kg/m³; ρ_s – betono savitasis tankis, kg/m³.

Betono atviras (kapiliarinis) poringumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$P_a = W_p \cdot \frac{\rho_b}{1000}, \% \quad (2.4)$$

čia: P_a - atviras integralinis betono poringumas (kapiliarinės poros); %;

W_p – betono vandens įgėris, %.

Betono uždaras (įtrauktas oras betone) poringumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$P_u = P_b - P_a, \% \quad (2.5)$$

čia: P_u – uždaras betono poringumas (įtrauktas oras betono mišinyje ir kontrakcinės poros).

Iš standarte GOST 12730.4-78 pateiktų duomenų tirtam cementiniam akmeniui parenkami porų dydį apibūdinantys santykiniai rodikliai: λ - vidutinio porų dydžio rodiklis ir α - porų vienodumo rodiklis. Remiantis šiame standarte pateikiama metodika betono atsparumą šalčiui galima prognozuoti pagal betono atsparumo šalčiui kriterijų K_s , kuris apskaičiuojamas pagal formulę:

$$K_s = \frac{P_u}{0,09P_a}, \quad (2.6)$$

Pagal šį kriterijų, atsparus šalčiui bus tas betonas, kuriame rezervinių porų tūris bus didesnis už vandens, esančio betono porose, tūrio prieaugį (apie 9 %) virstant jam ledu.

Atliekant bandinių poringumo nustatymo tyrimus, bandiniai yra džiovinami 1 parą 95°C temperatūroje. Išdžiovinti bandiniai paliekami kambario temperatūroje atvesti. Atvėsinti bandiniai pasveriami. Pasverti bandiniai dedami į vandenį. Po 15 min. jie išimami, nusausinami drėgna šluoste, pasveriami ir atgal įdedami į vandenį. Tai kartojama po 60 min, 24 val. ir 48 val. nuo pirmojo bandinių pamerkimo į vandenį. Naudojantis 2.6 - 2.9

formulėmis apskaičiuojamas betono bendrasis, betono atvirasis, betono uždarusis poringumas, bei betono atsparumas šalčiui [14].

Pagal vandens įgėrio kinetiką nustatytas vandens įgėris ir betono poringumo parametrai bei atsparumo šalčiui prognozavimo koeficientas pateikti 2.2.2 lentelėje.

2.2.2 lentelė. Bandinių, kuriuose cementas keičiamas degtu nuotekų dumbliu, savybės

Savybės	Cemento kiekis keičiamas džiovintu nuotekų dumbliu, %				
	0	2,5	5	10	20
Vandens įgėris, %	27,98	27,31	30,6	30,25	30,12
Bendras poringumas, %	44,95	44,2	46,96	46,59	46,39
Uždaras poringumas, %	3,53	3,22	3,3	3,12	2,96
Atviras poringumas, %	41,43	40,99	43,66	43,46	43,43
Atsparumo šalčiui kriterijus, K_s	0,95	0,87	0,84	0,8	0,76

Iš 2.2.2 lentelės matyti, kad priklausomai nuo panaudoto sauso dumblo kiekio, tirtų bandinių sudėčių pilnas vandens įgeriamumas kinta ribose nuo 27,31 iki 30,6 %. Didinant degto nuotekų dumblo kiekį, vandens įgėris pastebimai nekinta. Priklausomai nuo nuotekų dumblo, kuriuo keičiame dalį cemento, cementinio akmens atviras (kapiliarinis) poringumas svyruoja nuo 41,43% iki 43,66%, o uždaras poringumas (oro kiekis cementiniame akmenyje) – nuo 0,76% iki 0,95%.

Vanduo gali prasiskverbti tik į atviras poras. Didinant degto nuotekų dumblo kiekį uždaras poringumas mažėja, tai rodo kad bandinių su didesniu degto nuotekų dumblo kiekiu atsparumas šalčiui nežymiai mažėja.

