



Mokomoji priemonė

***Kamštiena aviacijos ir kosmoso srityje:
nuo žievės išgavimo iki jos pritaikymo***

ecoCORK



Projektas iš dalies
finansuojamas pagal Europos
Sąjungos Erasmus+ programą.

"Šis projektas finansuojamas Europos Sąjungos pagalba, pagal Erasmus+ programą. Europos Komisija ir Turkijos nacionalinė agentūra neprisiima atsakomybės už šiame projekte pateikiamos informacijos naudojimą."

Kamštiena aviacijos ir kosmoso srityje: nuo žievės išgavimo iki jos pritaikymo

Redaguota Selim Gürgen

Mehmet Alper Sofuoğlu

Melih Cemal Kuşhan



Projektas iš dalies finansuojamas pagal Europos Sąjungos Erasmus+ programą.

"Šis projektas finansuojamas Europos Sąjungos pagalba, pagal Erasmus+ programą. Europos Komisija ir Turkijos nacionalinė agentūra neprisiima atsakomybės už šiame projekte pateikiamos informacijos naudojimą."

Turinys

Pratarmė	i
1. 1. Įvadas į kamštinių medžiagų mokslą: kamštinės žievės išgavimas, derliaus nuėmimas ir perdirbimas	1
1.1 Kamštiniai miškai	1
1.1.1 Botaninis aprašymas	4
1.1.2 Miškininkystė / agrarinė miškininkystė	7
1.1.2.1 Medžių regeneracija	7
1.1.2.2 Jauni medžiai	8
1.1.2.3 Užaugę medžiai	8
1.1.3 Tvari miškininkystė	9
1.1.4 Grėsmės miško augalininkystei	11
1.1.4.1 Ligos	11
1.1.4.2 Klimato kaita	12
1.2 Kamštinės žievės išgavimas	13
1.2.1 Nužievinimo procesas	14
1.2.1.1 Nužievinimo intensyvumas	17
1.2.1.2 Nužievinimo įtaka medžio augimui	20
1.2.2 Veiksmai po derliaus nuėmimo	21
1.2.2.1 Sandėliavimas miške	21
1.2.2.2 Žievės drėgnio svyravimai	23
1.2.2.3 Sandėliavimas ir pasiruošimas perdirbimui	23
1.2.2.4 Kamštinės žaliavos rūšys	25
1.2.2.5 Reikalavimai pramonei	28
1.2.3 Kamštienos defektai ir jų padariniai	29
1.2.4 Kamštienos kokybės klasifikacija	32
1.2.4.1 Kamštienos storio klasės	32

1.2.4.2 Kokybės klasifikacija	32
1.2.4.3 Integruotas kamštienos vertės indeksas	34
1.3 Apdorojimas po nužievinimo	35
1.3.1 Virinimas vandenyje	35
1.3.1.1 Virinimo poveikis kamštienai	37
1.3.2 Procesas po virinimo	38
1.3.3 Drėgnos kamštienos apdorojimas	39
1.3.4 Antras virinimas vandenyje	39
2. Tvarumas, anglies dioksido pėdsakas ir galimi kamštinės žievės gaminiai	46
2.1 Kamštiena ir tvarumas	47
2.1.1 Kamštinių miškų ekosistema	47
2.1.2 Aplinkosaugos paslaugos	50
2.1.3 Tvari priežiūra	53
2.1.4 Klimato kaita ir kamštinių miškų ekosistema	57
2.2 Kamštinių gaminių anglies dioksido pėdsakas	58
2.2.1 Anglies dioksidas. Įvadas	58
2.2.2 Anglies dioksido fiksavimas miškuose	60
2.2.3 Kamštinių gaminių gyvavimo ciklas	64
2.2.4 Anglies dioksido pėdsakas	67
2.3. Potencialūs kamštienos panaudojimo būdai	68
2.3.1 Esminės savybės	68
2.3.2 Kamštienos naudojimo būdai	75
2.3.3 Kamštiena statybose	76
2.3.4 Tekstilė ir judumas	79
2.3.5 Farmacija ir kosmetika	81
2.3.6 Kita	82

3. Kamštienos pramonės sektoriai, savybės ir ateities tendencijos	90
3.1 Įvadas	90
3.2 Kamštienos pramonės sektoriai	93
3.2.1 Bendro naudojimo kamštienos aglomeratai	95
3.2.2 Šilumos ir garso izoliacija	97
3.2.3 Garso izoliacijos atvejis	98
3.2.4 Trisluoksnės konstrukcijos	100
3.2.5 Automobilių pramonė	104
3.2.5.1 Atvejo analizė	105
3.2.6 Energijos absorbavimo technologijos	111
3.3 Išvados	113
4. Kamštinių trisluoksnių kompozitų gamyba ir pritaikymas aviacijoje	119
4.1 Trisluoksnių konstrukcijų su kamštiniu užpildu apžvalga	119
4.1.1 Sluoksniuotų sumuštinio (sandwich) tipo konstrukcijų apibrėžimas, tipai	119
4.1.2 Aviacijai svarbiausios trisluoksnių konstrukcijų su kamštiniu užpildu savybės, privalumai bei trūkumai	121
4.1.3 Trisluoksnių konstrukcijų su kamštiniu užpildu panaudojimo sritys aviacijoje	124
4.2 Trisluoksnių konstrukcijų su kamštinės medžiagos užpildu gamybos būdai	129
4.2.1 Plokščių trisluoksnių panelių gamybos būdai	129
4.2.1.1 Plokščių trisluoksnių panelių gamyba naudojant mechaninį prispaudimą	129
4.2.1.2 Plokščių trisluoksnių panelių gamyba naudojant prispaudimą vakuumu	130
4.2.2 Viengubo ir dvigubo kreivumo panelių gamybos būdai	132
4.2.3 Trisluoksnių panelių tvirtinimo vietų konstrukcijos ypatybės	136
4.2.3.1 Trisluoksnių konstrukcijų stiprinimas kitų konstrukcinių elementų priklijavimo vietose	136
4.2.3.2 Trisluoksnių konstrukcijų stiprinimas kitų konstrukcinių elementų prijungimo vietose kai šie elementai prisukami varžtais	137
4.2.4 Trisluoksnių panelių kraštų užbaigimo ypatybės	138

4.3 Kamštinių kompozitų pritaikymas tarpinėms ir kitoms sandarinimo medžiagoms	140
4.3.1 Labiausiai paplitę skysčiai, naudojami aviacijos ir kosmoso pramonėje	141
4.3.2 Skysčių sandarinimo technologijos	142
4.3.3 Laiko patikrintos aerokosmoso priemonės	144
4.4 Praktiniai trisluoksnių kompozitinių medžiagų su kamštinės medžiagos užpildu bandymai	145
4.4.1 Spektrinė trisluoksnių kompozitinių medžiagų su kamštiniu užpildu analizė	145
4.4.2 Bandymų eiga ir matavimų sąlygos	146
4.4.3 Pirmosios analizės išvados	151
4.4.4 Antrosios analizės išvados	152
4.5. Trisluoksnių kompozitinių medžiagų su kamštiniu užpildu lenkimo bandymai	153
4.5.1 Bandiniai	153
4.5.2 Lenkimo eksperimento atlikimas	156
4.5.3 Rezultų palyginimas, analizė	158
4.5.4 Tempimo bandymai	159
4.5.5 Tempimo bandymų rezultatai	159
5. Kamštinių kompozitų taikymas aviacijos ir kosmoso srityje	166
5.1 Įvadas	166
5.2 Bendrosios kamštinių kompozicinių medžiagų savybės	169
5.2.1 Mechaninės / fizikinės savybės	170
5.2.1.1 Mechaninių savybių pokyčiai nuo temperatūros	174
5.3 Šiandieninis kamštienos panaudojimas aviacijos ir kosmoso srityse	176
5.3.1 Kamštinės konstrukcijos kosmoso srityje	178
5.3.2 Kamštienos panaudojimas aviacijos ir kosmoso konstrukcijose: Projektas "Aerocor"	183
5.4 Galimas kamštinių kompozicinių medžiagų panaudojimas aviacijos ir (arba) kosmoso konstrukcijose	184
5.4.1 Kamštienos ir keramikos matricos kompozitų medžiaga aviacijos / kosmoso srityje	184
5.4.2 Kosminio paleidimo sistemos izoliacija	185

5.4.3 Kamštiena ir misija į Marsą	187
5.5 Išvados	188

Pratarmė

Ši mokomoji priemonė parengta įgyvendinant Europos Sąjungos finansuojamą projektą KA203: aukštojo mokslo strateginės partnerystės srities pagal Erasmus+ programą. Projektą pavadinimu *EcoCork: Tvarių ir ekologiškų kamštinių kompozitų, naudojamų aviacijos ir kosmoso srityje, švietimo plėtra* (#2020–1–TR01–KA203–092763) vykdo šešių partnerių konsorciumas: Eskişehir Osmangazi universitetas (Turkija), Aveiro universitetas (Portugalija), Amorim Cork Composites (Portugalija), Katalonijos Kamštinių medžiagų institutas (Ispanija), Vroclavo mokslo ir technologijų universitetas (Lenkija) ir Vilniaus Gedimino Technikos universitetas (Lietuva).

Europa, o ypač Ispanija ir Portugalija, yra kamštienos tėvynė. Būtent dėl šios priežasties kamštienos gaminiai tapo senojo žemyno vienijančia vertybe, skatinančia pažangiųjų technologijų ir kamštinių medžiagų mokslo plėtrą. Kamštiena, kaip natūrali medžiaga, turi privalumų, kurie gali būti panaudoti įvairioms inžinerinėms reikmėms: tvarumas ir ekologiškumas užtikrina mūsų planetos ateitį. Kadangi aviacijos ir kosmoso pramonė yra vienas iš pirmaujančių sektorių pasaulyje, projekte *EcoCork* projekto rėmuose kamštiena buvo tiriama iš aviacijos ir kosmoso perspektyvos.

Ši mokomoji priemonė pateikia išsamią informaciją apie kamštienos mokslą, nuo žievės augimo proceso iki jos pritaikymo būdų. Pirmas skyrius aptaria kamštienos auginimą, nužievinimą ir perdirbimą. Antrame skyriuje yra skiriamas dėmesys tvarumui ir kamštienos ekologiškoms savybėms. Trečias skyrius aprašo kamštienos gaminius, jų savybes ir ateities perspektyvas. Ketvirtas skyrius apima kamštinių medžiagų gamybą ir pritaikomumą. Penktas skyrius yra skirtas kamštienos pritaikomumui aeronautikos srityje.

Redaktoriai:

Selim Gürgen

Mehmet Alper Sofuoğlu

Melih Cemal Kuşhan

SKYRIUS 1

Įvadas į kamštinių medžiagų mokslą: kamštinės žievės išgavimas, derliaus nuėmimas ir perdirbimas

G.F. Serra, F.A.O. Fernandes, G.J.A. Sousa, R.J. Alves de Sousa, A.B. Pereira*

Mechanikos inžinerijos katedra, Campus Universitário de Santiago, Aveiro universitetas, 3810–193 Aveiras, Portugalija

*el. paštas: fabiofernandes@ua.pt

Anotacija

Šiame skyriuje pateikiama esminė informacija apie kamštines medžiagas: aprašomi svarbiausi žingsniai, susiję su kamštienos išgavimo procesu, pradedant miško priežiūra ir žievės auginimu ir baigiant derliaus lupimo ypatumais ir reikalingais etapais kamštienei žievei paversti tinkama žaliava inžineriniams gaminiams kurti. Čia taip pat aptariamas kamštienos žaliavų indėlis siekiant kai kurių tvaraus vystymosi tikslų, įskaitant saugesnius ir integracinius miestus, tvarią gamybą ir kt. Skyriaus pradžioje aptariami kamščiamedžių ir miškų auginimo bei priežiūros iššūkiai, įskaitant kamštinės žievės prieinamumą, medžių auginimą ir grėsmę keliančius faktorius. Vėliau aprašomi kamštinės medžiagos gavybos būdai ir priežiūra, įskaitant įrankius, darbuotojų kvalifikaciją, žievės lupimo ciklą trukmę, skirtingas išgaunamas kamštienos rūšis ir jų kokybę. Galiausiai nagrinėjamas kamštienos kaip žaliavos apdorojimas, pasitelkiant įvairius būdus, įskaitant būtiną perdirbimą, siekiant išgauti tinkamą žaliavą konstrukcijoms ir gaminiams.

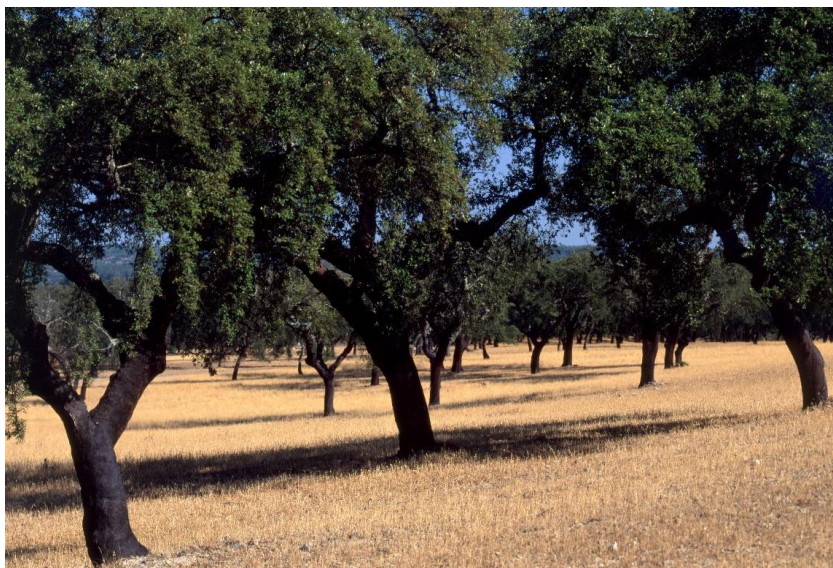
Esminiai žodžiai: Kamštiena, miškas, žaliava, inžinerinės medžiagos.

1.1 Kamštiniai miškai

Kamštinis ąžuolas, arba *Quercus suber* L., yra visažalis ąžuolas su pastebimai stora ir raukšlėta žieve, kurios išorinėje dalyje yra ištisinis kamštienos sluoksnis. Kamštinis ąžuolas įgijo ekonominę reikšmę dėl savo žievės savybių, estetikos ir tvarumo. Kamštinius ąžuolus galima suskirstyti į dvi agromiškininkystės sistemas:

- Kamštinių ąžuolų giraitės, kurių paskirtis dažniausiai siejama su žemės ūkio ar gyvulininkystės veiklomis. Šiai sistemai būdingas nedidelis medžių skaičius hektaro plote (maždaug 50–150 medžių hektare). Toks miškas pavaizduotas paveiksle 1.1 ir Portugalijoje bei Ispanijoje atitinkamai vadinamas montado ir dehesa;
- Kamštinių ąžuolų miškus, esančius kalnuotuose regionuose, kuriuose ūkinė veikla nėra vykdoma.

Dabartiniai brandūs kamštiniai ąžuolai atsirado dėl žemės savininkų vykdomos veiklos: jie prižiūrėjo natūraliai besiformuojančius medynus. Tačiau kai kuriais atvejais, medžiai buvo auginami dirbtinai sėjant, šiam procesui talkino natūralus miško želdinių atsinaujinimas. Dėl to dauguma medynų yra netolygiai ir nevienalyčiai pasiskirstę, o medžių amžius skirtingas.



1.1 Pav. Tipiškas *montado / dehesa* kraštovaizdis (šaltinis: APCOR© [1]).

Kamštinis ąžuolas paplitęs Pietų Europos ir Šiaurės Afrikos vakariniuose Viduržemio jūros regionuose. Paplitimas dažniausiai yra susijęs su dviem agrarinės miškininkystės sistemų tipais: kamštinių ąžuolų giraitėmis ir kamštinių ąžuolų miškais. Kamštinis ąžuolas paprastai naudojamas ne tik kamštienos gamybai, bet ir medžioklei bei galvijų ganykloms.

Ši pusiau tolerantiška rūšis puikiai prisitaikė prie švelnaus Viduržemio jūros regiono klimato: sąlyginai šiltesnių žiemų, karštų ir sausų vasarų ir mažai derlingo dirvožemio. Kamštinių ąžuolų miškai atlieka itin svarbų ekologinį vaidmenį stabdant dykinėjimą ir dirvožemio eroziją, taip pat prisideda prie biologinės įvairovės išsaugojimo. Kamštinių ąžuolų giraitės yra unikali ir trapi ekologinė sistema, kuri sudaro retų ir nykstančių rūšių, tokių kaip nykstantis imperatoriškasis erelis (*Aquila adalberti*) buveines. Be Amazonijos, Borneo ir Afrikos savanų, kamštinių ąžuolų giraitės yra viena iš 36 svarbiausių ekosistemų pasaulyje, išsaugančių biologinę įvairovę, kurioje gyvena daugiau nei 200 gyvūnų ir 135 augalų rūšys [2].

Kamštinių ąžuolų ekologiškas plastiškumas yra didelis. Šie medžiai lengvai prisitaiko prie besikeičiančių sąlygų: aukštos temperatūros ar netgi sausros. Jų optimali augimo terpė yra 600 metrai virš jūros lygio, nors jie taip pat yra aptinkami ir vietovėse, įsikūrusiose 2000 metrų virš jūros lygio. Vertinant sezoninį kritulių pasiskirstymą, kamštiniai ąžuolai yra prisitaikę prie didesnių kritulių kiekių nuo spalio iki kovo (ruduo–žiema) ir sausesnių orų vasaros laikotarpiu. Idealiomis sąlygomis, medžiui per metus reikalingas 600–800 mm kritulių kiekis, tačiau jis yra prisitaikęs augti gaudamas ir 500 mm. Be to, kai kritulių kiekis yra itin mažas, pvz., 400 mm, medžiui vis tiek pavyksta išgyventi. Nors

kamštinis ąžuolas prisitaiko ir prie lietingų orų, gaudamas iki 1700 mm kritulių, jis yra jautrus vandeniu prisotintam dirvožemiui.

Tinkamiausia vidutinė metinė temperatūra svyruoja nuo 13°C iki 16°C. Minimali temperatūra išgyvenimui yra –12°C, o minimali vidutinė temperatūra žiemos metu yra 4–5°C. Įprasta vasaros temperatūra Viduržemio jūros regionuose gali siekti daugiau nei 40°C. Kamštinis ąžuolas palankiai reaguoja į temperatūros pokyčius, taigi optimali temperatūra kamštinių ąžuolų sodinukams yra tarp 33–34°C [3]. Minimali ir maksimali temperatūrų riba yra nuo –5°C iki 40°C. Ši rūšis taip pat yra labai tolerantiška dirvožemiui, išimtis sudaro tik kalkingi ir kalkakmenio substratai. Kamštinis ąžuolas gali augti dirvožemiuose, kurių pH diapazonas siekia 4,8–7,0, tačiau pageidautina, kad augtų gerai drenuotuose silikatiniuose ir smėlinguose dirvožemiuose. Be to, rūšis išgyvena ir skurdžiose, sekliose dirvose, kuriose yra mažai azoto ir organinių medžiagų. Taip pat, kamštiniai ąžuolai gali užkirsti kelią dirvožemio degradacijai ir sukurti palankią terpę didelei biologinei įvairovei. Kamštiniai ąžuolai didina organinių medžiagų kiekį dirvožemyje, nes ieško maisto medžiagų podirvyje ir grąžina jas į dirvožemį, numesdami lapus ir šakas, todėl dirvožemis tampa produktyvesnis.

Kamštinių ąžuolų giraitės ir miškai yra paplitę vakarinėje Viduržemio jūros baseino dalyje – jie dengia daugiau nei 2 mln. hektarų, ypač pietiniame Iberijos pusiasalyje ir šiaurinėje Afrikoje. Kamštiniai ąžuolai randami taip pat Prancūzijoje ir Italijoje. Helenos Pereira teigimu [4], 1990 metais kamštiniai ąžuolai dengė 713 000 ha Portugalijoje, apie 475 000 ha Ispanijoje, 68 000 ha Prancūzijoje, 65 000 ha Italijoje, 348 000 ha Maroke, 90 000 ha Tunise ir 440 000 ha (veikiausiai sumažėjo iki maždaug 230 000 ha) Alžyre.

Buvo atrastos dvi kamštinių ąžuolų populiacijų rūšys, turinčios skirtingą genetinę struktūrą ir pasiskirstymą regionuose: viena iš jų aptinkama Pirėnų pusiasalyje ir netoliese esančiose Prancūzijos teritorijose, o kita – Šiaurės Afrikoje, Provanso regione (Prancūzija) ir Viduržemio jūros salose (Sicilija, Sardinija ir Korsika). Pirmoji grupė, skirtingai nei antroji, pasižymi platesne genetinė įvairove ir mažesne populiacijų diferenciacija.



1.2 Pav. Kamštinių ąžuolų geografinis paplitimas: Žali regionai žymi vietinį arealą, kryžiukai – izoliuotas populiacijas, o trikampiai – teritorijas, kuriose buvo įveistas ir natūralizuotas *Quercus Suber* [5].

Portugalija ir Ispanija pasižymi didžiausiais kamštinių ąžuolų miškais, be to, šios šalys yra pagrindiniai kamštienos gaminių gamintojai. Portugalija turi didžiausią montado plotą ir šiuo metu pirmauja kamštienos gaminių eksporto srityje. Ji taip pat yra pagrindinė kamštienos tiekėja. Apskaičiuota, kad per metus pagaminama apie 374 000 tonų kamštienos gaminių, didžioji jų dalis pagaminama Portugalijoje ir Ispanijoje. Šioms šalims bendrai tenka 74 % viso kamštienos gaminių kiekio (atitinkamai 51 % ir 23 %) [6]. Kamštienos produkcijos kiekis gali skirtis kiekvienais metais, priklausomai nuo klimato reiškinių ar stichinių nelaimių, pvz., 2003 m. gaisrai arba 2004 m. didžiulė sausra Portugalijoje.

Be *Quercus Suber*, yra ir kitų kamštmedžių, tokių kaip *Quercus Cerris* ir *Quercus Variabilis*. Pastarasis taip pat žinomas kaip storažievis ąžuolas ir yra tinkamas rytietiškam klimatui [7]. Šio medžio kamštienos mikrostruktūra panaši į *Quercus Suber*, tačiau jos ląstelės yra labiau raukšlėtos ir byrios. Šio kamštienos tipo ląstelės yra mažesnės nei įprastai ir jų kiekis tūrio vienetu yra didesnis. Todėl tokia kamštiena yra tankesnė. Maždaug 1,2 mln. ha miško sudaro *Quercus Variabilis*, iš kurio kasmet išgaunama apie 50–100 kilotonų apdorotos kamštienos. Visgi, kokybės skirtumas yra didelis. Kamštiena iš *Quercus Suber L.* yra laikoma geresne žaliava: ji pasižymi homogenišku, t. y. didesniais žievės matmenimis ir taisyklingesne forma [8].

1.1.1 Botaninis aprašymas

Manoma, kad *Fagales* bukiečių eilėje yra daugiau nei 40 veislių iš bukinių šeimos (*Fagaceae*), kuriai priklauso kamštiniai ąžuolai. Šios veislės yra suskirstytos į keturias grupes: *suberina*, *macrocarpa*, *genuine* ir *occidentalis* [9]. Taip pat pasitaiko natūralių hibridų tarp veislių su panašiomis veisimo sistemomis, pavyzdžiui, *Q. ilex* kryžminimas su *Q. suber* [10,11]. Dėl to jie skiriasi botaninėmis formomis, žydėjimo laikotarpiu, lapų, žiedų ir vaisių forma, dydžiu ir paties medžio forma. Didele

morfologijos ir fenotipo įvairovę daugiausia lemia genetinės medžiagos perdavimas iš vienos rūšies genofondo į kitą, šis procesas taip pat vadinamas introgresyvine hibridizacija. Kamštienos kokybė ir vieno medžio palikuonys toje pačioje medžių populiacijoje gali labai skirtis.

Kamštiniai ąžuolai yra medžiai trumpu kamieno ir storomis šakomis. Jų aukštis gali siekti iki 16 m. Nepaisant to, medžiai, augantys mažiau tankiose miškuose, gali pasižymėti didelėmis stiebo apimtimis ir vainiko matmenimis (vainiko projekcija gali siekti 500 m²). Tai ypač būdinga 150–200 metų brandiems medžiams. Medžiai, augantys tankiuose miškuose, dažniausiai turi siauresnius vainikus ir aukštesnius stiebus, o tokius medžio išvaizdos ypatumus nulemia aplink augantys medžiai. Izoliuoto kamštinio ąžuolo ir tankios miškingos vietovės pavyzdžiai pavaizduoti paveiksluose 1.3 ir 1.4. Dėl genėjimo jauname amžiuje ir jo tęstinumo daugelis dabartinių kamštinių ąžuolų, augančių montado regione, formuojasi skirtingai. Paprastai jie turi dvišakį stiebą, kuris prasideda nuo mažo aukščio, kai susidaro dvi ar trys pagrindinės šakos, išdėstytos atvirais kampais stiebo atžvilgiu. Viršuje susidaro apskritas vainikas su išlyginta viršūne.



1.3 Pav. Izoliuotas kamštinis ąžuolas su didesniu vainiko skersmeniu (šaltinis: APCOR© [1]).



1.4 Pav. Kamštiniai ąžuolai tankiame miško masyve (šaltinis: APCOR© [1]).

Rūšies šaknų sistema yra dimorfinė, susidedanti iš stiprios ir ilgos šakniavaisinės šaknies bei storų šoninių šakų. Pastarosios gali plisti horizontaliai ir turėti daugybę paviršinių šaknų, ypač jei medis auga atvirame lauke. Pagrindinė šaknis gali siekti kelis metrus ir prasiskverbti giliai į dirvą. Tai rodo, kad vasarą kamštiniai ąžuolai gali pasiekti gilius vandens sluoksnius per šaknų sistemą, išlaikydami aukštą lapų hidrataciją ir palaikydami vystymąsi didelio vandens poreikio ir radiacijos laikotarpiais [12]. Šių medžių šaknų sistema dažnai lyginama su įvairiomis mikorizėmis.

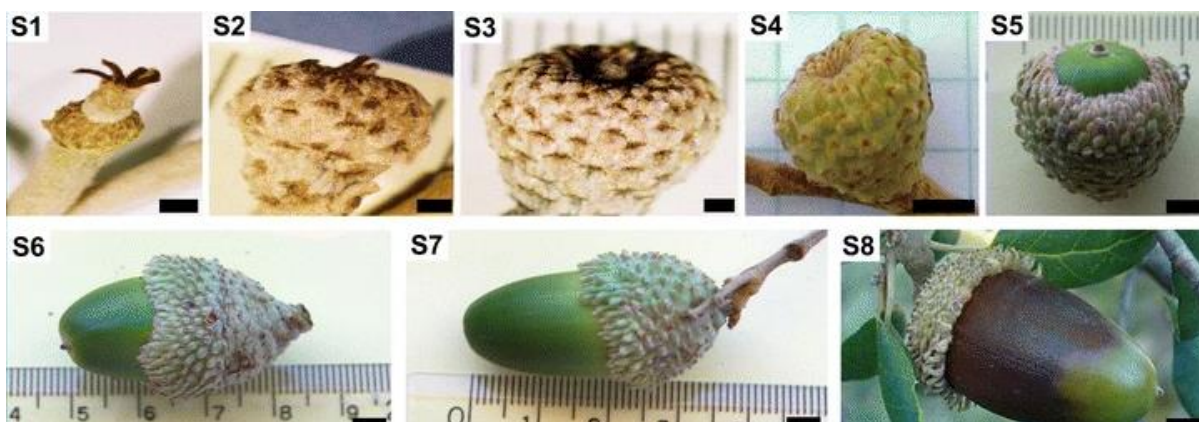
Šių medžių pumpurai yra itin maži, maždaug dviejų milimetrų ilgio ir tamsiai violetinės spalvos, kiaušinio formos. Lapų spalva – tamsiai žalia, o apatinė pusė balta, ją dengia stomatų tinklas su apsauginėmis ląstelėmis. Jis išsiplėčia nuo epidermio plokštumos. Lapų forma gali būti kiaušinio pavidalo arba pailgos formos su raukšlėta arba banguota kraštine. Ilgis svyruoja nuo 4 iki 7 cm, o plotis – nuo 2 iki 3 cm. Lapų forma ir dydis labai skiriasi tarp medžių ir lajos. Tipiški kamštinio ąžuolo lapai pavaizduoti 1.5 paveiksle.



1.5 Pav. Tipinės lapų formos (šaltinis: APCOR© [1]).

Fiziologinis aktyvumas prasideda maždaug vasario–kovo mėnesiais, kai pradeda vystytis pumpurai. Medžių vegetacija ir naujų lapų atsiradimas prasideda anksti pavasarį ir tęsiasi iki birželio mėnesio. Lapai žaliuoja vidutiniškai 14 mėnesių, tačiau jų vystymosi trukmė gali svyruoti nuo 11 iki 18 mėnesių [14, 15]. Štai kodėl lapai krenta pavasarį (kartais jie gali kristi ir anksčiau, ypač esant lietingoms žiemoms, nes tuomet defoliacija įvyksta greičiau). Pavasarį kamštinių ąžuolų lajose vis dar gausu praėjusių metų lapų, nes defoliacija sezoniškai vyksta vėlai, tad šių lapų spalva kontrastuoja su kitomis rūšimis, kurios jau demonstruoja naujus lapus. Kai kamštinių ąžuolų medžiai pasiekia 15–20 metų amžių, prasideda jų reprodukcijos laikotarpis, įskaitant žydėjimą, kuris trunka nuo balandžio iki gegužės mėnesio pabaigos. Apdulkinimas įvyksta pavasarį ir gali būti vykdomas tiek tos pačios, tiek kaimyninių medžių žiedadulkėmis. Dėl šios priežasties kamštiniai ąžuolai gali labai skirtis vienas nuo kito.

Kamštinio ąžuolo vaisiai, pavaizduoti 1.6 paveiksle, yra skirtingų formų ir dydžių, nuo mažesnių nei 2 cm iki didesnių nei 5 cm ilgio. Gilės gali nokti kasmet, augdamos vasaros pabaigoje ir rudenį, jos visiškai subręsta iki lapkričio, arba noksta kas dvejus metus. Tuomet medžio vaisiams būdingas vegetacinis periodas su minimaliu augimu, po kurio antrųjų metų pavasarį seka intensyvus augimo laikotarpis [16, 17]. Pastarojo dažnumui įtakos turi vegetacijos periodo trukmė, t.y. sutrumpėjimas dėl intensyvių ir ilgų vasaros sausrų. Per dešimtmetį medis užaugina 2–3 gausius derlius. Šaltas oras žydėjimo laikotarpiu gali padaryti žalos ir lemti didelį tarpmetinį gilių derliaus kintamumą [18].



1.6 Pav. Kamštinių gilių vystymosi etapai (šaltinis: APCOR© [1]).

1.1.2 Miškininkystė / agrarinė miškininkystė

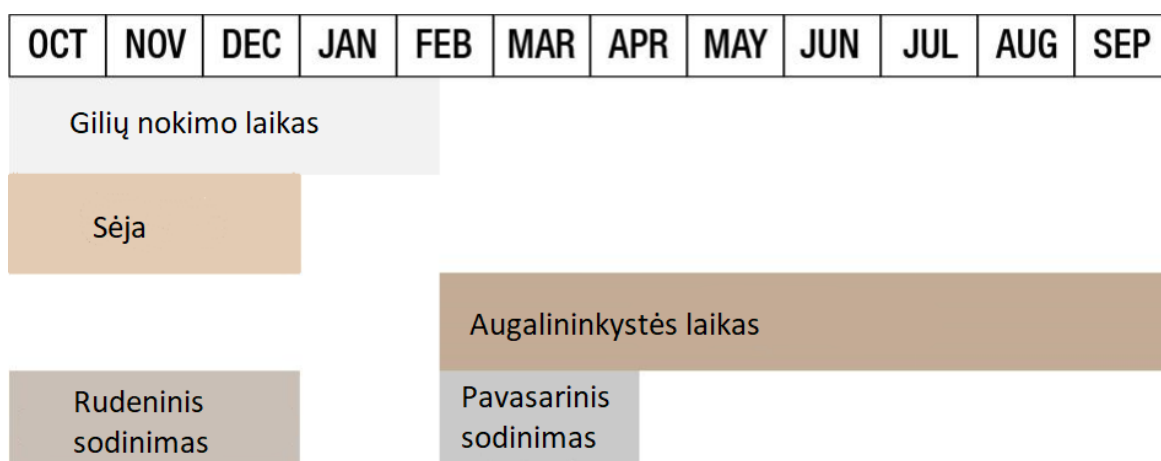
1.1.2.1 Medžių regeneracija

Didelė kamštinių ąžuolų dalis sudygsa dėl natūralaus gilių ūglių atsinaujinimo proceso. Nenatūralus kamštinių ąžuolų medynų atkūrimas yra palyginti nauja praktika, kuri įgavo pagreitį tik nuo 1990–ųjų, kai ES pradėjo skatinti žemės ūkio reikmėms skirtų žemių apželdinimą. Per pastaruosius penkiolika metų Portugalijoje ir Ispanijoje buvo pasodinta keli tūkstančiai hektarų kamštinių ąžuolų. Ši iniciatyva buvo įgyvendinta sodinant kamštinių ąžuolų plantacijas arba jos susiformavo natūraliu būdu. Visgi medžių mirtingumas pirmaisiais metais yra ganėtinai aukštas. Dažniausios aukšto mirtingumo

priežastys yra tinkamo dirvožemio trūkumas arba jo netinkamas paruošimas, kad susiformuotų veiksminga šaknų sistema, kuri yra labai svarbi vasarą; augalo jautrumas vandens trūkumui jauname amžiuje; o taip pat gilės ir jauni augalai yra labai patrauklūs mažosioms žiurkėms ir galvijams [20–22].

Paruošiant vietą, reikia išrauti piktžoles – dažniausiai naudojamas diskinis grėblis – ir pagerinti dirvožemio savybes, kad vėliau medžių šaknų sistema galėtų geriau vystytis. Dirvožemio paruošimo procesas apima žemės paviršiaus pašiaušimą arba suarimą iki maždaug 60–80 cm gylio. Tai ypač svarbu kietose uolienų dirvožemiuose arba vietose, kuriose reikia pagerinti dirvožemio struktūrą, kad galėtų vystytis veiksminga šaknų sistema. Šią techniką galima pritaikyti visam plotui arba tik sodinimo linijai. Įprastai vienam augalui skiriama nuo 40 iki 100 gramų azoto, fosforo ir kalio trąšų.

Pavasarinio ar rudeninio metų laiku medelynuose sodinami auginti daigai, taip pat yra galimybė sėti sėklas. Paveiksle 1.7 pateikta kasmetinių miško sodinimo veiksmų eiga. Viename hektare pasodinama mažiau medžių nei kitų medienos rūšių. Rekomenduojamas maždaug keturių kvadratinių metrų atstumas tarp medžių norint subalansuoti tankį ir įrengimo išlaidas, tačiau naudojami ir platesni (8 m x 4 m) ir tankesni (4 m x 2 m) atstumai.



1.7 Pav. Kasmetiniai miško sodinimo veiksmai (pritaikyta iš [23]).

Dėl aukšto mirtingumo pirmaisiais medžio gyvenimo metais dažnai manoma, kad medis prigyja tik sulaukus 8–10 metų. Tačiau jaunų sodinukų apsauga naudojant atskiras medžių apsaugos priemones gali apsaugoti juos nuo laukinių gyvūnų ir skatinti augimą į viršų. Vis dėlto šis metodas gali padidinti jaunų medžių su plonesniais ir neišsivysčiusiais stiebais mirtingumą regionuose, kuriems būdinga sausra ir aukštos temperatūros [24]. Nesulaukiant tinkamo kritulių kiekio pavasario ir vasaros metu, rekomenduojama medžius laistyti du–tris kartus. Be to, jau pirmaisiais metais po sodinimo rekomenduojama ravėti aplink atskirus sodinukus ar visą plotą.

1.1.2.2 Jauni medžiai

Šis laikotarpis apima medžio prigijimą iki pirmo žievės lupimo, kuris dažniausiai įvyksta 25–40 medžio gyvavimo metais. Įprastai 25 metų pakanka tokiose šalyse kaip Portugalija arba pietų Ispanija. Ilgesni laikotarpiai reikalingi tankiems medelynams ir tiems medžiams, kurie yra paveikti gamtinių faktorių. Jauni medžiai turi plačias šakas ir dažnai neturi ūglių. Todėl siekiant išsauginti bent 2,5–3 metrų aukščio stiebą, labai svarbu genėti medžius. Įprastai atliekami trys genėjimai: pirmasis turėtų būti atliekamas trečiaisiais–šeštaisiais medžio gyvavimo metais. Juo siekiama pašalinti visas šakas nuo 2/3 stiebo. Po jo seka antrasis genėjimas, kuris atliekamas dvyliktais–penkioliktais medžio gyvavimo metais, o trečias genėjimas vykdomas po medžio nužievinimo.

Dėl itin aukšto kamštinių ažuolų jautrumo kitoms augmenijos rūšims pirmaisiais metais, rekomenduojama žemes aplink ravėti ne vėliau kaip po 4–5 metų ir vėliau – kas 3–4 metus, kol medžiams pasibaigs 10–15 metų.

1.1.2.3 Užaugę medžiai

Užaugusiems medžiams yra labai svarbūs šie miško ūkio darbai: retinimas ir nužievinimas. Retinimas yra atliekamas siekiant išlaikyti iš anksto numatytą atstumo koeficientą. Atstumo koeficientas – tai vidutinio atstumo tarp medžių ir vidutinio medžio lajos skersmens sandauga. Nors ši empirinė taisyklė nėra įrodyta eksperimentiniu būdu dėl patikimos medžiagos trūkumo, teikiama prielaida, kad per didelė medžių sankaupa slopina kamštinės žievės augimą. Todėl rekomenduojama išlaikyti atstumo koeficientą, siekiant išlaikyti galimus tarpus, reikalingus nevaržomam vainiko vystymuisi. Nors kai kurie miškų savininkai tiria trąšų naudojimą tarp nužievinimo laikotarpių, siekdami padidinti kamštinės žievės augimą, negausi literatūros apžvalga šia tema rodo, kad tai turi menką įtaką kamštienos augimui ar jos kokybei.

Kadangi gilės buvo ekonomiškai svarbi kultūra, kamštiniai ažuolai buvo genami siekiant pagerinti šių vaisių derlių. Ši praktika vis dar taikoma siekiant pagerinti medžių gyvybingumą ir kamštienos derlių, tačiau tam nėra mokslinio pagrindimo. Piktžolių ravėjimas taip pat gali būti atliekamas priklausomai nuo augalų tipo. Labai svarbu, kad mechaninis ravėjimas, kaip ir kiti darbai, nepakenktų kamštinio ažuolo išorinių šaknų struktūrai.

Kamštiniai ažuolai gali išgyventi iki 250–300 metų. Tačiau, senstant ir plonėjant žievės sluoksniui, mažėja jų felogeno aktyvumas. Kamštienos kokybė tampa netinkama pramoniniams tikslams, medžiui sulaukus 150–200 metų. Dėl šios priežasties, kamštiniai ažuolai yra saugoma rūšis, kuriai taikomos tiksliai apibrėžtos miškininkystės, nužievinimo, kirtimo ir gyvavimo pabaigos taisyklės.

1.1.3 Tvari miškininkystė

Nuoseklus ir tvaraus kamštienos auginimo grandinė, nuo miško iki vartotojo, priklauso nuo tinkamos kamštinių ažuolų miškų priežiūros. Ypač reikšminga, atsižvelgiant į bendrą kamštinių ažuolų

geografinį pasiskirstymą ir mastą. Remiantis Pasaulio gamtos fondo (*angl.* World Wide Fund for Nature (WWF)) duomenimis, beveik 100 000 žmonių Pietų Europoje ir Šiaurės Afrikoje tiesiogiai ar netiesiogiai priklauso nuo šių miškingų vietovių.

Kamštinių ąžuolų miškai yra tvaraus vystymosi pavyzdys, kuriame ypač svarbus kamštienos lupimo procesas, kai nenukertami jokie medžiai. Ši tvarumo praktika yra svarbiausia tam, kad užtikrintų kamštinių ąžuolų miškų išsaugojimą. Ūkinė veikla šiuose miškuose apima platų veiklų spektrą, tokių kaip miškininkystė, žemės ūkis, miško ganymas, medžioklė ir kt. Kamštienos sektorius yra vienas iš tvaraus augimo pavyzdžių, kuris kuria tūkstančius darbo vietų ir suteikia galimybę šeimoms likti savo žemėje. Kamštinių ąžuolų miškai skiriasi nuo kitų miško sistemų tuo, kad ne mediena, bet žievė lemia medžio gyvavimo pabaigą, ir ją galima rinkti daugybę kartų.

Kamštienos auginimas apibrėžia žaliavos, skirtos pramoniniam perdirbimui, savybes. Atsižvelgiant į tai, kad kamštiena yra nukreipta į vyno kamščių pramonę, kuriai reikalingas mažiausias žievės storis, miško savininkai ją vertina kaip esminį elementą ir pagrindinį medžių priežiūros veiksnį. Kamštienos produkcijos derlius priklauso nuo kamštienos ir medžių augimo bei priežiūros kintamųjų, tokių kaip kamštinės žievės lupimo intensyvumas, nužievinimo plotas ir intervalas tarp žievės lupimų. Todėl kamštinių ąžuolų miškų inventorizacijai reikia papildomos informacijos apie kitas medžių rūšis. Kamštienos gavybos prognozės modeliai yra naudojami jau ilgą laiką, tačiau kamštinių ąžuolų auginimo ir žievės lupimo modeliai buvo sukurti neseniai.

Kamštinių ąžuolų miškų ir kamštienos grandinės tvarumas kelia didelį susirūpinimą dėl jų ypatingos svarbos, siekiant apsaugoti aplinką nuo dirvožemio erozijos ir dykinėjimo, taip pat apsaugoti vietinius gyventojus ir vietas socialiniu bei ekonominiu atžvilgiu. Kamštiniai ąžuolai taip pat atlieka svarbų kultūrinį ir socialinį vaidmenį, būdami savotišku paveldu, kuris driekiasi kur kas už žievės auginimo ribų. Pastaruoju metu kamštinių ąžuolų tvaraus valdymo planavimas ir sertifikavimas tapo vis svarbesnis šiame kontekste.

Pagrindinis nerimo dėl kamštinių ąžuolų miškų tvarumo šaltinis yra montado ir dehese sistemos, kurių atsinaujinimo procesas yra ribotas arba nepakankamas [25]. Natūralus atsinaujinimas šiose aplinkose vyksta retai, o dabar augantys medžiai jau pasiekė savo brandos piką arba yra pasenę. Nors pavasarį šalia senų kamštinių ąžuolų gali būti pastebėta gausybė dygstančių medžių, kurie veikiausiai dygsta iš visame regione paplitusių gilių. Dauguma šių ataugų išnyks jau ateinančiais metais. Jauni sodinukai reikalauja apsaugos nuo saulės, o ją užtikrinti yra itin sudėtinga šioje atviroje, saulėtoje ir karštoje aplinkoje. Priešingas reiškinys pastebimas tankiuose kamštinių ąžuolų miškuose, kurie sudaro idealias sąlygas natūraliam miško atsinaujinimui. Jaunų augalų skaičius šiuose medynuose yra didelis, nepaisant lėto augimo.

Vis dėlto, tokiomis sąlygomis miško plotas yra nedidelis, palyginti su montado ir dehese sistemų mastu. Siekiant užtikrinti ilgalaikį kamštinių ąžuolų medynų gyvybingumą, būtina numatyti

nenatūralias miško regeneracijos galimybes, sėjant arba sodinant medelynuose auginamus sodinukus [23]. Ispanija ir Portugalija įdėjo nemažai pastangų siekdamas apželdinti teritorijas kamštiniais ąžuolais. Per pastaruosius dvidešimt metų šioms pastangoms talkino Europos bendrosios žemės ūkio politikos paskatos. Remiantis šiomis apželdinimo iniciatyvomis, paruošus dirvą, medžiai sodinami dideliu tankumu – maždaug 600 augalų hektare. Ir nors medžių išgyvenamumas ne visada yra patenkinamas, pirmieji 5–8 metai yra itin svarbūs medžių prigijimui.

Dar vienas kamštinių ąžuolų regeneracijos rizikos faktorius yra susijęs su jų daugiafunkciniu panaudojimu, ypač kaip maisto šaltiniu. Pavyzdžiui, jauni medeliai, kurie išgyvena sunkias karštų vasarų sąlygas, yra pažeidžiami gyvulių, tokių kaip galvijai. Ūkininkavimas turėtų būti uždraustas regionuose, kuriuose siekiama atkurti miškingas teritorijas, kol jauni medeliai nebus sulaukę 10 metų amžiaus.

Europa ir likęs pasaulis yra įsipareigoję tvariai prižiūrėti miškus. Svarbus planetos miškų vaidmuo buvo pripažintas ypač dėl jų daugybės funkcijų (socialinių, ekonominių, aplinkosaugos ir kultūrinių). Į miškų svarbą buvo atsižvelgta nuoseklioje tarptautinėse rezoliucijose, kurios prisideda prie tvaraus visuomenės vystymosi, ypač kaimo vietovėse, teikiant atsinaujinančius išteklius ir apsaugant aplinką.

Tvarūs miškų priežiūros tikslai yra įgyvendinami remiantis aiškiai nustatytais kriterijais ir nurodymais, kurie dažnai yra siejami su miškų veiklos gairėmis. Kriterijai apima visas miškininkystės sritis ir padeda įvertinti miškų priežiūros veiklą. Rodikliai yra kokybinės, kiekybinės ar aprašomosios priemonės/parametrai, kurie reguliariai matuojant ar kontroliuojant, parodys kriterijaus pokytį. 1.8 paveiksle pateikti kriterijai ir rodikliai atitinka visos Europos susitarimuose dėl tvarios miškininkystės standartus.

Ši veikla yra prioritizuojama ekologiškai ir socialiai jautriose regionuose, kuriuose yra kamštinių ąžuolų miškų. Ši koncepcija pradeda gauti pagreitį visuomenės ir suinteresuotųjų šalių lygmeniu. Kamštinių ąžuolų medynų sertifikavimo tvariai miškininkystei procesas vos prasidėjo, o kelios bylos jau baigtos.

Kriterijai	Rodikliai
1. Ištekliai ir anglies ciklai	Miško vieta, miško prieaugis, amžiaus struktūra, skersmens pasiskirstymas, anglies atsargos
2. Ekosistemos sveikata ir gyvybingumas	Dirvožemio būklė, defoliacija, miško patirta žala, oro teršalų nusėdimas
3. Gamybinės funkcijos	Prieaugis ir kirtimai, paslaugos, apvalioji mediena, ne medienos produktai, tvarkomų augalų miškai
4. Biologinė įvairovė	Natūralumas, medžių rūšių sudėtis, naujos medžių rūšys, regeneracija, sausuoliai, genetiniai ištekliai, kraštovaizdžio ypatumai, nykstančios rūšys, saugomi miškai

5. Apsaugos priemonės	Dirvožemio, vandenų ir kitų ekosistemų funkcijos, infrastruktūra, valdomi gamtos ištekliai
6. Kitos socio–ekonominės funkcijos	Miško valdos, įnašas į BVP, grynasis pelnas, išlaidos už paslaugas, darbuotojų sauga ir sveikata, darbo jėga, medienos prekyba, kūrenimui skirta mediena, pasiekiamumas rekreaciniais tikslais, kultūrinė ir dvasinė vertė.

1.8 Pav. Esamų kriterijų ir susijusių rodiklių, kurie nustato tvarios miškininkystės standartus, santrauka (šaltinis: [4]).

1.1.4 Grėsmės miško augalininkystei

1.1.4.1 Ligos

Kamštiniai ąžuolai yra atsparūs daugeliui ligų. Literatūroje paminėta daugiau nei 300 grybų ir oomicetų rūšių, iš kurių bent 100 yra patogeniškos [26]. Laimei, tik keletas pirminių infekcijų gali užpulti sveikus medžius. Dauguma iš jų yra oportunistiniai patogenai. Jie gali patekti į anksčiau pažeistus ąžuolo audinius dėl biotinių ar abiotinių priežasčių [26]. Pastaruoju metu kelios oportunistinių grybų rūšys sulaukė didesnio susidomėjimo dėl jų gebėjimo ilgą laiką kolonizuoti ąžuolų audinius kaip endofitai, nesukeliant ligos požymių [27]. Įprastai sveiki medžiai patys susitvarko su šiais endofitais [28]. Tačiau, esant silpniems medžiams dėl aplinkos veiksnių, buvę grybai gali kolonizuoti gretimus audinius ir medis palaipsniui nyksta bei galiausiai miršta [29]. Dažnėjančios ir stiprėjančios sausros bei kylanti temperatūra palankiai veikia labiausiai termotolerantiškus kamštinių ąžuolų ligų sukėlėjus. Esant kai kuriems iš šių patogenų ir nepalankiems klimato veiksniams, kamštiniai ąžuolai pradeda nykti ir galiausiai miršta [30].

Ąžuolo nykimas dažnai vadinamas daugiafaktorine liga, kuri susijusi su įvairiais sąveikaujančiais abiotiniais ir biotiniais veiksniais, tokiais kaip sausra, šalčiai, kenkėjai vabzdžiai ir patogenai. Šie veiksniai skiriasi savo rūšimi, intensyvumu, dažnumu ir net regionu, kuriame jie pasireiškia [31, 32]. Tačiau buvo įrodyta, kad *Diplodia* ir *Phytophthora* genčių ligos stipriai paveikė įvairias aplinkas ir turėjo didelę įtaką ąžuolų nykimui ir mirtingumui.

1.1.4.2 Klimato kaita

Globalinis atšilimas turi didelę įtaką miškų būklei visame pasaulyje [35]. Viduržemio jūros regione jis siejamas su pakilusia vidutine temperatūra ir sumažėjusiu metinių kritulių kiekiu, kuris nereguliariai pasiskirsto per sezoną, taip iššaukdamas sausras [36]. Klimato kaita taip pat gali paveikti kamštinių ąžuolų giraites, keisdama jų augimą ir padidindama medžių mirtingumą. Ji taip pat turi įtakos kamštinės žievės augimui ir kokybei [37, 38]. Jau įrodyta, kad aukšta oro temperatūra ir sausros neigiamai veikia kamštinių ąžuolų augimą [39]. Todėl, taikant tvarios miškininkystės standartus, pvz., optimizuojant nužievinimo grafikus, mažinant nužievinimo plotus ir didinant medžių tankumą, įmanoma pagerinti kamštinės žievės augimą klimato kaitos sąlygomis [40]. Kadangi kamštiniai ąžuolai yra unikalūs, tvarios miškininkystės standartų ir aktyvių intervencijų skatinimas, paremtas

miškų apželdinimo iniciatyvomis, turi tapti svarbiu elementu vietiniu ir regioniniu mastu siekiant išsaugoti biologinę įvairovę ir ekosistemų funkcijas [41].

Tačiau klimato kaita paveikia ne tik kamštinius ąžuolus, bet ir daugelį kamštinio ąžuolo patogenų. Šie patogenai yra paveikti ir taip pat turi įtakos egzistencijos terpei. Kita vertus, klimato kaita gali turėti skirtingą poveikį įvairiems patogenams, tačiau literatūros apie jų prisitaikymą prie klimato vis dar yra mažai [42].

Yra daug veiksnių, kurie turi įtakos patogenų išgyvenimui ir plitimui, tarp jų oro temperatūra, krituliai, santykinė drėgmė, šviesa, lapų drėgnumas, dirvožemio drėgnumas, saulės spinduliuotė, atmosferos turbulencija ir kt. Pietiniame Iberijos pusiasalyje, kur oomicetas *Phytophthora cinnamomi* yra svarbi kamštinio ąžuolo nykimo priežastis, užsitęsios sausros ir drėgni sezonai, kartu su niūriomis vietovėmis, tokiomis kaip nederlingi dirvožemiai, pasižymintys mažu fosforo kiekiu ir prastai nusausinti dirvožemiai, bei palankios ligų plitimui terpės, pavyzdžiui, medynai esantys į pietus nukreiptoje kalvotoje vietovėje, sudaro idealias sąlygas patogenams [31]. Atsižvelgiant į dabartines klimato kaitos prognozes, kurios numato kylančią vidutinę temperatūrą ir ekstremalių klimato reiškinių dažnį, tokių kaip sausrų, potvynių ir audrų, Europoje tikėtina, kad *Phytophthora* šaknų puvinių padaugės, o tai padidins ąžuolų miškų nestabilumą ir čia įsikūrusių ekosistemų pažeidžiamumą [43].

Be to, stiprūs fiziologiniai pažeidimai mažina medžių gyvybingumą, todėl jie tampa jautresni parazitams. Patogeniniai endofitai, tokie kaip *Brevundimonas mediterranea*, drauge su užsitęsusiomis sausromis, padidina infekcijos riziką ir yra siejami su kamštinių ąžuolų nykimu [32]. Dėl nepaprastai sausų metų Viduržemio jūros regione, ekologinis poveikis įvairiems miško medžių tipams dėl ksilarinių grybų akivaizdžiai padidėjo [6]. Reikia atlikti papildomų tyrimų, siekiant nustatyti padidėjusios temperatūros ir sausrų poveikį kai kurioms kamštinių ąžuolo ligų rūšims, būdingoms savybėms ir populiacijos dinamikai.

1.2 Kamštinės žievės išgavimas

Kamštienos išgavimas arba nužievinimas yra senovinis ir fizinis procesas, kurio metu medžio žievėje yra įpjaunami dideli stačiakampio formos plotai, vėliau jie yra lupami nuo medžio. Šiam procesui reikia kruopščių ir patyrusių rankų, siekiant išvengti bet kokios žalos medžio žievei. Procedūros metu naudojamas felogeno trapumas ir naujai išsivystę kamštienos ląstelių sluoksniai, siekiant pašalinti žievę nuo medžio nepažeidžiant vidinės žievės ar kambio. Dėl to šis procesas yra išskirtinai sezoninis – jis atliekamas vėlyvą pavasarį ir vasaros pradžioje, kuomet kamštienos ąžuolas yra fiziologiškai aktyvus. Vidutiniškai kamštinį ąžuolą galima lupti 15–18 kartų per gyvavimo laikotarpį, tačiau tai galima daryti tik kas devynerius metus. Pirmasis nužievinimas (pirminis žievės lupimas) įvyksta medžiui sulaukus 25 metų. 34–ais medžio gyvavimo metais vyksta antrasis nužievinimas, o sulaukus 43 metų išgaunama reprodukcinė kamštiena, kuri pasižymi idealiomis savybėmis gaminant geriausios kokybės kamščius.

