



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Presuoto biokompozito gamyba naudojant kanapių spalius ir jo savybių tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Dinas Vilius Daunoravičius

Projekto autorius

Doc. dr. Algirdas Augonis

Vadovas

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Presuoto biokompozito gamyba naudojant kanapių spalius ir jo savybių tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Statybinių konstrukcijų ir gaminių inžinerija (6211EX008)

Dinas Vilius Daunoravičius

Projekto autorius

Doc. dr. Algirdas Augonis

Vadovas

Doc. dr. Ernestas Ivanauskas

Recenzentas

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Dinas Vilius Daunoravičius

Presuoto biokompozito gamyba naudojant kanapių spalvius ir jo savybių tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdamas kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasis Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs;
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalintas iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Dinas Vilius Daunoravičius

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas
Statybos ir architektūros fakultetas

Magistro baigiamojo projekto užduotis

Studijų programa: Statybinių konstrukcijų ir gaminių inžinerija

Baigiamojo projekto tematika (lietuvių k.):

Presuoto biokompozito gamyba naudojant kanapių spalius ir jo savybių tyrimai

Baigiamojo projekto tema patvirtinta dekanu potvarkiu Nr.:

V25-09-16

(lietuvių k.): Presuoto biokompozito gamyba naudojant kanapių spalius ir jo savybių tyrimai

(anglų k.): Production of Pressed Biocomposite using Hemp Stems and Research on its Properties

Pradiniai duomenys darbui:

Baigiamojo projekto dalys:

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

Kita informacija (pagal poreikį):

Vadovas:

doc. dr. Algirdas Augonis

(indėlis 100 %)

pareigos, vardas, pavardė
Patvirtinta elektroniniu būdu

Konsultantas:

(indėlis _____ %)

pareigos, vardas, pavardė

Konsultantas:

(indėlis _____ %)

pareigos, vardas, pavardė

Studentas:

Dinas Vilius Daunoravičius

pareigos, vardas, pavardė
Patvirtinta elektroniniu būdu

Daunoravičius, Dinas Vilius. Presuoto biokompozito gamyba naudojant kanapių spalius ir jo savybių tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Algirdas Augonis; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypties grupė): Inžinerijos mokslai, Statybos inžinerija (E05).

Reikšminiai žodžiai: biokompozitas, kanapių spaliai, sudėties projektavimas ir gamyba, savybių tyrimas.

Kaunas, 2023. 58 p.

Santrauka

Magistro darbo rengimo metu atliekamo tyrimo tikslas yra pagaminti biokompozito pavyzdžius su įvairių rūšių rišamosiomis medžiagomis ir įvairiomis organinėmis atliekomis, juos kietinant natūraliai ir CO₂ dujų aplinkoje, ir nustatyti šių medžiagų fizikines ir mechanines savybes, panaudojant eksperimentų metu gautus rezultatus. Pagrindinę bandinių sudėtį sudaro kanapių spalių užpildas.

Rašto darbą sudaro įvadas, literatūros apžvalga, naudotų medžiagų, įrangos, ir bandinių gamybos aprašas, tyrimų metodologija, eksperimentų rezultatai ir jų analizė, išvados.

Atliekant literatūros analizę buvo išnagrinėti presuotų biokompozitų gamybos variantai, naudojant skirtingus užpildus ir rišiklius, skirtingi gamybos būdai ir įvairūs kietinimo procesai. Analizuojant šaltinius aprašytos biokompozito savybės, panaudojimo sritys ir presuoto biokompozito sudėties įtaka šios medžiagos savybėms.

Magistro baigiamasis darbas tęsiamas aprašant naudotas medžiagas, įrangą ir bandinių gamybos procesą. Visas gamybos procesas išskaidomas į keturias dalis pagal naudoto rišiklio rūšį, pateikiant naudingą informaciją lentelėse su bandinių nuotraukomis.

Tyrimų metodologijos dalyje išnagrinėjami atliekami eksperimentai, paaiškinamos skaičiavimų formulės, nurodomi panaudoti kietinimo būdai, bandinius kietinant natūraliai ir CO₂ aplinkoje.

Eksperimentų rezultatų analizės metu nustatyta, jog bandiniai pagaminti su apdorotais kanapių spaliais atlaiko didesnę gniuždymo jėgą nei bandiniai su sausais neapdorotais spaliais. Stipriausios medžiagos, tinkamos laikomoms konstrukcijoms formuoti, buvo gaminamos iš cementinio rišiklio, dolomito atsijų ar malto smėlio ir apdorotų kanapių spalių užpildo, jų gniuždomasis stipris siekė 6,5 MPa. Eksperimentų metu nustatyta, jog didelę įtaką gniuždomajam stipriui turėjo karbonizacija, geriausi rezultatai tiek karbonizacijos gylyje, tiek gniuždomojo stiprio bandyme gauti karbonizuojant CO₂ kameroje. Šilumos izoliacijai tinkamos medžiagos gautos į sudėtį nededant sunkiųjų užpildų, jų tankis buvo nuo 260 kg/m³ iki 500 kg/m³, šilumos laidumo koeficientas svyravo nuo 0,07 W/mK iki 0,12 W/mK.

Išpildžius visus darbo metu užsibrėžtus tikslus ir uždavinius, pateikiamos 8 išvados apie atliktą literatūros analizę, presuoto biokompozito sudėties projektavimą, gamybos procesą, eksperimentų rezultatus bei panaudojimo galimybes.

Baigiamojo magistro darbo apimtis yra 58 puslapiai. Rašto darbą sudaro 13 lentelių, 40 paveikslų ir 46 literatūros šaltiniai.

Daunoravičius, Dinas Vilius. Production of Pressed Biocomposite using Hemp Stems and Research on its Properties. Master's Final Degree Project / supervisor doc. dr. Algirdas Augonis; Kaunas University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture.

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

Keywords: biocomposite, hemp shives, composition design and production, properties study.

Kaunas, 2023. 58 pages.

Summary

The aim of the research carried out during the preparation of the master's thesis is to produce biocomposite samples with different types of binders and various organic wastes, curing them naturally and in a CO₂ gas environment, and to determine the physical and mechanical properties of these materials using the results obtained from experiments. The main composition of the samples consists of hemp shives filler.

The thesis consists of an introduction, a literature review, a description of the materials used, the equipment, and the production of the samples, the methodology of the studies, the results of the experiments and their analysis, and conclusions.

The literature analysis examined the production options for the production of pressed biocomposites using different fillers and binders, different production methods and different curing processes. The analysis of the sources describes the properties of the biocomposite, the applications and the influence of the composition of the pressed biocomposite on the properties of the material.

The master's thesis continues with a description of the materials used, the equipment and the sample production process. The whole production process is broken down into four parts according to the type of binder used, providing useful information in tables with photographs of the samples.

The methodology section examines the experiments carried out, explains the calculation equations and indicates the curing methods used, with samples cured both naturally and in a CO₂ environment.

The analysis of the experimental results shows that the specimens made with treated hemp shives withstand a higher compressive force than those made with dry untreated shives. The strongest materials suitable for forming load-bearing structures were made of cementitious binder, dolomitic siftings or fine sand and treated hemp shives filler, with a compressive strength of 6,5 MPa. The experiments showed that the compressive strength was strongly influenced by carbonisation, with the best results in both the depth of carbonisation and the compressive strength being obtained from carbonisation in a CO₂ chamber. The materials suitable for thermal insulation were obtained without the addition of heavy fillers, with densities ranging from 260 kg/m³ to 500 kg/m³ and thermal conductivities ranging from 0,07 W/mK to 0,12 W/mK.

Having fulfilled all the aims and objectives of the work, 8 conclusions are presented on the literature analysis, the design of the composition of the pressed biocomposite, the results of the experiments, on the production process and the possibilities of application.

The final master's thesis is 58 pages long. The thesis consists of 13 tables, 40 figures and 46 references.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	11
Įvadas.....	12
1. Literatūros analizė.....	14
2. Naudotos medžiagos, įranga ir bandinių gamyba	26
3. Tyrimų metodologija.....	39
4. Eksperimentų rezultatai ir jų analizė	43
Išvados	54
Literatūros sąrašas	55

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Presuoto biokompozito bandinių su cementiniu rišikliu sudėtis, 1 m ³	31
2 lentelė. Gauti presuoti biokompozitiniai bandiniai su cementiniu rišikliu	31
3 lentelė. Presuoto biokompozito bandinių su cementiniu rišikliu sudėtis, 1 m ³	33
4 lentelė. Pakoreguotų sudėčių gauti presuoti biokompozitiniai bandiniai su cementiniu rišikliu ...	33
5 lentelė. Presuoto biokompozito bandinių su gesintų kalkių rišikliu sudėtis, 1 m ³	34
6 lentelė. Presuoti biokompozitiniai bandiniai su gesintų kalkių rišikliu	34
7 lentelė. Presuoto biokompozito bandinių su skysto stiklo rišikliu sudėtis, 1 m ³	36
8 lentelė. Presuoti biokompozitiniai bandiniai su skysto stiklo rišikliu.....	36
9 lentelė. Presuoto biokompozito bandinių su negesintų kalkių rišikliu ir kalcio chlorido tirpalu sudėtis, 1 m ³	37
10 lentelė. Presuoti biokompozitiniai bandiniai su negesintų kalkių rišikliu ir kalcio chlorido tirpalu	38
11 lentelė. Presuoto biokompozito bandinių tankis, kg/m ³	44
12 lentelė. Cemento rišiklio biokompozito bandinių įsisavintas CO ₂ kiekis.....	51
13 lentelė. Kalkių rišiklio bandinių įsisavintas CO ₂ kiekis.....	52

Paveikslų sąrašas

1 pav. Biokompozitų užpildų klasifikavimas [4]	15
2 pav. Biokompozitų rišamųjų medžiagų klasifikavimas [5].....	16
3 pav. Bandinių kietinimui CO ₂ dujose naudojama įranga [17]	17
4 pav. Cemento ir vandens santykio įtaka betono gniuždomajam stipriui [20].....	18
5 pav. Cemento ir medžio užpildo santykio įtaka betono gniuždomajam stipriui [15]	19
6 pav. Kanapių spaliai (a) ir kanapių pluoštas (b) [42]	19
7 pav. Plokščių „Cetris“ sudėtis [21]	20
8 pav. Pradinis bandinio standumas, atsižvelgiant į kietėjimo procesą ir medžio pluošto / cemento santykį [15].....	21
9 pav. Moderni vidinė durų apdailos plokštė, suformuota naudojant 60 % natūralaus pluošto kilimėlius ir „Baypreg“ poliuretano dervą [23].....	22
10 pav. Akustinės presuoto biokompozito plokštės [24]	22
11 pav. Gamintojo „Cetris“ plokštės: (a) glotnaus, pilkos spalvos paviršiaus; (b) su išgręžtomis angomis; (c) reljefinio paviršiaus; (d) su įlaidais ir grioviais [21]	23
12 pav. Biokompozitinių plokščių eksploatacinės savybės, palyginti su įprastinėmis plokščių ir plokščių sistemomis, skirtomis komercinei ir gyvenamajai statybai [27].....	23
13 pav. Kanapių betono blokeliai [31].....	24
14 pav. Surenkami kanapių betono blokai, naudojami kaip laikančios mūro konstrukcijos izoliacinis sluoksnis [44].....	24
15 pav. Kanapių betono panaudojimas namo sienų statybai [32].....	25
16 pav. Tyrimams naudoti kanapių spaliai	26
17 pav. Pjuvenos	27
18 pav. Dolomito atsijos 0-5 mm frakcijos	27
19 pav. Smulkintas smėlis 0-0,25 mm frakcijos	27
20 pav. 3 litrų skiedinio maišyklė „Automix 65-L0006A“	28
21 pav. Giratorius „Controls“ ir giratoriaus presavimo indas	28
22 pav. CO ₂ klimatinė kamera	29
23 pav. Slėginis indas.....	29
24 pav. Bandymo mašina „Tony Technik“	30
25 pav. Kanapių spalių pluošto apdorojimas mirkant vandenyje (kairėje) ir gesintų kalkių tirpale (dešinėje)	30
26 pav. Aplinkos sąlygos CO ₂ kameroje.....	39
27 pav. Įtempčių-deformacijų kreivė, sudaryta bandymo metu	40
28 pav. Fenoltaleino tirpalo užpurškimas ant karbonizacijos beveik nepaveikto (a) ir pilnai karbonizuoto bandinio paviršiaus.....	41
29 pav. Vandens kiekis % nuo 100 g išmirkyto pluošto, priklausomai nuo mirkymo laikotarpio ...	43
30 pav. Bandinių su kanapių spaliais ir cemento riškliu įtempčių ir deformacijų kreivės, priklausomai nuo kanapių spalių paruošimo būdo	46
31 pav. Kieto užpildo (dolomito, smėlio) neturinčių bandinių gniuždomasis stipris prie 10 % santykinės deformacijos	46
32 pav. Bandinių su apdorotais kanapių spaliais, dolomito atsijomis ir hidraulinių kalkių rišamąja medžiaga įtempčių ir deformacijų kreivės priklausomai nuo karbonizacijos būdo	47
33 pav. Nekarbonizuotų bandinių su apdorotais kanapių spaliais ir dolomito atsijomis įtempčių ir deformacijų kreivės	48

34 pav. Cemento rišiklio nekarbonizuotų bandinių su dolomito atsijomis įtempių ir deformacijų kreivės.....	48
35 pav. Cemento rišiklio nekarbonizuotų bandinių su malto smėlio užpildu įtempių ir deformacijų kreivės.....	49
36 pav. Cemento rišiklio bandinių gniuždomasis stipris	49
37 pav. Karbonizacijos gylis kalkių rišiklio bandiniuose (sudėties Nr. 8) kietinant CO ₂ kameroje (a) ir natūraliai (b).....	50
38 pav. Karbonizacijos gylis cemento rišiklio bandiniuose (sudėties Nr. 17) kietinant CO ₂ kameroje (a) ir natūraliai (b).....	50
39 pav. Karbonizacijos gylis cemento rišiklio bandiniuose (sudėties Nr. 19) kietinant CO ₂ kameroje (a) ir natūraliai (b).....	51
40 pav. Įvairių rūšių medienos šilumos koeficiento priklausomybė nuo tankio [46]	53

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

CO_2 – anglies dioksidas;

CaO – kalcio oksidas;

CaCO_3 – kalcio karbonatas;

SiO_2 – silicio dioksidas;

Ca(OH)_2 – kalcio hidroksidas;

Na_2SiO_3 – natrio silikatas.

Terminai:

Portlandcementis – labiausiai paplitusi hidraulinė rišamoji medžiaga, kurią sudaro smulkus klinkerio, gipso ir aktyvių mineralinių priedų malinys.

Karbonizacija – medžiagos, veikiamos CO_2 , virtimas karbonatais.

Hidratas – cheminės medžiagos susijungimo su vandeniu produktas.

Giratorius – intensyvaus tankinimo prietaisas naudojamas kietų dalelių konglomeratų, tokių kaip standus betonai, gruntai, grindinio medžiagos ir kitos panašios medžiagos, sutankinamumo tyrimams ir bandymams atlikti.

Sausas ledas – kietasis anglies dioksido pavidalas.

Gesintos kalkės – kalcio hidroksidas.

Negesintos kalkės – kalcio oksidas.

Skystas stiklas – natrio silikatas.

Įvadas

Tvarus atliekų tvarkymas, perdirbimas ir antrinis panaudojimas yra svarbios sparčią klimato kaitą ir ekstremalias orų permainas stabdančio proceso sudedamosios dalys. Vienas didžiausių sektorių, pagal įtaką klimato kaitai, yra cemento pramonės sektorius, kuris pasižymi tuo, jog yra trečias pagal energijos suvartojimą ir antras pagal išmetamą CO₂ kiekį pasaulyje. Šio sektoriaus aprūpinimui ir kiekvienais metais augančiai plėtrai, pasak Tarptautinės energetikos agentūros, sunaudojama 7 % viso pasaulio industrinės energijos ir į atmosferą išmetama 7 % globalios CO₂ emisijos [1].

Augantis gyventojų skaičius ir urbanizacijos proceso sparta skatina infrastruktūros ir statybos sektorių plėtra, kurie savo ruožtu didina cemento, o kartu ir neatsiejamai betono, paklausą. Atsižvelgiant į šiuos faktorius, norint pasiekti paskelbtus anglies dioksido mažinimo įsipareigojimus ir energijos vartojimo efektyvumo tikslus, yra bandoma sumažinti cemento ir kitų taršių rišamųjų medžiagų vartojimo poreikius bei jų daromą neigiamą įtaką, todėl vis dažniau atsisukama į pakaitinių medžiagų vartojimą betono ir kitų taršių medžiagų gamyboje.

Pasiekti užsibrėžtus aplinkosauginius tikslus gali padėti natūralių ir perdirbamų medžiagų naudojimas betono ir kitų medžiagų užpildams pakeisti. Šie užpildai gali būti kanapių, linų, medvilnės, kokoso pluoštai, kamštinė mediena ar medienos drožlės. Sujungiant šiuos užpildus su orinėmis ar hidraulinėmis rišamosiomis medžiagomis gaunamos kur kas ekologiškesnės ir kartais net geresnėmis savybėmis pasižyminčios medžiagos, kitaip dar vadinamos biokompozitais.

Biokompozitas – medžiaga, sudaryta iš dviejų ar daugiau skirtingų sudedamųjų dalių, kurių bent viena yra natūralios kilmės. Šioms medžiagoms susijungiant gaunama nauja medžiaga, kuri pasižymi geresnėmis savybėmis nei pavienės sudedamosios medžiagos. Rišamosios medžiagos gali būti portlandcementis, romancementis, kalkės, gipsas ir taip pat polimerinės dervos ar biopolimerai. Užpildams naudojamos natūralios atsinaujinančios arba perdirbtos medžiagos, tai gali būti šiaudai, lapai, pluoštai, medžio drožlės ar pjuvenos [2].

Pasaulinei rinkai vis dažniau atsisukant į ekologiškesnius sprendimus ir tvaresnius produktus, biokompozitų, kaip pakaitinės statybinės medžiagos, aktualumas vis labiau pabrėžiamas ir susidomėjimas bei aktualių tyrimų atlikimas įgauna didesnę pagreitį. Vienas didžiausių postūmių biokompozitų išpopuliarėjime įvyko tuomet, kai buvo pateiktas pasiūlymas, jog pusę medžiagų visuomeninių pastatų statybai turėtų sudaryti mediena ir kitos organinės medžiagos. Toks sprendimas buvo pasiūlytas jau 2020 metais Prancūzijoje ir jau 2022 metais įsigaliojo [3]. Identiškas sprendimas yra svarstomas ir Lietuvoje, kuris turėtų įsigalioti 2024 metais [4], todėl paklausa natūralioms medžiagoms, o ypač biokompozitams, išaugs ne tik užsienyje, bet ir Lietuvoje.

Atsinaujinančių žemės ūkio kultūrų naudojimas kaip žaliavos statybų pramonėje yra vienas iš didžiausių įtaką darančių veiksnių, kuriuo yra sukuriama tvaresni statinio statybos, eksploatavimo ir medžiagų perdirbimo procesai, o tai yra ypač svarbu, kai statybų sektorius pirmąją gamtos išteklių eikvojimą, sukuriant ekologines problemas pasauliniu ir vietos mastu.

Atsižvelgiant į pasaulinės rinkos kaitas ir įvertinus temos aktualumą, magistro baigiamojo projekto tyrimo objektu yra pasirinktas presuotas biokompozitas, gaminamas naudojant medienos, kanapių pluošto ir kitas organines atliekas.

Tyrimo tikslas: pagaminti biokompozito bandinius su įvairių rūšių rišamosiomis medžiagomis ir įvairiomis organinėmis atliekomis, juos kietinant natūraliai ir CO₂ dujų aplinkoje, bei nustatyti šių medžiagų fizikines ir mechanines savybes.