2.3. Reologinių savybių tyrimas

Panaudojant rotacinius viskozimetrus su koaksialiniais cilindrais cemento tešlos reologinių savybių tyrimui, buvo pastebėta, kad tešlos elgiasi kaip Bingamo kūnas, kurį galima apibūdinti šlyties įtempimais (Pa) ir plastiškuoju klampiu (Pa·s). Anksčiau atliktų tyrimų metu buvo nustatyta, kad cemento tešloms būdingas dilatantiškumas ir tiksotropiškumas, t.y. jų reologinės savybės priklauso nuo mechaninio poveikio. Tiksotropija dažniausiai pasireiškia vibravimo metu, kuomet sumažėja sistemos šlyties įtempimai ir klampis. Dilatancija pasireiškia tuomet, kai didėjant šlyties įtempimams padidėja sistemos klampis [15].

Cemento tešlos pridėjus į ją aktyvių dispersinių priedų bei mikroužpildų šlyties

įtempimai ir klampis pakinta.

Cemento tešlos ribiniai šlyties įtempimai sumažėja didinant dispersinio priedo kiekį, tačiau tešlos klampis kinta priklausomai nuo priedo tipo ir kiekio. Pagal poveikį tešlos ribiniams šlyties įtempimams dispersinius priedus galima suskirstyti tokia tvarka: šlakas>klintys>SiO₂ mikrodulkės>pelenai (pakeičiant šiais priedais 10 % cemento masės). Pavyzdžiui, pridėjus 35 % aukštakrosnių šlako žymiai sumažinami tešlos ribiniai šlyties įtempimai ir klampis [15].

Ch. F. Ferraris, K. H. Oble ir R. Hill ištyrę skirtingų mineralinių priedų ir superplastiklių įtaką cemento tešlos Technologinėms savybėms nustatė, kad smulkūs pelenai daugiausiai sumažino tešlos ribinius šlyties įtempimus ir klampį [15].

Naudotos medžiagos ir tyrimo metodika:

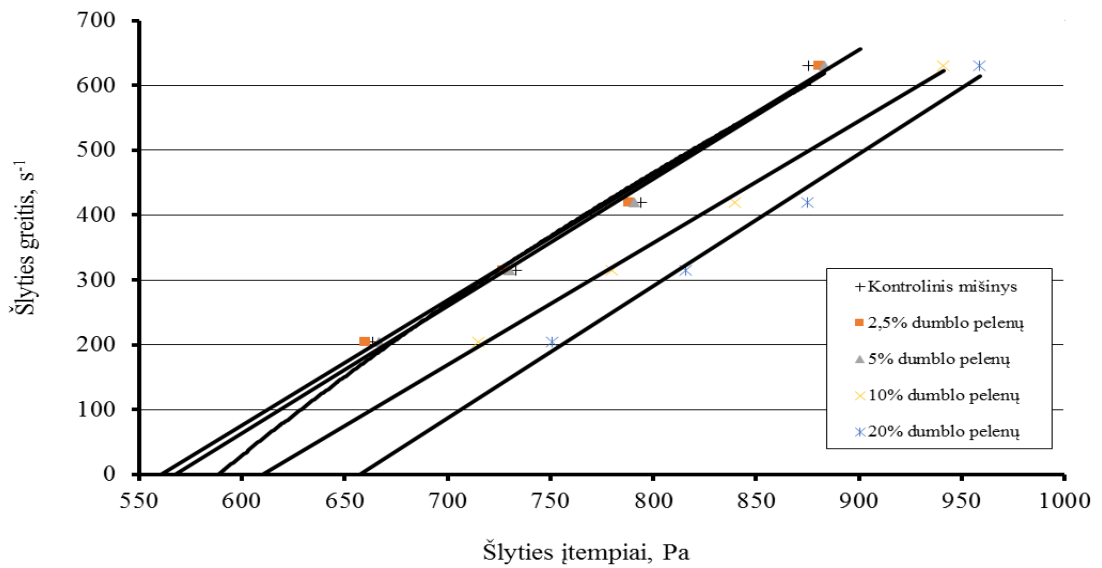
Tyrimams naudotas AB "Akmenės cementas" portlandcementis CEM I 42,5. Vandens kiekis normalaus tirštumo portlandcemenčio tešloje - 27,5 %, savitasis paviršius 350 m²/kg, dalelių tankis 3110 kg/m³, piltinis tankis 1220 kg/m³. Kaip mikroužpildas naudotas nuotekų dumblo pelenai, gauti deginant nuotekų dumblą 950° temperatūroje. Cemento tešla buvo maišyta rankiniu būdu apie 5 min.

