



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS**

Algirdas Janecka

MEDIENOS PELENŲ PANAUDOJIMO 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

MEDIENOS PELENŲ PANAUDOJIMO BETONUOSE TYRIMAI

Baigiamasis magistro projektas
Statybos inžinerija (621H20001)

Vadovas

Doc. dr. Ernestas Ivanauskas

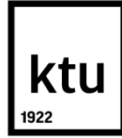
Recenzentas

Doc. Gediminas Stelmokaitis

Darbą atliko

Algirdas Janecka

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS

(Fakultetas)

Algirdas Janecka

(Studento vardas, pavardė)

Statybos inžinerija, 621H20001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Medienos pelenų panaudojimo betonuose tyrimai“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. gegužės 25 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Algirdo Janeckos** baigiamasis projektas tema „Medienos pelenų panaudojimo betonuose tyrimai“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Janecka, A. „Medienos pelenų panaudojimo betonuose tyrimai“. Magistrinio baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Ernestas Ivanauskas; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas, Statybinių medžiagų katedra.

Kaunas, 2015. 54 psl.

SANTRAUKA

Magistro darbe tirtas medienos pelenų panaudojimas betono gamyboje. Pirmoje dalyje aprašoma kokios medžiagos laikomos pelenais, pelenų klasifikacija, savybės ir panaudojimas.

Antroje dalyje nagrinėtos medienos pelenų savybės, taip pat jų įtaka cemento tešlos ir cementinio akmens savybėms. Atliekami savybių tyrimai, naudotos medžiagos, bei aprašoma bandymų metodika. Nustatyta normalaus tirštumo tešlos, cementinio mišinio sklidumai. Kolorimetriniu analizės metodu atlikti cementinio mišinio kietėjimo metu išsiskiriančios temperatūros matavimai. Atlikti reologinių savybių tyrimai. Pateikta rentgenografinė medienos pelenų, bei bandinių analizė.

Nustatytos fizikinės, mechaninės įvairių sudėčių bandinių savybės. Keičiant dalį cemento medienos pelenais (iki 30%) stipris gniuždant mažėja proporcingai, kinta ir mišinio technologiškumas. Nustatytos santykinų susitraukimų deformacijos. Atliktas betono atsparumo šalčiui prognozavimas ir patikrintas eksperimentiškai.

Janecka, A. „The use of wood ash in concrete research“. Master final project / supervisor doc. dr. Ernestas Ivanauskas; Kaunas university of technology, Civil engineering and architecture faculty, Building material department.

Kaunas, 2015. 54 pages.

SUMMARY

Master's work explored the use of wood ash in concrete production. The first part briefly describes what kind of substances can be considered as ash, ash classification, properties and utilization.

The second part analyzes wood ash characteristics, as well as their influence on the cement slurry and cement stone properties. Research were made to discover properties, materials that were used, and also describes the testing methodology. Normal consistency was found of dough and cement mixture flow characteristics. Pseudo-adiabatic colorimeter was used to perform hydration released during temperature measurements. Rheological properties were carried out. The X-ray was presented of wood ash and analysis of samples.

Physical, mechanical properties of various compositions of samples was identified. Replacing part of the cement wood ashes (up 30%), the compressive strength decreases almost in proportion varies and workability of the mixture also changing. Relative contraction strain tests was performed and concrete resistance to frost prediction and ultimately eventually experimentally.

TURINYS

ĮVADAS	7
1. LITERATŪROS APŽVALGA	9
1.1. Pelenai	9
1.1.1. Pelenų klasifikavimas.....	10
1.1.2. Medienos pelenų cheminė sudėtis.....	11
1.2. Medienos pelenų panaudojimo galimybės betono gamyboje.....	13
1.2.1 Medienos pelenų įtaka betone.....	16
2. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI.....	19
2.1. Tyrimams naudotos medžiagos	19
2.2. Tyrimų metodika	21
2.2.1. Mišinio reologinių ir technologinių savybių nustatymo metodika	21
2.2.2. Sukietėjusio betono fizikinės ir mechaninės savybės	25
2.3. Tyrimų rezultatai	31
2.3.1. Normalaus tirštumo tešlos nustatymas.....	31
2.3.2. Cementinio mišinio sklidumo nustatymas	32
2.3.3. Cementinio mišinio kietėjimo temperatūros tyrimas termografinės analizės metodu	35
2.3.4. Reologinių savybių tyrimas	36
2.3.5. Rentgenografinė analizė.....	38
2.3.6. Bandinių formavimas	42
2.3.7. Mechaninių savybių tyrimai.....	44
2.3.8. Santykinių susitraukimų deformacijų tyrimai	46
2.3.9. Betono atsparumo šalčiui prognozavimas.....	47
2.3.10. Betono atsparumo šalčiui nustatymas	48
IŠVADOS	50
LITERATŪRA	52

ĮVADAS

Lietuvoje miškai užima beveik 1 mln. ha plotą. Tai sudaro 30 % visos šalies teritorijos. Metinis medienos prieaugis sudaro 11-12 mln. m³. Pastaruoju metu šalies miškuose kasmet buvo iškertama apie 5 mln. m³ medienos, iš jų apie 700 tūkst. m³ sudarė malkų mediena. Kirtimų atliekos sudaro 1 mln. m³ per metus. Mediena nuo seno naudojama kūrenti, individualiuose namuose, elektrinėse, popieriaus fabrikuose ir kituose medienos deginimo įrenginiuose.

Pastaraisiais metais Lietuvoje įrengta apie pusantro šimto smulkesnių ir stambesnių medienos atliekomis kūrenamų katilinių. Medienos atliekos yra vyraujanti kuro rūšis Lazdijų, Ignalinos, Molėtų, Šilalės, Širvintų, Švenčionių, Šakių, Birštono, Mažeikių, Kretingos, Kazlų Rūdos centrinio šilumos tiekimo įmonėse. [2]

Lietuvoje per vienus metus šilumos ūkio reikmėms sudeginama daugiau kaip 63 tūkst. t medienos. Susidaro per 25 tūkst. t pelenų. Nemaža dalis pelenų susikaupia ir privačiame sektoriuje: daugėja namų ūkių, apšildymui naudojančių medieną.[3]

Vidutinei energetikos įmonei, sudeginančiai apie 14000 t įvairios medienos apytiksliai per metus susidaro apie 500 t (apie 875 m³) pelenų. Už pelenų priėmimą į sąvartyną reikia mokėti mokestį, kuris nustatytas kiekvienoje savivaldybėje pagal galiojančias atliekų tvarkymo taisykles ir atliekų tvarkymo dokumentus. Pavyzdžiui, Alytaus regioniniame sąvartyne mokestis už vieną toną atliekų yra 14,73 eurų (be PVM). Per vienerius metus įmonei priduoti pelenus į regioninį sąvartyną kainuotų apie 7364 eurų (be PVM). Į medienos pelenų tvarkymo išlaidas įeis ir pelenų transportavimo išlaidos. [2]

Kuo toliau biokuro panaudojimas šalies mastu auga ir su šia problema susidurs visos biokurą deginančios įmonės. Šilumos tiekėjai visomis nuo jų priklausančiomis priemonėmis stengiasi dujas keisti į biokurą ir tuo pačiu mažinti šilumos kainas. Iškyla problema kur dėti biokuro, naudojamo šilumos gamybai, pelenus. [1]

DARBO TIKSLAS: - išanalizuoti medienos pelenų įtaką cementinės tešlos savybėms ir sukietėjusio cementinio akmens savybėms.

Eksperimentais nustatyti, iš UAB „Vilniaus energijos“ gautais medienos pelenais, panaudojimo kaip dalinį cemento pakaitalą, įtaką betono mišinio savybėms ir sukietėjusio betono savybėms.

Keliami uždaviniai:

1. Išanalizuoti literatūrą;
2. Nustatyti normalaus tirštumo tešlą;
3. Atlikti cementinio mišinio sklidumo nustatymą;
4. Termografinės analizės metodu iširti cementinio mišinio kietėjimo temperatūrų kitimus laike;
5. Atlikti reologinių savybių tyrimus su skirtingomis betono sudėtimis;
6. Rentgenografinė analizės metodu nustatyti kristalinės fazės yra tiriamojoje medžiagoje;
7. Nustatyti fizikines, mechanines savybes;
8. Atlikti santykinų susitraukimų deformacijų tyrimą;
9. Atlikti betono atsparumo šalčiui prognozavimus;
10. Nustatyti betono atsparumą šalčiui.

Tyrimo metodai ir priemonės:

1. Mokslinės literatūros analizė;
2. Visi betono mišiniai buvo ruošiami priverstinio maišymo laboratorine maišykle;
3. Savaimė sutankėjančio betono mišinių technologinės savybės buvo nustatomos betono mišinio pasklidimo ir pasklidimo iki 500mm trukmės laiko bandymais standartiniu Abramsso kūgiu;
4. Betono mišinio reologinėms savybėms įvertinti buvo naudojamas V-formos piltuvas ir „BT RHEOM“ viskozimetras;
5. Betono fizikinėms ir mechaninėms savybėms nustatyti buvo naudojamos standartinės metodikos.

Temos naujumas, teorinė ir praktinė reikšmė:

Kadangi kuo toliau biokuro panaudojimas šalies mastu auga ir su šia problema susidurs visos biokurą deginančios įmonės. Šilumos tiekėjai visomis nuo jų priklausančiomis priemonėmis stengiasi dujas keisti į biokurą ir tuo pačiu mažinti šilumos kainas, todėl vienas pagrindinių šio darbo tikslų, yra įvertinti medienos pelenų utilizavimo galimybes. Yra atliktas ne vienas tyrimas naudojant medienos pelenus keičiant dalį cemento ar smulkiųjų užpildų. Bendru

atveju šis priedas daugiau ar mažiau įtakojo bandinių savybes. Tačiau medienos pelenai paimti iš skirtingų vietų, skirtingai įtakojo bandinių savybes.

Lietuvoje tokių tyrimų beveik neatlikta, todėl buvo nuspręsta pasigilinti giliau į šią temą. Buvo atlikta galimybių analizė panaudoti medienos pelenus betoniniuose gaminiuose keičiant juo dalį cemento.

Darbo struktūra ir apimtis:

Darbą sudaro: įvadas, mokslinės literatūros analizė, naudotų medžiagų ir tyrimų metodikos aprašymas, eksperimentinių tyrimų rezultatų pateikimas, išvados, naudotos literatūros sąrašas (32 šaltiniai). Darbą sudaro 54 puslapiai, jame yra 7 lentelės ir 49 paveikslų.

LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Pelenai

Pelenai – nebedegantis likutis, likęs visiškai sudegus kurui ar degiai medžiagai, degiam objektui. Pelenus sudaro nedegios ir nelakios (neišgaravusios degimo metu) mineralinės medžiagos.

Susidarantių pelenų kiekį nurodo medžiagos savybė peleningumas. Akmens ir rudosios anglies peleningumas yra nuo 1 iki 45 %, degių skalūnų – nuo 50 iki 80 %, durpių – nuo 2 iki 30 %, malkų – paprastai mažiau kaip 1 %, mazuto – paprastai mažiau kaip 0,15 %. [3]



1.1.1 pav. Medienos pelenai

Peleningumas neretai yra savybė, lemianti kuro panaudojimo galimybes. Kuo daugiau pelenų, tuo prastesnis kuras. Deginant kurą dalį šilumos sulaiko pelenai (šiluma prarandama su pelenais). Išsilydę pelenai sudaro šlaką, kuris aplimpa deginimo įrenginio dalis. Katilinėse pelenų ir šlako sluoksnis gali apnešti šilumokaičius ir trukdyti efektyviai pernešti šilumą į šilumos panaudojimo vietas. Su degimo dujomis išlekiantys pelenai dilina dūmtraukių paviršius, patekę į atmosferą – ją užteršia. [2]

Pelenai civilinės inžinerijos statinių (vietinės reikšmės kelių ir kt.) statyboje gali būti naudojami kaip statybinė medžiaga, statybinės medžiagos papildas arba pakaitalas vadovaujantis Lietuvos Respublikos statybos įstatymo (Žin., 1996, Nr. 32-788; 2001, Nr. 101-3597) bei atitinkamų statybos ir kelių techninių reglamentų reikalavimais. [3]

Pelenų kiekis nustatomas kiekvienu atveju atskirai, atsižvelgiant į Pelenų naudojimo pobūdį. Plane pateikiamas kiekio nustatymo pagrindimas, nurodomi naudojami apdoroti ar neapdoroti pelenai.

1.1.1. Pelenų klasifikavimas

Pelenus pagal tam tikras frakcijas suskirsto suklasifikuoja oro valymo įrenginiai. Todėl vykdant oro valymo įrenginių priežiūrą ir sandėliuojant pelenus, reikia žinoti kuriuose oro valymo įrenginiuose nusėda labai smulkios dalelės, o kuriuose vidutiniškai smulkios.

Suomijoje ir Švedijoje medienos pelenų panaudojimą tręšimui apsprendžia sunkiųjų metalų koncentracija pelenuose, o ypač Kadmio koncentracija. Kadmio koncentracija medžio apdirbimo pramonėje varijuoja nuo 3 iki 30 mg/kg. Leidžiamas kiekis tręšiant žemės ūkio laukus yra 3 mg/kg. Viena galimybė sumažinti sunkiųjų metalų koncentraciją pelenuose yra jų klasifikavimas. [4]

Nuo degimo sąlygų, kuro charakteristikų priklauso pelenų kokybė ir jų kiekis, kuris įtakoja pelenų utilizavimo galimybes. Pelenų klasifikavime svarbu žinoti, kaip sunkieji metalai pasiskirstę skirtingo dydžio dalelėse.

Atlikus tyrimus su elektrostatiu oro valymo įrenginiu nustatyta, kad sunkiųjų metalų daugiausia yra mažose dalelėse, kurios valomo oro srautu nunešamos į paskutines oro valymo įrenginio sekcijas ir ten nusėda [4].

Esant didelei dulkių koncentracijai ir įvairiam dulkių dispersiškumui taikomi dviejų laipsnių oro valymo įrenginiai. Pradžioje sėdinimo kameros ar ciklonai surenka

stambiadisperses dulkes (grubus valymas), po to filtrai ir elektrostatiniai filtrai surenka smulkiadisperses dulkes (smulkus valymas).

Pirminio oro valymo įrenginių klasei priskiriami sausieji oro valymo įrenginiai: gravitacinės kameros, inerciniai (įvairių tipų ciklonai) ir šlapieji: tuščiaviduriai, su įkrova, išcentriniai, skruberiai. O švariojo valymo įrenginiai elektrostatiniai filtrai, įvairūs pluoštiniai (rankoviniai), aktyvieji, grūdėtieji filtrai, ventūrio skruberiai ir t.t [4].

Įprastai kūrenimui naudojamos akmens ir rudosios anglis, durpės, populiariausias biokuras - mediena. Taigi toliau šiame darbe ir tyrinėjimu šio biokuro įtaką betono gamyboje.

1.1.2. Medienos pelenų cheminė sudėtis

Remiantis rekomendacijomis miško kuro pelenų makro ir mikro maisto medžiagų bei sunkiųjų metalų koncentracijos priklauso nuo:

- kuro deginimo sąlygų;
- medienos kuro rūšies naudojimo (skirtingos cheminių elementų sancaupos medžio dalyse (spygliuose, lapuose, šakose, šaknyse, stiebuose, žievėje).

Dalis miško kuro pelenuose esančių mikroelementų (Mn, Cu, Zn, B, Mo) yra būtini augalų maisto medžiagų apykaitai. Kiti (As, Cd, Hg, Cr, Ni, Pb) yra toksiški sunkieji metalai, kurie gali užteršti dirvožemį, augalus, vandens telkinius, o migruodami į gilesnius dirvožemio horizontus - ir gruntinius vandenius. [11]

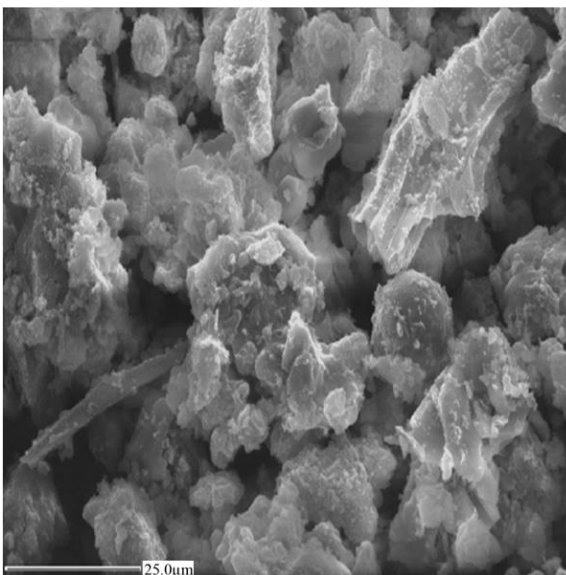
Miško kuro pelenų kokybę parodo maisto medžiagų (Ca, Mg, K ir P) ir mikroelementų (B, Zn, Cu, Mn, Mo ir kt.) koncentracijos – kuo jos didesnės, tuo pelenai vertingesni. Toksiški sunkieji metalai (As, Cd, Hg, Cr, Ni, Pb, V ir kt.), radionuklidukai (^{137}Cs) bei poliaromatiniai angliavandeniliai (pvz., bendz(a)pirenas) pelenų kokybę mažina.