Magistro baigiamojo projekto uždaviniai:

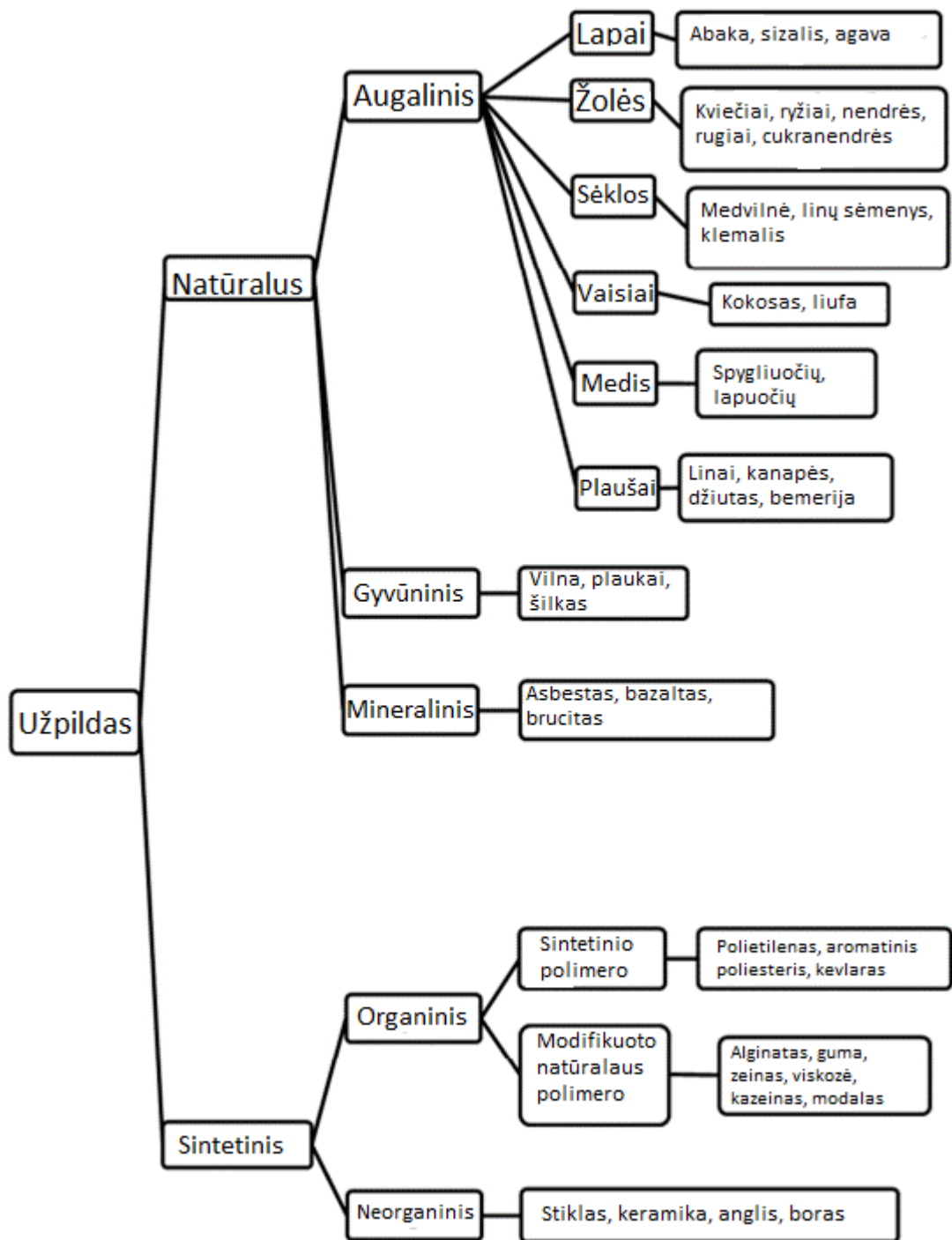
1. atlikti presuotų biokompozitų sudėties, savybių ir gamybos technologijos mokslinės literatūros analizę;
2. parinkti optimalias rišamąsias medžiagas ir organinius užpildus bei suprojektuoti biokompozito sudėtį;
3. pagaminti įvairios sudėties presuoto biokompozito bandinius;
4. pasinaudojant eksperimentų rezultatais, nustatyti natūraliai ir CO₂ aplinkoje kietintų biokompozito bandinių fizikines ir mechanines savybes;
5. įvertinti presuotų biokompozitų panaudojimo galimybes.

1. Literatūros analizė

1.1. Biokompozitų rūšys

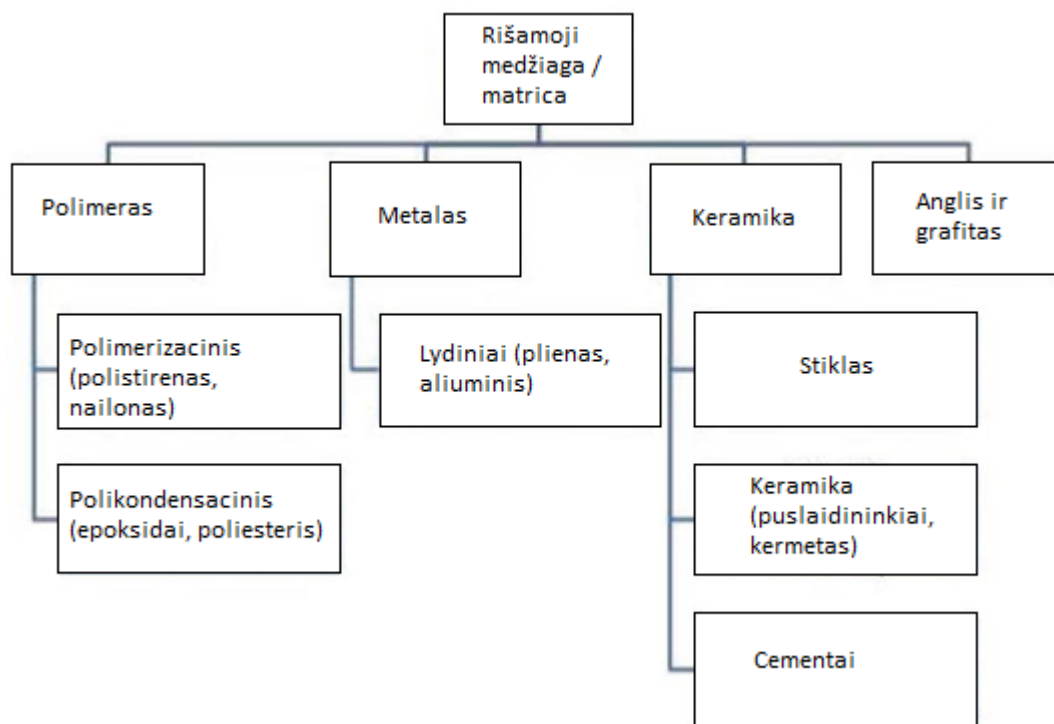
Biokompozitai gali būti skirstomi įvairiais būdais: pagal rišamąsias medžiagas, pagal tai, ar yra biologiškai suyrantys ar ne, pagal užpildų rūšį ar net pagal panaudojimo sritį. Magistro baigiamojo projekto eksperimentinio tyrimo metu atliekamų bandymų ir savybių nustatymo patogumui, biokompozitų skirstymas yra pasirenkamas pagal rišamosios medžiagos ir užpildų rūšį.

Užpildų sudėtimi biokompozitai yra skirstomi į dvi pagrindines grupes: natūralaus ir sintetinio pagrindo pluošto. Sintetinio pagrindo pluoštas toliau skaidomas į dvi grupes: organines ir neorganines. Neorganinio sintetinio pluošto medžiagos pavyzdžiais gali būti įvardintas stiklas, keramika, anglis, boras. Organinis sintetinis pluoštas dar yra išskiriamas į dvi rūšis: sintetinio polimero ir modifikuoto natūralaus polimero. Sintetinio polimero pavyzdžiai: polietilenas, aromatinis poliesteris, aramidai / kevlaras. Modifikuoto natūralaus polimero medžiagos gali būti šios: alginatas, guma, zeinas, viskozė, kazeinas, modalas. Natūralaus pagrindo pluošto užpildai skirstomi į augalinės, gyvūninės ir mineralinės kilmės. Plačiausia augalinės kilmės grupė dar išskaidoma į šiuos pogrupius: lapai, žolės, sėklos, vaisiai, medis, luobos (pluoštai). Lapinės kilmės pluošto pavyzdžiai: abaka, sizalis, agava lapai. Žolių pluošto grupės atstovai: kviečiai, ryžiai, nendrės, rugiai, cukranendrės. Sėklų grupę sudaro: medvilnė, linų sėmenys, klemalis. Vaisių grupės keli pavyzdžiai: kokosas, įvairių vaisių luobelės, liufa. Medžių grupė išskirstoma į spygliuočių ir lapuočių medienos rūšis. Augalinio pluošto grupė susideda iš linų, kanapių, džiuoto, bemberijos. Gyvūninės kilmės pluoštas yra vilna, plaukai, plunksnos, šeriai, šilkas. Mineralinės kilmės natūralaus pluošto pavyzdžiai: asbestas, bazaltas, brucitas [5].



1 pav. Biokompozitų užpildų klasifikavimas [4]

Biokompozitai pagal rišamąsias medžiagas yra išskirstomi į keturias pagrindines grupes: polimerinio, metalinio, keraminio ir anglies ir grafito pagrindo. Polimerinio pagrindo rišamosios medžiagos dar išskaidomos į polimerizacinius ir polikondensacinius. Polimerizaciniai polimerai, kurie kaitinant minkštėja ir šaldant kietėja, gali būti: polistirenas, nailonas. Polikondensacinių polimerų pavyzdžiai yra epoksidinės medžiagos, poliesteris. Metalinio pagrindo rišamosios medžiagos išskiriamos į lydinius, tokius kaip plienas, aliuminis. Keraminio pagrindo rišikliai yra stiklas, keramika (puslaidininkiai, kermetas), cementai [6].



2 pav. Biokompozitų rišamųjų medžiagų klasifikavimas [5]

1.2. Gamybos technologija

Biokompozitų gamybos būdų yra daug. Skiriasi ne tik pati gamybos technologija, bet ir gaunamas galutinis produktas. Gaminant natūralaus pluošto presuoto biokompozito gaminius, užpildas, ar tai būtų pluoštas ar drožlės, turi būti tinkamai apdirbtas.

Natūralių pluoštų naudojimą cementinio rišiklio pagrindo biokompozituose galima suskirstyti į dvi kategorijas: neapdorotus natūralius pluoštus ir apdorotus natūralius pluoštus. Neapdoroti natūralaus pluošto užpildai yra plačiau naudojami, nes juos galima išigyti daugelyje skirtingų šalių ir tai yra nuolat atsinaujinančių išteklių medžiagos. Šie pluoštai gaunami mažomis sąnaudomis ir sunaudojant nedaug energijos, užpildo gamybai pasitelkiant vietinę darbo jėgą ir turimas technologijas [7]. Specialiai apdorotas natūralus pluoštas ir iš jo pagaminta biokompozitinė medžiaga pasižymi geresnėmis savybėmis, tačiau reikalauja daugiau išteklių tinkamam jų paruošimui atlikti [8].

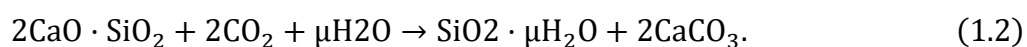
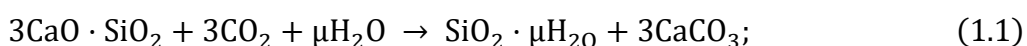
Pagrindinis presuoto biokompozito iš medienos drožlių ar kitų organinių atliekų ir orinių ar hidraulinių rišamųjų medžiagų apribojimas yra užpildų cheminė sudėtis. Priklausomai nuo gaminyje esančių užpildų rūšies, gali atsirasti tam tikras medienos ir mineralinio rišiklio nesuderinamumas, kuris pasireiškia prastu užpildo ir rišamosios medžiagos sukibimu. Dažniausiai naudojama spygliuočio mediena, kuri geriau dera su cementu, kadangi neturi medžiagų, trukdančių medžiagos kietėjimui [9]. Labiausiai su cementiniais rišikliais yra nesuderinamos tropinių medžių rūšys, kurios pasižymi tiek ekstraktinių medžiagų kokybės, tiek jų koncentracijos kiekiu [10].

Medžiagas, galinčias slopinti cemento kietėjimo procesą, galima suskirstyti į dvi rūšis – angliavandenius ir fenolinius junginius. Be cheminės sudėties, slopinimo gebėjimą lemia ir šių komponentų pH bei hidrofobiškumas. Taigi, kad biokompozituose būtų galima naudoti sunkiai tarpusavyje suderinamas medžiagas, jas būtina apdoroti, kad būtų pašalintos nesuderinamos cheminės medžiagos. Tarp medienos dalelių apdorojimo būdų, plačiausiai taikomų ekstraktyvams pašalinti,

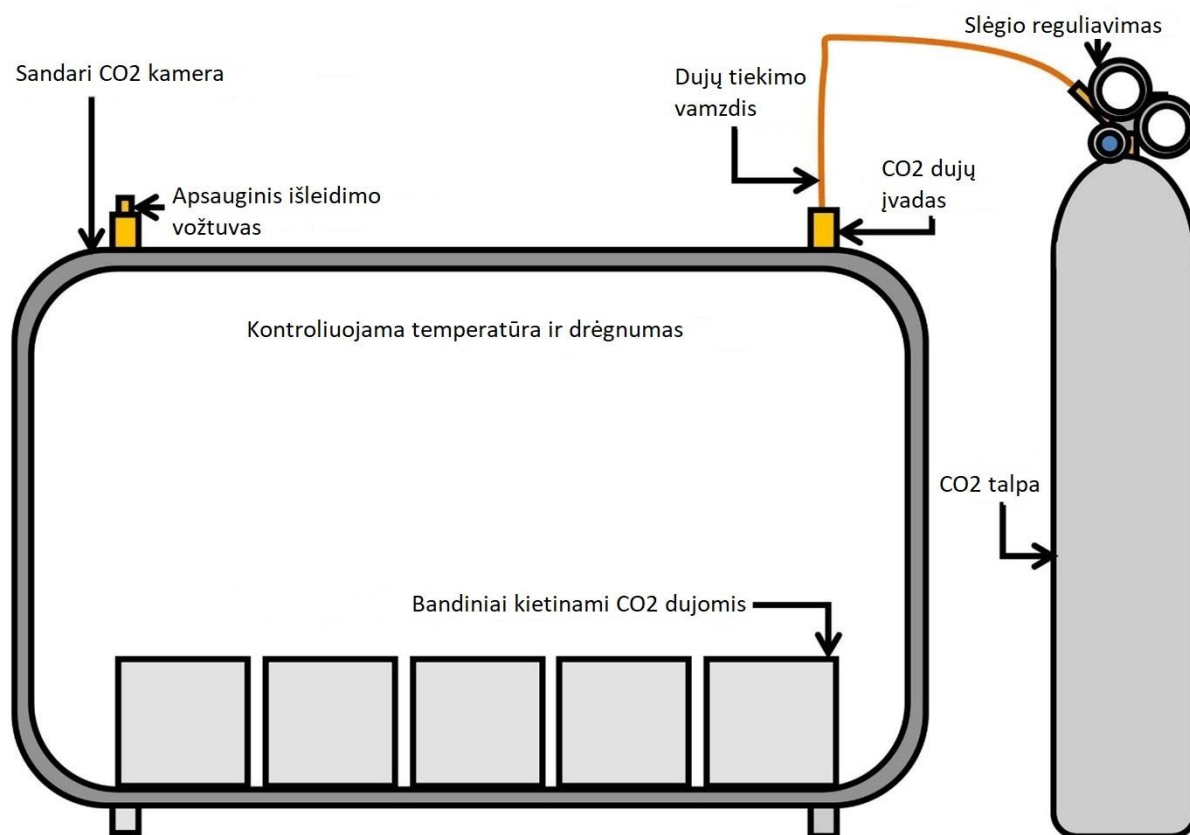
išsiskiria 24 valandų panardinimas į šaltą vandenį, 6 valandų panardinimas į karštą vandenį ir dalelių panardinimas į natrio hidroksido tirpalą, kurio koncentracija yra 1 % masės [11, 12].

Presuoto biokompozito gamybos pagrindinis aspektas yra bandinio supresavimas iki tinkamo tankio ir formos eksperimentiniams tyrimams atlikti. Bandinio presavimo procesui atlikti yra naudojamas giratorius. Giratorius veikia pneumatiniu principu ir tinkamai sutankina bei suformuoja bandinį.

Pagamintas biokompozito gaminys gali būti paliekamas kietėti natūraliai arba atliekamas bandinio kietinimas CO₂ aplinkoje. Kietėjimo proceso pagreitinimas naudojant CO₂ dujas prasidėjo dar 1970 metais, kai buvo tiriamas hidraulinių ir nehidraulinių kalcio silikatų, aktyvuotų CO₂ aplinkoje, reaktyvumas ir stiprumo didėjimas [13]. Nustatyta, kad reakcijos produktai pirmiausia buvo kalcio karbonatai ir silikagelis. Karbonizacijos cheminės reakcijos aprašytos 1.1, 1.2 lygtyje [14].



Cementu surištos medienos drožlių plokštės pasižymi ilgaamžiškumu, atsparumu ugniai ir ekonomiškumu per visą gyvavimo ciklą, tačiau dėl mažo cemento pagrindu pagamintų medienos kompozicinių medžiagų gamybos įrenginių našumo, kurį lemia lėtas cemento kietėjimas ir stiprėjimas, pradinė gaminio kaina yra palyginti didelė [15]. Ankstyvas cemento rišamųjų medžiagų veikimas anglies dioksidu (CO₂) gali gerokai sutrumpinti cementinio rišiklio pagrindu pagamintų medžiagų kietėjimo laiką [16]. Bandinių kietinimui naudojama įranga pateikiama 3 paveiksle.



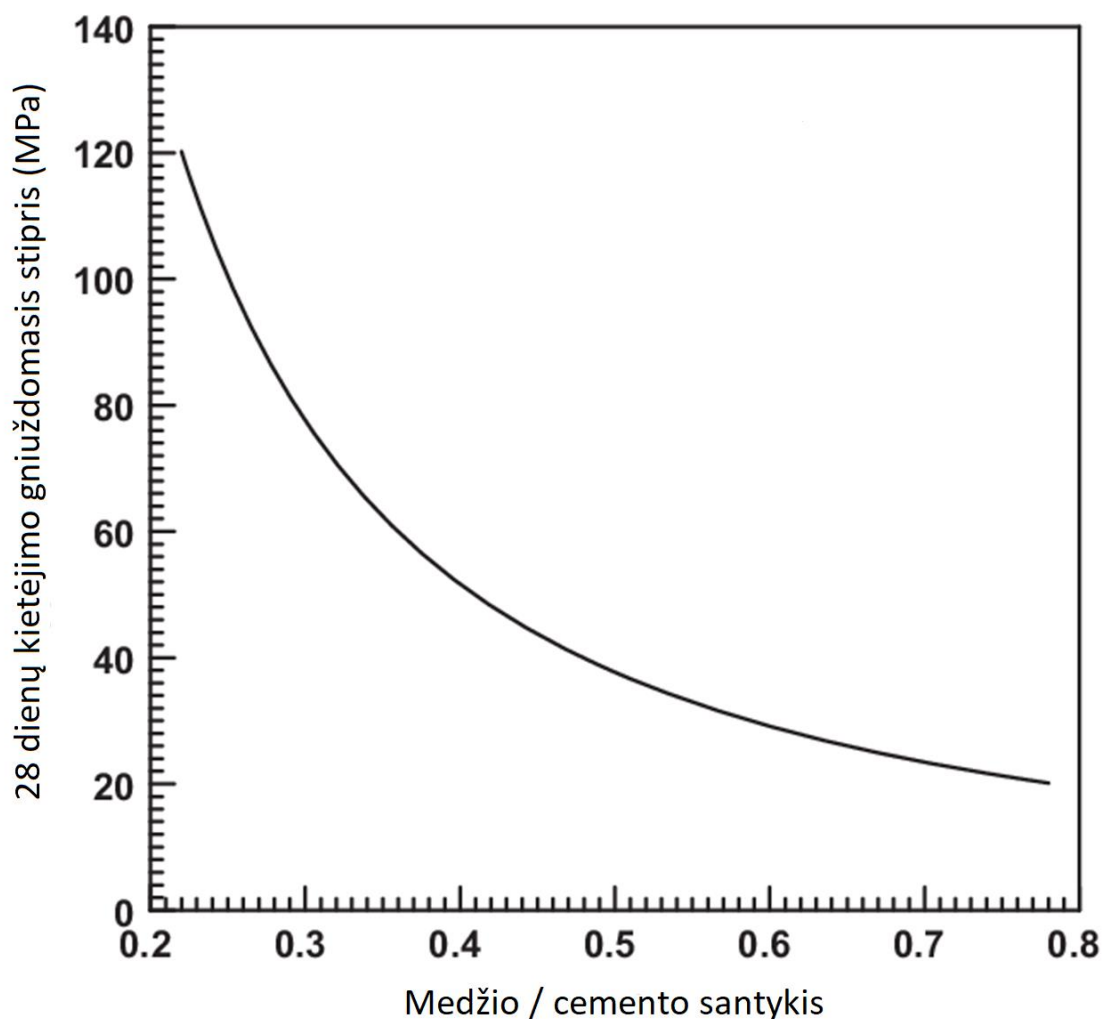
3 pav. Bandinių kietinimui CO₂ dujose naudojama įranga [17]

Pagrindinė cheminė reakcija, vykstanti karbonizuojant cemento hidratus, yra CO₂ reakcija su Ca(OH)₂, susidaranti hidratuojant cementą, taip gaunant CaCO₃ junginį. Greitos karbonizacijos

reakcijos gali sutrumpinti cemento pagrindu pagamintų medžiagų kietėjimo laiką jas paveikiant anglies dioksidu. Dėl tokio pridėtinės vertės turinčio anglies dioksido naudojimo taip pat sumažėja šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija dėl taršių CO₂ dujų sunaudojimo [18].