Cemento tešlos reologines savybės nustatytos rotaciniu viskozimetru su koaksialiniais cilindrais BCH-3 (2.3.1 pav.).

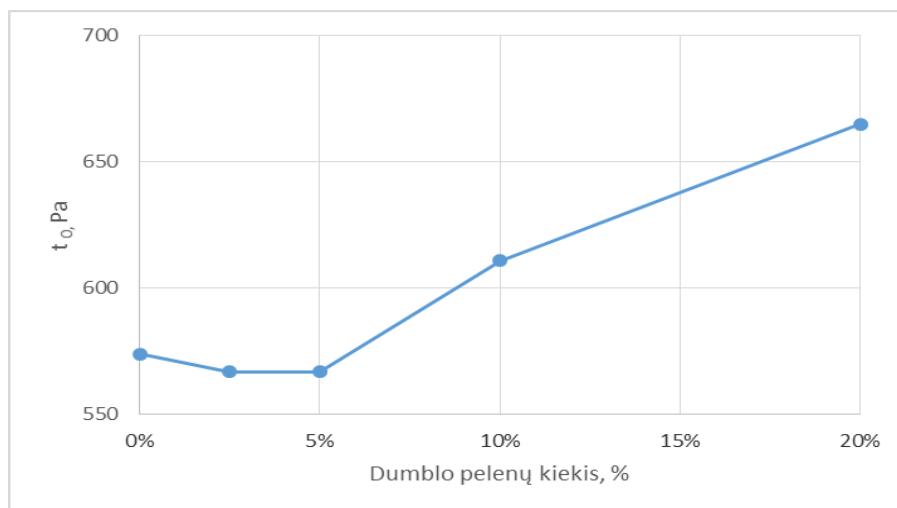


2.3.1 pav. Rotacinis viskozimetras BCH-3

Tyrimo rezultatai:



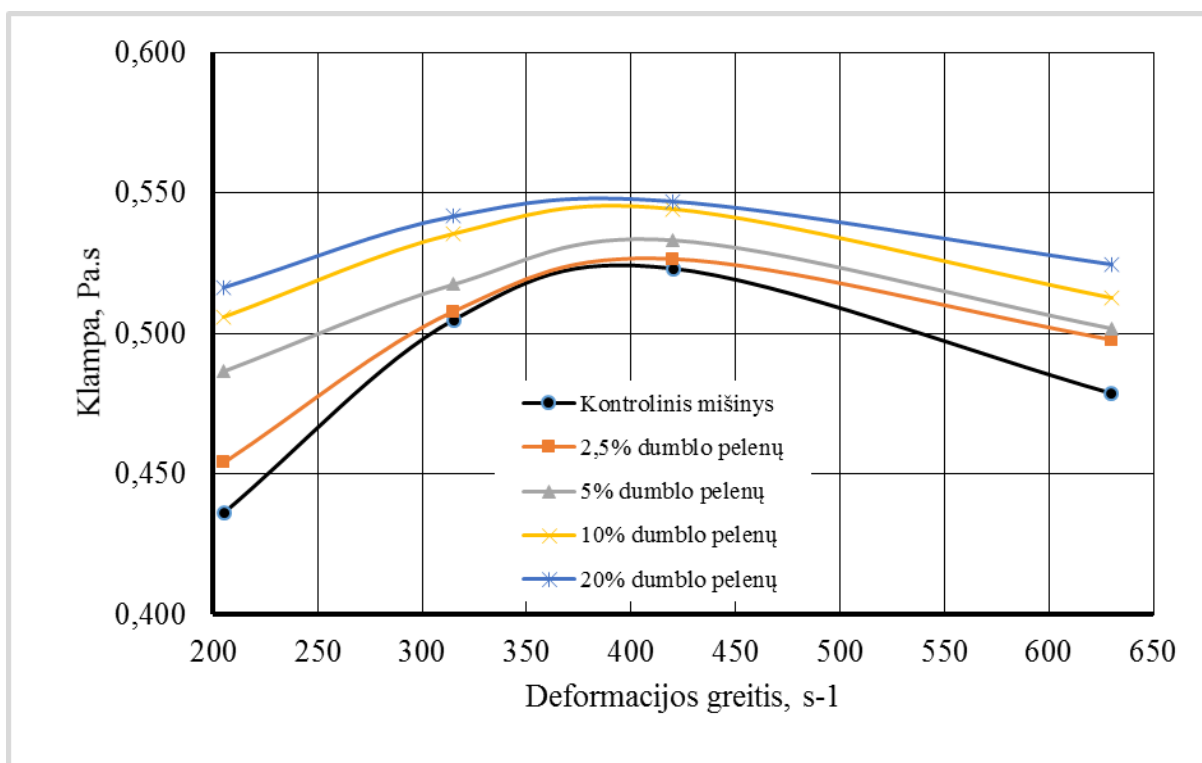
2.3.2 pav. Cemento teslos su dumblo pelenais greičio gradiento priklausomybė nuo šlyties įtempimų.