Kamštinių ąžuolų nužievinimo procesas susideda iš penkių žingsnių:

1. Žievės paruošimas – kamštinė žievė atskiriama nuo stiebo, kirvuku įpjauant vertikaliai ir išilgai matomiausio griovelio.
2. Atskyrimas – žievė atskiriama sukant kirvio kraštą tarp žievės ir stiebo.
3. Įpjovimas – horizontaliu įpjovimu nustatomas nuo medžio lupamos kamštinių žievės plotis.
4. Išgavimas – pasirinktas plotas švelniai lupamas nuo medžio, kad nesulūžtų. (Kuo didesnis plotas, tuo jis komerciškai vertingesnis.)
5. Atliekų pašalinimas – medžio apačioje lieka šiek tiek kamštinių fragmentų, kurie daug kartų sukalami plaktuku, kad būtų išnaikinti galintys atsirasti parazitai.

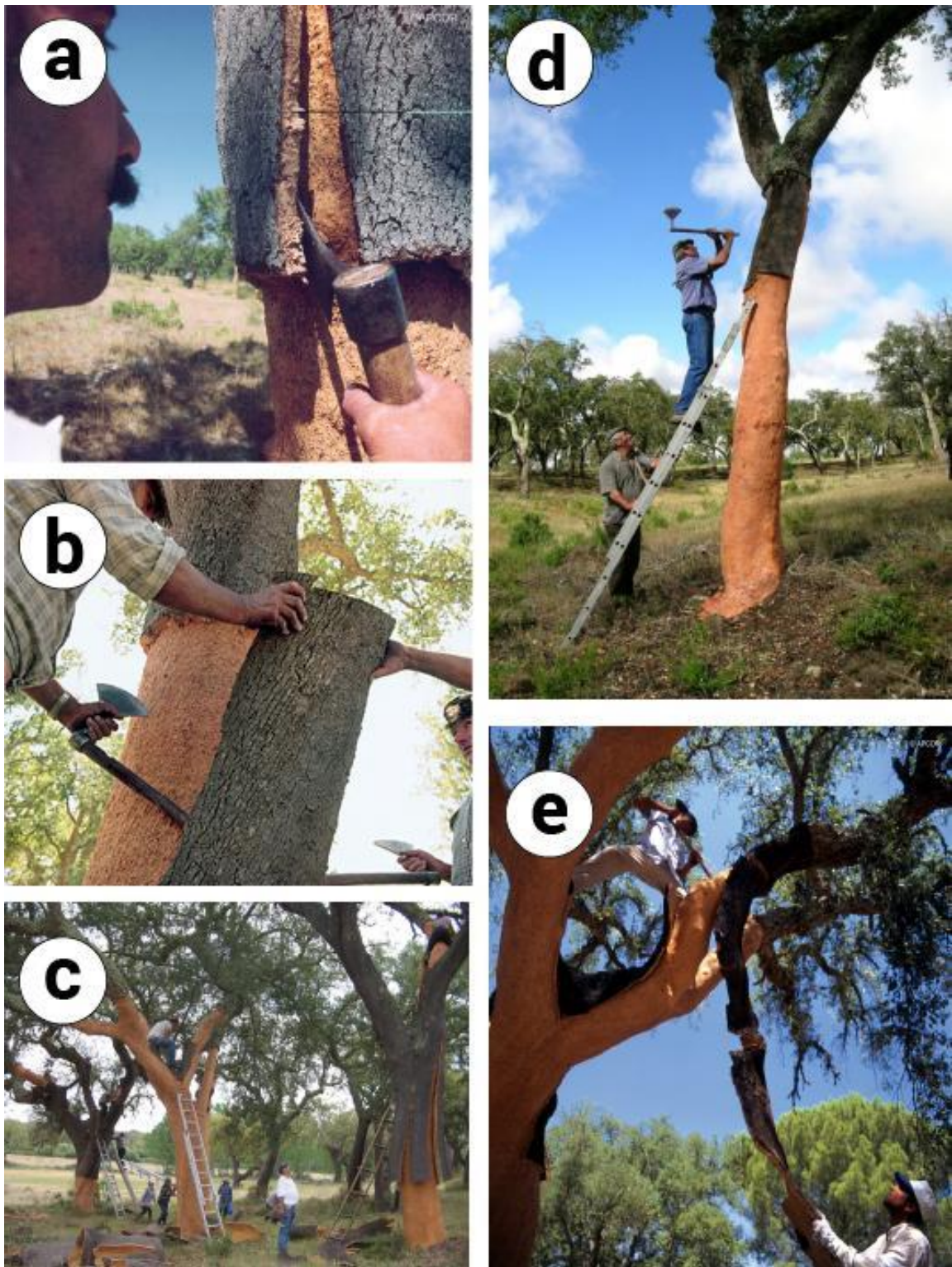
Pramoniniai reikalavimai žaliavai yra lemiami konkrečiu panaudojimu, kuris šiuo metu daugiausia orientuotas į kamščių gamybą. Todėl svarbu, kad kamštinė žievė būtų tinkamo storio (t. y. ne mažesnio kaip 27 mm) ir neturėtų reikšmingų trūkumų, pvz., didelių pertrūkių (t. y. gilių įtrūkimų). Tai yra pagrindinės priežastys, kodėl pirminė ir antrinė žievė, gauta atitinkamai iš pirmojo ir antrojo nužievinimo, nėra tinkama kamščių gamybai.

1.2.1 Nužievinimo procesas

Žievė lupama peridermos veiklos metu, kai išbrinksta felogeno motininės ląstelės ir naujai sukurtos heleminės ląstelės, o ląstelių sienelės yra plonos ir silpnos. Pirmiausia atliekami įpjovimai, tada žievė paimama ir lupama. Pakanka švelnios jėgos radialine kryptimi, kad žievė būtų atskirta felogeninės aktyvios zonos lygyje. Šios operacijos laikas yra labai svarbus siekiant išvengti pažeidimo pagrindiniam floemui ir kambui. Todėl kamštinės žievės lupimas apsiriboja didžiausiu felogeno aktyvumo laikotarpiu, kuris paprastai būna nuo gegužės vidurio iki rugpjūčio pradžios. Orai nulemia nužievinimo periodą, todėl operacijos gali būti atidėtos ar suplanuotos. Kaip matyti iš ūglių ir lapų formavimosi, naujo pavasario augimo pradžia paprastai yra medžio fiziologinio aktyvumo požymis ir būtina sąlyga planuojant nužievinimo procesą. Vienas iš įprastų metodų yra įvertinti, kaip lengvai galima išgauti kamštinę žievę iš kelių kamštinių ąžuolų. Kai šis procesas nekelia sunkumų, nužievinimas gali būti atliekamas įprastais metodais. Tačiau jei nužievinimas vyksta naudojant per didelę jėgą,ambio lygyje gali atsirasti įtūkimas, kuris gali padaryti negrįžtamą žalą. Be to, dėl kintančios medžių fiziologinės būklės, gali būti atvejų, kai kai kurių medžių žievė, nužievinimo metu, neatsiskirs. Tai gali atsitikti, jei medžiai yra susilpnėję ar serga. Be to, žievės gali nepavykti nulupti ir tik iš tam tikrų stiebo dalių, dėl dalinio vainiko nusilpimo. Todėl nužievintojų žinios yra labai svarbios norint sėkmingai techniškai užbaigti žievės lupimą, priimant reikiamus sprendimus.

Nužievinimas vyksta rankiniu būdu. Įprastai prie medžio dirba du žmonės. 1.9 paveiksle pavaizduotas šis procesas. Žievei atskirti yra naudojamas kirvis su lenktu pjovimo peiliuku ir pakankamai ilga medine rankena su kalto galu. Nužievinimo procesas prasideda horizontaliu pjūviu per medžio perimetrą maždaug krūtinės aukštyje arba šiek tiek aukščiau, po to du ar trys vertikalūs pjūviai, priklausomai nuo medžio dydžio. Pjovimas atliekamas subalansuojant kirvį ir sureguliuojant stiprumą,

kad jis perpjautų kamštienos sluoksnį, bet neprasiskverbtų į vidinę žievę. Vėlesni pjovimo judesiai eina tiesia linija arba aplink stiebą. Kamštienos sluoksnis atskiriamas įkišus kirvį į pjūvį ir nulupant. Toliau ištraukiama žievė. Kamštienos juostelė, besiliečianti su dirvožemiu apatiniame stiebo gale, pašalinama, paliekant švarų, nuluptą paviršių. Technika panašiai kartojama aukštyje iki medžio stiebo ir pagrindinių šakų, kol pasiekiamas nužievinimo pikas. Medinės kopėčios, kurias šiais laikais pakeitė aliumininės, yra naudojamos siekiant pasiekti viršūnes medžio šakas. Nužievinimas yra gana greitas procesas, kai jį atlieka kvalifikuoti darbuotojai su komanda (ją sudaro 2 žmonės). Per dieną išgaunama apie 900 kg [4]. Nužievinant didelius medžius trumpais stiebais ir keliomis išsišakojusiomis didelėmis šakomis gali būti pasitelkiamos ir kelios nužievinančių grupės, kurių darbas turi vykti nuo apačios į viršų, stovint ant medžio šakų, kaip pavaizduota 9c paveiksle. Šie medžiai išaugina nemažą kamštienos kiekį, sveriantį kelis šimtus kilogramų. Vistlerio medis yra didžiausias ir seniausias Portugalijos kamštinis ąžuolas, kuris yra įrašytas į Gineso rekordų knygą kaip didžiausias pasaulyje ąžuolas, sveriantis 102 tonas. 2000 m. jis buvo nužievinamas, o tuo metu užaugino 650 kg kamštienos. Ankstesnis kamštienos derlius buvo nuimtas 1991 m. ir sudarė 1,2 tonas [44].



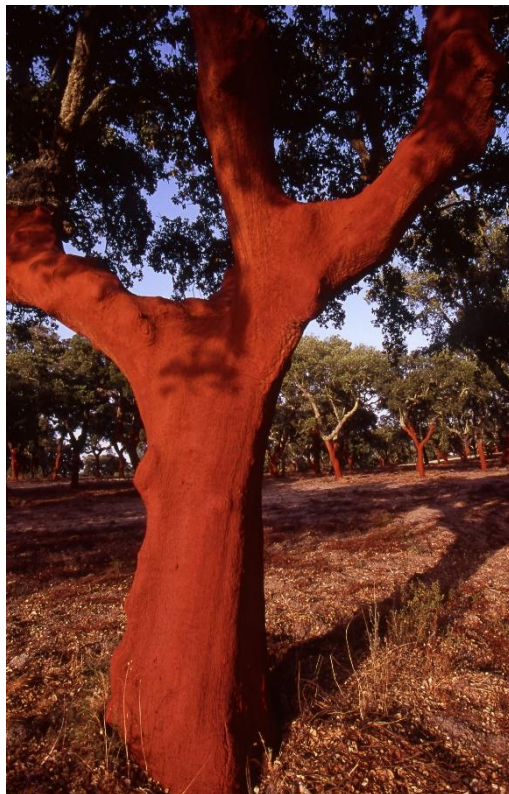
1.9 Pav. a) Kirviu įpjauinama žievė – horizontalūs ir vertikalūs įpjovimai; b) kirvio rankena naudojama kamštinei žievei atskirti; c) nužievinimo proceso apžvalga; d) viršutinės dalies nužievinimui pasitelkiamos kopėčios; e) Šakų pašalinimas (šaltinis: APCOR© [1]).



1.10 Pav. Traktorius, pakrautas kamštine žieve (šaltinis: APCOR© [1]).

Kamštienos nuėmimo darbus atlieka didelė grupė darbuotojų (apie 100 žmonių), dauguma jų specializuojasi kamštienos lupimo srityje. Be kamštienos nuėmimo specialistų, šią grupę sudaro vadybininkas ir asmenys, kurie renka ir gabena žievę į sutartą vietą, taip pat asmenys, kurie krauna šią žievę. 1.10 paveiksle parodyta, kaip žievė yra keliami nuo žemės ir kraunama į traktorių. Kamštienos nuėmimas yra vaizdingas įvykis, išsiskiriantis šių regionų kultūrinėje ir socialinėje praeityje. Kamštiena dažnai sutinkama rankų darbo dirbiniuose, pvz., keramikoje ir rankomis tapytose plytelėse. Bandyta automatizuoti kamštienos nuėmimo procesą. Nors buvo taikomi ir sudėtingesni metodai, pvz., naudojant aukšto slėgio vandens srovę arba lazerio spindulį, vis dėlto jų buvo atsisakyta dėl praktinių ar ekonominių priežasčių. Be to, lupimo darbams atlikti buvo siūlomi ir kai kurie rankomis nešiojami motoriniai pjūklai, jie buvo išbandyti lauke [45]. Nors jų pasitelkimo principas apsiriboja vertikaliais trumpo stiebo išpjovimais, jie yra daug žadantys, atsižvelgiant į pjovimo tikslumą ir eksploatacines išlaidas.

Iškart po to, kai nulupama žievė, kamštinio ąžuolo stiebas atrodo rudo aukso spalvos ir yra glotnus. Vėlesnėmis savaitėmis jis tamsėja ir galiausiai įgauna tamsiai rausvą spalvą, nes išoriniai floemos audiniai greitai išdžiūsta ir paverčia stiebo struktūrą šiurkščia, kaip parodyta 1.11 paveiksle. Ilgus metus veikiant oro sąlygoms, stiebas tampa tamsiai pilkšvai rudas ir dar šiurkštesnis, su giliomis duobutėmis, kurių gylis priklauso nuo po stiebu esančio sluoksnio augimo intensyvumo.



1.11 Pav. Kamštinio ąžuolo stiebo išvaizda nuėmus žievę (šaltinis: APCOR© [1]).

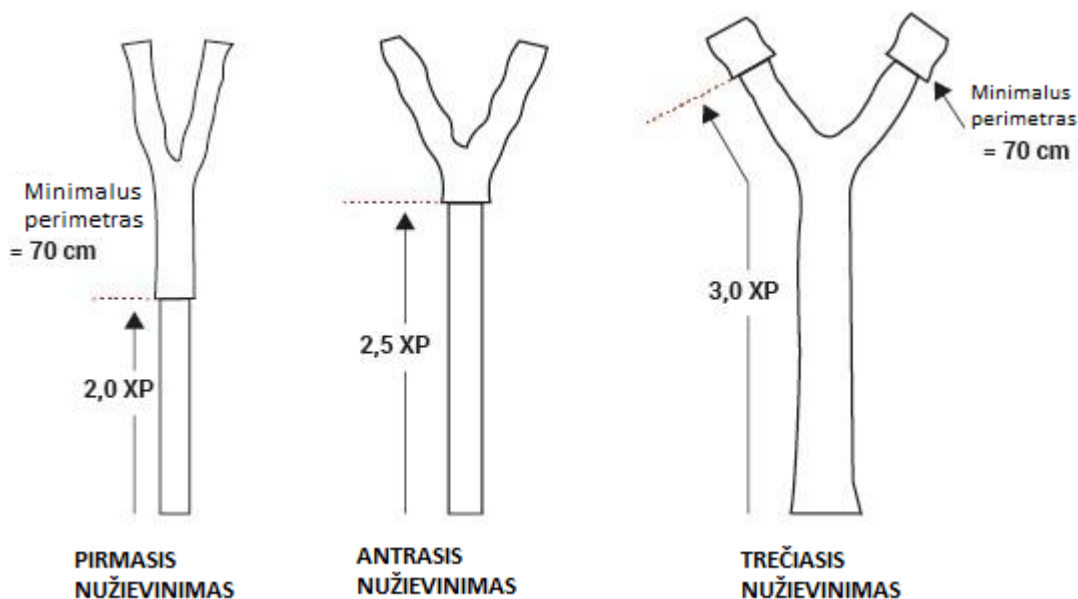
1.2.1.1 Nužievinimo intensyvumas

Žievės lupimo intensyvumas apibrėžiamas kaip pašalintos žievės plotas, proporcingas medžio dydžiui. Nužievinimo koeficientas, remiantis 1.1 lygtimi, apibrėžiamas kaip santykis tarp nužievinimo aukščio ir kamštinio ąžuolo apimties krūtinės aukštyje (PBH), kuris yra 1,3 metrų aukštyje, kaip nurodyta [45].

$$\text{nužievinimo koeficientas} = \frac{\text{nužievinimo aukštis}}{pbh_{\text{apintis}}} \quad (1.1)$$

Teisės aktai ar geros praktikos procedūros riboja nužievinimo koeficiento dydį. Portugalijoje didžiausias nužievinimo koeficientas yra reglamentuojamas įstatymu [4] ir priklauso nuo medžio išsivystymo stadijos: 2,0, 2,5 ir 3,0 atitinkamai pirmajam, antrajam ir vėlesniems žievės lupimams, kaip parodyta 1.12 paveiksle. Kamštienos negalima lupti tol, kol medžio apimtis krūtinės aukštyje nepasiekia 70 cm (22 cm skersmens). Šis ribojimas taikomas ir medžio šakų nužievinimui. Ispanijoje apribojimas yra 60 cm perimetro krūtinės aukštyje (19 cm skersmens). Kai nuo kamštinio ąžuolo

pašalinamos šakos, nužievinimo aukštis apima stiebo aukštį ir šakos ilgį, kuris matuojamas išilgai ilgiausios nužievinamos šakos. Žievės amžius priklauso nuo radialinio augimo, tačiau visuotinai pripažinta, kad reikiamas skersmuo susidaro per 20–25 metus įprastomis auginimo sąlygomis arba per 30–40 metų mažiau palankiomis sąlygomis.



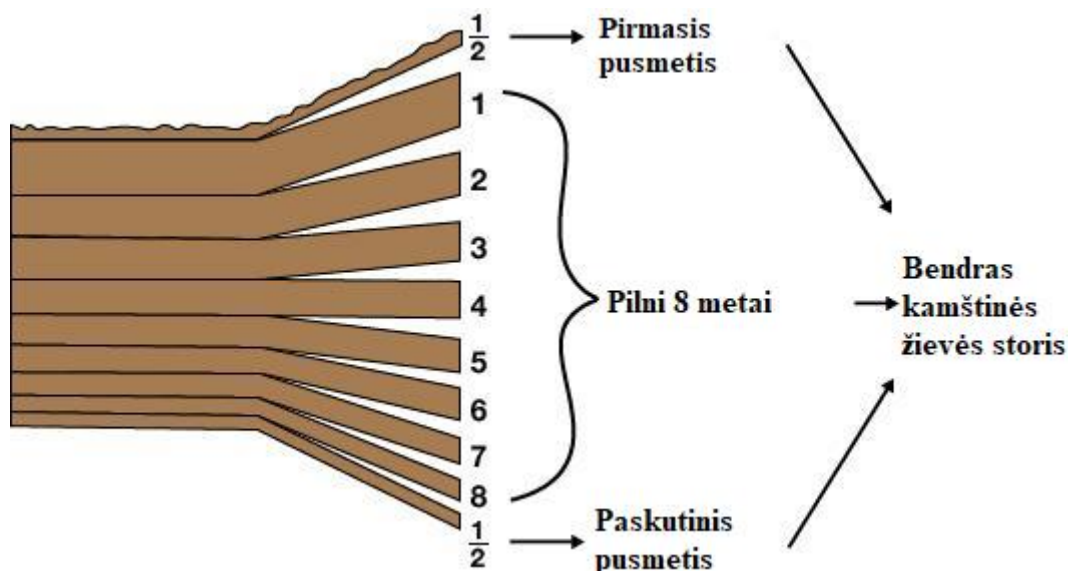
1.12 Pav. Trys kamštinio ąžuolo nužievinimo etapai (pritaikyta iš [46]).

Intensyvumo ribos nustatytos remiantis patirtimi ir empiriniais samprotavimais, kurių tikslas – apskaičiuoti kamieno ir šakų paviršiaus procentinę dalį, kurią medis gali toleruoti netekęs peridermos ir nepakenkdamas savo gyvybingumui. Kamštienos šalinimo intensyvumas priklauso nuo lupimo dažnio, kuris apibrėžiamas kaip metų skaičius tarp dviejų nužievinimų ir vadinamas kamštinės žievės auginimo ciklu. Deja, nėra tyrimų, kurie įvertintų kamštinio ciklo trukmės įtaką medžių augimui. Vis dėlto, kamštienos augimas viso ciklo metu buvo išsamiai ištirtas, todėl paaiškėjo, kad ciklo trukmę lemia būtinybė pasiekti tam tikrą kamštinės žievės storį, kad vėliau ją galima būtų naudoti pramonėje. Todėl ciklo trukmė gali skirtis priklausomai nuo vidutinio metinio kamštienos prieaugio įvairiose regionuose. Didžiojoje Portugalijos ir pietų Ispanijos dalyse maždaug per devynerius metus pasiekama 3–3,5 cm storio, tačiau Katalonijoje, Ispanijoje ir Pietų Prancūzijoje tokią reikšmę pasiekti prireiks daugiau nei penkiolikos metų.

Portugalijoje ir Ispanijoje nustatytas devynerių metų minimalus laikotarpis tarp nužievinimų. Amžių galima nustatyti suskaičiavus kamštinio medžio pjūvio žiedus, o išgavimo metai skaičiuojami kaip pusmetis, kaip parodyta 1.13 paveiksle. Kamštiena miške gali būti išgaunama vienu metu iš visų medžių (tolygaus amžiaus kamštiena) arba iš dalies medžių (netolygaus amžiaus kamštiena).

Dviejų ciklų nužievinimas yra taikomas nevienodo amžiaus kamštienos miškuose, o atskirų medžių ir giraičių nužievinimas priklauso nuo skirtingų žievės amžiaus tarpsnių medelyne. Kad būtų lengviau prižiūrėti miškus, ant medžio užrašomi nužievinimo metai, balta spalva užrašant paskutinį skaitmenį.

Pavyzdžiui, jei medis buvo nužievintas 2005 m., užrašomas skaičius 5, kaip parodyta 1.14 paveiksle. Dabartinėje priežiūros strategijoje pirmenybė teikiama vienodo amžiaus kamštinių miškų nužievinimui, o taip pat dviejų ar trijų amžiaus grupių kamštinių medžių nužievinimui dideliuose miškuose.



1.13 Pav. Schema (pritaikyta iš [7]) naudojama žiedų skaičiavimui kamštinės žievės pjūvyje siekiant nustatyti jos amžių.

Istoriškai taip pat praktikuotas dalinis stiebo nužievinimas, kai per vienerius metus buvo nužievinama apie pusę stiebo aukščio, o po 4–5 metų nužievinamas likęs plotas. Taip vienas medis turėjo du kamštinės žievės nuėmimo ciklus, kuriuos skyrė 3–5 metų laikotarpis. Šiuo metu tokia praktika draudžiama arba labai nerekomenduojama, nes pakartotinai pjaunant tą pačią stiebo dalį susidaro žaizdų reakcijos, kurios apjuosia stiebą ir dėl to išgaunamos kamštinės žievės kokybė tampa prastesnė. Vis dėlto šie ąžuolai tebėra labai būdingi montado aplinkai.



1.14 Pav. Kamštinės žievės lupimo metų nuoroda (šaltinis: APCOR© [1]).

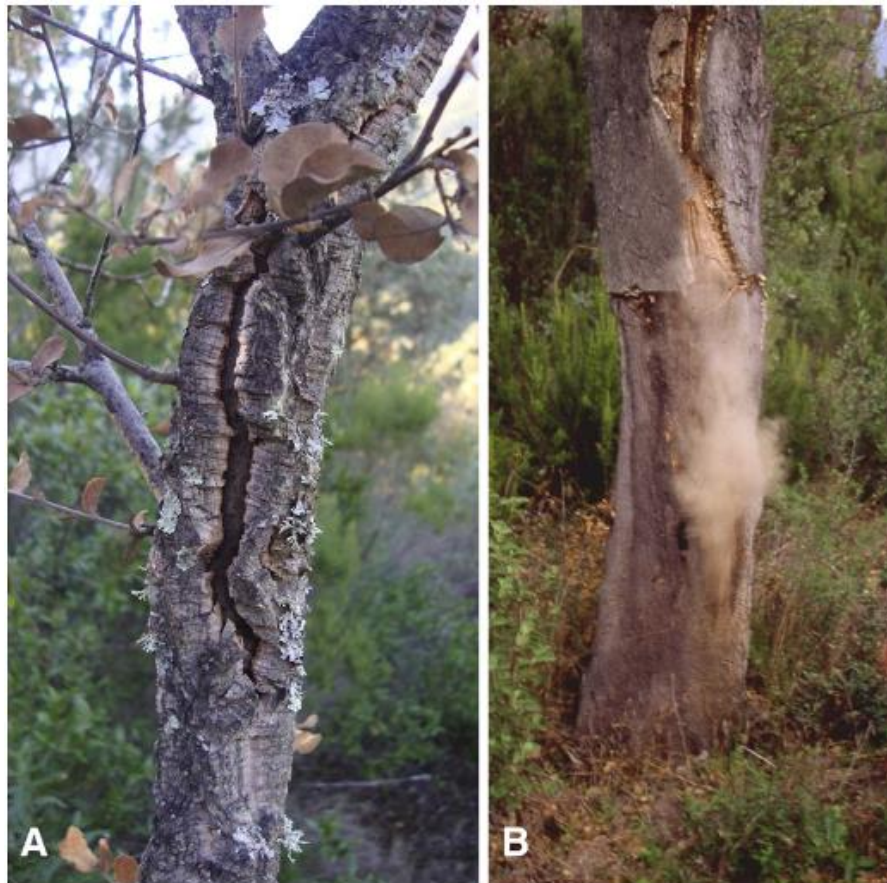
1.2.1.2 Nužievinimo įtaka medžio augimui

Žinoma, kad kamštinės žievės lupimo darbininkai turi būti įgudę ir atsargūs, kad nepakenktų medžiui. Pjūvis turi būti stiprus ir greitas, bet ne per galingas, kad kamštiena nesugertų didžiosios dalies jėgos ir pjūvis nepatektų į floemą ar kambį. Medžio sužeidimai, atsiradę nužievinimo metu, tampa infekcijų ir biologinių užkratų patekimo taškais. Medis reaguoja į šiuos veiksnius formuodamas ant stiebo nelygumus, kurie gali susiformuoti per trumpą laiką. Šie nelygumai yra tarsi riba tarp nužievinto ploto atliekant frakcinį žievės šalinimą. Pjūviai atliekami pagal tas pačias linijas, taigi pažeistose vietose išgaunami mažesni kamštinės žievės kiekiai, dėl to vėlesni nužievinimai tampa sudėtingesni o tikimybė, kad medis bus pažeistas išauga. Šis reiškinys yra nagrinėtas ir apie jo žalingą poveikį medžiui ir augimui rašoma literatūroje. Tyrimai parodė, kad pažeistų medžių radialinė plėtra sumažėjo maždaug 13%, lyginant su nepažeistais medžiais, o kamštienos gavybos apimtys sumažėjo 14%. Toks sumažėjimas paveikė ir tolimesnį nužievinimo procesą, kuris vyko po dviejų metų [47].

Atlikus tyrimą keturiose Ispanijos Ekstremadūros regiono vietovėse, kuriuose buvo nulaužti ir nupjauti kamštiniai medžiai, nustatyta, kad daug medžių patyrė pažeidimų (nuo 31 iki 47 proc.), o *Cerambyx* vabalų sukelta žala ir skylės sutapo su vėlesne *Biscogniauxia mediterranea* sukelta grybeline infekcija (1.15 pav.) [48]. Todėl būtina samdyti aukštos kvalifikacijos darbuotojus kamštinių ąžuolų nužievinimo darbams, dezinfekuoti pjovimo įrankius tarp atskirų medžių nužievinimo darbų ir griežtai kontroliuoti patį procesą, kad išvengtume nuolat besikartojančių kamštinių ąžuolų tvarkymo problemų. Tačiau, nepaisant šių rekomendacijų, į jas dažnai nėra atsižvelgiama.

Kamštinės žievės nuėmimas tiesiogiai veikia medžio fiziologiją. Kamštinės žievės pašalinimas sukelia daugiau vandens netekimą per transpiraciją nuo stiebo, o stomatai greitai užsidaro. Po 24 valandų

stomatai tampa neveiksmingi, taigi sutrinka medžio maitinimosi procesai, ir tik po 24–30 dienų jie atsigaus. Šiuo laikotarpiu susidaro trauminis felogenas, o keli kamštinės ląstelių sluoksniai apsaugo aktyvųjį floemą nuo papildomo vandens netekimo. Kadangi šis procesas reikalauja daug išteklių, sumažėja kamieno aktyvumas, o žievės augimas sustoja. Yra mažai tyrimų, kurie nagrinėja kamštinių medžių nuėmimo poveikį radialiniam augimui. Kadangi sunku stebėti kamštinio ąžuolo metinius žiedus ir nustatyti nužievinimo poveikį medžio augimui, nežinoma, kaip nužievinimas veikia medienos radialinį augimą. Tačiau tyrimai rodo, kad medienos anatomija pasikeičia po to, kai medis pradeda auginti kamštine žieve. Mediena tampa tankesne, su mažesnėmis ląstelėmis, daugiau skaidulų ir mažiau parenchimos, medienos elementai pasiskirsto netolygiai [48]. Taip pat pastebėta, kad brandžių medžių kamštinės žievės prieaugis sumažėja maždaug 15% per 9 metų augimo ciklą [49]. Tačiau jaunų medžių, augančių palankiomis sąlygomis, nužievinimas neturėtų reikšmingai paveikti jų bendro radialinio augimo [13].



1.15 Pav. *Biscogniauxia mediterranea* kamštinis ąžuolas: a) stromatai, prasiskverbiantys per žievę ir dažantys ją juodai; b) sporų vėžys, esantis apatinėje kamieno dalyje (nuotrauka iš [43]).

1.2.2 Veiksmai po derliaus nuėmimo

1.2.2.1 Sandėliavimas miške

Kamštienos nuėmėjai palieka nuluptą žievę ant žemės, o vėliau ji yra išvežama traktoriumi ir sukraunama lauke. Stačiose vietovėse, kuriose yra sudėtingas privažiavimas, kamštinė žievė gabenama naudojant juostinį traktorių ar mulus, kaip pvz. Ispanijoje.

Kamštinės žievės krūvų sudarymas yra kruopštus procesas, kuris prasideda nuo vietos parinkimo – lygios, sausos ir lengvai pasiekiamos vietos yra geriausios. Kamštinė žievė, kuri atitinka stiebo formą, nuimama ir sudedama kamštine nugarėle į viršų. Ji yra kruopščiai išdėstoma taip, kad naudojant taisyklingos formos žievę būtų sukurta tiesi ir tvirta išorinė krūvelės siena. Į krūvos vidų dedamos netaisyklingos formos ir mažesnio pločio žievės. Krūvelių matmenys skiriasi, tačiau paprastai jos būna 8–10 metrų pločio, 2–2,2 m aukščio ir 30–50 m ilgio. Krūvos suformuojamos vos žievė yra atvežta iš miško. Todėl joje pasitaiko skirtingo storio ir kokybės kamštienos, juk ji dar nebuvo suskirstyta į segmentus. Atskiros krūvos sukraunamos iš kamštinės žievės lentų, kurios turi mažiausią 400 cm² paviršiaus plotą. Kamštinė žievė skirstoma į pirmojo ir antrojo nužievinimo kamštinę žievę.

Kamštinės žievės krūvų meistrai yra kvalifikuoti specialistai, kurie formuoja krūvas žinodami, kad būsiami pirkėjai jas apžiūrės. Iš tiesų, kamštinės žievės komercializavimas ir susitarimas dėl kainos nustatomas vizualiai apžiūrėjus krūvas. Nors kartais prieš pateikiant pasiūlymą imami pavyzdžiai iš krūvos vidurio, svarbiausia yra matomos lentos, o kaina nustatoma pagal svorį, taikant 15 kg standartinį svėrimo vienetą. Tačiau, kaip nurodyta kitoje dalyje, reikia papildomai susitarti dėl kamštinės žievės sudėtyje esančio drėgnio kiekio ir su tuo susijusiomis svorio nuolaidomis. Laikymo lauke trukmė skiriasi: žievė gali būti paliekama lauke nuo kelių savaičių iki vienerių metų. Gamintojo ir užsakovo susitarimas dažnai lemia kamštinės žievės paėmimo laiką, o logistika gali turėti įtakos krūvų formavimo ir sandėliavimo laikui. Pastaruoju metu populiarėja tiesioginis kamštinės žievės pristatymas į sandėlį po nužievinimo, tačiau tokiu atveju ji vis tiek turi būti laikoma lauke, kad visiškai subręstų ir stabilizuotųsi. Tarptautiniame kamštinių medžiagų praktikos kodekse (angl. The International Code of Cork Stopper Practices (CIPR)) nustatytos griežtos šio etapo gairės, įskaitant kamštinės žievės krovimą po neužteršiančiomis medžiagomis ne trumpiau kaip šešis mėnesius [50].



1.16 Pav. Kamštinės žievės surinkimas lauke (šaltinis: APCOR© [1]).



1.17 Pav. Kamštinės žievės krūva (šaltinis: APCOR© [1]).

1.2.2.2 Žievės drėgnio svyravimai

Kamštienos lupimo metu susidaro tam tikras drėgmės kiekis, kas nėra netikėta atsižvelgiant į felogeno aktyvumą ir ląstelių turgidiškumą šioje vietoje. Po nužievinimo, kamštinėje žievėje yra vidutiniškai apie 25 % drėgmės, tačiau šis kiekis gali labai skirtis tarp skirtingų mėginių, svyruodamas nuo mažiau nei 10 % iki daugiau nei 50 % [51].

Kamštinė žievė yra drėgna viduryje, o jos kraštai sausi dėl drėgmės pripildyto audinio. Žievės sudėtyje yra mažesnis drėgmės kiekis nei medienoje, kuri buvo surinkta ją kertant, dėl mažo kamštinės žievės higroskopiskumo ir ilgo žievės ciklo išorinių peridermos sluoksnių džiovimo laikotarpio. Kambario temperatūroje žievė greitai netenka drėgmės, o praėjus maždaug devynioms dienoms, lauke sukrautose krūvose, jos turėtų likti mažiau nei 14 % ir tuomet ji bus priskiriama komercinei sausiai kamštienai. Kamštinės žievės drėgmės lygis gali skirtis nuo mažiau nei 10 % iki daugiau nei 50 % įvairiuose mėginiuose. Visiškai subalansuotos kamštinės žievės drėgmės lygis yra 6–10 %. Kamštinės žievės laikymas lauke krūvose neturi įtakos žiedų pločiui ir lentų poringumui.

Kamštinės žievės krūvos pardavimo metu paprastai susitariama dėl kainos, kuri priklauso nuo krūvos svorio. Tačiau, jei kamštinei žievei, vežamai iškart po nuėmimo arba netrukus po to, taikoma 20 % drėgmės kiekio nuolaida, kainos derinimas gali tapti sudėtingesnis. Tam tikrose situacijose galima įvertinti faktinį drėgmės kiekį ir apskaičiuoti drėgmės ir kamštinės žievės svorio santykį, kuris padeda nustatyti tikrąją kamštinės žievės kainą. Pavyzdžiui, jeigu nužievinimo metu kamštinės žievės drėgnumas yra 25 %, po devynių dienų – 14 %, o po mėnesio – 10 %, 100 kg sausos kamštienos (0 % drėgnumo) sveria atitinkamai 125, 114 ir 110 kg. Tai reiškia, kad drėgmės kiekio „nuolaida“ nuo svorio būtų tokia: a) absoliučiai sausiai kamštinei žievei – 20, 12,3 ir 9,1 % sveriant iš karto po nužievinimo, po devynių dienų ir po mėnesio, atitinkamai; b) kamštinė žievė išdžiovinta oru (įprastas

metodas), o jos drėgmės lygis siekia 10 %, 10, 2,3 ir 0 % sveriant iš karto po nužievinimo, po devynių dienų ir po mėnesio, atitinkamai.

1.2.2.3 Sandėliavimas ir pasiruošimas perdirbimui

Pramoninės gamyklos tradiciškai turi atvirą erdvę kamštinei žievei laikyti. Kamštinių žaliavų sandėliavimo vieta turi nedidelį nuolydį ir yra cementuota, kad vanduo nesusikaupytų prie žemės paviršiaus ir nesukeltų mikrobu dauginimosi ar žievės užterštumo. Šios atsargumo priemonės yra svarbios, nes vyno kamščiai, pagaminti iš kamštienos, gali turėti svarbią įtaką vyno kokybei.

Kamštinės žievės žaliavų krūvos gamyklos kieme gali būti išdėstytos taisyklingai (1.18 pav.) arba atsitiktinai (1.19 pav.), priklausomai nuo to, ar jos kraunamos tiesiogiai iš sunkvežimio ar dėliojamos atskirai. Gamykloje stengiamasi išlaikyti kamštinių žaliavų kokybę, todėl krūvos yra atskiriamos pagal jų kokybę, kad būtų galima stebėti kamštienos kilmę pramoninio proceso metu.



1.18 Pav. Taisyklingai lauke sandėliuojama žievė (šaltinis: APCOR© [1]).



1.19 Pav. Iš sunkvežimio iškrauta žievė (šaltinis: APCOR© [1]).

Sandėliavimo trukmė labai priklauso nuo pramoninio proceso reikalavimų, susijusių su žaliavų ir medžiagų kiekiu. Istoriskai buvo taikomas ilgas, iki dvejų metų laikotarpis kamštinių žievės sluoksnių cheminiam ir struktūriniam stabilizavimui, bet vėliau šis laikotarpis buvo sutrumpintas iki vienerių metų. Nors daugelis empirinių standartų, įskaitant šią normą, neturi mokslinio pagrindo. Vėlesnės, virinimo vandenyje, operacijos lėmė struktūrinių įtempimų atsipalaidavimą, o vidinių kamštinės žievės sluoksnių džiuvimas ir medžiagų apykaitos produktų oksidacija ore vyko lauke, turint omenyje, kad pastaroji vyksta tik keliuose laštelių sluoksniuose, esančiuose netoli felogeno. Šiuo metu, remiantis oficialia praktika, rekomenduojamas šešių mėnesių sandėliavimo terminas. Tačiau dėl ekonominių ir logistinių veiksnių, susijusių su kamštinės žievės gamybos sezoniškumu ir itin brangiomis žaliavomis, žaliava dažnai perdirbama trumpesniais sandėliavimo laikotarpiais. Laikymo trukmė neturi įtakos kamštinės žievės žiedų pločiui, poringumui ir mechaninėms kamščių savybėms, kaip rodo tyrimas, kurio metu buvo nagrinėjama žievės sandėliavimo lauke trukmė nuo nulio iki šešių mėnesių [52].

Paruošimas pramoniniam perdirbimui vyksta sandėliavimo aikštelėje, kur žievė sukraunama ant palečių siekiant vėliau ją virinti vandenyje. Šios procedūros metu žievė, kurios kokybė akivaizdžiai prasta yra atmetama, ji apibrėžiama kaip kamštinės žaliavos atliekos, taip pat atsisakoma ir kamštinės žievės, kurioje yra pelėsio ar geltonų dėmių. Kartais žievė iš žemiausios kamštinio ąžuolo stiebo dalies turi kamštinę apykaklę (*angl.* cork collar), kuri buvo dirvožemyje ties medžio šaknų sandūra, ji vadinama pamatu (*angl.* footer). Ši dalis nuo lentos nupjaunama maždaug dvidešimties centimetrų aukštyje, kad būtų išvengta dirvožemio mikrobu patekimo. Ši procedūra taip pat pradedama lauke prieš formuojant krūvas.

1.2.2.4 Kamštinės žaliavos rūšys

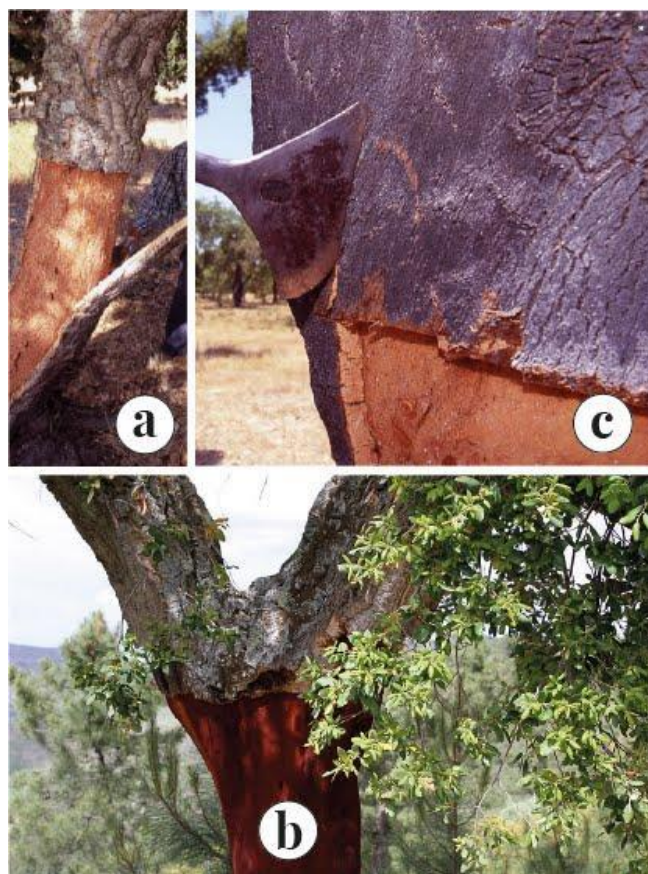
Pirmoje ąžuolo peridermoje susiformavusią pirminę žievę galima pamatyti ant jaunų medžių, pavyzdžiui, to, kuris pavaizduotas 1.20a paveiksle. Ji taip pat būdinga medžiams prieš juos

nužievinant arba brandžių ąžuolų nenuluptoms šakoms. Taigi, pirmą kartą nužievinus 25 metų medį, gaunama pirmojo lupimo žievė. Dėl nelygios struktūros ir per didelio kietumo ši kamštiena nėra tinkama kamščių gamybai. Tačiau ji naudojama kitoms paskirtims, pvz., grindų dangoms ir izoliacijai.

Po pirmojo nužievinimo nauja pažeista periderma išsivysto iki (antrojo) vėlesnio nužievinimo. Antrasis nužievinimas atliekamas praėjus devyneriems metams nuo pirmojo, o jo metu išgaunama žievė nėra tokia standi, ji turi vienodą struktūrą (žr. 1.20b pav.). Tačiau antrojo nužievinimo žievė dažnai turi gilių įtrūkimų, todėl yra tinkamesnė aglomeratams, taip pat statyboms ir kitų produktų gamybai. Reprodukcinė kamštinė žievė pavaizduota paveiksle 1.20c, ji yra vėlesnėje peridermoje – kai medžiui yra maždaug 43 metai – ir kitose, kurios gali išsivystyti vėliau. Tai žaliava, kurią pramonė naudos kamščių gamybai. Iš kamštinio ąžuolo kas devynerius metus maždaug pusantro šimto metų bus išgaunama puiki kamštiena.

Pirminė kamštinė žievė išgaunama iš jaunų medžių, kurie tik pradeda auginti subrendusias šakas. Šių šakų žievę galima lupti nuo viršaus į apačią, dėl medžio radialinio išsiplėtimo. Procesui vykstant, į stiebo viršutinę dalį įdedama pirminės kamštinės žievės juosta, kol pasiekiamas norima aukščio riba.

1.21 paveiksle pavaizduotas jaunas medis po lupimo. Jame matyti nužievinimo ribos: viršutinėje dalyje yra pirminė žievė, antroji žemesnėje dalyje, o apatinėje stiebo dalyje matyti atidengta vidinė žievė.



1.20 Pav. Trys kamštinės žaliavos rūšys: a) pirmojo lupimo žievė (šaltinis: APCOR© [1]); b) antrojo lupimo žievė (šaltinis: Gerd Eichmann [53]); c) reprodukcinė žievė (šaltinis: APCOR© [1]).



1.21 Pav. Šiame stiebe iš viršaus į apačią matyti pirminis ir antrasis lupimai bei atidengtas felogenas po nužievinimo (vaizdas iš [54]).

Pirminė kamštinė žievė gali būti išgaunama iš genėtų šakų arba jaunų medelių, kurie buvo iškirsti retinimo metu. Kadangi ąžuolai genimi žiemą, kamštinis sluoksnis tvirtai priglunda prie vidinės žievės. Kamštiena yra nuimama rankomis, naudojant nedidelį kirvuką arba mechaninę žievės šalinimo įrangą. Nepriklausomai nuo būdo, žievė yra nuimama dalimis, kurių dydžiai gali skirtis nuo kelių centimetrų iki didesnių matmenų (maždaug 20 centimetrų skirtumas), nors dalis vidinės žievės gali būti išlikusi. Ši kamštiena vadinama kamštine mediena, dar žinoma kaip žieminė kamštiena (angl. winter cork). Jos pramoninė vertė yra mažesnė, nes po šlifavimo ją būtina kruopščiai išvalyti, kad būtų pašalintos medinės dalelės iš kamštienos granulių.

Apibendrinant, galimos kamštienos (žaliavos) rūšys, kurias galima išgauti iš šių medžių, kartu su jų esminėmis savybėmis ir pramoniniu panaudojimu, pateiktos lentelėje 1.1.

1.1 lentelė. Kamštienos rūšys, išgaunamos iš eksploatuojamų ąžuolų, jų charakteristikos ir taikymas (pritaikyta iš [3]).

	Kilmė	Charakteristikos	Paskirtis
Pirminė kamštinė žievė	Išgaunama iš jaunų medžių	Būdingi gilūs įtrūkimai ir deformuota struktūra	Milteliai aglomeratams
	Išgaunama iš stiebo ir šakų, nužievinant jaunos ir subrendusius medžius, pradedant lupimą iš viršaus į apačią		
	Išgaunama iš nugenėtų nukirstų medžių šakų (rankiniu būdu, naudojant kirvį)	Didelę dalį sudaro vidinė žievė ir mediena (žieminė kamštiena)	Milteliai išplėstiniam aglomeratams
Antrinė kamštinė žievė	Išgaunama antrojo lupimo metu	Būdingi gilūs įtrūkimai	Milteliai aglomeratams
Reprodukcinė kamštinė žievė	Išgaunama pradedant trečiuoju nužievinimu	Gali būti išgaunama lupant medį arba medžiui nuvirtus, lupama kirviu. Pastaruoju atveju joje būna vidinės žievės dalių.	Kamščių gamyba atliekos, gabalėliai ir labai plonos lentos skirtos aglomeratų milteliams.
	Išgaunama iš nuvirtusių medžių (nebrandi kamštinė žievė)		

1.2.2.5 Reikalavimai pramonei

Pramonėje gaminamiems kamštienos produktams reikalingas skirtingas kamštienos kiekis ir technologinio perdirbimo lygis. Vis dėlto viso sektoriaus ekonominį pagrindumą daugiausia lemia

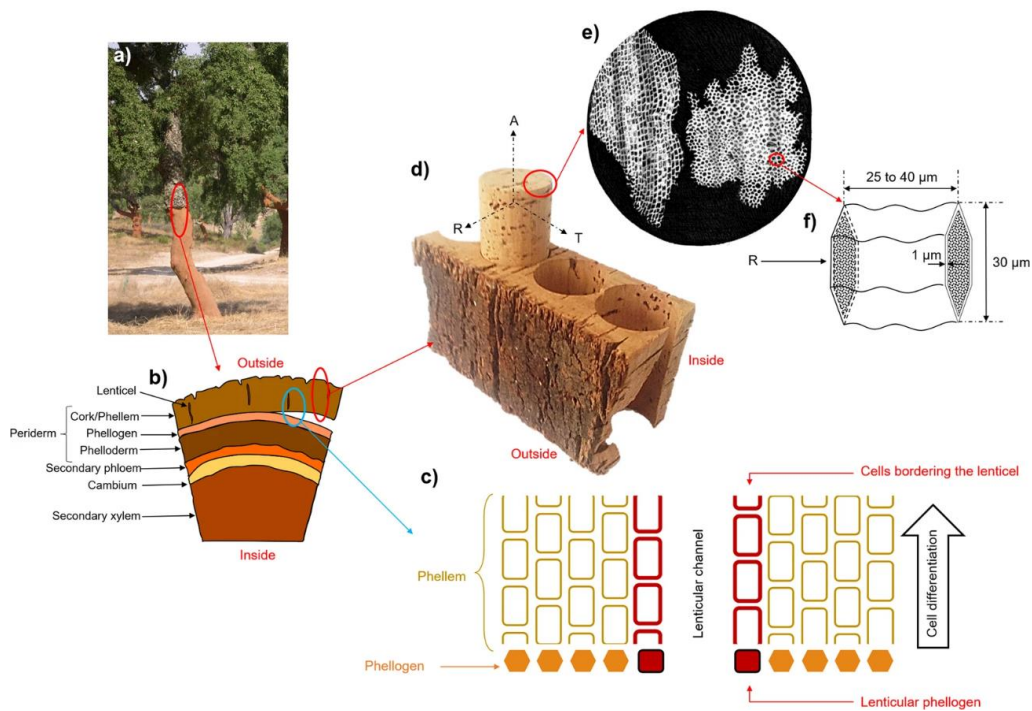
natūralių kamštinių kaisčių, skirtų vyno pramonei, gamyba. Komercinės kamštienos, kaip žaliavos, vertė ir kamštinių miškų savininkų tikslai šiuo metu yra nulemti šios žaliavos tinkamumo būtent vyno pramonei.

Nustatant žaliavos tinkamumą perdirbimui, lemiamas kintamasis yra žievės storis. Todėl įprasta, kad potencialus pramonės klientas, apžiūrėdamas kamštienos krūvas, atkreipia dėmesį į lentų storio pasiskirstymą. Skirtinguose to paties miško medžiuose ir to paties regiono miškuose išgautos žievės storis labai skiriasi. Lemiamas veiksnys yra tinkamo storio žievės partija (mažiausiai dvidešimt septynių milimetrų) tinkama kamščiams gaminti. Iš plonesnės žievės gaminami kamštiniai diskai techniniams kaisčiams, pavyzdžiui, tiems, kurie yra naudojami šampano kaisčių pramonėje.

Žievės storį lemia aplinkos sąlygos, medžio genetika ir auginimo ciklo trukmė. Storesni kamštienos sluoksniai išgaunami, kai lupimų intervalai yra ilgesni. Tai yra svarbus vadybos faktorius, kurį miškininkai gali naudoti siekdami optimizuoti produkcijos vertę, atsižvelgdami į pramonės reikalavimus. Be to, vertinama kamštinės žievės kokybė, ypač pluošto vienalytiškumas. Per didelis poringumas dėl tarpląstelinių tarpų, matomų 1.22 paveiksle, ir kiti trūkumai, pvz., įtrūkimai ar vabzdžių galerijos, ženkliai sumažina kaisčių gamybos našumą ir kokybę, todėl tokia žievė gali būti atmesta. Tokiu atveju ši kamštiena laikoma atliekomis ir perdirbama į kamštienos granules, kurias naudojamos kamštienos aglomeratų gamybai.

Kamštinės žievės matmenys priklauso nuo medžio dydžio ir nužievinimo veiksnių. Žievė yra apie stačiakampio formos, 1–1,8 m aukščio ir 0,4–0,8 m pločio. Kamštienos, iš kurios gaminami kamščiai, vidutinis aukštis yra 1,19 m, plotis – 0,47 m, o vidutinis plotas – 0,37 m² [47]. Palyginus su diskų gamybai skirta žieve, nustatyta, kad jos vidutinis aukštis yra 0,75 m, plotis – 0,35 m, o vidutinis plotas – 0,19 m² [56]. Žievė, kurios paviršiaus plotas mažesnis nei 400 cm², nepriskiriama kamštienos kategorijai ir yra kaupiama į atskiras krūvas, kurias naudojamos granuliu gamybai.

Po kamštienos virimo vandenyje, ji yra klasifikuojama pagal storį ir kokybę. Pagrindinis kriterijus yra tinkamumas kamščių gamybai.



1.22 Pav. Tarpląsteliniai tarpai kamštienos sluoksnyje: a) Kamštinis ąžuolas po nužievinimo; b) Kamštinio ąžuolo skersinis pjūvis; c) Felogeno sritis su ląstelių diferenciacija. d) Kamštinių kaiščių gamyba iš žievės (A – ašinė kryptis, R – radialinė kryptis, T – tangentinė kryptis). Galima pastebėti tarpląstelinius tarpus, išlygintus radialine kryptimi; e) Pirmasis kamštinių ląstelių stebėjimas, kurį 1665 m. atliko Robertas Hukas (Robert Hooke). f) Kamštinės ląstelės tipinė forma ir matmenys (iš [55]).

1.2.3 Kamštienos defektai ir jų padariniai

Dėl tarpląstelinių kanalų susidaro poringumas – natūrali ir svarbi fiziologinė savybė, leidžianti medžio gyvoms ląstelėms sąveikauti su išorine aplinka, ir jis negali būti laikomas defektu. Tačiau, kaip buvo minėta anksčiau, kai poringumo yra per daug, tai gali neigiamai paveikti žievės kokybę ir ją padaryti netinkamą kaiščių gamybai. Per didelis poringumas gali padidinti skysčių pralaidumą, dėl ko gali užteršti vyną arba sumažinti skysčių nepralaidumą.