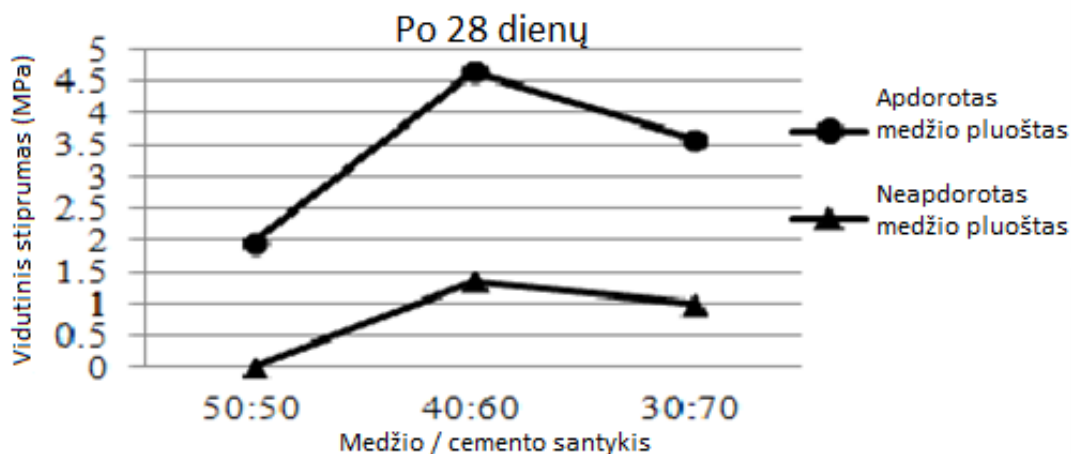
1.3. Sudėtis ir savybės

Organiniais užpildais armuotų cemento ar kitų rišamųjų medžiagų biokompozitų fizikinės ir mechaninės savybės, tokios kaip gniuždymo ar lenkiamasis stipris, vandens absorbcija yra prastesnės nei nepluoštinio skiedinio ar betono [19]. Prastesnes biokompozito savybes lemia didesnis vandens ir rišamosios medžiagos santykis [20], užpildų savybės, tačiau kiekviena medžiaga turi savo pritaikymo sritis, atsižvelgiant į medžiagos sudėtį ir savybes.



4 pav. Cemento ir vandens santykio įtaka betono gniuždomajam stipriui [20]

Biokompozito gaminimui naudojant hidraulinės rišamąsias medžiagas, tokias kaip cementas ar gipsas, ir natūralaus pluošto užpildus, kurie gali būti įvairių medžiagų pluoštai ar drožlės, tokio gaminio mechaninės ir fizikinės savybės stipriai priklauso ne tik nuo vandens ir rišamosios medžiagos santykio, bet ir nuo rišamosios medžiagos ir užpildo santykio. Tiriant cemento ir medžio drožlių santykio įtaką bandinio gniuždomajam stipriui, buvo nustatyta, kad gniuždymo stipris didėja mažėjant medienos ir cemento santykiui nuo 50:50 iki 40:60. Pereinant prie medienos ir cemento santykio 30:70, tokio bandinio gniuždomasis stipris mažėja ir yra pastebimas trapus suirimas [15].



5 pav. Cemento ir medžio užpildo santykio įtaka betono gniuždomajam stipriui [15]

Presuoto biokompozito gamybai gali būti naudojamas ir vienas seniausių kultūrinių augalų – kanapės [39]. Kanapės yra greitai augantis vienmetis augalas. Šiaurės Europoje kanapės gali pasiekti 1,5-4 m aukštį, o toliau pietuose gali siekti iki 10 m. Kanapių pluoštai pasižymi dideliu tempimo stiprumu [40] ir yra naudojami daugelyje popieriaus, tekstilės ir natūralaus pluošto kompozitų gamyboje. Kanapių pluoštai ir spaliai paprastai atskiriami šiems tikslams, tačiau kanapių spaliai gali būti naudojami kokybiškesniam produktui, pavyzdžiui, kanapių betonui gaminti. Skirtingai nuo kitų betonų, kuriuose naudojamas tik augalinis pluoštas, kanapių betonui gaminti paprastai naudojami kanapių spaliai, o ne pluoštai [41].



6 pav. Kanapių spaljai (a) ir kanapių pluoštas (b) [42]

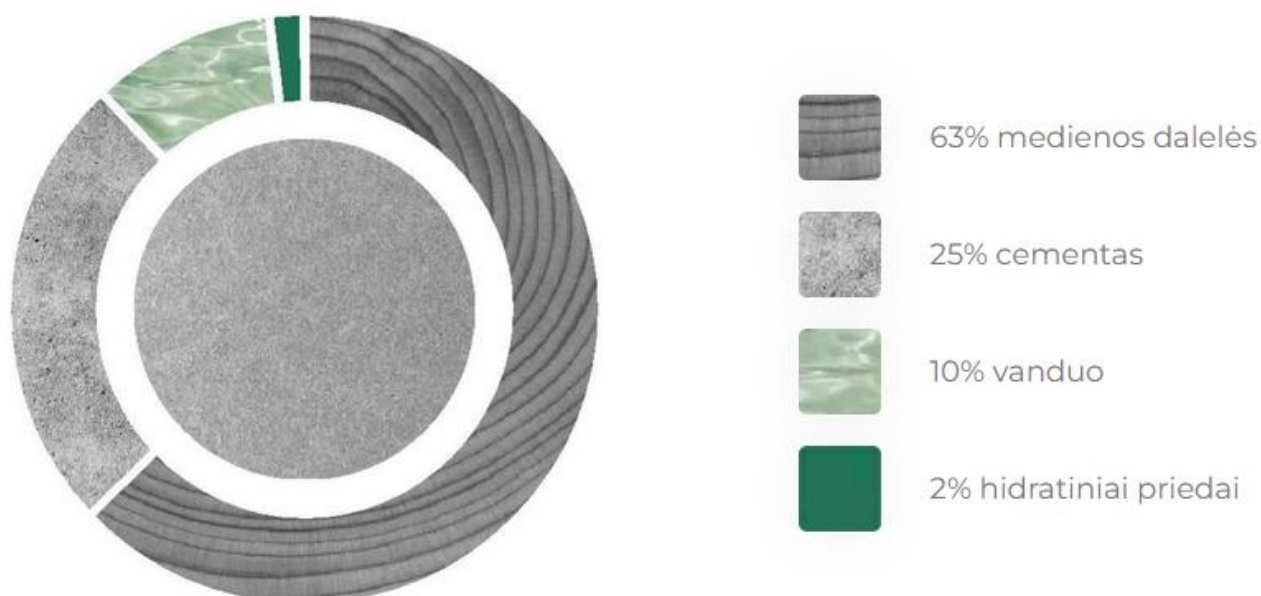
Kanapių spalių ir mineralinio rišiklio derinys sukuria statybinę medžiagą, kurios mechaninės, šiluminės ir akustinės savybės skiriasi nuo įprasto betono savybių. Ji pasižymi mažesniu tankiu, mažesniu šiluminiu laidumu ir geresnėmis garso izoliacinėmis savybėmis, todėl yra nesunkiai pritaikoma naudoti statyboje [41].

Kanapių betono gniuždymo stipris priklauso nuo tikslios mišinio sudėties ir panaudotų medžiagos amžiaus. Gniuždymo stiprio vertės, kietinant 28 dienas, svyruoja nuo 0,2 iki 3,6 MPa [41]. To

nepakanka, kad medžiaga būtų laikančioji, todėl reikia papildomos laikančiosios konstrukcijos, norint visapusiškai integruoti šią medžiagą į statybų procesą.

Presuoto kanapių betono biokompozito tankis gali svyruoti nuo 256 kg/m^3 iki 1140 kg/m^3 [41]. Tankio reikšmės skirtumai gali būti susiję su sudedamųjų dalių kokybe ir kiekiu, užpildų dydžiu, jų akytumu ir sutankinimo rodikliu. Atsižvelgiant į visus šiuos parametrus, literatūroje aptinkamos skirtingos ir nevienodos tankio vertės. Priklausomai nuo medžiagos tankio ir kartu poringumo lygio, kanapių betono šiluminio laidumo koeficientas svyruoja nuo 0,07 iki 0,11 W/mK, bandymai daryti esant $20 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūrai ir 60-70 % santykinei oro drėgmei [41].

Norint išgauti geromis mechaninėmis ir fizikinėmis savybėmis pasižymintį presuoto biokompozito gaminį, galima pasinaudoti gera praktika ir sudėtinių medžiagų proporcijas pasiimti iš gerai žinomų šio produkto gamintojų. Vienas tokių gamintojų yra „Cidem Hranice, A.s.“. Ši įmonė Lietuvoje ir užsienyje gamina „Cetris“ plokštės, kurios yra pagamintos iš medienos, cemento, vandens ir hidratinių priedų. Plokštės struktūra suformuojama spaudžiant medienos daleles, padengtas cementu. Išorėje naudojamos smulkios dalelės, kurios spaudžiamos ant vidutinio dydžio dalelių sluoksnio. Tai užtikrina lygų plokštės paviršių [21].

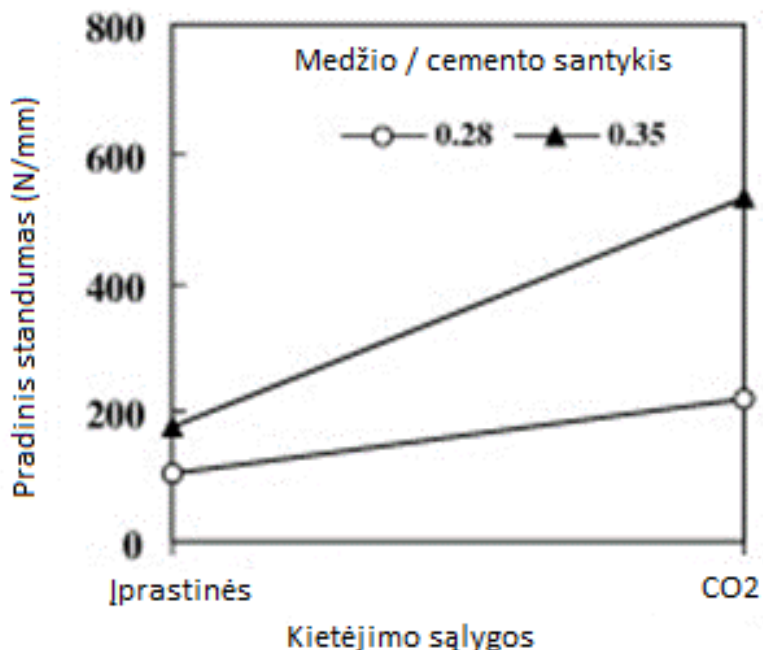


7 pav. Plokščių „Cetris“ sudėtis [21]

Cementinėse medžio atliekų užpildo biokompozito plokštėse nėra kenksmingų medžiagų, kaip asbesto arba formaldehido. Jos taip pat atsparios ugniai ir yra klasifikuojama pagal atsparumo ugniai klasę, pagal Europos standartą EN 501-1 13, kaip A2- s1, d0 – nedegios [21]. Biokompozitinės medžiagos dėl savo poringumo užtikrina puikų garso izoliavimą, yra atsparios šalčiui, drėgmei, ant jų paviršiaus nesiformuoja grybai ir pelėsis, jas galima apdoroti visais standartiniais medienos apdirbimo įrenginiais, dėl mažo medžiagos tankio visi gaminiai yra lengvi ir nesudaro rūpesčių juos transportuojant ar montuojant.

Naudojant anglies dioksido dujas biokompozitų kietėjimui pagreiti, karbonizacijos metu bandinyje esantis kalcio hidroksidas virsta kalcio karbonatu. Kalcio karbonatas mažiau tirpsta vandenyje negu kalcio hidroksidas, todėl, susidarius kalcio karbonatui, sumažėja poringumas, padidėja kietumas ir nelaidumas vandeniui [15]. Šie sudėties ir struktūros pokyčiai pagerina cemento pagrindo medžiagų

ilgaamžiškumo savybes. Be to, kietinant CO₂ aplinkoje, sumažėja cementinių medžiagų porų vandens šarmingumas [13]. Cementu surištų medienos drožlių bandinių atveju sumažėjusio šarmingumo cementinė rišamoji terpė yra labiau suderinama su medienos dalelėmis.



8 pav. Pradinis bandinio standumas, atsižvelgiant į kietėjimo procesą ir medžio pluošto / cemento santykį [15]

1.4. Panaudojimas

Per pastarąjį dešimtmetį biokompozitų naudojimas buitiniame sektoriuje, statybinėse medžiagose, aviacijos ir kosmoso pramonėje, spausdintinėse plokštėse ir automobilių pramonėje gerokai išaugo, tačiau kituose sektoriuose iki šiol buvo taikomas ribotai. Nepaisant to, tinkamai plėtojant, biokompozitai gali patekti į naujas rinkas ir taip skatinti paklausos augimą. Biokompozitinių medžiagų panaudojimas statybos, automobilių ir daugelyje kitų pramonės šakų įgauna pagreitį. Griežtėjant aplinkos apsaugos reikalavimams vis dažniau atsigręžiama į biokompozitinių medžiagų panaudojimą kaip alternatyvą taršesnėms medžiagoms, kurios taip pat puikiai, kaip pastarosios, atlieka savo funkciją ir padeda tilpti į vis mažėjančius ekologiškumo rėmus, kurie padeda atskirti taršią medžiagą nuo ne taršios. Biokompozito naudojimas labiausiai pasiteisina ten, kur reikia medžiagos, pasižyminčios vidutiniu stiprumu, lyginant su taršesnių medžiagų variantais, mažesne kaina ir aplinkai draugiškomis savybėmis [22].

Presuoto biokompozito panaudojimo spektras yra platus. Iš biokompozitinės medžiagos automobilių pramonėje yra gaminamas automobilių durelių vidų užpildantis sluoksnis, kuris pasitarnauja kaip garso ir šilumos izoliacija. Vokietijoje pagrindiniai automobilių gamintojai, tokie kaip „Mercedes“, „Volkswagen“, „Audi“ ir „Ford“, naudoja natūralaus pluošto kompozitus įvairioms interjero ir eksterjero reikmėms [23].



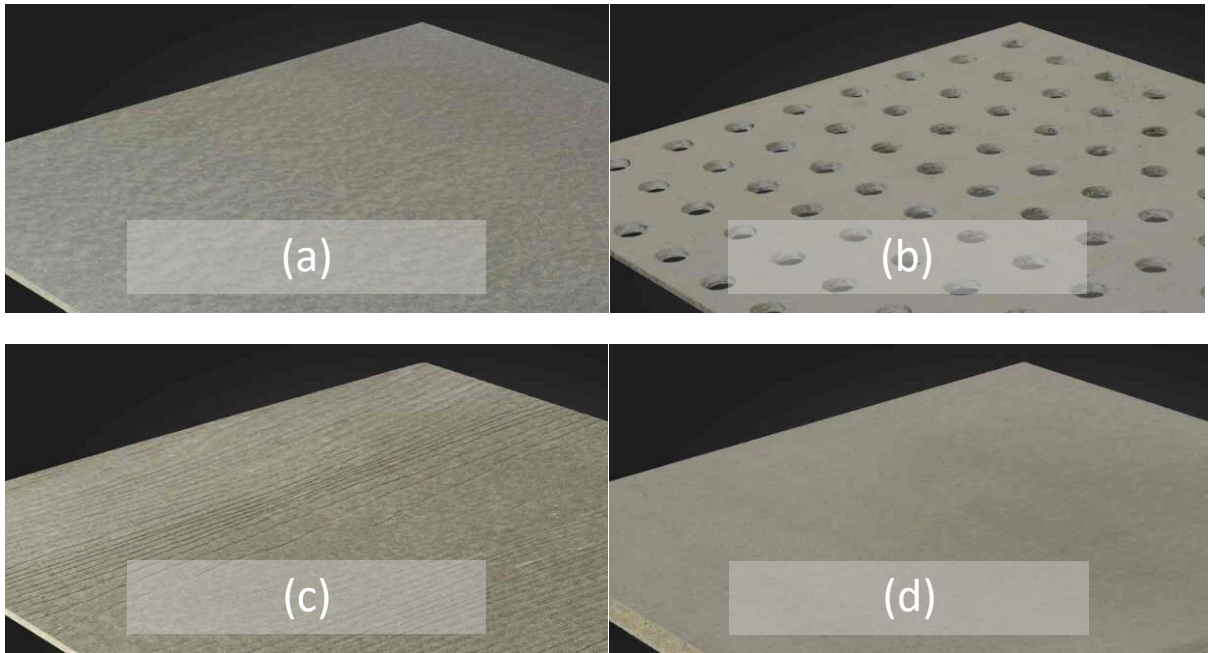
9 pav. Moderni vidinė durų apdailos plokštė, suformuota naudojant 60 % natūralaus pluošto kilimėlius ir „Baypreg“ poliuretano dervą [23]

Statybos sektoriuje iš biokompozito gaminamos akustinės sienų ir lubų plokštės. Lengvai formuojama medžiaga leidžia išgauti geriausiai garsą absorbuojančias plokštes. Poringa medžiaga ir specialiai suformuotas paviršius sugeria garso bangas ir neleidžia joms atsispindėti. Plokščių sluoksniai buvo termiškai suformuoti, sukuriant reikiamą hermetizuoto oro ertmę, kuri būtina bangoms sugerti slopinant ir išsklaidant akustinę energiją į kinetinę energiją, sukuriančią rezonansą. Plokštės šerdyje esantis absorbuojantis sluoksnis, pagamintas iš 65 % kanapių, 25 % kenafu ir kitų medžiagų, stipriai pagerino pasiektą garso absorbcijos klasę [24].



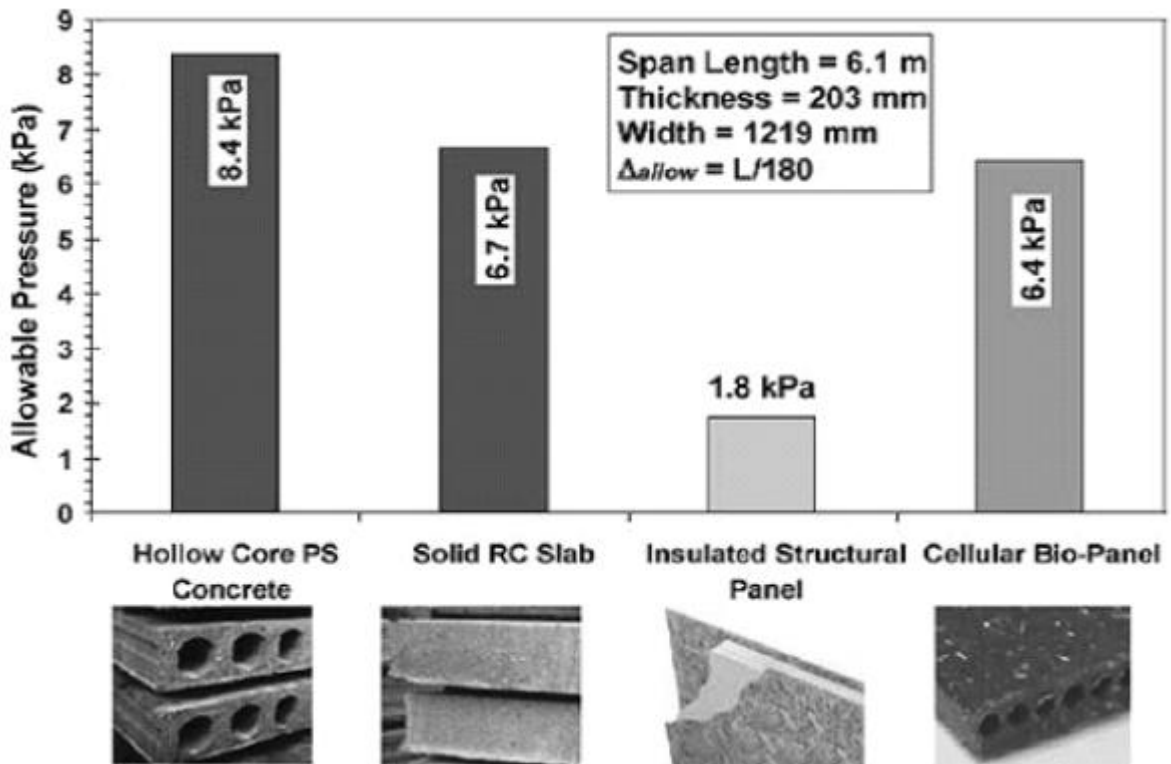
10 pav. Akustinės presuoto biokompozito plokštės [24]

Pasirinkus cementą kaip rišamąją medžiagą ir medžio drožles kaip užpildą, pagaminamos lengvesnės nei įprastos cemento plokštės, o jų atsparumas oro sąlygoms, šalčiui bei pelėsiui – didesnis nei gipso kartono ar OSB plokščių. Šių plokščių panaudojimo sritis yra plati, jas galima naudoti ten, kur reikia tvirtos konstrukcijos bei atsparumo drėgmei, šalčiui, pelėsiui, vabzdžiams, ugniai [25].