2.3.3 pav. Ribinių šlyties įtempių priklausomybė nuo dumblo pelenų kiekio.

Cemento tešlos ($V/C=0,55$) su skirtingu nuotekų dumblo pelenų suspensijos kiekiu greičio gradiento priklausomybės nuo šlyties įtempimų parodytos 2.3.2 pav. Iš šiame paveiksle pateiktų kreivių matyti, kad nuotekų dumblo pelenai padidina cemento tešlos ribinius šlyties įtempimus vis didesnę cemento dalį pakeičiant dumblo pelenais.

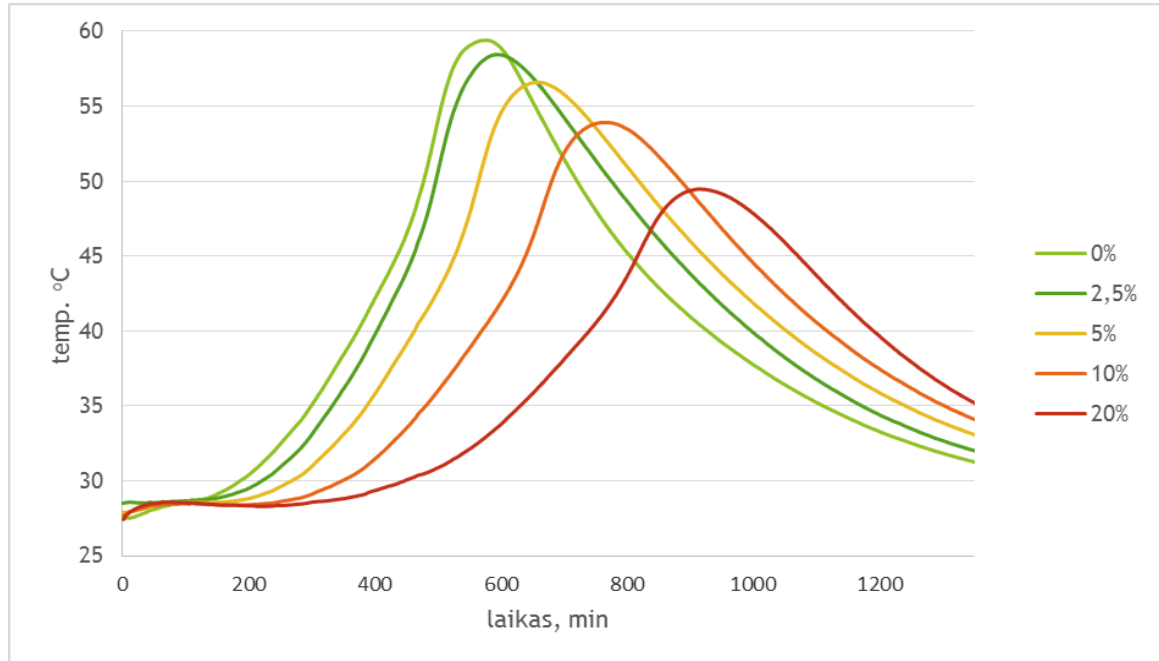
Vertinant cemento tešlos su skirtingu kiekiu dumblo pelenų klampio pokytį (2.3.4 pav.) matome, kad keičiant dalį cemento dumblo pelenais, sistemos klampis didėja.