Kartais kamštienoje gali būti biologinės arba išorinės kilmės požymių, kurie yra susiję su struktūriniais trūkumais. Priklausomai nuo šių požymių rūšies ir kiekio, jie gali turėti įtakos žaliavos kokybei. Tokius požymius galima suskirstyti į šias kategorijas:

- Vabzdžių galerijos: Kamštinio ąžuolo audinyje (felogeno sluoksnyje) gali susiformuoti galerijos, kurias sukuria vabzdžiai. Tai pavaizduota 1.23 paveiksle. Dažniausiai tai yra skruzdės, ypač paplitusi *Crematogaster scutellaris* Oliv. rūšis. Jos gyvena kamštinio ąžuolo žievėje ir rausia kanalus, kurie atsitiktinai driekiasi per žievinę plokštę. Galerijose dažniausiai nėra jokių atsitiktinių teršalų, tokių kaip smėlio dalelės, vabzdžių išmatos ar grybų hifos – jos būna visiškai tuščios [57]. Be to, kamščio galiniuose įtrūkimuose koleopteronai (*Coroebus undatus* F) deda kiaušinius, iš jų

išsiridenusios lervos užauga iki 3 centimetrų dydžio, maitinasi felogenu. Šių vabzdžių užpultos vietovės nėra tinkamos kamščiams gaminti.



1.23 Pav. Vabzdžių galerijos, kurias suformavo skruzdės (šaltinis: [58]).

- Vinys: 1.24 paveiksle pavaizduotas defektas, vadinamas „vinimi“, susideda iš kamštinio audinio lignifikuotų ląstelių su storomis sienelėmis, dažnai beveik be atviro luomo, ir turinčių lignoceliuliozinę cheminę sudėtį. Šie defektai atsiranda dėl kai kurių felogeno ląstelių neaktyvumo ir naujos felogeno dalies atsinaujinimo. Dėl šios priežasties jie yra kietesni, tankesni ir mažiau elastingi [6].



1.24 Pav. „Vinys“ kamštinės žievės paviršiuje (šaltinis: [58]).

- Gilūs vingiai: Gilūs vingiai gali atsirasti kamštinės žievės nugarėlėje, kaip parodyta 1.25 paveiksle. Jie driekiasi vertikaliai ir įsiskverbia į kamštinį audinį. Vingių linijos rodo audinių pažeidimą dėl tangentinio įtempimo poveikio. Dėl šios priežasties jie dažniau pasitaiko medžiuose, kurių radialinis augimo greitis yra didelis (būdingas antriniam kamštinės žievės ciklui).



1.25 Pav. Žievė su giliais vingiais (šaltinis: [58]).

- Dėmės: ant kamštinės žievės gali atsirasti įvairių dėmių, pvz., geltonų ir marmurinių. Dažniausiai jos pasirodo dėl mikrobu sukkelto poveikio. Paprastieji kelmučiai (lot. *Armillaria Mellea*) yra saprofitiniai bazidiomicetai, augantys dirvožemyje ir lignoceliuliozinėse medžiagose, jie palieka geltonas dėmes, kaip parodyta 1.26 paveiksle. Kamštinės ląstelės bandydamos apsaugoti medį nuo patogenų invazijos iššaukia žievės papilkėjimą, aplinkiniai audiniai įgauna baltai geltoną spalvą ir ryškų pelėsių kvapą. Poliniai ekstraktai pakeičia ligniną ir polisacharidus kamštinės žievės cheminėje sudėtyje. Spalvos pakitimai dažniausiai pastebimi prie stiebo pagrindo, arčiau dirvos. Todėl dėmėta kamštinė žievė nenaudojama vyno kamščių gamyboje. Kalbant apie marmurines dėmes, jos atsiranda dėl grybelio (*Melophia opiospora* Sacc) poveikio išoriniuose sluoksniuose ir aplink tarpląstelinius tarpus. Kamštiena tampa melsva. Išskyrus perforacijos vietą, kamštinės žievės ląstelės sienelės lieka nepažeistos, o susidarę hifai nedaro įtakos žievės savybėms [57]. Visgi tokia kamštiena nėra naudojama vyno kamščių pramonėje. Dėl savo atsitiktinio marmurinio dėmių pasiskirstymo ir tamsių kontūro linijų, ji gali būti naudojama dekoratyviniais tikslais.



1.26 Pav. Geltonų dėmių paveikta kamštiena (šaltinis: [59]).

- Drėgna kamštiena: kamštinės žievės defektas, kurio metu pasireiškia labai didelis drėgmės lygis (400–500 %), tačiau jo kilmė nėra žinoma. Natividade [6] teigia, kad šį defektą lemia ląstelių nepralaidumo sumažėjimas, kuris atsiranda dėl nenormalaus suberino nusėdimo antriniuose ląstelių sienelių sluoksniuose. Šis defektas dažniausiai pasitaiko naujausiuose metiniuose kamštinės žievės sluoksniuose, ypač greta žievės vidurio ir šalia stiebo pagrindo. Pagrindinis trūkumas yra pernelyg didelis kamštienos susitraukimas paveiktoje zonoje po džiovavimo, o tai kartais net sukelia ląstelių

suirimą. Tai sumažina kamštienos sandarumą ir matmenų stabilumą, todėl ji tampa netinkama kamščių gamybai [60]. Drėgnos kamštinės žievės pavyzdys pavaizduotas 1.27 paveiksle.



1.27 Pav. Drėgna kamštiena (šaltinis: [58]).

1.2.4 Kamštienos kokybės klasifikacija

1.2.4.1 Kamštienos storio klasės

Žievės storis yra svarbiausias aspektas, lemiantis galutinį natūralios kamštienos panaudojimą, taip pat darantis įtaką jos pramoniniam perdirbimui ir prekybai. Pramonėje kamštinė žievė yra klasifikuojama pagal storį, kaip nurodyta standartuose ir pavaizduota 1.2 lentelėje.

1.2 lentelė. Pramonėje naudojamos kamštinės žievės storio kategorijos (pritaikyta iš [4]).

Komercinė klasė	Storis (mm)
Labai plona kamštiena	9–22
Plona kamštiena	22–27
Pusiau standartinė kamštiena	27–32
Standartinė kamštiena	32–40
Stora kamštiena	40–54
Itin stora kamštiena	>54

Kamštienos klasės buvo sukurtos atsižvelgiant į tolesnio apdorojimo galimybes. Vyno kamščių gamybai labiausiai tinkama storio klasė yra 27–32 mm, todėl gamintojai skiria ypatingą dėmesį būtent tokio storio kamštinei žievei. Jos storį lemia augimo ciklo trukmė ir metinis augimo tempas. Auginimo vietose, kuriose gaminama daugiausia kamštinės žievės, augimo ciklas trunka 9 metus, kad būtų patenkinti pirminiai pramoninės žaliavos poreikiai.

Bendras žievės storis matuojamas nuo vidurio iki nugarėlės, todėl, nustatant žievės tinkamumą pramoniniam naudojimui, svarbu atsižvelgti į išorinį nugarėlės sluoksnį. Skirtingų kalibrų kamštinės

žievės kainos labai skiriasi, tačiau paprastai 27–32 mm ir 32–40 mm storio žievės kaina (už kilogramą) yra vienoda ir gali būti naudojama kaip orientacinė vertė kitoms klasėms. 22–27 mm storio žievės kaina sudaro maždaug pusę šios orientacinės vertės, mažiau nei trečdalį plonesnių nei 22 mm storio žievės kaina ir beveik du trečdalius 40–54 mm storio žievės kainos.

1.2.4.2 Kokybės klasifikacija

Komerciškai kamštinė žievė skirstoma į kokybės kategorijas. Kamštienos kokybė yra nustatoma vizualiai apžiūrint jos skersinę ir spindulinę dalį bei vidinį paviršių. Poringumas yra pirmasis kokybės rodiklis, kuris yra susijęs su tarpląsteliniiais tarpais, kurie skiriasi ne tik skaičiumi, bet ir svarbiausia – plotu. Aukštos kokybės žievėje yra minimalus tarpų kiekis. Antrasis rodiklis siejamas su trūkumais ir jų potencialiu poveikiu apdorojimui. Kamštienos klasifikavimas yra atliekamas remiantis visų natūralios kamštinės žievės gaminių, tokių kaip kamščiai ir diskai, potencialiai aukštos kokybės integracija.

Kamštinė žievė yra skirstoma į šešias kokybės klases (nuo 1-os iki 6-os) neįskaitant papildomos atliekų klasės. Vertinimas atliekamas rankiniu būdu ir labai priklauso nuo operatoriaus. Taigi, yra subjektyvus. Nors geros ir prastos kokybės kamštieną yra lengva atskirti, vidutinės kokybės žievės vertinimas yra sudėtingesnis. Todėl, įvairių ekspertų nustatytos klasifikacijos gali skirtis. Tyrimas, atliktas naudojant etaloninį 480 kamštienos mėginių, kuriuos klasifikavo penki nepriklausomi specialistai, katalogą [61], atskleidė, kad atskirų mėginių klasifikacija sutampa tik 5,3 % (tačiau 100 % sutampa aukščiausios ir prasčiausios kokybės rodikliai – 1-oji klasė ir atliekos).

Šis kategorizavimo modelis praktikoje nėra taikomas. Vietoj jo naudojamos papildomos agreguotos kokybės klasės. Dabartinėje klasifikavimo sistemoje aukštos kokybės kamštinė žievė priskiriama 1–3 klasei, vidutinės kokybės – 4–5 klasei, o prasčiausios kokybės 6 klasei. Taip pat, dažniausiai taikomas kitas būdas, klasifikacijos susiaurinimas iki 2 kategorijų: 1–5 klasės asortimentas, kuris apima kamštieną, tinkamą kamščių gamybai, ir 6 klasė, kurioje yra prastesnės kokybės ir eksploatacinių savybių žievė, skirta kaiščių gamybai.

Buvo atliktas tyrimas, nagrinėjantis santykį tarp kokybės klasių ir žievės poringumo (vertinama vizualiai), ir paaiškėjo, kad aukštesnei kokybės klasei yra būdingas didesnis poringumas ir porų kiekis. Tai pasitvirtino tangentiniam, skersiniam bei radialiniam pjūviui. Visgi, kiekvienoje klasėje yra didelė įvairovė, o vidutinių vertimų skirtumai tarp gretimų klasių yra statistiškai nereikšmingi. 1.3 lentelėje pateikiami skirtingų kamštienos kokybės klasių parametrai.

1.3 lentelė. Skirtingų kamštienos kokybės klasių, susijusių su poringumu, parametrų vidurkiai (stebėjimai tangentiniame pjūvyje). Vidutiniškai 40 pavyzdžių kiekvienai klasei (adaptuota iš [4]).

Kokybės klasė					
	1	1–3	3	4–5	6
Poringumo koeficientas (%)	3.3	4.5	6.0	6.7	12.4
Porų kiekis/100cm ²	568	584	785	860	815
Porų kiekis > 0,8mm ² /100cm ²	47	84	111	121	176
Vidutinis poringumo plotas (mm ²)	0.58	0.83	0.81	0.79	1.57
Maksimalus poringumo plotas (mm ²)	19.7	23.1	21.1	26.3	82.0

Suskirstymas į tris klases leidžia labiau diferencijuoti ir nuosekliau vertinti kamštieną. Pavyzdžiui, pagal poringumo koeficientą galima skirstyti žievę į kategorijas, nustatant tokias klases ribas: aukštos kokybės kamštinės poringumas turi būti mažesnis nei 6%, o vidutinės kokybės poringumas turi būti mažesnis nei 10%. Naudojant kamštinės žievės paviršiaus vaizdus, galima atskirti tarpląstelinius kanalus nuo kitų defektų, pavyzdžiui, vabzdžių galerijų [62].

1.2.4.3 Integruotas kamštinės vertės indeksas

Atsižvelgiant į tai, kad žievės vertė priklauso nuo jos storio ir poringumo lygio, buvo pasiūlytas kombinuotas kintamasis, kuris nurodo jos vertę, pagrįstą santykinę komercinę įvairių storio ir kokybės klasių derinių verte. Tai leidžia įvertinti tam tikro kamštinio medžio žievės vertę, atsižvelgiant į kamštinės žievės storį ir kokybės parametrų pasiskirstymą [4]. Pasiūlytas kokybės indeksas (1.2 lygtis):

$$Q = \sum_{k=1}^{n_k} Q_k P_k = \frac{\sum_{i=1}^{n_t} Q_i}{n_t} \quad (1.2)$$

Kur Q_k reiškia k -klasės kamštinės žievės indekso kainą, p_k – kamštinės žievės mėginių vienetų dalį k -klasės kamštinėje žievėje, n_k – kokybės klasių skaičių, Q_i – iš i medžio paimto mėginio vieneto indekso kainą, o n_t – bendrą medžių, iš kurių imami mėginiai, skaičių.

Indekso kainos susijusios su labiausiai vertinama kamštinės žievės kokybės klase, kaip parodyta 1.4 lentelėje, kurioje pateiktas ekspertų grupės nustatytas pavyzdys. Aišku, kad šie skaičiai gali būti

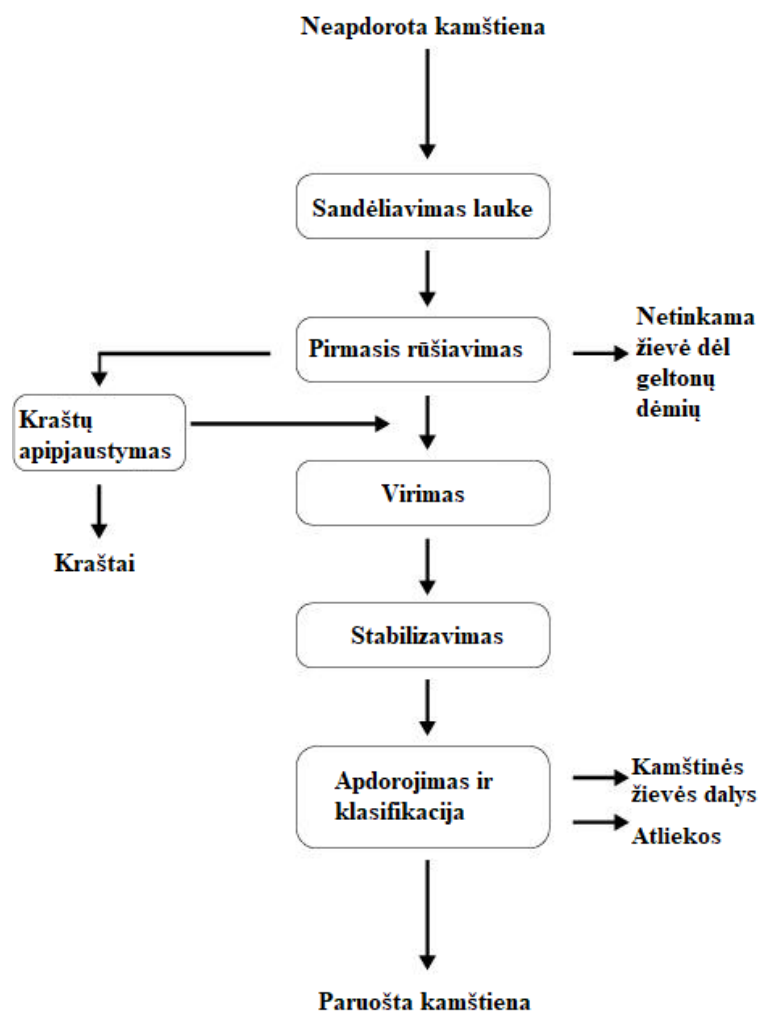
atnaujinti atsižvelgiant į kamštinės žievės rinkos pokyčius arba unikalias prekybos ir perdirbimo sąlygas.

1.4 lentelė. Skirtingo storio ir kokybės kamštinės žievės indeksinės kainos pramonei (pritaikyta iš [4]).

Kokybės klasė				
Storis (mm)	1–3	4–5	6	Atliekos
14–18	22	10	8	8
18–22	31	13	8	8
22–27	50	30	13	8
27–32	100	60	28	8
32–40	100	60	28	8
>40	66	33	17	8

1.3 Apdorojimas po nužievinimo

Į gamyklą atvežta žaliavinė kamštiena laikoma lauke ir vėliau pradedama vadinamoji paruošimo procedūra. Ši procedūra apima žievės virimą vandenyje, po to jos apipjaustymą ir klasifikavimą. Visas paruošimo proceso etapas pavaizduotas 1.28 paveiksle.



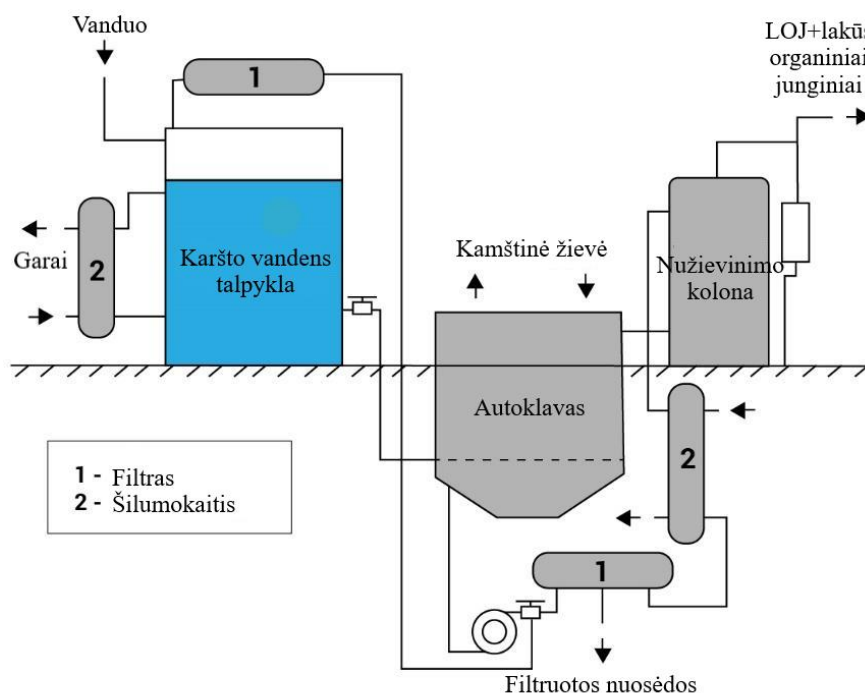
1.28 Pav. Žaliavinės kamštienos paruošimo schema (pritaikyta iš [4]).

1.3.1 Virinimas vandenyje

Kamštinės žiėvės virinimas vandenyje – apie valandą trunkantis procesas. Jis taikomas visai reprodukcinei kamštinei žiėvei, skirtai vėlesnei kamščių ir diskų gamybai. Pastaraisiais metais šis metodas buvo reikšmingai modernizuotas. Žiėvės krūvos būdavo kraunamos į dideles talpyklas, kuriose vanduo virė krosnyje, paprastai kuriant malkas. Taip pat tame pačiame vandenyje virinama ir kitų partijų kamštinė žiėvė. Norint papildyti į kamštieną įsigėrusį arba išgaravusį vandenį, įpilama švaraus vandens. Talpyklos būdavo tuštinamos, valomos ir vėl užpildomos kas keturias–penkias dienas. Tokiomis sąlygomis vanduo greitai pasidarydavo tamsiai rudas, susidarydavo daug putų, o ištirpusių ir suspensinių dalelių koncentracija nuotėkose augdavo. Pavyzdžiui, po vienos darbo dienos ištirpusios sausosios medžiagos sudaro 0,24 %, o ištirpinti fenoliai – 0,04 % kamštinės žiėvės masės [63].

Dabartinė kamštinės žiėvės virimo technika ir įranga labai pasikeitė. Žiėvė dabar kraunama ant nerūdijančio plieno padėklų, o vanduo apdorojamas uždareme nerūdijančio plieno autoklave. 1.29 paveiksle pavaizduota supaprastinta virimo proceso schema. Autoklavas yra pašildomas iki 95 °C, o vanduo cirkuliuoja, naudojant šilumokaičius. Vandentiekio linijose esantys filtrai pašalina

suspenduotas kietąsias daleles. Į tuščią autoklavą įdedama kamštinė žievė, o po uždarymo įpilama cirkuliuojančio vandens. Ši procedūra trunka vieną valandą. Galiausiai autoklavas ištušinamas, atidaromos durys ir išimama žievė. Autoklavo nupjautos piramidės formos dugnas apsaugo nuo kietųjų dalelių nusėdimo. Autoklavas yra iš esmės automatizuotas: valymas, pakrovimas ir iškrovimas yra valdomi kompiuteriu. Kai kuriais atvejais, plonai žievei plėsti, gali būti naudojami 110–120 °C garai. Tokia žievė vėliau bus naudojama šampano kamščiams pramonėje.



1.29 Pav. Autoklavo, skirto kamštinėi žievei virti su vandens cirkuliacija ir lakiųjų organinių junginių pašalinimu, schema (pritaikyta iš [4]).

Procedūrai naudojamas nechloruotas vanduo, kad išvengtume chlorintinių medžiagų patekimo į kamštinę žievę, iš kurios vėliau bus gaminami vyno kamščiai. Tokių medžiagų buvimas kamštinėje žievėje gali užteršti ir net sugadinti vyną.

Kitais atvejais, kaip pavaizduota 1.29 paveiksle, naudojama nužievinimo kolona, skirta pašalinti lakius organinius junginius iš karšto vandens. Verdančiame vandenyje išskiriamas ir koncentruojamas 2,4,6-trichloranizolis (LOJ) ir chlorofenoliai, kurie gali užteršti vyną. Nutekamieji vandenys kelia atliekų problemą, nes jų vidutinė cheminio deguonies suvartojimo (ChDS) ir biocheminio deguonies suvartojimo (BDS) koncentracija yra 7,4 ir 1,3 g/l, pH svyruoja nuo 4,8 iki 5,1. Dėl fenolinių ir polifenolinių junginių, kurių koncentracija yra atitinkamai 9 g/l (fenolio) ir 0,5 g/l (kofeino rūgšties pavidalu), šie vandenys yra labai toksiški [64, 65]. Buvo pasiūlyta keletas būdų, įskaitant ultrafiltraciją [66], kombinuotą flokuliaciją, flotaciją ir ultrafiltraciją [67], grybelinį skaidymą ir detoksikaciją [64], geležies chlorido flokuliaciją [65], bei cheminę oksidaciją Fentono reagentu [68]. Keletas svarbių fenolinių teršalų, kurie dažnai aptinkami kamštinėse nuotekose, tokie kaip eskuletinas (6,7–

dihidroksikumarinas) [69], galo rūgštis [70], elaginė rūgštis [71] ir acetovanilonas, buvo ištirti kaip modeliniai junginiai apdorojimo procese [72].

1.3.1 Virinimo poveikis kamštienai

Pagrindinis virimo vandenyje procedūros tikslas – pakeisti žievės mechanines savybes, kad būtų palengvintas jos tolesnis pjovimas, o paviršius taptų lygus. Po virimo kamštinė žievė iškart susilpnėja dėl vandens ir kaitinimo įtakos. Tai sumažina įtempimų skaičių ir ląstelių sienelių raukšlėtumą, be to, ląstelių struktūros vientisumas padidėja.

Kamštinė žievė patiria plečiamąjį efektą dėl ląstelių sienelių ištiesinimo: kamštinės žievės storis padidėja maždaug 15 % dėl radialinio ląstelių plėtros, o tangentinė ir ašinė plėtros kryptys padidėja apie 6 % [73]. Verta pastebėti, kad skirtingų kamštinės žievės rūšių plėtimasis virinimo metu gali labai skirtis, nes ši vertė priklauso nuo ląstelių raukšlėtumo vidiniuose įtempimuose, kurie yra labai kintanti savybė. Nors tipiniai kamštinės žievės spindulinio plėtros rodikliai paprastai svyruoja nuo 11 iki 15 %, atskiros vertės gali svyruoti nuo beveik nulio iki daugiau nei 40 %. Vandens temperatūros didėjimas sumažina kamštinės žievės poringumą [74]. Todėl kamštienos virimas vandenyje praktiškai pagerina jos kokybę: ji išsiplėčia, o dėl to sumažėja tarpląstelinio tarpų skersmuo. Be to, neapdorotos kamštinės žievės nelygumai praktiškai išlyginami. Taigi ji tampa beveik lygi, kaip parodyta 1.30 paveiksle, o tai palengvina kamščių gamybą ir automatizuotos įrangos diegimą gamybos procese.



1.30 Pav. Kamštinė žievė po virinimo proceso

Žemesnėje nei 100 °C temperatūroje kamštinės žievės matmenų pokytis dėl virimo yra negrįžtamas. Tai reiškia, kad pakartotinis mirkymas ir džiovinimas, kuris vyksta plaunant ir balinant žievę, neturi jokios įtakos jos matmenims.

Kadangi junginių pašalinimo trukmė ir kamštinės žievės paviršiaus plotas yra per maži, vandenyje išsiskiria tik nedidelis tirpių junginių kiekis, kuris sudaro mažiau nei 2 % kamštinės žievės vandens ekstrahentų. Todėl, nepaisant dažnų teiginių, cheminių junginių išgavimas iš kamštinės žievės nėra virimo proceso tikslas. Tas pats teigtina ir apie vadinamąjį mikrobiologinį žievės sterilizavimą. Švaraus vandens naudojimas ir lakių organinių junginių šalinimas dažniau taikomi ne siekiant maksimaliai padidinti kamštinės žievės gamybos procesą, bet siekiant išvengti jos užteršimo verdančiu vandeniu, palapsniui sutelkiant dėmesį į potencialiai kenksmingas medžiagas.

1.3.2 Procesas po virinimo

Kai vanduo užvirinamas, kamštiena džiovinama ore kelias dienas (dvi ar tris) – šis procesas vadinamas stabilizavimu. Žievė yra sukraunama viena ant kitos, kad būtų lengviau išlyginti. Anksčiau dažniausiai statydavo didžiules virintas kamštienos krūvas, o džiovinimas trukdavo kelias savaites. Tačiau pastaraisiais metais praktika pasikeitė: dabar taikomi trumpesni laiko standartai žievės stabilizavimui, siekiant išvengti mikrobu dauginimosi, kuris gali turėti neigiamą poveikį vyno kamščiams. Iškart po kamštienos virinimo, jos drėgmės kiekis sumažėja nuo maždaug 40% iki 70%. Po dviejų dienų drėgmė turėtų nukristi iki 14–18 %, kas yra priimtinas rodiklis šiuolaikinėje pramonėje.

Kamštinei žievei išdžiuvus, kiekviena lenta yra atskirai apžiūrima patyrusių darbuotojų, kurie yra atsakingi už jos apipjaustymą ir supjaustymą į maždaug vienodo dydžio plokštes tolimesniam apdorojimui. Pirmiausia pašalinamos defektuotos plokščių dalys (arba visa plokštė), kad ji galėtų būti perdirbama į kamščius arba diskus.

- Drėgna kamštinė žievė yra surūšiuojama džiovinimui krosnyje arba ilgalaikiam džiovinimui lauke.
- Žievė su geltonomis dėmėmis arba supelijusiomis vietomis yra išimama iš tolimesnio gamybos proceso ir siunčiama sunaikinimui.
- Dalys, kuriose yra vabzdžių galerijų, yra atmetamos ir pašalinamos sunaikinimui.
- Žievė ar jos dalys, turinčios didelį defektų procentą, pvz., įtrūkimų ir kt., taip pat yra išimamos iš tolimesnio gamybos proceso ir siunčiamos sunaikinimui.
- Žievė ar jos dalys, kurios yra per plonos gamybai (plonesnės nei 13 mm), yra atskirai išimamos iš tolimesnio gamybos proceso ir siunčiamos sunaikinimui.

Darbuotojas, atsakingas už kamštienos apipjaustymą ir klasifikavimą, naudoja peilį. Šio darbo tikslas yra surūšiuoti netinkamą žievę ir atskirti tinkamą nuo neapdurotos kamštienos. Jei žievės storis ir kokybė yra nevienodi, ją skirsto į mažesnes vienaarūšes plokštes, kurios gali būti naudojamos kamščių perforavimui arba diskų gamybai. Didelės plokštės taip pat yra rūšiuojamos, kad darbuotojai galėtų lengviau jas apdoroti rankomis. Neapdorotų kamštinės žievės plokščių matavimai rodo, kad jų vidutinis plotas yra 3745 cm², o matmenys yra apie 47 cm x 119 cm. Tačiau vėliau paruoštų

plokščių matavimai rodo, kad vidutiniai matmenys yra atitinkamai 34 cm x 70 cm (vidutinis plokštės plotas 1674 cm²) [75]. Šios procedūros metu 5 % pradinės žaliavos yra prarandama mažų kamštinės žievės gabalėlių pavidalu. Eksperimentiškai išmatuotas kamštinės žievės plokščių nuostolis, pjaunant plokštes tolimesniam apdorojimui, yra palyginti su plonomis plokštėmis, skirtomis kamštiniam diskams gaminti [56]. Medžiagos atliekos sudaro apie 19,5 % pradinės masės, o išėiga tarp plokščių svyruoja nuo 0 iki 50 %, priklausomai nuo atskirų formos ir kokybės charakteristikų.

Apipjaunant plokštes, siekiama ištiesinti kraštus ir sukurti patrauklesnius skerspjūvius, o plokštės yra suskirstomos pagal kalibrą ir kokybės klasę. Gaminant kamščius ir diskus, stengiamasi sumažinti tokias operacijas kaip apipjaustymas, kad būtų išvengta žaliavų nuostolių. Gamyklos specifiniai reikalavimai lemia skirstymą į storio ir kokybės klases. Įprasta skirstyti į tris kokybės klases: nuo 14 iki 22 mm, nuo 22 iki 27 mm ir didesnės nei 27 mm, taip pat į dvi kokybės klases: 1–5 klasę, kaip pirminį žaliavų asortimentą kamščiams ir diskams, bei šeštąją žemesnės kokybės klasę. Kai kamštinė žievė yra galutinis gamyklos produktas, ypatingas dėmesys skiriamas vienodam kraštų ir storio lygiui, o kokybė yra skirstoma į kategorijas, pvz., 1–oji–3–oji, 4–oji–5–oji ir 6–oji, arba pagal kliento pageidavimus.

1.3.3 Drėgnos kamštienos apdorojimas

Plokštės, kuriose randama drėgnų plotų, yra atskiriamos ir išdžiovinamos siekiant užtikrinti, kad kamštinės žievės drėgmė neviršytų 14 % (tai yra kamštienos standartas). Šį procesą galima atlikti natūraliai džiovinant 1–2 metus arba naudojant džiovyklas su karštu oru. Ankstesnės džiovyklos buvo pritaikytos medienos sausinimui, tačiau šiuo metu naudojama modernesnė įranga, kurioje taikomi džiovinimo ciklai su kylančia oro temperatūra. Džiovinimo sąlygos skiriasi priklausomai nuo gamyklos, pavyzdžiui, vienoje gamykloje naudojamas 96 valandų džiovinimo laikotarpis 90 °C galutinėje temperatūroje, o kitoje – dviejų savaitių džiovinimo laikotarpis 80 °C galutinėje temperatūroje.

Po džiovinimo žievė siunčiama į perdirbimo liniją ir paleidžiama per standartinę kamščių arba diskų gamybos grandinę.

1.3.4 Antras virinimas vandenyje

Kai išdžiovinta kamštiena pasiekia drėgmės lygį 5–8% (drėgmės balansą), drėgmė tampa nereikšminga tolimesniam kamščių ar diskų perdirbimo procesui. Tačiau kamštiena tampa mažiau tvirta ir jos perdirbimo galimybės pablogėja. Paprastai tai atsitinka, kai išvirta kamštiena nėra nedelsiant perdirbama gamykloje arba kai ji yra sandėliuojama ilgiau nei dvi ar tris savaites.

Šiuo atveju plokštės yra pakartotinai virinamos naudojant tą patį metodą kaip ir anksčiau, tačiau šis virinimo ciklas yra trumpesnis – tik 30 minučių. Kadangi vidiniai kamštinės žievės įtempimai jau buvo sumažinti per pirminį virinimą, kaip jau minėta anksčiau, ji daugiau nesiplečia.

Literatūros sąrašas

- [1] Associação Portuguesa da Cortiça, Available: <https://www.apcor.pt/>
- [2] Amorim Cork Composites. Available: <https://amorimcorkcomposites.com/en/why-cork/environmental-and-social-benefits/>
- [3] Ghouil, H., Montpied, P., Epron, D., Ksontini, M., Hanchi, B., Dreyer, E. (2003). Thermal optima of photosynthetic functions and thermostability of photochemistry in cork oak seedlings, *Tree Physiol.* 23:1031–1039.
- [4] Pereira, H. (2007). *Cork: Biology, Production and Uses*, Amsterdam: Elsevier Publications.
- [5] Caudullo, G., Welk, E., San-Miguel-Ayán J. (2017). Chorological maps for the main European woody species, 12:662–666.
- [6] Moricca, S., Linaldeddu, B.T., Ginetti, B., Scanu, B., Franceschini, A., Ragazzi, A. (2016). Endemic and emerging pathogens threatening cork oak trees: Management options for conserving a unique forest ecosystem, *Plant Dis.* 100:2184–2193.
- [7] Natividade, J.V. (1950). *Subericultura*, Direcção Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas, Lisboa,
- [8] Pereira, H. (2015). Cortiça chinesa: como se compara com a cortiça do *Quercus suber*?
- [9] Natividade, J.V. (1950). *Subericultura*, Ministério da Economia Direcção Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas, Lisboa.
- [10] Elena-Rossello, J.A., Lumaret, R., Cabrera, E., Michaud, H. (1992). Evidence for hybridization between sympatric holm-oak and cork-oak in Spain based on diagnostic enzyme markers, *Veg.* 99:115–118.
- [11] Boavida, L.C., Silva, J.P., Feijó, J.A. (2001). Sexual reproduction in the cork oak (*Quercus suber* L.). II. Crossing intra- and interspecific barriers, *Sex. Plant Reprod.* 143(14):143–152.
- [12] Nardini, A., Lo Gullo, M.A., Salleo, S. (1999). Competitive strategies for water availability in two Mediterranean *Quercus* species, *Plant. Cell Environ.* 22:109–116.
- [13] Molinas, M.L. (1991). The stomata of the cork-oak, *Quercus suber*. An ultrastructural approach, *Nord. J. Bot.* 11:205–212.
- [14] Fialho, C., Lopes, F., Pereira, H. (2001). The effect of cork removal on the radial growth and phenology of young cork oak trees, *For. Ecol. Manage.* 141:251–258.
- [15] Oliveira, G., Correia, O., Martins-Loução, M.A., Catarino, F.M. (1994). Phenological and growth patterns of the Mediterranean oak *Quercus suber* L., *Trees* 9, 9:41–46.
- [16] Díaz-Fernández, P.M., Climent, J., Gil, L. (2004). Biennial acorn maturation and its relationship with flowering phenology in Iberian populations of *Quercus suber*, *Trees - Struct. Funct.* 18:615–621.

- [17]Merouani, H., Apolinário, L.M., Almeida, M.H., Pereira, J.S. (2003). Morphological and physiological maturation of acorns of cork oak (*Quercus suber* L.), *Seed Sci. Technol.* 31:111–124.
- [18]García-MOZO, H., Hidalgo, P.J., Galán, C., GÓMEZ-CASERO, M.T., Domínguez, E. (2001). Catkin frost damage in Mediterranean cork-oak (*Quercus suber* L.), *Isr. J. Plant Sci.* 49:41–47.
- [19]Miguel, A., de Vega-Bartol, J., Marum, L., Chaves, I., Santo, T., Leitão, J., Varela, M.C., Miguel, C.M. (2015). Characterization of the cork oak transcriptome dynamics during acorn development, *BMC Plant Biol.* 15:1–22.
- [20]Cardillo, E., Bernal, C.J. (2006). Morphological response and growth of cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings at different shade levels, *For. Ecol. Manage.* 222:296–301.
- [21]Pardos, M., Jiménez, M.D., Aranda, I., Puértolas, J., Pardos, J.A. (2005). Water relations of cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings in response to shading and moderate drought, *Ann. For. Sci.* 62:377–384.
- [22]Herrera, J. (1995). Acorn predation and seedling production in a low-density population of cork oak (*Quercus suber* L.), *For. Ecol. Manage.* 76:197–201.
- [23]Montero González, G., Cañellas, I.M. (1999). Manual de reforestación y cultivo de alcornoque (*Quercus suber* L.), 102.
- [24]Quilhó, T., Lopes, F., Pereira, H. (2003). THE EFFECT OF TREE SHELTER ON THE STEM ANATOMY OF CORK OAK (*QUERCUS SUBER*) PLANTS, *IAWA J.* 24:385–395.
- [25]Pulido, F., Díaz, M. (2002). Dinámica de la regeneración natural del arbolado de encina y alcornoque.
- [26]Luque, J., Parlade, J., Pera, J. (2000). Pathogenicity of fungi isolated from *Quercus suber* in Catalonia (NE Spain), *Undefined.* 30:247–263.
- [27]Moricca, S., Ginetti, B., Ragazzi, A. (2012). Species- and organ-specificity in endophytes colonizing healthy and declining Mediterranean oaks, *Phytopathol. Mediterr.* 51:587–598.
- [28]Schulz, B., Boyle, C. (2005). The endophytic continuum, *Mycol. Res.* 109:661–686.
- [29]Moricca, S., Ragazzi, A. (2008). Fungal endophytes in Mediterranean oak forests: a lesson from *Discula quercina*, *Phytopathology.* 98:380–386.
- [30]Picco, A.M., Angelini, P., Ciccarone, C., Franceschini, A., Ragazzi, A., Rodolfi, M., Varese, G.C., Zotti, M. (2011). Biodiversity of emerging pathogenic and invasive fungi in plants, animals and humans in Italy, 145:988–996.
- [31]Moreira, A.C., Martins, J.M.S (2005). Influence of site factors on the impact of *Phytophthora cinnamomi* in cork oak stands in Portugal, *For. Pathol.* 35:145–162.

- [32]Linaldeddu, B.T., Sirca, C., Spano, D., Franceschini, A. (2011). Variation of endophytic cork oak-associated fungal communities in relation to plant health and water stress, *For. Pathol.* 41:193–201.
- [33]Linaldeddu, B.T., Scanu, B., Maddau, L., Franceschini, A. (2014). *Diplodia corticola* and *Phytophthora cinnamomi*: the main pathogens involved in holm oak decline on Caprera Island (Italy), *For. Pathol.* 44:191–200.
- [34]Pérez-Sierra, A., López-García, C., León, M., García-Jiménez, J., Abad-Campos, P., Jung, T. (2013). Previously unrecorded low-temperature *Phytophthora* species associated with *Quercus* decline in a Mediterranean forest in eastern Spain, *For. Pathol.* 43:331–339.
- [35]Allen, C.D, Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., (Ted) Hogg, E.H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J.H., Allard, G., Running, S.W., Semerci, A., Cobb, N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests, *For. Ecol. Manage.* 259: 660–684.
- [36] Giorgi, F., Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region, *Glob. Planet. Change.* 63:90–104.
- [37]Carnicer, J., Coll, M., Ninyerola, M., Pons, X., Sánchez, G., Peñuelas, J. (2011). Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 108:1474–1478.
- [38]Besson, C.K., Lobo-do-Vale, R., Rodrigues, M.L., Almeida, P., Herd, A., Grant, O.M., David, T.S., Schmidt, M., Otieno, D., Keenan, T.F., Gouveia, C., Mériaux, C., Chaves, M.M., Pereira, J.S. (2014). Cork oak physiological responses to manipulated water availability in a Mediterranean woodland, *Agric. For. Meteorol.* 184:230–242.
- [39]Caritat, A., Gutiérrez, E., Molinas, M. (2000). Influence of weather on cork-ring width, *Tree Physiol.* 20:893–900.
- [40]Palma, J.H.N., Paulo, J.A., Faias, S.P., Garcia-Gonzalo, J., Borges, J.G., Tomé, M. (2015). Adaptive management and debarking schedule optimization of *Quercus suber* L. stands under climate change: case study in Chamusca, Portugal, *Reg. Environ. Chang.* 15:1569–1580.
- [41]Hidalgo, P.J., Marín, J.M., Quijada, J., Moreira, J.M. (2008). A spatial distribution model of cork oak (*Quercus suber*) in southwestern Spain: A suitable tool for reforestation, *For. Ecol. Manage.* 255:25–34.
- [42]Desprez-Loustau, M.L., Robin, C., Reynaud, G., Déqué, M., Badeau, V., Piou, D., Husson, C., Marçais B. (2010). Simulating the effects of a climate-change scenario on the geographical range and activity of forest-pathogenic fungi, 29:101–120.
- [43]Braisier, C.M. (1996). *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe. Environmental constraints including climate change, *Ann. Des Sci. For.* 53:347–358.

- [44]Corticeira Amorim S. G. P. S. (2005). The art of cork, 35, [2].
- [45]Beira, J., Prades, C., Santiago, R. (2014). New tools for extracting cork from *Quercus suber* L.: increasing productivity and reducing damage, *For. Syst.* 23:22–35.
- [46]Brito dos Santos, S. (1995). ABC Do Podador de Sobreiros, Instituto Florestal .
- [47]Costa, A., Pereira, H., Oliveira, A. (2004). The effect of cork-stripping damage on diameter growth of *Quercus suber* L., *For. An Int. J. For. Res.* 77:1–8.
- [48]Martín, J., Cabezas, J., Buyolo, T., Patón, D. (2005). The relationship between *Cerambyx* spp. damage and subsequent *Biscogniauxia mediterranea* infection on *Quercus suber* forests, *For. Ecol. Manage.* 216:166–174.
- [49]Knapic, S., Louzada, J.L., Leal, S., Pereira, H. (2008). Within-tree and between-tree variation of wood density components in cork oak trees in two sites in Portugal, *For. An Int. J. For. Res.* 81:465–473.
- [50]Código Internacional das Práticas Rolheiras (2011), CELIEGE - European cork federation.
- [51]Gonzalez Adrados, J., Calvo Haro, R. (1994). Variación de la humedad de equilibrio del corcho en plancha con la humedad relativa. Modelos de regresión no lineal para las isotermas de adsorción, *Investig. Agrar. Sist. y Recur. For.* 3:199–209.
- [52] Fernandes, P. (2004). Influência do período de estabilização da cortiça e da cozedura na largura dos anéis de crescimento, no coeficiente de porosidade da cortiça e em algumas características tecnológicas das rolhas de cortiça natural, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- [53]C.B.-S. 4. Available: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Portugal-Norte-176-Korkeiche-2011-gje.jpg>
- [54]Pissarra, J. (2017). Cortiça e descortiçamentos - Banco de Imagens da Casa das Ciências.
- [55] Crouvisier-Urion, K., Chanut, J., Lagorce, A., Winckler, P., Wang, Z., Verboven, P., Nicolai, B., Lherminier, J., Ferret, E., Gougeon, R.D., Bellat, J.P., Karbowiak, T. (2019) . Four hundred years of cork imaging: New advances in the characterization of the cork structure, *Sci. Reports* 2019 91. 9:1–10.
- [56]Fernandes, R.M.O. (2005). Estudo da influência do calibre e da qualidade das pranchas de cortiça delgada no rendimento do processo fabril de produção de discos de cortiça natural, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- [57] Liese, W., Günzerodt, H., Parameswaran, N. (1983). Alterações biológicas da qualidade da cortiça que afectam a sua utilização, Lisboa.
- [58]UNAC, Guia de comercialização de cortiça no campo (2013). EDRV, Lda, Lisboa.

- [59]Pérez-Terrazas, D., González-Adrados, J.R., Sánchez-González, M. (2018). Feasibility study of near infrared spectroscopy to detect yellow stain on cork granulate, *IForest - Biogeosciences For.* 11:111.
- [60]Fortes, M.A., Rosa, M.E., Pereira, H. (2004). *A Cortiça*, IST Press, Lisboa.
- [61]Corkassess (2001), Field assessment and modelling of cork production and quality. Final report. Contract FAIR.CT97.1438.
- [62] Gonzalez-Adrados, J.R., Pereira, H. (1996). Classification of defects in cork planks using image analysis, *Wood Sci. Technol.* 30. 30:207–215.
- [63]Pereira, H., Melo, B., Pinto, R. (1994). Yield and quality in the production of cork stoppers, *Holz Als Roh- Und Werkst.* 5:211–214.
- [64]Mendonça, E., Pereira, P., Martins, A., Anselmo, A.M. (2004). Fungal biodegradation and detoxification of cork boiling wastewaters, *Eng. Life Sci.* 4:144–149.
- [65]Domínguez, J.R., De Heredia, J.B., González, T., Sanchez-Lavado, F. (2005). Evaluation of Ferric Chloride as a Coagulant for Cork Processing Wastewaters. Influence of the Operating Conditions on the Removal of Organic Matter and Settability Parameters, *Ind. Eng. Chem. Res.* 44:6539–6548.
- [66]Acero, J.L., Benítez, F.J., Leal, A.I., Real, F.J. (2005). Removal of phenolic compounds in water by ultrafiltration membrane treatments, *J. Environ. Sci. Health. A. Tox. Hazard. Subst. Environ. Eng.* 40:1585–1603.
- [67]Minhalma, M., De Pinho, M.N. (2001). Flocculation/flotation/ultrafiltration integrated process for the treatment of cork processing wastewaters, *Environ. Sci. Technol.* 35:4916–4921.
- [68]Silva, C.A., Madeira, L.M., Boaventura, R.A., Costa, C.A. (2004). Photo-oxidation of cork manufacturing wastewater, *Chemosphere.* 55:19–26.
- [69]Acero, J.L., Benitez, F.J., Real, F.J., Leal, A.I., Sordo, A. (2007). Oxidation of Esculetin, a Model Pollutant Present in Cork Processing Wastewaters, by Chemical Methods, 27:317–326.
- [70]Benitez, F.J., Acero, J.L., Garcia, J., Leal, A.I. (2003). Purification of cork processing wastewaters by ozone, by activated sludge, and by their two sequential applications, *Water Res.* 37:4081–4090.
- [71]Benítez, F.J., Acero, J.L., Leal, A.I., Real, F.J. (2005). Purification of ellagic acid by UF membranes, *Chem. Eng. Technol.* 28:1035–1040.
- [72]Benitez, F.J., Real, F.J., Acero, J.L., Leal, A.I., Cotilla, S. (2005). Oxidation of acetovanillone by photochemical processes and hydroxyl radicals, *J. Environ. Sci. Health. A. Tox. Hazard. Subst. Environ. Eng.* 40:2153–2169.
- [73]Rosa, M.E., Pereira, H., Fortes, M.A. (1990). Effects of Hot Water Treatment on the Structure and Properties of Cork, *Wood Fiber Sci.* 149–164.

[74]Cumbre, F., Lopes, F., Pereira, H. (2000). The effect of water boiling on annual ring width and porosity of cork., *Wood Fiber Sci.* 32:125–133.

[75] Costa, A., Pereira, H. (2004). Caracterização e Análise de Rendimento da Operação de Traçamento na Preparação de Pranchas de Cortiça para a Produção de Rolhas, in: *Silva Lustiana*, 51–66.

SKYRIUS 2

Tvarumas, anglies dioksido pėdsakas ir galimi kamštiniės žievės gaminiai

Maria Verdum, Albert Hereu, Patricia Jové*

Katalonijos Kamštinių medžiagų instituto fondas, Palafrugelis, Ispanija

*el. paštas: mverdum@icsuro.com

Anotacija

Šiame skyriuje bus aptariama kamštinių medžiagų reikšmė tvarumo ir žaliosios ekonomikos aspektu, taip pat jų dabartinis ir būsimas panaudojimas ne tik gerai žinomoje vyno kamščių pramonėje. Skyriuje bus nagrinėjamas kamštinių medžiagų naudojimo sąryšis su Jungtinių Tautų darnaus vystymosi tikslais (*angl.* SDGS) ir klimato kaitos keliamais iššūkiais. Šį skyrių sudaro trys dalys: i) Kamštiniės medžiagos ir tvarumas: Šioje dalyje bus daugiausia dėmesio skiriama tvarumo aspektui ir kamštinių medžiagų aprašymui, taip pat bus aptartos kamštinių miškų teikiamos ekologinės paslaugos. ii) Kamštienos gaminių anglies dioksido pėdsakas: Šioje dalyje bus nagrinėjamas anglies dioksido pėdsako konceptas, apskaičiavimas ir skirtingų kamštinių gaminių vertės. iii) Galimos kamštinių medžiagų panaudojimo galimybės: Šioje dalyje bus apžvelgiama daugybė kamštienos panaudojimo galimybių ir pritaikymo sričių. Be to, skyriaus pabaigoje bus paaiškinama kamštienos kaip tvarios medžiagos samprata, aptariama jos anglies pėdsako sąvoka, pateikiami įvairūs jo apskaičiavimo etapai ir supažindinama su skirtingomis kamštinių medžiagų taikymo sritimis bei savybėmis, kurios padaro ją tinkama medžiaga aviacijos ir kosmoso pramonei.

Esminiai žodžiai: kamštiena, tvarumas, kamštinių medžių ekosistema, ekologinės paslaugos, klimato kaita, anglies pėdsakas, gyvavimo ciklas.

Terminų sąvadas

CO_{2 eq} Anglies dioksido ekvivalentas

GHG (*angl.* Greenhouse gases) Šiltnamio efektą sukeliančios dujos

LCA Gyvavimo ciklo analizė

SDGS (*angl.* United Nations Sustainable Development Goals) Jungtinių Tautų darnaus vystymosi tikslai

2.1 Kamštiena ir tvarumas

2.1.1 Kamštinių miškų ekosistema

Ekologija

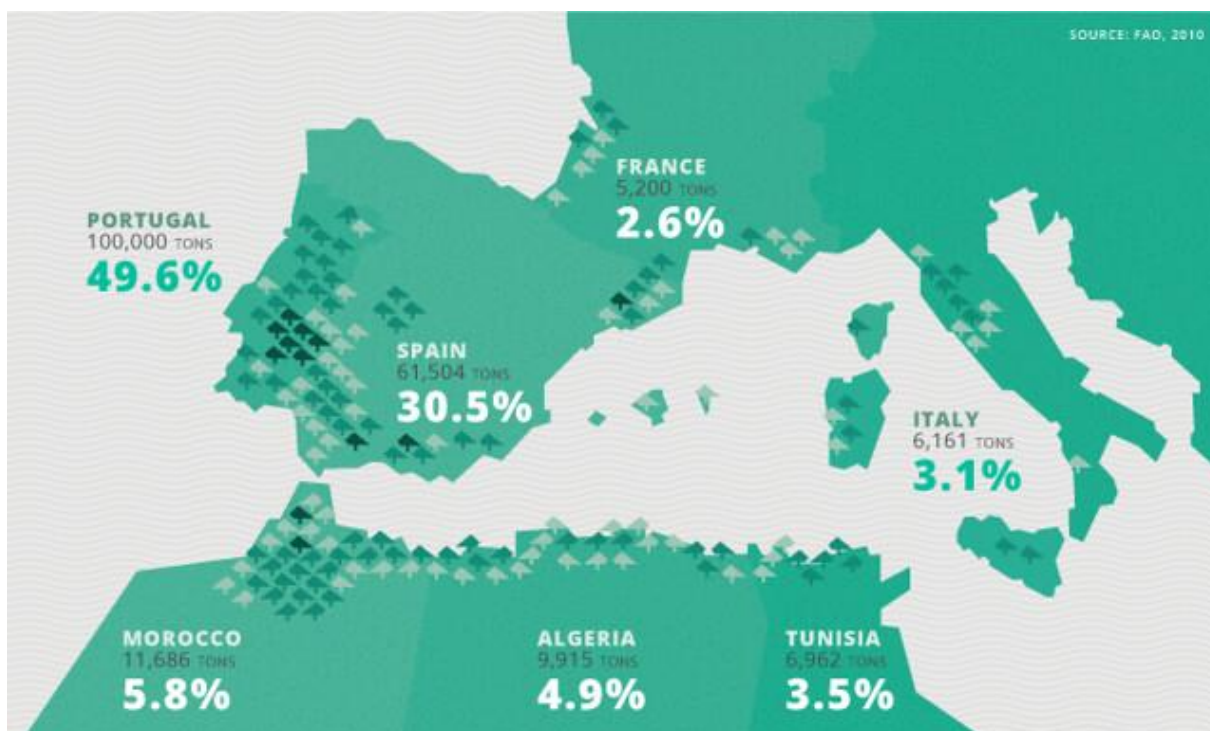
Ekologiniu požiūriu kamštinis ąžuolas (*Quercus suber* L.) yra kilęs iš pietvakarių Europos ir šiaurės vakarų Afrikos. Jam tinkamam klimatui būdinga:

- trumpos vasaros
- gausus ir tolygus kritulių kiekis
- labai švelnios žiemos
- sausringi laikotarpiai, kuriuos sušvelnina atmosferos drėgmė
- labai laidūs, drėgni ir gilūs silikatiniai dirvožemiai.

Kamštinis ąžuolas auga šiltomis, drėgnomis ir vidutinio drėgnumo sąlygomis iki 2000 m virš jūros lygio. Optimaliausia vieta augimui yra 600 m virš jūros lygio [1]. Tai visiškai atitinka Viduržemio jūros klimato zonas, kuriose vidutinė metinė temperatūra svyruoja nuo 13 iki 18°C. Žiemos yra drėgnos, vasaros karštos, o vidutinis metinis kritulių kiekis neviršija 900 mm. Kamštinis ąžuolas labai jautrus vandeningam dirvožemiui. Viduržemio jūros regionuose daugiausia kritulių iškrenta vėlyvą rudenį ir žiemą, todėl kamštiniai ąžuolai geriau prisitaiko prie klimato sąlygų. Ši rūšis taip pat gerai prisitaiko prie švelnių žiemų, karštų ir sausų vasarų. Geriausiomis sąlygomis kamštiniam ąžuolui augti yra silikatiniai ir (arba) smėlingi dirvožemiai, kurie yra pralaidūs orui ir gerai drenuojami [1]. Taigi, ši rūšis taip pat toleruoja skurdų ir seklų dirvožemį.

Prieš kelerius metus buvo nesėkmingai bandoma veisti kamštinius ąžuolus Jungtinėse Amerikos Valstijose ir kitose šalyse pvz. Australijoje, Bulgarijoje ir Pietų Amerikoje. Kai kurie aspektai, pavyzdžiui, sėklų saugojimas arba jaunų medelių augimo problemos, lėmė tai, kad medžių išauginti nepavyko. Nepadėjo ir ilgas medžio gyvavimo ciklas. Visgi dėl didelės dekoratyvinės vertės kamštiniai ąžuolai puošia daugybę parkų visame pasaulyje.