11 pav. Gamintojo „Cetris“ plokštės: (a) glotnaus, pilkos spalvos paviršiaus; (b) su išgręžtomis angomis; (c) reljefinio paviršiaus; (d) su įlaidais ir grioviais [21]

Iš biokompozito, kuomet naudojami stiprūs ir ilgi kanapių ar linų pluoštai kartu su stiklo pluošto armavimo sistema kaip pakaitalas plieniniam armavimui, gali būti gaminamos ir perdangos plokštės. Tokiose plokštėse natūralus pluoštas turi būti tinkamai apdirbtas ir sudaryti apie 3-4 % plokštės masės ir ne daugiau kaip 40 % viso armavimo svorio [26]. Šios plokštės bandymų metu pasirodė geriau nei OSB plokštės, tačiau nedaug nusileido monolitinei gelžbetoninei perdangos plokštei.



12 pav. Biokompozitinių plokščių eksploatacinės savybės, palyginti su įprastinėmis plokščių ir plokščių sistemomis, skirtomis komercinei ir gyvenamajai statybai [27]

Populiarus biokompozitinis gaminy, sukurtas iš augalinės kilmės užpildų, dažniausiai pluoštinių kanapių kilmės, kartu naudojant įvairius hidraulinius rišiklius, tokius kaip cementas ar kalkės [28], yra žinomas kaip kanapių betonas. Akyta kanapių drožlių struktūra užtikrina gebėjimą atlaikyti dideles deformacijas prieš suirimą, suteikia gerą garso absorbciją, yra pralaidi drėgmei ir veikia kaip termoizoliacinė medžiaga [29]. Kanapių betonas, pagamintas su cementu arba kalkėmis, užtikrina daug geresnes vandens pralaidumo ir šilumos izoliacines savybes nei įprastinis betonas, priklausomai nuo komponentų proporcijos gaminyje ir šios medžiagos paskirties sienos, grindų ar stogo detalėse [30].



13 pav. Kanapių betono blokeliai [31]

Kanapių betonas yra netoksiškas [43], o vienas iš pagrindinių jo panaudojimo būdų – sieninė medžiaga. Kanapių betono sienos gali būti liejamos vietoje, kaip yra paplitę, arba surenkamos iš blokelių, kuriuos galima surinkti vietoje naudojant įprastą mūrą. Kanapių betono sienų negalima palikti be apsaugos, nes jos nėra visiškai atsparios lietaus ir kitiems išorės poveikiams [44].



14 pav. Surenkami kanapių betono blokai, naudojami kaip laikančios mūro konstrukcijos izoliacinis sluoksnis [44]

Su kanapių betonu lengviau dirbti nei su tradiciniais kalkių ir cementų mišiniais. Jis nėra trapus kaip betonas, todėl nėra nereikia deformacinių siūlių, idealiai tinka daugumai klimato sąlygų. Šios

medžiagos gaminiai ar pati masė gali būti naudojama išorinių ir vidinių sienų izoliacijai, stogo ir grindų izoliacijai, tinkavimui, naujų namų statybai ir senų namų renovacijai [32].



15 pav. Kanapių betono panaudojimas namo sienų statybai [32]

2. Naudotos medžiagos, įranga ir bandinių gamyba

2.1. Naudotos medžiagos

Presuoto biokompozito bandiniams gaminti buvo naudotos įvairių rūšių rišamosios medžiagos. Pirmieji bandiniai pagaminti naudojant portlandcementį CEM I 42,5 R, tai yra grynas portlandcementis su rišamąja medžiaga (95 % klinkeriu ir natūraliu gipsu) ir iki 5 % antrinių priedų. Iš šios rūšies cemento pagamintas betonas pasižymi dideliu pradiniu ir galutiniu stiprumu bei greitai didėjančiu pradiniu stiprumu [33]. Iš šio cemento pagamintų betoninių gaminių gniuždomasis stipris po 28 dienų, kaip nusako ir jo klasė, turėtų būti didesnis nei 42,5 MPa. Portlandcementį sudaro keturi pagrindiniai junginiai: trikalčio silikatas ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), dikalcio silikatas ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), trikalčio aluminatas ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) ir tetrakalcio aluminioferitas ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$). Taip pat yra nedideli kiekiai nesujungtų kalkių ir magnio oksido (MgO), šarmų ir nedideli kiekiai kitų elementų [34].

Kiti bandiniai buvo gaminami naudojant gesintas kalkes $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ir negesintas kalkes CaO . Negesintos kalkės yra gaunamos kalcio oksidui CaO reaguojant su vandeniu H_2O , tuomet susidaro nauja cheminė medžiaga – kalcio hidroksidas $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Gaminant bandinius su negesintų kalkių rišikliu, į sudėtį papildomai buvo įpilta kalcio chlorido CaCl_2 tirpalo.

Tyrimo metu buvo išbandytas ir skysto stiklo rišiklis, kurio cheminė formulė yra Na_2SiO_3 . Rišiklis buvo naudojamas gaminti bandiniams su sausu ir vandenyje įmirkusiu pluoštu, papildomai į kai kuriuos bandinius įmaišant skiediklio – acetono.

Bandinių kietinimui slėginiame inde ir vamzdyje buvo naudotas sausas ledas, kuris yra kietasis anglies dioksido pavidalas.

Bandinių užpildams pasirinkti kanapių spaliai. Šis užpildas yra išgaunamas iš kanapių stiebo vidinės šerdies pluoštų. Savo savybėmis ir išvaizda kanapių spaliai primena medienos drožles [35]. Kanapių spaliai sudaro didžiausią dalį kanapių stiebo masės, net 60-80 % stiebo yra sumedėjusi šerdies dalis stiebo viduje ir tik 20-40 % stiebo sudaro kanapių pluoštas. Sudėties procentų svyravimai priklauso nuo konkrečios kanapių rūšies [36]. Kanapių spaliai yra sudaryti iš 48 % celiuliozės, 21-25 % hemiceliuliozės ir 17-19 % lignino [37].



16 pav. Tyrimams naudoti kanapių spaliai

Keli bandiniai buvo pagaminti naudojant kanapių spalių ir pjuvenų užpildo mišinį. Pjuvenos ir kanapių spaliai buvo maišomi vienodu santykiu. Pjuvenos buvo naudojamos siekiant užpildyti bandiniuose esamas tuštumas.



17 pav. Pjuvenos

Dolomito atsijos ir smulkintas smėlis buvo naudotos su vandenyje išmirkytais kanapių spaliais. Pasirinkta dolomito frakcija 0-5 mm. Naudotas dolomitas padėjo sugerti perteklinę drėgmę dėl išmirkusių spalių ir pagerino bandinio granulimetrinę sudėtį, užpildant tuštumas smulkiomis dalelėmis. Dolomitas yra magnio rūda, kurios bendroji formulė yra $MgCO_3CaCO_3$. Dolomito cheminė sudėtis skiriasi priklausomai nuo karjero, tačiau paprastai jame yra 30 % masės CaO, 21 % masės MgO ir 45 % masės CO_2 . Dolomite taip pat yra mikroelementų SiO_2 , Fe_2O_3 ir Al_2O_3 [38]. Smulkintas smėlis, kurio didžioji dalis sudaryta iš silicio dioksido SiO_2 , buvo naudojamas 0-0,25 mm frakcijos. Smulkintas smėlis pasirinktas tuštumų užpildymui.



18 pav. Dolomito atsijos 0-5 mm frakcijos



19 pav. Smulkintas smėlis 0-0,25 mm frakcijos

2.2. Naudota įranga

Presuoto biokompozito gaminių masė buvo maišoma naudojantis „Automix 65-L0006A“ 3 litrų skiedinio maišykle.



20 pav. 3 litrų skiedinio maišyklė „Automix 65-L0006A“

Bandinių formavimas ir presavimas atliktas giratoriaus pagalba. Pneumatinio veikimo principo giratorius „Controls“, sutankina bandinio masę vertikaliuos apkrovos pagalba, presavimo metu bandiniui besisukant. Bandinio masė yra įdedama į cilindro formos metalinį indą, kurį sudaro cilindro formos korpusas, nuimamos dugno ir viršaus plokštelės.



21 pav. Giratorius „Controls“ ir giratoriaus presavimo indas

Karbonizacijai CO₂ dujose vykdyti buvo naudojami trys metodai: karbonizacija CO₂ kameroje, slėgio inde ir vamzdyje su viena uždengta puse. Karbonizacijos kameroje yra galimybė nustatyti norimą aplinkos drėgnumą ir anglies dioksido dujų kiekį. Viskas yra nuolatos stebima ir rodoma informatiniame lange ant sandarių kameros durų.



22 pav. CO₂ klimatinė kamera

Slėginio indo viršuje yra slėgio ir temperatūros matuoklis, vienas atsarginis vožtuvas, kuris automatiškai atsidaro slėgiui pasiekus maksimalią ribą ir vienas rankiniu būdu valdoms slėgio išleidimo vožtuvas, skirtas reguliuoti inde esantį slėgį. Indo viduje yra kaitinimo elementas, kurio pagalba galima sukelti slėgį arba temperatūrą. Slėginio indo dangtis tvirtai prisukamas veržlės su sparneliais pagalba, užtikrinant indo sandarumą. Karbonizacija vamzdyje buvo vykdoma 100 mm skersmens vamzdyje, kad būtų gautas sandarumas tarp vamzdžio ir bandinio, kurio skersmuo taip pat buvo apie 100 mm. Karbonizacijos metu vienas vamzdžio galas yra uždengiamas, taip užtikrinant, kad CO₂ dujos prasiskverbtų pro bandinį.



23 pav. Slėginis indas

Bandinių mechaninės savybės nustatomos bandymo mašina „Toni Technik“. Įrenginys skirtas betoniniams, cementiniams ir gipsiniams bandiniams lenkti iki 10 kN galios ir gniuždyti iki 600 kN galios, tamprumo moduliui ir deformacijoms nustatyti. Rezultatai, nustatomi bandymo metu, registruojami prie bandymo įrenginio prijungtame kompiuteryje, tuo pačiu metu yra nubraižoma deformacijų ir įtempimų priklausomybės kreivė.



24 pav. Bandymo mašina „Tony Technik“

2.3. Bandinių sudėtys ir gamyba

2.3.1. Kanapių spalių ruošimas

Kanapių spalių ruošimui buvo pasirinkti du apdorojimo procesai. Pirmuoju atveju sausi spaliai buvo mirkomi vandenyje kambario temperatūroje, antruoju atveju užpildas buvo mirkytas gesintų kalkių tirpale.



25 pav. Kanapių spalių pluošto apdorojimas mirkant vandenyje (kairėje) ir gesintų kalkių tirpale (dešinėje)

Praėjus savaitei po kanapių spalių užmerkimo vandenyje, prasidėjo pluošto puvimo procesas, o gesintų kalkių tirpale, puvimo procesas neprasidėjo net praėjus dviem mėnesiams po užmerkimo

pradžios. Gesintų kalkių šarminis tirpalas, kurio pH lygis yra 12,38, stabdo puvinimo procesą ir yra tinkamesnis pluošto apdorojimui.

2.3.2. Bandinių su cementiniu rišikliu masės ruošimas ir formavimas

Presuoto biokompozito bandiniai su cementine rišamąja medžiaga buvo gaminami su neapdorotais sausais kanapių spaliais ir vandenyje bei gesintų kalkių tirpale išmirkytais kanapių spaliais. Didelis vandens kiekis buvo reikalingas maišant sausus kanapių spalius dėl prasto mišinio maišymosi, kuris pasireiškė sausiems kanapių spaliams sugėrus didžiąją dalį vandens.


Keli bandiniai buvo formuojami į mišinį įdedant dolomito atsijų, taip pagerinant granulimetrinę sudėtį ir sugeriant perteklinio vandens kiekį, kuris išsiskyrė naudojant vandenyje ir gesintų kalkių tirpale mirkytus kanapių spalius.






Bandinių masė sudėta į cilindro formos indą ir supresuota giratoriaus pagalba. Dauguma bandinių džiovinti natūraliai kambario temperatūroje, kiti bandiniai kietinti CO₂ kameroje, slėgio inde ir vamzdyje.

1 lentelė. Presuoto biokompozito bandinių su cementiniu rišikliu sudėtis, 1 m³

Sudėties Nr.	Cemento kiekis, kg	Kanapių spalių kiekis, kg	Vandens kiekis spaliuose, kg	Bendras vandens kiekis, kg	Dolomito atsijos (0-5), kg	Vandens / rišiklio santykis
1	166,7	166,7	0,0	841,5	0,0	5,05
2	371,5	325,2	226,8	360,5	1130,9	0,97
3	376,0	335,5	234,0	334,7	805,1	0,89
4	234,8	776,6	633,8	633,8	0,0	2,70
5	192,8	636,6	443,9	443,9	0,0	2,30
6	412,6	368,0	256,7	360,3	883,2	0,87

2 lentelė. Gauti presuoti biokompozitiniai bandiniai su cementiniu rišikliu

Sudėties Nr.	Bandinys	Kanapių spalių apdirbimas prieš bandinių formavimą
1		Sausi neapdoroti



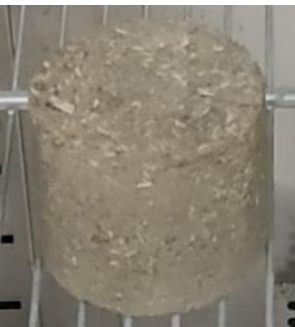
Sudėties Nr.	Bandinys	Kanapių spalių apdirbimas prieš bandinių formavimą
2		Išmirkę vandenyje
3		Išmirkę vandenyje
4		Stipriai išmirkę vandenyje
5		Išmirkę gesintų kalkių tirpale
6		Išmirkę gesintų kalkių tirpale

Siekiant sumažinti presuoto biokompozito bandinių poringumą, į sudėtį be kanapių spalių pluošto papildomai buvo įmaišyta pjuvenų arba smulkinto smėlio. Kanapių spaliai ir pjuvenos šių bandinių sudėtyje buvo išmirkyti gesintų kalkių tirpale. Mišinio sudėtis parinkta pagal geriausius rezultatus gniuždomojo stiprumo bandyme parodžiusių sudėties Nr. 3. Šie bandiniai buvo pagaminti ir ištirti paskutiniai, todėl numeravimas nėra nuoseklus.

3 lentelė. Presuoto biokompozito bandinių su cementiniu rišikliu sudėtis, 1 m³

Sudėties Nr.	Cemento kiekis, kg	Kanapių spalių kiekis, kg	Pjuvenų kiekis, kg	Malto smėlio kiekis (0-0,25), kg	Vandens kiekis pjuvenose / spaliuose, kg	Bendras vandens kiekis, kg	Dolomito atsijos (0-5), kg	Vandens / rišiklio santykis
17	420,8	375,7	0,0	901,6	262,0	374,7	0,0	0,89
18	395,3	176,5	176,5	847,1	246,2	352,1	0,0	0,89
19	417,2	186,2	186,2	0,0	259,8	371,5	893,9	0,89

4 lentelė. Pakoreguotų sudėčių gauti presuoti biokompozitiniai bandiniai su cementiniu rišikliu

Sudėties Nr.	Bandinys	Kanapių spalių / pjuvenų apdirbimas prieš bandinių formavimą
17		Gesintų kalkių tirpale mirkyti kanapių spaliai
18		Gesintų kalkių tirpale mirkyti kanapių spaliai ir pjuvenos
19		Gesintų kalkių tirpale mirkyti kanapių spaliai ir pjuvenos

2.3.3. Bandinių su gesintų kalkių rišikliu masės ruošimas ir formavimas

Presuoto biokompozito bandiniai su gesintų kalkių, dar kitaip žinomų kaip kalcio hidroksidas, rišamąja medžiaga buvo gaminami su vandenyje bei gesintų kalkių tirpale išmirkytais kanapių spaliais. Buvo atsisakyta sausų neapdorotų kanapių spalių naudojimo dėl prastų rezultatų jau bandinio formavimo fazėje naudojant cementinį rišiklį. Rišimosi procesas prasidėjo greičiau nei cementinių bandinių atveju, todėl formavimas turėjo būti atliekamas kuo greičiau. Vienas iš staigaus negesintų kalkių rišimosi proceso bruožų buvo iš karto pastebima vykstanti egzoterminė reakcija, įpylus vandens į mišinį.

Keli bandiniai buvo formuojami į mišinį įdedant dolomito atsijų, taip pagerinant granulimetrinę sudėtį ir sugeriant perteklinio vandens kiekį, kuris išsiskyrė naudojant vandenyje ir gesintų kalkių tirpale mirkytus kanapių spalius.





Bandinių masė sudėta į cilindro formos indą ir supresuota giratoriaus pagalba. Dauguma bandinių kietinti natūraliai kambario temperatūroje, kiti bandiniai kietinti CO₂ kameroje, slėgio inde ir vamzdyje.

5 lentelė. Presuoto biokompozito bandinių su gesintų kalkių rišikliu sudėtis, 1 m³

Sudėties Nr.	Gesintų kalkių kiekis, kg	Kanapių spalių kiekis, kg	Vandens kiekis spaliuose, kg	Bendras vandens kiekis, kg	Dolomito atsijos (0-5), kg	Vandens / rišiklio santykis
7	425,4	379,5	309,7	499,4	910,7	1,17
8	201,6	666,7	464,9	464,9	0,0	2,31
9	397,9	354,8	247,5	395,3	851,6	0,99
10	196,7	649,2	452,8	452,8	0,0	2,30
11	384,9	343,3	239,4	382,5	823,8	0,99

6 lentelė. Presuoti biokompozitiniai bandiniai su gesintų kalkių rišikliu

Sudėties Nr.	Bandinys	Kanapių spalių apdirbimas prieš bandinių formavimą
7		Stipriai išmirkę vandenyje

Sudėties Nr.	Bandinys	Kanapių spalių apdirbimas prieš bandinių formavimą
8		Išmirkę vandenyje
9		Išmirkę vandenyje
10		Išmirkę gesintų kalkių tirpale
11		Išmirkę gesintų kalkių tirpale

2.3.4. Bandinių su skysto stiklo rišiklio masės ruošimas ir formavimas

Presuoto biokompozito bandiniai su skysto stiklo, dar žinomo kaip natrio silikatas, rišamąja medžiaga buvo gaminami su neapdorotais sausais ir vandenyje išmirkytais kanapių spaliais.

Naudojant stipriai įmirkusius kanapių spalius, bandinio masė buvo maišoma įpylus skystą stiklą, tik po pirmo maišymo buvo įpilamas acetonas, viską dar kartą išmaišant. Tokia seka pasirenkama norint išvengti staigaus skysto stiklo sukietėjimo, kuomet šis rišiklis reaguoja su acetonu.

Sausų neapdorotų kanapių spalių bandinio masė buvo maišoma įpylus tik skystą stiklą, acetonas įpiltas išmaišius sausus spalius ir skystą stiklą, tuomet mišinys buvo dar kartą išmaišytas, maišymo pabaigoje papildomai įpilant vandens.



Du bandiniai buvo formuojami į mišinį papildomai įpilant acetono. Natrio silikatas pasižymi įdomia savybe - jis suyra, kai yra apdorojamas organiniais tirpikliais, tokiais kaip etanolis ir acetonas. Dėl to susidaro elastingas gumą primenantis gelis – silikagelis [45].


Bandinių masė sudėta į cilindro formos indą ir supresuota giratoriaus pagalba. Visi bandiniai buvo kietinti natūraliai kambario temperatūroje, karbonizacijos procesas naudojant šį rišiklį nevyksta. Kietinant bandinius su stipriai išmirkusiais kanapių spaliais pastebėtas labai lėtas džiūvimo procesas (dėl įmirkusių pluoštų) ir nestabili bandinio cilindro forma, pasireiškianti dėl silpnai tarpusavyje susirišusio pluošto.