2.3.4 pav. Klampio priklausomybė nuo dumblo pelenų kiekio ir greičio gradiento

2.4. Cemento hidratacinės šilumos nustatymas

Siekiant ištirti šilumos išsiskyrimo skirtumus reaguojant vandeniui ir cementui egzoterminių reakcijų metu buvo atliktas hidratacijos šilumos matavimas pusiau adiabatiniu metodu remiantis LST EN 196-9:2004 standartu.

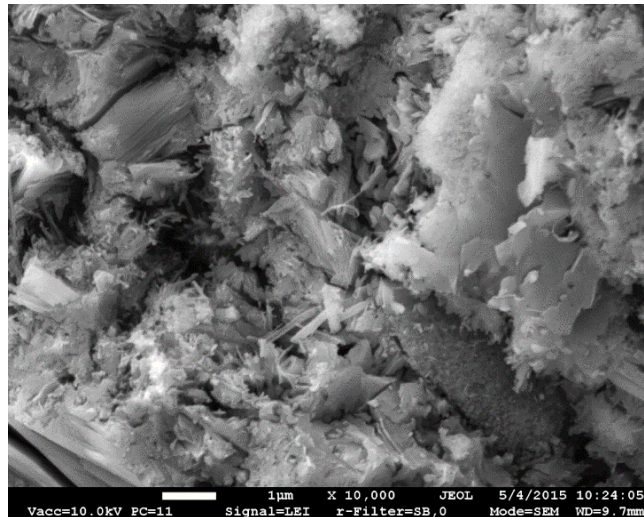


2.4.1 pav. Hidratacijos šilumos išsiskyrimo bandymas

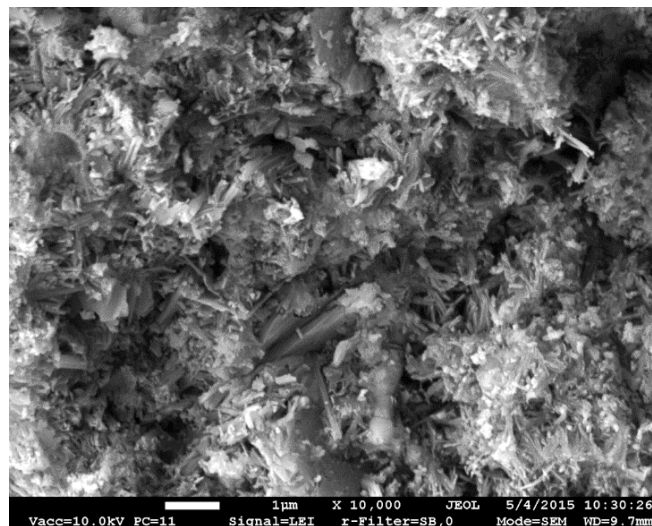
2.4.1 paveiksle pateiktame grafike žymima cemento hidratacijos šiluma bandiniuose, kuriems suformuoti naudota 0%, 2,5%, 5%, 10%, 20% nuotekų dumblo, degto 950°C temperatūroje. Remiantis tyrimų duomenimis, pastebima, jog cemento hidratacijos šilumos išsiskyrimas mažėja tolygiai dedant didesnius kiekius dumblo.

2.5. Cementinio akmens struktūra

Iš 2.5.1 ir 2.5.2 pav. galima matyti, kaip skiriasi cementinio akmens struktūros po 120 parų be nuotekų dumblo pelenų ir pakeitus cemento dalį 20% pelenais. Vaizdas yra padidintas 10 tūkst. kartų. Be nuotekų dumblo pelenų matomas didesnis kristališkumas, kas paaškina cementinio akmens didesnę stiprį gniuždant.



2.5.1 pav. Cementinis akmuo.