Medžio pelenus sudaro: anglis (5% - 30%), kalcis (5% - 30%), kalis (3% - 4%), magnis (1% - 2%), fosforas (0,3% - 1,4%) ir natris (0,2% - 0,5%). [11]

Šie sudėtiniai kompoziciniai apribojimai taip pat buvo pastebėti: SiO_2 (4% - 60%), Al_2O_3 (5% - 20%), Fe_2O_3 (10% - 90%), CaO (2% - 37%), MgO (0,7% - 5%), TiO_2 (0% - 1,5%), K_2O (0,4% - 14%), SO_3 (0,1% - 15%), KP (0,1% - 33%), drėgmė (0,1% - 22%), ir galimi šarmai (0,4% - 20%). Tyrimas parodė, kad visi pagrindiniai junginiai esančių medžio pelenų randami lakiuose pelenuose. [11]

1.1.2.1 lent. Cheminė sudėtis pelenų iš kelių rūšių medienos [27]

Mediena ir medžio biomasa	SiO ₂	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	TiO ₂
Alksnio-egglės pjuvenos	37.49	26.41	6.1	2.02	12.23	4.04	8.09	0.83	1.81	0.98
Balzamo žievė	26.06	45.76	10.7	4.87	1.91	2.33	2.65	2.86	2.65	0.21
Buko žievė	12.4	68.2	2.6	2.3	0.12	11.5	1.1	0.8	0.9	0.1
Beržo tošė	4.38	69.06	8.99	4.13	0.55	5.92	2.24	2.75	1.85	0.13
Kalėdų eglutės	39.91	9.75	8.06	2.46	15.12	2.59	9.54	11.66	0.54	0.37
Guobos žievė	4.48	83.46	5.47	1.62	0.12	2.49	0.37	1	0.87	0.12
Eukalpto žievė	10.04	57.74	9.29	2.35	3.1	10.91	1.12	3.47	1.86	0.12
Eglės malūno liekanos	19.26	15.1	8.89	3.65	5.02	5.83	8.36	3.72	29.82	0.35
Miško liekanos	20.65	47.55	10.23	5.05	2.99	7.2	1.42	2.91	1.6	0.4
Cūgos žievė	2.34	59.62	5.12	11.12	2.34	14.57	1.45	2.11	1.22	0.11
Žemės kliringo mediena	65.82	5.79	2.19	0.66	14.85	1.81	1.81	0.36	2.7	0.55
Klevo žievė	8.95	67.36	7.03	0.79	3.98	6.59	1.43	1.99	1.76	0.12
Ažuolo pjuvenos	29.93	15.56	31.99	1.9	4.27	5.92	4.2	3.84	2	0.39
Ažuolo mediena	48.95	17.48	9.49	1.8	9.49	1.1	8.49	2.6	0.5	0.1
Alyvuogių mediena	10.24	41.47	25.16	10.75	2.02	3.03	0.88	2.65	3.67	0.13
Pušies žievė	9.2	56.83	7.78	5.02	7.2	6.19	2.79	2.83	1.97	0.19
Pušų skiedros	68.18	7.89	4.51	1.56	7.04	2.43	5.45	1.19	1.2	0.55
Pušies genėjimo	7.76	44.1	22.32	5.73	2.75	11.33	1.25	4.18	0.42	0.17
Pušies pjuvenos	9.71	48.88	14.38	6.08	2.34	13.8	2.1	2.22	0.35	0.14
Tuopa	3.87	57.33	18.73	0.85	0.68	13.11	1.16	3.77	0.22	0.28
Tuopos žievė	1.86	77.31	8.93	2.48	0.62	2.36	0.74	0.74	4.84	0.12
Pjuvenos	26.17	44.11	10.83	2.27	4.53	5.34	1.82	2.05	2.48	0.4
Eglės žievė	6.13	72.39	7.22	2.69	0.68	4.97	1.9	1.88	2.02	0.12
Eglės mediena	49.3	17.2	9.6	1.9	9.4	1.1	8.3	2.6	0.5	0.1
Maumedžio žievė	7.77	53.5	5.64	5	8.94	9.04	3.83	2.77	3.4	0.11
Gluosnis	6.1	46.09	23.4	13.01	1.96	4.03	0.74	3	1.61	0.06
Mediena	23.15	37.35	11.59	2.9	5.75	7.26	3.27	4.95	2.57	1.2
Medienos liekanos	53.15	11.66	4.85	1.37	12.64	3.06	6.24	1.99	4.47	0.57
Vidurkis	22.22	43.03	10.75	3.48	5.09	6.07	3.44	2.78	2.85	0.29



1.1.2.1 pav. Medienos lakiųjų pelenų dalelės [27]

1.2. Medienos pelenų panaudojimo galimybės betono gamyboje

Betonas yra dirbtinė medžiaga, kurioje smulkūs ir stambūs užpildai yra kartu surišti cemento, sumaišius su vandeniu. Betonas tapo populiarus ir nepakeičiamas, dėl to jog atnešė revoliuciją statybose. Su technologijų pažanga ir padidėjusiu panaudojimo lauku betonui ir skiediniams, stiprumo tinkamumas, patvarumas ir kitos charakteristikos iš eilinio betono reikalauja pakeitimų, kad taptų tinkamesnis įvairioms situacijoms. Dėl to, tai yra būtinybė kovoti su savikainos augimu ir cemento trūkumu. Tokiomis aplinkybėmis nustatyta, jog priedų naudojimas yra svarbu alternatyvus sprendimas. [6]

Švedijoje galiojantys standartai pelenų panaudojimui cemento ir betono gaminimas gaminti yra pritaikyti pelenams, kuriuose gausu anglies ir silicio. Pelenai susidarantys deginant biokurą netenkina šių standartų. Todėl medienos pelenai buvo tyrinėjami, kaip priedas gaminant betoną. Švedijoje betono gamyboje neleidžiama pelenų panaudoti dideliais kiekiais ir pelenams keliami aukšti reikalavimai. Tačiau aukšta cemento kaina skatina ją mažinti, pavyzdžiui kaip rišančiąją medžiagą betone naudojant lakiuosius pelenus. [4]

Švedijoje buvo atlikti tyrimai, kai lakieji medienos pelenai buvo panaudoti kaip cemento pakaitalas, ne įprastinėse, kitokio tipo konstrukcijose - rudos kasyklose. Kasyklų vietose iš kurių iškasta rūda lieka tuščios ertmės, kurios paprastai užpildomos įvairiomis liekanomis

sumaišytomis su cementu, tam kad būtų išlaikytas stabilumas ir būtų galima eksploatuoti esančias šalia rūdos kasyklas. [4]

Tyrimai parodė, kad lakieji medienos pelenai gali pakeisti pusę cemento kiekio, kuris naudojamas šiam sutvirtinimui.

Švedijoje atlikti bandymai panaudojant popieriaus pramonėje susidarančius medienos pelenus, parodė, jog medienos pelenai yra geras priedas, kuris stabilizuoja, sutvirtina betoną. Betono paviršius visus lygus ir be ertmių (porų). [4]

Daugelis įmonių, kurios gamina betono gaminius, į pelenų panaudojimą betoninių gaminių gamyboje žiūri skeptiškai. Galbūt pasikeitimai matomi tik šiuo metu, kai išsaugo susidomėjimas pelenais. Aukštas aplinkosauginių aspektų supratimas ir įsisavinimas pastūmėjo šiam pasikeitimui. Iškyla rizika ar bus išlaikomi reikalavimai šiems gaminių kokybės rodikliams kaip patvarumas, ilgaamžiškumas ir patikimumas, nepaisant to, šių pelenų panaudojimas yra galimas, ir kur jie yra panaudojami ten gali būti sutaupomi pinigai ir taip pat sumažinamos CO₂ emisijos (nes gaminant cementą CO₂ emisijos labai didelės).

Taigi buvo bandoma atliekant dabartinį tyrimą, išstudijuoti medienos atliekų - pelenų papildymą (0 - 30%) betone. Betono, kuriame yra medienos pelenų, išbandytas atsparumas gniuždymui, rūgščių poveikis su koncentruotomis rūgštimis, pavyzdžiui, H₂SO₄ ir HCl ir vandens absorbcija. [4]

Betonas turi neribotas galimybes naujovių diegime, projektavimo ir statybos technologijose. Betonas tapo labai konkurencinga statybinė medžiaga. Nors daug tyrimų yra orientuota į paskutinį dešimtmetį naudoti įvairius priedus gaminant betoną, tačiau labai mažai informacijos galima rasti apie medienos pelenų betoną. Medžio pelenai susidaro kaip šalutinis produktas deginant medienos anglimi kūrenamose elektrinėse, popieriaus fabrikuose ir kituose medienos deginimo įrenginiuose. Kadangi mediena yra atsinaujinantis energijos šaltinis ir aplinkai draugiška medžiaga, numatoma, kad ateityje didės medienos naudojimas energijos gamybai. To pasekoje, bus padidėjęs medienos pelenų kiekis. [26]

Atsižvelgiant į šiuos tikslus, tapo svarbu sukurti naudingus panaudojimo būdus medžio pelenams, kad išspręsti problemas, susijusias su jų utilizavimu. Medienos pelenai buvo suskirstyti į dvi pagrindines klases: lakiųjų pelenų ir dugno pelenų. Žinios apie įvairių savybių medžio pelenus, kaip antai fizinės, cheminės, ir mikrostruktūrinės savybės reikėtų nustatyti jiems naudingus pritaikymus. Šios savybės labai priklauso nuo kelių veiksnių, įskaitant rūšis ir

medienos šaltinius, dizaino ir katilo darbinių parametrų (ypač deginimo temperatūros), bei pelenų surinkimo technika. Aptariamasis tyrimas buvo atliktas siekiant nustatyti įvairias fizines medžio pelenų savybes ir nustatyti potencialų medžio pelenų panaudojimą cementu pagrįstose statybinėse medžiagose. Medžio pelenai yra priemaišos: pucolanai. Medžio anglis gaunama deginant medieną. Tai gali būti susiję su lakiaisiais pelenais, kadangi lakieji pelenai yra gaunami iš akmens anglies, kuri yra suakmenėjęs medis. Ryžių lukštų pelenai taip pat augalinės kilmės. Tai reiškia, kad medienos pelenai gali būti naudojami kaip pucolanas betonui. [10]

Bandymais siekiama ištirti, medienos pelenų betono atsparumą. Mėginiai buvo laikomi drėgnoje ir sausoje aplinkose, buvo išmatuoti gniuždymo ir lenkimo stiprumai ir tiriama mikrostruktūra. Medžiagų savybės pagerėjo, kai medienos pelenai yra prisotinti natrio silikato tirpalo, tai dėl pagerėjusios ryšio tarp skaldinėlių ir cemento pastos. Medienos atliekos, pjuvenos ir medžio skutų pelenai, medžio atliekos pelenai iš anksto paruoštos medienos iš 0, 5, 10, 15, 20, 25 ir 30% cemento masės buvo įdėta kaip priedas į betoną, kai mišinio santykis 1:2:4:0,56 cementas: smėlis: stambus užpildas: vandens ir cemento santykis, ir stiprumo bei vandens absorbcija buvo įvertinta. Be to, metalų išplovimo galimybės iš medienos atliekų pelenų buvo išanalizuotos. Stiprumai gniuždam betono bandinius su medienos pelenais svyravo 12,83-28,66 N/mm², o lenkiant - 3,65-5,57 N/mm², atitinkamai mažiausios vertės, gautos 30% pakeitus cementą medienos pelenais. Palyginus su kontroliniu (paprasto betono be medienos pelenų) stiprumu, gniuždymo ir lenkiamosios stipruminės medienos atliekų pelenų betono savybės buvo tarp 62 - 91% gniuždam bei 65 - 98% lenkiant. Studijuojant medienos pelenų betone elgseną, buvo atlikta jų cheminė analizė, nustatytas tūrinis tankis, atlikta sijosimo analizė, nustatytas medžio pelenų ir užpildų dalelių tankis, konsistencija, atlikti skiedinio slankumo bandymai ir nustatyti medžiagų tinkamumai konkrečiam sprendimui. Bandymo rezultatai rodo, kad medienos pelenai yra šiek tiek pucolaniniai, kadangi atlikus cementinio skiedinio normalaus tirštumo testą, matomas didėjantis vandens poreiki, didėjant pelenų kiekiui. Betono su medienos pelenais stipris gniuždam didėjant kietėjimo laikui - didėja su optimaliu 20% cemento pakeitimu medžio pelenais. Atlikti bandymai sieros rūgšties poveikiui nustatyti, siekiant prognozuoti betono nusidėvėjimo grėsmingoje aplinkoje: nuotekų įrenginių, karšto vandens šaltinių, ir t.t. [4]

1.2.1. Medienos pelenų įtaka betone

Analizuotuose tyrimuose, norėta išsiaiškinti ir įvertinti medienos atliekų pelenų įtaką (0-30%) betone, kai vandens ir cemento santykis $V/C=0,49$. Tyrime atlikta atsparumas gniuždymui, atsparumas medienos atliekų pelenų betono rūgščių poveikiui naudojant 5% H_2SO_4 ir HCl rūgštis, bei tiriama vandens absorbcija. Buvo suformuoti standartiniai kubeliai 150 x 150 x 150mm ir nustatytas gniuždymo stipris po 28 vandenyje kietėjimo parų. Dėl rūgščių poveikio, tie patys kubeliai buvo panardinti 5% koncentrato H_2SO_4 ir HCl tirpalus ir nustatyti masės pokyčiai. Atlikti gniuždymo bandymai po 30, 60 ir 90 kietėjimo dienų. Vandens įgėrio bandymai buvo atliekami norint nustatyti absorbuoto vandens kiekį. Vandens įgėrio bandymui buvo naudojami 100 x 100 x 100 mm kubeliai. [4]

Naudotos medžiagos:

Rišamoji medžiaga: portlandcementis CEM I 42,5 R klasės. Savitasis tankis $3,1g/cm^3$.

Stambus užpildas: naudotas per 12,5 mm sietą išsijotas granitas. Stambaus užpildo savitasis tankis buvo $2,75g/cm^3$.

Smulkus užpildas: smėlis iš vietinių šaltinių. Smėlio savitasis sunkis yra $2,64g/cm^3$.

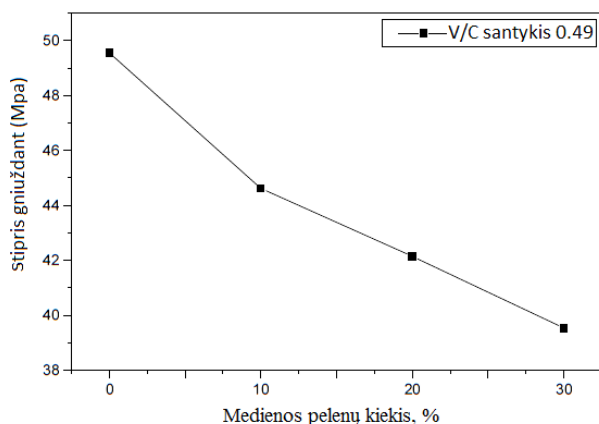
Vanduo: geriamasis gėlas vanduo, kuris yra be rūgščių ir organinių medžiagų, naudojamas maišymui ir betono kietinimui.

Medienos pelenai: medienos atliekų pelenai susidaro kaip šalutinis produktas medieną deginančių elektrinių, popieriaus fabrikų ir kitų medieną deginančių gamyklų. Medienos pelenų dalelių dydis iki 300 μm .

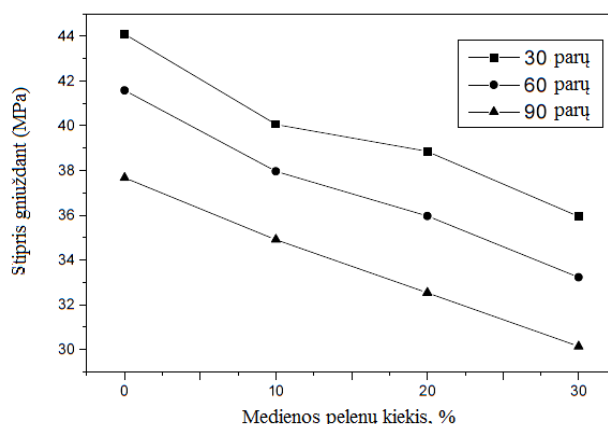
Cementas, smėlis, stambus užpildas ir medienos atliekų pelenai buvo kruopščiai išmaišomi rankiniu būdu. Maždaug 25% vandens įpilta ir kruopščiai išmaišyta, siekiant gauti vienodą mišinį. Likęs 75% vandens kiekis buvo įpiltas ir kruopščiai išmaišoma, siekiant gauti vienodą mišinį. Formos buvo pašalinamas po 24 valandų ir bandiniai perdėti į švaraus vandens rezervuarą palikti kietėti. Po 28 vandenyje kietėjimo parų, bandiniai buvo išimti iš vandens ir nusausinti. 24 betono kubeliai, kurių dydis 150 x 150 x 150 mm, 3 betono kubeliai, kurių dydis 100 x 100 x 100mm buvo išlieti iš kiekvieno mišinio.

Gniuždymo įrenginio slėgio matuoklis nurodo mažiausią 1kN apkrovą. Apkrova kubeliui buvo taikoma pastoviu greičiu iki bandinio įtrūkimo ir buvo pažymėtas didžiausias krūvis.

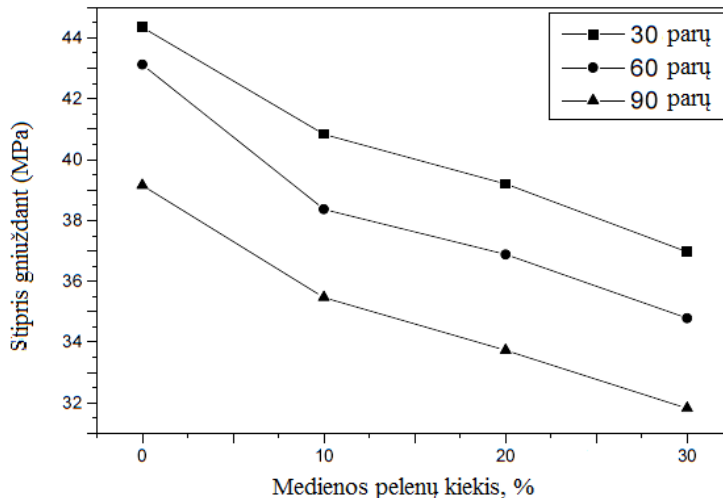
Vidutinis gniuždomasis stipris paimtas iš trijų kubelių, kurie 28 paras kietėjo vandenyje. Ta pati procedūra pakartojama nustatant gniuždymo stiprį po 30, 60, 90 parų laikymo rūgštyje.