7 lentelė. Presuoto biokompozito bandinių su skysto stiklo rišikliu sudėtis, 1 m³

Sudėties Nr.	Skysto stiklo kiekis, kg	Kanapių spalių kiekis, kg	Vandens kiekis spaliuose, kg	Bendras vandens kiekis, kg	Acetono kiekis, kg	Vandens / rišiklio santykis
12	34,9	720,4	587,9	587,9	2,9	16,87
13	34,5	712,2	581,2	581,2	0,0	16,87
14	100,1	118,0	0,0	45,7	7,8	0,46

8 lentelė. Presuoti biokompozitiniai bandiniai su skysto stiklo rišikliu

Sudėties Nr.	Bandinys	Kanapių spalių apdirbimas prieš bandinių formavimą
12		Stipriai išmirkę vandenyje
13		Stipriai išmirkę vandenyje

Sudėties Nr.	Bandinys	Kanapių spalių apdirbimas prieš bandinių formavimą
14		Sausi neapdoroti

2.3.5. Bandinių su negesintų kalkių rišikliu ir kalcio chlorido tirpalu masės ruošimas ir formavimas

Presuoto biokompozito bandiniai su negesintų kalkių, dar žinomų kaip kalcio oksidas, rišamąja medžiaga ir kalcio chlorido tirpalu buvo gaminami su neapdorotais sausais ir gesintų kalkių tirpale išmirkytais kanapių spaliais.

Naudojant gesintų kalkių tirpale išmirkusius kanapių spalius, bandinio masė buvo maišoma į indą sudėjus kanapių spalius ir negesintas kalkes bei iš karto įpilant 150 g kalcio chlorido tirpalo, kuris sudarytas iš 58,5 g kalcio chlorido miltelių ir 91,5 g vandens. Papildomai vandens pilti nereikėjo, nes gesintų kalkių tirpale išmirkyti spaliai buvo pakankamai drėgni formuojamam mišiniui sudaryti. Bandinio masė turėjo būti greitai įdėta į formavimo indą ir suformuota, nes iš karto po kalkių ir tirpalo įpylimo prasidėjo negesintų kalkių rišimasis, vyko egzotermine reakcija.



Sausų neapdorotų kanapių spalių bandinio masė buvo maišoma į indą sudėjus sausus spalius ir negesintas kalkes, tuomet mišinys buvo dar kartą išmaišytas, maišymo pabaigoje įpilant 150 g kalcio chlorido tirpalo ir vandens.

Bandinių masė sudėta į cilindro formos indą ir supresuota giratoriaus pagalba. Visi bandiniai buvo kietinti natūraliai kambario temperatūroje.

9 lentelė. Presuoto biokompozito bandinių su negesintų kalkių rišikliu ir kalcio chlorido tirpalu sudėtis, 1 m³

Sudėties Nr.	Negesintų kalkių kiekis, kg	Kanapių spalių kiekis, kg	Vandens kiekis spaliuose, kg	Bendras vandens kiekis, kg	Kalcio chlorido tirpalo kiekis, kg	Vandens / rišiklio santykis
15	148,1	148,1	0,0	152,6	148,1	1,03
16	205,2	678,2	473,0	598,2	205,2	2,91

10 lentelė. Presuoti biokompozitiniai bandiniai su negesintų kalkių rišikliu ir kalcio chlorido tirpalu

Sudėties Nr.	Bandinys	Kanapių spalių apdirbimas prieš bandinių formavimą
15		Sausi neapdoroti
16		Išmirkę gesintų kalkių tirpale

3. Tyrimų metodologija

3.1. Kanapių spalių vandens absorbcijos nustatymas

Pagaminus pirmąjį bandinį su sausais kanapių spaliais buvo nuspręsta šį užpildą kitiems bandiniams naudoti apdorotą. Užpildas buvo apdorojamas mirkant jį vandenyje ir gesintų kalkių tirpale kambario temperatūroje nuo dviejų iki trijų savaičių ir nuo dviejų iki trijų mėnesių. Kanapių spalių vandens įgertis buvo nustatoma pasveriant 100 g įmirkyto pluošto ir džiovinant tol, kol pluoštas visiškai išdžiūsta. Išdžiūvę kanapių spaliai yra pasveriami ir nustatomas jų vandens absorbcijos kiekis. Užpildo vandens įgerties kiekis skaičiuojamas pagal 3.1 formulę.

$$W = \frac{W_w - W_d}{W_w} \cdot 100 \% . \quad (3.1)$$

čia:

W – užpildo vandens įgerties kiekis, g;

W_w – įmirkusio pluošto masė prieš džiovinimą, g;

W_d – įmirkusio pluošto masė po džiovinimo, g.

3.2. Bandinių kietinimo metodai

Pagaminti bandiniai buvo kietinami dviem būdais – natūraliai ir CO₂ dujose. Bandinių kietinimas natūraliai buvo vykdomas kambario temperatūroje, išvengiant tiesioginių saulės spindulių. Bandinių kietinimas anglies dioksido dujose atliekamas naudojant CO₂ kamerą, slėginį indą ir vamzdį su vienu uždengtu galu.

Kietinimas CO₂ kameroje vykdomas nustatant reikalingus aplinkos oro parametrus, kurie yra nuolatos stebimi, fiksuojami ir koreguojami. CO₂ kameroje buvo palaikoma 11 °C temperatūra, anglies dioksido kiekis kameroje siekė 19 %, santykinis drėgnumas buvo apie 69 %. Pirmi bandiniai kameroje buvo išlaikyti 24 valandas.



26 pav. Aplinkos sąlygos CO₂ kameroje

Kietinant presuotą biokompozitą slėginiame inde ir vamzdyje buvo naudojamas sausas ledas, kuris yra kietasis anglies dioksido pavidalas, kurio temperatūra siekia $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$. Slėginiame inde karbonizacija vykdoma $0,1\text{ MPa}$ slėgyje apie 1 valandą. Karbonizacija vamzdyje vykdoma 24 valandas, bandinį įdedant į 100 mm skersmens vamzdį, ant bandinio viršaus uždėdant dujoms pralaidų sluoksnį, kuris apsaugotų nuo tiesioginio kontakto su sausu ledu. Įbėrus sauso ledo, vienas vamzdžio galas yra uždengiamas, taip užtikrinant CO_2 dujų pratekėjimą pro bandinį ir jo paviršių.

3.3. Bandinių tankio nustatymas

Bandinių tankis nustatomas tik pilnai sukietėjusiems bandiniams. Bandiniai yra pasveriami ant tikslių sukalibruotų svarstyklių, kurių paklaida yra $0,1\text{ g}$. Cilindro tūriui nustatyti, bandinio aukštis ir skersmuo yra matuojamas naudojant elektroninį slankmatį, kurio paklaida yra $0,01\text{ mm}$. Turint visus reikalingus duomenis, presuoto biokompozito bandinio tankis yra nustatomas pagal 3.2 formulę.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{\pi \cdot r^2 \cdot h}. \quad (3.2)$$

čia:

ρ – tankis, kg/m^3 ;

m – cilindrinio bandinio masė, kg ;

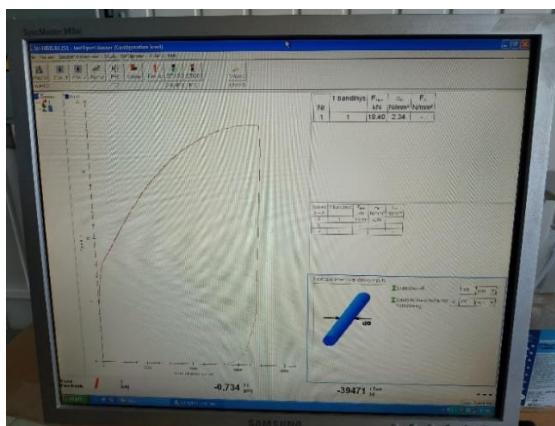
V – cilindrinio bandinio tūris, m^3 ;

r – cilindrinio bandinio spindulys, m ;

h – cilindrinio bandinio aukštis, m .

3.4. Bandinių gniuždomojo stiprio nustatymas

Presuoto biokompozito bandinių gniuždomasis stipris nustatomas bandymo mašina „Tony Technik“. Bandymui naudojami apie 100 mm skersmens cilindrai. Daugumos bandinių aukštis buvo apie 100 mm . Konstrukcinėms medžiagoms tinkami bandiniai buvo išbandyti didele bandymo mašina, o termoizoliacinėms medžiagoms tinkami bandiniai išbandyti mažos mašinos pagalba, kurios didžiausia apkrovimo jėga yra 10 kN . Bandymo metu rezultatai yra fiksuojami kompiuterio pagalba, iš karto nubraižoma įtempimų ir deformacijų kreivė, kuri padeda įvertinti bandinio charakteristikas vykstant bandymui.



27 pav. Įtempimų-deformacijų kreivė, sudaryta bandymo metu

Presuoto biokompozito gniuždomojo stiprio bandymai nėra aprašyti standartais, todėl naudojami betono bandiniams skirti standartai ISO 1920-4:2020 ir LST EN 679:2005. Bandinių apkrovimas vykdomas pagal ISO 1920-4:2020 ir buvo lygus $0,1 \pm 0,05$ MPa per sekundę greičiu, apkrovimas stabdomas bandiniui suirus. Gniuždomasis stipris nustatomas pagal LST EN 679:2005 standartą ir yra apskaičiuojamas taip:

$$f_c = \frac{F}{A_c}. \quad (3.3)$$

čia:

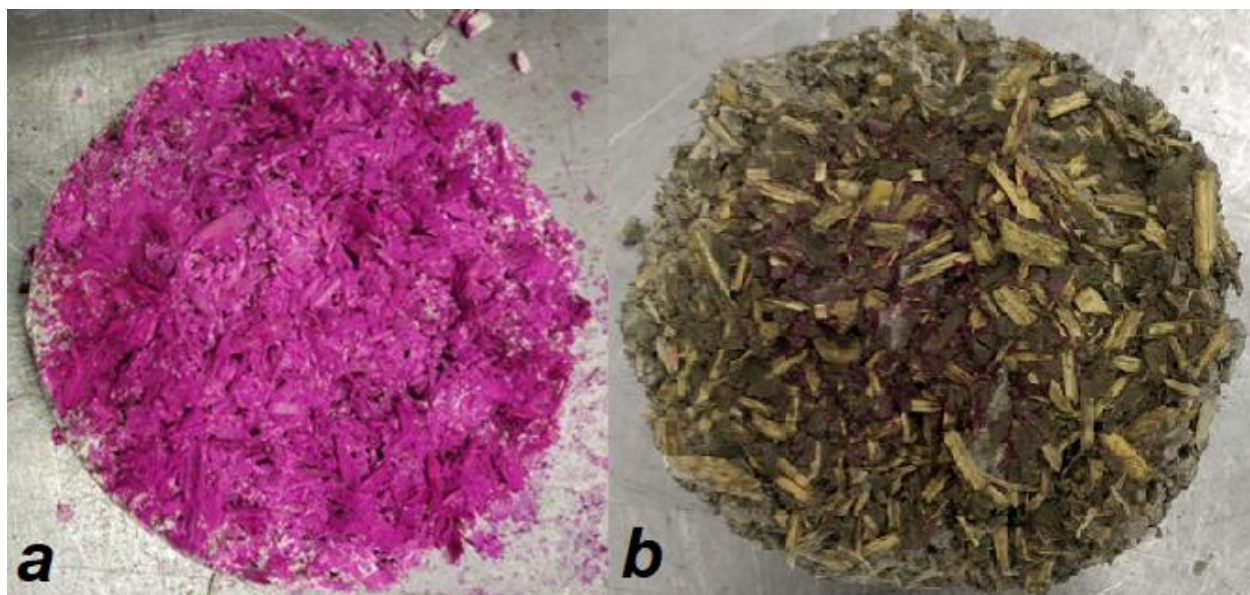
f_c – gniuždomasis stipris, MPa;

F – didžiausia apkrova, N;

A_c – apkrautas skerspjūvio plotas, mm^2 .

3.5. Bandinių karbonizacijos gylio nustatymas

Karbonizacijos gylis bandiniuose nustatomas juos perskėlus ir ant bandinio paviršiaus užpurškiant fenolftaleino tirpalo, kuris veikia kaip indikatorius. Cementinių ir kalkinių bandinių pH natūraliai yra aukštas dėl kalcio hidroksido, kuris susidaro portlandcemenčiui arba kalkėms reaguojant su vandeniu. Bandiniui kietėjant ir reaguojant su atmosferoje arba karbonizacijos kameroje esančiu anglies dioksidu, pH sumažėja iki 8,5-9. Užpylus 1 % fenolftaleino tirpalo ant nekarbonizuotos vietos, ji tampa ryškiai rožinė, tačiau jei ji išlieka bespalvė, tai rodo, kad bandinys karbonizavosi. Pirmiausia karbonizuoja bandinio išorinis paviršius, paskui šis procesas pasireiškia vis gilesniuose bandinio sluoksniuose. Karbonizacijos gylis nustatomas išmatavus atstumą nuo bandinio išorinio krašto iki ryškiai rožine spalva nusidažiusios srities.



28 pav. Fenolftaleino tirpalo užpurškimas ant karbonizacijos beveik nepaveikto (a) ir pilnai karbonizuoto bandinio paviršiaus

3.6. Bandinių CO₂ įsisavinimo karbonizuojant skaičiavimas

Karbonizuojant bandinius jų sudėtyje esantis kalcio hidroksidas Ca(OH)₂ tampa kalcio karbonatu CaCO₃, kurio molinė masė yra didesnė, todėl bandinio masė utilizuojant anglies dioksido dujas didėja. Šis prieaugis gali būti apskaičiuojamas palyginus bandinio masę prieš ir po karbonizavimo proceso. Įsisavintas CO₂ kiekis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$C = \frac{M_2 - M_1}{M_c} \cdot 100 \%. \quad (3.4)$$

čia:

M_1 – bandinio masė prieš karbonizaciją, g;

M_2 – bandinio masė po karbonizacijos, g;

M_c – rišiklio masė, g.

Gautas rezultatas parodo, kiek procentų CO₂ dujų įsisavino bandinys, lyginant su bandinio mišinyje esančio rišiklio kiekiu.

3.7. Bandinių šilumos laidumo koeficiento nustatymas

Bandinių, tinkamų naudoti kaip termoizoliacinė medžiaga, šilumos laidumo koeficientas gali būti nustatytas bandinių tankio pagalba. Žinant presuoto biokompozito medžiagos tankį, jos šiluminės savybės gali būti prilyginamos tokio pačio tankio medienai, nes termoizoliacinėms medžiagoms tinkantys mišiniai buvo pasirinkti tokios sudėties, kurioje kaip užpildas yra tik apdoroti ir neapdoroti kanapių spalvai. Mediena savo sudėtimi yra panaši į kanapių spalvius, kuriuose dominuoja celiuliozė, hemiceliuliozė ir ligninas.

4. Eksperimentų rezultatai ir jų analizė

4.1. Kanapių spalių vandens absorbcija

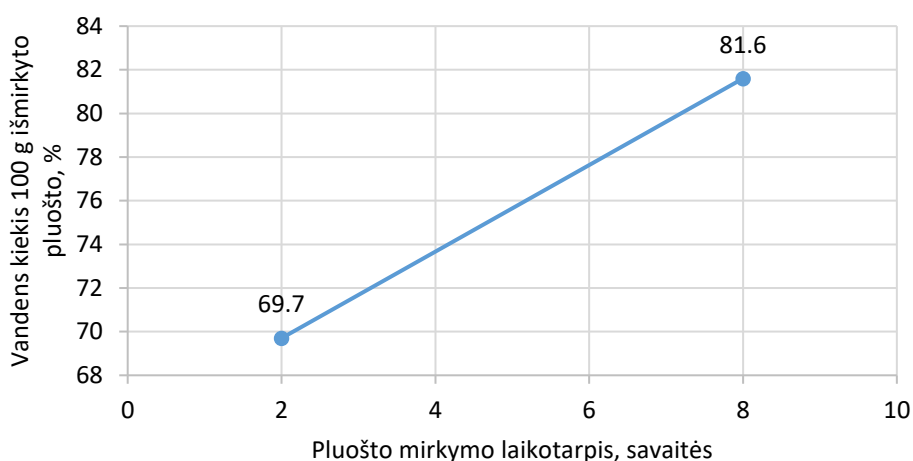
Kanapių spalių vandens įgertis buvo nustatoma pasveriant 100 g įmirkyto pluošto ir džiovinant tol, kol pluoštas visiškai išdžiūsta. Išdžiūvę kanapių spalviai yra pasveriami ir nustatomas jų vandens absorbcijos kiekis. Dvi savaites mirkytas 100 g masės užpildas po išdžiūvimo svėrė 30,3 g, o du mėnesius vandenyje arba gesintų kalkių tirpale laikytas 100 g masės užpildas po išdžiūvimo svėrė 18,4 g.

Dvi savaites mirkytų kanapių spalių vandens įgertis:

$$W = \frac{W_w - W_d}{W_w} \cdot 100 \% = \frac{100 - 30,3}{100} \cdot 100 \% = 69,7 \%$$

Du mėnesius mirkytų kanapių spalių vandens įgertis:

$$W = \frac{W_w - W_d}{W_w} \cdot 100 \% = \frac{100 - 18,4}{100} \cdot 100 \% = 81,6 \%$$



29 pav. Vandens kiekis % nuo 100 g išmirkyto pluošto, priklausomai nuo mirkymo laikotarpio

Per dvi savaites kanapių spalių mirkymo vandenyje, vandens įgertis buvo apie 230 % užpildo masės, o mirkant pluoštą aštuonias savaites, vandens įgertis pasikeitė iki 443 % užpildo masės, t. y. daugiau nei 4 kartus įgeria vandens nuo sausos masės. Didelė vandens įgertis kanapių spaliuose pasireiškė tuo, kad kai kurie bandiniai buvo gaminami nepilant į mišinį papildomai vandens, o likusieji bandiniai ganėtinai ilgai džiūvo ir buvo pernelyg drėgni, tačiau vandenyje išmirkytas pluoštas buvo žymiai lengviau apdirbamas bandinių gamybai ir pagerino bandinių mechanines ir fizikines savybes, tokias kaip tankis ir gniuždomasis stiprumas.

4.2. Presuoto biokompozito bandinių tankis

Bandinių tankis yra įvertinamas 28 paras kietintiems mėginiam. Bandinių tankis buvo nustatytas natūraliai ir CO₂ prisotintoje aplinkoje kietintiems presuoto biokompozito cilindrams. Svarbu pabrėžti, kad iš vienos sudėties, kai kuriais atvejais, buvo suformuoti keli ar daugiau cilindrinų bandinių, skyrėsi ir šių, iš vieno mišinio sudarytų, bandinių kietinimo metodai bei formos matmenys. Karbonizuoti bandiniai po karbonizacijos palikti natūraliai sukietėti, kad pasiektų 28 parų stiprumą.

11 lentelė. Presuoto biokompozito bandinių tankis, kg/m³

Sudėties Nr.	Bandinio Nr.	Kietinimo metodas	Ø, mm	h, mm	Svoris, g	Tankis, kg/m ³
1	1	Natūralus	103,0	108,0	240,7	267,5
2	2	Natūralus	100,0	92,0	1139,3	1576,7
	3	Natūralus	100,0	98,5	1226,2	1585,0
3	4	Natūralus	100,0	99,5	1266,7	1620,9
	5	Natūralus	100,0	90,3	1179,8	1663,5
4	6	Natūralus	102,0	114,0	407,2	437,1
	7	Natūralus	103,0	126,5	447,2	424,3
	8	CO ₂ slėgio inde 0,1 MPa	102,0	111,0	454,3	500,9
	9	CO ₂ vamzdyje	102,0	115,0	406,3	432,4
5	10	Natūralus	100,2	102,6	309,2	382,2
6	11	Natūralus	100,2	91,8	1048,2	1448,0
7	12	Natūralus	99,5	90,5	1076,4	1529,6
	13	CO ₂ kameroje	99,0	114,0	1352,7	1541,5
8	14	CO ₂ slėgio inde 0,1 MPa	101,5	133,2	463,8	430,3
	15	CO ₂ kameroje	101,5	135,2	459,1	419,6
	16	CO ₂ kameroje	101,3	136,3	451,4	410,9
	17	CO ₂ vamzdyje	101,4	142,5	452,9	393,6
	18	Natūralus	102,3	141,0	438,3	378,2
9	19	CO ₂ kameroje	99,8	108,4	1193,4	1407,4
	20	CO ₂ slėgio inde 0,1 MPa	99,9	108,2	1177,2	1388,0
	21	CO ₂ kameroje	99,7	106,1	1198,6	1447,1
	22	CO ₂ vamzdyje	99,9	109,4	1189,9	1387,6
10	23	Natūralus	100,4	100,2	293,3	369,7
11	24	Natūralus	99,7	99,4	1015,2	1308,2
12	25	Natūralus	102,4	125,4	170,4	165,0
13	26	Natūralus	102,1	127,6	170,4	163,1
14	27	Natūralus	107,0	128,9	190	163,9
15	28	Natūralus	102,7	122,3	319,8	315,7
16	29	Natūralus	100,3	92,5	379,1	518,7
17	30	CO ₂ kameroje	99,6	85,4	1051,8	1581,4
	31	Natūralus	99,7	85,2	1012,6	1520,9
18	32	CO ₂ kameroje	100,0	82,6	892,9	1375,5
	33	Natūralus	100,0	97,7	1133,1	1476,5

Sudėties Nr.	Bandinio Nr.	Kietinimo metodas	Ø, mm	h, mm	Svoris, g	Tankis, kg/m ³
19	34	CO ₂ kameroje	100,0	84,4	1019,1	1537,1
	35	Natūralus	100,0	86,5	1041,5	1533,0

Pastaba: CO₂ dujų kameroje arba CO₂ dujų vamzdyje bandiniai buvo kietinami 24 valandas, o CO₂ slėgio inde tik 1 valandą.