Visame pasaulyje kamštinių ąžuolų miškai užima daugiau kaip 2,1 mln. hektarų. Jie dengia didelę Europos teritoriją, daugiausia Portugaliją, Ispaniją, Prancūziją, Italiją ir šiaurines Afrikos šalis – Maroką, Alžyrą ir Tunisą. Remiantis kamštinių ąžuolų plotų miškų inventorizacijos duomenimis, Portugalijoje jie užima 713 000 ha, Ispanijoje – 475 000 ha, Prancūzijoje – 68 000 ha, Italijoje – 65 000 ha, Maroke – 348 000 ha, Tunise – 90 000 ha. 2.1 paveiksle pateiktas kamštinių ąžuolų ir kamštinės žievės gavybos paplitimo žemėlapis.



2.1 Pav. Kamštinio ąžuolo paplitimas ir kamštinės žievės gavybos kiekiai tonomis
(<https://www.amorimcork.com/en/cork-and-wine/raw-material-and-production-process/>).

Biologinė įvairovė

Kamštinių ąžuolų gamtovaizdžiai sudaro svarbią ekosistemą, kuri pasižymi didele biologine įvairove. Ji taip pat yra įvairios floros ir faunos buveinė [2, 3]. Dėl šios priežasties Viduržemio jūros regionas yra vienas iš 35 pasaulio „karštųjų taškų“. Biologinė įvairovė apima gyvybės įvairovę visomis jos formomis, įskaitant ekosistemų, rūšių ir genetinę įvairovę [4].

Kamštinių ąžuolų ekosistemos, kuriose dominuoja kamštinis ąžuolas (*Quercus suber L.*), bet jose taip pat yra paplitę paprastieji ąžuolai (*Quercus ilex* ir *Q. rotundifolia*), laukiniai alyvmedžiai, pušys [1, 5] ir įvairios žolių rūšys [6], yra daugiafunkcinės ekosistemos. Keli autoriai aprašė šių sistemų laikinę dinamiką [7–9].

Kamštinių ąžuolų gamtovaizdis yra biologinės įvairovės rezervuaras, kuriame gyvena įvairios rūšys, įskaitant nykstančias, pavyzdžiui, paprastąjį erelį rėksnį (*Aquila adalberti*). Šioje teritorijoje taip pat yra didelė natūralios laukinės faunos biologinė įvairovė, kurioje yra apie 24 roplių ir varliagyvių rūšys, daugiau kaip 160 paukščių rūšių ir 37 žinduolių rūšys. Be to, Viduržemio jūros baseinas yra trečias pasaulio regionas pagal endeminių augalų skaičių. Būtent kamštinių ąžuolų miškuose biologinė augalų įvairovė gali siekti iki 135 rūšių viename kvadratiniam metre, įskaitant aromatinius, vaistinius ir kulinarius augalus. Taip pat šioje teritorijoje galima rasti įvairių krūmų ir krūmokšnių, pavyzdžiui, levandų ar braškių.

Socialinė ir ekonominė reikšmė

Kamštinių ąžuolų gamtovaizdis yra vienas geriausių išsaugojimo ir plėtros pusiausvyros pavyzdžių, kuris yra naudingas žmonėms ir aplinkai. Ši nenatūrali ekosistema susidarė dėl šimtmečius trunkančio ūkininkavimo ir kryptingos miškininkystės veiklos, kuri suformavo medžių ir kamštinių ąžuolų aplinką. Dėl tam tikrų praktikų, pvz. gyvulių ganymas, kirtimas ar žemės arimas žemės ūkio reikmėms, kamštinių ąžuolų miškai palaipsniui virsta atvirais miškais.

Šiuo metu kamštinių ąžuolų ekosistemas sudaro keturių tipų plotų mozaika: miškai, ąžuolų savanos (arba montados Portugalijoje ir dehesas Ispanijoje), krūmynai ir pievos (2.2 ir 2.3 pav.). „Montado“ – tai portugališkas terminas, kuris apibūdina gamtovaizdžius, kuriuose vyrauja mišri žemdirbystė, o pati teritorija yra turtinga ąžuolynais, tarp kurių auga krūmai ir (arba) pievos. Kaip jau minėta, ąžuolų savanos ir pievos išliko dėl ilgalaikio žmonių poveikio ir su juo susijusios veiklos šioje teritorijoje [10, 11].



2.2 Pav. Ažuolų savanos arba montados Portugalijoje ir dehesos Ispanijoje (<https://gosuber.es/>).



2.3 Pav. Katalonijos miškai

Kamštinių medžių ekosistema yra vienas iš tvaraus miškų naudojimo pavyzdžių. Ji taip pat yra svarbus pajamų šaltinis, grindžiamas vyno kamščių pramone. Nepaisant didelės kamščių rinkos vertės (sudaro

beveik 70 % kamštienos rinkos vertės), nužievinimo metu vykdoma ir kita žemės ūkio bei miškininkystės veikla. Gyvulininkystė, vaistažolių, grybų ir vaistinių augalų, medaus rinkimas ir ekologinis turizmas – tai tik kelios veiklos rūšys, kurios taip pat vykdomos kamštinių ąžuolų augimvietėse [12, 13]. Su šia ekosistema susiję tūkstančiai tiesioginių (darbo vietos miškininkystės srityje) ir netiesioginių darbo vietų.

Poveikis aplinkai

Kiti aspektai, į kuriuos reikia atsižvelgti, yra kamštinio ąžuolo vaidmuo kaip natūralaus barjero prieš dykumėjimą ir atsparumas ugniai. Kadangi kamštiniai ąžuolai sulaiko apie 26,7 % visų kritulių, jie apsaugo nuo erozijos ir didina lietaus vandens infiltraciją. Kamštiniai ąžuolai perneša nemažai dirvožemio maistinių medžiagų iš žemutinio sluoksnio į viršutinį, todėl šios tampa prieinamos kitiems augalams. Be to, dėl savo aktyvumo ir organinės sudėties jie labai gerai sulaiko vandenį.

Trumpai tariant, kamštinis ąžuolas yra viena iš rūšių, kurią reikėtų išsaugoti atsižvelgiant į jos ekologinę ir ekonominę svarbą. Viena vertus, kamštinių ąžuolų miškuose yra viena didžiausių biologinių rūšių įvairovė pasaulyje, prilygstanti tik Amazonės atogrąžų miškams. Šiuo atžvilgiu kamštinių ąžuolų miškai yra biologinės įvairovės židiniai ir unikalios ekosistemos, pripažintos dėl savo ekologinės vertės [14]. Gerai prižiūrimi kamštinių ąžuolų plotai apsaugo nuo greito užžėlimo Viduržemio jūros kraštovaizdžio augalais, taip sumažindami gaisrų, gyvenamų vietų ir biologinės įvairovės praradimo riziką [15]. Kita vertus, dėl kamštinės žievės gavybos ir didelės vyno kamščių pridėtinės vertės įvairiuose gamybos lygmenyse (miškų, pramonės ir/arba laboratorijų) veikia tūkstančiai medienos pramonės įmonių. Kamštienos pramonė padeda išvengti kamštinių ąžuolų miškų nykimo, nes ji kuria darbo vietas įvairiose miškininkystės srityse.

2.1.2 Aplinkosaugos paslaugos

Pastaruoju dešimtmečiu gamtinių išteklių valdymo strategijos koncepcija, arba aplinkosaugos paslaugos, sulaukė didelio dėmesio. Be to, ši koncepcija palaipsniui įtraukiama į aplinkosaugos politiką [16]. Tuo pačiu metu, aplinkosaugos paslaugų apmokestinimas toliau kelia didelį susidomėjimą tarp mokslininkų ir gamtos apsaugos specialistų [17].

Pirmasis žingsnis teikiant aplinkosaugos paslaugas yra kiekybiškai įvertinti ir ekonomiškai išanalizuoti tiesiogines ir netiesiogines naudas, susijusias su kamštinių ąžuolų miško teritorija. Remiantis kitais tyrimais, įvairios ekosistemos teikia įvairias aplinkosaugines paslaugas [18], kurios gali būti suskirstytos į keturias kategorijas: (a) prekių ir paslaugų teikimas, (b) reguliavimas, (c) parama ir (d) kultūros paslaugos. Taigi, ekosistema atlieka daugybę funkcijų, pvz., teikia maistą, vandenį, kurą, medžiagas, apsaugo nuo saulės spindulių, reguliuoja vandens išteklius, apsaugo nuo gaisrų, užtikrina rekreacinę paskirtį, maistinių medžiagų apykaitą ir kt.

Šiame darbe pateikiamas Dr. Jesús Rives ir jo kolegų atliktas tyrimas, kuriame pristatoma metodika aplinkosauginių paslaugų vertinimui kamštinių ąžuolų miškuose Katalonijoje: „Katalonijos kamštinių ąžuolų miškų aplinkosauginių paslaugų vertė. Ekosistemos aplinkosauginių paslaugų vertinimas“ [18]. Pridedant prie šio tyrimo, 2.4 paveiksle pateikiamas aplinkosaugos paslaugų nustatymo metodikos pavyzdys.

Norint kiekybiškai įvertinti ir ekonomiškai išanalizuoti tiesioginę ir netiesioginę naudą aplinkai, susijusią su kamštiniais ąžuolais Katalonijoje, pirmiausia reikia atrinkti reprezentatyvią miško imtį ir pasirinkti kriterijus. Šiame etape svarbu atsižvelgti į tokius aspektus kaip:

Pagrindinė veikla – kamštinės žievės gavyba ir galimybė užsiimti kitomis papildomomis veiklomis:

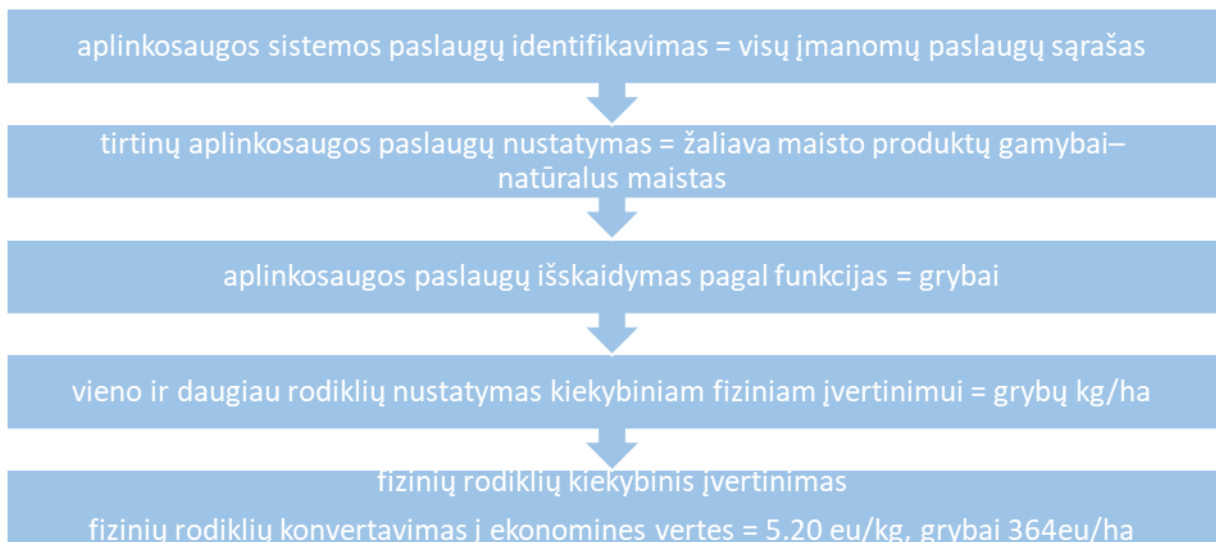
- Eksploatuojamų laukų dydžiai;
- Tipiški Katalonijos lygmens laukų dydžiai, svyruojantys nuo 200 iki 1 000 ha;
- Brandus miško struktūra – tipinė diametrinių klasių struktūra;
- Pastaruoju metu nebuvo neigiamų poveikių ekosistemai;
- Skirtingas pasiskirstymas skirtingose vietovėse;
- Galimybė įsigyti atnaujintą PTMGF¹ planą ir skaitmeninį žemėlapi.

Informacija apie pasirinktas sritis pateikta 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Pasirinktų sričių apibūdinimas [18].

Teritorija	Albera–Salines	Gavarres	Selva–Geronès	Montseny	Montnegre
Bendras plotas (ha)	201,7	937,9	269,9	479,2	481,0
minimalus ir maksimalus aukštis (m)	155–395	75–325	325–704	475–980	91–357
vidutinis nuolydis (%)	40 %	30 %	20–80%	25 %	20 %
Vidutinė temperatūra (C)	2,3–28,2	2,5–30,7	1,6–28,3	–2,0–25,0	2,7–29,0
kritulių kiekis (mm)	580,8	819,0	900,0	850,0	750,0

¹ *isp.* Plan de Trabajo para la Mejora y Gestión Forestal – specifinis dokumentas, kuris aprašo veiksmus ir strategijas miškų gerinimui ir valdymui.



2.4 Pav. Aplinkosaugos paslaugų nustatymo metodika [18].

Aprūpinimas maisto produktais		Ciklai		
natūralūs maisto produktai	grybai	dirvožemio paruošimas ir apsauga	eroduojamo dirvožemio kiekis dirvožemio erozijos lygis	
	laukiniai vaisiai	apdulkinimas	T/eroduojamo dirvožemio per metus/ha	
	kaštonai		Dieninių drugių (lot. Rhopalocera) kiekis per BMS	
	kedro riešutai		Dieninių drugių rūšių kiekis per BMS	
	medus		Rojų kiekis	
Aromatiniai ir vaisiniai augalai	%	Bičių populiacija	Bičių/ha	
		klimato reguliavimas	sukauptas anglies dioksido kiekis	CO2 kiekis/ha
Miško resursai		Prevencija		
mediena	grybai	gaisrų prevencijos kontrolė	Gaisrų kiekis per pastaruosius 100 metų	Sudegusių ha skaičius
	Kamštinis ažuolas (cuercus suber)		Gaisrų kiekis per pastaruosius 20 metų	Gaisrų kiekis
	Pajūrinė pušis (cuercus suber)		Kelių tankumas, nekilnojamojo turto priežiūra, priešgaisrinė	M/ha
	Spindulinė pušis (pinus insignis/radiata)		Vandens kiekis gaisrui malšinti	M3/ha
	Eukaliptas		spastų skaičius	spastų skaičius/metai
	Kiti medžiai			
Kamštinė žievė	Kamštinė žievė (pirmapradė žievė, reprodukcinė žievė)			
Ananasai ir dervos				
kitos miško gerybės	Biomasa			
	Malkos			
	dekoratyviniai krūmai			
Funkcijos žmogaus gerovei palaikyti				
Rekreacinė veikla	Lankytojų skaičius	Na lankytojų skaičius per metus		
		Suderinti apsilankymai per metus		
Turizmas ir ekoturizmas	Bendras kaimo turizmo vietų skaičius	nakvynių skaičius per metus	Dienos ir dalyviai	
			Na vietos	
Gamtovaizdis	Vizitų skaičius		Vizitų skaičius per metus	
Edukacinė veikla	Veiklos susijusios su edukacija ekologijos tema		Moksleivių/studentų skaičius per metus	

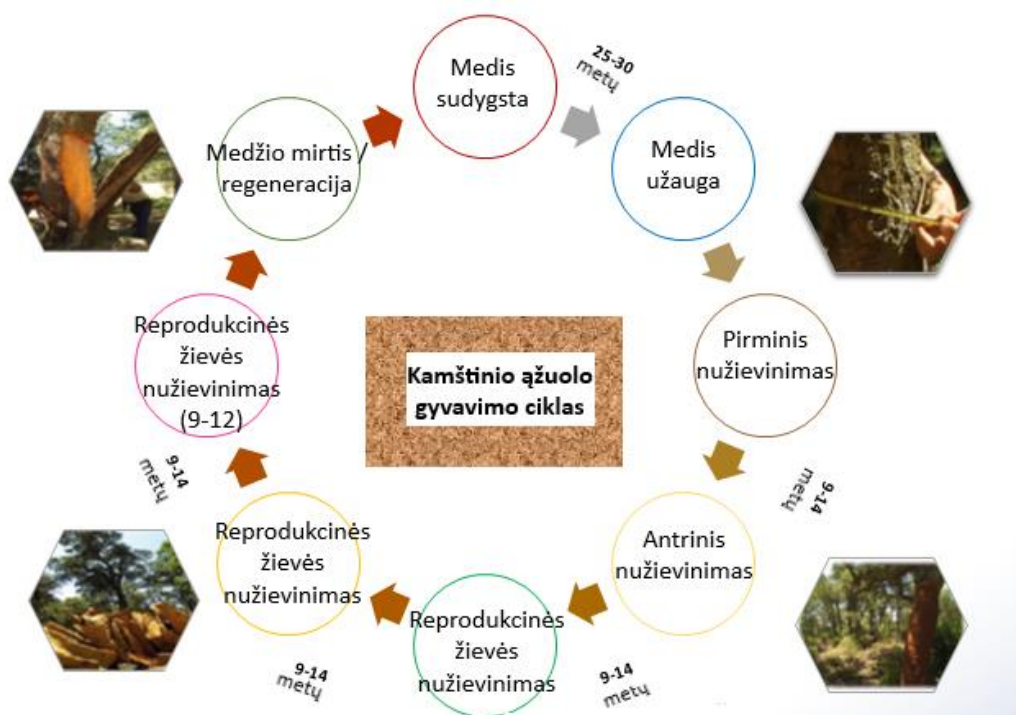
2.5 Pav. Įvairios ekosistemos teikiamos aplinkosauginės paslaugos [18] yra skirstomos į keturias kategorijas: (a) prekių ir paslaugų teikimas, b) reguliavimas, c) parama ir d) kultūros paslaugos [18].

Antrasis etapas yra aplinkosauginių paslaugų, kurias reikia tirti, nustatymas ir šių paslaugų išskaidymas pagal funkcijas. Taigi, įvairios teikiamos aplinkosauginės paslaugos yra skirstomos į keturias kategorijas, kaip jau buvo minėta anksčiau. Kiekvienos paslaugos pavaizdžius ir kai kurių jų funkcijas galima pamatyti 2.5 paveiksle.

Kitas žingsnis yra nustatyti vieną ar daugiau fizinio kiekybinio įvertinimo rodiklių ir kiekybiškai įvertinti kiekvieną iš jų.

2.1.3 Tvari priežiūra

Kamštine žieve užtikrinamas ąžuolynų ekonominis, socialinis ir ekologinis tvarumas [11]. Tvarumą galima apibūdinti trimis aspektais: gamtinėmis, socialinėmis ir ekonominėmis perspektyvomis, atsižvelgiant į miško funkcijų įvairinimą [19] ir galimybes naudoti kamštinės žievės išteklius. Tvarus kamštinės žievės gavybos procesas grindžiamas principu, kad medžio žievę galima nuimti, nepažeidžiant jo kamieno ir nesumažinant medžio gyvybingumo, nes medis vėl atsiaugina naują žievės sluoksnį. Medžių žievę nulupus siekiant gaminti vyno kamščius, būtina periodiškai nužievinti tik tam tikrą kiekį, kad būtų išlaikytos puikios medžio fiziologinės sąlygos ir išgautas reikiamas galutinis produktas (vyno kamštis). Toks tvarus kamštinės žievės naudojimas, atsižvelgiant į medžio gyvavimo ciklą, pavaizduotas 2.6 paveiksle.



2.6 Pav. Kamštinių ąžuolų gyvavimo ciklas, kuris rodo, kaip kamštinė žievė išgaunama nuo sėklos sudygimo momento iki medžio žūties (ICSuro)

Kaip matyti 2.6 paveiksle, pirminis nužievinimas atliekamas, kai medis pasiekia 30–40 metų amžių arba kai medis yra visiškai užaugęs (priimant regiono nuostatas). Šiuo metu išgauta žievė vadinama pirminė kamštinė žievė. Po 9–14 metų, priklausomai nuo regiono, medis vėl yra nulupamas ir iš jo išgaunama antroji kamštinė žievė, taip pat žinoma kaip antroji pluta. Tačiau antroji žievė netinka vyno kamščių gamybai dėl jos mechaninių savybių ir vizualinių charakteristikų. Toliau, kas 9–14 metų,

kamštinis ąžuolas periodiškai yra nužievinamas, o tai leidžia gauti reprodukcinę kamštinę žievę. Ji yra tinkama vyno kamščių gamybai. Šis procesas tęsiasi iki medžiui pasiekus 150–250 metų amžių. Tik šiomis sąlygomis galima gauti kamštinę žievę komercinės klasės produktams.

Kamštinės žievės lupimas atliekamas rankiniu būdu, kaip parodyta 2.7 paveiksle. Tai yra rankinis procesas, kuris reikalauja tam tikros patirties, norint išvengti medžio pažeidimų, ypač nepažeidžiant kambio, esančio po felogeno sluoksniu. Nužievintojų kompetencija yra būtina šiam procesui, kad operacijos būtų atliekamos teisingai bei tam, kad tinkamai būtų nustatomas kamštinio ąžuolo nužievinimo pradžios taškas.



2.7 Pav. Nužievinimo procesas (ICSuro).

Naudojant kirvį su lenkais pjovimo ašmenimis ir gana ilgą medinę svirtį kaip svertą, atliekami kamštinės žievės nužievinimo darbai. Nužievinimo procesas prasideda išilgais pjūviais kamštinėje žievėje, taip pat atliekant kelis vertikalius pjūvius horizontaliai aplink medžio perimetrą. Tada, įkišant kirvio ašmenis į pjūvį, kamštinės žievės sluoksniai atskiriami, kol pasiekama žievės atskyrimo vieta [1]. Paprastai šį darbą atlieka du žmonės, todėl jis vyksta gana greitai. Vidutiniškai per darbo dieną surenkama apie 900 kg kamštinės žievės [20]. Šiuo metu taip pat egzistuoja alternatyvus mechanizuotas procesas, kuris naudojamas kamštinės žievės atskyrimui.

2.8 paveiksle matome pirminės, antrinės ir reprodukcinės kamštinės žievės vaizdą po nužievinimo. Pirminė ir antrinė kamštinė žievė turi tam tikrų skirtumų lyginant su reprodukcinė žieve. Šie skirtumai kyla dėl peridermo audinių vystymosi ir jų struktūros. Pirminė ir antrinė kamštinė žievė turi nevienodą paviršių su lignoceliuliozės struktūromis. Todėl šių dviejų pirmųjų nužievinimų žievė nėra tinkama natūraliems vyno kamščiams gaminti.

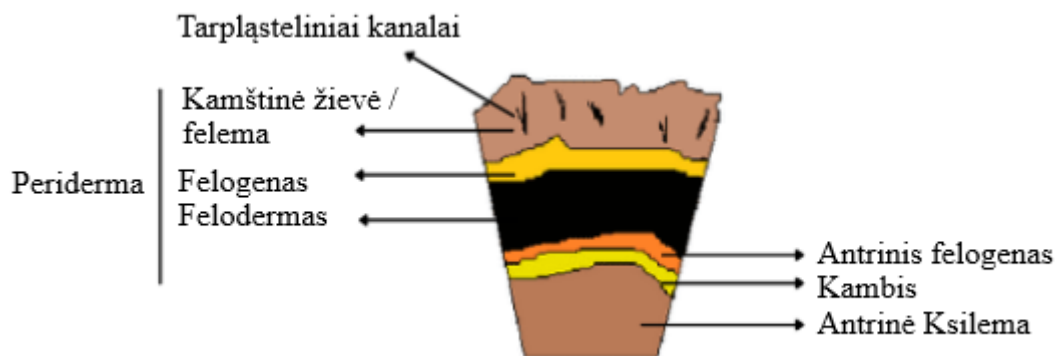


2.8 Pav. *Quercus suber*: a. Pirminė kamštinė žievė b. Antrinė kamštinė žievė c. Reprodukcinė žievė (ICSuro).

Kamštinės žievės lupimas atliekamas tik tada, kai kamštinis ąžuolas yra fiziologiškai aktyvus arba kai jo periderma yra aktyvumo fazėje. Tai reiškia, kad felogeno motininė ląstelė ir neseniai susiformavusi felemos ląstelė yra sukietėjusios, o ląstelių sienelės plonos ir trapios. Šiuo būsenos etapu kamštinis sluoksnis, esantis felogeninės aktyviosios zonos lygyje, gali būti nesunkiai atskirtas vidutine jėga. Šis procesas paprastai vyksta pavasario pabaigoje ir vasaros pradžioje. Po nužievinimo, felogenas žūsta ir susiformuoja naujas.

Šios iš anksto paminėtos sąlygos yra būtinos norint užtikrinti medžio saugumą, nes netinkamai atliekant nužievinimą gali atsirasti infekcijos židinių. Tokiu atveju medis gali patirti biologinę žalą ar net žūti.

Tačiau kaip būtent vyksta kamštienos žievės regeneracija? Pažvelgus į medžio stiebo skerspjūvį (2.9 pav.), galima pastebėti dvi meristemas, tai yra nediferencijuotų ląstelių grupes, kurios turi gebėjimą dalintis. Šios dvi meristemas yra kambis ir felogenas. Abi meristemas gali formuoti audinius iš abiejų pusių. Kambis atsakingas už ksilemos arba medienos (vidinė dalis) ir floemos arba maistinių medžiagų perduodančių *kraujagyslių* augalų audinio (išorinė dalis) formavimąsi. Tokia struktūra yra būdinga vyresniems augalams. Felogenas atsakingas už felodermos ir felemos (arba kamštinės žievės) formavimąsi atitinkamai vidinėje ir išorinėje dalyse. Kamštienos žievę sudaro floema ir periderma [1].



2.9 Pav. Kamštinio ąžuolo stiebo skersinis pjūvis (ICSuro).

Periderma yra apsauginis audinys, kuris tam tikrose rūšyse funkcionuoja tik tam tikrą laiką. Kamštinio ąžuolo (*Quercus suber*) atveju kamštinės žievės atsinaujinimas yra tiesiogiai susijęs su peridermos nuoseklia žūtimis ir vėlesne regeneracija. Be to, kamštinis ąžuolas pasižymi tam tikromis ypatingomis savybėmis, susijusiomis su peridermos vystymusi, dėsningumu, augimo intensyvumu ir ilgaamžiškumu. Kaip jau minėta anksčiau, kamštinė žievė turi unikalų gebėjimą atsinaujinti po nužievinimo, o šios savybės padaro kamštinį ąžuolą išskirtine rūšimi.

Kamštinę žievę galima panaudoti įvairiose srityse. Šiuo metu natūralūs vyno kamščiai yra labiausiai vertingas ir daugiausiai gaminamas kamštienos pramonės produktas. Jie sudaro net 70% visų kamštinės pramonės pajamų. Remiantis APCOR registracijos duomenimis, natūralūs vyno kamščiai arba negazuoto vyno kamščiai sudaro 60% visos kamštinių medžiagų rinkos. Kitos rūšies kamščiai, pavyzdžiui, putojančio vyno kamščiai, sudaro 21% rinkos, o likusieji 19% tenka kitoms rūšims.

Kamštinė žievė, kuri nėra tinkama vyno kamščių pramonei, pavyzdžiui, pirminio ir antrinio nužievinimų žievė, yra naudojama gaminti kamštinės žievės granules, kurios klasifikuojamos pagal tankį ir grūdelių dydį [21]. Tokių defektų kaip pernelyg didelių netolygumų, pvz., gilių įtrūkimų, nebuvimas daro kamštinę žievę netinkamą vyno kamščių pramonei. Todėl pirminės ir antrinės kamštinės žievės granulės gali būti naudojamos kaip galutinis produktas įvairiose srityse, remiantis jų savybėmis, kurios apima lengvumą, elastingumą ir nepralaidumą dujoms bei skysčiams.

Kamštinės žievės kokybė yra svarbus veiksnys, kuris lemia šios žaliavos tinkamumą. Jos kokybė yra vertinama vizualiai. Kaip jau minėta anksčiau, žievės klasifikavimą atlieka specializuotas operatorius, atsižvelgiant į subjektyvius kriterijus, kurie skiriasi priklausomai nuo kamštienos galutinės paskirties. Vertinant kamštinės žievės kokybę, skirtą vyno kamščiams gaminti, didžiausias dėmesys skiriamas pagrindinėms charakteristikoms: poringumui, žaliavinės žievės storiui ir tam tikriems defektams, pvz. vabzdžių padarytiems kanalams ar tangentiniams įtrūkimams.

2.1.4 Klimato kaita ir kamštinių miškų ekosistema

Kamštinio ąžuolo rūšis suteikia ekologinę, ekonominę ir socialinę naudą. Tačiau nuo XX a. šeštojo dešimtmečio pastebimas tam tikrų kamštinių ąžuolų miškų nykimas. Be to, ankstesni tyrimai rodo, kad nuo 1980–ųjų per trisdešimt metų šis nykimas sparčiai didėja [22]. Viduržemio jūros miškų gebėjimas prisitaikyti prie sistemingų pokyčių, tokiose srityse kaip intensyvus žmogaus poveikis ar klimato kaita, yra ribotas. Tačiau miškų nykimo priežastys vis dar nėra visiškai aiškios.

Dėl biotinių ir abiotinių veiksnių, tokiose srityse kaip klimato kaita ar tam tikra žmogaus veikla, ąžuolų miškai nuolat nyksta, ypač Viduržemio jūros baseine. Pavyzdžiui, dėl tam tikrų veiksmų, tokių kaip žemės ūkio paskirties žemės išskirtimas, ganymas ar arimas, kamštinių ąžuolų miškai palaipsniui pavirsta atvirais miškais [15].

Kim *et al* [5] pasiūlė keletą *Quercus suber* nykimo hipotezių. Remiantis šiuo tyrimu, tam tikri gamtiniai veiksniai, tokie kaip vidutinės metinės temperatūros padidėjimas, sausrų laikotarpiai, ekstremalūs krituliai arba vidutinio metinio kritulių kiekio sumažėjimas (57 mm per pastaruosius du dešimtis metų), yra laikomi miškų degradacijos priežastimis. Dėl šių aplinkos pokyčių medžiai gali tapti jautresni vabzdžių sukeliamiems pažeidimams ir patogenams, o tai gali prisidėti prie medžių fiziologinio nykimo pagreitinimo [23]. Ypatinę poveikį turi kylančios žiemos temperatūros, kurios skatina patogenų išgyvenamumą ir vystymąsi.

IPCC ataskaitoje teigiama, kad Viduržemio jūros regione padidėjus temperatūrai, vidutinė metinė temperatūra turėtų pakilti nuo 2 iki 4,5 °C. Karštą vasarą padidėjusi oro temperatūra gali neigiamai paveikti medžių augimą dėl didesnio respiracijos greičio ir sausros grėsmės, kuri sukelia didesnę evapotranspiracijos poreikį [5]. Be to, kamštinių ąžuolų nykimą gali sąlygoti aplinkos veiksniai, tokie kaip ilgalaikė sausra, staigūs dirvožemio vandens lygio svyravimai, drėgmė ir/arba ilgalaikiai potvyniai. Šie reiškiniai gali vaidinti svarbų vaidmenį inicijuojant augimo nuosmukį [24].

Šis nykimas siejamas su cinamono grybelio (lot. *Phytophthora cinnamomi*) infekcija, kuri iššaukia „staigios mirties“ simptomus [25, 26]. Kitos priežastys, lemiančios kamštinių medžių nykimą, yra ligos, kurias sukelia vabalų invazija į žievės sluoksnį arba oportunistinių grybų invazija į medžio stiebą ir šakas [26].

Kitas veiksnys, į kurį reikia atsižvelgti, yra žmogaus daromas poveikis. Kai kurios žmogaus veiklos rūšys, pavyzdžiui, industrializacija, urbanizacija, pernelyg intensyvi eksploatacija ar miškų gaisrai, gali pabloginti kai kurių Viduržemio jūros regiono šalių ekologinę būklę. Šios veiklos pasekmės apima klimato kaitą, didelius aplinkosaugos iššūkius, tokius kaip dirvožemio nykimas, nuosėdų susidarymas, biologinės įvairovės nykimas, taip pat vandens ir oro tarša. XIX a. pabaigoje ir XX a. pradžioje

pernelyg didelė tanino išgavimo apimtis po žievės lupimo buvo viena iš pagrindinių ilgalaikio kamštinių ąžuolų miškų nykimo priežasčių [27].

Gyvulių ganymas Viduržemio jūros miškuose yra sena praktika. Kai kuriais moksliniais tyrimais nustatyta, kad ši veikla gali būti ekologiška ir padėti išsaugoti miškus, jei vykdoma tinkamai. Masson *et al* nurodė, kad ganymas Prancūzijos kamštinių ąžuolų miškuose gali padėti suvaldyti gaisrus, vietovėse, kur auga degūs krūmai. Ankstesni tyrimai kaltino naminius gyvūnus dėl miškų sunaikinimo. Taigi, pernelyg intensyvus kamštinių ąžuolų miškų eksploatavimas gali sumažinti jų regeneracijos lygį žemiau tvaraus lygio Viduržemio jūros regione [28, 29]. Costa *et al* [20] teigimu, atsisakius tradicinės žemėtvarkos praktikos, žemės naudojimas pasikeitė, o žemės ūkio paskirties žemės plotai ir vietiniai ąžuolynai buvo pakeisti krūmynais ir greitai augančių eukaliptų bei pušų (*Pinus pinea* L.) plantacijomis.

2.2 Kamštinių gaminių anglies dioksido pėdsakas

2.2.1 Anglies dioksidas. Įvadas.

Klimato kaita yra svarbiausia mūsų gamtos ir žmonijos ateities problema. Norint sušvelninti ateities iššūkius ir nukreipti pasaulį tvariu keliu, būtina drastiškai sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) išmetimą. Dešimtmečiais pastebimas bendras grynasis antropogeninis ŠESD ir CO₂ išmetimas išlieka augantis nuo 1850. Miškininkystės sektorius suteikia galimybę prisidėti prie klimato kaitos švelninimo, kartu užtikrinant maisto, medienos ir kitų atsinaujinančių išteklių tiekimą bei biologinės įvairovės išsaugojimą. Svarbu suprasti, kad gamtiniai ištekliai gali būti atsinaujinantys arba neatsinaujinantys, priklausomai nuo to, ar jie gali būti išgaunami daugiau nei vieną kartą ir ar jie sugeba natūraliai regenerotis. Be to, miškininkystė gali prisidėti prie aeronautikos pramonės efektyvumo didinimo.

Gyvavimo ciklo analizė (GCA) ir anglies pėdsakas yra vis labiau populiarėjančios produktų aplinkosauginio vertinimo priemonės, kurios svarsto visas jų gyvavimo ciklo fazes. Pagrindinis skirtumas tarp GCA ir anglies pėdsako yra susijęs su tiriamomis poveikio kategorijomis. Anglies pėdsakas yra sutelktas į vieną poveikio aplinkai kategoriją – šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą (CO_{2eq})². Anglies pėdsako analizė apima visą produkto, veiklos ar proceso gyvavimo ciklą.

GCA, priklausomai nuo tyrimo masto, nagrinėja medžiagų/energijos sąnaudas ir gamybos apimtis per visą proceso, produkto, paslaugos, asmens ar organizacijos naudingo tarnavimo laiką. Ši analizė, kartu su Anglies Dioksido pėdsako programa, suteikia galimybę standartizuoti duomenis, atlikti tyrimus ir

² CO₂ ekvivalentas, arba CO_{2eq}, yra metrinis matas, kuris naudojamas įvertinti kitų šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas pagal jų globalinio atšilimo potencialą (GAP). Tai leidžia palyginti kitų dujų kiekius su ekvivalentiniu anglies dioksido kiekiu, kuris turi tokį patį globalinio atšilimo potencialą.

palyginimus bei nustatyti tyrimo objekto poveikį aplinkai vienetu (CO_{2eq}), nepriklausomai nuo konteksto. Tai leidžia objektyviai vertinti ir lyginti aplinkos poveikį įvairiems tyrimo objektams.

Norint įvertinti įvairių gaminių aplinkosauginį veiksmingumą, galima pasitelkti Gyvavimo ciklo analizę (GCA) ir gautus rezultatus konvertuoti į CO_{2eq} (anglies dioksido ekvivalentą), kitaip tariant, į anglies pėdsaką. Gyvavimo ciklo vertinimo metodika apibrėžiama kaip procesas, kuriuo įvertinamas gaminių, procesų ar paslaugų poveikis aplinkai viso jų gyvavimo laikotarpiu. Šis vertinimas apima medžiagų išteklių, energijos sąnaudų ir aplinkosaugos problemų inventorizavimą, pradedant žaliavų gavyba, tęsiant gamyba, naudojimu ir baigiant šalinimu (nuo pradžios iki galo) (2.10 pav.).



2.10 Pav. Gyvavimo ciklo analizė (GCA) (ICSuro).

Kamštinė medžiaga užtikrina biologinės įvairovės išsaugojimą, o tai ir yra tvaraus vystymosi pagrindas. Ji glaudžiai susijusi su šiltnamio efektą sukeliančių išmetamųjų dujų mažinimu ir CO₂ sekvestracija. Po kiekvieno nužievinimo kamštinė žievė regeneruojasi, todėl kamštinis medis nemiršta netekęs didžiąją savo žievės dalį, kuri dažniausiai sudaro daugiau nei 50 proc. viso kamieno ir šakų paviršiaus. Tai, kad vyno kamščiai yra gaminami iš gyvų medžių žievės, paskatino politikos formuotojus suteikti pirmenybę šių medžių naudojimo galimybėms, nes tai yra natūrali alternatyva. Taip pat atlikta keletas gyvavimo ciklo vertinimo tyrimų, kuriuose didžiausias dėmesys skiriamas kamštinių ąžuolų miškų tvarkymui ir jų ryšiui su aplinka [30–33].

Kamštienos sektoriaus anglies dioksido pėdsakas turi būti vertinamas visuose etapuose – nuo miškotvarkos (ne tik kamštinės žievės lupimo) ir gamybos procesų iki produkto platinimo bei produkto gyvavimo pabaigos (t. y. utilizavimo, deginimo, perdirbimo ir kt.). Be to, biogeninė anglis, sukaupta miško produktuose (kamštinėje žievėje, medienoje ir kt.), paprastai nėra įtraukiama į skaičiavimus, nes ji į atmosferą patenka perdirbimo ir gyvavimo ciklo pabaigos etapuose, kai yra suskaidoma, sudeginama arba tuomet, kai savaime biologiškai suiraa. Biogeninės anglies kaupimasis ir

emisijos, kurios užsilaiko miške (medienoje, kamštinėje žievėje, šaknyse ir lapuose), įvyksta kamštienos gaminyje jo naudojimo metu ir iki pat gyvavimo ciklo pabaigos. Atsižvelgiant į tai, ar atliekų deginimas vyksta su energijos naudojimu arba be jo, atliekų šalinimas gali būti atliekamas sąvartynuose, kuriuose kamštiena yra skaidoma anaerobiškai, arba per kompostavimą. Šie procesai yra gyvavimo ciklo pabaigos etapai ir priklauso nuo kiekvienos teritorijos galimybių: viešųjų paslaugų, susijusių su atliekų ir šalutinių produktų surinkimu bei tvarkymu.

2.2.2 Anglies dioksido fiksavimas miškuose

Remiantis naujausia Jungtinių Tautų Tarpvyriausybinės klimato kaitos komisijos (IPCC) 2022 m. ataskaita, neabejotina, kad atmosfera, vandenynas ir žemė šyla dėl žmogaus veiklos. Jei per ateinančius dešimtmečius nebus drastiškai sumažintas anglies dioksido (CO₂) ir kitų šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimas, pasaulio temperatūra XXI amžiuje pakils 1,5–2°C. Iš fizikos mokslo perspektyvos aišku, kad siekiant sumažinti žmogaus sukulto visuotinio atšilimo lygį iki iš anksto nustatyto standarto, būtina riboti bendrą CO₂ išmetimą ir siekti, kad CO₂ išmetimas būtų lygus nuliui. Taip pat būtina ženkliai mažinti kitų šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą. Nors žmonės prisiima atsakomybę už iškastinio kuro deginimą, anglies dioksido asimiliacija ir vidutinės trukmės „sulaikymas“ miškuose gali padėti sumažinti iškastinio kuro išmetamų anglies dvideginio dujų kiekį.

Kamštinių ąžuolų (lot. *Quercus suber*) miškai yra unikalios ekosistemos: tai ilgalaikės tradicinės ūkininkavimo praktikos ir sąveikos tarp žmogaus bei aplinkos rezultatas. Kamštinių ąžuolų miškai, kaip ir visi miškai, teigiamai veikia klimato kaitą, nes per fotosintezę pašalina anglies dioksidą (CO₂) iš atmosferos ir jį saugo savo daugiamečiuose audiniuose bei dirvožemyje kaip organinę medžiagą. Kamštiniai ąžuolai yra ilgaamžiai medžiai. Jie ilgą laiką gali kaupti anglies dioksidą, o jų tvirta žievė išlieka net po kamštinio ąžuolo mirties. Tas pats pasakytina ir apie kamštinius gaminius, nes jie yra labai patvarūs ir gali būti naudojami ilgą laiką. Be to, atliekų tvarkymo aikštelėse (kamštienos medžiaga nesunkiai suyra) šie gaminiai kaupia didžiąją dalį anglies (biogeninės anglies), kuri yra kamštienos žievėje. Tokiu būdu jie prisideda prie CO₂ dujų sukeliama šiltnamio efekto mažinimo.

Anglies balansas miško ekosistemose vertinamas atsižvelgiant į fotosintezės proceso metu absorbuojamą anglies dioksidą ir ekosistemos respiracijos metu išskiriamą anglies dioksidą, įskaitant dirvožemyje esančių organinių medžiagų skaidymą, iš kurių gaunamos būtinos maistinės medžiagos. Todėl yra labai svarbu įvertinti ekosistemos pusiausvyrą, tai yra grynąją produkciją.

Įvairių tyrimų duomenimis [34–38], kamštinių miškų ekosistemos absorbuoja nuo 2 iki 14 tonų CO₂/ha per metus, priklausomai nuo ekosistemos tipo (pieva ar miškas) ir klimato sąlygų.

Europos Sąjunga sukūrė ICOS (Integruotąją anglies dioksido stebėjimo sistemą) siekdama remti pasaulines pastangas kiekybiškai įvertinti anglies dioksido balansą. Portugalijoje atliktų tyrimų metu buvo įvertintas metinis kamštinių ąžuolų miškų anglies dioksido sulaikymo pajėgumas (Montado arba Portugalijos kamštinių ąžuolų miškų atveju). Pavyzdžiui, centrinėje Portugalijoje, Herdade da Machoqueira, 50 metų kamštinių ąžuolų miške (*Quercus suber*) su pusiau lapuočių krūmų rūšių pomiškiu ir vietinėmis pievomis, metų vidurkis rodo anglies dioksido sulaikymą iki -388 g C m^{-2} per metus⁻¹ [37] (tai yra 14,2 tonų CO₂ per hektarą per metus). Tačiau nepalankių sąlygų, pavyzdžiui, sausrinių metų atveju, anglies dioksido absorbcija gali smarkiai sumažėti (apie 45 %).

Anglies sankaupos kamštinių ąžuolų miškuose daugiausia priklauso nuo miškų vietos, nes ji turi įtakos medžių tankumui hektare, nužievinimo laikotarpiui ir augimo greičiui. Kasmetiniai anglies dioksido absorbcijos pokyčiai taip pat priklauso nuo konkrečių metų klimato sąlygų.

Šioje lentelėje pateikiami kamštinio ąžuolo miško grynosios anglies absorbcijos rezultatai (fiksacija minus emisija, tai yra grynas ekosistemos mainų kursas) remiantis įvairiais tyrimais. Taip pat lentelėje pateikiami grynojo CO₂ apykaitos pokyčiai, priklausantys nuo klimato sąlygų ir galutinio vidurkio.

Tyrimuose anglies dioksido fiksacijos rezultatai dažnai pateikiami gCm^{-2} vienetais per metus⁻¹. Šie rezultatai buvo perskaičiuoti į standartines vertes tonomis CO₂ ha⁻¹metus⁻¹. Be to, kai tyrimuose nurodomi reikšmių intervalai, 2.2 lentelėje jie buvo paversti vidutine verte.

2.2 lentelė. Grynasis ekosistemų mainų kursas (t CO₂/ha per metus).

1.	Autorius	Tonos CO ₂ /ha per metus	Ekosistema	Laikotarpis	Vieta
2.	Pereira [34]	-3.1	Akmeninių ir kamštinių ąžuolų giraitė	2003–2006	Alentežas, Portugalija
3.	Garcia [82]	-2.9	Kamštinių ąžuolų miškas	2005	Katalonija, Ispanija
4.	Costa-e-Silva et. al. [37]	-14.2	Kamštinių ąžuolų giraitė	2011	Centrinė Portugalija
5.	Spampinato <i>et al</i> [38]	-5.0	Kamštinių ąžuolų giraitė	2017	Kalabrija, Italija
6.	Montero <i>et al</i> [35]	-1.9*	Kamštinių ąžuolų giraitė ir miškas	2004	Ispanija

* Bendro metinio biomasės prieaugio (1 031 232 tonos CO₂ekv) ir kamštinio ąžuolo paplitimo ploto Ispanijoje (541 179 ha pagal INIA–CSIC duomenis) santykio rezultatas.

Nustatant biomasės kiekį, išreikštą sausąja mase, kiekybiškai įvertinamas miško ekosistemose fiksuotas anglies dioksido kiekis ir panašus iš atmosferos pašalinto anglies dioksido (CO₂) kiekis. Augalų audiniuose, tokiose kaip mediena, lapai ir kt., užfiksuota anglies dalis sudaro apie pusę biomasės, o anglies dioksido ekvivalentas apskaičiuojamas dauginant anglies kiekį biomasėje iš anhidrido anglies ir elementarinės anglies molekulinio masių santykio.

Kamštinės žievės naudojimas glaudžiai susijęs su CO₂ absorbcija. Periodiškai lupant kamštinius ąžuolus, jie regeneruoja 250–400 proc. daugiau žievės [39] nei nenužievinus jų (lupamas medis greitai pradeda regeneruoti naują žievę, kad apsisaugotų), todėl padidėja CO₂ fiksacija. Tvarus kamštinių ąžuolų miškų tvarkymas ir eksploatavimas dėl komercinio šios medžiagos panaudojimo skatina didesnę kamštinės žievės regeneraciją, taip izoliuojant daugiau CO₂ [40]. Be to, kamštienos gaminiai gali tarnauti metus (pvz., vyno kamščiai) arba dešimtmečius (pvz., grindų dangos ir kitos statybinės medžiagos).

Iš tikrųjų, vis dar trūksta išsamių tyrimų, kurie išnagrinėtų vyno kamščių perdirbimo įtaką kamštienos naudingam tarnavimo laikui pailginti. Pavyzdžiui, Katalonijos kamštienos instituto fondas (Catalan Cork Institute Foundation) palaiko iniciatyvas, kurios siekia skatinti perdirbtų ir granuliuotų kamščių naudojimą miestuose. Be to, atsižvelgiama į biogeninio anglies dioksido išmetimą kamštienos eksploatacijos pabaigos etape. Ankstesniuose tyrimuose manoma, kad deginant kamštienos gaminius, visos jų biogeninės anglies dalelės išskiriamos atgal į atmosferą, kai pasibaigia jų naudojimo laikotarpis. Paprastai manoma, kad tik 2 proc. biogeninės anglies, kuri yra daiktų sudėtyje, išsiskiria, o likusi dalis lieka atliekų perdirbimo aikštėse visam laikui [41]. Kai kamščių naudingo tarnavimo laikas pailgėja, anglies dioksido neutralumo savybės gali būti pratęstos iki paties kamštienos suirimo arba jos panaudojimo panaudojimo kūrenimo tikslams.

Kamštinės žievės lupimas vyksta vasaros metu (nuo gegužės iki rugpjūčio mėn.), kai medžio stiebas pasiekia 0,7 m (Portugalijoje), 0,65 m (Katalonijoje ir Andalūzijoje) arba 0,60 m (Estremadūroje) perimetrą 1,3 m aukštį. Tas pats medis yra nužievinamas du kartus iš eilės, mažiausiai kas 9–14 metų (priklausomai nuo teritorijos). Pirmasis kamštinės žievės lupimas (nužievinimas) įvyksta tik tada, kai kamieno skersmuo yra pakankamai didelis. Pirmoji išgauta žievė vadinama pirmine kamštine žieve, kuri dėl išorinių paviršiaus nelygumų paprastai yra susmulkinama ir vėliau naudojama statybose. Pirmoji kamštinė žievė yra skirta kamštienos granuliuojimo pramonei, kur iš jos gamina granules, kurios aglomeruojamos gaminant juodos kamštienos gaminius, o vėliau naudojamos kaip izoliacinė medžiaga statybose.

Nužievinus medį pirmą kartą, po 9–14 metų, medis yra vėl lupamas. Ši žievė vadinama antrine žieve (katalonų kalba – matxot, ispanų kalba – segundero, portugalų kalba – secundeira). Tačiau dėl jos savybių, kurios nėra optimalios vyno kamščių gamybai (didžiausios pridėtinės vertės naudojimui), ji siunčiama į granuliavimo pramonę, kur naudojama baltos granuliuotos kamštienos izoliacijai ir kitų aglomeruotų kamštienos gaminių gamybai.

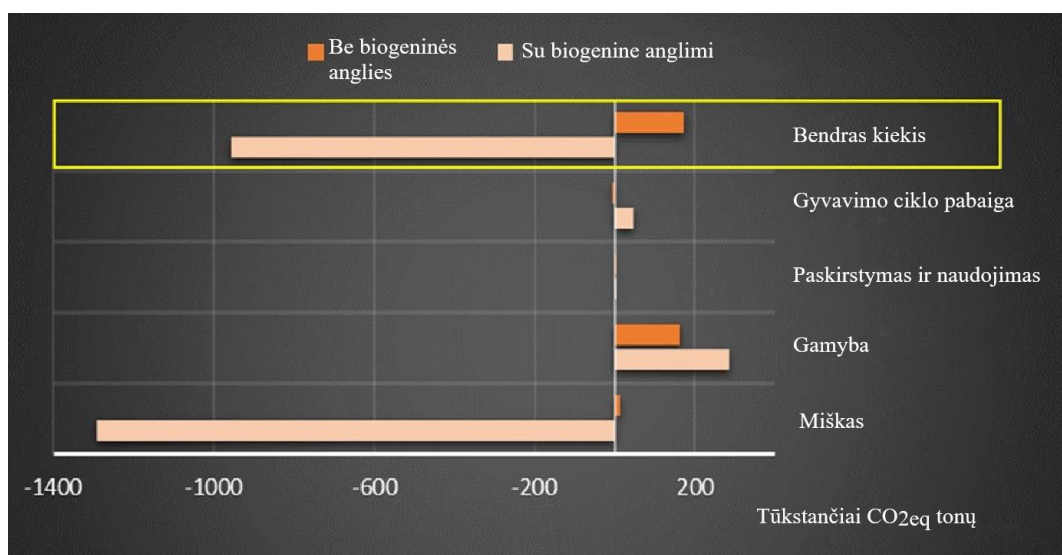
Trečiuoju ir vėlesniais nužievinimo etapais išgaunama vienodesnė žievė. Gamyboje naudojama reprodukcinė kamštiena, skirta natūralių kamščių gamybai. Šie kamščiai skirti negazuoto vyno pramonei. Reprodukcinė žievė taip pat naudojama natūralių kamštinių diskų gamyboje, kuri dažniausiai siejama su aglomeruotų kamštinių kaiščių pramone, pastarieji kartais yra vadinami techniniais kaiščiais. Jų paskirtis – užkimšti putojančio vyno butelius. Putojančio vyno buteliuose susidaro vidinis slėgis, o techniniai kaiščiai padeda efektyviau sandarinti butelius. Iš kamštinės žievės, gautos genint kamštinių medžių šakas ir nelygius kamienus, išgaunamas šalutinis kamštienos produktas, vadinamas negyva kamštine žieve (katalonų kalba – suro pelut, portugalų kalba – falca), kuri yra kelių kamštinės žievės veislių, vidinės žievės ir medienos mišinys. Po to, kai kamštinė žievė atskiriama nuo medžio, ji laikoma prastesnės kokybės (pirminė ir antrinė kamštinė žievė) ir yra susmulkinama bei aglomeruojama, kad ją būtų galima naudoti statybinėms medžiagoms gaminti.

Manoma, kad kamštinio ąžuolo maksimalus eksploatavimo amžius yra 150–200 metų [37]. Kamštiniame miške medžių tankis labai skiriasi priklausomai nuo regiono, svyruodamas nuo 50 iki 150 medžių viename hektare. Bendrai, atliekant GCA, per visą nužievinimo laikotarpį galima manyti, kad vidutiniškai viename hektare yra 100 medžių. Kamštienos produkcija miške gali stipriai skirtis priklausomai nuo teritorijos, nes tai lemia skirtingos klimato ir ekologinės sąlygos. Šie faktoriai, savo ruožtu, daro įtaką medžių tankumui, kamštinių medžių vystymosi greičiui ir nužievinimo intensyvumui. Pavyzdžiui, Katalonijos miškuose iš vieno hektaro galima gauti nuo 1,49 iki 3,48 tonų kamštinės žaliavos [42].