1.2.1.1 pav. Gniuždymo stiprumo priklausomybė nuo medienos pelenų %



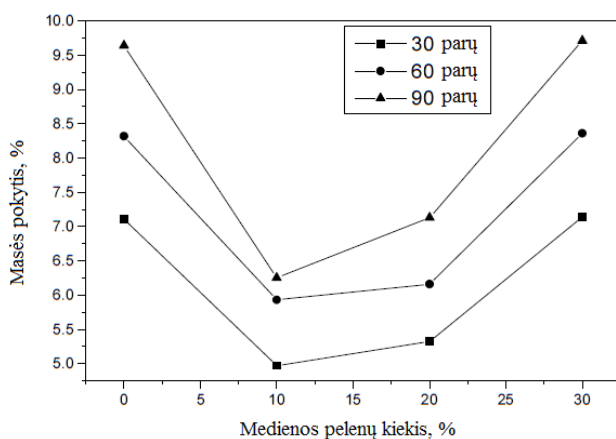
1.2.1.2 pav. Gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo medienos pelenų kiekio (panardinus į H₂SO₄ rūgštį)



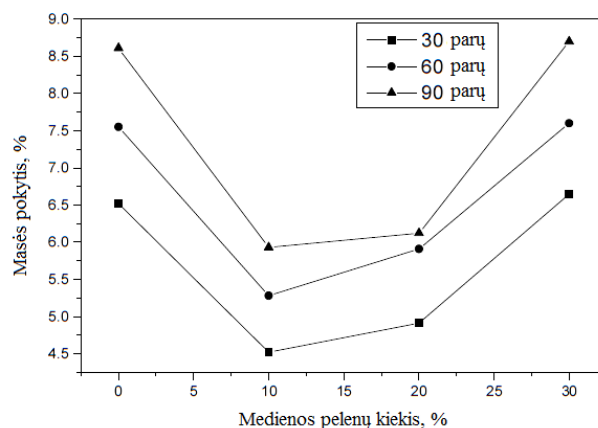
1.2.1.3 pav. Gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo medienos pelenų % (panardinus į HCl rūgštį)

Buvo suformuoti 150 x 150 x 150 mm kubeliai. Jie buvo atskirai panardinti į 5% koncentruotą HCl ir H₂SO₄ tirpalą po 28 parų kietinimo. Iš pradžių buvo pamatuoti vidutiniai

kubelių svoriai ir stebimas irimas po 30, 60 ir 90 dienų, bandiniai toliau pasveriami. Pastebėtas masės sumažėjimas dėl panardinimo į rūgštis.

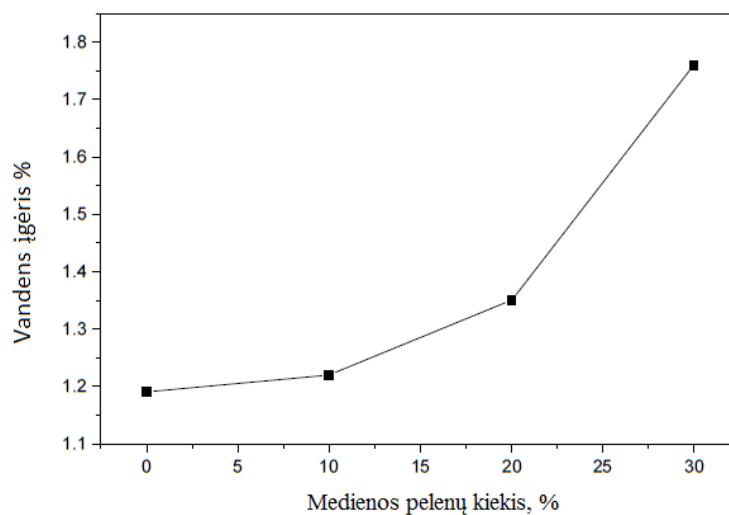


1.2.1.4 pav. Masės pokyčio priklausomybė nuo medienos pelenų kiekio panardinus į H₂SO₄ rūgštį



1.2.1.5 pav. Masės pokyčio priklausomybė nuo medienos pelenų kiekio panardinus į HCl rūgštį

Vandens įgėris yra naudojamas nustatyti absorbuoto vandens kiekiui nurodytomis sąlygomis. Atliekant bandymą buvo naudojami 100 x 100 x 100mm kubeliai, kurie kietėjo 28 paras vandenyje. Iškart po kietėjimo, kubeliai buvo sveriami, kuris yra sausas svoris. Tada kubeliai buvo panardinti vandenyje 24 valandoms. Kubeliai buvo išimti, nusausinti ir pasverti, tai yra jų drėgnasis svoris. Vandens įgėris yra išreikštas masės padidėjimu procentais. Procentinė vandens absorbcija = $[(\text{drėgno svoris drėgno} - \text{sauso svoris}) / \text{sauso svoris}] \times 100$



1.2.1.6 pav. Vandens įgėrio priklausomybė nuo medienos pelenų kiekio, %

2. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

2.1. Tyrimams naudotos medžiagos

Portlandcementis

Tyrimams naudotas AB „Akmenės cementas“ portlandcementis CEM I 42,5R (LST EN 197-1:2011), kurio savitasis paviršius – 390 m²/kg, vandens įgėris normalaus tirštumo tešla – 26 %, gniuždymo stipris – 28 ± 2 MPa (po 2 parų), 54 ± 3 MPa (po 28 parų). Pagrindinis dalelių dydis: 5-30 μm. Dalelių tankis: 3100 kg/m³

2.1.1 lentelė. Portlandcemenčio fizikinės savybės

Esminės charakteristikos	Eksploatacinės savybės
Įprastiniai cementai	CEM I 42,5R
Gniuždymo stipris, MPa: ankstyvasis stipris standartinis stipris	≥ 20,0 ≥ 42,5 ≤ 62,5
Rišimosi pradžia, min	>60
Tūrio pastovumas, mm	<10
Kaitmenys, %	< 5,0
Netirpmenys, %	< 5,0
Sulfatų (SO ₃) kiekis, %	< 4,0
Chloridu kiekis, %	< 0,10
Šarmų kiekis, sk Na ₂ O ekv., %	< 0,8

Medienos pelenai

Tyrimams naudoti medienos atliekų pelenai, kurie susidaro kaip šalutinis produktas deginant biokurą (medienos skiedras ir pjuvenas), gauti iš UAB „Vilniaus energijos“. Biokuras deginamas pseudoverdančiame smėlio sluoksnyje, smėlis kvarcinis deginant įkaitinamas 750-900 °C. Pelenai gaunami sausame elektrostatiniame filtre. Pelenai prasijoti per 150 μm ir galiausiai per 125 μm sietą, iš kurių liko apie 30% gautų pelenų. Prasijojus ant sieto liko didesnės frakcijos anglies ir smėlio. Iš beveik juodos spalvos po sijojimo pelenai įgavo tamsiai pilką atspalvį.

Spalva tamsesnė už portlandcementą. Dalelių tankis 2500 kg/m^3 . Pagal Bleino metodą LST EN 196-6, gautas nustatytas savitasis paviršius $3080 \text{ cm}^2/\text{g}$.



2.1.1 pav. Kairėje pusėje tamsesni, sijoti medienos pelenai, dešinėje cementas



2.1.2 pav. Kairėje praėjusios dalelės per $125 \mu\text{m}$ sietą, dešinėje – likusios ant sieto

Vanduo

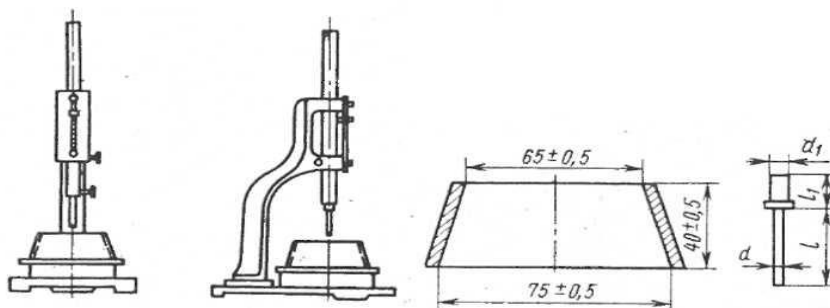
Tyrimams naudojamas geriamasis gėlas vanduo, kuris yra be rūgščių ir organinių medžiagų, naudojamas maišymui ir betono kietinimui.

2.2. Tyrimų metodika

2.2.1. Mišinio reologinių ir technologinių savybių nustatymo metodika

Normalaus tirštumo tešlos nustatymas

Normalaus tirštumo tešlai nustatyti pagal LST EN 196-3 buvo naudojamas Viko prietaisas su strypeliu, kuris pavaizduotas 2.2.1.1 pav. Mišinys sudedamas į kūginę formą ir sutankinamas sukrotant forma į stalą. Mišinio paviršius nulyginamas nubraukiant peiliu. Forma su mišiniu dedama po Viko prietaiso strypeliu. Strypelis paleidžiamas laisvai smigti į mišinį nuo mišinio paviršiaus 30 s. Jeigu strypelis neįsminga iki kūginės formos dugno 6 ± 2 mm, mišinys laikomas normalios konsistencijos. Tokiu būdu buvo nustatyti mišiniais su 0%, 10%, 20% ir 30% medienos pelenais pakeičiant dalį cemento.



2.2.1.1 pav. Viko prietaisas su strypeliu

Cementinio mišinio sklidumo nustatymas

Sudrėkinama cilindrinė forma ir pripildoma cementinio mišinio. Forma pastatoma ant horizontalios pagrindo skaidraus paviršiaus po kuriuo persimato sklidumo skalė. Išlyginant jų paviršių lengvai dešimt kartų paspaudžiant tankinimo strypu. Jeigu reikia, padedama daugiau betono mišinio į antrąjį sluoksnį, kad virs formos būtų mišinio perteklius. Tankinimo strypu betono mišinio paviršius nubraukiamas lygiai su formos viršutiniu kraštu, ir nuo kratymo staliuko viršutinės dalies paviršius nuvalomas betono mišinio perteklius. Po 30 sekundžių nuo betono mišinio paviršiaus nubraukimo forma už rankenų pakeliama į viršų. Skalėje išmatuojamas betono mišinio pasklidimo didžiausios vertės, dviem kryptimis d_1 ir d_2 , lygiagrečiomis su staliuko kraštinėmis, užrašomi dviejų matavimų rezultatai, suapvalinami 10 mm tikslumu. Betono mišinio išsisluoksniavimas įvertinamas pasklidimo metu.

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. [21]

Cemento tešlos, pridėjus į jas 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). [24]

Ch. F. Ferraris, K. H. Obla ir R. Hill ištyrę skirtingų mineralinių priedų ir superplastiklių įtaką cemento tešlos reologinėms savybėms, nustatė, kad smulkūs pelenai daugiausiai sumažino tešlos ribinius šlyties įtempimus ir klampį. [25]

Cemento tešlos reologines savybės nustatytos rotaciniu viskozimetru su koaksialiniais cilindrais BCH-3.



2.2.1.2 pav. Rotacinis viskozimetras su koaksialiniais cilindrais BCH-3

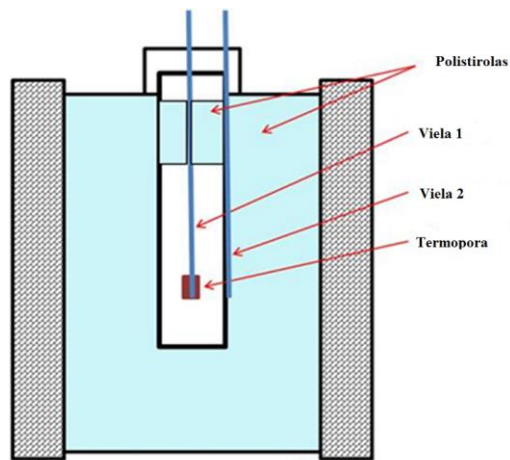
Cemento kietėjimo temperatūros tyrimas termografinės analizės metodu

Portlandcemenčio hidratacija – tai įvairių, ir iš dalies sutampančių, egzoterminių cheminių reakcijų tarp klinkerio mineralų, kalcio sulfato ir vandens visumos procesas, vedantis prie cemento tešlos kietėjimo ir stiprėjimo. Šiam procesui įtakos turi: klinkerio mineralinė sudėtis; į mineralus įsiterpę jonai, kurie įtakoja sistemos kristališkumą; cemento dalelių smulkumas ir granulimetrinė sudėtis; V/C santykis; aplinkos temperatūra; priedai, skirti klinkerio malimui gerinti ir cemento tešlos savybėms koreguoti bei priedais skirti daliai klinkerio pakeisti. [13]

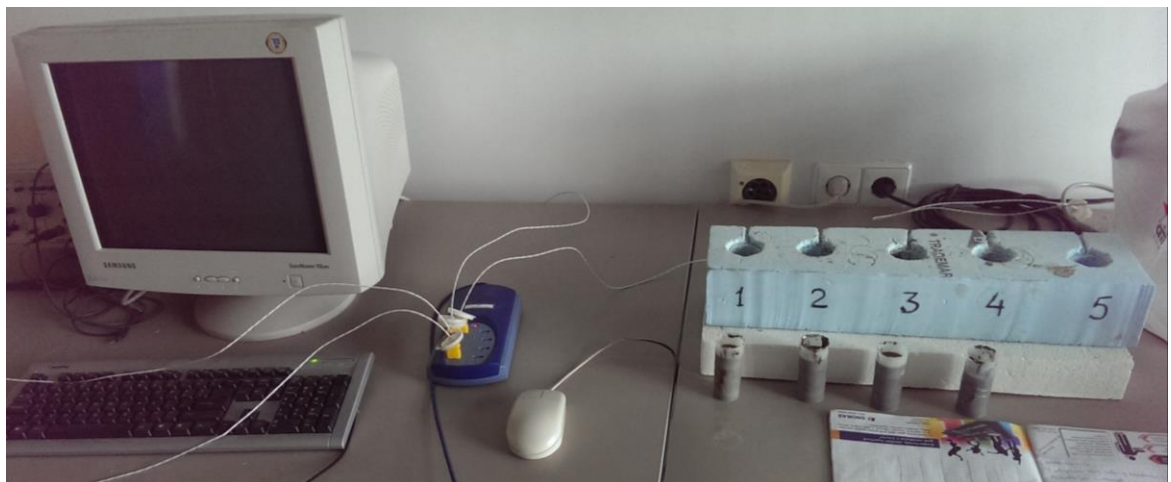
Termografiniu metodu galima tirti rišamųjų medžiagų kietėjimo procesus. Vienas iš tokių procesų yra cemento klinkerio mineralų sąveikos, nes su reakcijos vandeniu yra egzoterminės. Šilumos išsiskyrimo ypatybės priklauso nuo daugelio technologinių veiksnių, bei cemento sudėties. Cemento egzotermijos registravimas suteikia informacijos apie hidratacijos eigą ir struktūros susidarymo procesus. [13]

Adiabatiniis metodas – tai oro temperatūros ir slėgio kitimas be šilumos mainų su aplinka. Bandymus atlikome pusiau adiabatiniu metodu, kitaip dar vadinamu drėgna adiabatiniu metodu, nes matavimai vyko ne sausoje aplinkoje, o prisotintoje vandens. Pagrindė šis metodas remiasi kalorimetriniu, išsiskiriančios šilumos matavimu. [18]

Detalūs nurodymai, kaip atliekamas šis bandymas, yra aprašyti LST EN 196-9:2006 – „Cementas. Bandymo metodai. 9 dalis. Hidratacijos šiluma. Pusiau adiabatinis metodas“ standarte.