Didžiausi cilindrinio bandinio skersmens nuokrypiai buvo pastebėti matuojant presuoto biokompozito bandinius su sausų neapdorotų kanapių spalių užpildu, plėtimasis pasireiškė dėl sauso pluošto vandens įgerties. Mažiausi formos pakitimai nuo formavimo pradžios iki kietėjimo pabaigos pastebėti dolomito atsijų ir malto smėlio užpildo turinčiuose bandiniuose. Šiuose bandiniuose perteklinę drėgmę sugėrė dolomito atsijos ar maltas smėlis, o vandenyje ar gesintų kalkių tirpale mirkytas kanapių spalių pluoštas daugiau vandens sugerti negalėjo, todėl papildomas plėtimasis nevyko.

Didžiausiu tankiu pasižymi bandiniai su dolomito atsijų, malto smėlio ir gesintų kalkių ar vandenyje išmirkytų kanapių spalių ir pjuvenų turinčiuose bandiniuose, mažiausias tankis nustatytas sauso neapdoroto pluošto bandinyje, kuriame nėra kieto užpildo.

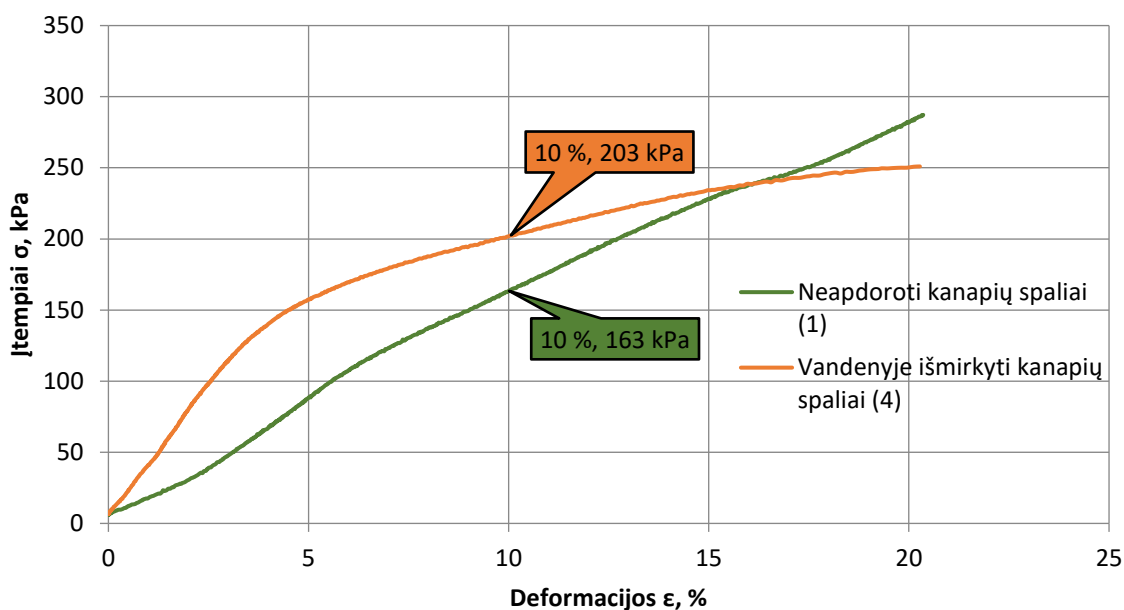
Bandiniai, kurių tankis svyruoja nuo 267,5 kg/m³ iki 500,9 kg/m³, gali būti naudojami kaip termoizoliacinės medžiagos, nes šie presuoto biokompozito medžiagos tankiai yra panašūs į įvairios rūšies medienos tankius. Bandinius, kurių tankis yra nuo 1308,2 kg/m³ iki 1663,5 kg/m³, galima naudoti kaip konstrukcines medžiagas, kurios gali perimti ir perduoti apkrovas, išvengiant plastinių (liekamųjų) deformacijų.

4.3. Presuoto biokompozito bandinių gniuždomasis stipris

Gniuždomasis stipris buvo nustatytas 28 paras kietintiems bandiniams. Išbandyti buvo natūraliai ir CO₂ dujose kietinti mėginiai. Kietinimas anglies dioksido dujose buvo atliekamas ilgiausiai vieną parą, tačiau bendras kietėjimo laikotarpis buvo 28 paras, po karbonizacijos papildomai kietinant natūraliai kambario temperatūroje. Termoizoliacinių medžiagų gniuždymo rezultatai gauti naudojantis jautriu mažo galingumo gniuždymo presu, kurio maksimali apkrova yra 10 kN, konstrukcinėms medžiagoms ištirti naudotas didelio galingumo gniuždymo presas.

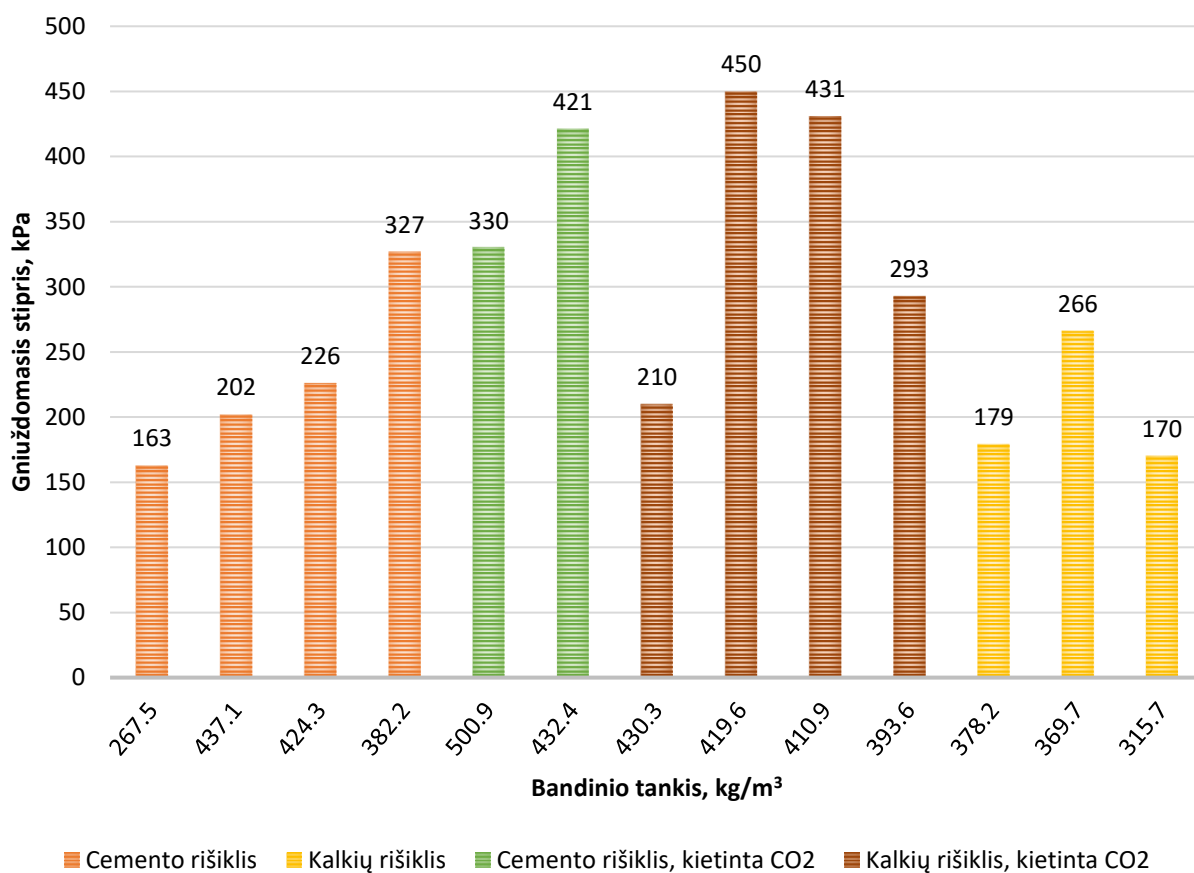
Didelę įtaką bandinių gniuždomojo stiprio savybėms turėjo kanapių užpildo apdorėjimas. Vandenyje arba negesintų kalkių tirpale mirkytus bandinius buvo lengviau maišyti, jie geriau sukibdavo ir formuodavo mišinį. Atliekant laboratorinius bandymus, geresni rezultatai buvo bandinių su apdorotu užpildu, t. y. išmirkytu.

Visuose darbe pateikiamose įtempių ir deformacijų kreivių grafikuose ir kitose diagramose, skaičius skliausteliuose nuorodų pavadinimuose ar kitose vietose reiškia sudėties numerį.



30 pav. Bandinių su kanapių spaliais ir cemento rišikliu įtempių ir deformacijų kreivės, priklausomai nuo kanapių spalių paruošimo būdo

Panašios sudėties presuotų biokompozito bandinių, tinkamų šilumos izoliacijai, su apdorotais kanapių spaliais gniuždymo stipris esant 10 % santykinėi deformacijai buvo didesnis nei bandinių su sausu neapdorotu užpildu ir siekė 203 kPa, vietoje 163 kPa su neapdorotu sausu užpildu.



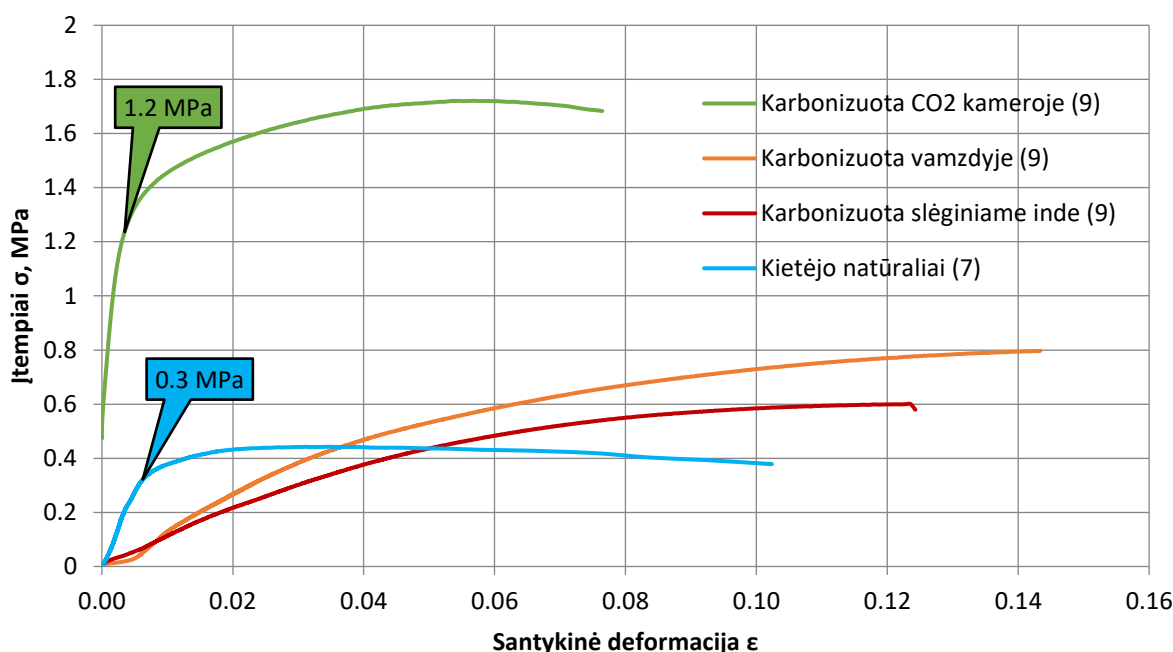
31 pav. Kieto užpildo (dolomito, smėlio) neturinčių bandinių gniuždomasis stipris prie 10 % santykinės deformacijos

Bandiniai, pasižymintis didesniu tankiu turi didesnę atsparumą gniuždymui prie 10 % santykinės deformacijos. Anglies dioksido dujose karbonizuoti taip pat išsiskiria didesniu gniuždomuoju stipriu. Aukščiau esančioje diagramoje yra anomalijų, tokių didesnio tankio bandiniai su mažesniu gniuždomuoju stipriu. Tokie neatitikimai galėjo atsirasti dėl netinkamo bandinio sutankinimo, padarytų pažeidimų bandinio struktūrai, išimant jį iš giratoriaus formavimo indo.

Didžiausias gniuždomasis stipris pagal 31 paveikslą diagramą, kuris siekia 450 kPa ties 10 % santykinė deformacija, priklauso kalkių rišiklio bandiniui, kuris buvo karbonizuotas CO₂ dujose ir kurio tankis 419,6 kg/m³ buvo vienas didžiausių iš kalkių rišiklio turinčių bandinių. Mažiausias gniuždomasis stipris, 163 kPa ties 10 % santykinė deformacija, buvo nustatytas cemento rišiklio nekarbonizuotam bandiniui, kurio tankis 267,5 kg/m³ buvo pats mažiausias iš visų bandinių, galima pridėti ir tai, jog šio bandinio kanapių spaliai buvo naudoti sausi neapdoroti.

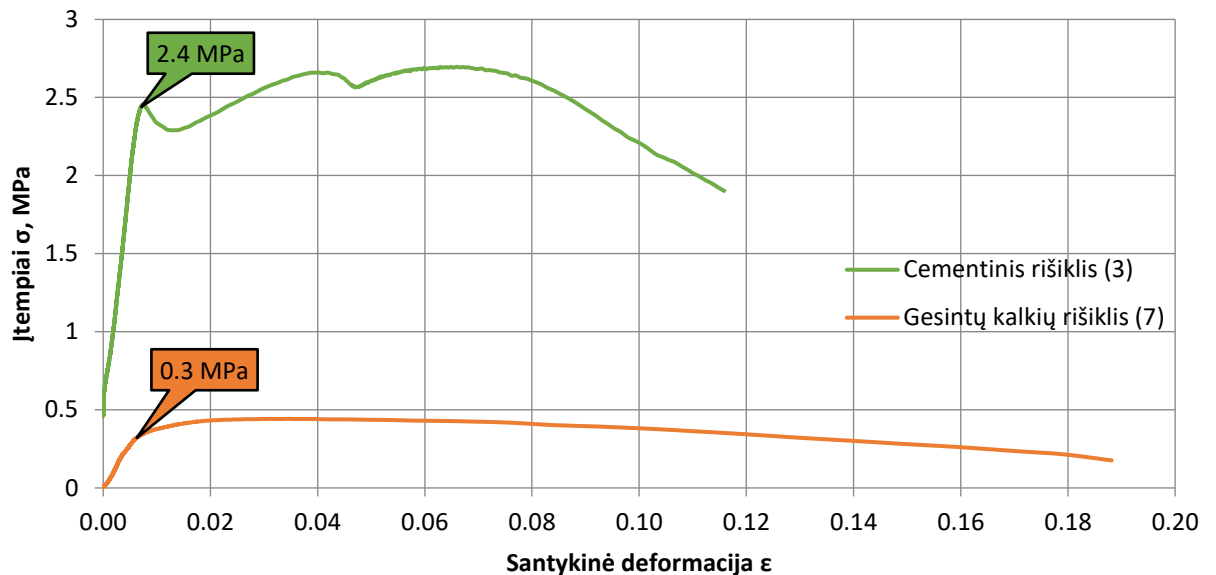
Konstruicinei medžiagai tinkami bandiniai, gaminami iš dolomito atsijų arba malto smėlio ir apdoroto kanapių užpildo, naudojant cemento ir kalkių rišamąsias medžiagas, buvo bandomi iki visiško suirimo, priešingai nei termoizoliacinės paskirties mėginiai.

Bandinių kietinimas CO₂ prisotintoje aplinkoje turėjo didelę įtaką bandinių mechaninėms savybėms (žr. 32 pav.).



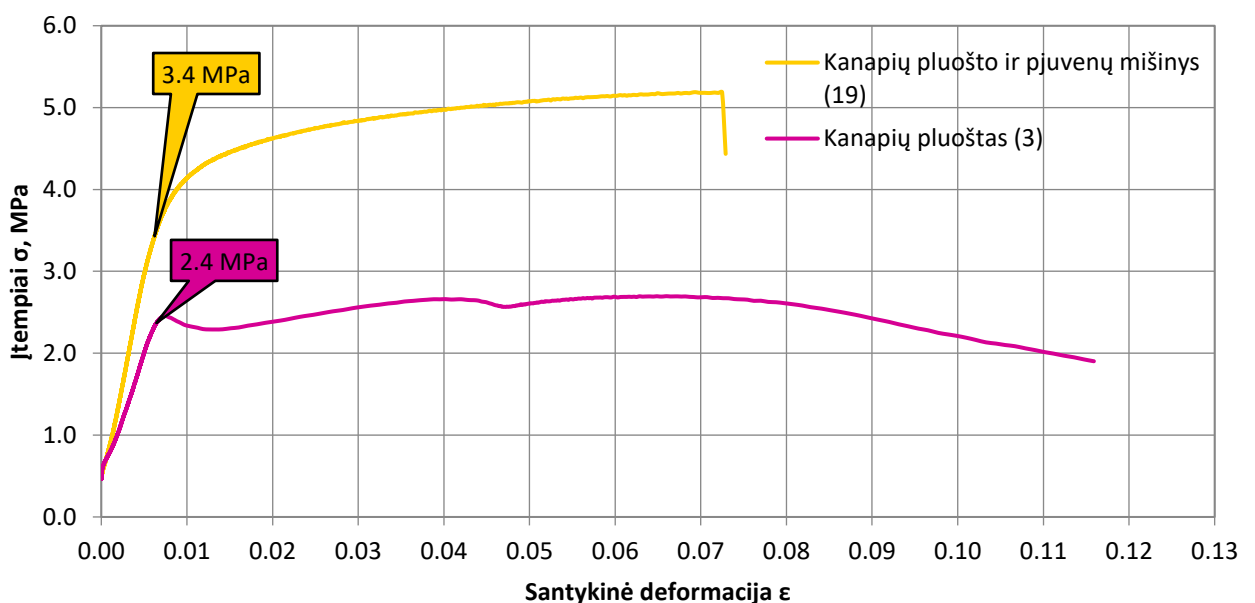
32 pav. Bandinių su apdorotais kanapių spaliais, dolomito atsijomis ir hidraulinių kalkių rišamąja medžiaga įtempių ir deformacijų kreivės priklausomai nuo karbonizacijos būdo

Geriausius rezultatus gauti kai bandiniai buvo kietinami 19 % CO₂ prisotintoje kameroje, o didžiausias gniuždomasis stipris buvo 1,72 MPa. Iki plastinių deformacijų ribos, mėginio didžiausias gniuždomasis stipris buvo 1,2 MPa. Ilgesnis kietinimas vamzdyje be slėgio davė geresnius rezultatus nei 1 valandos bandinių kietinimas slėginiame inde. Vamzdyje kietinto bandinio gniuždomasis stipris buvo 0,8 MPa, o slėginiame inde – 0,6 MPa. Prasčiausi rezultatai gauti su natūraliai kietėjusiu bandiniu, kurio didžiausias gniuždomasis stipris buvo 0,3 MPa. Bandinių, karbonizuotų vamzdyje ir slėginiame inde, gniuždomojo stiprio iki tamprumo ribos pabaigos nurodyti neįmanoma, nes mėginiai dirba kaip tampriai plastiški kūnai.