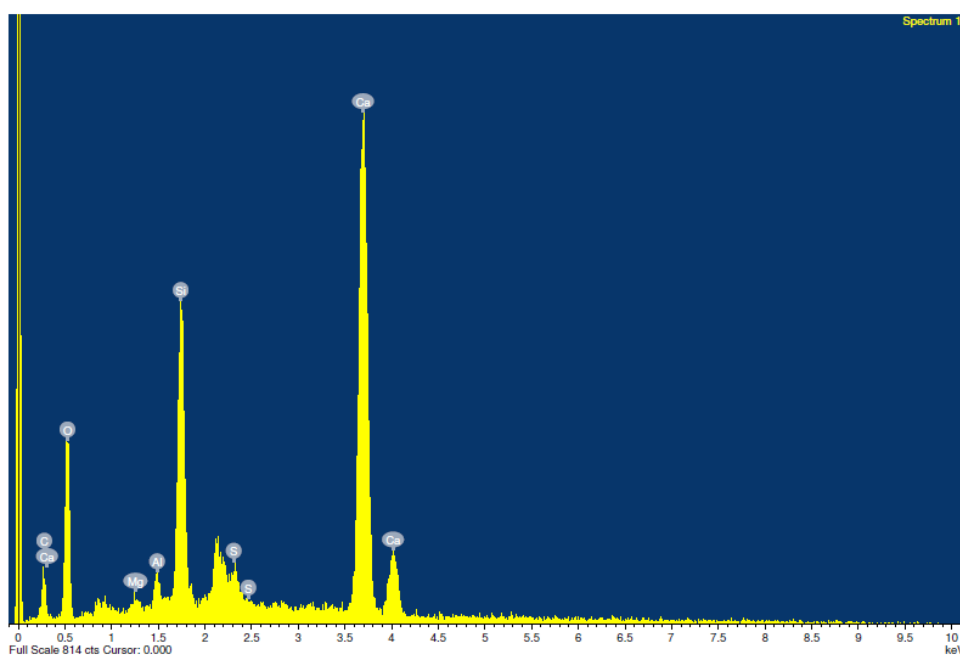
2.5.2 pav. Cementinis akmuo su 20% nuotekų dumblo pelenų.

2.6. Cementinio akmens EDS analizė

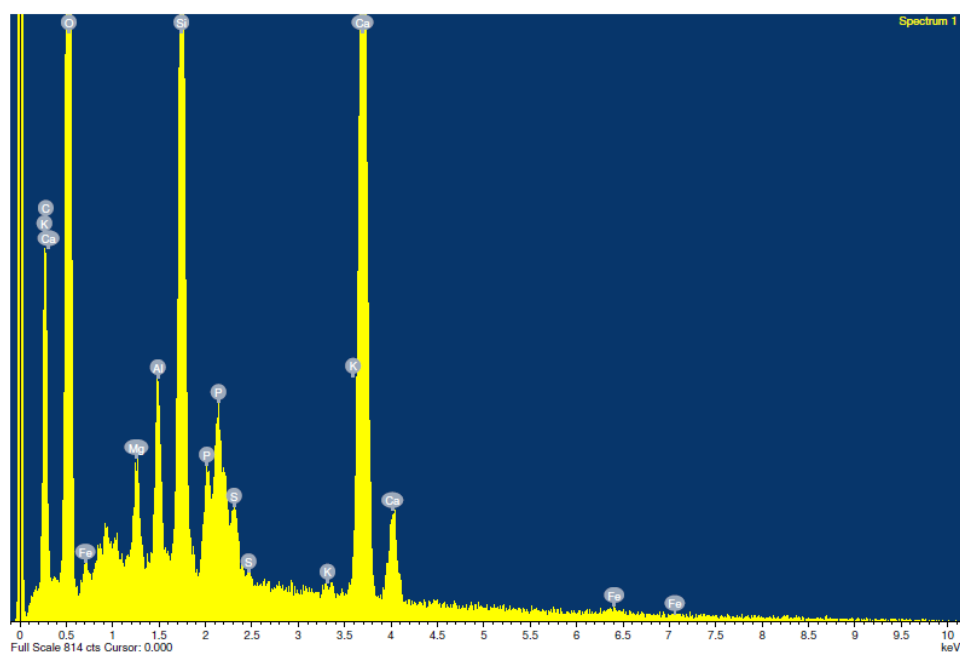
Atlikus cementinio akmens EDS analizę buvo nustatytos tokios elementų procentinės koncentracijos:

- 1) Be priemaišų (2.6.1 pav.): C – 2,87; O – 45,91; Mg – 0,20; Al – 0,48; Si – 4,76; S – 0,49; Ca – 45,30.
- 2) Su 20 dumblo pelenų (2.6.2 pav.): C – 9,30; O – 42,16; Mg – 1,06; Al – 2,06; P – 0,35; Si – 8,17; S – 0,73; Ca – 32,76; Fe – 3,09.

Sudėtys panašios, jokių didelių pokyčių nėra. Su 20 sudėtyje papildomai yra nedideli kiekiai fosforo ir geležies, kas didelės įtakos cementinio akmens savybėms daryti neturėtų.



2.6.1 pav. Cementinis akmuo.



2.6.2 pav. Cementinis akmuo su 20% nuotekų dumblo pelenų.

Išvados

1. Viena iš nuotekų dumblo panaudojimo galimybių – utilizuoti jį cementinių statybinių gaminių pramonėje. Remiantis cheminių tyrimų duomenimis galime teigti, kad kenksmingi metalai esantys nuotekų dumble patikimai surišami cementiniame akmenyje kai dumblo apdorojimo temperatūra siekia iki 950 °C.
2. Tyrimais nustatėme, kad nuotekų dumblas tinkamai jį apdorojus gali būti naudojamas cementinių gaminių gamyboje iki 20 % pakeičiant rišamosios medžiagos kiekį. Esant tokiam santykiui, stipris gniuždant sumažėja iki 9,5 %, tai yra žymiai mažiau, nei pakeista cementinio rišiklio.
3. Vertinant cementinio akmens stiprumines savybes po 90 parų kietėjimo matome, kad kuo didesnė cemento dalis keičiama nuotekų dumblo pelenais, tuo stipris gniuždant bus mažesnis, tačiau procentinis stiprumo sumažėjimas vis mažes lyginant su pakeista rišamosios medžiagos dalimi.
4. Didinant deginto nuotekų dumblo kiekį bandinių tankis praktiškai nekinta arba nežymiai padidėja.
5. Atlikus mišinių cemento hidratacijos šilumos nustatymą, buvo nustatyta, kad hidratacijos šiluma mažėja dedant didesnius kiekius dumblo pelenų, kas rodo neigiamą poveikį cementinio akmens stipruminėms savybėms.
6. Didinant degto nuotekų dumblo kiekį uždaras poringumas mažėja, tai rodo kad bandinių su didesniu degto nuotekų dumblo kiekiu atsparumas šalčiui nežymiai mažėja.
7. Tyrimais nustatyta, kad vis didesnę cemento dalį keičiant nuotekų dumblo pelenais, jie padidina cemento tešlos ribinius šlyties įtempimus. Vertinant cemento tešlos su skirtingu kiekiu dumblo pelenų klampio pokytį matome, kad keičiant vis didesnę dalį cemento dumblo pelenais sistemos klampis didėja.
8. Elektroniniu mikroskopu padarytose nuotraukose matoma, kaip skiriasi cementinio akmens struktūros po 120 parų be nuotekų dumblo pelenų ir pakeitus cemento dalį 20% pelenais. Be nuotekų dumblo pelenų matomas didesnis kristališkumas, kas paaiškina cementinio akmens didesnę stiprį gniuždant.
9. Remiantis literatūros duomenimis ir mūsų atliktais tyrimais tikėtina, kad nuotekų dumblas galėtų būti naudojamas cemento gamybos pramonėje, degant jį aukštoje temperatūroje ir taip pakeičiant dalį cemento gamybai naudojamos žaliavos, išsaugant to paties lygmens ar net geresnes klinkerio savybes.