2.2.1.3 pav. Bandymo metodo schema



2.2.1.4 pav. Pusiau adiabatinis kolorimetrinis hidratacijos metu išsiskiriančios temperatūros matavimas

Rentgenografinė analizė

Rentgenografinė analizė – tai medžiagų tyrimas rentgeno spinduliais. Rentgeno spinduliai – tai elektromagnetinis spinduliavimas, atsiradęs rentgeno vamzdžiuose susidūrus aukštosios įtampos veikiamiems greitiesiems elektronams su metaliniu antikatodu. Šių elektromagnetinių virpesių bangų ilgis nuo 10^{-2} iki 10^2 Å. Kristalinių medžiagų tyrimas rentgeno spinduliais remiasi tuo, kad atstumai tarp atomų kristalinėse gardelėse ir rentgeno spindulių bangų ilgis yra tos pačios eilės dydžiai. Krentant į kristalą rentgeno spindulių pluoštui, vyksta jų difrakcija, t.y.

kiekvienas gardelės atomas, į kurį patenka spindulys, tampa antrinės sferinės bangos šaltiniu. Rentgenografinė analizė taikoma kokybiniams ir kiekybiniams medžiagų tyrimams. [13]

Kokybinės rengenografijos tikslas – nustatyti, kokios kristalinės fazės yra tiriamojoje medžiagoje. Kiekvienas kristalinis junginys pasižymi tik jam būdingais difrakciniais maksimumais ir jų intensyvumu. Kristalinių junginių etalonines rentgenogramas galima rasti žinyuose. [13]

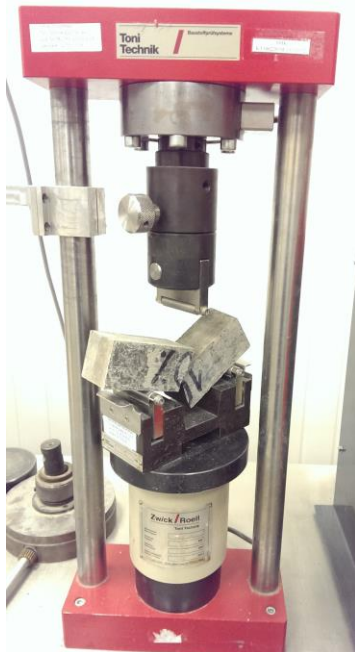
Kiekybinė rentgenografinė analizė skirta atskirų junginių kiekiui mišiniuose nustatyti. Ji remiasi difrakcinių maksimumų (atspindžių) intensyvumo priklausomybe nuo junginio procentinio kiekio mišinyje. Didėjant vieno ar kito junginio kiekiui mišinyje, didėja jo atspindžių intensyvumas. [13]

Rentgenografinė analizė galima kokybiškai ir kiekybiškai ištirti mineralinę bei fazinę medžiagų sudėtį, nustatyti kristalinių medžiagų struktūrą – elementarios gardelės matmenis bei tipą, kristalo simetriją, atomų koordinates erdvėje. Taip pat galima nustatyti kietųjų tirpalų tipą, dispersinių sistemų dalelių dydį ir orientaciją, medžiagų tekstūrą, tankį, terminio plėtimosi koeficientą, dagų storį, vidinius gaminių defektus ir kt.

2.2.2. Sukietėjusio betono mechaninės ir fizikinės savybės

Mechaninių savybių tyrimai

Gniuždymo stipris buvo nustatinėjamas pagal LST EN 196-1, gniuždam 40x40x160mm prizmeles po 2, 7, 28 ir 90 parų kietėjimo. Nustatant bandinių gniuždymo stiprius, pirmiausiai kiekvienos sudėties trys cementinio akmens bandiniai buvo perlenkti ir tuomet gauti šeši bandiniai buvo sugniuždyti.



2.2.2.1 pav. Toni Technik įrenginiu lenkiamas bandinys



2.2.2.2 pav. Toni Technik įrenginiu gniuždomas bandinys

Gniuždant jėgos didėjimo greitis buvo 2200 N/s, jėgą didinant be smūgių ir nepertraukiamai, didinant pastoviu greičiu. Vidutinė gniuždomoji jėga paimta iš šešių kubelių.

Gniuždymo stipris buvo apskaičiuotas pagal formulę:

$$f_c = \frac{F}{A_c}; \quad (2.2.2.1)$$

Čia: f_c – gniuždymo stipris, MPa;

F – didžiausia ardančioji jėga, N;

A_c – gniuždymo plotas, mm^2

Santykinių susitraukimų deformacijų tyrimas

Betono susitraukimas - tai jo tūrio kitimas kietėjimo metu. Kietėjant betonui sausoje aplinkoje, jo tūris mažėja - betonas traukiasi, o kietėjant vandenyje - betono tūrio mažėjimas nevyksta, pasireiškia netgi nedidelis tūrio padidėjimas - betonas plečiasi. Be to, betono mišinyje po jo suklojimo vyksta kietų dalelių sedimentacija ir paviršinis vandens atsiskyrimas, sukeltas betono mišinio suslūgimą. Suslūgimas aiškiau pasireiškia plastiškuose ir liejuose betono mišiniuose. [6]

Betono susitraukimą sukelia fizikiniai - cheminiai procesai, vykstantys betono kietėjimo metu. Suminį betono susitraukimą sudaro kontrakcinis susitraukimas, karbonizacinis susitraukimas ir drėgminis susitraukimas. Kontrakcinis susitraukimas vyksta dėl to, kad naujadaru, susidarančių vykstant cemento hidratacijai, tūris yra mažesnis už reaguojančių medžiagų (cemento ir vandens) tūrių sumą. Šis susitraukimas pasireiškia pradiniu betono kietėjimo metu ir ne tiek pakeičia betono tūrį, kiek padidina jo poringumą. Karbonizacinis susitraukimas vyksta, jungiantis gaminio paviršiuje Ca(OH)_2 su CO_2 , esančiu ore, atsipalaiduojant vandeniui, kuris išgaruodamas ir sukelia susitraukimą. [8]

Drėgminės deformacijos vyksta keičiantis vandens pasiskirstymui tarp cemento grūdelių cementiniame akmenyje dėl aplinkos drėgmės pasikeitimo. Jos gali būti tiek susitraukimo, tiek plėtimosi.

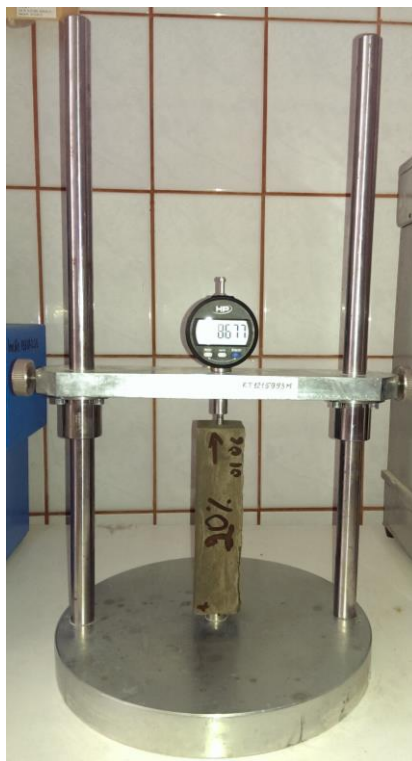
Betono susitraukimas priklauso nuo betono sudėties ir naudojamų medžiagų savybių bei kietėjimo sąlygų. Betono susitraukimas didėja, didėjant cemento ir vandens kiekiams betono mišinyje, naudojant aluminatinį cementą ir smulkius bei poringus užpildus.

Šiam bandymui buvo naudojamos tos pačios medžiagos. Rišmoji medžiaga: portlandcementis CEM I 42,5 R. Mikro užpildas: medienos atliekų pelenai, kurie susidaro kaip šalutinis produktas deginant medieną, gauti iš UAB „Vilniaus energijos“. Pelenai prasijoti per 150 μm ir galiausiai per 125 μm sietą, iš kurių liko apie 30% gautų pelenų. Prasijojus ant sieto liko didesnės frakcijos anglies ir smėlio. Spalva tamsesnė už portlandcementį. Vanduo: geriamasis gėlas vanduo, kuris yra be rūgščių ir organinių medžiagų, naudojamas maišymui ir betono kietinimui.

Cementas ir medienos atliekų pelenai pradžioje permaišomi sausi. Vėliau pilamas apskaičiuotas atitinkamas kiekis vandens. Maišyklėje buvo parinkta maišymo programa, kurioje buvo maišoma 2 kartus po 90 sekundžių, po pirmo maišymo patikrinus ar viskas tvarkoje, jei ne, permaišius rankomis, maišoma likusias 90 sekundžių. Buvo maišoma keturių skirtingų sudėčių cemento skiediniai, kuriuose skyrėsi prasijotų medienos pelenų kiekiai – 0, 10, 20, 30 %. Į formas įstatomi specialūs antgaliai, susitraukimams matuoti, kurie išformavus bandinius liko pačiuose bandiniuose. Bandiniai išformuojami po vienos paros, tada sveriami, bei išmatuotas kontrolinis ilgis, kaip atskaitos taškas nuo kurio toliau matuoti susitraukimai. Bandiniai nemerkiama į vandenį.

Prietaisas rodo ilgį kuris viršija prizmės – 160 mm ilgį. Nes po kiekvieno matavimo prietaisas taruojamas su specialiu strypeliu, kurio tikslus ilgis yra 160,00 mm.

Po 2, 7, 14 ir 28 parų kietinimo pamatuojamas susitraukimas specialiu ilgio matuokliu, pateikiamu 2.2.2.3 pav.



2.2.2.3 pav. Susitraukimo deformacijų matavimo prietaisas

Betono atsparumo šalčiui prognozavimas

Tiriamiesiems bandiniams buvo nustatytas prognozuojamas betono atsparumo šalčiui ciklų skaičius pagal GOST 12730.4–78 įvertinant betono poringumo parametrus ir atliktas bandymas pagal LST CEN/TS 12390-9:2006 „Atsparumas cikliškam užšalimui ir atitirpimui. Atskilinėjimas“. Pastarasis metodas kaip teigiama šio standarto taikymo srityje „...gali būti taikomas atliekant naujų sudedamųjų dalių arba naujos sudėties betono ir sudedamosios dalies arba betono sudėties, apie kurią yra žinoma, kad jos eksploatacinės charakteristikos atitinka vietinę aplinką, palyginamuosius bandymus arba įvertinti bandymo rezultatus juos lyginant su kai kuriomis absoliučiosiomis skaitinėmis vertėmis, pagrįstomis vietinių bandymų duomenimis“. Mūsų atveju buvo įvertinta esama betoninių grindų situacija ir patikrinta, ar jos dar yra atsparios šalčio ciklams ir jei taip, tai kiek ciklų dar galėtų atlaikyti.

Betono atsparumo šalčiui vertinimas ir prognozavimas pagal poringumą

Remiantis GOST 12730.4–78 standarte pateikiama metodika betono atsparumą šalčiui galima prognozuoti pagal betono atsparumo šalčiui kriterijų K_s , kuris apskaičiuojamas pagal formulę:

$$K_s = \frac{P_u}{0,09P_a}, \quad (2.2.2.2)$$

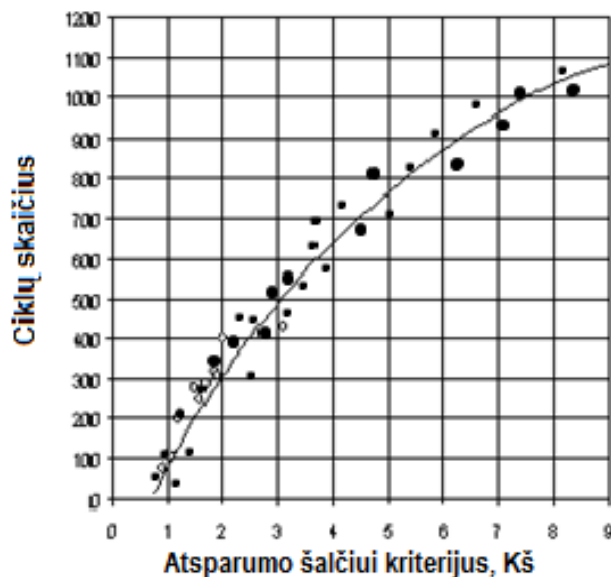
čia: P_u - uždaras betono poringumas (įtrauktas oras betono mišinyje ir kontrakcinės poros);

P_a - atviras integralinis betono poringumas (kapiliarinės poros);

P_w - kuris apytiksliai lygus oro kiekiui betono mišinyje ir P_a , randami eksperimentiškai pagal rusų mokslininko Šeikino pateiktas metodikas.

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

Eksperimentais yra nustatyta betono atsparumo šalčiui ciklų skaičiaus priklausomybė nuo įtraukto oro kiekio. Bendra šios priklausomybės išraiška pateikiama 2.2.2.4 pav.



2.2.2.4 pav. Betono atsparumo šalčiui priklausomybė nuo atsparumo šalčiui kriterijaus K_s

Kaip matyti iš atsparumo šalčiui kriterijaus išraiškos (formulė 2.2.2.2), betono atsparumas šalčiui priklauso nuo V/C santykio, kuris nulemia atvirą poringumą, ir nuo oro kiekio betono

mišinyje, kuris atitinka uždara poringumą. Didinant įtraukto oro kiekį betono mišinyje, didėja betono atsparumas šalčiui. Tai patvirtina daugelis skirtingų autorių atliktų eksperimentų.

Betono atsparumo šalčiui nustatymas

Atsparumo šalčiui nustatymui Lietuvoje galioja standartas LST L 1428.17, pagal kurį standartinio dydžio 28 paras kietėję skiedinio arba betono bandiniai cikliškai šaldomi ($\geq 2,5$ h, esant -18 ± 2 oC) ir po to atšildomi ($\geq 2,5$ h, esant 18 ± 5 oC) vandenyje. Tokių ciklų gali būti atlikta iki 1000. Jų skaičius nurodomas statinio arba konstrukcijos projekte. Norint šį nustatymą paspartinti standarte aprašytas ir paspartintas bandymo metodas, pagal kurį užšaldyti bandiniai atšildomi ne vandenyje, bet 5 % NaCl tirpale. Šis metodas pirmiausia taikomas kelių ir aikščių dangų betonui, bet gali būti taikomas ir įprastiniams betonams bei skiediniams. Taikant šį paspartintą metodą bandymas sutrumpėja nuo 6,25 karto (mažo atsparumo atveju) iki 2,3 karto – kai betonas pasižymi dideliu atsparumu šalčiui. [32]

Į betoną įsiskverbę chloridai skatina plieninės armatūros koroziją. Kai betoną veikia ne tik chloridai, bet ir temperatūros (ypač neigiamos) kaita bei drėgmės migracija, chloridai betonui tampa labai kenksmingi. Pvz., vandeniui iš betono išgaravus arba jam sušalus, porose išsikristalina druskos hidratai. Naudojant NaCl ir esant $-0,3$ oC temperatūrai išsikristalina $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, o esant -20 °C – $\text{NaCl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Jų tūris padidėja apie 130 %, sukelia vidinius įtempimus ir ardo betoną. [32]

Chloridų sąveikoje su kietėjančio cemento tešla arba sukietėjusiu cemento akmeniu nurodoma, kad chloridai reaguoja su hidratuotos cemento tešlos aliuminatine faze ir sudaro Frydelio druską $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, kuri yra stabili plačiose chloridų koncentracijų ribose. [32]

3 % NaCl tirpalo užšalimo temperatūra pažemėja iki $-3,3$ °C. Tačiau straipsnyje nenurodyta naudoto cemento cheminė ar mineralinė sudėtis. Galima manyti, kad naudotas portlandcementis buvo pakankamai atsparus sulfatų poveikiui, t. y. portlandcementis galėjo turėti nedaug C_3A (≤ 5 %) ir C_3S (≤ 50 %), nes tokį cementą sulfatai ardo mažiau. Gatvių ir kelių barstymui nuo apledėjimo naudojamas NaCl. Todėl ir atsparumo šalčiui bandymui pagreitinti yra naudojamas 5 % arba 3 % NaCl tirpalas. [32]

Iš cementinio skiedinio buvo gaminami 5×5 cm plastinės konsistencijos cilindro formos bandiniai. Vandens ir kietųjų dalelių santykis $V/K=0,45$. Bandiniai 28 paras buvo laikomi

drėgnoje aplinkoje. Po to jie buvo pamerkti į 3 % NaCl ir laikomos juose 3 paras. Po to bandiniai išimami, sveriami ir dedami į šaldymo kamerą, kurioje buvo palaikoma -18 ± 2 °C temperatūra. Šaldymo kameroje bandiniai laikomi 7 ± 1 h (darbo dieną). Po to jos dedamos į kambario temperatūros ($\sim 16 - 18$ °C) 3 % NaCl tirpalus ir laikomos juose 15 ± 1 h (per naktį). Apie bandinių atsparumą buvo sprendžiama stebint kada (po kiek ciklų) atsiranda pirmieji aiškūs bandinių struktūros pažeidimai (sutrūkinėjimai, atskilinėjimai).

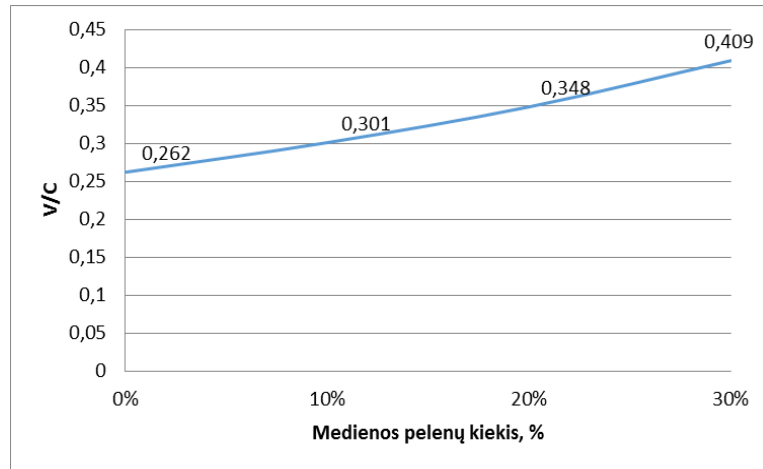
2.3. Tyrimų rezultatai

2.3.1. Normalaus tirštumo tešlos nustatymas

Iš 2.3.1.2 pav. Matyti, jog didinant medienos pelenų kiekį, V/C santykis normalaus tirštumo tešlai didėja. Tai reiškiasi, kad didinant medienos pelenų kiekį vandens poreikis bandiniams didėja. V/C pokytis nėra labai didelis, tačiau tai gali pabloginti bandinių mechanines savybes.