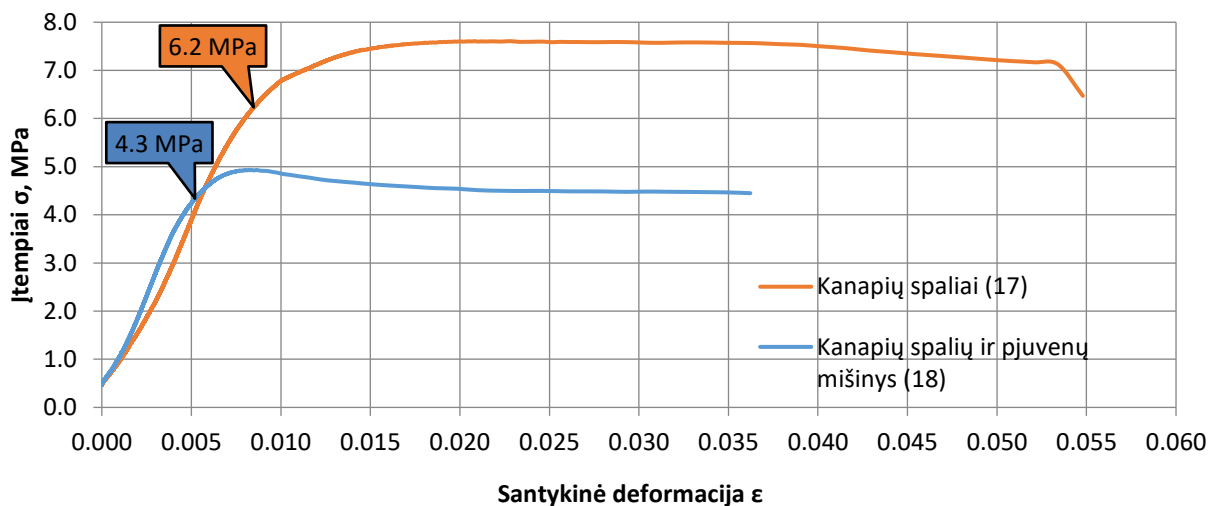
33 pav. Nekarbonizuotų bandinių su apdorotais kanapių spaliais ir dolomito atsijomis įtempių ir deformacijų kreivės

Cilindrinis bandinys su cemento rišamąja medžiaga pasirodė esąs daugiau kaip 8 kartus stipresnis, palyginti su hidraulinių kalkių rišamąja medžiaga. Cemento rišiklio bandinio maksimalus ribinis gniuždymo stipris buvo 2,65 MPa, o hidraulinių kalkių bandinio ribinis gniuždymo stipris – 0,3 MPa. Iki plastinių deformacijų ribos cementinio rišiklio mėginio gniuždomasis stipris buvo 2,4 MPa. Analizuojant cementinio rišiklio bandinio kreivę pastebėta, kad apkrovimo pradžioje mėginys dirbo kaip tampri medžiaga, o tai yra svarbu, nes dauguma konstrukcinių elementų projektuojami darbui tamprus (grįžtamojo) deformavimo srityje, tariant, kad konstrukcinės medžiagos deformuojasi pagal proporcingumo – Huko dėsnį. Viršijus tamprumo ribą bandinys pasižymėjo plastiškomis savybėmis ir turėjo takumo sritį, o tai reiškia, kad medžiaga nėra trapi ir staigus šios medžiagos suirimas būtų neįprastas. Toliau tęsiant apkrovimą pasiekta stiprumo riba, santykinė deformacija pradėjo didėti, nedidinat apkrovos ir bandinys suiro.



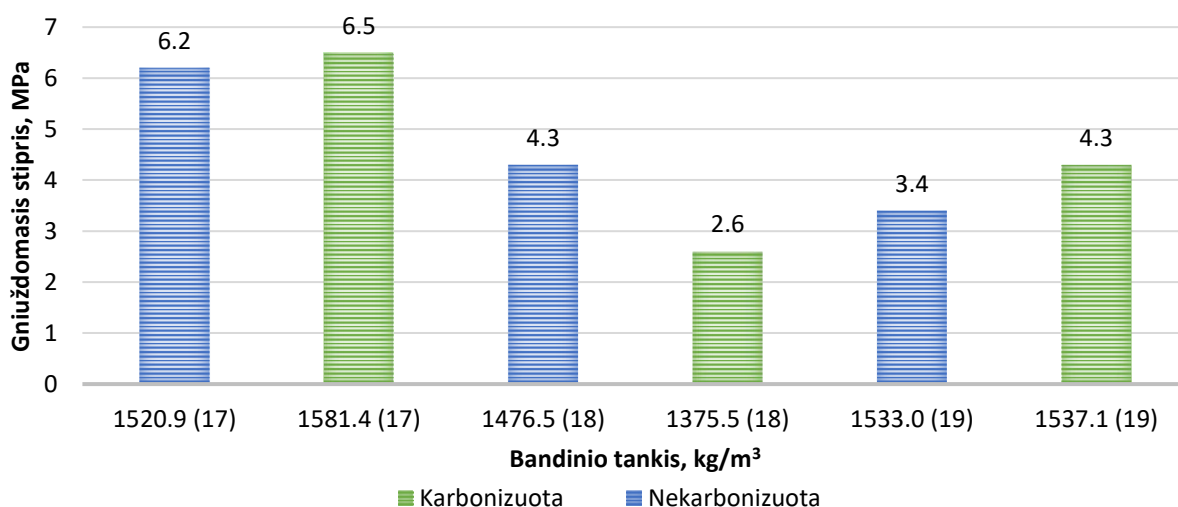
34 pav. Cemento rišiklio nekarbonizuotų bandinių su dolomito atsijomis įtempių ir deformacijų kreivės

Bandinio gamybai panaudojus gesintų kalkių tirpale apdorotų kanapių spalių ir pjuvenų užpildo mišinį, gniuždomasis stipris gali būti padidintas net iki 3,4 MPa. Smulkesnis užpildas padeda geriau užpildyti bandinio struktūroje susidarančias tuštumas, kurios atsiranda dėl netvarkingo kanapių spalių išsidėstymo mišinyje. Užpilde panaudojus smulkias medienos pjuvenas, šios sumažina cilindro poringumą, padeda geriau susiformuoti ir susitankinti bandiniui.



35 pav. Cemento rišiklio nekarbonizuotų bandinių su malto smėlio užpildu įtempių ir deformacijų kreivės

Mišinio sudėtyje dolomito atsijas pakeitus maltu smėliu yra gaunama dar stipresnė medžiaga. Maltas smėlis yra kur kas smulkesnis, todėl geriau užpildo net mažiausias tuštumas, gaunama stipri, gerai susitankinusi medžiaga. Naudojant tik gesintų kalkių tirpale apdorotus kanapių spalius, neskaitant malto smėlio, kaip užpildą, gniuždomasis stipris iki tamprumo ribos pabaigos siekė net 6,2 MPa. Mažesnis gniuždomasis stipris nustatytas naudojant kanapių spalių ir pjuvenų mišinį, tokio bandinio stipris iki tamprumo ribos pabaigos buvo 4,3 MPa. Gniuždomasis stipris kanapių spalių ir pjuvenų užpildo mišinyje sumažėjo nes kanapių spalių pailga struktūra veikia kaip armuojanti medžiaga, todėl smulkaus organinio užpildo, gaminant bandinius su maltu smėliu, galima atsisakyti, nes maltas smėlis pakankamai gerai užpildo tuštumas. Smulkus užpildas, sudarytas iš kanapių spalių ir pjuvenų mišinio pasiteisina naudojant stambų kietą užpildą, tokį kaip dolomito atsijos.

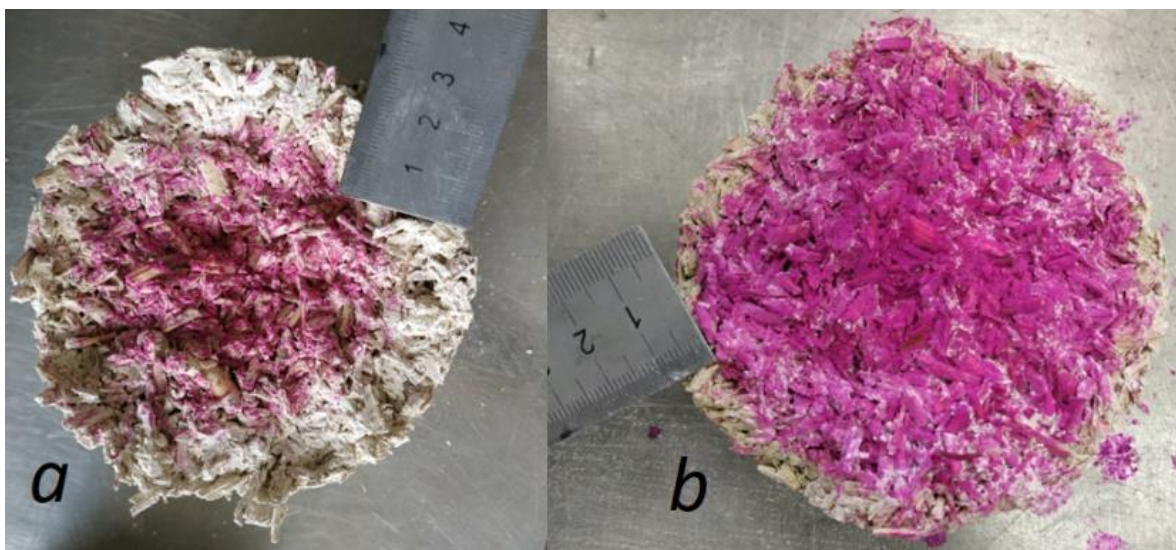


36 pav. Cemento rišiklio bandinių gniuždomasis stipris

Didesnį tankį turintys bandiniai atitinkamai pasižymėjo didesniu gniuždomuoju stipriu. Didesnį tankį turėjo CO₂ kameroje kietinti bandiniai, išskyrus vieną bandinį, kurio duomenis galima interpretuoti kaip anomaliją, kuri galėjo atsirasti dėl netinkamo sutankinimo, kuomet formavimo metu susiskersavęs giratoriaus formos dangtelis sutrukdė atlikti tinkamą bandinio sutankinimą. Dangtelis susiskersuoti ir užstrigti galėjo dėl smulkaus smėlio užpildo, kuris patekęs tarp cilindro sienelių ir dangtelio paviršiaus, negalėjo tinkamai judėti tankinimo metu.

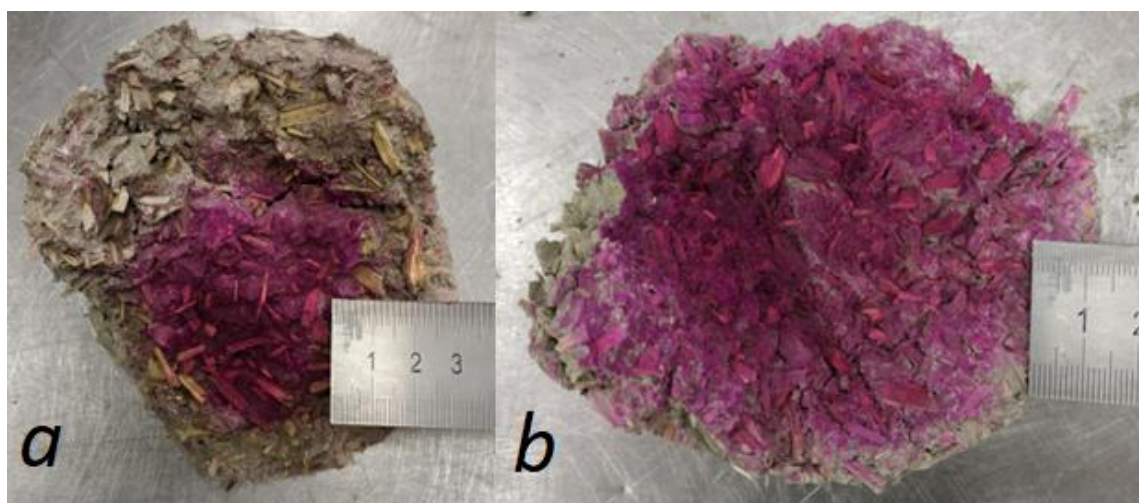
4.4. Presuoto biokompozito bandinių karbonizacijos gylis

Geriausi rezultatai karbonizuojant CO₂ kameroje pasiekti ne tik gniuždomojo stiprio bandyme, bet ir matuojant bandinių karbonizacijos gylį.



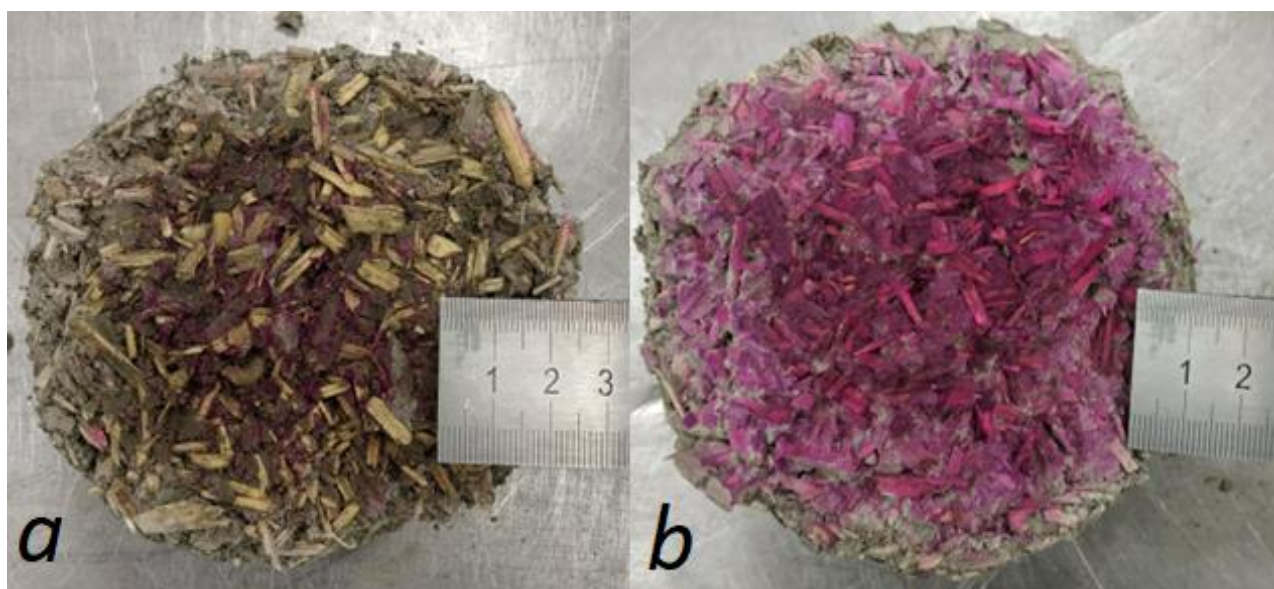
37 pav. Karbonizacijos gylis kalkių rišiklio bandiniuose (sudėties Nr. 8) kietinant CO₂ kameroje (a) ir natūraliai (b)

Natūraliai kietinamo bandinio su kalkių rišikliu karbonizacijos gylis buvo apie 8 mm, o kietinamo CO₂ kameroje vieną parą, karbonizacijos gylis jau siekė apie 16 mm. Bendras kietinimo laikotarpis buvo 28 paros, tačiau anglies dioksido kameroje išlaikius bandinį vieną parą, karbonizacija buvo dvigubai gilesnė.



38 pav. Karbonizacijos gylis cemento rišiklio bandiniuose (sudėties Nr. 17) kietinant CO₂ kameroje (a) ir natūraliai (b)

Cemento rišiklio bandinių, su malto smėlio ir gesintų kalkių tirpale mirkytų kanapių spalių užpildu, didesnis karbonizavimo gylis buvo išmatuotas kietinant CO₂ kameroje. Natūraliai kietinamo bandinio karbonizacija bandymo metu po 28 parų kietinimo buvo beveik neprasidėjusi, karbonizacijos gylis siekė vos 4 mm, kai bandinio, kietinamo CO₂ kameroje, karbonizacijos gylis išmatuotas apie 20 mm.



39 pav. Karbonizacijos gylis cemento rišiklio bandiniuose (sudėties Nr. 19) kietinant CO₂ kameroje (a) ir natūraliai (b)

Karbonizavimo rezultatai sutampa ir cemento rišiklio bandinių, su dolomito atsijų ir gesintų kalkių tirpale mirkytų kanapių spalių ir pjuvenų užpildu. Didesniu poringumu, nei malto smėlio užpildo mėginys, pasižymintis bandinys CO₂ kameroje buvo pilnai karbonizuotas, kietinimas natūraliai prie karbonizacijos proceso prisidėjo nedaug, karbonizacijos gylis siekė 6 mm.

4.5. Bandinių CO₂ įsisavinimas karbonizuojant

4.5.1. Cemento rišiklio bandiniai

Mėginių įsisavintas CO₂ kiekis nustatomas lyginant natūraliai kietinto ir klimatinėje kameroje karbonizuoto bandinio tankius. Bandinių karbonizavimas buvo vykdomas CO₂ kameroje 1 parą, prieš tai bandinius kelias dienas kietinant natūraliai, kad išgaruotų perteklinė drėgmė. Iš karbonizacijos kameros išimti bandiniai toliau buvo natūraliai kietinami, kol pasiekiamas 28 parų kietinimo laikotarpis. CO₂ klimatinėje kameroje anglies dioksido koncentracija siekė 19 %.

12 lentelė. Cemento rišiklio biokompozito bandinių įsisavintas CO₂ kiekis

Sudėties Nr.	Bandinio Nr.	CO ₂ kameroje kietinto bandinio tankis, kg/m ³	Natūraliai kietinto bandinio tankis, kg/m ³	Įsisavinto CO ₂ kiekis, kg/m ³	Įsisavinto CO ₂ procentinė dalis nuo rišiklio masės, %
17	30	1581,4	1530,4	51,0	11,9
18	32	1375,5	1338,1	37,4	9,9
19	34	1537,1	1490,5	46,6	11,2

Gauti rezultatai parodo, jog mažiausiai anglies dioksido įsisavino 18 numerio mišinio bandinys, kuris sudarytas iš gesintų kalkių tirpale apdorotų kanapių spalių ir pjuvenų bei malto smėlio užpildo, šis bandinys įsisavino 37,4 kg/m³ anglies dioksido, tai sudarė 9,9 % nuo sudėtyje esančio cemento kiekio.

Panašūs rezultatai gauti 17 ir 19 numerio mišinio bandiniuose. Malto smėlio sudėtyje turintis mėginys sunaudojo 51,0 kg/m³ CO₂, o dolomito atsijomis papildytas bandinys utilizavo 46,6 kg/m³ CO₂.

4.5.2. Kalkių rišiklio bandiniai

Kalkių rišiklio bandinių, kaip ir cemento, karbonizavimas buvo vykdomas CO₂ kameroje 1 parą, prieš tai bandinius kelias dienas kietinant natūraliai, kad išgaruotų perteklinė drėgmė. Iš karbonizacijos kameros išimti bandiniai toliau buvo natūraliai kietinami, kol pasiekiamas 28 parų kietinimo laikotarpis. CO₂ klimatinėje kameroje anglies dioksido koncentracija siekė 19 %.