Yra du pagrindiniai kamštinių ąžuolynų valdymo modeliai arba ekosistemos: agrosilvopastoralinės sistemos, kurios dominuoja Portugalijoje ir Pietų Ispanijoje, bei miškų sistemos, kurios yra paplitusios Katalonijoje ir Pietų Prancūzijoje. Šie modeliai skiriasi dėl skirtingų poveikio lygių, kurie miško sistemose paprastai yra mažesni [41]. Šiuose dviejuose modeliuose aplinkos karštieji taškai yra skirtingi. Miškų sistemoje jie susiję su tvarkymu, kelių priežiūra, darbininkų ir kamštienės žievės gabenimu, o agro–silvopastoralinėse sistemose tai yra tręšimas, genėjimas ir tvarkymas. Poveikio aplinkai paskirstymo kriterijai turi didelę įtaką gautiems rezultatams, įskaitant pirminį kamštinės žievės kiekį agrosilvopastoralinėse sistemose ir pirminį bei antrinį kamštinės žievės kiekį miško sistemose. Palyginus Portugalijoje ir Katalonijoje nustatytą pirminio ir antrinio kamštinės žievės perdurbimo poveikį, matyti, kad Katalonijoje poveikis yra mažesnis dėl mažiau intensyvių valdymo

procedūrų, jos buvo aprašytos anksčiau. Portugalijoje, ypač Alentežo regione, ir Katalonijoje kamštinių ąžuolų miškai yra prižiūrimi skirtingai. Portugalijoje kamštinių ąžuolų miškai yra intensyviai prižiūrimos agrosilvopastoralinės sistemos, kurios apima mažą medžių tankumą. Katalonijos miškų sistemos, priešingai, pasižymi didesniu medžių tankumu, mažesniu automatizuotų operacijų skaičiumi ir netręšimu. Dėl šių skirtumų Portugalijoje išgaunama kamštinė žievė turi didesnę poveikį aplinkai nei Katalonijoje išgauta žievė [41].

Portugalijos kamštienos sektoriui sukurtas kamštienos anglies pėdsako modelis (CCFM) [33] gali būti taikomas ir kitose teritorijose, pvz., Ispanijoje. Tai rodo, kad kamštienos sektorius veikia kaip anglies dioksido sugėrėjas, o tai reiškia, kad viso sektoriaus veikla sulaiko daugiau CO₂ nei išmeta į atmosferą kamštienos perdirbimo procese. Iš 2.11 paveikslo matyti, kad miško biologiniams tikslams iš kamštinių miškų paimtas anglies kiekis yra didesnis nei viso sektoriaus išmetamo šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) kiekis, įskaitant biogeninę anglį. Be to, iš paveikslo matyti, kad didžiausias ŠESD kiekis išsiskiria gaminant aglomeruotus gaminius, daugiausia dėl dervų, kurios sumaišomos su kamštienos granulėmis aglomeruotos kamštienos gamybai. Šis faktas rodo, kad kamštinių ąžuolų miškai ir kamštienos produktai gali prisidėti prie šiltnamio efekto mažinimo, mažindami anglies dioksido išmetimą į atmosferą.



2.11 Pav. Kamštienos anglies pėdsakas sektorių etapuose, apskaičiuotas naudojant *Kamštienos anglies pėdsako* modelį [43].

2.2.3 Kamštinių gaminių gyvavimo ciklas

Produktų kategorijos taisyklės (angl. PCR) kūrimas ir taikymas galėtų būti naudingas kamštinių gaminių atveju. PCR leistų palyginti skirtingų tyrimų rezultatus ir padėtų išvengti klaidingų apskaičiavimų, nes būtų taikoma standartizuota metodika. Faktiškai šio dokumento

rašymo metu Ispanijos standartizacijos techninis komitetas (CTN 56 SC5), kuris atsakingas už kamštinių gaminių standartizavimą ir vadovaujamas Katalonijos kamštienos instituto fondo, rengia tokią taisyklių sistemą. Šių taisyklių tikslas yra standartizuoti įvairių kamščių rūšių poveikio aplinkai apskaičiavimo metodiką. Literatūroje galima rasti kelis GCA tyrimus, kuriuose nagrinėjamas pagrindinių kamštienos gaminių poveikis aplinkai, minimi natūralūs kamščiai, šampano kaiščiai ir kamštinė grindų danga. Šiuo metu Katalonijoje atnaujinama integruota aplinkosauginė analizė tam tikriems kamštienos produktams [44].

Taikant GCA galima įvertinti visų naudojamų medžiagų, sunaudojamo iškastinio ir atsinaujinančio kuro bei visų išmetamųjų dujų kiekius, siekiant nustatyti didžiausią įtaką turinčius etapus, kuriuos galima pakeisti ir taip sumažinti bendrą kamštinių gaminių gamybos poveikį aplinkai. Pramonės atstovai gali nagrinėti duomenis, kurie yra susiję su pagrindiniais karštais gamybos proceso taškais: katilais ir miškų ūkiu; tokiu būdu siekdami įgyvendinti tobulinimo priemones ir mažinti galutinį poveikį aplinkai bei kurti gyvavimo ciklo pabaigos strategiją. Kadangi šie du procesai daro didžiausią poveikį visoms vertinamoms poveikio kategorijoms, kamštienos pramonė, dėmesį sutelkdama į šiuos aspektus, galėtų pasiekti geresnių aplinkosauginių rezultatų. Pavyzdžiui, miškotvarkos atveju alternatyvus požiūris galėtų būti įgyvendinamas keičiant veiklų dažnumą: mažinant savaiminės augalijos kirtimą ar tręšimą. Tačiau šių veiksmų poveikis turi būti nuodugniai ištirtas, kad nebūtų sumažintas miškų produktyvumas, kuris galėtų turėti neigiamą įtaką anglies pėdsakui.

Kaip nurodyta anksčiau, sukaupta anglis išlieka kamštinio ąžuolo biomasėje, o vėliau – kamštienos gaminiuose iki tol, kol sudegs ar suirs ir pateks į atmosferą. Svarbu apsvarstyti kelis miško etapus (įskaitant kamštinio ąžuolo tvarkymą), gamybos etapus (įskaitant skirtingus kamštinių gaminių gamybos procesus), naudojimo etapus (įskaitant panaudotų kamštinių gaminių transportavimą į platinimo vietas) ir gyvavimo ciklo pabaigos etapus (įskaitant perdirbimą, kompostavimą, deginimą arba kūrenimą bei sunaikinimą atliekų perdirbimo aikštelėse). Taip pat svarbu paminėti CO₂ sekvestravimą miško etape, ypač kamštinių ąžuolų augimo metu. Būtina atsižvelgti į biogeninio CO₂ išmetimą ir kaupimą (kuris įvyksta kamštinėje medžiagoje), tačiau reikia atkreipti dėmesį į tai, kad gyvavimo ciklo pabaigos etapas turi didelę įtaką rezultatams, nes gali juos pakeisti iš esmės. Nėra duomenų, kad visa biogeninė anglis sistemos cikle išlieka. Atsižvelgiant į tai, kad perdirbti kamščiai gali būti naudojami kitiems aglomeruotiems kamštiniam gaminiams, ypač statyboms, Demertzi [33] apskaičiavo, kad 30 % žaliavos pateka į galutinį produktą. Manoma, kad perdirbant 30 %

natūraliuose kaiščiuose esančios anglies lieka sistemoje ir neišsiskiria į atmosferą, tuo tarpu 70 % natūraliuose kamščiuose esančios biogeninės anglies patenka į atmosferą dėl kamštienos dulkių degimo. Kai į skaičiavimus įtraukiama biogeninė anglis, CO₂ absorbcija miško etape įgyja neigiamą išmetimo reikšmę, nes dėl jos sumažėja CO₂ kiekis atmosferoje.

Pagal standartą ISO 14067:2018 „Šiltnamio efektą sukeliančios dujos. Produktų anglies pėdsakas. Kiekybinio įvertinimo reikalavimai ir gairės“, kai biogeninė anglis yra saugoma produkte ilgiau nei 10 metų, ji turėtų būti dokumentuojama ir įvertinama, tačiau neturėtų būti įtraukiama į produkto anglies pėdsaką.

Įvairių kamštienos gaminių galutinės paskirties vietos turėtų būti nustatomos remiantis pagrindinėmis kietųjų komunalinių atliekų galutinės paskirties vietomis ir perdirbimo strategijomis. Perdirbimo procesas galėtų suteikti ilgesnį naudingo tarnavimo laiką visam kamštienos sektoriui. Reikia atsižvelgti į tai, kad pagal ECOVIDRIO (pelno nesiekianti organizacija, atsakinga už visų stiklo pakuočių atliekų perdirbimą Ispanijoje) duomenis, 2020 m. Ispanijoje stiklo perdirbimo įmonėse buvo surinkta 440 tonų kamščių. Taip pat, pagal ECOEMBES (pelno nesiekianti organizacija, prižiūrinti į geltonas ir mėlynas šiukšliaduobes išmetamų atliekų perdirbimą) duomenis, integruotos atliekų tvarkymo sistemos, besilaikančios vyninės, deklaravo viso 3700 tonų kamščių atliekų. Todėl kamštienos ir vyno sektoriai turi didelį potencialą perdirbti kamščius ir prailginti jų naudojimo laiką, panaudojant juos kitoms paskirtims, taip atidedant biogeninės anglies išsiskyrimą į atmosferą.

Priklausomai nuo vertinamos poveikio kategorijos, galima pasirinkti įvairius galutinio naudojimo atliekų tvarkymo sprendimus: atliekų tvarkymo aikšteles, deginimą, kūrenimą, kompostavimą ir perdirbimą. Kai kurios alternatyvos gali duoti geriausius aplinkosauginius rezultatus klimato kaitos, ozono sluoksnio nykimo ir rūgštėjimo srityse, tuo tarpu kitos gali būti efektyvios fotocheminio ozono susidarymo ir mineralinių bei iškastinių išteklių išekvojimo srityse. Tačiau daugumoje poveikio aplinkai kategorijų, atliekų perdirbimo aikštelė neužtikrina optimalių rezultatų.

Tačiau vertinant biogeninės anglies dioksido emisiją pagal klimato kaitos kategoriją, paaiškėjo, kad perdirbimo pasirinkimas yra veiksmingiausias, nes didžioji dalis biogeninės anglies beveik visam laikui išliktų kamštiniuose gaminiuose ir nepatektų į atmosferą. Šių gaminių CO₂ absorbcija yra pagrįsta anksčiau nustatytu anglies kiekiu įvairiose kamštinėse medžiagose. Žinodami biogeninės anglies kiekį įvairių rūšių medžiagose, inžinieriai, architektai, dizaineriai ir kiti specialistai gali lengvai

apskaičiuoti CO₂ kiekį, susikaupusį skirtingos paskirties kamštiniuose gaminiuose. Kita vertus, galima manyti, kad kamštienos gaminiai, atsižvelgiant į jų fizines ir mechanines savybes, turi potencialą pakeisti plastikines medžiagas. Plastikinių medžiagų gamybai reikalinga daugiau energijos, šios medžiagos yra išgaunamos iš neatsinaujinančių šaltinių. Šie skaičiavimai tampa svarbūs, siekiant anglies dioksido neutralumo, dėl to jie tampa aktualia problema. Gilo darbe [31] (2.3 lentelė) pateikiamas pavyzdys, iliustruojantis šiuos skaičiavimus.

2.3 lentelė. CO₂ kiekis įvairiuose kamštienos gaminiuose [31].

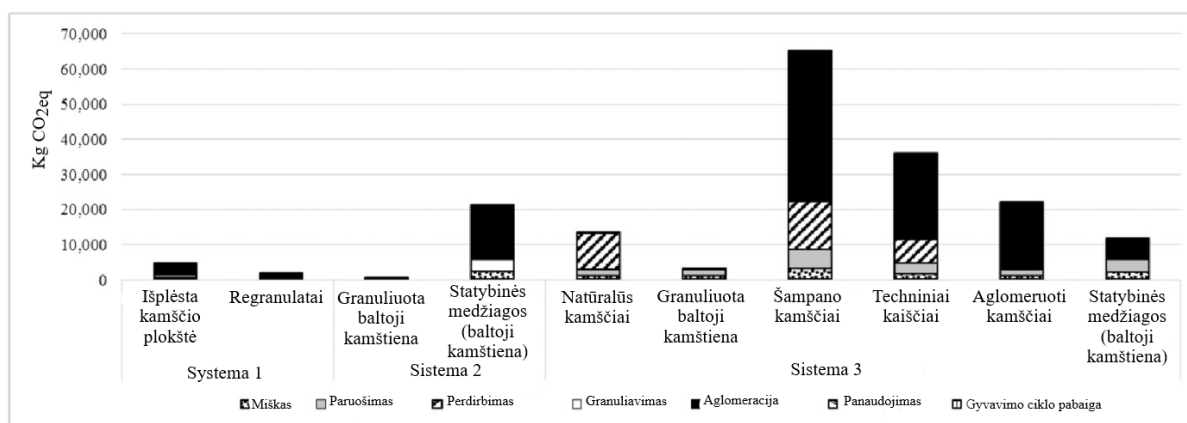
Gaminys	CO ₂ g/gaminiui	CO ₂ g/gaminiui
Putojančių gėrimų kamščiai (aglomeruotas iš 2 kamštinių diskų)	16.5	1.90
Negazuoto vyno kamščiai (natūralus kamštis)	10.6	1.89
Agglomeruoti kamščiai negazuotam vynui	9.3	1.90
Mikro aglomeruotas kamštis negazuotam vynui	7.9	1.47
Išplėsta kamščio plokštė (40 mm pločio)	–	2.27
Išplėsta jungtis (12 mm pločio)	–	1.93

Natūralaus kamščio sudėtyje yra 100% kamštienos. Norint, kad kamštis būtų laikomas kamščiu, jo sudėtyje turi būti ne mažiau kaip 65% kamštinės masės [45]. Kitose kamštienos pagrindo medžiagose taip pat yra nemažai anglies, nuo maždaug 55% iki maždaug 65% (m/m), todėl šios medžiagos pasižymi dideliu anglies dioksido absorbcijos potencialu. Atsižvelgiant į šį aspektą ir tai, kad kamštinės medžiagos yra ilgaamžės ir gali būti perdirbamos po pirmojo panaudojimo, jos dažniausiai yra pasirenkamos ekologiškiems ir tvariems tikslams.

2.2.4 Anglies dioksido pėdsakas

Kamštienos pramonė išsiskiria plačiu kamštinių gaminių asortimentu. 2.12 paveiksle pavaizduoti tipiškiausi gaminiai, pagaminti iš įvairių rūšių kamštinės žievės: juodos spalvos aglomeruotos kamštiniai konstrukciniai gaminiai ir granulės (iš negyvos medienos kamštinės žievės ir pirminės kamštinės žievės), baltos spalvos aglomeruotos kamštiniai konstrukciniai gaminiai ir granulės (iš negyvos medienos ir antros reprodukcinės kamštinės žievės), natūralūs kamščiai ir diskai bei aglomeruoti kamščiai ir konstrukcinės medžiagos (iš reprodukcinės kamštienos). Šie gaminiai sudaro

97,6% visų Portugalijoje parduodamų kamštinių gaminių [46]. Ispanijoje beveik 100% visų gaminamų kamštinių gaminių yra kamščiai. Likusią kamštinės medžiagos dalį sudaro žaliavos ir apdailos gaminiai, kompozitai. Kamštiena taip pat naudojama mados industrijoje, tačiau šiuo metu nėra duomenų apie išmetamą ŠESD kiekį gamybos metu.



2.12 Pav. Anglies dioksido pėdsako modelio išvesties duomenys: tipiškiausi kamštienos pramonės galutiniai produktai, neįskaitant biogeninės anglies ir miško sekvestracijos.

Bendras kamštienos sektoriaus anglies pėdsakas gali būti žymiai sumažintas, jei atsižvelgsime į anglies dioksido sekvestraciją miške. Žinoma, kad 79 proc. miške sukaupto anglies dioksido yra susikaupę kamštinių medžių medienoje, šaknyse ir lapuose, o likę 21 proc. yra kamštienos žaliavoje [48]. Atsižvelgdami į geriausias anglies dioksido sekvestracijos miške sąlygas ($14,2 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ per metus^{-1}) ir vidutinį $1,5 \text{ t}$ iš hektaro produktyvumą, gausime, kad kiekvienam išgautam kamštienos kilogramui absorbuojama $-9,5 \text{ kg CO}_2$. Ši anglies dioksido fiksavimo miškuose skaičiavimą galima vertinti kartu su anglies pėdsako skaičiavimo rezultatais. Taip bus lengviau suprasti teigiamą kamštinės medžiagos naudojimo poveikį.

Kuo artimesnė tikrovei anglies dioksido sekvestracijos vertė yra itin svarbi anglies ūkiams. Anglies ūkis – tai ekologiškas verslo modelis, vadovaudamiesi kuriuo žemės valdytojai gauna atlygį už tai, kad taiko geriausias žemės valdymo praktikas, kurios padidina anglies dioksido sekvestraciją gyvoje biomaseje, negyvoje organinėje medžiagoje ir dirvožemyje. Tokiu būdu yra prisidedama prie anglies dioksido surinkimo ir / ar mažesnio išmetimo į atmosferą, laikomasi ekologinių principų, naudingų biologinei įvairovei ir visai gamtinei aplinkai. Valstybė arba privatūs rėmėjai gali teikti skatinamąsias priemones žemės valdytojams, siekiant atlyginti už šią žemės valdymo praktiką. Anglies ūkiai turi potencialą tapti nauju pajamų šaltiniu žemės valdytojams. Juk jie taip pat galėtų gauti naudos iš derlingesnės ir atsparios žemės. Be to, anglies ūkininkavimo metodai yra naudingi biologinei įvairovei, jų dėka gerėja ekosistemų paslaugos, o žemės valdytojai tampa atsparingesni klimato kaitai.

2.3 Potencialūs kamštienos panaudojimo būdai

2.3.1 Esminės savybės

Kamštiena yra natūrali medžiaga, išgaunama iš išorinės kamštinio ąžuolo žievės. Kamštinis ąžuolas (*Quercus suber* L.) paplitęs Viduržemio jūros regiono vakarinėje dalyje. Kamštiena – tai ypatinga medžiaga: ji lengva ir nepralaidi vandeniui, todėl yra tinkama plūdžių gamybai; ji lengvai suspaudžiama ir nepralaidi skysčiams, todėl plačiai naudojama kamščių pramonėje [34]. Dėl itin mažo šiluminio laidumo kamštinei medžiagai būdingos puikios abliacinių medžiagų savybės, taigi ji naudojama kosminėje pramonėje, kad apsaugotų kosminius laivus nuo aukštų temperatūrų. Kamštiena yra taip pat naudojama kaip izoliatorius, o tai, kad ji tinkamai absorbuoja energiją, leidžia šią medžiagą sėkmingai taikyti ir kitose aviacijos ir kosmoso srityse. Tačiau, kodėl kamštinė medžiaga pasižymi šiomis savybėmis?

XVII a. Robertas Hukas (Robert Hooke) supjaustė mažą kamštinės žievės gabalėlį, padėjo jį po mikroskopu, nukreipė į jį saulės šviesą storu lęšiu ir žiūrėjo į pavyzdį per okuliarą. Tai, ką pastebėjo Hukas, prilygo bičių koriui. Kamštinės žievės struktūrą sudarė daugybė mažų, tuščių ertmių, kurias skyrė plonos sienelės. Šias ertmes jis pavadino „poromis arba ląstelėmis“. Jis apskaičiavo, kad kubiniame kamštienos colyje yra maždaug dvylika šimtų milijonų tokių ląstelių. Hukas atrado mikroskopinę kamštienos struktūrą. Jis manė, kad būtent ji lemia kamštinės medžiagos makroskopines savybes. Jo hipotezė pasitvirtino, tačiau jis nežinojo, kad yra dar vienas veiksnys, paaiškinantis įvairias kamštinės medžiagos savybes [49].

Medžiagos savybes lemia jos sudedamųjų dalių cheminės savybės, jų santykinis kiekis ir pasiskirstymas (2.13 pav.). Kaip ir kitose ląstelinėse medžiagose, kamštienos cheminiai komponentai yra ant ląstelių paviršių ir kraštų, sudarydami trimatį kietos matricos tinklą, kuris supa oru užpildytas tuščiavidures ląsteles. Daugelis unikalių kamštienos savybių yra tiesiogiai susijusios su jos chemine sudėtimi, o kitos, pavyzdžiui, mechaninės savybės ir sąveika su skysčiais, priklauso nuo ląstelės struktūrinių savybių ir cheminės ląstelės sienelės struktūros. Taigi, kamštienos fizinės ir mechaninės savybės nulemia augalo sienelės (suberino, lignino ir polisacharidų) ląstelinė struktūra ir cheminė sudėtis.

Šioje dalyje aptariamos pagrindinės kamštienos savybės, jos cheminė sudėtis ir struktūra.

Struktūrinės charakteristikos

Kamštienos makroskopinė ląstelės sandara yra plačiai žinoma, tačiau jos mikroskopinė sandara vis dar menkai išaiškinta. Užaugusios kamštinės ląstelės netenka citoplazmos ir ištuštėja. Pripažinta, kad ląstelės sienelė yra sudėtinga struktūra, kurią sudaro pirminė sienelė, daugiausia sudaryta iš celiuliozės; antrinė sienelė, kuri yra sudaryta iš plokštelių suberino ir, iš dalies, lignino sankaupu; bei

trejinė sienelė, sudaryta iš polisacharidų. Gauta struktūra sudaro tuščiavidurių ląstelių rinkinį. Kamštiena yra anizotropinė medžiaga. Radialinės krypties skerspjūvis (paviršius statmenas žievės augimo kryptiai) primena korį su daugiakampėmis ląstelėmis, turinčiomis nuo keturių iki devynių kraštinių [1]. Tangentinis ir ašinis skerspjūviai yra morfologiškai panašūs, o struktūra primena plytų sieną (prizminės ląstelės) [2].



2.13 Pav. Kamštienos fizikinių ir mechaninių savybių schema: struktūrinės savybės ir cheminė sudėtis. SEM³ mikrografijos, gautos iš mažo kamštienos gabalėlio, parodančios (a) tangentinį pjūvį ir (b) radialinį pjūvį [50].

Kamštiena pasižymi daugybe unikalių natūralių savybių. Apskaičiuota, kad kamštinis 1 cm³ yra nuo 15 iki 40 milijonų ląstelių. Kiekviena ląstelė vidutiniškai yra apie 40 μm dydžio, iš kurių 10 μm sudaro ląstelės sienelė.

Cheminė sandara

Kamštienos sudėtį pradėjo tyrinėti Brugnatelli 1787 metais. Suberinas yra pagrindinis kamštienos junginys, kurį Cheureul nustatė 1807 metais. Nuo to laiko iki šios dienos kamštienos sudėtis ir jos makromolinė struktūra vis dar yra tiriamos, tačiau aiškių modelių vis dar nėra atrasta.

Kamštienos cheminę sudėtį lemia suberinas, kuris yra pagrindinis ląstelės sienelės struktūrinis komponentas, ir jo glaudus ryšys su kitais komponentais, visų pirma ligninu ir nelignino aromatinėmis medžiagomis. Kamštinės žievės cheminė sudėtis iš esmės skiriasi nuo kitų medžio audinio dalių. Dėl jos specifiškumo žinios apie kamštienos cheminės sudėties struktūrą yra ribotos. Norint išsamiau

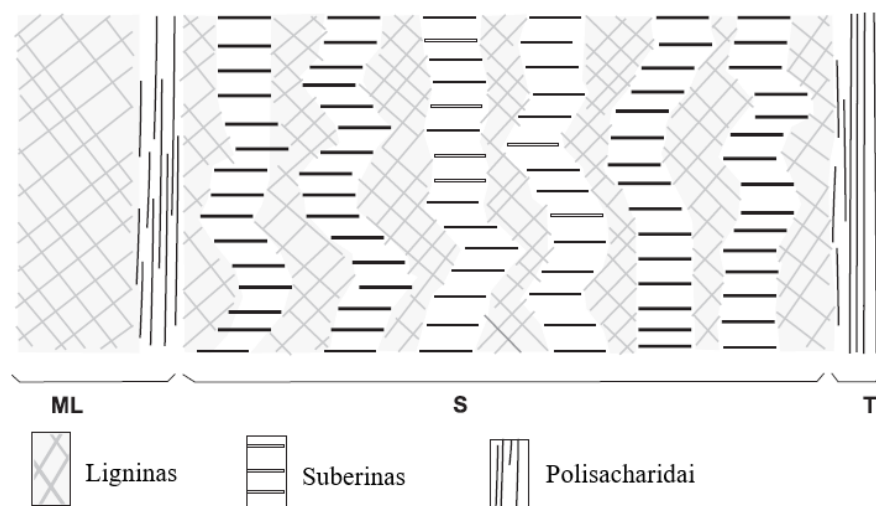
³ Skenuojantis elektroninis mikroskopas.

suprasti kamštinės žievės cheminę sudėtį ir jos sudedamųjų dalių chemines savybes, reikia žinoti ne tik jų pasiskirstymą ląstelės sienelėje, vadinamąją ląstelės sienelės topochemiją, bet ir galimą jų sąveiką.

Rezultatus gali nulemti cheminės sudėties nustatymui taikyta metodika ir kiti aspektai, pavyzdžiui, kilmė, fiziologinė būklė arba ėminių skaičius. Dėl šios priežasties, kalbant apie kamštienos cheminę sudėtį, nurodomas kiekvienos junginių šeimos rangas. Struktūriniai ląstelės sienelės komponentai pagal santykinę vertę yra suberinas (apie 50%), ligninas (20–25%) ir polisacharidai (apie 20%), celiuliozė ir hemiceliuliozė; ekstraktinės medžiagos (14–18%), kurioms priklauso lipidai ir fenolinės medžiagos, ir neorganiniai komponentai (1–2%) [1] (2.13 pav.).

- Suberinas yra polimeras, sudarytas iš riebalų rūgščių, alkoholių ir glicerolio, tai yra ilgų alifatinių grandinių, sujungtų esterinėmis jungtimis ir dažniausiai gliceridinėmis įtvirtinimo vietomis. Suberinas yra pagrindinis kamštienos ląstelės sienelės struktūrinis komponentas, sudarantis daugiau kaip penkiasdešimt procentų jos kietosios masės [34,51].
- Ligninas yra susietas aromatinis polimeras, kuris lemia ląstelių struktūrinį standumą ir atsparumą spaudimui. Ligniną sudaro trys fenilpropano monomerai: p-hidroksifenilas (H), gvajakolas (G) ir siringilas (S) [34,52].
- Kamštinės žievės ląstelių sienelių raidoje polisacharidams tenka nedidelis vaidmuo. Augalų ląstelių sienelių struktūrinius polisacharidus sudaro celiuliozė ir hemiceliuliozė [34].
- Ekstraktantai – tai mažos arba vidutinės molekulinės masės molekulės, kurias galima išgauti iš ląstelių, nekeičiant ląstelinės struktūros ar jos mechaninių savybių [14].
- Neorganiniai lignoceliuliozės medžiagų komponentai paprastai yra pelenai, kurie išlieka po visiško sudegimo [14].

Ląstelių sienelėje suberino, lignino ir hemiceliuliozės frakcijos sudaro erdviškai stabilų ir chemiškai atsparią sandarą, todėl jų frakcionavimas yra labai sudėtingas, nepriklausomai nuo taikomo metodo [34]. Pereira schematiškai pavaizdavo kamštinės ląstelės sienelės struktūrą (2.14 pav.). Vidurinės plokštelės lignino matrica sujungia ląsteles ir sustiprina visą struktūrą. Tarp suberino lamelių yra lignino ir aromatinių medžiagų sluoksniai, kurie taip pat suteikia ląstelės sienelėms struktūrinį tvirtumą ir veikia kaip tam tikri pastoliai lanksčiam alifatiniam komponentui. Šviesiąją ląstelės pusę dengia celiuliozinė tretinė sienelė.



2.14 Pav. Schematiškai pavaizduotos *Quercus suber* kamštinės ląstelės sienelės, kurios atskleidžia struktūrinių komponentų išsidėstymą [34].

Kamštienos savybės

Kamštiena pasižymi puikiu savybių deriniu, įskaitant mažą tankį, labai mažą skysčių ir dujų pralaidumą, mažą laidumą, cheminį stabilumą, ilgaamžiškumą, didelį suspaudžiamumą ir gerą regeneraciją. Kaip jau minėta, šias savybes lemia kamštienos ląstelių struktūros ypatybės, tokios kaip ląstelių išsidėstymas, dydis ir jų sienelių raukšlėtumas, bei sienelių cheminė sudėtis. Daug kamštienos savybių priklauso nuo joje esančio drėgmės kiekio, o apdorojimas kaitinant keičia ląstelių dydį ir cheminę sudėtį. Pati kamštienos masė atrodo vienalytė ir nesiskiria pagal ląstelių tipus. Vienintelė išskirtinė kamštienos makroskopinė savybė yra natūralus lenticelių buvimas. Tarpląsteliniai tarpai driekiasi per kamštienos sluoksnius nuo išorės į vidų, per įvairius audinio sluoksnius, ir yra užpildyti besuberinine medžiaga [34].

Dėl didelio dujų kiekio, mažos vandens adsorbcijos galios ir ląstelinio matavimo, taip pat kitų savybių, kamštiena pasižymi dideliu universalumu ir gali būti naudojama įvairiems tikslams.

Kamštienos fizikines, mechanines ir šilumines savybes galima apibendrinti dešimčia punktų arba kamštienos dekalogu [89].

1. Mažas tankis ir lengvumas [1].

Kamštiena yra lengva medžiaga, plūduriuojanti vandenyje. Šios savybės jai būdingos dėl ląstelinės struktūros, kurią sudaro tuščiavidurės ir uždaros ląstelės, turinčios nedidelę kietosios medžiagos dalį, sutelktą plonose ląstelių sienelėse, be jokių tarpląstelinio ryšių kanalų. Oru išdžiovintos kamštinės medžiagos tankis yra nedidelis, vidutiniškai $150\text{--}160\text{ kg/m}^3$, tačiau gali svyruoti nuo 120 kg/m^3 iki daugiau kaip 200 kg/m^3 . Kamštinės žievės tankis skiriasi priklausomai nuo šių struktūrinių savybių:

ląstelių dydžio, pirminės kamštinės žievės (ląstelės, susidariusios pirmuoju augimo laikotarpiu) ir vėlyvosios kamštinės žievės (ląstelės, susidariusios vegetacijos pabaigoje) santykio, ląstelių raukšlėtumo, kuris atsiranda dėl tarpląstelinių tarpų, ir sumedėjusių tarpų.

2. Nelaidumas vandeniui ir hidroizoliacija [1].

Kadangi kamštienos ląstelėse apie 90 % užima oras, galima manyti, kad šią tuščią erdvę gali užpildyti skystis. Kamštienos gebėjimą būti hidrofobiška sąlytyje su vandens garais ir skystu vandeniu lemia jos struktūra – tuščiavidurės ląstelės, tarp kurių nėra tarpląstelinių ryšių, ir ląstelių sienelė, kurios pagrindinis cheminis komponentas yra suberinas. Dėl ląstelių sienelės sudėtyje esančio suberino, lignino ir vaško kamštiena yra nepralaidi skysčiams, todėl nesuyra. Tačiau jos dujų nepralaidumas nėra absoliutus, nes ji leidžia dujoms lėtai prasiskverbti. Kamščiai yra nepralaidūs vandeniui, o po vienerių metų buteliuose jų deguonies pernešimo greitis svyruoja nuo 0,004 iki 0,14 mg per parą [54–56]. Didelis dujų kiekis pasižymi mažu laidumu. Dėl mažo ląstelių dydžio išvengiama dujų konvekcijos. Kamščių šilumos laidumas yra mažas dėl mažos kietųjų dalelių frakcijos ir mažos adsorbcijos galios, kurią lemia daugybė ląstelių sienelių. Šilumos bangos išsisklaido ir pasklinda kamščio paviršiumi, todėl jis tampa puikiu šilumos izoliatoriumi. Be to, kamščiai pralaidūs orui ir negenda, todėl jie yra unikali klimato reguliavimo priemonė. Kamščiai, kurių tankis yra 140–170 kg/m³, turi šilumos laidumą (λ) ir šilumos sklaidą (α) atitinkamai 0,040–0,045 W/m·K ir 1×10^{-7} – $1,5 \times 10^{-7}$ m²·s⁻¹. Kaitinant kamščius, vyksta cheminiai ir fizikiniai pokyčiai, kurie įtakoja ląstelių sienelių masę, jų sudėtį ir matmenis. Šie pokyčiai turi įtakos mechaninėms savybėms, priklausomai nuo temperatūros ir apdorojimo laiko. Kamščių masės nuostoliai yra santykinai nedideli (apie 6 % pradinės masės) iki 200 °C temperatūros, tačiau vėliau didėja iki visiško karbonizavimo, maždaug 450 °C temperatūroje.

3. Geras garso izoliavimo efektas [57–59].

Kamštiena pasižymi beveik nuliniu Puasono santykiu (apie 0,2) NR/NR [57], mažu tankiu ir dideliu poringumu. Dėl kamštienos savybių garso bangos maksimaliai adsorbuojamos ir paverčiamos šilumos energija. Natūralios kamštienos akustinė varža yra $1,2 \times 10^5$ kg·m²·s⁻¹, o jos tankis svyruoja nuo 120 iki 200 kg/m³ [58]. Kamštiena labai gerai sugeria žemų ir vidutinių dažnių garsą. Ji pasižymi geromis izoliacinėmis savybėmis, mažinant tiesioginį virpėjimų perdavimą; dėl šios priežasties ją galima naudoti laminuotuose grindų dangose [59].

4. Didelis pasipriešinimas judėjimui ir didelis trinties koeficientas [34,58].

Kamštienos savybės sukelia stiprų pasipriešinimą judėjimui. Tai yra ypatingai svarbus faktorius dviems atvejams: kamščių ištraukimui iš butelių, kai kamštis turi judėti per stiklinį paviršių, ir kamštienos naudojimui kaip paviršiaus dengimo medžiagai, kad būtų išvengta slydimo [34]. Ši savybė

yra labai svarbi užtikrinant vyno butelių sandarumą ir kamščių ilgaamžiškumą. Kamštienos ir stiklo trinties koeficientas yra tarp 0,35 ir 0,76 [58].

5. Buferinė talpa ir smūgio energijos sugėrimas (slopinimas).

Ląstelių sienelės su ląsteline struktūra gali deformuotis lenkiant kamštieną, o mechaninės bangos gali išsisklaidyti paviršiuje, kaip jau buvo minėta. Kamštinių ląstelių suirimo įtempimai yra maži, todėl didžiausias įtempis smūgio metu yra ribotas. Tačiau kamštiena yra atspari dideliems gniuždymo įtempimams, dėl to, kad ji sugeria daug energijos, jos ląstelės palaipsniui pradeda irti. Bendra suspaudimo iki 83 % deformacijos energija radialine ir neradialine kryptimis yra maždaug $3,4 \times 10^6$ J/m³ ir $2,2 \times 10^6$ J/m³. Dalis, atitinkanti deformaciją iki suirimo ribos, sudaro apie $1,5 \times 10^6$ J/m³ [34]. Ši savybė yra labai svarbi tam tikrose srityse, pavyzdžiui, seisminėse jungtyse, automobilių pramonėje, batų paduose ar kilimėliuose.

6. Suspaudžiamumas, elastingumas ir lankstumas [1,60].

Dėl didelio oro kiekio ląstelėse ir beveik nulinio Puasono santykio, kamštieną galima beveik pusiau suspausti, išlaikant jos lankstumą. Nutraukiant suspaudimą, ji grįžta į savo formą ir tūrį. Įdomu tai, kad suspaudimo metu jos ląstelės ir ląstelių sienelės nesusilaužo. Kai spaudimas nutraukiamas, matmenys atsistato, o liekamoji deformacija yra nedidelė, net ir srityse, kuriose įvyksta ląstelių suirimas ar sutankėjimas. Kamštiena lūžta tik tada, kai yra veikiamas tempimo (ir lenkimo) ir šlyties jėgų. Šiuo atveju poros turi lemiamą įtaką tempimo jėgai, o lūžis visada įvyksta arti jų. Kamštiena yra apytiksliai elastinga ląstelinė medžiaga, turinti įdomias mechanines savybes. Mechaniniam kamštienos elgesiui svarbios dvi savybės: ląstelių sienelių lankstumas ir stiprus suirimas be ląstelių sienelių lūžimo, taip pat tarpląstelių tarpų buvimas. Skirtinguose tyrimuose nurodoma, kad kamštienos elastingumo modulis svyruoja nuo 10 MPa iki 20 MPa, kai ji yra gniuždoma skirtingomis kryptimis. Kamštienos matmenų atstatomumas nėra absoliutus dėl klampiosios komponentės deformacijos. Kamštiena tik primena elastingą būseną, o iš tikrųjų yra viskoelastinga medžiaga [60]. Šios savybės visapusiškai susijusios su jos gebėjimu sugerti energiją.

7. Dėvėjimasis, stabilumas ir inertiškumas [34,50,59].

Ląstelių sienelėje esantis ligninas ir polisacharidai suteikia kamštienos medžiagai standumo. Šių komponentų dėka, kamštienos medžiaga yra atspari laikui. Kamštiena – negyva medžiaga. Be to, ji netoksiška ir nekelia alergijos reakcijų sąlytyje su oda ar kitais audiniais. Kamštiena yra atspari paviršiaus dilimui, ji gali atlaikyti daugelį objektų trinimų be didelių lūžių ar sugadinimų [34]. Ji taip pat atspari daugeliui tirpiklių, įskaitant silpnas rūgštis ir bazines [50]. Kamštiena nerūdija dėl oro ar drėgmės poveikio [59]. Dėl šių priežasčių kamštienos gaminius, ypač kamštienos aglomeratus, plačiai naudoja intensyviai eksploatuojamose patalpose, pvz., ligoninėse, mokyklose ar oro uostų salėse.

8. Higroskopinė ir biosorbcinė medžiaga [61–69].

Kamštienos drėgmės lygis priklauso nuo aplinkos sąlygų: absorbuojant vandenį, kamštiena išbrinksta. Dėl jos struktūrinės anizotropijos, matmenų kitimas trimis kryptimis nėra vienodas. Norint suprasti matmenų pokyčius, svarbu atsižvelgti į svarbų struktūrinį aspektą: kamštienos ląstelių sienelių raukšlėtumą. Šios unikalios struktūros išsitempia, siekdamas sugerti vandenį. Kamštiena absorbuoja vandenį dviem mechanizmais: vandens molekulės difunduoja per ląstelės sienas ir prasiskverbia į ląstelės vidų. Todėl vandens įsisavinimas priklauso nuo dviejų veiksnių: medžiagos cheminės sudėties ir lęšinių kanalų. Kamštienos pusiausvyros drėgmės kiekis yra 7 %. Šis rodiklis pasiekiamas išdžiovinus kamštinę žievę oru ir atlikus žievės stabilizavimo procedūrą. Tačiau jis gali svyruoti nuo 5 iki 10 % priklausomai nuo drėgmės sąlygų, įskaitant santykinį oro drėgnumą ir labai žemą drėgnumą. Pavyzdžiui, kamštinio ąžuolo medienos drėgmės balansas yra maždaug 20 %, o santykinė drėgmė – 80 %. Didžiausias galimas drėgmės kiekis medžiagoje priklauso nuo jos tankio. Taigi, maksimalus drėgmės kiekis 160 kg/m³ tankio kamštienoje būtų 545 %, o 190 kg/m³ tankio kamštienoje – 446 % [34]. Be to, keli mokslininkai įrodė, kad kamštiena gali pašalinti tokius teršalus, kaip policiklinius aromatinius angliavandenilius [61–63], fenantreną [64], metilo oranžą [65], ofloksaciną [66], bifentriną [67], ibuprofeną, karbamazepiną ir klofibro rūgštį [68], taip pat sunkiuosius metalus [69].

9. Natūrali, perdirbama ir atsinaujinanti kamštiena.

Kamštiena yra natūrali medžiaga, juk ji – tai ąžuolo žievė. Kamštinio ąžuolo žievė regeneruojasi po kiekvieno lupimo, todėl galima užtikrinti pusiausvyrą tarp agrarinės miškininkystės ir žmogaus veiklos. Tai leidžia lengvai integruoti kamštinę žiedinę ekonomiką. Kadangi tai yra natūrali medžiaga, ją galima kompostuoti komposto dėžėje. Be to, kamštinę žievę galima perdirbti ir naudoti pakartotinai. Panaudotus kamščius galima surinkti ir (arba) susmulkinti, o iš jų pagaminti naujų gamybos produktų (ne kamščių).

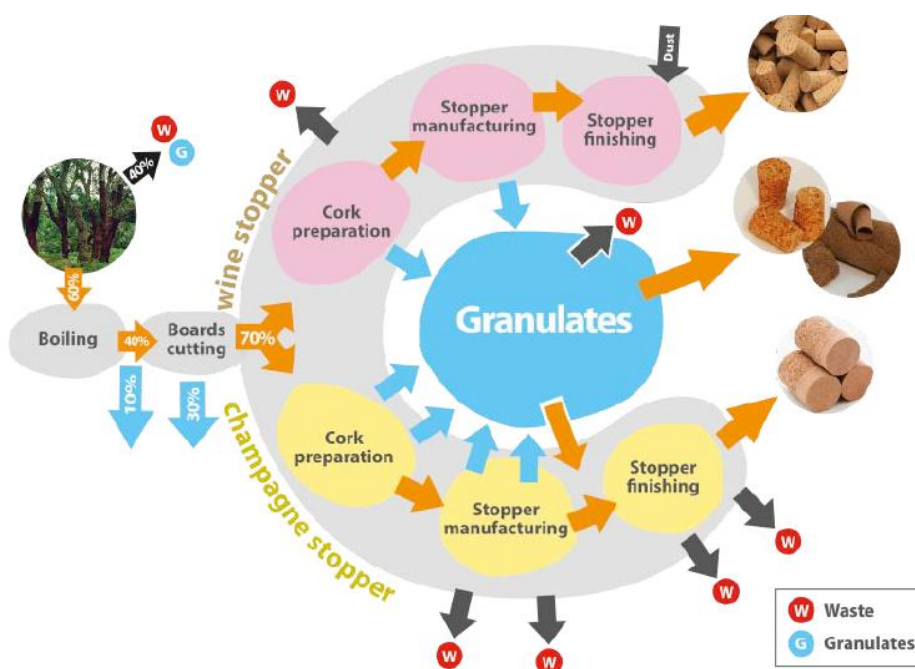
10. Elektros izoliatorius [69,70].

Kamštiena yra naudojama kaip elektros izoliatorius, nes ji yra dielektrinė medžiaga. Ji pasižymi sudėtingu poliarizacijos mechanizmu, kuriame galima išskirti tris skirtingus relaksacijos procesus, kurie gali susilieti arba iš dalies persidengti. Nustatyta, kad kamštienos nuostolių koeficientas yra apie 0,1 ir jis mažai kinta diapazone nuo 10–2 iki 10 kHz. Tačiau didelėmis deformacijų amplitudėmis jis gali padidėti iki beveik 0,3. O tai jau gana didelis nuostolių koeficientas (palyginti su gumos nuostolių koeficientu, kuris yra 0,08), tačiau kamštiena taip pat turi geras garso slopinimo ir sugerties savybes bei didelį trinties koeficientą, kaip jau minėta anksčiau.

2.3.2 Kamštienos naudojimo būdai

Dėl unikalios ir vertingų kamštienos fizikinių savybių, ji plačiai naudojama tradiciniu būdu. Didžiausią rinkos dalį sudaro ir pridėtinę vertę kuria vyno kamščiai, skirti negazuotam ir putojančiam vynui [59]. APCOR 2018–2019 metraščio [46] duomenimis, pagrindinis kamštienos pramonės produktas yra vyno

pramonei skirti kamščiai (72 %). Kasmet išgaunama apie 201 tūkst. tonų kamštienos. Tačiau tik 25 % šio kiekio tinka natūralių kamščių (pagamintų iš vienos kamštinės žievės plokštės) gamybai. Tai reiškia, kad 75 % išgautos kamštinės žievės netinka šiam tikslui, todėl iš jos gaminami aglomeruoti kamščiai arba kiti pertekliniai gaminiai. Natūralūs kamščiai gaminami naudojant aukščiausios kokybės reprodukcinę žievę. Kiti kamščiai, pvz. aglomeruoti su diskais arba be jų, mikroaglomeruoti arba techniniai kamščiai negazuotam ir putojančiam vynui, gaminami iš šalutinių natūralios kamštinės žievės produktų. Gaminant aglomeruotus kamščius susiduriama su tam tikromis atliekomis, tokiomis kaip medienos drožlės ar dulkės. Kai kurių rūšių kamštinė žievė niekada nenaudojama kamščių gamybai, pavyzdžiui, pirminė kamštinė žievė, pažeista kamštinė žievė ar kamštinė žievė, atsiradusi dėl miškų kirtimo. Kitos kamštienos rūšys, tokios kaip žemos kokybės kamštiena, šalutiniai kamštienos produktai ar kamštinės atliekos, naudojamos kitoms reikmėms (2.15 pav.).



2.15 Pav. Negazuoto ir putojančio vyno kamščių gamyba: kamštinės žievės panaudojimas.

2.3.3 Kamštiena statybose

Kamštiena turi antrąjį svarbiausią vaidmenį pramonėje – ji yra pritaikoma statybų srityje. Kamštinius gaminius dažniausiai naudoja šilumos izoliacijos ir energijos sugėrimo tikslais, tačiau jie taip pat naudingi apdailos ir lengvų dangų gamyboje. Grindys, deformacinės siūlės, oro kameros ir išorinės dangos – tai tik keli pavyzdžiai, kaip kamštiena gali būti panaudota pastatuose. Ji netgi gali būti sumaišyta su betonu ir naudojama važiuojamųjų kelių dangai arba išorinių šaligatvių tiesimui. Todėl kamštiena gali būti švairiai pritaikoma, kad atitiktų reikiamas antivibracines, šilumines ir akustines savybes (žr. 2.4 lentelę).

Vienas iš svarbiausių produktų šioje srityje yra aglomeruota kamštiena arba aglomeruotos kamštienos plokštės. Aglomeratai yra gaminami suspaudžiant tam tikro dydžio ir (arba) iš anksto nustatyto tankio kamštienos granules, naudojant tam tikrą suspaudimo jėgą, temperatūrą ir rišančią medžiagą. Šio proceso metu išgaunami įvairaus tipo aglomeratai.

Kamštienos rūšis (dalelių dydis ir tankis), klijų rūšis ir santykis bei aglutinacijos sąlygos (temperatūra, laikas ir (arba) slėgis) yra veiksniai, kurie įtakoja galutinį aglomeruotą produktą. Skirtingi aglomeruoti produktai gaunami naudojant įvairias sąlygų kombinacijas, kurios buvo minėtos anksčiau. Todėl kiekvienas aglomeravimo procesas duoda skirtingas savybes turintį aglomeruotą produktą. Kiekvienas gamintojas taiko standartizuotus gamybos procesus, kurie yra apibrėžti atitinkamuose techniniuose dokumentuose.

2.4 lentelė. Statybose naudojami kamštienos gaminiai ir jų pagrindinės savybės [72].

Pritaikomumas	Produktai	Pavyzdžiai	Būtinės savybės
Dangos (grindys, sienos ir lubos)	Aglomeruoti kamštienos kompozitai	Kamštinės grindų dangos plytelės	Atsparumas dilimui ir patvarumas
	Emulsijoje projektuojama kamštiena	Stogai, fasadai, grindys	Atsparumas dilimui ir atsparumas drėgmei
	Gumos ir kamštiniai kompozitai	Grindų dangos paklotas	Atsparumas dilimui ir atsparumas drėgmei
	Ekspanduotos kamštiniai aglomeratai	Lubų, vidaus sienų ir stogo plokščių paklotas	Smūgių absorbcija ir atsparumas drėgmei
Šiluminė ir garso izoliacija	Aglomeruoti kamštiniai kompozitai	Kamštinio epoksidinio pluošto aglomeratai	Žemas šilumos laidumo koeficientas
	Emulsijoje projektuojama kamštiena	Stogai, fasadai, sienos ir grindys	Akustinis ir šiluminis atsparumas
	Ekspanduotos kamštienos aglomeratai	Stogo plokštės ir vidinės sienos	Tinkamas mechaninis atsparumas ir atsparumas drėgmei
	Granuliuota kamštiena	Tuščių tarpų tarp dvigubų sienų ir grindų užpildymo medžiaga	Ilgamžiškumas, vibracijos smūgių slopinimas ir atsparumas ugniai
Vibracijos izoliacija	Aglomeruoti kamštienos kompozitai	Trisluoksnės konstrukcijos	Smūgių absorbcija
	Ekspanduotos kamštienos aglomeratai	Didelio tankio išplėstinės kamštinės lentos	Vibracijos absorbcija
	<i>Guminė kamštinė medžiaga</i>	Struktūrinės jungtys	Smūgių absorbcija

Plėtimosi jungtys	Aglomeruoti kamštiniai kompozitai	Struktūrinės jungtys	Aukštas suspaudžiamumo laipsnis
	<i>Guminė kamštinė medžiaga</i>	Išplėstos kamštinės lentos	Aukštas atsigavimo laipsnis

Aglomeruotos kamštinės lentos arba plokštės yra svarbi plačiai naudojama statybose, kamštinų gaminių dalis (2.16 pav.). Aglomeruotų gaminių skirstymas yra plačiai paplitęs ir remiasi tuo, ar yra naudojamos rišamosios medžiagos:

- **Ekspanduotas aglomeratas**, žinomas taip pat kaip **ekspanduota aglomeruota kamštiena**, yra populiarus termoizoliacinis produktas. Keramzitinis aglomeratas yra kamštinė lenta, kuri neturi jokių priedų. Jo gamybai naudojamos suspaustos, neapdorotos kamštienos granulės arba labai prastos kokybės kamštiena. Pagrindinis rišamasis elementas yra suberinas, kuris gali sukibti esant aukštam slėgiui ir temperatūrai. Šis procesas leidžia pagaminti skirtingo storio ir formos plokštes, priklausomai nuo naudojamos formos. Paprastai procesas apima skersmens ir formos korekcijas. Šis natūralus augalinės kilmės produktas, be jokių sintetinių medžiagų (2.5 lentelė), turi daug pritaikymo galimybių.

2.5 lentelė. Išplėstinės aglomeruotos kamštinės plokštės savybės [59].

Savybės	Vertė
Tankis	105 a 130 kg m ⁻³
Šilumos laidumas	0.040 W m ⁻¹ k ⁻¹
Akustinė absorbcija (500, 1000 ir 4000 Hz)	0.33, 0.49, 0.98
Stipris gniuždant (MOR)	0.14 a 0.20 MPa
Naudojimo temperatūra	-180 a +140 oC
Degumo klasė	Euroklasė E

- **Kompozicinės medžiagos:** Kamštinis kompozitas yra kamštinė lenta, kuri yra praturtinta specialiais priedais. Šis gaminyš gaminamas maišant aglutinuotas kamštienos granules su natūraliomis arba sintetinėmis dervomis. Šis procesas leidžia sukurti įvairių savybių ir formų

medžiagą. Kamštinis kompozitas yra unikalus junginys, kuriame susilieja kamštienos ir kitų medžiagų charakteristikos. Priklausomai nuo paskirties, galima gauti įvairių kompozitų: antivibracinių, akustinių, amortizuojančių ir kt. Šie kompozitai pasižymi skirtingomis savybėmis (2.6 lentelė).

2.6 lentelė. Pasirinkto kamštienos kompozito – guminės kamštinės medžiagos – savybės [72].

Savybės	Hidroizoliacija	Akustika
Tankis (kg m^{-3})	>900	550–650
Šilumos laidumas ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	0.018	0.075
Šiluminė varža ($\text{m}^2 \text{K W}^{-1}$)	0.019	0.027
Stipris gniuždant (MPa)	>1.3	>0.6



2.16 Pav. Aglomeruotų kamštinių lentų rūšys: termoeckspanduota kamštinė lenta (viršuje) kamštinių kompozicinių medžiagų pavyzdžiai (žemiau).

Šiuo metu kamštiena plačiai naudojama įvairiose srityse, įskaitant miestų planavimą. Kamštinės kompozicinės medžiagos yra taikomos gatvių apdailai (įskaitant greitkelių garso barjerus ir pastatų apdailą), takų ir žaidimų aikštelių dangoms kurti. Be to, pramonės naujovės leidžia taikyti kamštieną grindų dangoms, kuriose svoris yra kritinis veiksnys, pvz., traukinių vagonuose ar aeronautikoje.

2.3.4 Tekstilė ir judumas

Kamštiena jau daugelį šimtmečių naudojama mados ir tekstilės pramonėje. Vienas iš šios srities pavyzdinių produktų yra kamštiniai padai, kurie gali būti pagaminti iš natūralios, aglomeruotos arba trisluoksnės kamštienos. Šiuo metu tekstilės pramonė sėkmingai adaptuoja natūraliąją kamštieną ir jos aglomeratus, ji derinama su kitais natūraliais pluoštais. Kamštiena užima plačią rinkos nišą: ji yra naudojama avalynei, odos gaminiams, baldams, apmušalams, drabužiams, sporto kilimėliams ir dėžučių įrišimui (2.17–2.18 pav.).

Iš šių produktų galima išskirti įvairius variantus: kamštinę tekstilę, kurios sudėtyje yra natūralaus ar aglomeruoto kamštienos lakštų, taip pat medvilnės, poliesterio ar gelinio poliuretano, šie produktai naudojami avalynei, sienų apmušalams, odos dirbiniams, dovanoms ir smulkmenoms. Taip pat yra kamštinis popierius, naudojamas sienų apmušalams ir šviestuvams.

Kaip ir oda ar zomša, kamštiena suteikia rafinuotą išvaizdą ir prabangos pojūtį. Kamštinę dangą lengva valyti, užtenka tiesiog nuvalyti drėgnu skudurėliu. Ji taip pat yra labai atspari vandeniui ir dėmėms. Kamštiena yra ekologiškas audinių sprendimas. Pavyzdžiui, 2014 m. dainininkė Lady Gaga po koncerto Lisabonoje vilkėjo kamštine suknelę, o futbolininkas Cristiano Ronaldo 2018 m. pasirodė su „Nike“ sportbačiais, kurie buvo pagaminti iš kamštienos.



2.17 Pav. Kamštinių gaminių, naudojamų įvairiose tekstilės srityse, pavyzdžiai.



2.18 pav. „Peugeot 208 Natural“ su kamštiniu kompozito stogu [81].

Dėl galimų smūgių absorbcijos savybių, ši medžiaga plačiai taikoma įvairiose srityse, įskaitant šalmus [73–75], pasyvių saugos mechanizmus [76–78] ir įvairių tipų šarvus, kurie yra veikiami dinaminės suspaudimo apkrovos. Kamštiena ir jos aglomeruoti variantai, dėl šių savybių, yra vertinami kaip efektyvi alternatyva polimerinėms putoms [73–75, 79, 80]. Automobilių pramonėje yra keletas pavyzdžių, kur kamštiena naudojama mobilumo srityje, pavyzdžiui, „Peugeot 208 Natural“. Šiame automobilyje stogui naudojamas kamštinis kompozitas.