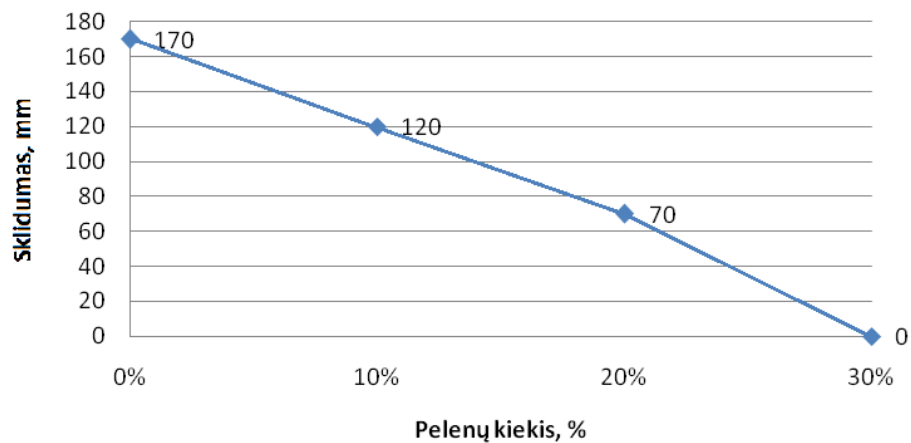
2.3.1.1 pav. Viko prietaisas su strypeliu



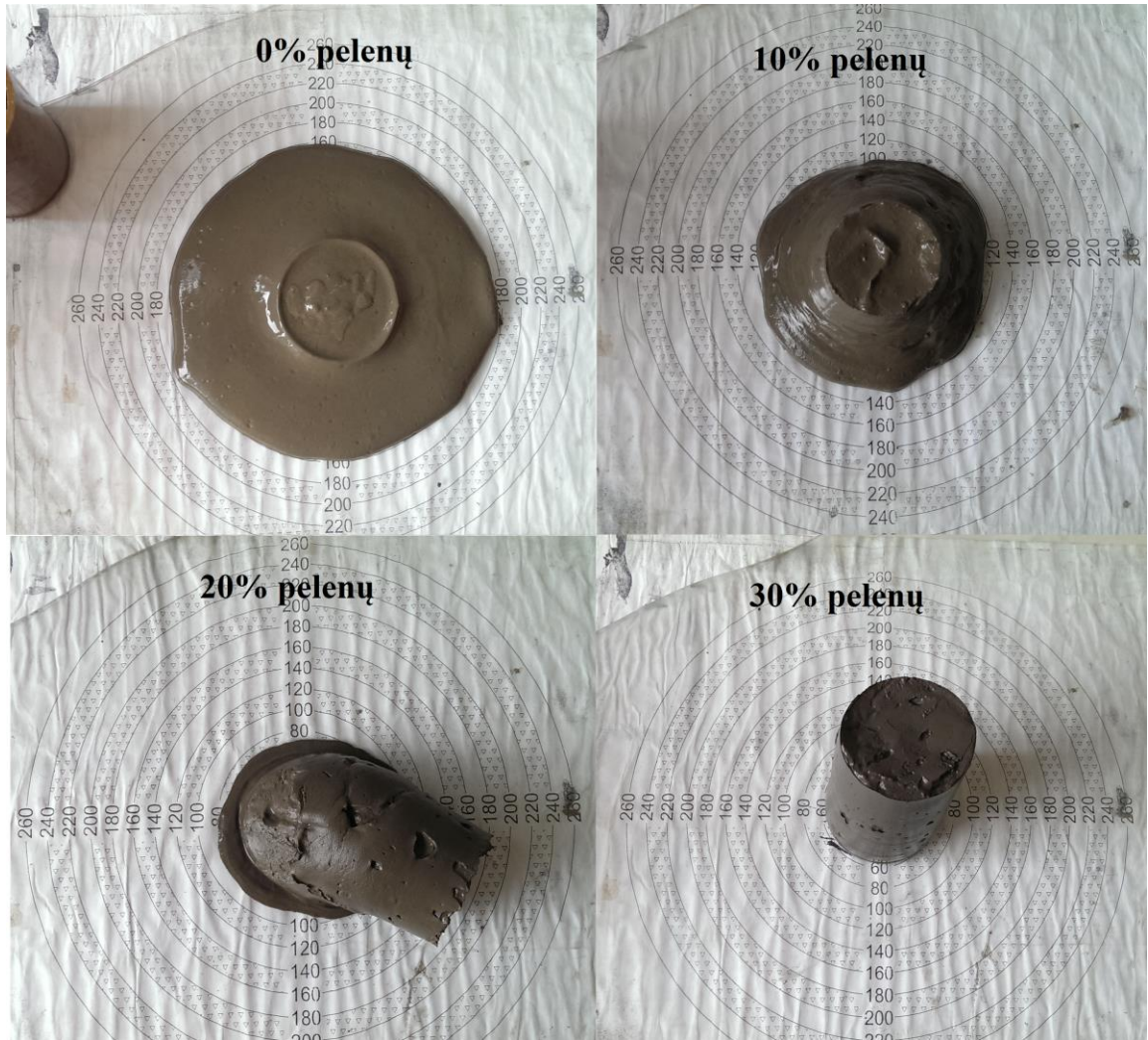
2.3.1.2 pav. V/C santykis normalaus tirštumo teslai

2.3.2. Cementinio mišinio sklidumo nustatymas

Naudojant pastovų vandens ir cemento santykį – 0,4 gauti rezultatai grafike, su 30% pelenų pastebimas akivaizdus sklidumo sumažėjimas, todėl, kad mažinant cemento kiekį mažėja ir vandens. Tačiau iš šio bandymo pastebėti ar medienos pelenų kiekis įtakoja sklidumą, negalime, šiuo atveju pelenai buvo panaudoti ne kaip pakaitalas, daugiau kaip mikroužpildai.



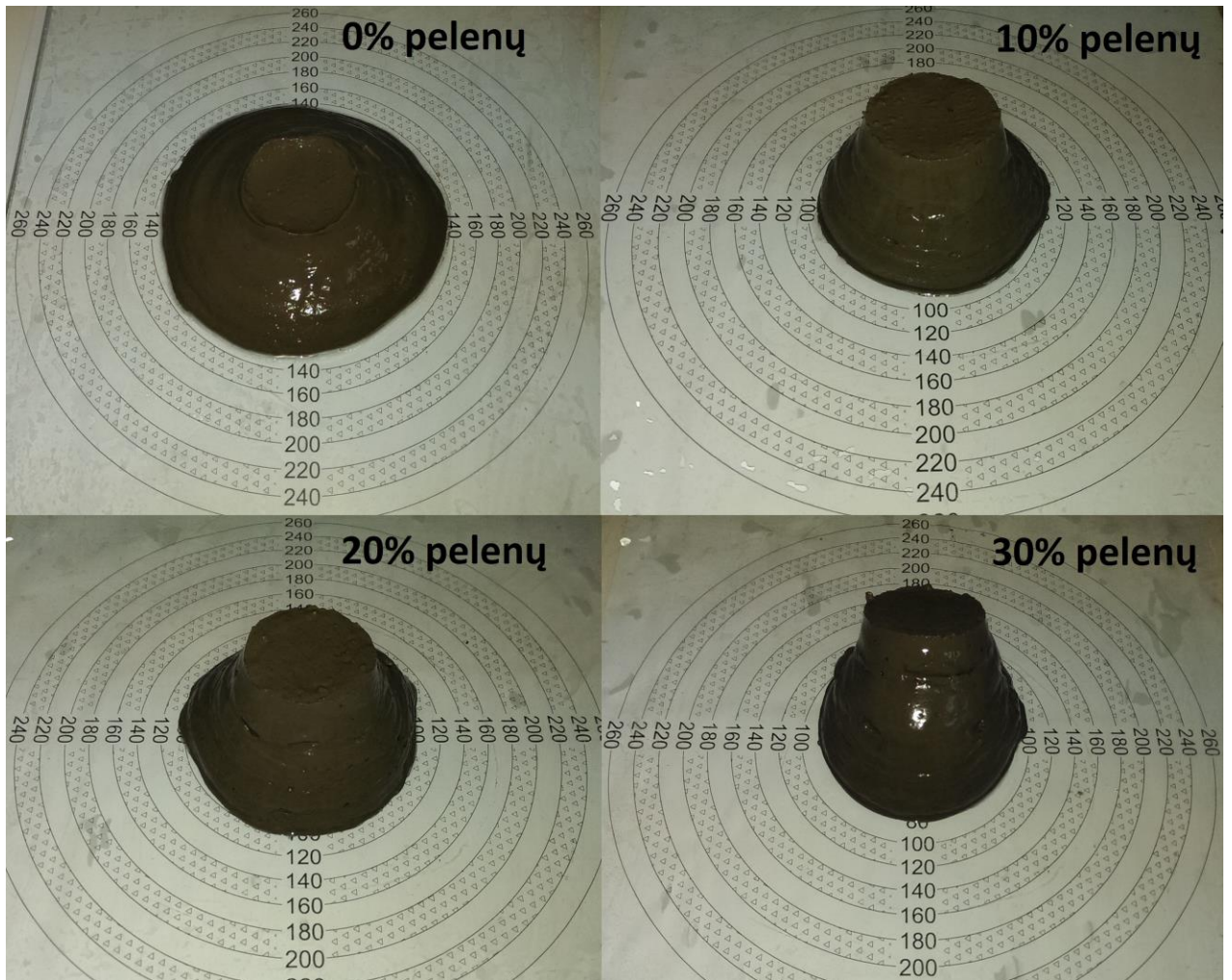
2.3.2.1 pav. Cementinio mišinio sklidumas, kai V/C = 0,4



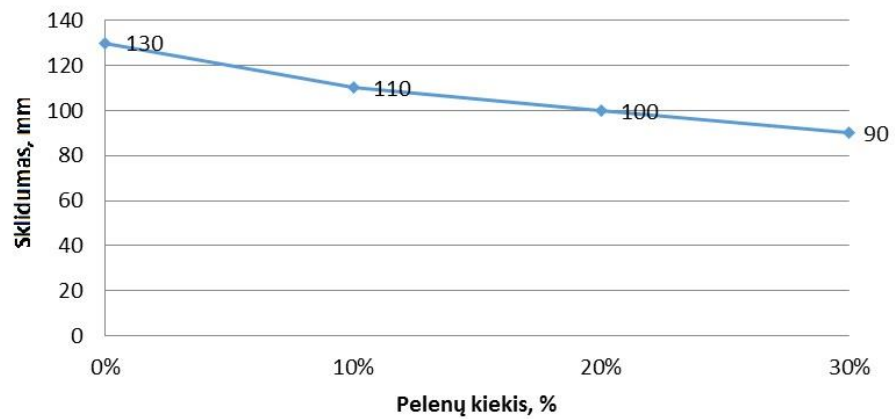
2.3.2.2 pav. Cementinės tešlos sklidumas, kai $V/C = 0,4$

Naudojant pastovų vandens ir kietųjų dalelių santykį $V/K = 0,4$ gauti rezultatai grafike, su 30% pelenų pastebimas sklidumo mažėjimas, tai reiškia, jog mišinys su pelenais sugeria daugiau vandens.

Pastaba: V/K – Vanduo/ Cementas + Medienos pelenai



2.3.2.3 pav. Cementinės teslos sklidumas, kai V/K = 0,4



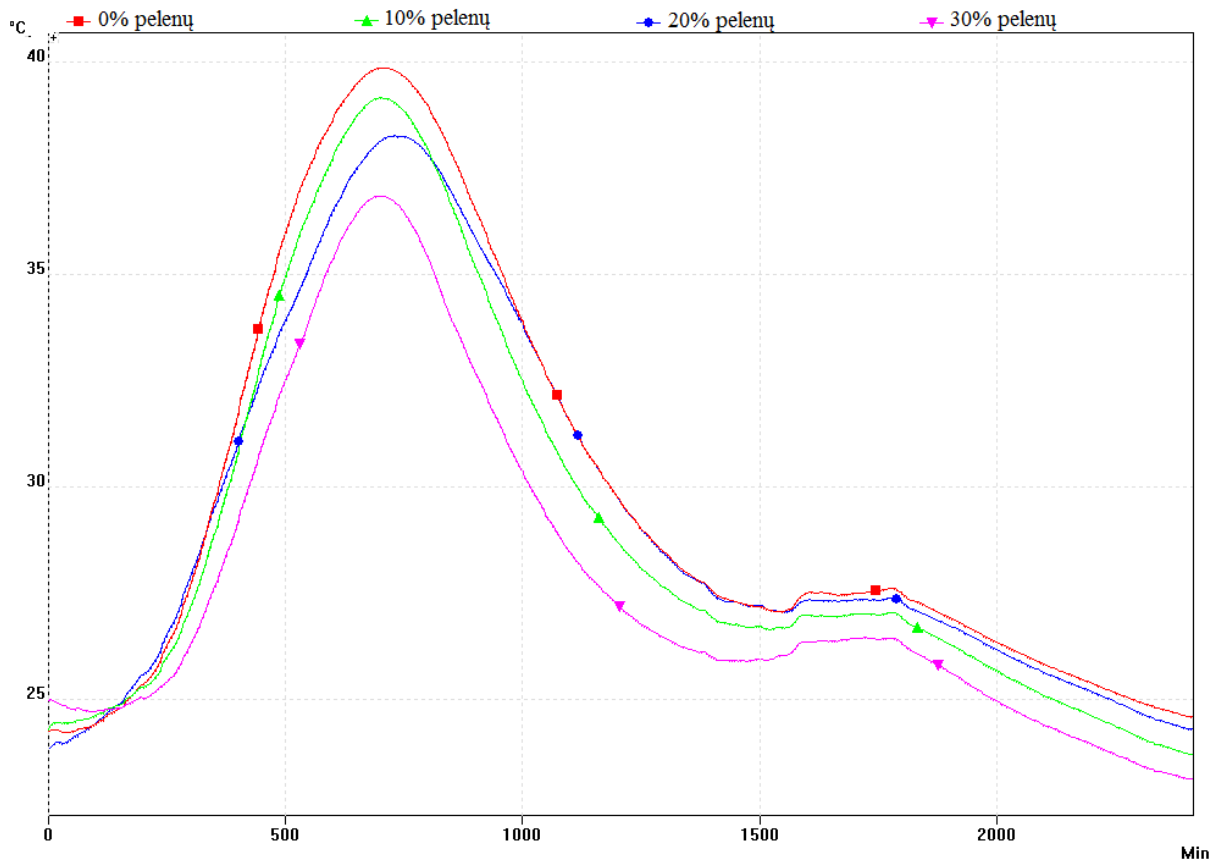
2.3.2.4 pav. Cementinio mišinio sklidumas, kai V/K = 0,4

2.3.3. Cementinio mišinio kietėjimo temperatūros tyrimas termografinės analizės metodu

Kadangi klinkerio mineralų hidrolizės ir hidratacijos reakcijos yra egzoterminės, cementui reaguojant su vandeniu, išsiskiria šiluma. Daugiausia šilumos išsiskiria, reaguojant su vandeniu C_3A ir C_3S , o mažiausiai – C_2S .

Siekiant ištirti šilumos išsiskyrimo skirtumus reaguojant cementui su vandeniu egzoterminių reakcijų metu buvo atliktas pseudo adiabatiniis kolorimetrinis hidratacijos metu išsiskiriančios temperatūros matavimas.

Grafike žymima cemento hidratacijos šiluma bandiniuose, kuriems suformuoti naudota 0, 10, 20 ir 30 % medienos pelenų. Remiantis tyrimų duomenimis, pastebima jog cemento hidratacijos šilumos išsiskyrimas didžiausias su kontroliniu 0 % medienos pelenų, nuo kurio nedaug atsilieka su 10 %.

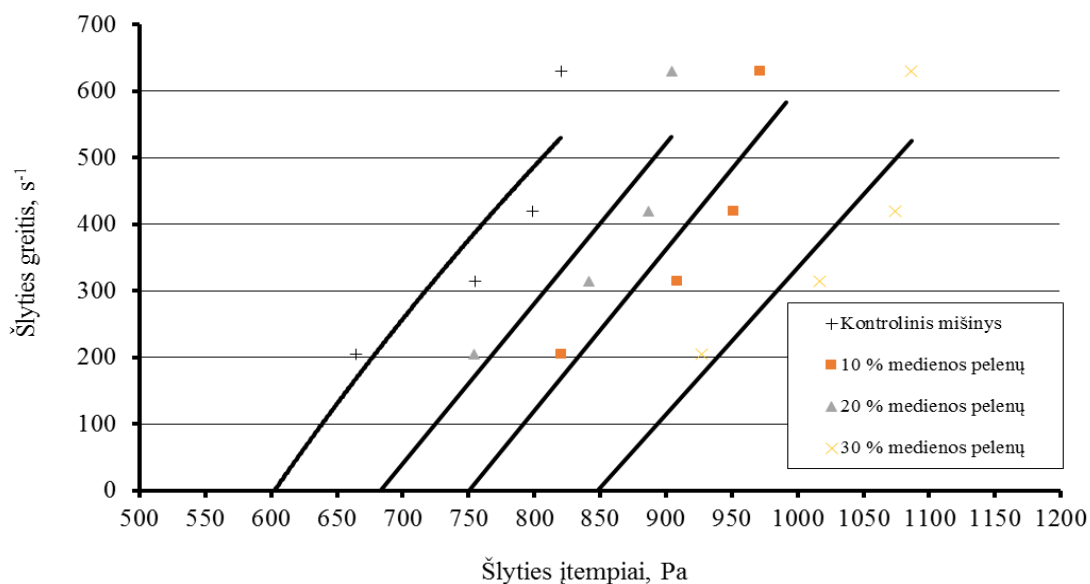


2.3.3.1 pav. Hidratacijos metu išsiskiriančios temperatūros

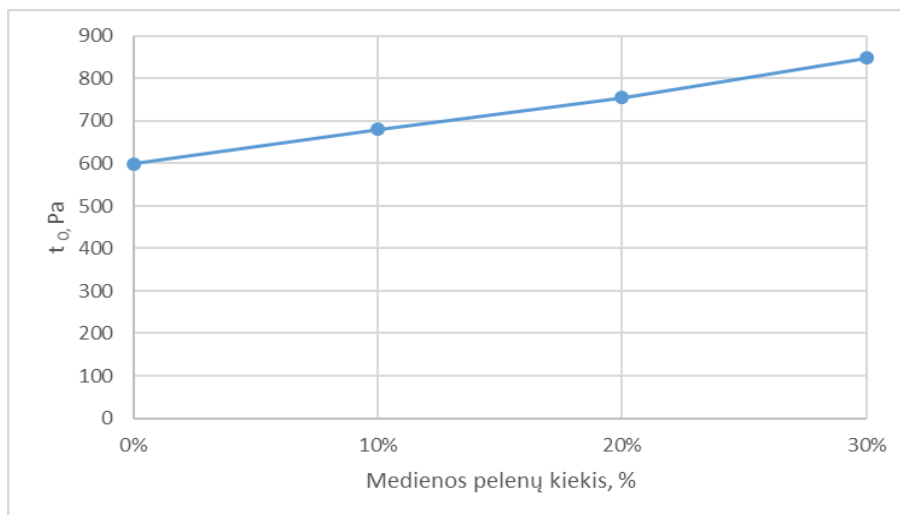
Iš gauto grafiko matyti, jog didinant medienos pelenų kiekį, keičiant dalį cemento, hidratacijos metu išsiskirianti temperatūra atitinkamai mažesnė, kadangi mažėjant klinkerio kiekiui, mažėja ir šilumos išsiskyrimas.