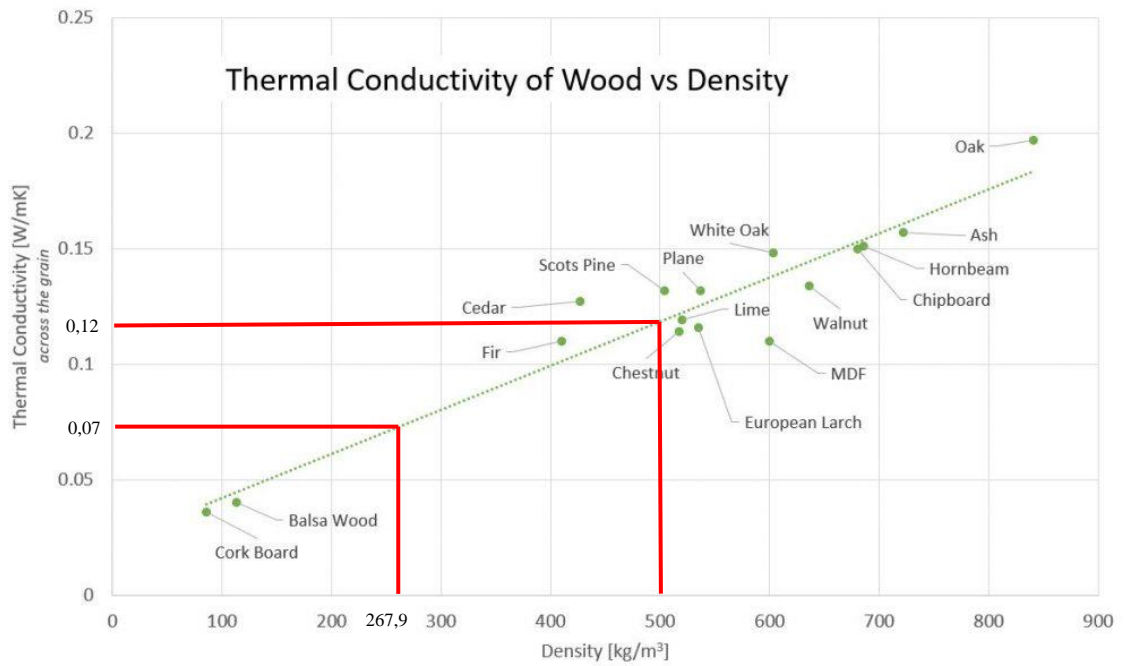
13 lentelė. Kalkių rišiklio bandinių įsisavintas CO₂ kiekis

Sudėties Nr.	Bandinio Nr.	CO ₂ kameroje kietinto bandinio tankis, kg/m ³	Natūraliai kietinto bandinio tankis, kg/m ³	Įsisavinto CO ₂ kiekis, kg/m ³	Įsisavinto CO ₂ procentinė dalis nuo rišiklio masės, %
7	13	1595,4	1541,5	54,0	12,5
8	15	434,9	419,6	15,2	7,1
	16	425,9	410,9	14,9	7,2
9	19	1458,4	1407,4	51,1	12,6
	21	1499,6	1447,1	52,5	12,6

Labai panašų kiekį anglies dioksido įsisavino kalkių rišiklio bandiniai su dolomito atsijų ir vandenyje įmirkusio kanapių pluošto užpildu, šis kiekis svyravo nuo 51,1 kg/m³ iki 54,0 kg/m³, procentinė dalis nuo rišiklio masės buvo apie 12,5 % ir 12,6 %. Mažiausiai CO₂ įsisavino tik vandenyje apdorotus kanapių spalius kaip užpildą turintis bandinys, utilizuoto anglies dioksido kiekis siekė 14,9 kg/m³ ir 15,2 kg/m³, procentinė dalis nuo rišiklio masės svyravo 7,1 % ir 7,2 % ribose. Palyginus su cemento rišiklio bandiniais, įsisavinto CO₂ kiekis kalkių rišiklio bandiniuose drastiškai nesiskiria. Šiek tiek didesnę kiekį anglies dioksido dujų utilizuoja kalkių rišiklio bandiniai, kurių sudėtyje yra daugiau kalcio hidroksido Ca(OH)₂, karbonizacijos proceso metu virstančio į kalcio karbonatą CaCO₃. Mažesnis kiekis anglies dioksido, 8 numerio sudėtyje, buvo įsisavintas dėl mažesnio kalkių rišiklio kiekio, naudoto gaminant mėginius ir didesnio vandens ir rišiklio santykio, kuris yra lygus 2,31.

4.6. Presuoto biokompozito bandinių šilumos laidumo koeficientas

Termoizoliacinės medžiagos paskirtį galintys atlikti bandiniai yra pasirinkti pagal savo sudėtį ir tankį. Tokių bandinių sudėtyje yra tik sausas neapdorotas arba apdorotas kanapių pluoštas ir cementinė arba kalkinė rišamoji medžiaga. Tankis svyruoja nuo 267,5 kg/m³ iki 500,9 kg/m³, tai yra kur kas mažiau nei dauguma medžio rūšių. Poringa mėginių struktūra puikiai tinka šilumos sulaikymui ir garso izoliacijai, o pasinaudojant tuo, kad mediena savo sudėtimi yra panaši į kanapių spalius, kuriuose dominuoja celiuliozė, hemiceliuliozė ir ligninas, presuoto biokompozito bandinių šilumos laidumo koeficientą galima nustatyti termoizoliacines tiriamų mėginių savybes prilyginus tokio pačio tankio medienos savybėms.



40 pav. Įvairių rūšių medienos šilumos koeficiento priklausomybė nuo tankio [46]

Išanalizavus medienos šilumos laidumo priklausomybės nuo tankio grafiką matyti, kad mažo tankio biokompozito bandiniai savo šilumos izoliacinėmis savybėmis pranoksta daugelio rūšių medienos savybes. Presuoto biokompozito šilumos laidumo koeficientas svyruoja nuo 0,07 W/mK iki 0,12 W/mK.

Išvados

1. Šiame darbe buvo pagaminti devyniolikos sudėčių biokompozitai su kanapių spaliais naudojant skirtingas rišamąsias medžiagas (cementą, gesintas kalkes, negesintas kalkes ir skystą stiklą). Pagrindinis organinis užpildas buvo sausas neapdorotas arba vandenyje ir gesintų kalkių tirpale išmirkytas kanapių pluoštas, o kai kurių bandinių sudėtyse dar buvo dedama dolomito atsijų ar malto smėlio. Geriausi rezultatai ir suderinamumas su kanapių spalio užpildu buvo gautas naudojant cementinį ir gesintų kalkių rišiklį. Naudojant šias rišamąsias medžiagas buvo suprojektuotos optimalios termoizoliacinės ir konstrukcinės biokompozito sudėtyse.
2. Tinkamai apdorojant kanapių pluoštą galima gerokai pagerinti biokompozito mechanines savybes, palengvinti bandinių sudėties gamybos, formavimo ir tankinimo procesus. Kanapių pluoštą mirkant vandenyje arba gesintų kalkių tirpale, gaunamas iki penkių kartų didesnio gniuždymo stiprio biokompozitas, nei naudojant sausą ir neapdorotą kanapių užpildą.
3. Supresavus apdorotą ir sumaišytą kanapių pluoštą su dolomito atsijomis arba maltu smėliu ir cementine rišamąja medžiaga, gaunamas termoizoliacinis-konstrukcinis gaminys, kurio gniuždymo stipris, neviršijus tamprumo ribos, priklausomai nuo sudėties svyruoja nuo 2,4 MPa iki 6,5 MPa, o tankis – 1308,2 kg/m³ ir 1663,5 kg/m³ ribose.
4. Biokompozitų sudėtyse atsisakius mineralinių užpildų (dolomito atsijų arba malto smėlio), galima pagaminti termoizoliacinę medžiagą, kurios šilumos laidumo koeficientas turėtų svyruoti nuo 0,07 iki 0,12 W/mK, priklausomai nuo tankio. Šių termoizoliacinių medžiagų nustatytas gniuždymo stipris ties 10 % santykinė deformacija gali siekti nuo 163 kPa iki 450 kPa, o tankis - nuo 267,5 kg/m³ iki 500,9 kg/m³.
5. Tyrimo metu pastebėta, kad karbonizacija CO₂ dujomis turi didelę įtaką biokompozitų gniuždymo stipriui, o kalkių rišiklį turintiems gaminiams gali jį padidinti iki 4 kartų. Karbonizacijos proceso įtaka gniuždymo stipriui ir karbonizacijos gyliui efektyviausia buvo CO₂ klimatinėje kameroje, lyginant su kietinimu CO₂ dujomis slėginiame inde ar vamzdyje. Didžiausią kiekį CO₂ dujų įsisavina kalkių rišiklio bandiniai, kur utilizuoto anglies dioksido kiekis 1 m³ biokompozito gali siekti iki 54,0 kg.
6. Dėl presuoto biokompozito medžiagos universalumo reikia vykdyti tolesnius mokslinius tyrimus siekiant išplėsti tokių gaminių panaudojimo galimybes. Priklausomai nuo paskirties, supresuoti biokompozitiniai gaminiai gali būti naudojami kaip statybinės konstrukcinės ir termoizoliacinės medžiagos mažaukščių namų statyboje. Lengvos biokompozitinės medžiagos gali būti naudojamos termoizoliaciniams blokeliams gaminti, kaip vidinis sienų užpildas ar nelaikančių sienų pagrindas, kuris pasižymi gera garso ir šilumos izoliacija. Statybinės medžiagos iš biokompozito ateityje gali pakeisti tokius produktus, kaip aktyto betono blokeliai, kurių gniuždymo stipris yra nuo 1,4 MPa iki 3,6 MPa, ar net keramzitiniai blokeliai, kurių gniuždymo stipris deklaruojamas tarp 3 MPa ir 5 MPa.

Literatūros sąrašas

1. *International Energy Agency: Cement technology roadmap plots path to cutting CO2 emissions 24% by 2050* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2022-03-19]. Prieiga per: <https://www.iea.org/news/cement-technology-roadmap-plots-path-to-cutting-co2-emissions-24-by-2050>
2. MOHANTY, A. K., M. MISRA ir L. T. DRZAL. Sustainable Bio-Composites from Renewable Resources: Opportunities and Challenges in the Green Materials World. *Journal of Polymers and the Environment* [interaktyvus]. 2002, **10**, 19-26 [žiūrėta 2022-03-19]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1023/A:1021013921916>
3. NELSON, T. France Wants All Public Buildings to Be Made of at Least 50% Wood by 2022. *Architectural Digest* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2022-03-20]. Prieiga per: <https://www.architecturaldigest.com/story/france-wants-all-public-buildings-to-be-made-of-at-least-50-wood-by-2022>
4. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *Pusę medžiagų visuomeninių pastatų statybai sudarys mediena ir kitos organinės medžiagos* [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2022-03-20]. Prieiga per: <https://am.lrv.lt/lt/naujienos/puse-medziagu-visuomeniniu-pastatu-statybai-sudarys-mediena-ir-kitos-organines-medziagos>
5. BAHRAMI, M., J. ABENOJAR ir M. G. M. CASANOVA. Recent Progress in Hybrid Biocomposites: Mechanical Properties, Water Absorption, and Flame Retardancy. *Materials* [interaktyvus]. 2020, **13**(22), 1-46 [žiūrėta 2022-03-20]. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/346261436_Recent_Progress_in_Hybrid_Biocomposites_Mechanical_Properties_Water_Absorption_and_Flame_Retardancy
6. BHAT, K. M. ir kt. Eco-Friendly and Biodegradable Green Composites. *Biocomposites* [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2022-03-20]. Prieiga per: <https://www.intechopen.com/online-first/78341>
7. ABIOLA, O. S. 8 - Natural fibre cement composites. *Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction* [interaktyvus]. 2017, 205-214 [žiūrėta 2022-05-24]. ISBN 9780081004111. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978008100411100008X>
8. SOROUSIAN, P., J. P. WON ir M. HASSAN. Durability and microstructure analysis of CO2-cured cement-bonded wood particleboard. *Cement and Concrete Composites* [interaktyvus]. 2013, **41**, 34-44 [žiūrėta 2022-05-02]. ISSN 0958-9465. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946513000796>
9. SETTER, C ir kt. Cement boards reinforced with wood sawdust: an option for sustainable construction. *SN Applied Sciences* [interaktyvus]. 2020, **2** [žiūrėta 2022-05-24]. Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-020-03454-y>
10. CASTRO, V. G. de ir kt. Alternative vibro-dynamic compression processing of wood-cement composites using Amazonian wood. *Acta Amazonica* [interaktyvus]. 2018, **49**, 75-80 [žiūrėta 2022-05-24]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1590/1809-4392201800192>
11. OLIVEIRA, C. A. B. ir kt. Influence of Indian cedar particle pretreatments on cement-wood composite properties. *BioRes* [interaktyvus]. 2020, **15**(1), 1656-1664 [žiūrėta 2022-05-24]. Prieiga per: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/influence-of-indian-cedar-particle-pretreatments-on-cement-wood-composite-properties/>

12. QUIROGA, A., V. MARZOCCHI ir I. RINTOUL. Influence of wood treatments on mechanical properties of wood–cement composites and of *Populus Euroamericana* wood fibers. *Composites Part B: Engineering* [interaktyvus]. 2016, **84**, 25-32 [žiūrėta 2022-05-24]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836815005090?via%3Dihub>
13. YOUNG, J. F., R. L. BERGER ir J. BREESE. Accelerated Curing of Compacted Calcium Silicate Mortars on Exposure to CO₂. *Journal of the American Ceramic Society* [interaktyvus]. 1974, **57**(9), 394-397 [žiūrėta 2022-05-24]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1974.tb11420.x>
14. SHI, C. ir Y. WU. Studies on some factors affecting CO₂ curing of lightweight concrete products. *Resources, Conservation and Recycling* [interaktyvus]. 2008, **52**(8-9), 1087-1092 [žiūrėta 2022-05-24]. ISSN 0921-3449. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344908000761>
15. SOROUSHIAN, P., J. P. WON ir M. HASSAN. Durability and microstructure analysis of CO₂-cured cement-bonded wood particleboard. *Cement and Concrete Composites* [interaktyvus]. 2013, **41**, 34-44 [žiūrėta 2022-05-02]. ISSN 0958-9465. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946513000796>
16. SOROUSHIAN, P. ir kt. Development of accelerated processing techniques for cement-bonded wood particleboard. *Cement and Concrete Composites* [interaktyvus]. 2003, **25**(7), 721-727 [žiūrėta 2022-05-02]. ISSN 0958-9465. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946502000628>
17. TAM, V. W. Y. ir kt. Utilising CO₂ technologies for recycled aggregate concrete: A critical review. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2020, **250** [žiūrėta 2022-05-24]. ISSN 0950-0618. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820309089>
18. SILVA, P. de ir kt. Carbonate binders: Reaction kinetics, strength and microstructure. *Cement and Concrete Composites* [interaktyvus]. 2006, **28**(7), 613-620 [žiūrėta 2022-05-24]. ISSN 0958-9465. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946506000527>
19. PEHANICH, J. L., P. R. BLANKENHORN ir M. R. SILSBEE. Wood fiber surface treatment level effects on selected mechanical properties of wood fiber–cement composites. *Cement and Concrete Research* [interaktyvus]. 2004, **34**(1), 59-65 [žiūrėta 2022-05-24]. ISSN 0008-8846. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884603001935>
20. DINAKAR, P. ir S. N. MANU. Concrete mix design for high strength self-compacting concrete using metakaolin. *Materials & Design* [interaktyvus]. 2014, **60**, 661-668 [žiūrėta 2022-05-24]. ISSN 0261-3069. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306914002465>
21. *Cetris: CETRIS PLOKŠČIŲ PRIVALUMAI ir CETRIS PLOKŠČIŲ SUDĖTIS* [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2022-05-02]. Prieiga per: <https://cetris.lt/ploksciu-cetris-savybes/>
22. TICOALU, A., T. ARAVINTHAN ir F. CARDONA. A Review of Current Development in Natural Fiber Composites for Structural and Infrastructure Applications [interaktyvus]. 2010 [žiūrėta 2022-05-24]. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/277798012_A_Review_of_Current_Development_in_Natural_Fiber_Composites_for_Structural_and_Infrastructure_Applications
23. BHARATH, K. N. ir S. BASAVARAJAPPA. Applications of biocomposite materials based on natural fibers from renewable resources: a review. *Science and Engineering of Composite*

- Materials* [interaktyvus]. 2016, **23**(2), 123-133 [žiūrėta 2022-05-24]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1515/secm-2014-0088>
24. DAHY, H. Natural Fibre-Reinforced Polymer Composites (NFRP) Fabricated from Lignocellulosic Fibres for Future Sustainable Architectural Applications, Case Studies: Segmented-Shell Construction, Acoustic Panels, and Furniture. *Sensors* [interaktyvus]. 2019, **19**(3), 738 [žiūrėta 2022-05-02]. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/3/738/htm>
25. *Ekspertai.lt: Cemento ir pjuvenų plokštės* [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2022-05-02]. Prieiga per: https://www.ekspertai.lt/cemento_drozliu_plokste/cemento_ir_pjuvenu_plokstes
26. SANTULLI, C., M. JANSSEN ir G. JERONIMIDIS. Partial replacement of E-glass fibers with flax fibers in composites and effect on falling weight impact performance. *Journal of Materials Science* [interaktyvus]. 2005, **40**, 3581-3585 [žiūrėta 2022-05-24]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/226544111> Partial replacement of E-glass fibers with flax fibers in composites and effect on falling weight impact performance
27. JOHN, M. J., R. ANANDJIWALA ir S. THOMAS. Hybrid composites [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-05-24]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/30511845> Hybrid composites
28. DEMIR, I. ir C. DOĞAN. Physical and Mechanical Properties of Hempcrete. *The Open Waste Management Journal* [interaktyvus]. 2020, **13**, 26-34 [žiūrėta 2022-05-24]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/343110382> Physical and Mechanical Properties of Hempcrete
29. AMZIANE, S. ir M. SONEBI. Overview on Biobased Building Material Made With Plant Aggregate. *RILEM Tech Lett* [interaktyvus]. 2016, **1**, 31-38 [žiūrėta 2022-05-24]. Prieiga per: <https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2016.9>
30. VALLE-ZERMEÑO, R. del ir kt. Preliminary study of the mechanical and hygrothermal properties of hemp-magnesium phosphate cements. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2016, **105**, 62-68 [žiūrėta 2022-05-24]. ISSN 0950-0618. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815307509>
31. *Wikipedia: Hempcrete* [interaktyvus]. 2007 [žiūrėta 2022-05-24]. Prieiga per: <https://en.wikipedia.org/wiki/Hempcrete>
32. *Engineering Discoveries: Hempcrete Blocks For Construction* [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-05-24]. Prieiga per: <https://engineeringdiscoveries.com/hempcrete-blocks-for-construction/>
33. *Nexe: TECHNICAL INSTRUCTION FOR CEMENT CEM II/A-M(S-V) 42,5N* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2022-10-22]. Prieiga per: https://www.nexe.hr/wp-content/uploads/2022/03/Technical-instruction-CEM-II_A-MS-V-425N-ENG.pdf
34. LEA, F. M. ir THE EDITORS OF ENCYCLOPEDIA OF BRITANNICA. The major cements: composition and properties [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-10-22]. Prieiga per: <https://www.britannica.com/technology/cement-building-material/The-major-cements-composition-and-properties>
35. *Hemp Wiki: Hemp Hurd* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2022-10-22]. Prieiga per: <https://hempwiki.com/product/hemp-hurd/>
36. BALČIŪNAS, G. ir kt. Ecological, thermal and acoustical insulating composite from hemp shives and spropel binder. *Industrial Crops and Products* [interaktyvus]. 2016, **91**, 286-294 [žiūrėta

- 2022-10-22]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669016304320>
37. FUENTE, E., R. JABARO ir C. NEGRO. 10 - Hatschek process as a way to valorize agricultural wastes: Effects on the process and product quality. *Sustainable and Nonconventional Construction Materials using Inorganic Bonded Fiber Composites* [interaktyvus]. 2017, 267-290 [žiūrėta 2022-10-22]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081020012000115>
38. YANG, H. ir H. CHEN. 11 - Biomass gasification for synthetic liquid fuel production. *Gasification for Synthetic Fuel Production* [interaktyvus]. 2015, 241-275 [žiūrėta 2022-10-22]. ISBN 9780857098023. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857098023000114>
39. REN, M. ir kt. The origins of cannabis smoking: Chemical residue evidence from the first millennium BCE in the Pamirs. *Science Advances* [interaktyvus]. 2019, 5(6) [žiūrėta 2022-10-22]. Prieiga per: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aaw1391>
40. BLEDZKI, A. K. ir J. GASSAN. Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in Polymer Science* [interaktyvus]. 1999, 24(2), 221-274 [žiūrėta 2022-10-22]. ISSN 0079-6700. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670098000185?via%3Dihub>
41. STRANDBERG-DE BRUIJN, P. Hemp concretes. Mechanical properties using both shives and fibres. [interaktyvus]. 2008 [žiūrėta 2022-10-22]. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/30073156_Hemp_concretes_Mechanical_properties_using_both_shives_and_fibres
42. ETAATI, A. ir kt. Ground Hemp Fibers as Filler/Reinforcement for Thermoplastic Biocomposites. *Advances in Materials Science and Engineering* [interaktyvus]. 2015, 3, 1-11 [žiūrėta 2022-10-22]. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/278682219_Ground_Hemp_Fibers_as_FillerReinforcement_for_Thermoplastic_Biocomposites
43. MAGWOOD, C. Essential Hempcrete Construction: The Complete Step-by-Step Guide [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2022-10-22]. Prieiga per: https://books.google.lt/books/about/Essential_Hempcrete_Construction.html?id=eU6HDAAAQBAJ&redir_esc=y
44. NIYIGENA, C. ir kt. Variability of the mechanical properties of hemp concrete. *Materials Today Communications* [interaktyvus]. 2016, 7, 122-133 [žiūrėta 2022-10-22]. ISSN 2352-4928. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352492816300228>
45. FINK, J. K. Chapter 2 - Fluid Loss Additives. *Petroleum Engineer's Guide to Oil Field Chemicals and Fluids* [interaktyvus]. 2012, 61-123 [žiūrėta 2022-10-24]. ISBN 9780123838445. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123838445000027>
46. NIGEL. Thermal Conductivity of Wood [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2022-10-26]. Prieiga per: <https://www.glue-it.com/materials/wood/thermal-conductivity-of-wood/>