Kamštiena buvo plačiai naudojama kosmoso tyrimuose, įskaitant jos naudojimą NASA kosminiuose laivuose. Kosminėje erdvėje kamštiena gali atlikti abliacijos izoliatoriaus vaidmenį, apsaugant kosmines transporto priemones. Šios šiluminės izoliacijos sistemos yra ypatingai svarbios visų pilotuojamų ir nepilotuojamų erdvėlaivių paleidimui ir eksploatacijai.

Yra įvairių pavyzdžių, kur kamštiena naudojama kaip dalis abliacijos sistemų. 1957 metais kosminis laivas „Jupiter C“ įrodė abliacijos, kaip šiluminės apsaugos priemonės metodo, veiksmingumą. Pirmoji kietojo kuro nešančioji raketa „Scout“ naudojo kamštienos ir stiklo pluošto šiluminius skydus, taip pat kamštiena izoliuotus pelekus pirmajam amerikiečių palydovui „Discover I“ paleisti. 1997 metais „Pathfinder“ misijoje į Marsą buvo naudojamas šiluminis skydas, kuriame buvo fenolino kuras, užpildytas kamštiena ir silicio dioksido rutuliukais, apdengtas epoksidine medžiaga. Daugybėje „Space Shuttle“ erdvėlaivio komponentų, įskaitant kietųjų raketų greitintuvus ir išorinę bako izoliaciją, buvo naudojama kamštiena. Po erdvėlaivio susijusių avarių, buvo atlikta ypač sudėtingos šiluminės izoliacijos sistemos komponentų peržiūra; vienas iš išsaugotų komponentų yra abliatorius, pagamintas iš silikono dervų ir kamštienos. Viename patente aprašyme šis abliatorius yra apibūdinamas kaip turintis 7,22–7,98% maltos kamštinės masės. „Atlas V“ raketos, kuri išskėlė NASA zondą „New Horizons“ į Plutoną, išorė yra apgaubta kamštiniu gaubtu. Europos ARD (Atmospheric Reentry

Demonstrator) kūginis paviršius padengtas kamštienos milteliais ir fenolinės dervos kompozitu [34]. „Reclusa“ [83] atliko tyrimą, kurio metu buvo nagrinėtas prekės ženklo „Norcoat*–liège“ kamštienos ir fenolinės dervos abliatorius, išlaikantis savo savybes net esant 2500 °C temperatūrai. „Norcoat*–liège HPK F1 Space Grade“ sudėtyje yra apie penkiasdešimt procentų kamštinių dalelių, trisdešimt procentų fenolinės dervos, o dvidešimt procentų sudaro fungicidas ir mineralinė ugniai atspari medžiaga. Svarbiausia tai, kad po terminio apdorojimo išlieka pirminė kompozicinės medžiagos ląstelinė struktūra.

2.3.5 Farmacija ir kosmetika

Kamštiena ir jos šalutiniai produktai gali būti svarbus šaltinis daugeliui biologiškai aktyvių junginių, tokių kaip fenolinė rūgštis, terpenoidai ir taninai [84]. Šie biologiškai aktyvūs junginiai turi įvairias svarbias savybes, tokias kaip antioksidacinis poveikis, priešūždegiminis efektas, senėjimą stabdantis veikimas, valomasis efektas ir gebėjimas suvaldyti laisvuosius radikalus. Todėl kamštiena gali būti potencialus ingredientas kosmetikos pramonėje. Kamštiena jau yra naudojama kaip sudedamoji dalis daugelyje produktų, tokių kaip kosmetika ir šveičiamosios priemonės. Ši medžiaga gali turėti ne tik technines, bet ir grožio savybes. Pavyzdžiui, SUBERLIFT yra išlyginamoji priemonė, DIAM OLÉOACTIF naudojamas kaip aktyvusis aliejus, o ACTISCRUB yra šveičiamoji priemonė. Naujausias produktas rinkoje yra SUBERCHEM, sukurtas bendrovės „Biogründel“, o „Quimivita“ kartu su Katalonijos kamštienos instituto fondu pristatė naują pilingo priemonę EXFOBREEZE, kurios sudėtyje yra kamštienos. SUBERCHEM – tai kamštienos ekstraktas, kuriame gausu polifenolių ir kuris išgaunamas žaliosios ekstrakcijos būdu. Fenoliniai junginiai yra medžiagos, kurios susilaukia vis didesnio susidomėjimo dėl jų antioksidacinių, antimikrobinių, antibakterinių, antialerginių, priešvėžinių, priešūždegiminių savybių ir netgi tam tikrų antiseptinių bei antiulcerogeninių savybių [84]. Keletas tyrimų patvirtina didelį kamštienos antibakterinį aktyvumą, kuris sugeba sumažinti *Staphylococcus aureus* ir *Escherichia coli* bakterijų aktyvumą atitinkamai 96,93 proc. ir 36 proc. [85]. Taip pat esama teiginių apie kamštinės medžiagos priešvėžinį potencialą, tai buvo įraodyt taikant skirtingus ekstrakcijos metodus žmogaus promielocitinės leukemijos ląstelėms [86].

Kaip jau minėta šiame skyriuje, kamštiena pasižymi įvairiomis savybėmis, todėl jos naudojimas gali būti labai platus. Dauguma kamštienos panaudojimo sričių egzistuoja jau šimtmečius ir, iš esmės, išliko tos pačios, kaip ir prieš šimtmečius. Tačiau kasmet atsiranda naujų sričių, kuriose kamštinė medžiaga dar gali būti panaudota.

2.3.6 Kita

Dėl ekologinio sąmoningumo ir darnaus vystymosi tikslų, kamštiena tampa vis populiaresnė medžiaga. Ji yra natūrali, ekologiška ir gali būti naudinga kaip alternatyva plastikui.

2017 metais bendrovė „3DSpider Print“ ir Katalonijos kamštienos instituto fondas sukūrė unikalų produktą – dvigubą kamštinę monetą. Šio tyrimo tikslas buvo sukurti naują produktą, kuris būtų pagamintas iš kamštienos ir būtų tinkamas įvairiems gamybos procesams, tokiems kaip spausdinimas, ekstruzija, įpurškimas ir kt. Šis elementas yra mišinys iš kamštienos granuliu ir plastikinio biopolimero, kuris yra naudojamas 3D spausdinimui. Naujoji medžiaga, vadinama 3DCORK, yra ekologiška, jos pagrindą sudaro PLA medžiaga, kurios sudėtyje yra daugiau negu 20% kamštienos [89].

Kamštiena taip pat tinka nuotekoms apdoroti ir valyti. Jos savybės leidžia jai būti veiksmingu biosorbentu, kuris gali sugerti pesticidus, sunkiuosius metalus, policiklinius aromatinius angliavandenilius (PAH) ir kitus kenksmingus junginius. Yra keletas pavyzdžių, kaip kamštiena naudojama nuotekų valymui: šlapynės (LIFE ECOCORK ir [90]), šlapios sienos [87], žaliosios sienos [88 ir 91] arba vandens valymas fotobioreaktoriais (LIFE SPOT).

Iš kamštienos galima pagaminti daugybę daiktų, tačiau jie turi būti dengiami papildomai išorine medžiaga.

Literatūros sąrašas

- [1] Pereira, H. (2011). Cork: Biology, production and uses. Elsevier.
- [2] Campos, P., Daly-Hassen, H., Oviedo, J. L., Ovando, P., & Chebil, A. (2008). Accounting for single and aggregated forest incomes: Application to public cork oak forests in Jerez [Spain] and Itimbia (Tunisia). *Ecological Economics*, 65 (1), 76–86.
- [3] Loisel, R. (1976). Place et rôle des espèces du genre Pinus dans la végétation du Sud-Est Méditerranéen Français. *Ecologia Mediterranea*, 2(1), 131–152.
- [4] WWF, 2006. WWF report. Available online www.panda.org/mediterranean
- [5] Kim, H. N., Jin, H. Y., Kwak, M. J., Khaine, I., You, H. N., Lee, T. Y., Ahn, T. H., & Woo, S. Y. (2017). Why does *Quercus suber* species decline in Mediterranean areas? *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 10 (3), 337–341.
- [6] Joffre, R., & Rambal, S. (2001). Mediterranean ecosystems. ELS.
- [7] Plieninger, T. (2006). Habitat loss, Fragmentation, and Alteration – Quantifying the Impact of Land-use Changes on a Spanish Dehesa Landscape by Use of Aerial Photography and GIS. *Landscape Ecology*, 21 (1), 91–105.
- [8] Seixas, J. (2000). Assessing heterogeneity from remote sensing images: The case of desertification in southern Portugal. *International Journal of Remote Sensing*, 21(13–14), 2645–2663.

- [9] Urbietta, I. R., Zavala, M. A., & Marañón, T. (2008). Human and non-human determinants of forest composition in southern Spain: Evidence of shifts towards cork oak dominance as a result of management over the past century. *Journal of Biogeography*, 35(9), 1688–1700.
- [10] Blondel, J. (2006). The ‘Design’ of Mediterranean landscapes: A millennial story of humans and ecological systems during the historic period. *Human Ecology*, 34(5), 713–729.
- [11] Bugalho, M. N., Caldeira, M. C., Pereira, J. S., Aronson, J., & Pausas, J. G. (2011a). Mediterranean cork oak savannas require human use to sustain biodiversity and ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(5), 278–286.
- [12] Pinto-Correia, T., Ribeiro, N., & Sá-Sousa, P. (2011). Introducing the montado, the cork and holm oak agroforestry system of Southern Portugal. *Agroforestry Systems*, 82(2), 99–104. <https://doi.org/10.1007/s10457-011-9388-1>
- [13] Oliveira, G., & Costa, A. (2012). How resilient is *Quercus suber* L. to cork harvesting? A review and identification of knowledge gaps. *Forest Ecology and Management*, 270, 257–272.
- [14] Silva, J. S., & Catry, F. (2006). Forest fires in cork oak (*Quercus suber*L.) stands in Portugal. *International Journal of Environmental Studies*, 63(3), 235–257. <https://doi.org/10.1080/00207230600720829>
- [15] Acácio, V., Holmgren, M., Rego, F., Moreira, F., & Mohren, G. M. J. (2008). Are drought and wildfires turning Mediterranean cork oak forests into persistent shrublands? In *Agroforestry for Commodity Production: Ecological and Social Dimensions*. Springer Netherlands.
- [16] Gómez-Baggethun, E., de Groot, R., Lomas, P. L., & Montes, C. (2010). The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. *Ecological Economics*, 69(6), 1209–1218
- [17] Muradian, R., Arsel, M., Pellegrini, L., Adaman, F., Aguilar, B., Agarwal, B. et al. (2013). Payments for ecosystem services and the fatal attraction of win-win solutions. *Conservation letters*, 6(4), 274-279.
- [18] Rives, J., Martínez, C., Sánchez, S., Barriocanal, C. (2013). El valor de los servicios ambientales de los alcornoques en Cataluña Evaluación de los servicios ambientales del ecosistema.
- [19] Sánchez-González, M., Tomé, M., & Montero, G. (2005). Modeling height and diameter growth of dominant cork oak trees in Spain. *Annals of Forest Science*, 62(7), 633–643. <https://doi.org/10.1051/forest:2005065>
- [20] Costa, A., Nunes, L. C., Spiecker, H., & Graça, J. (2015). Insights into the Responsiveness of Cork Oak (*Quercus suber* L.) to Bark Harvesting. *Economic Botany*, 69(2), 171–184.

- [21] Gil, L. (2014). Cork. In *Materials for Construction and Civil Engineering*. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-08236-3_13
- [22] Costa, A., Pereira, H., & Madeira, M. (2009). Landscape dynamics in endangered cork oak woodlands in Southwestern Portugal (1958–2005). *Agroforestry Systems*, 77(2), 83–96.
- [23] Rodriguez-Molina, M. C., Blanco-Santos, A., Palo-Nuñez, E. J., Torres-Vila, L. M., Torres-Alvarez, E., & Suarez-de-la-Camara, M. A. (2005). Seasonal and spatial mortality patterns of holm oak seedlings in a reforested soil infected with *Phytophthora cinnamomi*. *Forest Pathology*, 35(6), 411–422. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2005.00423.x>
- [24] Brasier, C. M., & Scott, J. K. (1994). European oak declines and global warming: A theoretical assessment with special reference to the activity of *Phytophthora cinnamomi*. *EPPO Bulletin*, 24(1), 221–232.
- [25] Moreira, A. C., & Martins, J. M. S. (2005). Influence of site factors on the impact of *Phytophthora cinnamomi* in cork oak stands in Portugal. *Forest Pathology*, 35(3), 145–162. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2005.00397.x>
- [26] Brasier, C. (1996). *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe. Environmental constraints including climate change. *Annales Des Sciences Forestières*, 53(2–3), 347–358. <https://doi.org/10.1051/forest:19960217>
- [27] Montoya, J. M. (1988). Los Alcornocales. Ministerio de Agricultura.
- [28] Elena-Roselló, J. A., & Cabrera, E. (1996). Isozyme variation in natural populations of cork-oak (*Quercus suber* L.). *Silvae Genetica*, 45(4), 229.
- [29] Pulido, F. J., Díaz, M., & Hidalgo de Trucios, S. J. (2001). Size structure and regeneration of Spanish holm oak *Quercus ilex* forests and dehesas: Effects of agroforestry use on their long-term sustainability. *Forest Ecology and Management*, 146(1–3), 1–13.
- [30] Gil, L. (2015) *Cork as a Building Material. Technical Manual*. APCOR.
- [31] Gil, L. (2016) *Sequestro de CO2 em produtos de cortiça para diferentes aplicações*.
- [32] Rives, J., Fernandez-Rodriguez, I., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2011). Environmental analysis of the production of natural cork stoppers in southern Europe [Catalonia–Spain]. *Journal of cleaner production*, 19(2-3), 259-271.
- [33] Demertzi, M., Dias, A. C., Matos, A., & Arroja, L. M. (2015). Evaluation of different end-of-life management alternatives for used natural cork stoppers through life cycle assessment. *Waste Management*, 46, 668-680.
- [34] Pereira, H. (2007). *Cork* (pp. 55-99). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.

- [35] Montero, G., Ruiz-Peinado, R., & Muñoz, M. (2005). *Producción de biomasa y fijación de CO2 por los bosques españoles* (Vol. 13, p. 270). Madrid: INIA-Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.
- [36] Gracia, C. "Biocombustibles: energia o aliment?." *Omnis Cellula* 25 (2010): 21-27.
- [37] Costa-e-Silva, F., Correia, A. C., Piayda, A., Dubbert, M., Rebmann, C., Cuntz, M. et al. (2015). Effects of an extremely dry winter on net ecosystem carbon exchange and tree phenology at a cork oak woodland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 204, 48-57.
- [38] Spampinato, G., Sciandrello, S., del Galdo, G., Puglisi, M., Tomaselli, V., Cannavò, S., & Musarella, C. M. (2019). Contribution to the knowledge of Mediterranean wetland biodiversity: Plant communities of the Aquila Lake (Calabria, Southern Italy). *Plant Sociol*, 56, 53-68.
- [39] Gil L. (1998). *Cortiça — Produção, Tecnologia e Aplicação*, Ed INETI, Lisboa
- [40] Gil, L. (2014). Cork: a strategic material. *Frontiers in chemistry*, 2, 16.
- [41] Dias, A. C., Boschmonart-Rives, J., González-García, S., Demertzi, M., Gabarrell, X., & Arroja, L. (2014). Analysis of raw cork production in Portugal and Catalonia using life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(12). 1985-2000.
- [42] Mundet, R., Baiges, T., Beltrán, M., & Torrell, A. (2018). Guia de recomanacions i mesures d'adaptació al canvi climàtic en la gestió de *Quercus suber*. *Life+ SUBER. CFC, CPF, CTFC, FCSA, AFSA*.
- [43] Giacomoni, J., & Andrighetto, N. Innovation Networks of Cork, Resins and Edibles in the Mediterranean basin-INCRECIBLE.
- [44] Rives, J., Fernandez-Rodriguez, I., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2011). Environmental analysis of the production of natural cork stoppers in southern Europe (Catalonia–Spain). *Journal of cleaner production*, 19(2-3), 259-271.
- [45] ISO 633:2019 Cork – Vocabulary.
- [46] APCOR's Cork Yearbook 2020. Available: https://www.apcor.pt/wp-content/uploads/2021/08/Cork_BoletimEstatistico_APCOR_2020.pdf
- [47] Demertzi, M., Sierra-Pérez, J., Paulo, J. A., Arroja, L., & Dias, A. C. (2017). Environmental performance of expanded cork slab and granules through life cycle assessment. *Journal of cleaner production*, 145, 294-302.
- [48] Demertzi, M., Paulo, J. A., Arroja, L., & Dias, A. C. (2016). A carbon footprint simulation model for the cork oak sector. *Science of the Total Environment*, 566, 499-511.

- [49] Quora (2016) What did Robert Hooke see in the cork cell? <https://www.quora.com/What-did-Robert-Hooke-see-in-the-cork-cell>
- [50] Aroso, I. M., Araujo, A. R., Pires, R. A., & Reis, R. L. (2017). Cork: current technological developments and future perspectives for this natural, renewable, and sustainable material. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(12), 11130-11146.
- [51] Graça, J., & Pereira, H. (2004). The periderm development in *Quercus suber*. *Iawa Journal*, 25(3), 325-335.
- [52] Marques, A. V., & Pereira, H. (2013). Lignin monomeric composition of corks from the barks of *Betula pendula*, *Quercus suber* and *Quercus cerris* determined by Py-GC-MS/FID. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 100, 88-94.
- [53] Pereira H (2013) Variability of the chemical composition of cork. *BioResources* 8(2):2246–2256
- [54] Chevalier, V., Pons, A., & Loisel, C. (2019). Impacto del cierre en el envejecimiento de los vinos en botella. *La Semana vitivinícola*, (3557), 2038-2043.
- [55] Godden, P., FRANCIS, L., FIELD, J., GISHEN, M., COULTER, A., VALENTE, P., ... & ROBINSON, E. (2001). Wine bottle closures: physical characteristics and effect on composition and sensory properties of a Semillon wine 1. Performance up to 20 months post-bottling. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 7(2), 64-105
- [56] Lopes, P., Saucier, C., & Glories, Y. (2005). Nondestructive colorimetric method to determine the oxygen diffusion rate through closures used in winemaking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(18), 6967-6973.
- [57] Vaz, M. F., & Fortes, M. A. (1998). Friction properties of cork. *Journal of materials science*, 33(8), 2087-2093.
- [58] Jové Martín, P. (2016). *Caracterització del suro i subproductes de la indústria surera. Valoració d'aquests com a biosorbents d'hidrocarburs aromàtics policíclics en aigües d'escorrentia* (Doctoral dissertation, Universitat de Girona).
- [59] Sierra Pérez, J. (2016). *The introduction of eco-design for promoting the use of eco-materials: the cork as building material*. Universitat Autònoma de Barcelona.
- [60] Mano, J. F. (2002). The viscoelastic properties of cork. *Journal of Materials Science*, 37(2), 257-263.
- [61] Olivella, M. À., Jové, P., & Oliveras, A. (2011). The use of cork waste as a biosorbent for persistent organic pollutants—Study of adsorption/desorption of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 46(8), 824-832.

- [62] Olivella, M. À., Jové, P., Şen, A., Pereira, H., Villaescusa, I., & Fiol, N. (2011). Sorption performance of *Quercus cerris* cork with polycyclic aromatic hydrocarbons and toxicity testing. *BioResources*, 6(3), 3363-3375.
- [63] Olivella Costa, À., Fernández-Rodríguez, I., Cano, L., Jové Martín, P., & Oliveras Rovira, À. (2013). Role of Chemical Components of cork on Sorption of Aqueous Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. © *International Journal of Environmental Research*, 7(1), 225-234.
- [64] Olivella, M. À., Jové, P., Bianchi, A., Bazzicalupi, C., & Cano, L. (2013). An integrated approach to understanding the sorption mechanism of phenanthrene by cork. *Chemosphere*, 90(6), 1939-1944.
- [65] Krika, F., & Benlahbib, O. E. F. (2015). Removal of methyl orange from aqueous solution via adsorption on cork as a natural and low-cost adsorbent: equilibrium, kinetic and thermodynamic study of removal process. *Desalination and Water Treatment*, 53(13), 3711-3723.
- [66] Crespo-Alonso, M., Nurchi, V. M., Biesuz, R., Alberti, G., Spano, N., Pilo, M. I., & Sanna, G. (2013). Biomass against emerging pollution in wastewater: ability of cork for the removal of ofloxacin from aqueous solutions at different pH. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(4), 1199-1204.
- [67] Domingues, V., Alves, A., Cabral, M., & Delerue-Matos, C. (2005). Sorption behaviour of bifenthrin on cork. *Journal of Chromatography A*, 1069(1), 127-132.
- [68] Dordio, A. V., Gonçalves, P., Teixeira, D., Candeias, A. J., Castanheiro, J. E., Pinto, A. P., & Carvalho, A. P. (2011). Pharmaceuticals sorption behaviour in granulated cork for the selection of a support matrix for a constructed wetlands system. *International Journal of Environmental and Analytical Chemistry*, 91(7-8), 615-631.
- [69] Pintor, A. M., Ferreira, C. I., Pereira, J. C., Correia, P., Silva, S. P., Vilar, V. J. et al. (2012). Use of cork powder and granules for the adsorption of pollutants: A review. *Water research*, 46(10), 3152-3166.
- [70] Fernandes, F. A. O., Pascoal, R. J. S., & De Sousa, R. A. (2014). Modelling impact response of agglomerated cork. *Materials & Design*, 58, 499-507.
- [71] Pritz, T. (1996). Analysis of four-parameter fractional derivative models of real solid materials. *Journal of Sound and Vibration*, 195(1), 103-115.
- [72] Knapic, S., Oliveira, V., Machado, J. S., & Pereira, H. (2016). Cork as a building material: a review. *European Journal of Wood and Wood Products*, 74(6), 775-791.
- [73] Fernandes, F. A., Alves de Sousa, R. J., Ptak, M., & Migueis, G. (2019). Helmet design based on the optimization of biocomposite energy-absorbing liners under multi-impact loading. *Applied Sciences*, 9(4), 735.

- [74] Coelho, R. M., de Sousa, R. A., Fernandes, F. A. O., & Teixeira-Dias, F. M. V. H. (2013). New composite liners for energy absorption purposes. *Materials & Design*, 43, 384-392.
- [75] Alves de Sousa, R. J., Gonçalves, D. F. S., Coelho, R. M., & Teixeira-Dias, F. M. V. H. (2012). Assessing the effectiveness of the use of a natural cellular material as safety padding in motorcycle helmet. *Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International*, 88(5), 579-590.
- [76] Costas, M., Díaz, J., Romera, L. E., Hernández, S., & Tielas, A. (2013). Static and dynamic axial crushing analysis of car frontal impact hybrid absorbers. *International Journal of Impact Engineering*, 62, 166-181.
- [77] Tay, Y. Y., Lim, C. S., & Lankarani, H. M. (2014). A finite element analysis of high-energy absorption cellular materials in enhancing passive safety of road vehicles in side-impact accidents. *International Journal of Crashworthiness*, 19(3), 288-300.
- [78] Paulino, M., & Teixeira-Dias, F. (2011). An energy absorption performance index for cellular materials—development of a side-impact cork padding. *International Journal of Crashworthiness*, 16(2), 135-153.
- [79] Fernandes, F. A. O., Jardim, R. T., Pereira, A. B., & De Sousa, R. A. (2015). Comparing the mechanical performance of synthetic and natural cellular materials. *Materials & Design*, 82, 335-341.
- [80] Sánchez-Sáez, S., García-Castillo, S. K., Barbero, E., & Cirne, J. (2015). Dynamic crushing behaviour of agglomerated cork. *Materials & Design* (1980-2015), 65, 743-748.
- [81] Stone Ideas (2015) Peugeot 208 Natural™: ultra-thin natural stone for the rear spoiler. Available online: <https://www.stone-ideas.com/38728/peugeot-208-natural-ultra-thin-natural-stone-rear-spoiler/>
- [82] Gracia, C., 2010. Balanç de carboni: els embornals a Catalunya. Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya. Capítol 5: Embornals. Generalitat de Catalunya, Barcelona. Available online: https://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/segon-informe-sobre-canvi-climatic-catalunya/1part/05_embornals.pdf
- [83] Reculosa, S., Trinqucoste, M., Dariol, L. Delhaès P. (2006) Thermal degradation of a cork-based composite. *Carbon* 44(7):1316-1320. DOI: 10.1016/j.carbon.2005.12.051
- [84] Bejarano, I., Godoy-Cancho, B., Franco, L., Martínez-Cañas, M. A., & Tormo, M. A. (2015). Quercus Suber L. Cork Extracts Induce Apoptosis in Human Myeloid Leukaemia HL-60 Cells. *Phytotherapy Research*, 29(8), 1180-1187.
- [85] Carriço, C., Ribeiro, H. M., & Marto, J. (2018). Converting cork by-products to ecofriendly cork bioactive ingredients: Novel pharmaceutical and cosmetics applications. *Industrial Crops and Products*, 125, 72-84.

- [86] Goncalves, F., Correia, P., Silva, S. P., & Almeida-Aguiar, C. (2016). Evaluation of antimicrobial properties of cork. *FEMS Microbiology Letters*, 363(3), fnv231.
- [87] Castellar, J. A. C., Formosa, J., Fernández, A. I., Jové, P., Bosch, M. G., Morató, J. et al. (2019). Cork as a sustainable carbon source for nature-based solutions treating hydroponic wastewaters—Preliminary batch studies. *Science of the total environment*, 650, 267-276.
- [88] Verdum, M., Prades C., González adrados, J. R., Bejarano, M., Lezcano G. and Sánchez M. (2020) Miniguia de Nuevas Aplicaciones del Corcho. Grupo Operativo GO SUBER. Fundació Institut Català del Suro.
- [89] Verdum M., Sánchez C., Castro J., Lladó J., Jové P. (2017) Revaluation of Catalan Low Quality Cork as Feedstock for the Additive 3D Printing Technology, CSA2017 Materials Research Proceedings 3. 11-18.
- [90] Jové P., Fiol N., Vilaescusa I., Verdum M., Aguilar L. Bosch C., Morató J. (2017) The use of cork waste as a sorbent for pesticides and heavy metals generated during the wine manufacturing process CSA2017 Materials Research Proceedings 3. 75-83
- [91] Garcia Moreno A. M., Sánchez Cuesta R., Prades López C. Verdum Virgos M., Jové P., Bejarano M. y Abellanas B. (2020) El corcho como sustrato de cubiertas verdes (Proyecto GO SUBER). *Tecnogarden* 219 38-53

SKYRIUS 3

Kamštienos pramonės sektoriai, savybės ir ateities tendencijos

Mariusz Ptak, Marek Sawicki, Mateusz Dymek*

Wroclavo mokslo ir technologijų universitetas, Mašinų projektavimo ir tyrimų katedra, Łukasiewiczza 7/9, 50–371 Wrocław, Lenkija

*el. paštas: mariusz.ptak@pwr.edu.pl

Anotacija

Kamštiena yra universalus ir tvarus pasirinkimas, kuris plačiai naudojamas daugelyje pramonės sektorių. Ši medžiaga yra natūraliai atspari vandeniui ir ugniai, ji taip pat nėra kenksminga aplinkai. Per pastaruosius metus kamštinės medžiagos naudojimas smarkiai išaugo, jos populiarumas augo buities, prekybos ir pramonės srityse. Kamštiena lengvai pritaikoma statybų, grindų dangos, izoliacijos ir sandarumo sektoriuose. Vis dažniau vartotojai renkasi tvarius produktus, todėl tikėtina, kad kamštienos paklausa ir toliau augs, o šio segmento plėtra bus dar spartesnė.

Esminiai žodžiai: Kamštiena, kamštienos gaminiai, kamštienos savybės, automobiliai, oro ir kosmoso pramonė, aviacija, izoliacija.

3.1 Įvadas

Natūrali kamštiena – tai unikalus, kamštinių ąžuolų miškų ekosistemos, produktas. Kamštinė žievė pasižymi unikaliomis savybėmis, ją lengva perdirbti pakartotinam vartojimui, nepriklausomai nuo perdirbimo formos; ji patvari ir atspari nusidėvimui, be to, nėra toksiška. Kamštiena veiksmingai sulaiko anglies dioksidą, o tai yra itin svarbu, globalinio atšilimo akivaizdoje. Mokslo ir verslo pasaulyje kamštiena vertinama dėl ypatingų fizikinių ir mechaninių savybių, dėl jų sąveikos ši medžiaga gali būti panaudota tvariam ekonomikos ir pramonės vystymuisi. Kitame straipsnyje [1] bus aptariamas kamštinės žievės auginimas ir jos mikro– bei makrostruktūra.

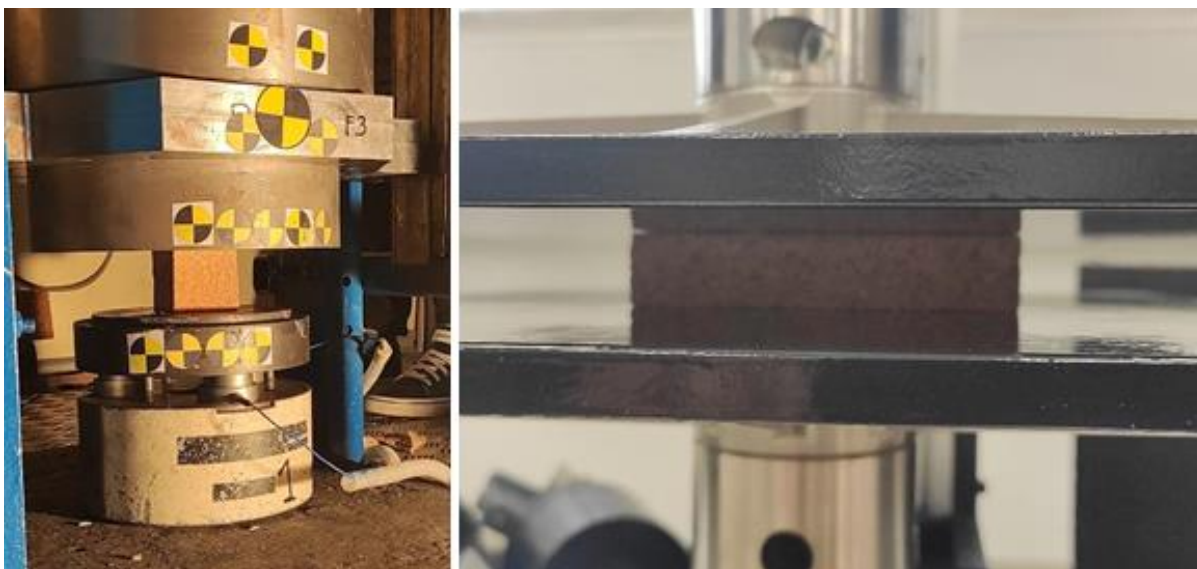
Kamštiena yra viena iš universaliausių natūralių medžiagų, turinčių plačią taikymo sritį. Jos naudojimo galimybės yra labai įvairios – nuo įprastų kamščių iki specializuotų aviacijos šilumos skydų. Kamštiena yra lengva, suspaudžiama, elastinga, patvari ir atspari cheminėms bei biologinėms medžiagoms. Ji yra netoksiška, negenda, praktiškai nepralaidi dujoms ir skysčiams, taip pat pasižymi puikia šilumos ir garso izoliacija bei yra puikus vibracijos ir elektros izoliatorius. Šias unikalias kamštienos savybes lemia jos struktūra, primenanti korį [1]. Žemą kamštienos tankį lemia ląstelių sistema ir tarpląsteliniai tarpai, esantys tarp jų. Minėta ląstelių forma šiek tiek skiriasi priklausomai nuo kamštinio ąžuolo žievės amžiaus ir lupimo laikotarpio [1]. Kamštinės žievės tankio vertė svyruoja nuo 120 iki 240 kg/m³, o vidutinis išdžiovintos kamštinės žievės tankis yra apie 150–160 kg/m³ [2].

Žemas tankis suteikia kamštinei žievei svarbią savybę – jo dėka konstrukcijos, kurių sudėtyje yra kamštinės medžiagos, sveria mažiau. Kamštinių ląstelių ląstelinė struktūra apsaugo medžiagą nuo įtrūkimų, užtikrindama specifinio apkrovos veikiamų įtempių pasiskirstymą. Kamštiena išlaiko savo savybes nepriklausomai nuo aplinkos faktorių: drėgmės ir temperatūros. Ji visada minkšta, tačiau tuo pačiu metu elastinga, maloni liesti ir atspari nusidevėjimui [3].

Kamštiena pasižymi įdomiomis savybėmis: ji lanksti, jai būdingas didelis fizinis stabilumas, suspaudžiamumas, atsparumas ilgalaikiams apkrovų ciklams, ji taip pat atlieka šilumos, elektros ir garso izoliacijos vaidmenį [2]. Aukštą šilumos izoliaciją užtikrina žemas natūralios kamštienos šilumos laidumo koeficientas, kurio vertė $\lambda = 0,040\text{--}0,045 \text{ W / (m}^\circ\text{C)}$ [2]. Garso izoliacijai yra svarbi akustinė varža, kuri yra $1,2 \cdot 10^5 \text{ kg / (m}^2\text{s)}$ [2], tai leidžia sumažinti garso intensyvumą 31–36 dB, priklausomai nuo medžiagos storio [4]. Kita vertus, kištuko elektrinė izoliacija labai priklauso nuo medžiagos drėgnumo ir temperatūros. Esant 25 °C temperatūrai ir 3,5 % drėgmės kiekiui, šis koeficientas yra $1,2 \times 10\text{--}14 \text{ S/m}$. Tačiau visiškai sausos kamštinės žievės atveju, esant taip pat 25 °C temperatūrai, šis koeficientas yra $2,9 \times 10\text{--}10 \text{ S/m}$. Vis dėlto, didžiausią įtaką dielektrinės medžiagos izoliacijos gebai turi temperatūros padidėjimas. Pavyzdžiui, kištuko elektrinis laidumas didėja tris kartus, kai temperatūra kyla nuo 25 iki 100 °C. Rišamosios medžiagos kiekis kamštiniame aglomerate padidina laidumą iki keturių kartų [2]. Svarbu pabrėžti, kad naudojant natūralias medžiagas, tokias kaip kamštiena ar vilna, vietoj apdorotų izoliacinių medžiagų, tokių kaip polistireninis putplastis ar poliuretanai, kurie degimo metu išskiria žalingas medžiagas, neigiamas poveikis aplinkai sumažėja iki 98 %. Kamštiena yra atspari tūrio pokyčiams, net esant staigiems temperatūros svyravimams. Be to, ji nedegi – dega žarijomis, o ne liepsna. Kamštiena pasižymi slidumą mažinančiomis savybėmis ir yra labai atspari paviršiaus dilimui [2], [5]. Nors trinties koeficientas yra palyginti aukštas (0,5), dėl nuolatinio trinties su butelio kakleliu ji nesusidėvi [6], [7]. Natūrali kamštiena yra chemiškai neaktyvi, ji veikia kaip barjeras skysčiams ir dujoms, nesugeria kvapų [2], [3], [8].

Dėl didelio suberino kiekio kamštiena pasižymi antibakterinėmis ir priešgrybelinėmis savybėmis, todėl ji neleidžia šiems mikroorganizmams prasiskverbti, pavyzdžiui, į užkimštą butelį [9]–[12]. Kamštiena yra hidrofobinė medžiaga, kurios paviršiaus energija yra 18 mN/m, o kitų medžiagų kontekste, ji išskiria maža sukibimo jėga [2], [4]. Natūralų hidrofobinį kamštinės medžiagos pobūdį galima keisti naudojant plazminę paviršiaus modifikaciją atmosferos slėgio sąlygomis (Atmospheric Pressure Plasma Torch – APPT) arba taikant žemą slėgį plazminėje kameroje (Low-Pressure Plasma Chamber – LPPC) [13]. Plazminis apdorojimas veikia tik kamštienos išorinį sluoksnį, nepakeisdamas jo esminių savybių. Dėl šio apdorojimo kamštinės medžiagos paviršiuje susidariusios reaktyviosios grupės nulemia geresnį surišimo efektą su kitomis medžiagomis [14], [15]. Silanizacijos procesas taip pat pagerina kamštienos paviršiaus surišimo savybes [16]. Kamštinė medžiaga išsiskiria nuo kitų natūralių medžiagų savo gebėjimu sugerti didelius energijos kiekius net esant mažiems įtempimams, tai ir nulemia jos populiarumą. Vidutinė sugertos energijos vertė suspaudžiant kamšieną iki 83 %

pradinio tūrio radialine arba neradialine kryptimi yra 3,4–106 J/m³ ir 2,2–106 J/m³ [2]. Kamštienos savybės, tokios kaip degumo slopinimas ir ugnies plitimo sulėtinimas, buvo jau minėtos. Svarbu pažymėti, kad kamštinė medžiaga dega be liepsnų ir neišskiria nuodingų dujų [2]. Kamštiena yra lanksti anizotropinė ląstelinė medžiaga. Ji pasižymi unikaliomis mechaninėmis savybėmis: ji gali būti palaipsniui lenkiama, deformuojama, o jos ląstelinės sienelės gali storėti esant apkrovoms [3].



3.1 Pav. Kamštienos mėginių gniuždymo bandymas

Kamštienos elgseną kvazistatinio gniuždymo metu iliustruoja tiesinis įtempimų ir deformacijų grafikas su aiškiai matoma linija, kuris baigiasi, kai kamštienos ląstelinė struktūra yra visiškai suspausta ir sutankinta (3.1 pav.) [2]. Kištuko tamprumo modulio vertės (paruošto tam tikru būdu) plokščiakalnio srityje priklauso nuo kreivės nuolydžio ir yra įvairiose ribose, pvz., 6–20 MPa, priklausomai nuo apkrovos krypties. Radialinės krypties apkrovų atveju šios vertės yra didesnės nei ašinės ir tangentinės krypties apkrovų [2], [17]. Kai kamštiena yra kaitinama 24 valandas, esant 100–150°C temperatūrai, iš jos pašalinama drėgmė, ir jos gniuždymo stipris ženkliai padidėja. Tačiau ilgalaikio kaitinimo metu, trunkančio virš 24 valandų, kamštienos stiprumas sumažėja dėl terminės struktūros pažeidimų [17]. Kamštienos nepaprastą lankstumą parodo jos elgsena gniuždymo bandyme. Suspaudus NL10 kamštinę medžiagą, kurios tankis yra 135 kg/m³ iki 80 % pradinio storio, per 0,5 minutės ji grįžta į maždaug 80 % savo pradinio dydžio. Kamštienos mechaninės savybės negali būti vienareikšmiškai apibūdintos vieninteliu Puasono santykio [18], [19] ar Jungo modulio [30] rodikliu, nes kamštienos rūšys skiriasi, ypač pagal tankį, ląstelių matmenis ir poringumą [2].

3.2 Kamštienos pramonės sektoriai

Pastaraisiais metais kamštienos pramonė išsiplėtė naujose pramonės sektoriuose. Kamštiena, kaip medžiaga, turi unikalias savybes, kurios leidžia ženkliai tobulinti esamus produktus. Kamštinės medžiagos taikymo sritys yra labai plačios, taigi ji gali būti taikoma:

- Negazuotų ir putojančių vynų bei spiritinių gėrimų kamščių gamyboje
- Automobilių ir geležinkelių transporto pramonėje
- Mikrojudumo srityje
- Energetikos sektoriuje
- Aviacijos ir kosmoso pramonėje
- Sporte
- Architektūros ir dizaino srityse, įskaitant grindų ir sienų dangas
- Statyboje ir infrastruktūroje, pvz., kamštinis paklotas
- Plėtimosi siūlių ir izoliacinių kamštinių plokščių sektoriuje
- Mados pramonėje

Vertėtų pažymėti, kad sėkmingas kamštinės medžiagos įdiegimas į esamus gaminius yra svarbus faktas. Nederėtų teigti, jog prototipiniai ar nestandartiniai masinės gamybos produktai yra tinkamas kamštienos panaudojimo pavyzdys, nes dažnai jie rinkoje pasirodo dėl valstybės ar privataus sektoriaus mokslinių tyrimų programų finansavimo arba yra sukurti pagal individualius užsakymus ir yra pernelyg brangūs. Todėl šiuo metu aptariamos tik rinkoje esamos kamštinių medžiagų prekės. Šioje pastraipoje teigiama, kad kamštinė medžiaga yra žaliavinė kamštiena, arba bet kuri medžiaga, kurios pagrindą sudaro kamštinė medžiaga, kaip pvz. kamštienos konglomeratas poliuretano pagrindu ir kt.

Daugumoje atvejų kamštinės medžiagos panaudojimas yra glaudžiai susijęs su jos išskirtinėmis savybėmis. Kamštinė medžiaga, kaip biri medžiaga, yra sąlyginiai brangi. Tai yra pagrindinė priežastis, kodėl dizaineriai ją renkasi tik atsižvelgdami į keliamus reikalavimus, kurių būtina laikytis. Todėl kamštinės medžiagos panaudojimas yra unikalus ir subtilus. Neįprasta, kad kamštinė medžiaga taptų pagrindine inžinerinių sprendimų medžiaga. Ji dažniau yra antrinė medžiaga, kurios tam tikrai atvejais, kitos medžiagos negali pakeisti.

Kamštienos izoliacinės savybės nėra nei geresnės, nei prastesnės, lyginant su tokiais dažniausiai naudojamomis polimerinėmis putomis kaip polistirenas, ABS ar XPS. Neapdorotos kamštinės žievės atsparumo ugniai savybės neatitinka jokių priešgaisrinės apsaugos standartų, tik konglomeratai su savai ne degiais priedais gali būti priskiriami prie ugniai atsparių medžiagų. Lyginant su kitomis medžiagomis, kamštinė medžiaga pasižymi geromis triukšmo slopinimo savybėmis. Tačiau yra ganėtinai sunku spręsti apie jos mechanines savybes kitų medžiagų kontekste; o Ashby diagramos apibūdina kamštinę medžiagą tik kitų medžiagų pagalba. Taigi yra ganėtinai sunku pateikti bendrų įžvalgų apie kamštieną. Derėtų paminėti, kad visgi ji pasižymi tam tikromis unikaliomis savybėmis, kurios nulemia jos pasirinkimą. Daugumai natūralių medžiagų mėgėjų kamštinė medžiaga suteikia malonius taktilinius pojūčius. Be to, ji puikiai sugeria drėgmę ir prakaitą, todėl ją verta naudoti įrenginiuose, kurie bus ilgą laiką eksploatuojami. Ir nors kamštinė medžiaga geba nuslopinti elektromagnetines bangas ir pasižymi gera atmosferos grįžtamąja abliacija, polimerinės metalo

pagrindu sukurtos kompozicinės medžiagos vis dar išlieka kur kas pranašesnės. Visgi dėl kelių specifinių savybių kamštinė medžiaga yra taikoma specializuotose ir sudėtingose srityse.

Kamštinės medžiagos pritaikomumas aviacijos ir kosmoso pramonėje siejamas su tam tikrais iššūkiais, šioje srityje dominuoja kitos polimerinės medžiagos. Bet koks pokytis, turintis įtakos aviacijos ir kosmoso pramonei, yra siejamas su naujų projektų sertifikavimo ir pakartotinio sertifikavimo išlaidomis. Šiuo metu lėktuvų gamintojams ir operatoriams medžiagų keitimas nėra prioritetas klausimas. Be to, oro ir kosmoso pramonėje tiekimo grandinės stabilumas yra vienas iš pagrindinių veiksnių, turinčių didelę reikšmę orlaivių gamybai. Kamštinė žievė, kaip natūrali medžiaga, išgaunama iš kamštinių miškų, todėl kiekvienais metais jos kiekiai ir kaina gali labai skirtis.

Kaip jau minėta anksčiau, kamštinės medžiagos puikiai slopina elektromagnetines bangas. Ši savybė yra itin naudinga skraidančių objektų, ypač lėktuvų, radijo signalų slopinimui, nes priešlėktuvinės gynybos sistemos negeba jų aptikti. Ši savybė tiesiogiai priklauso nuo kamštienos mikrostruktūros. Ilgi lignino ir suberino kanalai efektyviai sugeria magnetines radijo bangas ir neatspindi jų į spinduliuotės šaltinį (radarų sistemas).

Viena iš būsimų tendencijų, susijusių su kamštinės medžiagos naudojimu aviacijos ir kosmoso srityje, yra variklių garso slopinimo sistemų diegimas. Dabartinės variklių sistemos dažnai kelia nemalonų triukšmą, todėl reikalingos papildomos garso slopinimo priemonės. Reaktyvinių variklių gondolos yra projektuojamos taip, kad sumažintų triukšmą. Tačiau vienas iš būdų tobulinti šias gondolas yra naudoti garso slopinimo medžiagas, kur kamštiena atliktų svarbų vaidmenį.

Viena iš išskirtinių kamštinės medžiagos savybių yra jos mažas erozijos poveikis aplinkai. Kamštinė medžiaga gali būti naudojama siekiant apsaugoti paviršius nuo išmetamų nedegių, karštų ar šaltų dujų, kurios gali turėti potencialų žalingą poveikį medžiagai. Ji pasižymi geromis termoizoliacinėmis savybėmis ir gali eroduoti nedidelį medžiagos kiekį. Tačiau aišku, kad po tam tikro laiko šią dangą reikia keisti.

Numatyta panaudoti kamštinę medžiagą kaip šiluminę apsaugos medžiagą bandomųjų erdvėlaivių sugrįžimo į Žemės atmosferą, misijų metu. Grįžimo procese erdvėlavis susiduria su didelėmis šiluminėmis apkrovomis dėl oro trinties su jo konstrukcija. Ankstesnių misijų „Space Shuttle“ erdvėlaviai buvo padengti keraminėmis plokštėmis. Viena iš galimybių yra ta, kad kamštinė medžiaga gali būti panaudota kaip apsauga grįžimui į atmosferą. Jos mažas degimo regresas ir puikios termoizoliacinės savybės suteikia didelį potencialą gaminti pigius ir paprastus šilumos skydus, kurie būtų pritaikyti šiam tikslui.

Kamštinė medžiaga – ekologiška ir tvari, ji plačiai naudojama mados pramonėje. Šioje srityje tendencijos labai svarbios, todėl ateinančiais metais matysime pokyčius ir naujoves. Mados pramonėje

kamštinė medžiaga yra taikoma kaip dekoratyvinis audinys, įdėklų ar avalynės gamybos medžiaga. Prognozuojama, kad šiame ekonomikos sektoriuje, kur gamintojai akcentuoja ekologijos ir tvarumo vaidmenį, kamštinės ir kitų natūralių medžiagų naudojimas tik augs.

Kamštiena yra labai populiarus ir plačiai naudojamas medžiagos variantas architektūroje. Ji žavi savo estetiška struktūra ir malonia taktiline tekstūra, todėl dažnai sutinkama tiek namų interjeruose, tiek svarbiuose dekoratyviniuose elementuose dideliuose pastatuose ar meninėse instaliacijose.

Architektūroje plačiai naudojamos kamštinės medžiagos plokštės grindims ir sienoms, šiems tikslams naudojama aukščiausios kokybės kamštiena. Architektūros srityje kamštiena yra brangi ir pasižymi aukšto standarto savybėmis.

Vienas iš galimų kamštienos naudojimo būdų yra cheminių medžiagų absorbcija iš oro. Kamštiena, dėl savo vidinės mikrostruktūros, gali sugerti chemines medžiagas. Daugelis organinių medžiagų yra labai nuodingos žmonėms. Kenksmingų anglies junginių šaltiniai apima akmens anglį, naudojamą židiniuose, benzino ir dyzelinių variklių degaluose; transporto priemonės, bei kitus vidaus degimo variklių įrenginius, pavyzdžiui, elektros generatorius, vejpajoves ir sodo bei daržo prietaisus. Be to, intensyviai vykdoma žemės ūkio veikla, atliekų perdirbimo aikštelės ir dideli organinių atliekų kiekiai kompostavimo įrenginiuose taip pat yra kenksmingų organinių medžiagų šaltiniai.

Atviroje aplinkoje neįmanoma naudoti filtravimo sistemų, todėl kamštiena gali būti naudojama kaip būdas sulaikyti kenksmingas medžiagas. Be to, šiuo atveju kamštiena gali būti pagaminta iš antrinės žaliavos, tačiau svarbu, kad jos ląstelės nebūtų padengtos jokiais rišamaisiais sluoksniais ir būtų veikiamos aplinkos atmosferos.

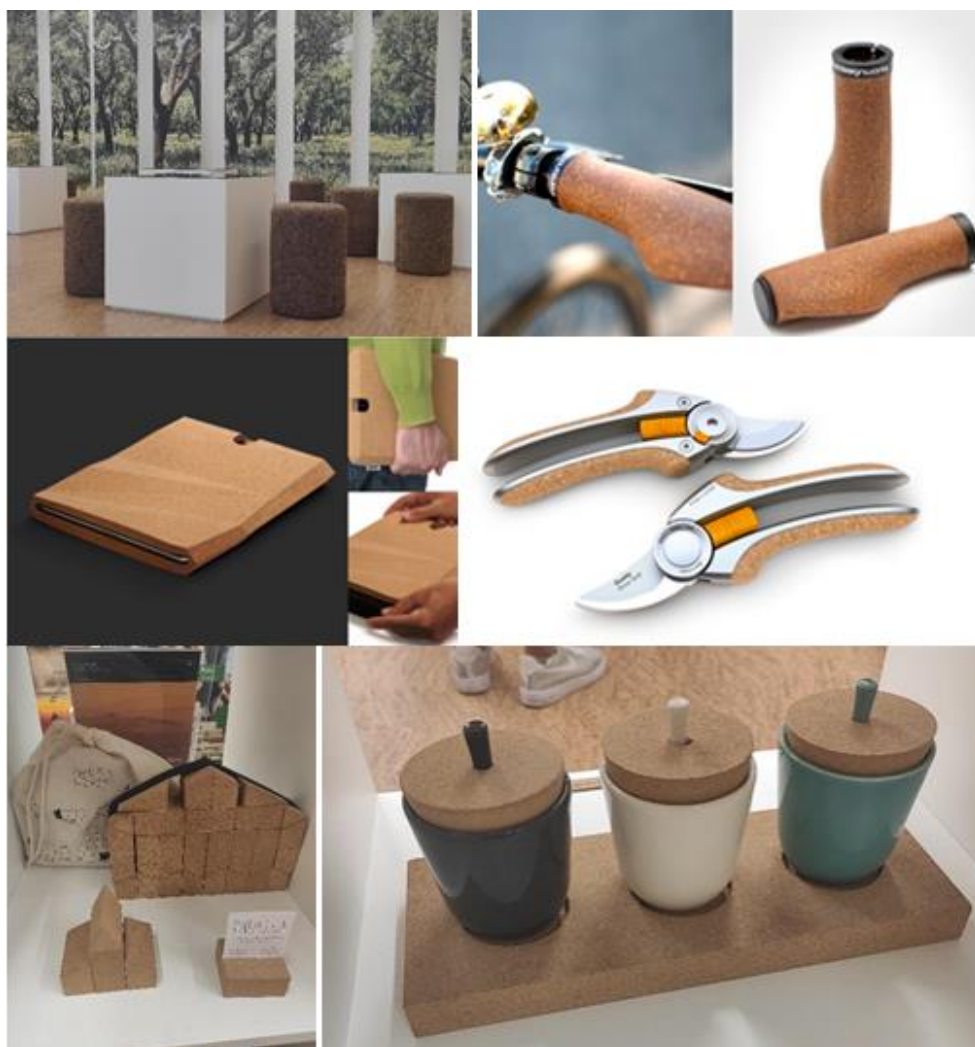
Natūrali kamštienos medžiaga yra vertinga, atsinaujinanti ir perdirbama, turinti įvairių pritaikymo galimybių. Didžioji kamštinės žievės dalis (apie 70 %) yra naudojama vyno kamščių gamybai. Tačiau pastebima didėjanti tendencija naudoti ją kompozicinių medžiagų sudėtyje, daugiausia statybų pramonėje (apie 22 %) [3], [4], [20]. Tikimasi, kad ateityje kamštienos medžiaga bus plačiau taikoma ir kitose ekonominėse srityse.

3.2.1 Bendro naudojimo kamštienos aglomeratai

Kamštienos kompozicinės medžiagos yra ruošiamos iš įvairios granulimetrinės sudėties aglomeratų, dažniausiai 0,5–30 mm dydžio granuliu, kurios dažniausiai yra kamščių pramonės atliekos. Granulės gali būti sumaišomos su reaktyviuoju prepolimeru ir presuojamos kambario temperatūroje arba maišomos su polimerine rišamąja medžiaga ir presuojamos padidintoje temperatūroje, veikiant slėgiui, siekiant pagaminti kamštines kompozicines medžiagas [4]. Galutinio gaminio savybės priklauso nuo kamštienos granuliu dydžio, jų masės dalies kompozite (iki 90% masės), rišiklio tipo (toks kaip

poliuretanas, fenolio–formaldehidinė derva) ir aglomeratų pakuotės tankio, kurie naudojami gamybos procese.

Kamštinių aglomeratų produktai yra sluoksniuojami, formuojami ir išlyginami pagal nustatytus matmenis (žr. 3.2 pav.). Šie produktai yra plačiai naudojami plokštėms, lentoms, batų įdėklams ir pan. gaminti [2], [4]. Sienų danga [4] ir grindų danga gaminama panašiu būdu, tačiau naudojant tinkamą rišiklį arba kontroliuojant slėgį presavimo procese. Rezultatas yra patvaresnė ir bekvapė medžiaga. Norint padidinti atsparumą dilimui, vienasluoksniai ar trisluoksniai gaminiai gali būti dengiami apsauginiu polimero sluoksniu. Dar viena svarbi kamštinių kompozicinių medžiagų grupė yra vadinamoji guminė kamštinė medžiaga, kurią sudaro kamštienos granulių ir gumos mišinys. Sudedamosios dalys sumaišomos, o gautas gaminytis formuojamas ir poliruojamas. Šios kompozicinės medžiagos plačiai naudojamos automobilių tarpikliams ir naftos rezervuarų riebokšiams, nes jie nepralaidūs skysčiams ir išlaiko mažą išsiplėtimo koeficientą [3], [19].