2.3.4. Reologinių savybių tyrimas

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 elektrinės UAB „Vilniaus energija“ medienos pelenai, kurio savitasis paviršius 330 m²/kg. Cemento tešla buvo maišyta rankiniu būdu apie 5 min.

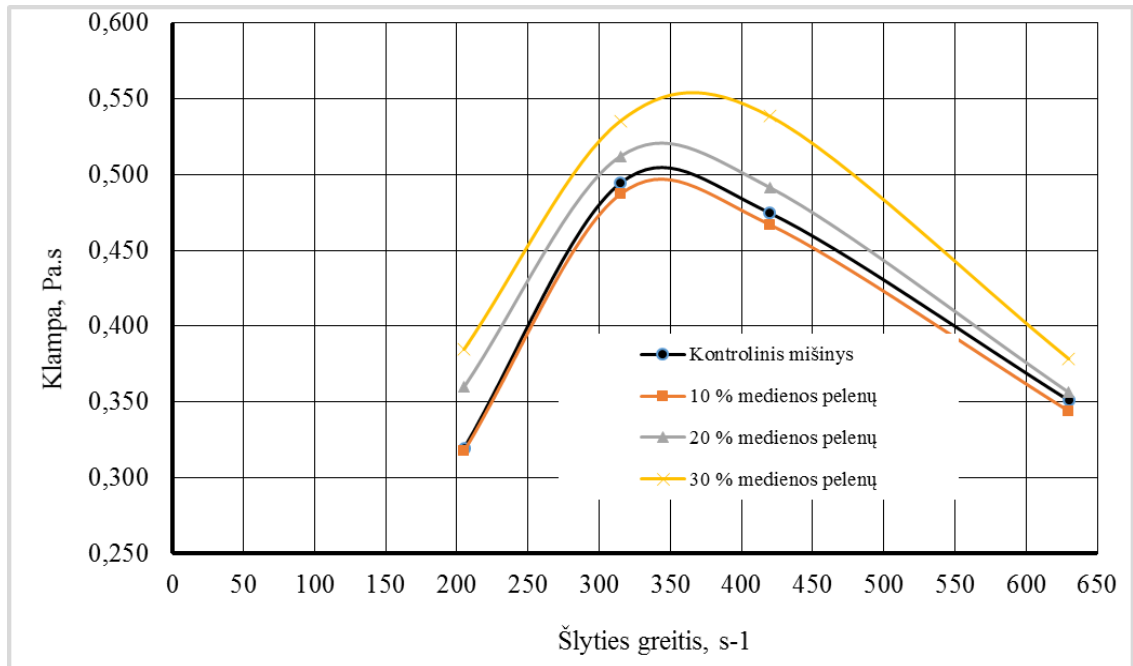


2.3.4.2 pav. Cemento tešlos su medienos pelenais greičio gradiento priklausomybė nuo šlyties įtempimų



2.3.4.3 pav. Ribinių šlyties įtempimų priklausomybė nuo medienos pelenų kiekio

Cemento tešlos ($V/K=0,55$) su skirtingu medienos pelenų suspensijos kiekiu greičio gradiento priklausomybės nuo šlyties įtempimų parodytos 2.3.4.2 pav. Iš šiame paveiksle pateiktų kreivių matyti, kad medienos pelenai padidina cemento tešlos ribinius šlyties įtempimus, didėjant jų kiekiui, t.y. vis didesnę cemento dalį pakeičiant medienos pelenais. Cemento tešlos klampis didėjant greičio gradientui didėja. Tačiau vertinant cemento tešlos su skirtingu kiekiu medienos pelenų klampio pokytį matome, kad keičiant 20 % cemento medienos pelenais, sistemos klampis truputį sumažėja. Tai gali būti dėl to, kad remiantis literatūros šaltiniais kaminų filtruose surenkamos medienos pelenų dalelės būdamos labiau apvalios formos tinkamai pasiskirsto, cemento tešloje.



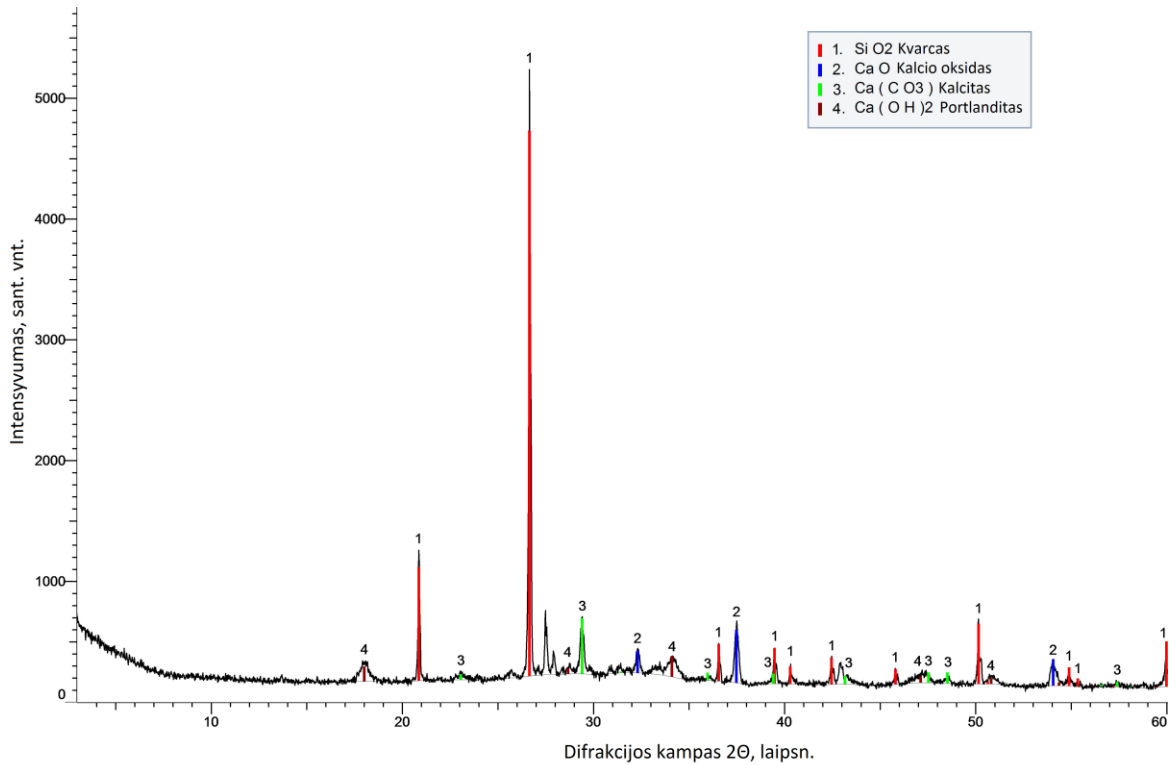
2.3.4.2 pav. Klampio priklausomybė nuo pelenų kiekio ir greičio gradiento

2.3.5. Rentgenografinė analizė

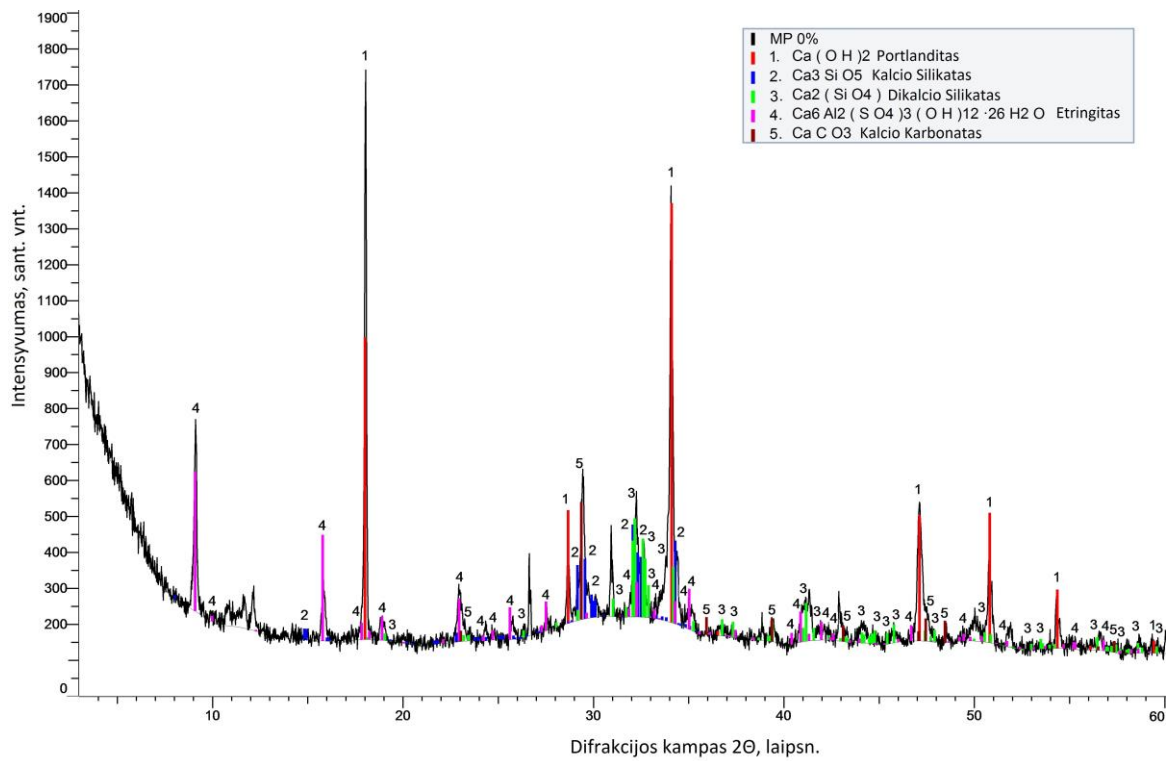
Rentgenografinė analizė daryti panaudoti prasijoti per 125 μm sietą, pelanai. Taip pat buvo sutrinti ir prasijoti per 63 μm sietą visų sudėčių betoniniai bandiniai, hidratacija nestabdyta, rentgenograma buvo daroma po 30 parų. Rentgenogramai padaryti reikalaujama, jog dalelės būtų ne stambesnės už 80 μm .



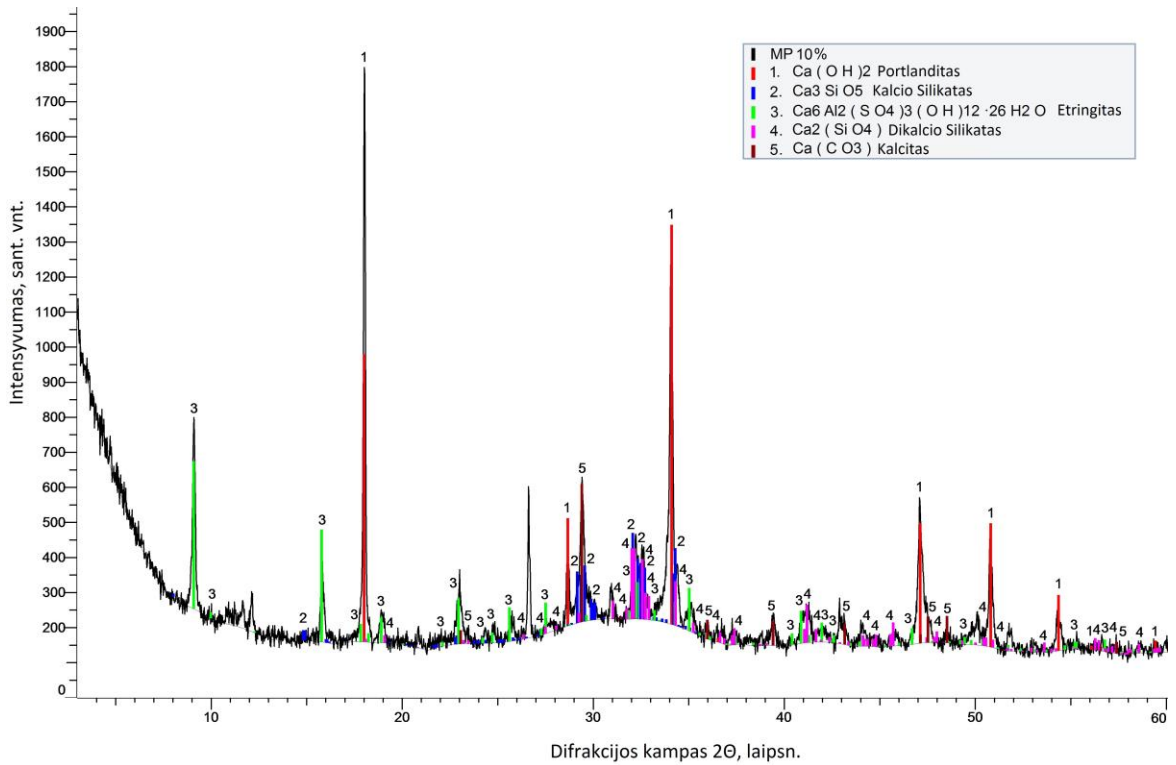
2.2.5.1 pav. Visų sudėčių sutrinto cementinio akmens milteliai paruošti rentgenografinėi analizei



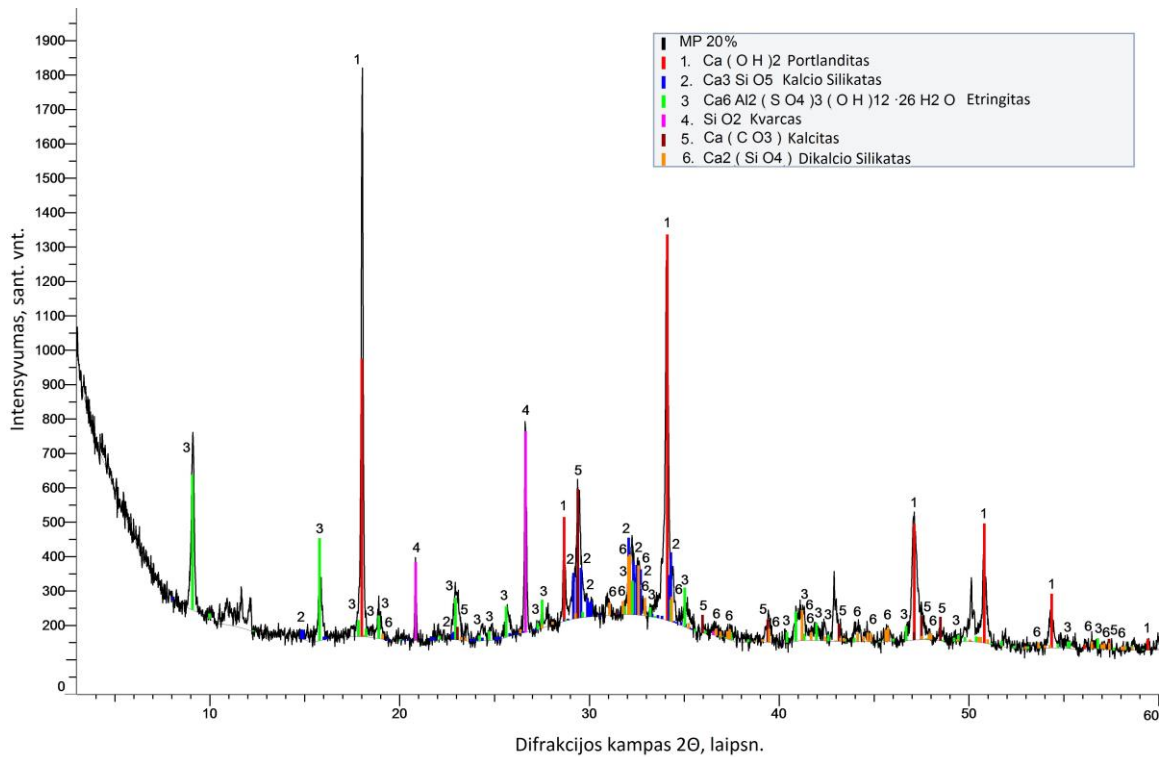
2.3.5.2 pav. Medienos pelenų rentgenografinė analizė