Literatūra

1. LAND 20:2005. Nuotekų dumblo naudojimo tręšimui bei rekultivavimui reikalavimai. Valstybės žinios, 2005, Nr. 142-5135.
2. Utenos vandenys. – [žiūrėta 2014-01-25]. Prieiga per internetą: <<http://www.utenosvandenys.lt/dumblo-panaudojimo-galimybes-2.html>>
3. Siuris, A. Scientific Papers. Properties of sewage sludge, UASVM Bucharest, Series A, Vol. LIV, 2011, ISSN 1222-5339, 104-106 p.
4. Rautanen, S. L. Nuotekų valymas. Vilnius: Rotas. 1998, 212 p.
5. Budrys, R. Nuotekų valymo dumblas (NVD) ir biodegraduojančios atliekos (BDA) bei jų perdirbimas. Prieiga per internetą: www3.lrs.lt/exweb/AAK/eic20060426/ppt/Budrys.ppt>
6. Matuzevičius, A. Nuotekų valymo ir dumblo apdorojimo tikslinė paskirtis. Vilnius, 2004.
7. Spinoza, L. Co-manegement of sludge with solid waste: towards more efficient procesing. Water 21. 12, 2008.
8. Nuotekų dumblo nereikia uostyti, jį reikia panaudoti energijos gamybai. – [žiūrėta 2014-01-25]. Prieiga per internetą: <<http://sa.lt/perdirbto-nuoteku-dumblo-panaudojimo-galimybes/>>
9. Jamshidi, A.; Jamshidi, M.; Mehrdadi, N.; Shasavandi, A.; Pacheco-Torgal, F. The research Mechanical Performance Of Concrete With Partial Replacement Of Sand By Sewage Sludge Ash, 2010, 1-5p.
10. Chen, M; Blanc, D; Gautier, M; Mehu, J; Gourdon, R. Environmental and technical assessments of the potential utilization of sewage sludge ashes (SSAs) as secondary raw materials in construction, 2013, 1-8p.
11. Dumblo apdorojimas. – [žiūrėta 2014-01-25]. Prieiga per internetą: http://www.kaunovandenys.lt/lt/gyventojams/jusu_vanduo/nuoteku_valymas/?item=0
12. LST EN 12390-7:2009. Sukietėjusio betono bandymai. 7 dalis. Sukietėjusio betono tankis
13. LST EN 196-1. Cemento bandymų metodai. 1 dalis. Stiprio nustatymas
14. Ivanauskas, E.; Augonis, A.; Gečys, R.; Vaitkevičius, V. Statybinių medžiagų laboratoriniai darbai. Vilniaus pedagoginio universiteto leidykla. 2011.

15. Skripkiūnas, G.; Daukšys, M. „Smėlio smulkumo ir koncentracijos įtaka betono mišinių reologinėms savybėms“. Pažangioji statyba, Konferencijos pranešimų medžiaga. 2004, 158-166.
16. LST EN 196-9. Cementas. Bandymo metodai. 9 dalis. Hidratacijos šiluma. Pusiau adiabatinis metodas.
17. S. Valls, A. Yaguë, E. Va'zquez, C. Mariscal. Physical and mechanical properties of concrete with added dry sludge from a sewage treatment plant. Cement and Concrete Research. 2004. Vol 34. P. 2203-2208.
18. Pan, S., C.; Tseng, D., H.; Lee, C., C.; Lee, C. Influence of the fineness of sewage sludge ash on the mortar properties. 2003, 1749-1753.
19. Monzo, J.; Paya, J.; Borrachero, M., V.; Girbe, I. Reuse of sewage sludge ashes (SSA) in cement mixtures: the effect of SSA on the workability of cement mortars. 2003, 374-380.
20. Garces, P.; Perez Carrion, M.; Garcia-Alcocel, E.; Paya, J.; Borrachero, M., V. Mechanical and physical properties of cement blended with sewage sludge ash. 2008, 2495-2501.
21. Chen, M.; Blanc, D.; Gautier, M.; Mehu, J.; Gourdon, R. Environmental and technical assessments of the potential utilization of sewage sludge ashes (SSAs) as secondary raw materials in construction. 2013, 1268-1274.
22. Lin, K., L.; Lin, C., Y. Hydration characteristics of waste sludge ash utilized as raw cement material. 2003, 1999-2006.