3.2 Pav. Kamštinės taburetės, kamštinės dviračio vairo rankenos, POMM iPad dėklas, „Fiskars“ sodų žirklys, vaikiški blokeliai, puodelių laikikliai ir dangteliai [21]–[24].

3.2.2 Šilumos ir garso izoliacija

Statybose plačiai naudojami kamštiniai aglomeratai šilumos ir garso izoliacijai (3.3 pav.). Kamštinė medžiaga yra žinoma dėl savo mažo šilumos laidumo, gero garso sklidimo greičio ir akustinio pasipriešinimo, todėl ji yra puikus pasirinkimas, renkantis šilumos ir garso izoliacijos medžiagą. Kamštinės kompozicinės medžiagos, naudojamos šioje srityje, sudaro 90–95 % kamšties masės poliuretano matricoje. Komponentai paprastai sumaišomi ir kaitinami iki maždaug 100 °C temperatūros, siekiant jų aglomeracijos. Šios medžiagos yra plačiai naudojamos šilumos ir garso izoliacijos konstrukcijose. NASA ir EKA kosmoso agentūros taip pat jas naudoja kaip šiluminį ir antivibracinį raketų komponentų skydą [2]. Remiantis Portugalijos kamšties asociacijos duomenimis, 2014 m. San Paule pristatyto „Peugeot 208 Natural“ stogo ir prietaisų skydelyje buvo panaudota kamštiena.



3.3 Pav. Kamštinio aglomerato namo izoliacija

Statybos pramonė yra antra pagal dydį sritis, kurioje kamštiena naudojama tokioms garsą izoliuojančioms konstrukcijoms, kaip sienos, lubos, tapetai, cokolai, grindų dangos ir pramonės šaldymo kameros (3.4 pav.). Ankstesnės kompozicinės medžiagos su sintetiniu putplasčiu šerdyje ir anglies armatūros apvalkalu pasižymėjo prasta garso izoliacija. Siekiant mažinti triukšmą, buvo sukurtas naujoviškas trisluoksnis kompozitas, kuriame derinama natūrali kamštiena ir anglies pluoštas. Tokia kompozicinė medžiaga pasižymi sinergiškais privalumais sudedamųjų medžiagų kombinacijoje. Ji išlaiko tvirtumo savybes ir nedidelį svorį, efektyviau slopina triukšmą nei tradicinės izoliacinės medžiagos (250 %) bei pasižymi patvarumu ir ilgaamžiškumu [3], [25]. Vadinamieji juodieji aglomeratai yra gaminami iš natūralios kamšties granulių be rišiklio, naudojant uždara autoklavą: jie yra veikiami aukštų temperatūrų (apie 300 °C) ir aukšto slėgio (apie 540 kPa) [26], [27]. Dėl termocheminio kamšties ląstelių sienelių skilimo išsiskiria suberinas, natūralus rišiklis. Skaidymo atliekos yra aglomeruojamos ir sudaro tarpinį produktą, kuris naudojamas kitų kamštinų plokščių gamybai [3], [28], [29]. Tai daugkartinio naudojimo medžiaga, visiškai natūrali, be jokių cheminių priedų. Dėl labai mažo tankio (0,24 g/cm³) ir geros izoliacijos savybių kamštiena plačiai naudojama transporto pramonėje: variklinių transporto priemonių ir įvairių rūšių riedmenų gamyboje.



3.4 Pav. Kamštinio aglomerato grindų danga

3.2.3 Garso izoliacijos atvejis

Kaip jau minėta, kamštiena išgaunama iš kamštinio ąžuolo žievės. Ši natūrali žaliava pasižymi tokiomis unikaliomis savybėmis, kaip mažas svoris, nepralaidumas skysčiams ir dujoms, lankstumas, suspaudžiamumas bei gera šilumos ir garso izoliacija. Natūrali kamštiena taip pat turi puikias antipirenes savybes, nors pačios kamštienos dulkės yra labai degios dėl suskaldytos ląstelių struktūros. Be to, kamštiena yra visiškai biologiškai skaidi, atsinaujinanti ir lengvai perdirbama. Kłusak ir Grygny [30] atliktame atvejo analizės tyrime aptariamas standžios kamštinės tarpinės naudojimas kamštinės kompozicinės medžiagos gamybai ir jos taikymas ugniagesių transporto priemonėse.

Kompozicinių medžiagų gamybai ir bandinių masės palyginimui buvo taikomi šie gamybos metodai:

- HLU (Hand Lay Up) laminavimas, VB (Vacuum Bagging) vakuuminis maišelis, rankinis laminavimas naudojant vakuumavimo technologiją
- Kuokštelinio pluošto ir SU (Spray-Up) dervos purškimas
- VI infuzija (vakuuminė infuzija)
- CCBM (Closed Cavity Bag Molding) dervos įpurškimas daugkartinio naudojimo silikoninėje diafragmoje
- LRTM (Light Resin Transfer Molding) dervos įpurškimas uždaroje formoje

Soric SF medžiaga buvo ilgą laiką naudojama 10 mm storio kompozicinių medžiagų gamyboje. Tyrimo tikslas buvo sukurti lengvesnę kompozicinę medžiagą, kuri nebūtų su Soric tarpikliu ir nekeltų technologinių problemų ją apdorojant. Palyginimui, bandymo metu buvo pasirinkta pagaminti kompozicinę medžiagą su kamštine šerdimi ir SBC tipo tarpikliu. Tačiau SBC tarpiklio pagamintas kompozitas pasirodė labai nestabilus matmenų požiūriu, su dideliais storio nuokrypiais skirtinguose mėginių skerspjūviuose. Soric SF medžiaga buvo ilgą laiką naudojama 10 mm storio kompozicinių medžiagų gamyboje. Tyrimo tikslas buvo sukurti lengvesnę kompozicinę medžiagą, kuri nebūtų su Soric tarpikliu ir nekeltų technologinių problemų ją apdorojant. Palyginimui, bandymo

metu buvo pasirinkta pagaminti kompozicinę medžiagą su kamštine šerdimi ir SBC tipo tarpikliu. Tačiau SBC tarpiklio pagamintas kompozitas pasirodė labai nestabilus matmenų požiūriu, su dideliais storio nuokrypiais skirtinguose mėginių skerspjūviuose. Jį apdoroti tapo technologiškai sudėtinga, todėl tolimesniuose bandymuose jis nebuvo naudojamas [30]. Eksperimentuojant su skirtingais metodais, paaiškėjo, kad 1 m² kamštienos kompozicinė medžiaga su kamštiniu tarpikliu, sveria 6,2 kg, tai yra 1,3 kg mažiau nei kompozicinė medžiaga su Soric tipo neaustiniu poliesterio tarpsluoksniu. Pakeitus sintetinį Soric tarpiklį kamštiniu tarpikliu, gaminamų konstrukcijos elementų svoris buvo sumažintas [30].

Moksliniams bandymams buvo paruošti mėginiai su kamštiniu tarpikliu, PVC putplasčio tarpikliu ir Soric tarpikliu, taip pat su vientisomis laminato konstrukcijomis. Išbandytos kompozicinės medžiagos buvo pritaikytos unikaliems automobilių kėbulams kurti, įskaitant įgulos skyrius, skirtus personalo transportavimui ir aptarnavimui.

Išsamūs kompozicinių medžiagų bandymai buvo atlikti, atsižvelgiant į PN-EN 45545-2:2013 R1 reikalavimus, buvo vertinamos šios charakteristikos [30]:

- Reakcijos į ugnį bandymai atlikti pagal ISO 5658-2 standartą, kuriame buvo vertinamas ugnies plitimo charakteristikos
- Atsakas į ugnies bandymą buvo vertinamas pagal ISO 5660-1 standartą, kuriame buvo tikrinama šilumos, dūmų intensyvumo ir masės degimo greičio charakteristikos su 50 kW/m² šilumos srauto intensyvumu.
- Medžiagų dūmų susidarymo ir jų degimo produktų toksiškumo bandymai buvo atlikti pagal ISO 5659-2 standartą su 50 kW/m² šilumos srauto intensyvumu, atitinkantį PN-EN-45545-2:2013 C priedo reikalavimus.

Bandymai buvo atlikti su įvairiomis technologijomis pagamintomis kompozicinėmis medžiagomis, įskaitant trisluoksnes kompozicines medžiagas. Šie bandymai yra ekspertinio vertinimo dalis, jie apėmė horizontalųjį degumą (pagal ECE-R 118 6 priedą), medžiagų lydumą (pagal ECE-R 118 7 priedą) ir vertikalųjį degumą (pagal ECE-R 118 8 priedą). Bandymai buvo atlikti su šiomis penkiomis konstrukcijomis [30], [31]:

- 1-oji konstrukcija: Kompozicinė medžiaga, pagaminta infuzijos būdu, sudaryta iš 600 g/m² sveriančių keturkampių audinių, 6 mm storio „Core-cork“ kamštinio tarpiklio ir nedegios vinilo esterio dervos.
- 2-oji konstrukcija: Kompozicinė medžiaga, pagaminta infuzijos būdu, sudaryta iš 600 g/m² sveriančių keturkampių audinių, sintetinio 6 mm storio Soric tarpiklio ir nedegios vinilo esterio dervos.

- 3-oji konstrukcija: Kompozicinė medžiaga, pagaminta infuzijos būdu, sudaryta iš 9 sluoksnių 600 g/m^2 sveriančių keturkampių audinių ir nedegios vinilo esterio dervos.
- 4-oji konstrukcija: Kompozicinė medžiaga, pagaminta rankinio laminavimo būdu sudaryta iš 600 g/m^2 sveriančių keturkampių audinių, 6 mm storio „Core-cork“ kamštinio tarpiklio ir nedegios vinilo esterio dervos.
- 5-oji konstrukcija: Kompozicinė medžiaga, pagaminta ankinio laminavimo būdu sudaryta iš 600 g/m^2 sveriančių keturkampių audinių, sintetinio 6 mm storio Soric tarpiklio ir nedegios vinilo esterio dervos.

Apibendrinus, visi 5 bandiniai (5 konstrukcijos) atitiko keliamus reikalavimus, suteikiant puikias galimybes pasirinkti tinkamą konstrukciją priklausomai nuo norimo mechaninio stiprumo [32]–[35]. Pagal PN-EN ISO 527-4 standartą bandiniai, kurių kamštinio tarpiklio storis buvo 30 mm, pasižymėjo mažesne įlinkio profilio verte esant didžiausiam įtempimui, nei naudojant PVC putas [34]. Gauti šių medžiagų rezultatai: kamštinio tarpiklio gautas įlinkio profilis su didžiausiu įtempimu 17,2 mm; PVC putplastis – 26,67 mm. Konstrukcija, kurioje buvo naudojamas kamštinis tarpiklis, pasižymėjo net 35% didesniu standumu, lyginant su tomis, kuriose buvo naudojamas putplasčio tarpiklis [30].

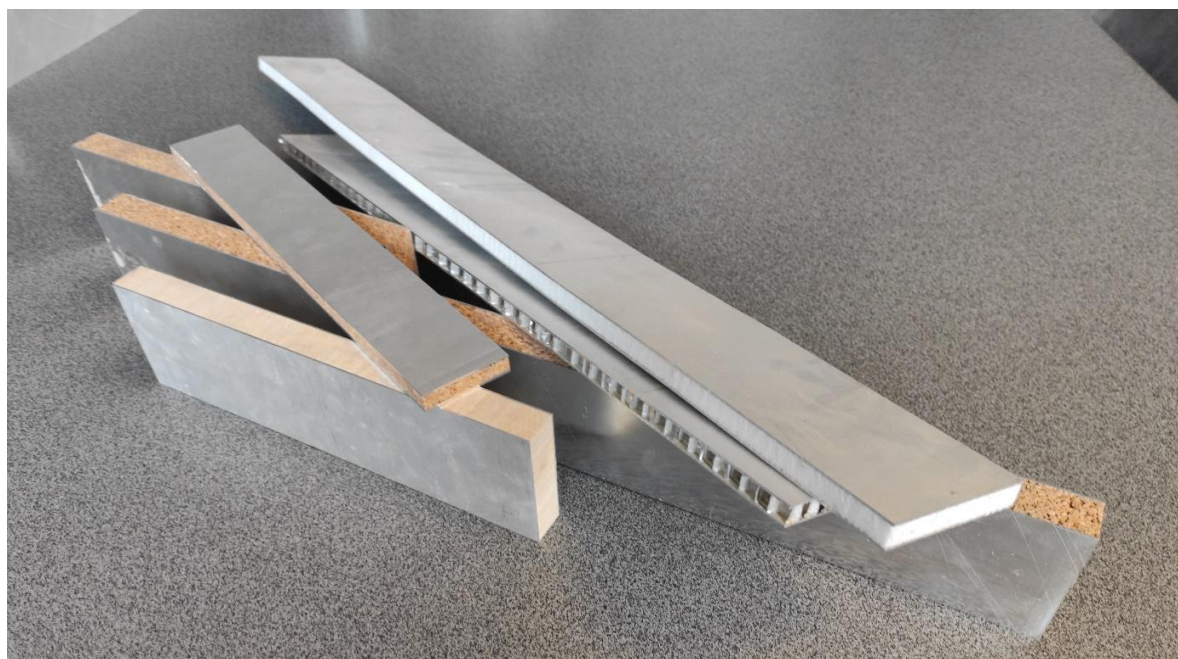
Kamštinės medžiagos naudojimas kabinų ir gaisro gesinimo konstrukcijose yra motyvuotas kelių priežasčių. Pirmiausia, dėl kamštinės medžiagos naudojimo sumažėja pagamintų elementų svoris, todėl ugniagesių pagalbos automobiliai sunaudoja mažiau degalų. Mažesnis svoris taip pat leidžia vežti daugiau specializuotos gelbėjimo įrangos, neviršijant leistinos automobilio ašies apkrovos. Garso izoliacija automobilių kabinose buvo užtikrinta naudojant specialiai įdėtus kilimėlius, kurie buvo sustiprinti standžiuoju sluoksniu. Buvo nuspręsta pagaminti automobilio kabiną infuzijos metodu, naudojant kamštinės apdorojimo būdus, ir pakeisti kitas naudojamas tarpines medžiagas. Paaikškėjo, kad tokia kabina su kamštine tarpine yra lengvesnė, tačiau išlaiko reikiamą mechaninį tvirtumą. Be to, kabinos išdėstymas ir medžiagos atitiko atsparumo ugniai reikalavimus pagal ECE R 118 taisyklės [30], [31]. Dėl šių priežasčių kabinos garso izoliacija pagerėjo, o darbo valandų skaičius, reikalingas garso izoliacijai užtikrinti, sumažėjo.

3.2.4 Trisluoksnės konstrukcijos

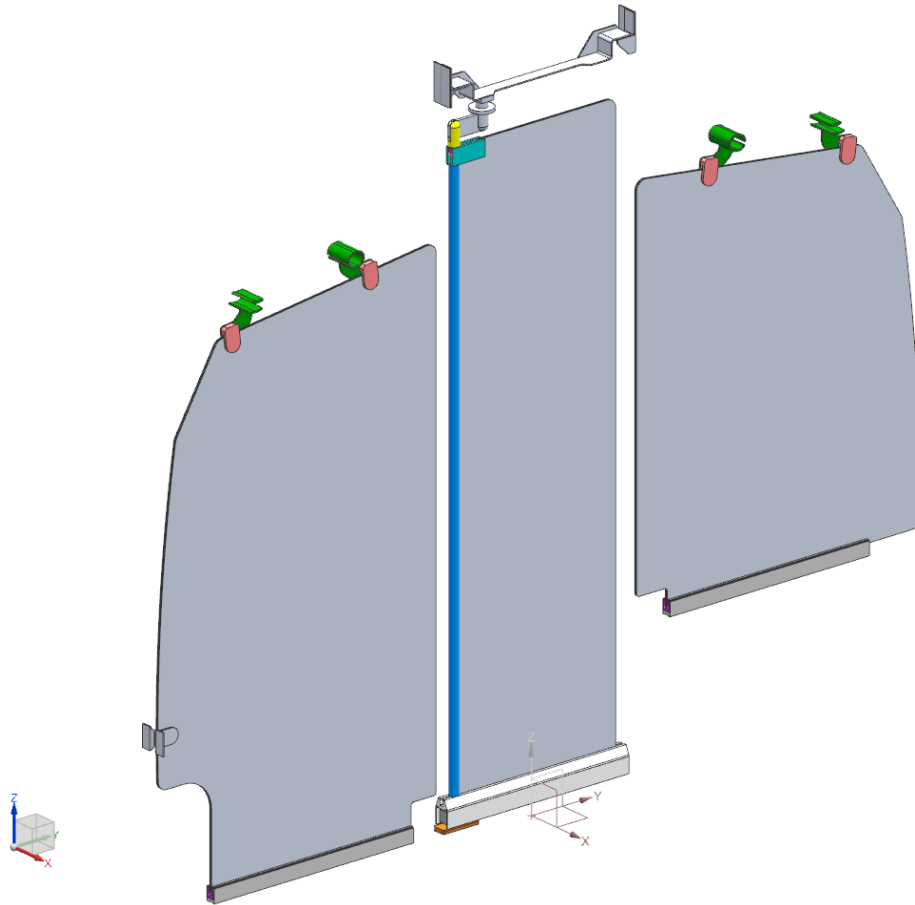
Lengvosios plokščių konstrukcijos yra puikus pasirinkimas greitai pertvarkant keleivių erdvę transporto priemonėse. Jos gali būti naudojamos laikinoms sienoms, grindims ir luboms. Šios panelės dažniausiai yra trisluoksnės konstrukcijos. Išorinės plokštės pagamintos iš išorinio apvalkalo medžiagos, užtikrinančios tvirtumą ir atlaikančios daugumą apkrovų, o šerdies medžiaga yra lengva. Šerdies medžiaga, priklijuota prie išorinių plokščių, apsaugo nuo išlinkimo. Svarbu pažymėti, kad nei išorinės plokštės, nei šerdies medžiaga negali atlaikyti net mažiausių apkrovų, dėl stabilumo

praradimo, kuris paprastai vadinamas išlinkimu. Tačiau tinkamai suklijuota trisluoksnė konstrukcija sėkmingai atlaiko tokias apkrovas.

3.5 paveiksle pavaizduotos skirtingo storio aliuminio apvalkalo plokštės ir šerdies medžiagos. Šiuo metu šerdies medžiagos skirstomos į natūralias arba sintetines, pavyzdžiui, medieną, fanerą, kanapes, šiaudus arba kamštinę medžiagą. Apatinė kairioji plokštė (5 pav.) sukurta su balzos medienos šerdies medžiaga, kurios pluošto kryptis yra statmena plokštės paviršiui. Kitos dvi plokštės yra pagamintos sintetinių šerdžių pagrindu. Jose įklijuotos aliuminio korio ir putplasčio šerdys. Likusių plokščių šerdys pagamintos iš kamštinės medžiagos. Būtina paminėti, kad trisluoksnėse konstrukcijose šerdies medžiagos tūris gali sudaryti iki 95 % visos medžiagos. Todėl labai svarbu užtikrinti, kad šerdims būtų naudojamos ekologiškos ir tvirtos medžiagos. Išorinės plokštės, paprastai pagamintos iš aliuminio, dėl didelio perdirbimo pajėgumo nedaro didelio poveikio aplinkai. Naudojant natūralias medžiagas šiam tikslui galima sukurti didelio našumo, lengvas konstrukcijas, kurios palieka nedidelį anglies dioksido pėdsaką.



3.5 Pav. Trisluoksnės plokštės su balzos mediena, kamštiena, aliuminio korio ir sintetinio putplasčio šerdimi



3.6 Pav. Laikinių traukinio sienų modelis

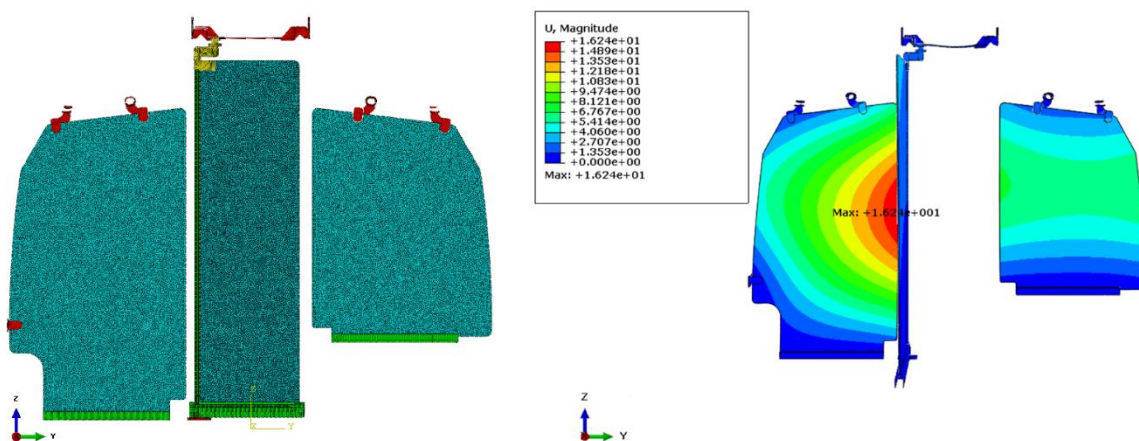
Sektoriuose, kuriuose gali būti naudojamos kamštinės plokštės, svarbu aptarti ir peržiūrėti bendruosius reikalavimus bei tam tikro sektoriaus gerą patirtį. Geležinkelių pramonėje, kur saugos reikalavimai integruojami į ilgalaikę eksploataciją, dažnai naudojami laikini įrenginiai, skirti vidaus patalpų pertvarkymui. Plataus korpuso keleiviniams lėktuvams keliami labai aukšti reikalavimai, todėl dėl didelės keleivių koncentracijos ir trumpo evakuacijos laiko neįmanoma naudoti laikinų judančių sienų. Automobilių sektoriuje laikini interjero pertvarkymai vyksta retai ir dažniausiai yra labai nestandartiniai sprendimai. Jūrų pramonėje laivai ir jachtos dažniausiai projektuojami tik vienam tikslui, todėl atliekami tik nedideli pakeitimai.

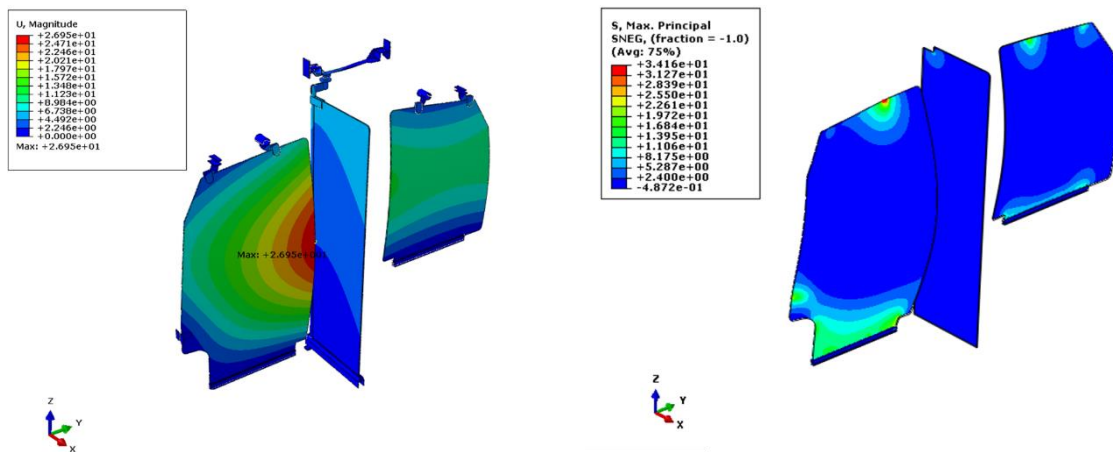
Analizuojant pateiktą atvaizdą, matome laikiną traukinio sieną, skirtą vidaus patalpų pertvarkymui (3.6 pav.). Prieš paruošiant traukinį kelionei, šią sieną galima lengvai išardyti ir pastatyti naujoje vietoje, taip keičiant keleivių pasiskirstymą salone. Pirminėje koncepcijoje buvo numatyta naudoti dvi skirtingas medžiagas šioms sienoms: labai modifikuotą fanerą su blizgiais paviršiais dažais ir priklijuotą dvisluoksnį stiklą. Tačiau galima apsvarstyti ir alternatyvų pasirinkimą – kamštinės šerdies trisluoksnę medžiagą.

Vienas iš trisluoksnės konstrukcijos su kamščio užpildu privalumų yra didelė garso slopinimo savybė. Ji yra gerokai geresnė už labai modifikuotą fanerą ar klijuotą dvisluoksnį stiklą, nes naudojamos dvi

kombinuotos medžiagos, kurių tankis labai pasikeičia ir kurios veikia kaip juostinis filtras. Trisluoksnės plokštės, turinčios panašią masę, pasižymi gerokai didesniu standumu nei didesnio storio medžiagos, kurios buvo minėtos anksčiau. Tačiau trisluoksnių plokščių konstrukcijų montavimas yra sudėtingas ir reikalauja įdėklų, kad būtų galima susidoroti su gniuždymo jėgomis, atsirandančiomis dėl varžtų ir sraigčių jungčių. Šios konstrukcijos atsparumas ugniai buvo laikomas tokio pat lygio kaip faneros, tuo tarpu stiklo plokštės pasižymi išskirtinėmis atsparumo ugniai savybėmis.

Baigtinių elementų analizė (BEM) leidžia nustatyti įtempius medžiagoje ir tiriamos geometrijos deformacijas veikiant apkrovoms. BEM atlikimo procese paprastai atliekami šie veiksmai: pradinės geometrijos išvalymas, pašalinant nereikalingus elementus, diskretaus modelio paruošimas (pradinė begalinė ištisinė geometrija paverčiama diskrečiaisiais elementais), tokių sąveikos mechanizmų taikymas, kaip kontaktai, ryšiai arba klijuojamosios jungtys, kraštinių sąlygų ir jėgų naudojimas, bei modeliavimo parametrų nustatymas. 3.7 paveikslo viršuje kairėje parodytas parengtas diskretusis modelis, kuriame taikomos paslėptos kraštinės sąlygos ir jėga. Kituose 3.7 paveikslo pavyzdžiuose pateikti statinių atvejų scenarijų rezultatai, kurie numato stiprų traukinio susidūrimą su kitomis transporto priemonėmis. 3.7 paveiksle viršuje dešinėje ir apačioje kairėje pavaizduotos deformacijos, kurios atsiranda esant numatytioms apkrovoms. Svarbu pažymėti, kad skalė pateikiama milimetrais, o deformacijos skalė padidinta dešimt kartų, siekiant geriau matyti deformacijų kryptis. Paveikslėlio apačioje dešinėje pateikti didžiausi pagrindiniai įtempiai (MPa) atitinkamuose paveikslo dalyse, kurias veikia minėtos apkrovos. Reikėtų paminėti, kad šiuos pateiktus rezultatus reikėtų vertinti kokybiškai, o ne kiekybiškai, be platesnių svarstymų ir paaiškinimų, kurie telpa į šios knygos apimties rėmus.





3.7 Pav. Viršuje kairėje – traukinio laikinųjų sienų diskretusis modelis. Viršuje dešinėje – traukinio laikinųjų sienų deformacijos vaizdas iš priekio pagal judėjimo krypties stiprios stūmimo apkrovos scenarijų [mm]. Apačioje kairėje – traukinio laikinųjų sienų deformacijos izometrinis vaizdas pagal judėjimo krypties stipraus stūmimo apkrovos scenarijų [mm]. Apačioje dešinėje – traukinio laikinųjų sienų pagrindinio įtempio izometrinis vaizdas pagal judėjimo krypties stipraus stūmimo apkrovos scenarijų [MPa].

Trisluoksnių konstrukcijų kamštinė medžiaga turi įdomią savybę būti puikia atrama apvalkalo plokštėms, kurios turi pernešti daugybę apkrovų. Mokslininkai atlieka 4 taškų lenkimo bandymus, kurių metu stebimas bendras lenkimo įtempis viduryje bandinio. Jų tikslas yra nustatyti konstrukcijos stiprumą ir įvertinti potencialius pažeidimo mechanizmus, susijusius su plokštės ir kamštinės medžiagos sąveika, atsižvelgiant į storį ir sukibimo plėvelę. Kaip matyti 3.8 paveiksle, bandymų rezultatai rodo, kad kamštienos savybės veikiant apkrovoms yra labai geros. Pirma putplasčio plokštė viršuje buvo pažeista dėl vietinės šerdies perkrovos, dėl kurios sugriuvo ir sukėlė didelę deformaciją išoriniame sluoksnyje. Antroji putplasčio plokštė, esanti sukibimo zonoje tarp putplasčio ir išorinio sluoksniu, patyrė šlyties jėgas. Kamštienos atveju, kai reikia atidžiau nagrinėti rezultatus, galime teigti, kad kamštiena pasižymi geromis sukibimo savybėmis su įvairiomis išorinių sluoksnių medžiagomis ir gebėjimu tvirtai prisitvirtinti prie išorinio sluoksniu, kad būtų išvengta vietinių pažeidimų. Daugeliu atvejų visa struktūra turi didelę įtaką šioms savybėms.

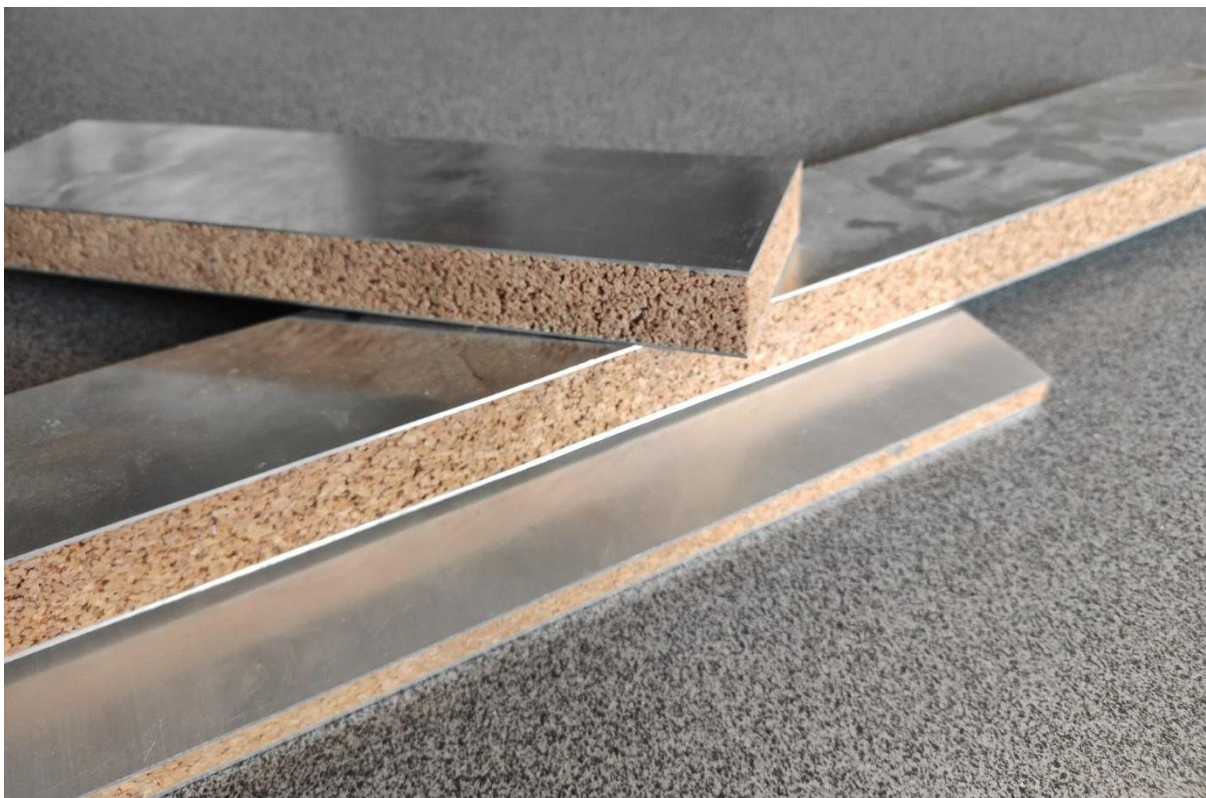


3.8 Pav. Trisluoksnių konstrukcijų su kamštiniu ir sintetiniu užpildu mechanizmo analizė po eksperimento

Parodytas išorinių sluoksnių plokščių pavyzdys yra vienas iš įdomiausių ir ekonomiškai bei struktūriškai pagrįstų būdų, kuriuose panaudojama pažangi kamštinių medžiagų naudojimo technologija. Ši technologija apima didelio stiprumo ir standumo išorinio sluoksnio medžiagas, įskaitant aliuminio arba epoksidinės ir poliesterio pagrindo medžiagas, kurios sujungiamos su didelio tūrio kamštinės šerdies medžiaga. Šis trisluoksnis dizainas leidžia kurti pažangias, lengvas ir labai tvirtas konstrukcijas, kurios taip pat mažina anglies dioksido išmetimo kiekį, o rinką pasiekti gali jau dabar.

3.2.5 Automobilių pramonė

Kamštiena yra plačiai naudojama gaminant įvairius sandariklius, ypač automobilių ir kitų transporto priemonių salono vidaus apdailai. Jos populiarumas grindžiamas lankstumu, atsparumu karščiui ir smūgiams bei malonia liesti tekstūra [5], [36]. Transporto pramonėje didėja poreikis medžiagoms, kurios pasižymi dideliu stiprumo ir svorio santykiu [37]. Dėl mažo kamštienos tankio ir didelio stiprumo, nepriklausomai nuo drėgmės ir temperatūros pokyčių, ji yra plačiai naudojama kaip trisluoksnių konstrukcijų užpildas. Trisluoksne konstrukcija yra konstrukcija, kurios pagrindinė medžiaga yra kamštienos aglomeratas, o ploni trisluoksniai paviršiai yra pagaminti iš labai standžių medžiagų, tokių kaip plienas, aliuminio lydiniai, polimerai ar įvairios pluoštinės kompozicinės medžiagos [3], [27], [38], [39]. Tiriamos aliuminio ir kamštienos trisluoksnės kompozicinės medžiagos yra gaminamos pramoninėmis sąlygomis („Carbon Fox“), ir jos taip pat gali būti naudojamos geležinkelių pramonėje sienoms ir grindims. 3.9 paveiksle pateikiamas gaminio, kuris buvo pagamintas anksčiau minėtoje įmonėje taikant kompozicinių medžiagų gamybos iš dervos impregnuotų pluoštų technologiją, pavyzdys.

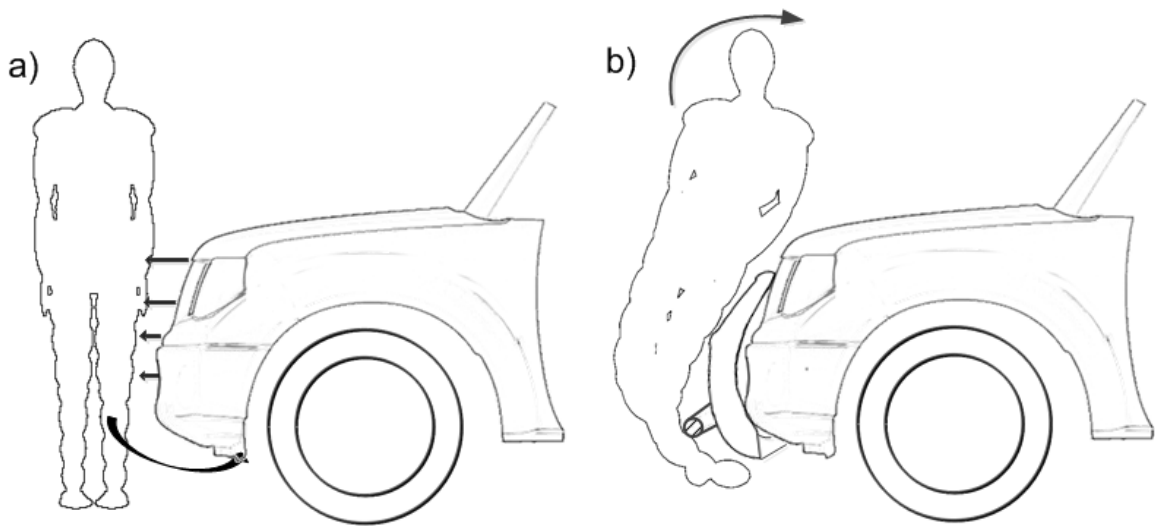


3.9 Pav. Detalus skirtingo storio trisluoksnės konstrukcijos su kamštiniu užpildu ir aliumininium išoriniu sluoksniu atvaizdas

Automobilio kėbulo elementas – priekinis bamperis – buvo pagamintas iš anglies ir aramido pluoštų, esančių epoksidinės dervos matricoje, su kamštiniu užpildu (sprendimas, kurio pagrindu buvo parengta patentinė paraiška P-413342). Kamštinis užpildas buvo naudojamas siekiant padidinti gaminio standumą, išlaikant reikiamą svorį, stiprumą, energijos sugėrimą ir tarnavimo laiką bei sumažinant gamybos sąnaudas. Taip pat verta paminėti, kad kamštiena naudojama erdvėlaivių pramonėje kaip izoliacinė medžiaga raketų varikliams. Izoliacinių medžiagų kokybė raketų varikliams yra labai svarbi, nes aukštos temperatūros gali sukelti dujų sprogo pavojų paleidimo ir sugrįžimo į Žemę metu. Kamštiena, dėl savo unikalių savybių, dažnai naudojama kosmoso pramonėje, ji naudojama purkštukų ir šiluminių skydų gamyboje.

3.2.5.1 Atvejo analizė

Šiame skyriuje skaitytojui pristatoma atvejo analizė, kurioje autoriai aptaria kamštinės kompozicinės medžiagos naudojimo metodą automobilių sektoriuje. Tyrimo tikslas – tobulinti pažeidžiamų eismo dalyvių saugumą įdiegiant priekinės apsaugos sistemą (FPS), kuri efektyviai mažina tikimybę patirti sužalojimus po susidūrimo su transporto priemone.



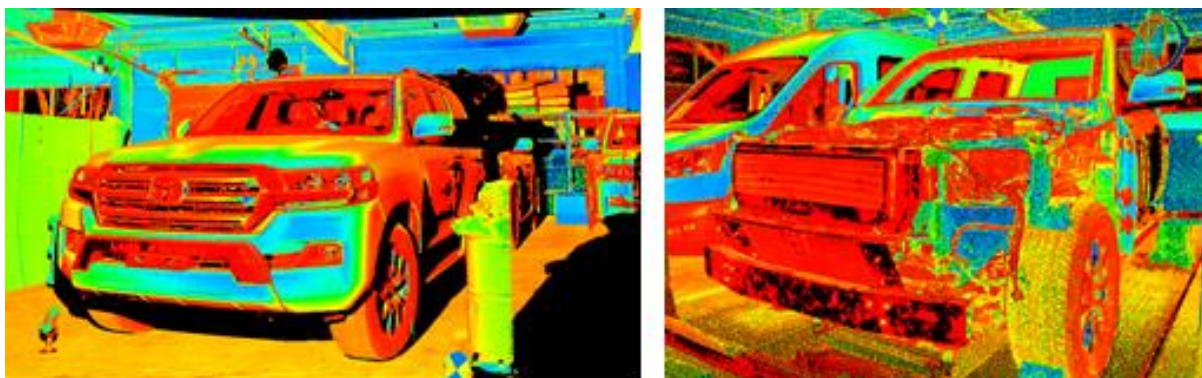
3.10 Pav. Kinematinė schema: pėsčiasis po susidūrimo su visureigiu a) be saugios priekinės apsaugos sistemos (FPS); b) su transporto priemonėje įrengta saugia prekine apsaugos sistema FPS – parengė autorius [40]

Dėl augančio visureigių skaičiaus Europoje ir vis didesnio jų dalyvavimo eismo įvykiuose, kuriuose dažnai nukenčia pėstieji ir dviratininkai (visureigiai dažniausiai naudojami miestuose), nustatytas poreikis saugiai priekinės apsaugos sistemai (FPS) (3.10 pav.) [41]–[43]. Suprojektuota FPS užtikrina pėstiesiems ir dviratininkams tinkamą, skaitiniais bandymais pagrįstą smūgio charakteristiką po susidūrimo su transporto priemone, prisidedama prie sužalojimų mažinimo naudojant natūralias, energiją sugeriančias medžiagas, tokias kaip kamštiena, ir kompozicines medžiagas, pavyzdžiui, anglies pluoštą. Atlikus tyrimą, buvo sukurti ir išbandyti daugialypiai skaitmeniniai modeliai bei fizinis prototipas. Šis kamštienos ir anglies pluošto derinys leido autoriams pakeisti plieno ir aliuminio lydinius priekinės apsaugos sistemoje. Svarbu pabrėžti, kad naujai sukurta priekinė apsaugos sistema ne tik padidina pažeidžiamų eismo dalyvių saugumą, bet ir tobulina transporto priemonės priekinės dalies dizainą (3.11 pav.).



3.11 Pav. Siūloma priekinės apsaugos sistemos konstrukcija

Vėliau buvo atliktas išsamus transporto priemonės su nuimtu priekiniu diržu 3D skenavimas. Juo buvo siekiama identifikuoti priekinės apsaugos sistemos tvirtinimo elementus. Šiam tikslui buvo naudotas „Leica P20“ skeneris, o matavimai buvo atlikti iš dviejų skenerio pozicijų ir sujungti naudojant „Leica Cyclon“ programinę įrangą [44]. 3.12 paveiksle (pažymėtas atspindžio intensyvumas) pavaizduotas registracijos, tai yra skenavimo sujungimo procedūrų, poveikis. Optinių metodų atveju nuskenuotų taškų debesies kokybė, be kita ko, priklauso nuo objekto paviršiaus atspindžio. Nuskenuoti konstrukciniai elementai, būdami palyginti juodi, kūno geometriją vaizduojančiame taškų debesyje gali turėti trūkumų taškų atžvilgiu. Šios savybės itin pastebimos, ypač lyginant skaidrius langus ar priekinius žibintus su priekinės dalies konstrukcija, kuri labiau sugeria šviesą.



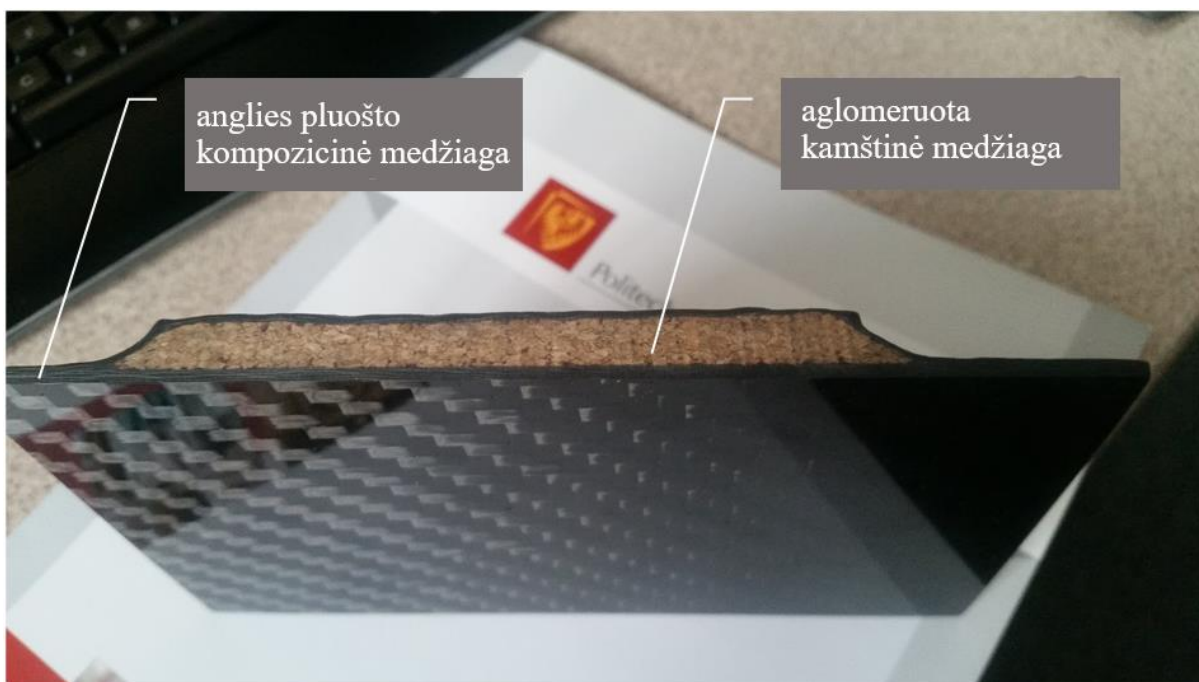
3.12 Pav. Taškų debesis, atvaizduojantis „Toyota Land Cruiser“ transporto priemonę su nuimtu priekiniu diržu (taškų debesyje yra pažymėtas atspalvio intensyvumas)

Galutinis matavimų rezultatas yra bendras visų nuskenuotų taškų debesis, kuris leidžia atkurti transporto priemonės priekinės dalies geometriją. Sujungus taškų debesį, gauta skenavimo paklaida buvo maždaug 1 mm. 3.13 paveiksle parodytas pavyzdys, kaip atrodo taškų debesis, gautas skenavimo metu. Tai yra konstrukcinis pagrindas, kuris naudojamas modeliuojant priekinės apsaugos sistemą. Tolimesni projektavimo darbai buvo atlikti naudojant CATIA v5 programinę įrangą.



3.13 Pav. „Toyota Land Cruiser“ taškų debesis su FPS (kairėje) ir FPS atvaizdavimu (dešinėje).

Buvo atlikti bandymai su įvairiais kamštinių ąžuolų žievės tipais, įskaitant natūralią kamštieną, aglomeruotą kamštienos kompozicinę medžiagą su poliuretanu ir kamštieną su ne Niutoninio skysčio užpildu [45]. Siekiant sumažinti galvos sužalojimus daugybinių smūgių metu, ypač motociklininkams, buvo ištirtos įvairios konfiguracijos, kuriose skirtingos kamštienos rūšys buvo sujungtos rišikliais (kamštienos kompozitai). Galiausiai buvo sukurtas medžiagos modelis (FEM), kuris bus patikrintas bandymų metu. Siekiant užtikrinti FPS saugos savybes, kamštinės medžiagos naudojimas energiją sugeriančiam FPS užpildui buvo tinkamiausias pasirinkimas. Tačiau buvo svarstomos dvi armatūros rūšys, kurios dengia kamštinę medžiagą: anglies ir stiklo pluoštai. Anglis yra sudaryta iš struktūrų, kurių cheminės savybės beveik visiškai panašios į grafitą. Ji pasižymi dideliu atsparumu aukštai temperatūrai ir cheminėms medžiagoms, taip pat puikiu šilumos ir elektros laidumu. Be to, anglies pluošto privalumai apima mažą tankį, didelį stiprumą ir gebėjimą slopinti vibracijas. Be to, svarbu paminėti, kad anglies pluoštas yra patrauklios išvaizdos, kas yra svarbu automobilių rinkoje (žr. 3.14 pav.). Taip pat buvo svarstyta S-2 stiklo / SC-15 stiklo pluošto technologija [46]. Stiklo pluošto savybės skiriasi nuo gryno stiklo medžiagos, nes jos pasižymi dideliu atsparumu tempimui ir lankstumu, dėl kurių nelūžta esant dideliems lenkimo kampams. Tačiau kompozicinės medžiagos su stiklo pluoštu savybės yra prastesnės nei medžiagų, armuotų anglies pluoštu. Todėl galiausiai buvo nuspręsta naudoti anglies pluoštu armuotą polimerą (CFRP) FPS prototipui. Anglies pluoštu armuotų polimerų trūkumai – didelė medžiagos kaina ir sudėtingesnis gamybos procesas [47].



3.14 Pav. Priekinės apsaugos sistemos skerspjūvis, pagamintas iš anglies pluošto kompozicinės medžiagos su kamštiniu užpildu

Rinkos paklausa reikalauja ne tik gaminio su tinkamomis saugos funkcijomis, bet ir patrauklaus dizaino. Todėl autoriai pasirinko dvynytį pynimo raštą, kuris yra labiausiai paplitęs anglies pluošto

detalėse, kartais vadinamas 2x2 pynimu [48]. Audinys su įstrižais raštais yra sukurtas taikant dviejų susikertančių metmenų pynimo techniką, kaip parodyta 3.5 paveiksle.

FPS tipo sistemoms reglamentu (EB) Nr. 78/2009 [49] yra nustatomi patvirtinimo bandymai. Jie apima smūgio testus, bet neapima viso pėsčiojo kinematikos. Todėl mūsų metodas įtraukė pėsčiojo, kuris buvo susidūręs su transporto priemone su kompleksine priekinės apsaugos sistema, kinematinę analizę. Naudojome elipsės formos pėsčiojo manekoną iš MADYMO v7.5 bibliotekos. Šis manekenas plačiai naudojamas pėsčiųjų saugos bandymams ir laikomas biologiškai patikimu, kaip patvirtino daugelis nepriklausomų institucijų. Remiantis atliktais bandymais [50], [51], manekeno ir žemės kontaktinis taškas buvo 0,55. Bandymo metu manekenas buvo automobilio greitėjimo lauke $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$. Transporto judėjimo greitis nestabdant buvo 40 km/h.

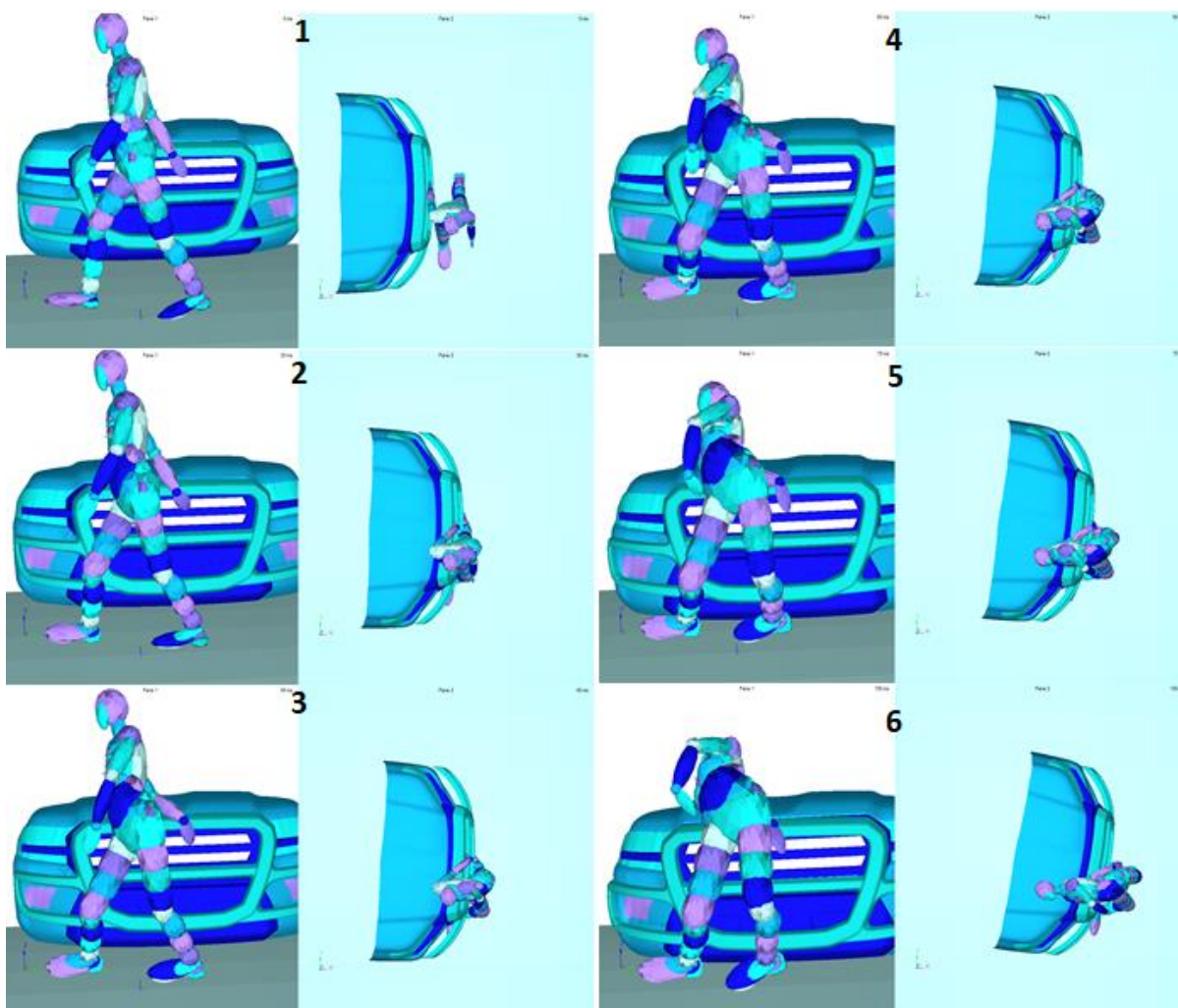
Esminės sąlygos, apibrėžiančios transporto priemonės priekinės dalies apribojimą, buvo laikomos blogiausiu skaičiavimo atveju [52]. Sraigtinės jungtys su veržlėmis buvo modeliuojamos naudojant sijos elementus ir mazgų rinkinius, kurie yra įtraukti į LS-DYNA kodą. Visa skaitinė sąranka yra pavaizduota 3.15 paveiksle.