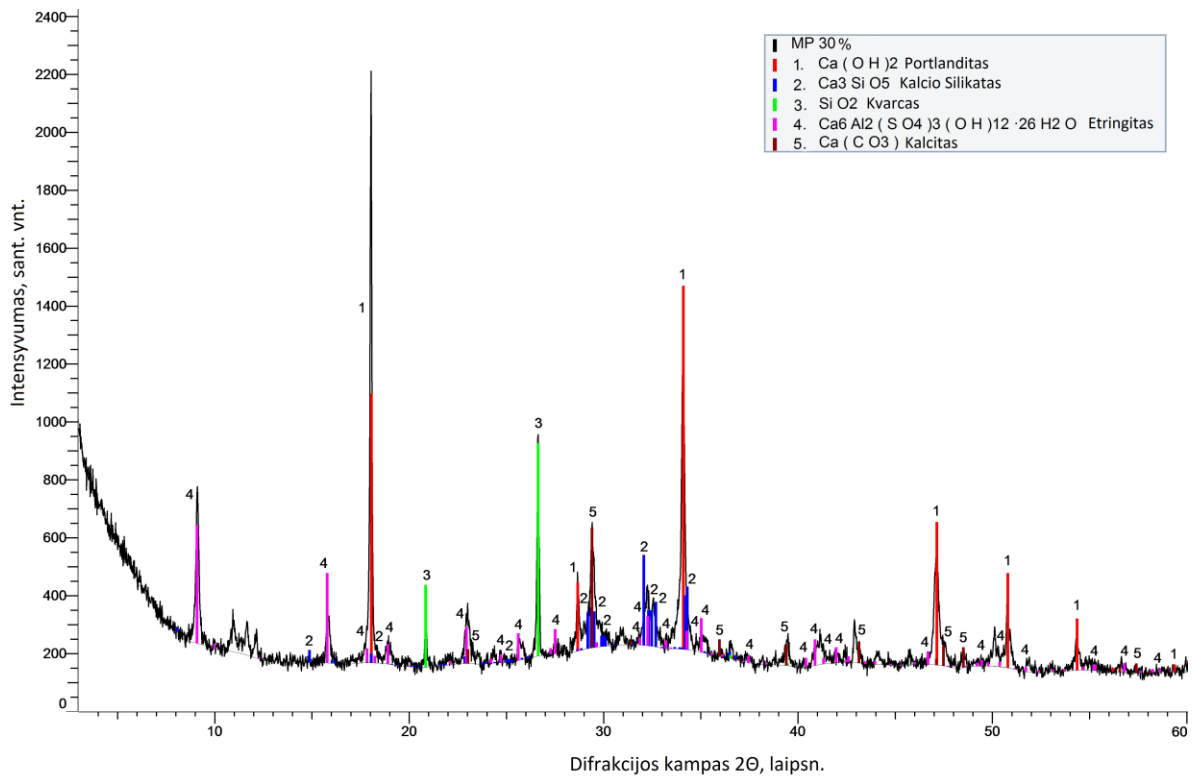
2.3.5.3 pav. Medienos pelenų 0% rentgenografinė analizė



2.3.5.4 pav. Medienos pelenų 10% rentgenografinė analizė



2.3.5.5 pav. Medienos pelenų 20% rentgenografinė analizė



2.3.5.6 pav. Medienos pelenų 30% rentgenografinė analizė

Analizuojant pateiktus rentgenodifrakcinės analizės grafikus, matome, kad lyginant kontrolinę mišinio sudėtį ir sudėtis, kuriose dalis cemento buvo pakeista 10, 20 ir 30 % medienos pelenų, cemento akmens mineralų sudėtis beveik nekinta. Iš esmės sudėtyse kuriose naudojami medienos pelenai nesudarė jokie nauji junginiai, tai aiškintina tuo, kad medienos pelenai sistemoje veikia labiau kaip inertinis mikroužpildas priedas, kuris paprastai nedalyvauja papildomose reakcijose, cemento hidratacijos metu.

Iš literatūros yra žinoma, kad kiekvienam individualiam kristaliniam junginiui rentgenogramoje yra būdingas savitas difrakcinės linijos maksimumas ir intensyvumas. Todėl norint nustatyti pelenų poveikį hidratacijos produktams buvo pasirinkti trys ieškomų kristalinių medžiagų pavyzdžiai (cementinio akmens, kuriame cemento kiekis pakeistas 10, 20 ir 30 % pelenais ir visai be pelenų) ir atliktos jų rentgenogramos. Prieš tyrimą medžiagos buvo išdžiovinotos esant 105°C temperatūrai ir persijotos per Nr. 008 sietą.

Rentgenogramose matyti, kad didinant pelenų kiekį cementiniame akmenyje pastebimas SiO_2 kiekio padidėjimas, kadangi pačiuose medienos pelenuose yra apie 30 % SiO_2 . Didinant pelenų kiekį cemento tešloje, SiO_2 geba prisijungti kalcio hidroksidą ir sudaryti naujus stabilus

junginius kalcio hidrosilikatus (CSH). Tokiu būdu sumažinamas cemento akmenyje esantis Ca(OH)_2 kiekis. Tai įtakoja cementinio akmens teigiamą stiprio gniuždant pokytį po 90 parų kietėjimo, žinant kad tarp pelenų ir Ca(OH)_2 vyksta pucolaninė reakcija ir cementiniai gaminiai po ilgesnio kietėjimo pasiekia artimą kontroliniam bandiniam (be pelenų) stiprį.

Kadangi medienos biokuro pelenuose yra nemaža dalis laisvojo CaO, kuris neigiamai įtakoja hidratacijos procesą, naudojant biokuro pelenus cementiniuose gaminiuose tikslinga būtų juos pirmiau „pagesinti“ ir tik po to naudoti, kas greičiausiai leistų tikėtis geresnių stipruminių savybių pokyčio.

2.3.6. Bandinių formavimas

Cementas ir medienos atliekų pelenai buvo permaišomi sausi. Mišinys supiltas į maišyklės „Automix“ indą ir supiltas atitinkamas kiekis vandens. Maišyklėje buvo parinkta maišymo programa, kurioje buvo maišoma 2 kartus po 90 sekundžių, po pirmo maišymo patikrinus ar viskas tvarkoje, jei ne, permaišius rankomis, maišoma likusias 90 sekundžių. Buvo maišoma keturių skirtingų sudėčių cementiniai skiediniai, kuriuose skyrėsi prasijotų medienos pelenų kiekiai – 0, 10, 20 ir 30 %. Bandiniai buvo išformuoti po 24 valandų ir perdėti toliau kietėti 20 ± 2 °C vandenyje. Po 2, 7 ir 28 bandinių vandenyje kietinimo dienų, bandiniai buvo išimti iš vandens ir nusausinti. Pastebimas tamsesnis atspalvis su 30 % pelenų nei kitų bandinių.



2.3.6.1 pav. Laboratorinė maišyklė „Automix“



2.3.6.2 pav. Laboratorinis tankintuvas „Matest“



2.3.6.3 pav. Formos bandinių formavimui

2.3.6.1 lentelė. Naudotos bandinių sudėtys

Medienos pelenų kiekis, %	Cementas, g	Medienos pelenai, g	Vanduo, g	V/C
0	1250	0	500	0,4
10	1125	125	450	0,4
20	1000	250	400	0,4
30	875	375	350	0,4

V/C – Vandens/Cemento santykis

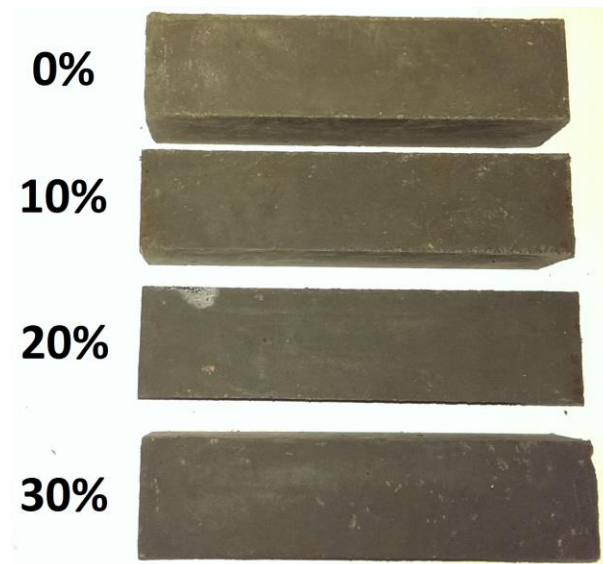


2.3.6.4 pav. Bandinių atspalvio pokytis su skirtingu pelenų kiekiu

2.3.6.2 lentelė. Naudotos bandinių sudėtys

Medienos pelenų kiekis, %	Cementas, g	Medienos pelenai, g	Vanduo, g	V/K
0	1250	0	500	0,4
10	1125	125	500	0,4
20	1000	250	500	0,4
30	875	375	500	0,4

V/K – Vandens/Cemento + Medienos pelenai santykis

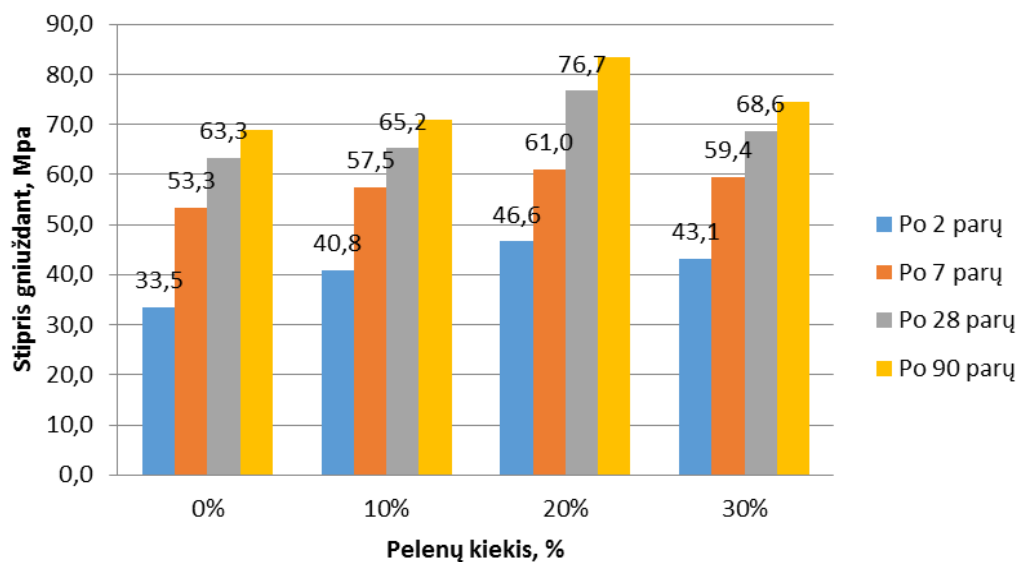


2.3.6.5 pav. Bandinių atspalvio pokytis su skirtingu pelenų kiekiu

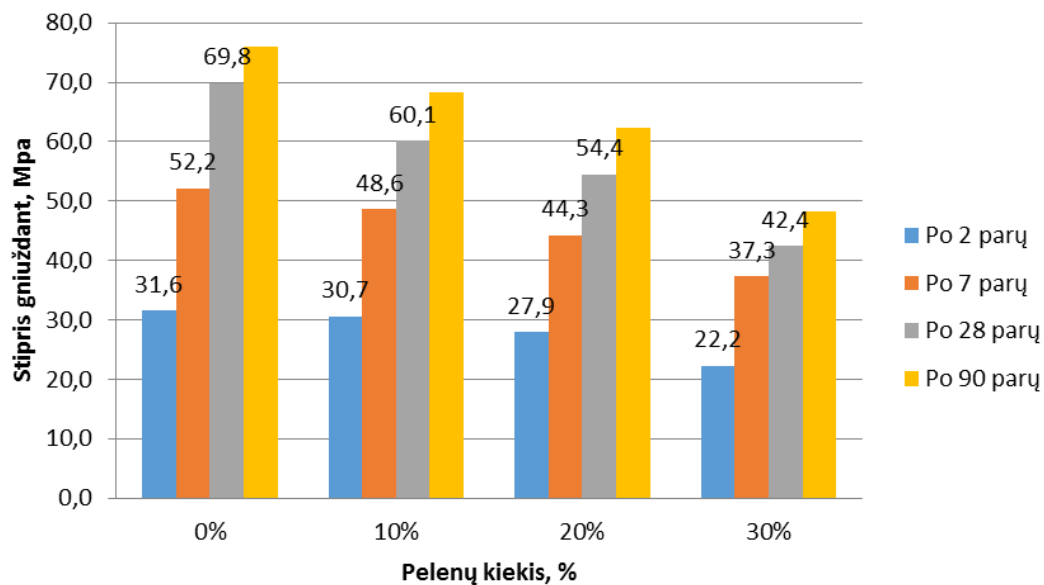
2.3.7. Mechaninių savybių tyrimai

Atlikus bandymus, matome, jog stipris gniuždant cementą keičiant medienos pelenais mažėja iki 28 parų, tačiau po 90 kietėjimo parų pastebimas padidėjęs stipris gniuždant stiprio pokytis lyginant su kontroliniais bandiniais. Po 2 parų jau matomas pokytis, kai su 10 % medienos pelenų stipris gniuždant krenta 2,86 %. Su 20% medienos pelenų stipris gniuždant sumažėja 6,86 % nuo to stiprio kuris buvo pasiektas su bandiniais, kurių sudėtyje visai nebuvo medienos pelenų. O su 30% medienos pelenais stipris gniuždant krito 29,54 %. Taigi su 10 %

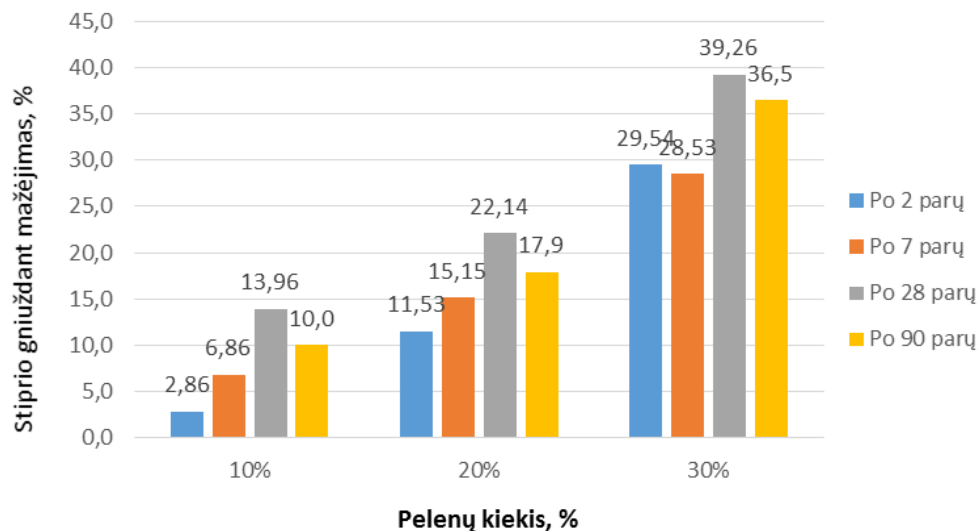
medienos pelenų kaip pakaitalo cementui, matomas mažiausias stiprio gniuždant sumažėjimas, o pakeitus 20 % gauname 17,9% stiprio sumažėjimą.



2.3.7.1 pav. Stiprio gniuždant pokytis dalį cemento keičiant medienos pelenais, kai V/C =0,4



2.3.7.2 pav. Stiprio gniuždant pokytis dalį cemento keičiant medienos pelenais, kai V/K =0,4



2.3.7.3 pav. Stiprio gniuždant mažėjimas didinant medienos pelenų kiekį, kai V/K =0,4

2.3.8. Santykinių susitraukimų deformacijų tyrimai

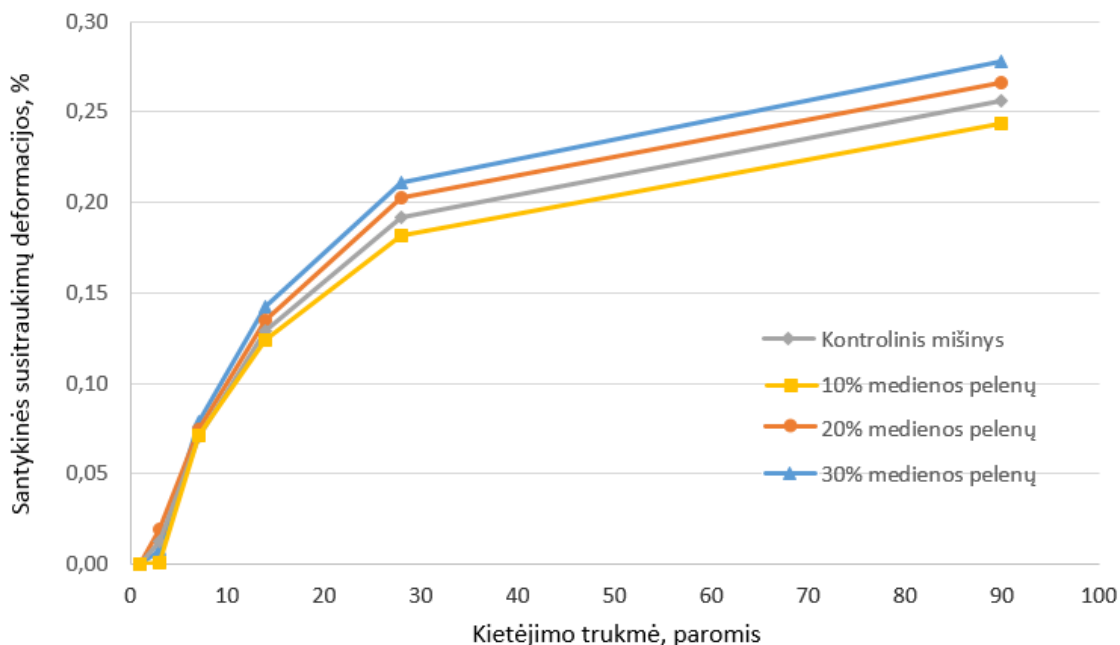
Šiuose bandymuose buvo tiriama medienos pelenų įtaka cementinio akmens susitraukimų deformacijoms. Naudotos cemento akmens sudėtys pateiktos 2.3.8.1 lentelėje. Tyrimų metu medienos pelenais buvo keičiama dalis cemento kiekio mišinyje (10, 20 ir 30%). Po 2, 7, 14 ir 28 parų kietinimo pamatuojamas susitraukimas specialiu ilgio matuokliu pateikiamu 2.3.8.1 pav.

Iš 2.3.8.1 pav. matoma, kad dedant vis didesnę kiekį medienos pelenų į betoną santykinės susitraukimo deformacijos mažėja, dedant 30% po 90 parų susitraukimo deformacijos nuo kontrolinio bandinio be medienos pelenų skiriasi ~0,03%.

Atlikus tyrimus su medienos pelenais, galima teigti, kad medienos pelenai mažina betono susitraukimą.

2.3.8.1 lentelė. Naudotos cemento akmens sudėtys

Medienos pelenų kiekis, %	Cementas, g	Medienos pelenai, g	Vanduo, ml	V/K
0	833,4	-	333,4	0,4
10	750,0	83,4	333,4	0,4
20	666,7	166,7	333,4	0,4
30	583,4	250,0	333,4	0,4



2.3.8.1 pav. Santykinis susitraukimas po 1, 3, 7, 14, 28 ir 90 parų

2.3.9. Betono atsparumo šalčiui prognozavimas

Gauti rezultatai pateikiami 2.3.9.1 lentelėje. Iš gautų rezultatų, kurie atspindi esamą bandinių būklę, matyti, kad bandiniai nėra atsparūs šalčiui. Šis atsparumas šalčiui yra per mažas, kad tokios būklės betoninis gaminys galėtų būti eksploatuojamas lauko sąlygomis, kai juos veiktų užšalimo ir atšilimo ciklai šaltuoju metų sezonu kartu su kompleksiniu ištirpusių druskų poveikiu.

2.3.9.1 lentelė. Bandinių poringumo parametrai ir prognozuojamas atsparumas šalčiui, ciklais

Medienos pelenų, %	Bendras poringumas, %	Atviras poringumas, %	Uždaras poringumas, %	α	λ	Atsparumo šalčiui kriterijus, Kš	Prognozuojamas atsparumas šalčiui, ciklais
0	10,68	10,23	0,45	0,73	3,32	0,49	≈ 0...30
10	11,55	11,08	0,48	0,64	3,07	0,48	
20	13,68	13,16	0,52	0,80	4,00	0,44	
30	17,73	17,21	0,52	0,70	2,08	0,33	

Apibendrinant gautus rezultatus, matyti, kad vidutinių porų dydžio rodiklis λ kinta nuo 2,08 iki 4,00 ir yra pastebimai didesnis už vertę 1,50. Tai rodo, kad poros betone yra stambios, kas turi neigiamos įtakos betono atsparumui šalčiui. Porų pasiskirstymo pagal dydį rodiklis α kinta nuo 0,64 iki 0,80, kas parodo, kad minėtos stambios poros yra labiau vienodo dydžio. Paprastai esant smulkioms poroms, kurių dydis iki 300 μm , kuo α rodiklis artimesnis 1,00 tuo betonas bus atsparesnis šalčiui, tačiau mūsų atveju esant daugumoje tik stambioms poroms, kas rodo didelį atvirą poringumą, šis vienodumas parodo visišką neatsparumą šalčiui.

Remiantis literatūra laikant, kad uždaras poringumas tapatus betono mišinyje įtrauktam oro kiekiui reikia pastebėti, jog bendru atveju, remiantis LST EN 206:2014 ir LST 1974:2012 standartais, įtrauktas oro kiekis betono mišinyje, kuris teigiamai įtakoja betono atsparumą šalčiui, turi būti ne mažesnis nei 4 % ir pagal LST EN 206:2014 21 lentelę pavienės reikšmės turi neviršyti aukščiausios nuokrypio ribos + 5 %, t.y. neviršyti 9 % įtraukto oro kiekio arba mažiausios nuokrypio ribos – 0,5 %, t.y. 3,5 % įtraukto oro kiekio. Šiuo atveju didžiausias įtraukto oro kiekis, kurį prilygintume uždaram poringumui yra vos 0,52 %.

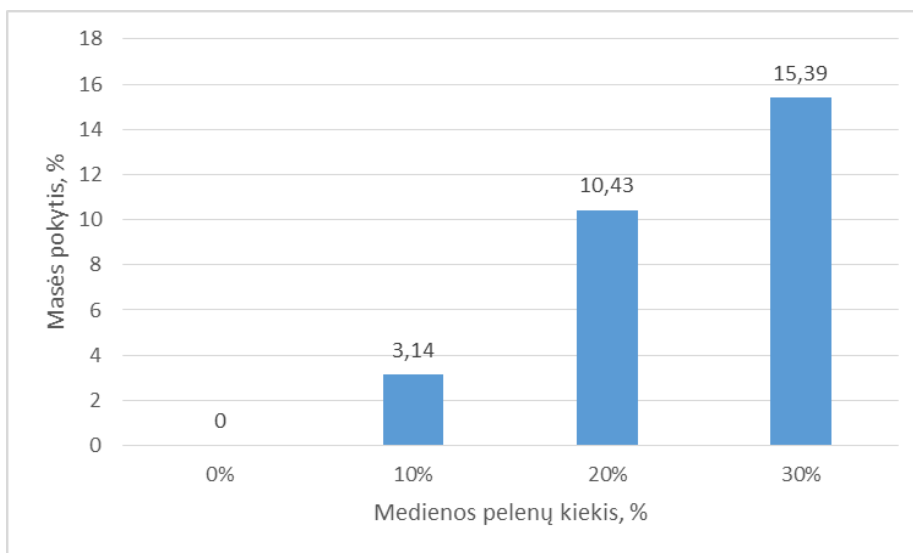
2.3.10. Betono atsparumo šalčiui nustatymas

Vaizdas kaip atrodo bandiniai po 6 šaldymo ciklų su tam tikru medienos pelenų kiekiu pavaizduotas 2.3.10.1 pav. Taigi prognozavimas pasitvirtino, jog didinant medienos pelenų kiekį, atsparumas šalčiui mažėja.



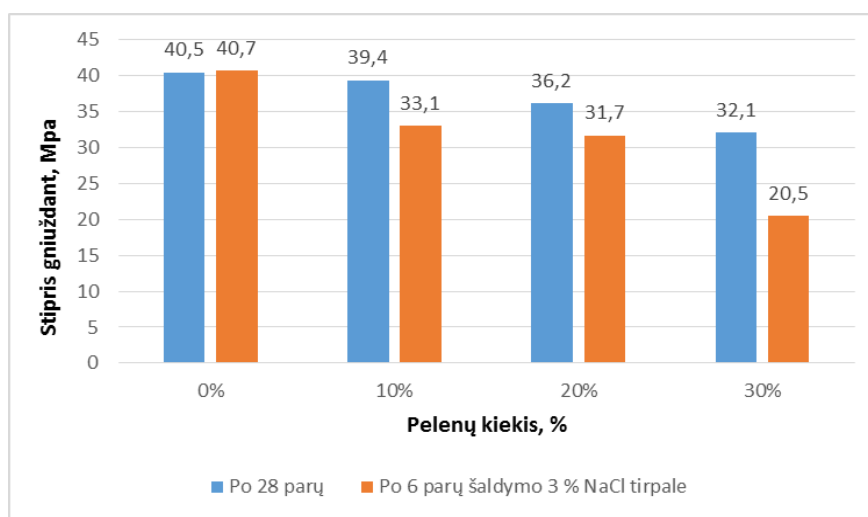
2.3.10.1 pav. Bandiniai po 6 šaldymo ciklų 3% NaCl tirpale

Bandiniai buvo pasverti prieš ir po šaldymo šaldymą, 2.3.10.1 pav. matomame vaizde su 0% medienos pelenų cemento pakaitalu svoris nepakito, su 10% nukrito 3,14% procento, panaudojus 20 % medienos pelenų svoris krito 10,43%, o su 30% medienos pelenų – 15,39 %.



2.3.10.2 pav. Masės pokyčiai po 6 šaldymo ciklų 3% NaCl tirpale

Galiausiai nutrupėję bandiniai buvo sugniuždyti, ir gautas stipris palygintas su sugniuždytais sveikais bandiniais po 28 kietėjimo vandenyje parų. Gauti rezultatai pateikti 2.3.10.3 pav.



2.3.10.3 pav. Bandiniai po 6 šaldymo ciklų 3% NaCl tirpale

IŠVADOS

1. Viena iš medienos pelenų panaudojimo galimybių – utilizuoti jį cementinių statybinių gaminių pramonėje. Remiantis cheminių tyrimų duomenimis galime teigti, kad kenksmingi metalai esantys medienos pelenuose patikimai surišami cementiniame akmenyje. Taip pat nustatyta jog tinkamai apdorojus medienos pelenus galima pakeisti iki 20% rišamosios medžiagos masės.

2. Didinant medienos pelenų kiekį uždaras poringumas mažėja, tai rodo, kad bandinių su didesniu medienos pelenų kiekiu atsparumas šalčiui nežymiai mažėja.

3. Tyrinėjant pateiktus rentgenodifrakcinės analizės grafikus, matome, kad lyginant kontrolinę mišinio sudėtį ir sudėtis, kuriose dalis cemento buvo pakeista 10 – 30 % medienos pelenų, cemento akmens mineralų sudėtis beveik nekinta. Iš esmės sudėtyse kuriose naudojami medienos pelenai nesusidarė jokie nauji junginiai, tai aiškintina tuo, kad medienos pelenai sistemoje veikia labiau kaip inertinis mikroužpildo priedas, kuris paprastai nedalyvauja papildomose reakcijose su cemento hidratacijos metu išsiskiriančiu Ca(OH)_2 .

4. Vertinant cementinio akmens stiprumines savybes, matome, kad cementinio akmens stipris gniuždant po 28 parų kietėjimo, mažėja proporcingai pakeistai cemento daliai, medienos pelenais. Ankstyvuojų kietėjimo laikotarpiu pastebimas mažesnis stiprio gniuždant kritimas, t.y. po 2 parų jau matomas pokytis, kai su 10 % medienos pelenų stipris gniuždant krenta 2,86 %. Su 20% medienos pelenų stipris gniuždant sumažėja 6,86 % nuo to stiprio kuris buvo pasiektas su bandiniais, kurių sudėtyje visai nebuvo medienos pelenų. O su 30% medienos pelenais stipris gniuždant krito 29,54 %. Po 90 kietėjimo parų su 10 % medienos pelenų kaip pakaitalo cementui, matomas mažiausias stiprio gniuždant sumažėjimas, o pakeitus 20 % gauname 17,9% stiprio sumažėjimą

5. Tyrimais nustatyta, kad naudojant medienos pelenus cementinėse sistemose, galima sumažinti santykinės susitraukimo deformacijas. Keičiant 10% cemento medienos pelenais, cementinio akmens santykinės susitraukimo deformacijos sumažėjo, tai labiausiai pastebima po 90 kietėjimo parų.

6. Tyrimais nustatyta, kad vis didesnę cemento dalį keičiant medienos pelenais, jie padidina cemento tešlos ribinius šlyties įtempimus. Cemento tešlos klampis didėjant greičio gradientui didėja. Tačiau vertinant cemento tešlos su skirtingu kiekiu medienos pelenų klampio

pokytį matome, kad keičiant 20 % cemento medienos pelenais, sistemos klampis truputį (apie 5%) sumažėja. Tai gali būti dėl to, kad remiantis literatūros šaltiniais kaminų filtruose surenkamos medienos pelenų dalelės būdamos labiau apvalios formos tinkamai pasiskirsto, cemento tešloje.

7. Atlikus bandymus, matome, jog atsparumo šalčiui kriterijus mažėja didinant medienos pelenų kiekį. Šiuo atveju esant daugumoje tik stambioms poroms, kas rodo didelį atvirą poringumą, šis vienodumas parodo visišką neatsparumą šalčiui, o didinant medienos pelenų kiekį neatsparumas tik didėja. Atlikus atsparumo šalčiui nustatymas eksperimentiškai, matome, jog prognozavimas pasitvirtino, jog didinant medienos pelenų kiekį, atsparumas šalčiui mažėja.

LITERATŪRA

1. Prieiga per internetą - [žiūrėta 2014-10-18] <http://www.zak.lt/pelenai-ne-tik-vertinga-trasa/>
2. Prieiga per internetą - [žiūrėta 2014-10-18] <http://www.krantai.lt/ru/naujienos.html?id=338&show=placiau>
3. Prieiga per internetą - [žiūrėta 2014-10-18] <http://www.lsta.lt/files/studijos/2007/A30%20Pelenu%20Pan%20Galimyb%20studija%2020071015.pdf>
4. Pirkko Vesterinen „Wood ash recycling state of the art in Finland and Sweden“, 2003
5. C Sashidhar, C Sashidhar. Durability Studies On Concrete With Wood Ash Additive, article, 2010.
6. Naujokaitis, A. Statybinės medžiagos. Betonai. Vilnius: Technika, 2007.
7. Naujokaitis, A. Medžiagų mokslas. Vilnius: Technika, 2009.
8. Kazragis, A., Gailius, A. Kompozicinės medžiagos ir dirbiniai su gamtiniais organiniais užpildais. Vilnius: Technika, 2006.
9. David A. Tillman, Dao N. B. Duong, N. Stanley Harding. Solid fuel blending.
10. Pascale Coatanlem, Raoul Jauberthie and Frank Rendell, “Lightweight wood chipping concrete durability”, France, 2005.
11. Felix F. Udoeyo, Hilary Inyang, David T. Young, and Edmund E. Oparadu, “Potential of Wood Waste Ash as an Additive in Concrete”, 2006.
12. Kurashige isao and Uomoto Taketo, “Mechanisms of scaling-off of hardened cement paste due to sulfuric acid attack”, 2001.
13. Elzbutas, H. Statybinių medžiagų savybių ir struktūros ypatybių tyrimo metodai. Kaunas, 2007
14. LST EN 12390-7:2009. Sukietėjusio betono bandymai. 7 dalis. Sukietėjusio betono tankis
15. LST EN 196-1. Cemento bandymų metodai. 1 dalis. Stiprio nustatymas
16. Ivanauskas, E.; Augonis, A.; Gečys, R.; Vaitkevičius, V. Statybinių medžiagų laboratoriniai darbai. Vilniaus pedagoginio universiteto leidykla. 2011.

17. Skripkiūnas, G.; Daukšys, M. „Smėlio smulkumo ir koncentracijos įtaka betono mišinių reologinėms savybėms“. Pažangioji statyba, Konferencijos pranešimų medžiaga. 2004, 158-166.
18. LST EN 196-9. Cementas. Bandymo metodai. 9 dalis. Hidratacijos šiluma. Pusiau adiabatiniis metodas.
19. LST CEN/TS 12390-9:2006. Betono bandymas. 9 dalis. Atsparumas cikliškam užšalimui ir atitirpimui. Atskilinėjimas
20. Žurauskienė, R., Nagrockienė, D. Statybinių medžiagų ir dirbinių technologija. Vilnius: Technika, 2008.
21. Skripkiūnas G., Daukšys M. Cemento tešlų Reologinių savybių ir dilatantiškumo tyrimai. Betonas ir gelžbetonis, konferencijos pranešimų medžiaga. Kaunas: Technologija, 2003, 28-35p.
22. Daukšys M. Influence of cement tipe on rheological properties of cement slurries. Advanced materials and technologies. Book of Abstracts of the 5-th International Summer School-Conference. Kaunas: Technologija, 2003, p.31,
23. Hu C., de Larrard F. The Rheology of High-Performance Concrete. Cement and Concrete Research, V. 26, No. 2, February 1996, P. 283-294.
24. De Larrard F., Hu C., Sedran T, Szitkar J. C., Joly M., Claux F., Derkx F. A new rheometer for soft-to-fluid fresh concrete. AC I Materials Journal, Vol 94, No 3, 1997, p. 234-243.
25. Ferraris Ch. F., Obla K. H., Hill R. The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete. Cement and Concrete Research, V, 31, No. 2, 2001.
26. Elinwa, A.U Mahmood ,Y.A. (2002). “Ash from timber waste as cement replacement material.” Cem. Concr. Compos. 219-222.
27. Naik T R, Kraus R N, Siddique R. Demonstration of Manufacturing Technology for Concrete and CLSM Utilizing Wood Ash From Wisconsin: Report No REP-485. UMW Center for By-Products Utilization, 2002.
28. Naik T R, Siddique R, Kraus R N. Mechanical Properties and Freezing and Thawing Resistance of Concrete Incorporating Wood Fly Ash: Report No REP-468. UMW Center for By-Products Utilization, 2002.

29. Naik T R, Kraus R N, Kumar R. Wood Ash: A New Source of Pozzolanic Material: Report N. REP-435, UMW Center for By-Products Utilization, 2001.
30. Hague, M. N. and Kayali, O. (1998), "Properties of High-Strength Concrete using a Fine Fly Ash", Cement and Concrete Research, Vol. 28 No.10, pp. 1445-1452.
31. Hossain, K. M. A. (2003), "Blended Cement using Volcanic Ash and Pumice", Cement and Concrete Research, Vol. 33, pp. 1601-1605.
32. LST L 1428.17 Betonas. Bandyto metodai. Atsparumo šalčiui nustatymas.