3.15 Pav. Transporto priemonės priekinės dalies diskretusis modelis su sumontuota priekinės apsaugos sistema (FPS) ir MADYMO 50-ies procentilių vyro manekeno modelis

Toliau analizuojant pateiktą modeliavimo eigą, pastebima, kad manekeno kinematiniai ir biomechaniniai parametrai susidurimo metu ženkliai pagerėjo lyginant su transporto priemone be priekinės apsaugos sistemos (FPS) (3.16 pav.). Didžiausios kelio deformacijos buvo žymiai sumažintos, tai patvirtina ir atlikti biomechaninių kriterijų testai. Nors dėl inercijos jėgos tam tikromis akimirkomis galva ir viršutinė kūno dalis išlieka nepajudintos, tam tikro sukimosi metu galva gali paliesti transporto priemonės variklio dangtį. Galima pastebėti sumažėjusią manekeno kaklo slankstelių deformaciją, kuri sumažina rimtų sužalojimų tikimybę [53]. Manekeno judesio eiga leidžia įdiegti įvairias pėsčiųjų saugumą gerinančias sistemas, pvz. kėlimo kaukę su papildoma dujų

amortizacija arba galvos oro pagalvę. Dėl pėsčiojo sukimosi krypties, jis nejučia staigaus viso kūno pagreičio. Be to, galvos pagreitis nepasiekia viršijančios kritinės vertės, siejamos su kritiniais galvos sužalojimais (kritinė vertė 1000 – modeliavime <100) [54], [55].



3.16 Pav. Skaitmeninis LS–DYNA ir MADYMO pėsčiojo smūgio į 40 km/h greičiu važiuojantį automobilį modeliavimas – 15 ms intervalais rodomi nuoseklūs 0–100 ms smūgiai.

Vertinant FPS veiksmingumą pėsčiųjų apsaugai užtikrinti, gautas teigiamas kinematinis patvirtinimas. Pėsčiojo trajektorijos po susidūrimo su transporto priemone įvertinimas buvo atliktas FPS projektavimo etape ir buvo pakankamas. Kitame darbo etape buvo nustatytas optimizavimo kriterijus, kad FPS atitiktų Europos Parlamento ir Tarybos reglamento (EB) 78/2009 nustatytus kojų modelio smogtuvo tipo patvirtinimo reikalavimus, kaip aprašyta [56]. Šiame etape buvo sukurtas galutinis FPS dizainas, kuris buvo sumontuotas „Toyota Land Cruiser“ ir „Ford Transit“ automobiliuose, kaip parodyta 3.17 paveiksle.



3.17 Pav. Priekinė apsaugos sistema, pagaminta iš kamštienos ir anglies pluošto stiprinto plastiko (CFRP), sumontuota ant „Toyota Land Cruiser“ automobilio (kairėje) ir „Ford Transit“, automobilio (dešinėje).

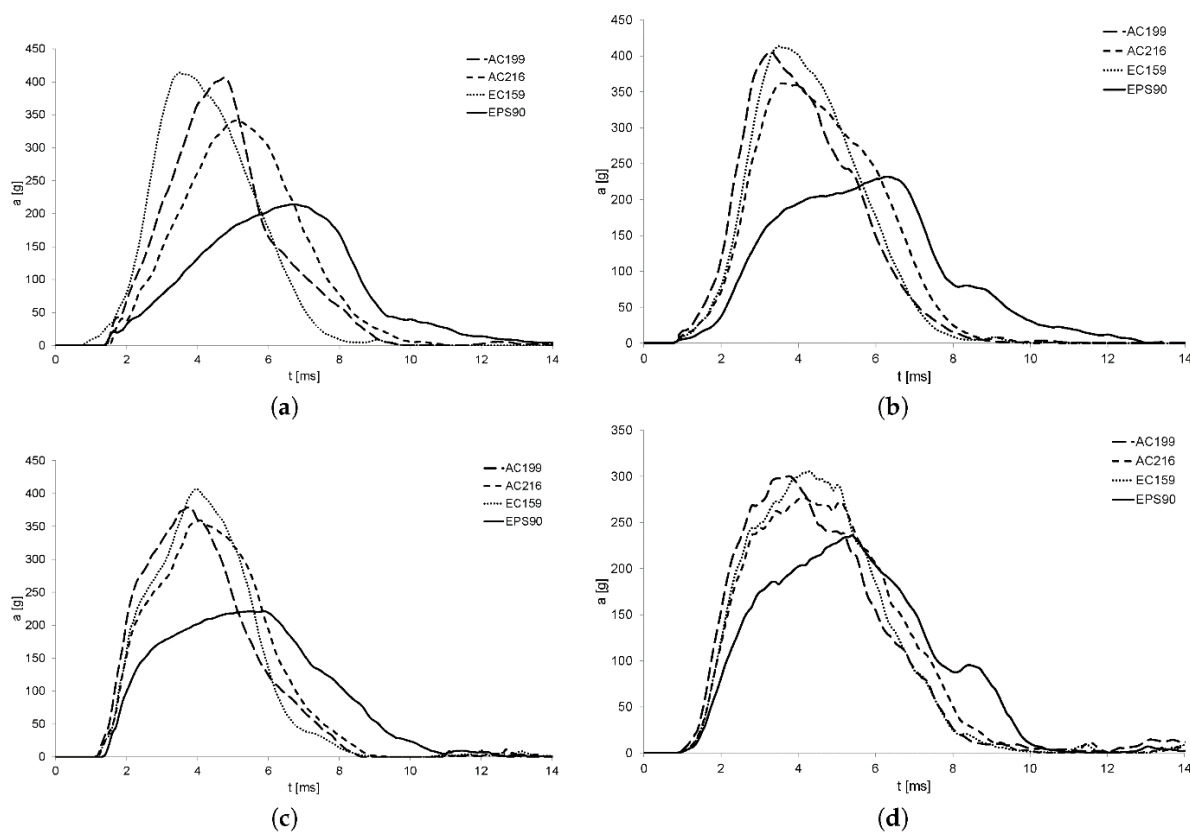
Pastabos

Tyrimo tikslas – tobulinti pėsčiųjų ir dviratininkų saugumą kuriant ir diegiant sistemas, pagrįstas natūraliomis energiją absorbuojančiomis medžiagomis. Šiame tyrime buvo sukurta ir skaitmeniškai išbandyta priekinės apsaugos sistema, pagaminta kamštienos ir anglies pluošto kompozicinė medžiaga (CFRP). Anglies pluošto kompozicinė medžiaga vis dažniau naudojama automobilių pramonėje dėl mažo tankio ir didelio stiprumo. Todėl FPS, pagaminta iš anglies pluošto, gali efektyviai apsaugoti priekinius transporto priemonės elementus. Be to, kamštinės šerdies energijos sugėrimo savybės gali sumažinti pėsčiųjų sužalojimus avarijos metu. Derinant kamštines medžiagas su anglies pluoštu, gaunamas efektyvus sprendimas, apsaugantis tiek automobilio elementus, tiek pėsčiuosius. Tyrimas patvirtino, kad kamštienos ir anglies pluošto derinys yra puikus pasirinkimas, siekiant užtikrinti medžiagos tinkamumą automobilio ir pėsčiojo apsaugos elementams. Kamštiena puikiai sugeria mechaninę energiją, mažindama žmonių sužalojimų riziką. Anglies pluoštas, savo ruožtu, dėl tvirtumo apsaugo priekinę transporto priemonės dalį.

3.2.6 Energijos absorbuojimo technologijos

Šiuolaikinės tendencijos nuolat skatina ieškoti ekologiškų ir ekonomiškų medžiagų, todėl įvairios mokslininkų grupės atlieka daugybę tyrimų [3], [57]–[65]. Šiuo metu dauguma asmeninių saugos priemonių naudoja energiją sugeriančius įdėklus, kurie yra pagaminti iš tokių sintetinių ląstelių medžiagų, kaip putų polistirenas (EPS) ir putų polipropilenas (EPP). Šie įdėklai turi skirtingus tankio lygius ir yra sukurti tam, kad sugertų smūgio energiją per nuolatinę deformaciją. Kai veikia gniuždymo apkrova, ląstelinės medžiagos gali deformuotis dideliais mastais, tačiau tuo pačiu jos išlaiko beveik pastovų mažų įtempių lygį iki jų sutankėjimo momento [66]. Fernandes *et al* atlikto tyrimo metu [67] kaip etalonas buvo naudojamas komerciškai prieinamas šalmas, pagamintas iš EPS

(putų polistireno) medžiagos ir sertifikuotas pagal Europos standartą R22.05 [68] (3.18 paveikslas). Tyrimo tikslas buvo palyginti šio šalmo patikros rezultatus su kitais įdėklais, tokiais kaip linijinis kamštienos įdėklas ir aglomeruotas kamštienos įdėklas. Bandymai buvo atlikti su kamštienos aglomeratais AC199, AC216 ir EC159 (AC – aglomeruota kamštiena, EC – išplėsta kamštiena).



3.18 Pav. Pagreičio matavimas atliktas galvos modelio svorio centre – ECE 22.05 bandymo sąlygomis: a) Smūgio taškas B. b) Smūgio taškas P. c) Smūgio taškas R. d) Smūgio taškas X, pritaikytas iš [67]

Pastebėta, kad kamštinių aglomeratų AC216 charakteristikos išsiskiria iš kitų nagrinėtų konfiguracijų. Pagal ištirtas pagreičio ir laiko kreives, AC216 kreivės turi platesnę charakteristiką ir mažesnius maksimalius pagreičius. Be to, AC216 medžiaga geriausiai reaguoja į antrąjį smūgį, net geriau nei EPS90. Taip pat, AC216 yra atsparesnė smūgiams, todėl manoma, kad šiame tyrime naudotas šalmas absorbuoja energiją geriau negu buvo manoma. Tolesnis tyrimo etapas yra pakeisti įdėklo geometriją. Pasak autorių, geriausia parinktis buvo naudoti 40 mm storio AC216 įdėklą su 15 mm skersmens skylėmis, išdėstytomis apskritimu 30° kampu ir 45 mm atstumu. Tai padėjo sumažinti 0,907 kg konstrukcijos svorį. Tyrimas buvo apibendrintas bendradarbiaujant su Portugalijos šalmų bendrove CMS. Gaminys buvo patobulintas, naudojant kamštinius įdėklus, kurie geriau sugeria energiją (3.19 paveikslas).

Portugalijos bendrovė „Nexx S“ sukūrė šalną, kuris yra pagamintas iš kamštinės medžiagos. Šio šalmo paskirtis yra pritaikomumas žiemos sporto šakose, o jo konstrukcija panaši į CMS. Šalmo konstrukcijoje taikoma energiją sugerianti technologija, kuri yra integruota kaip vidinio amortizacijos elemento dalis. Apsauginį apvaskalą sudaro smūgiams atsparus pažangus termoplastiko apvaskalas, hipoalerginis, nuimamas pliušinis vidinis paminkštinimas, apsaugantis nuo prakaito, bei PC Lixan skaidrus skydelis. Be to, gamintojas siūlo kamštinio kiauto konstrukciją [69].



3.19 Pav. Kamštiesenos pagrindu pagaminto motociklininko šalmo koncepcija (kairėje) ir šalmas su kamštiesenos korpuso konstrukcija (dešinėje) [69]

3.3. Išvados

Kamštiena yra ypatinga natūrali žaliava, kuri pasižymi unikaliomis savybėmis. Ji turi įvairių panaudojimo galimybių – nuo paprastų kamščių iki sudėtingų šiluminės izoliacijos skydų varikliams ir raketų bakams. Šiame skyriuje siekta techniškai patikimai paaiškinti, kaip įvairios kamštinės medžiagos savybės prisideda prie kamštiesenos gamybos sektoriaus kūrimo ir plėtros. Skyriuje pateikiama informacija apie kamštienai būdingų savybių derinį, kuris įtakoja tam tikrus šios medžiagos panaudojimo būdus. Pradedant nuo kamštinės medžiagos aprašymo lyginant ją su kitomis medžiagomis ir pabrėžiant jos privalumus ir trūkumus, skaitytojas įgis žinių apie tinkamą kamštinės medžiagos naudojimą, atsižvelgiant į šiai medžiagai keliamus reikalavimus. Skaitytojas taip pat įgis žinių apie atvejo analizę – originalią visureigio priekinės apsaugos sistemą, sukurtą naudojant kamštinę medžiagą. Kamščio šerdies energiją absorbuojančios savybės gali sumažinti pėsčiojo sužalojimus eismo įvykio metu. Šiame skyriuje skaitytojais bus supažindinti su kamštiesenos unikalumu ir išskirtinumą lemiančiomis savybėmis. Be to, čia pateikiami pavyzdžiais pagrįsti paaiškinimai, kodėl kamštiena yra tinkamas pasirinkimas medžiagos parinkimo procese.

Kamštiena yra ypatinga natūrali žaliava, kuri pasižymi unikaliomis savybėmis. Ji turi įvairių panaudojimo galimybių – nuo paprastų kamščių iki sudėtingų šiluminės izoliacijos skydų varikliams ir raketų bakams. Šiuolaikinės medžiagų inžinerijos žinios nuolat plečia kamštiesenos ir jos kompozicinių medžiagų taikymo sritis, taip pat tęsiami inovatyvūs kamštiesenos tyrimai. Kamštiena yra brangi gamtos

dovana, todėl reikia elgtis su ja pagarbiai ir naudoti ją kuo plačiau, tausojant aplinką ir siekiant ekologiškumo.

Literatūros sąrašas

- [1] Urbaniak, M., Gołuch-Goreczna, R., Bledzki, A.K., Gajdzinski, S.. Natural cork. Part I. Cork oak tree culture, macro-and micromorphology of cork. *Polimery*, 62(05):388-393.
- [2]Pereira, H. (2007). Cork: Biology, Production and Uses.
- [3]Urbaniak, M., Goluch-Goreczna, R., Bledzki, A.K., Gajdzinski, S. (2017). Natural cork. Part II. Properties and applications. *Polimery*, 62(06):472-480.
- [4]Silva, S.P., Sabino, M.A., Fernandes, E.M., Correlo, V.M., Boesel, L.F., Reis, R.L. (2005). Cork: properties, capabilities and applications. *International Materials Reviews*, 50(6):345–365.
- [5]Sanchez-Saez, S., García-Castillo, S.K., Barbero, E., Cirne, J. (2015). Dynamic crushing behaviour of agglomerated cork. *Materials & Design (1980-2015)*, 65:743–748.
- [6] Mano, J.F. (2002). The viscoelastic properties of cork. *Journal of Materials Science*, 37(2):257–263.
- [7]Vaz, M. F., Fortes, M. A. (1998). Friction properties of cork. *Journal of Materials Science*, 33: 2087- 2093.
- [8]Gil, L. (2015). New Cork-Based Materials and Applications. *Materials*, 8(2):625–637.
- [9] Biggs, A.R. (1988). Association of Suberin Formation in Uninoculated Wounds with Susceptibility to *Leucostoma cincta* and *L. personii* in Various Peach Cultivars. *Phytopathology*, 78(8):1070-1074.
- [10]Kolattukudy, P.E. (1984). Biochemistry and function of cutin and suberin. *Canadian Journal of Botany*, 62(12):2918–2933.
- [11]Thomas, R., Fang, X., Ranathunge, K., Anderson, T.R., Peterson, C.A., Bernards, M.A. (2007). Soybean Root Suberin: Anatomical Distribution, Chemical Composition, and Relationship to Partial Resistance to *Phytophthora sojae*. *Plant Physiol*, 144(1):299–311.
- [12]Schreiber, L., Werner Breiner, H., Riederer, M., Düggelin, M., Guggenheim, R. (1994). The Casparian Strip of *Clivia miniata* Reg. Roots: Isolation, Fine Structure and Chemical Nature*. *Botanica Acta*, 107(5):353–361.
- [13]Tendero, C., Tixier, C., Tristant, P., Desmaison, J., Leprince, P. (2006). Atmospheric pressure plasmas: A review. *Spectrochim Acta Part B At Spectrosc*, 61(1):2–30.

- [14] Abenojar, J., Torregrosa-Coque, R., Martínez, M.A., Martín-Martínez, J.M. (2009). Surface modifications of polycarbonate (PC) and acrylonitrile butadiene styrene (ABS) copolymer by treatment with atmospheric plasma. *Surf Coat Technol*, 203(16):2173–2180.
- [15] Encinas, N., Díaz-Benito, B., Abenojar, J., Martínez, M.A. (2010). Extreme durability of wettability changes on polyolefin surfaces by atmospheric pressure plasma torch. *Surf Coat Technol*, 205(2):396–402.
- [16] van Ooij et al., W.J. (2005). Corrosion protection properties of organofunctional silanes — An overview. *Tsinghua Sci Technol*, 10(6):639–664.
- [17] Rosa M.E., Pereira, H. (1994). The Effect of Long Term Treatment at 100°C–150°C on Structure, Chemical Composition and Compression Behaviour of Cork. *hfsg*, 48(3):226–232.
- [18] Gibson, L.J., Easterling, K.E., Ashby, M.F.A. (1981). STRUCTURE AND MECHANICS OF CORK. *Proc R Soc Lond A Math Phys Sci*, 377(1769).
- [19] Fortes, M.A., Teresa Nogueira, M. (1989). The poison effect in cork. *Materials Science and Engineering: A*, 122(2):227–232.
- [20] Gil, L. (2014). Cork: a strategic material. *Front Chem*, 2.
- [21] Fiskars Garden Shears. Available: <http://lumberjac.com/2012/10/fiskars-quantum-garden-shears/>
- [22] Vitra Cork Stool (2014). Available: <https://www.vitra.com/en-us/about-vitra/sustainability/materials/cork>
- [23] Cork Chop Grips. Available: <https://ridepdw.com/collections/grips-and-bells/products/cork-chop-grips?variant=24672749313>
- [24] I Cork case. Available: http://www.pomm.pt/_icorkcase#
- [25] Sargianis, J., Kim, H., Suhr, J. (2012). Natural Cork Agglomerate Employed as an Environmentally Friendly Solution for Quiet Sandwich Composites. *Sci Rep*, 2(1):403
- [26] Pereira, H., Ferreira, E. (1989). Scanning electron microscopy observations of insulation cork agglomerates. *Materials Science and Engineering: A*, 111:217–225.
- [27] Baptista A.P.M., do Carmo Vaz, M. (1993). Comparative wear testing of flooring materials. *Wear*, 162–164:990–995.
- [28] Pereira, H. (1992). The thermochemical degradation of cork. *Wood Sci Technol*, 26(4):259–269.
- [29] Rosa M.E., Fortes, M.A. (1988). Temperature-induced alterations of the structure and mechanical properties of cork. *Materials Science and Engineering*, 100:69–78.
- [30] Kłusak M., Grygny, S. (2017). The Application of Composite With Cork Core For Cabs and Superstructures of Firefighting Vehicles. *Modelowanie Inżynierskie*, G3:9.

- [31]ECE-R 118 Regulations.
- [32]PN-EN ISO 2818-Tworzywa sztuczne Przygotowanie próbek do badań metodą obróbki mechanicznej.
- [33]PN-EN ISO 20753-Tworzywa sztuczne Kształtki do badań.
- [34]PN-EN ISO 527-4-Tworzywa sztuczne Oznaczenie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu Warunki badań kompozytów tworzywowych izotropowych i ortotropowych wzmocnionych włóknami.
- [35]PN-EN ISO 14125- Kompozyty tworzywowe wzmocnione włóknem oznaczanie właściwości przy zginaniu.
- [36]Farag, M.M. (2008). Quantitative methods of materials substitution: Application to automotive components. *Mater Des*, 29(2):374–380.
- [37]Zenkert, D. (1997). *The Handbook of Sandwich Construction*. Sheffield: EMAS Publishing.
- [38]Castro, O., Silva, J.M., Devezas, T., Silva, A., Gil, L. (2010). Cork agglomerates as an ideal core material in lightweight structures. *Mater Des*, 31(1):425–432.
- [39]Santos Silva, J., Dias Rodrigues, J., Moreira, R.A.S., Application of Cork Compounds in Sandwich Structures for Vibration Damping. *Journal of Sandwich Structures & Materials*, 12(4):495–515.
- [40]Ptak, M., Rusiński, E., Karliński, J. (2012). Frontal Protection System for pedestrian safety. Patent 399762 PL, Wrocław, Poland.
- [41]Ptak, M., Fernandes, F.A.O., Dymek, M., Welter, C., Brodziński, K., Chybowski, L. (2022). Analysis of electric scooter user kinematics after a crash against SUV. *PLoS One*, 17(1):e0262682.
- [42]Wilhelm J., Ptak, M. (2018). Influences of SUV front-ends on accidents with two-person bicycles. *Interdyscyplinarność badań naukowych [Dokument elektroniczny]: praca zbiorowa / pod red. Jarosława Szreka*. Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 1:128–133. Available: http://ko-oper.pwr.wroc.pl/files/Interdyscyplinarnosc_badan_naukowych_2018_JS.pdf
- [43] Ptak, M., Rusiński, E., Karliński, J., Dragan, S. (2012). Evaluation of kinematics of SUV to pedestrian impact—Lower leg impactor and dummy approach. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 12(1):68–73.
- [44]James, D.W., Belblidia, F., Eckermann, J.E., Sienz, J. (2017). An innovative photogrammetry color segmentation based technique as an alternative approach to 3D scanning for reverse engineering design. *Comput Aided Des Appl*, 14(1):1–16.

- [45]Gürgen, S., Fernandes, F.A.O., de Sousa, R.J.A., Kuşhan, M.C. (2021). Development of Eco-friendly Shock-absorbing Cork Composites Enhanced by a Non-Newtonian Fluid. *Applied Composite Materials*. 1–15.
- [46]Ptak, M., Blicharski, P., Rusiński, E., Karliński, J. (2017). Numerical Simulations of Composite Frontal Protection System According to EC 78/2009. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Part F10:423–429
- [47]Iluk, A., Rusiński, E., Ptak, M. (2012). Wstępna analiza przebicia ceramiczno-kompozytowych osłon balistycznych. *Systems: journal of transdisciplinary systems science*, 16(1):219–226, 2012, Available: <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BPW8-0024-0033>
- [48]Liu, Q., Ma, J., He, Z., Hu, Z., Hui, D. (2017). Energy absorption of bio-inspired multi-cell CFRP and aluminum square tubes. *Compos B Eng*, 121:134–144
- [49]European Parliament and Council, Regulation (EC) no 78/2009 (2009) of The European Parliament and of the Council.
- [50]Stevenson, T. (2006). Simulation of Vehicle-Pedestrian Interaction. Doctoral thesis, University of Canterbury.
- [51]Fricke, L.B. (1990). Traffic Accident Reconstruction. *Traffic Accident Investigation*, (2).
- [52]Ptak M., Karliński, J. (2012). Pedestrian passive safety during the SUV impact: regulations vs. reality. *IRCOBI Conference Dublin, Ireland*. 103–113.
- [53]Ptak, M. (2019). Pedestrian safety: a new method to assess pedestrian kinematics. *Transport*, 34(1):41–51.
- [54]Chybowski, L., Przetakiewicz, W. (2020). Estimation of the Probability of Head Injury at a Given Abbreviated Injury Scale Level by Means of a Function of Head Injury Criterion. *System Safety: Human- Technical Facility - Environment*, 2(1):91–99.
- [55]Jamroziak et al., K. (2019). Ballistic Head Protection in the Light of Injury Criteria in the Case of the Wz.93 Combat Helmet. *Applied Sciences*, 9(13):2702.
- [56]Ptak, M. (2019). Method to Assess and Enhance Vulnerable Road User Safety during Impact Loading. *Applied Sciences*, 9(5):1000.
- [57]Blanco, D.H., Cernicchi, A., Galvanetto, U. (2014). Design of an innovative optimized motorcycle helmet. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part P Journal of Sports Engineering and Technology*, 228(2):95-110.
- [58]Caserta, G.D., Iannucci, L., Galvanetto, U. (2011). Shock absorption performance of a motorbike helmet with honeycomb reinforced liner. *Compos Struct*, 93(11).

- [59]Coelho, R.M., Alves de Sousa, R.J., Fernandes, F.A.O., Teixeira-Dias, F. (2013). New composite liners for energy absorption purposes. *Mater Des*, 43:384–392.
- [60]Fernandes, F.A.O., Jardim, R.T., Pereira, A.B., Alves de Sousa, R.J. (2015). Comparing the mechanical performance of synthetic and natural cellular materials. *Mater Des*, 82:335-341.
- [61]Fernandes, F.A.O., Tavares, J.P., Alves de Sousa, R.J., Pereira, A.B., Esteves, J.L. (2017). Manufacturing and testing composites based on natural materials. *Procedia Manufacturing*, 13:227-234.
- [62]Ptak, M., Kaczynski, P., Fernandes, F.A.O., de Sousa, R.J.A. (2017). Assessing impact velocity and temperature effects on crashworthiness properties of cork material. *International Journal of Impact Engineering*, 106.
- [63]Ptak et al., M. (2019). Graphene-enriched agglomerated cork material and its behaviour under quasi-static and dynamic loading. *Materials*, 12(1).
- [64]Santos, P.T., Pinto, S., Marques, P.A.A.P., Pereira, A.B., Alves de Sousa, R.J. (2017). Agglomerated cork: A way to tailor its mechanical properties. *Compos Struct*, 178.
- [65]Shuaeib, F.M., Hamouda, A.M.S., Wong, S.V., Umar, R.S.R., Ahmed, M.M.H.M. (2007). A new motorcycle helmet liner material: The finite element simulation and design of experiment optimization. *Mater Des*, 28(1):182–195.
- [66]Gibson, L.J., Ashby, M.F. (1989). *Cellular Solids: Structure & Properties*. *Advances in Polymer Technology*, 9(2).
- [67]Fernandes, F.A.O., de Sousa, R.J.A., Ptak, M., Migueis, G. (2019). Helmet design based on the optimization of biocomposite energy-absorbing liners under multi-impact loading. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(4).
- [68]ECE Regulations 22.05 (2002). Uniform Provision Concerning the Approval of Protective Helmets and Their Visors for Driver and Passengers of Motor Cycles and Mopeds. United Nations. Available: www.unece.org
- [69]Cork motorcycle helmet (2015). Available: <http://lumberjac.com/2015/02/nexx-x60-cork-motorcycle-helmet/>

SKYRIUS 4

Kamštinių trisluoksnių kompozitų gamyba ir pritaikymas aviacijoje

Bronius Merkys¹, Justas Nugaras^{2,}, Mykola Karpenko³, Andrius Dubovas¹*

¹Antano Gustaičio aviacijos institutas, Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

²Kūrybinių industrijų fakultetas, Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

³Transporto inžinerijos fakultetas, Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

*el. paštas: justas.nugaras@vilniustech.lt

Anotacija

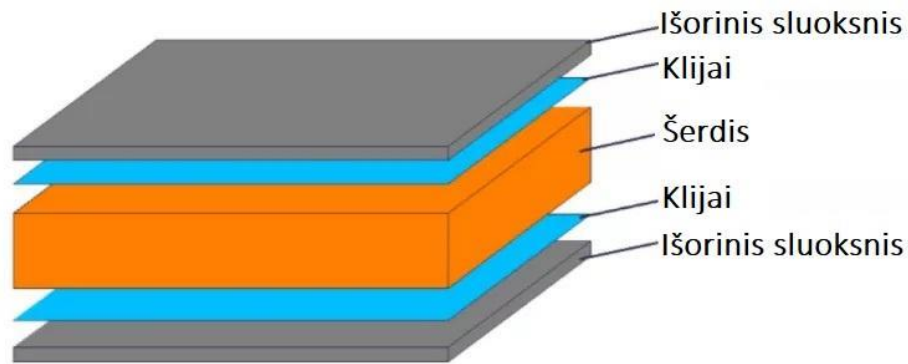
Siekiant racionaliai pritaikyti kamštines kompozicines medžiagas aviacijoje ir konstrukcijų elementuose, yra itin svarbu ištirti svarbiausias teigiamas ir neigiamas kamštinių kompozicinių medžiagų savybes. Šiame tyrime pristatomas platesnis požiūris į kamštinių medžiagų gamybos procesus ir trisluoksnių konstrukcijų su kamščio užpildu kompozicinių medžiagų taikymo sritis aeronautikoje. Šiame skyriuje aptariami kamštinių kompozicinių medžiagų taikymo galimybės užpildams ir kitoms sandarinimo medžiagoms pavyzdžiai. Siekiant geriau suprasti medžiagos savybes, atlikti du bandymai: vibracijos ir lenkimo. Atlikto vibracijos bandymo rezultatai rodo, kad sluoksniuotose kompozicinėse konstrukcijose polimetakrilimidines putas galima pakeisti medžiaga su kamščio užpildu. Bandymas atliktas taikant modalinę analizę, taip palyginant medžiagos virpesių slopinimo charakteristikas. Iš gautų lenkimo bandymų rezultatų matyti, kad didžiausią stiprumo rodiklį turinti medžiaga buvo sudaryta iš didžiausių kamštienos granuliu. Kamštinė kompozicinė medžiaga atlaikė tris kartus didesnę jėgą, negu kompozicinė medžiaga su polimetakrilimidinių putų užpildu. Atsinaujinančių medžiagų, tokių kaip kamštiena, integravimas į trisluoksnes kompozicines medžiagas leidžia įgyvendinti ir siekti aukštesnio tvarumo lygio aviacijos pramonėje.

Esminiai žodžiai: Kamštiena, trisluoksnių kompozicinė medžiaga, sandarinimo medžiaga, vibracijų ir lenkimo bandymai.

4.1 Trisluoksnių konstrukcijų su kamštiniu užpildu apžvalga

4.1.1 Sluoksniuotų sumuštinio (sandwich) tipo konstrukcijų apibrėžimas, tipai

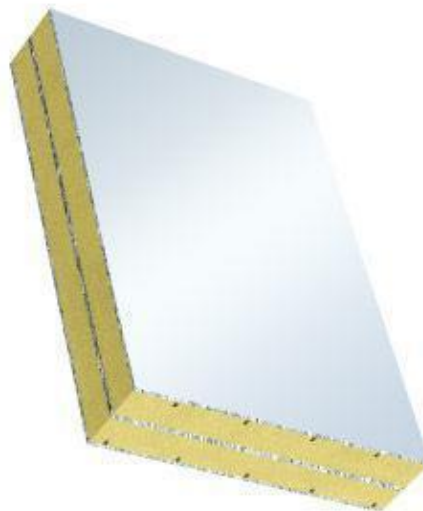
Sluoksniuotos struktūros, pagamintos iš kelių skirtingų medžiagų sluoksnių, suklijuotų tarpusavyje, plačiai naudojamos aviacijoje ten, kur reikia gauti lengvas ir standžias konstrukcijas [1]. Aviacijoje dažniausiai naudojamos trisluoksnių sumuštinio tipo konstrukcijos, kuriose vidinis sluoksnis (šerdis) iš abiejų pusių suklijuotas su išoriniais sluoksniais [2] (Figure 4.1).



4.1. Pav. Trisluoksnės sumuštinio (sandwich) tipo konstrukcijos sandara [3].

Tokio tipo konstrukcijos įgalina pasiekti aukštas standumo charakteristikas išlaikant nedidelę masę.

Sumuštinio tipo konstrukcijos gali būti ir daugiasluoksnės, kuriose yra ne vienas, o du ir daugiau šerdies sluoksnių tarp kurių įklijuoti kitos medžiagos sluoksniai [4]. Pavyzdžiui, statybose naudojamos daugiasluoksnės sumuštinio tipo plokštės sudarytos iš dviejų išorinių sluoksnių (4.2 pav.). Tarp šių sluoksnių yra du sluoksniai šerdies atskirti papildomu viduriniu sluoksniu.



4.2. Pav. Daugiasluoksnė statybinė plokštė sudaryta iš trijų sluoksnių metalinės skardos [5]. Tarp skardos sluoksnių įterpti du šerdies sluoksniai.

Tokio tipo daugiasluoksnės konstrukcijos su kamštinėmis šerdimis ir kompozicinių medžiagų, medienos ar metalo sluoksnių kombinacijomis, tikslinga panaudoti kaip dekoratyvines paneles pasižyminčias ne tik ekologinėmis, bet ir garsą izoliuojančiomis savybėmis. Nors daugiasluoksnės struktūros šiek tiek skiriasi nuo trisluoksnių, tačiau jų gamybos ir panaudojimo ypatybės identiškos, todėl toliau nagrinėsime tik trisluoksnės sumuštinio tipo konstrukcijas, esant reikalui pažymėdami daugiasluoksnių struktūrų technologinius ar konstrukcinius skirtumus nuo trisluoksnių.

4.1.2 Aviacijai svarbiausios trisluoksnių konstrukcijų su kamštiniu užpildu savybės, privalumai bei trūkumai

Tam, kad apibrėžti, kokias organines kamštines medžiagas galima panaudoti aviacijoje ir kokiose konstrukciniuose elementuose racionaliausia būtų jas naudoti, būtina išsiaiškinti svarbiausias teigiamas ir neigiamas kamštinės medžiagos savybes.

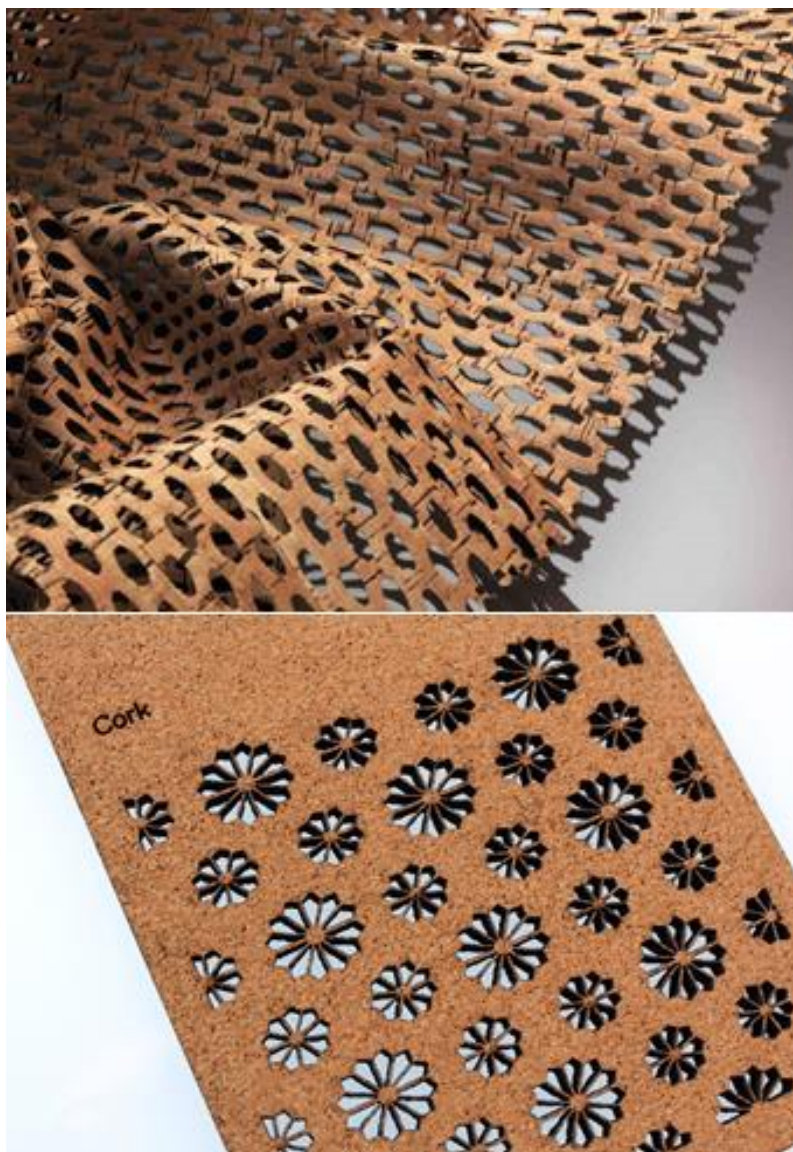
Organinių kamštinių medžiagų privalumai:

- A. Pats svarbiausias šios medžiagos privalumas yra, kad ji ekologiška ir yra nesunkiai perdirbama [6]. Tai itin svarbi savybė, ypač pastaruoju metu, kadangi didesnis dėmesys kreipiamas į tai, kad technikoje naudojamas medžiagas būtų galima utilizuoti neteršiant aplinkos arba, kad būtų galimybė jas perdirbti ir panaudoti dar kartą. Aviacijai šis privalumas labai aktualus, nes dauguma šioje srityje naudojamų kompozicinių medžiagų - komplikotai utilizuojamos ar perdirbamos pakartotiniam naudojimui.
- B. Dėl santykinio minkštumo ir elastingumo, kamštiniai trisluoksnių konstrukcijų užpildai pasižymi geromis triukšmo ir vibracijų slopinimo savybėmis [7].
- C. Nors ir būdamos augalinės kilmės organinėmis medžiagomis, šios medžiagos pasižymi aukštu atsparumu degimui lygiu [8]. Todėl šios medžiagos tinka lėktuvų ir sklandytuvų įgulų kabinų ar keleivių salonų dekoratyvinei vidaus apdailai.
- D. Kamštinės medžiagos pasižymi estetinėmis savybėmis - malonios liečiant. Tai taip pat teigiama savybė, jas naudojant kaip dekoratyvines medžiagas vidaus apdailai [9]. Be to, naudojant šiuolaikines technologijas (pavyzdžiui, graviravimą lazeriu) šias medžiagas galima dekoruoti įvairiais raštais, ant jų perkelti vaizdus.



4.3. Pav. Lazeriu dekoruotos kamštinės medžiagos plokštelės [10].

Naudojant lazerinę pjaustymo įrangą lakštines kamštines medžiagas galima pjaustyti kiaurais raštais. Tokius kiaurai pjaustytus elementus taip pat galima panaudoti vidinei orlaivių kabinų apdailai (pav. 4.3 and 4.4).



4.4. Pav. Lazериu kiaurai pjaustytos lakštinės kamštinės medžiagos [11], [12].

- E. Šios medžiagos atsparios drėgmės poveikiui, nesugeria vandens.
- F. Kamštinės medžiagos turi geras termoizoliacines savybes [13].
- G. Kamštinės medžiagos gerai apdirbamos įprastais apdirbimo būdais taikomais bendrojoje mašinų gamyboje (Figure 4.5).



4.5. Pav. Kamštienos frezavimas pirštine freza [14].

Organinių kamštinių medžiagų trūkumai:

- A. Kaip ir daugumos kitų augalinės kilmės medžiagų, kamštinių medžiagų mechaninės savybės nėra stabilios. Jos priklauso nuo kamštinio ąžuolo rūšies, augimo sąlygų, klimato, netgi nuo to, iš kurios medžio vietos nuimta žievė. Išorinė kamštinio ąžuolo žievės dalis yra trapi, sumedėjusi, pasižymi dideliu tankiu. Žievės tankis artėjant link kamieno mažėja, ji tampa elastingesnė. Todėl žievės tankis svyruoja nuo 60 kg/m³ iki 250 kg/m³. Atitinkamai kinta ir žievės tamprumas, kietumas [15].

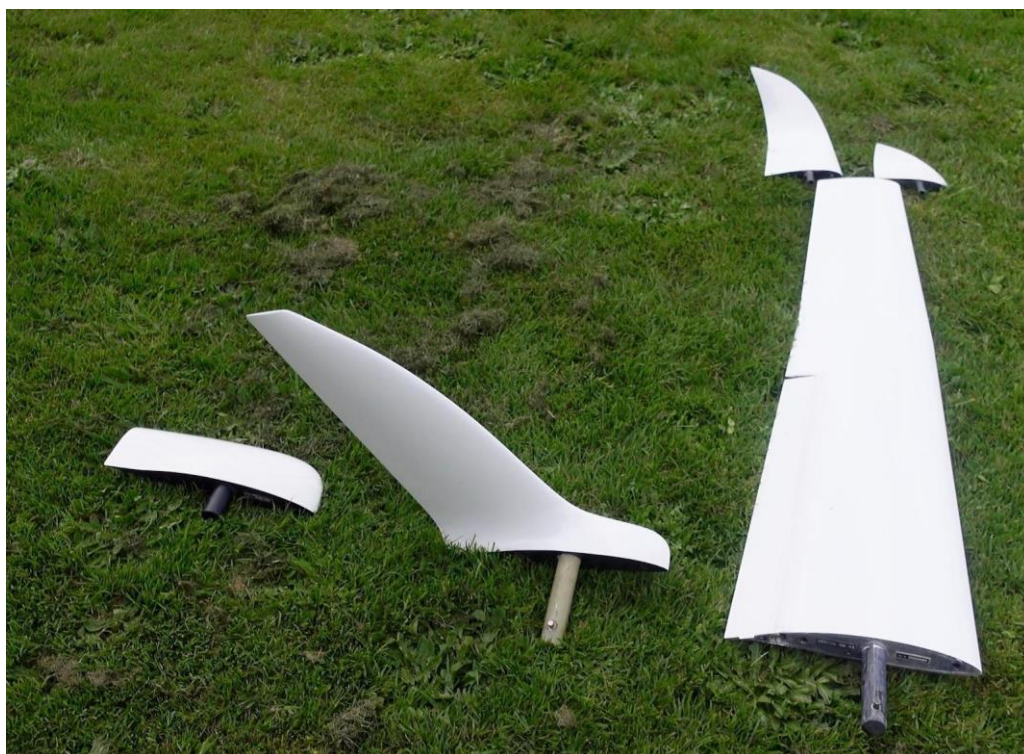
Tai didelė kliūtis taikant šias medžiagas aviacinėse konstrukcijose, nes medžiagų mechaninių stiprumo savybių stabilumas yra esminė sąlyga, siekiant užtikrinti konstrukcijų statinį ir nuovargio stiprumą bei stabilias technologines charakteristikas. Iš dalies šį trūkumą galima kompensuoti kamščio žievę sumalant į granules ir vėliau jas maišant tarpusavyje.

- B. Augalinė kamštinių medžiagų prigimtis lemia žemą jų atsparumą pelėsiui ir kitokiems grybeliniams pažeidimams, išskyla pavojus, kad tai gali būti terpė vabzdžių maitinimuisi ir dauginimuisi. [16].
- C. Aviacijoje naudojama daug įvairių tipų tirpiklių, valiklių, įvairių kitų cheminių medžiagų. Jų poveikis kamštinėms medžiagoms nėra pakankamai ištirtas.

4.1.3 Trisluoksnių konstrukcijų su kamštinio užpildu panaudojimo sritys aviacijoje

Apibrėžus organinių kamštinių medžiagų privalumus ir trūkumus, galima prognozuoti, kokie orlaivių konstrukcijų elementai galėtų būti gaminami naudojant trisluoksnes (sumuštinio tipo) ar

daugiasluoksnes konstrukcijas. Ultralengvųjų, lengvųjų lėktuvų ir sklandytuvų sparnų galus, aptakus bei važiuoklės dureles veikia nedideli aerodinaminiai ir masiniai – inerciniai – krūviai [17]. Šie konstrukcijos elementai neturi lemiamos įtakos šių orlaivių stiprumo ar ciklinio nuovargio charakteristikoms. Šie elementai dažnai būna trisluoksniai, sumuštinio tipo konstrukcijos.



4.6. Pav. Sklandytuvo sparno dalis su keturių tipų vingletais [18].

Projektuojant tokio tipo konstrukcinius elementus tikslinga išnagrinėti, ar korio arba putplasčio užpildus būtų galima pakeisti kamštinėmis medžiagomis. Labai tikėtina, kad šių medžiagų panaudojimas neturės esminio neigiamo poveikio konstrukcijų masei, bet žymiai sumažins taršą kai šie konstrukciniai elementai taps nebetinkami naudojimui ir juos reikės utilizuoti. Pavyzdžiui, lengvai nuimami ir keičiami sklandytuvų sparnų galiukai – vingletai, gana dažnai nukenčia sklandytuvus tupdant lauko aikštelėse. Taip pat rinkoje atsiranda įvairių vingletų pritaikytų būtent tam tikroms skrydžio sąlygoms [19]. Todėl sklandytojai naudoja keletą tipų vingletus (pav. 4.6) arba būna priversti juos keisti pažeidimo atveju. Tokius elementus sudėtinga utilizuoti neteršiant aplinkos. Kamštinių medžiagų panaudojimas leistų bent iš dalies išspręsti šią problemą.



4.7. Pav. Motorizuotas sklandytuvas [20]. Jo liemens viršuje matyti atviros variklio skyriaus durelės, liemens apačioje – važiuoklės durelės. Šiuos konstrukcinius elementus galima gaminti naudojant trisluoksnes konstrukcijas su kamštiniu užpildu.

Kamštinis užpildas yra gera medžiaga gaminant aviamodelius ar nedidelius bepiločius orlaivius. Juos veikiantys krūviai nedideli, o šios medžiagos elastingumo savybės gali leisti išvengti tokiems orlaiviams būdingų pažeidimų juos tupdant.

Būtų racionalu gaminti trisluoksnes sumuštinio tipo konstrukcijos važiuoklės ar įtraukiamo variklio skyriaus dureles iš dviejų sluoksnių aliuminio lydinio lakštų, tarpas tarp kurių būtų užpildytas kamštine medžiaga (pav. 4.7). Taip gautume lengvą ir tvirtą konstrukciją, kurios visi komponentai (aliuminio lakštai ir kamštinė medžiaga) būtų perdirbami.

Verslo klasės lėktuvų liemens viduje yra montuojamos pertvaros, atskiriančios keleivių saloną nuo įgulos kabinos ir keleivių saloną skirstančios į atskiras izoliuotas erdves. Šios pertvaros dažnai dekoruojamos medžiu (pav. 4.8).

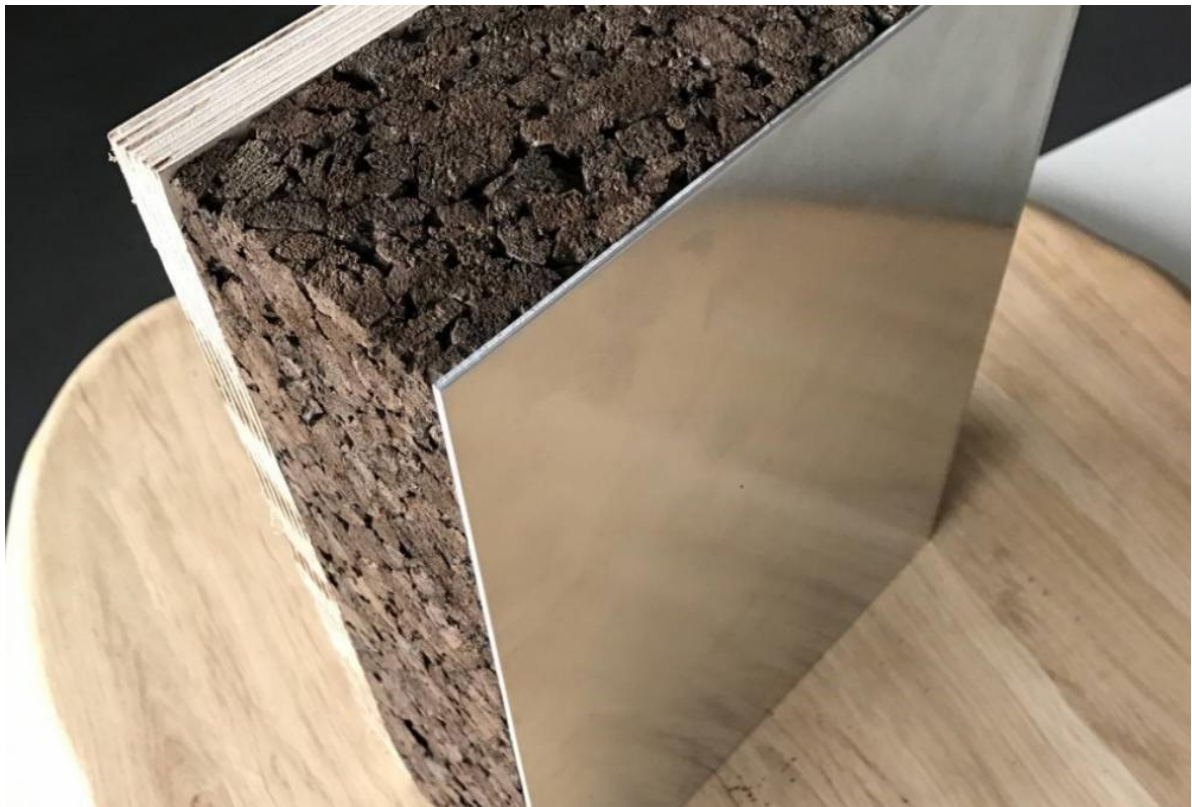


4.8. Pav. Verslo klasės lėktuvo salonas [21]. Gale matyti medžiu dekoruota pertvara, dešinėje pusėje tarp krėslų sumontuotas sulankstomas staliukas



4.9. Pav. Trisluoksni sumuštinio tipo plokštė, kurios vidus užpildytas kamštine medžiaga o iš abiejų pusių išorėje priklijuoti medienos sluoksniai [22].

Tokios pertvaros turi būti lengvos, atsparios ugniai bei pasižymėti geromis triukšmo slopinimo ir termoizoliacinėmis savybėmis. Šias pertvaras racionalu gaminti naudojant medines trisluoksnes sumuštinio tipo plokštes, kurių vidurinis užpildas pagamintas iš kamštinės medžiagos (pav. 4.9).



4.10. Pav. Trisluoksnė sumuštinio tipo panelė kurios viena pusė dengta fanera, kita - metalo lakštu [23]. Viduryje esantis užpildas pagamintas iš granuliuotos kamštinės medžiagos.

Pertvarų išorė taip pat gali būti dengiama metalo arba plastiko lakštais. Medienos sluoksnis gali būti tik iš vienos pusės. Tokiu būdu pertvaras lengva pritaikyti prie bendro kabinos interjero dizaino, specifinių atskirų tokio lėktuvo skyrių reikalavimų. Pavyzdžiui: jei iškart už keleivių salono yra virtuvės zona, tai viena pertvaros pusė gali būti medinė, o kita dengta metalu ar specialiu plastikumu (pav. 4.10). Medinė pusė suteikia salonui prabangos o į virtuvės zoną nukreipta metalinė pusė būtų lengvai valoma, atspari mechaniniams pažeidimams.

Šio tipo pertvaros gerai izoluoja garsą ir pasižymi nedidele mase. Tokias plokštes racionalu naudoti ir gaminant verslo klasės lėktuvų baldus (pavyzdžiui, pav. 4.8 parodyto lėktuvo salono staliukų stalviršius). Siekiant sudaryti prabangos įspūdį jie gaminami masyvūs. Naudojant trisluoksnes plokštes su kamštinės medžiagos užpildu galima pagaminti masyvią išvaizdą ir nedidelę masę turinčius baldus.

Pertvarų ar baldų išorinius paviršius taip pat galima apklijuoti specialiai dekoruotais kamštinės medžiagos sluoksniais. Kadangi kamštinė medžiaga gerai apdirbama įvairiais būdais, galima gauti interjerą pagyvinančius paviršius.



4.11. Pav. Spintos durų paviršius padengtas raštuota kamštine medžiaga [24].

Pav. 4.11 parodytas buityje naudojamos spintos durys dekoruotos kamštinės medžiagos sluoksniu su geometriniais raštais. Šiuolaikiniai apdirbimo būdai įgalina gauti labai plačias paviršių dekoravimo galimybes, jas galima išnaudoti kuriant verslo klasės lėktuvų interjerus.

Siekiant pagerinti garso izoliacines savybes racionalu naudoti daugiasluoksnius kamštinės medžiagos užpildus, kurių sluoksniai būtų sudaryti iš skirtingų tankių kamštinių medžiagų [25]. Tokios plokštės efektyviai slopina garsus plačiame dažnių diapazone. Triukšmą verslo klasės lėktuvo salone sumažintų dekoratyvinių salono panelių apklijavimas kamštinės medžiagos lakštais. Jie galėtų būti nestori ir sudaryti iš keleto skirtingo tankio kamštinės medžiagos sluoksnių. Dėl to šiek tiek padidėtų dekoratyvinių panelių masė, tačiau sumažėtų lėktuvą aptenakčio oro ir salono ventiliacijos sistemos keliamas triukšmas.

Minkštos, malonios liesti ir „šiltos“ kamštinės medžiagos tinka orlaivių valdymo rankenėlėms gaminti (pav. 4.12).



4.12. Pav. Rankenos, pagamintos iš kamštinės medžiagos:

A - iš granuliuotos medžiagos pagaminta rankena [26]

B - iš ištisinės medžiagos pagaminta rankena.

Tokios rankenėlės jau gana seniai naudojamos lengvojoje aviacijoje. Jos gali būti gaminamos iš karštai supresuotų kamštinės medžiagos granulių (pav. 4.12A) arba mechaniškai apdirbant ištisinę kamštinę medžiagą (pav. 4.12B).

Kamštinės medžiagas kombinuojant su įvairaus elastingumo gumos sluoksniais gaunamos efektyviai slopinančios vibracijas plokštės (pav. 4.13). Tai gali būti ne tik plokštės tipo, bet ir turintys dvigubą kreivumą gaminiai. Juos tikslinga naudoti tvirtinant lengvųjų lėktuvų pilotų ir keleivių sėdynes ar kitus kabinos konstrukcijos elementus, taip sumažinant į juos perduodamas variklių ir propelerių keliamas vibracijas.



4.13 Pav. Priešvibracinė plokštė, turinti kamštinės medžiagos šerdį iš abiejų pusių apklijuotą porėta guma [27].

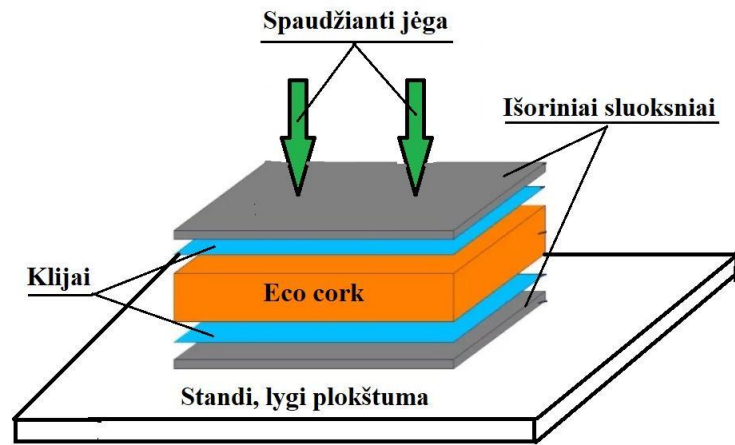
4.2.2. Trisluoksnių konstrukcijų su kamštinės medžiagos užpildu gamybos būdai

Apžvelgiant trisluoksnių konstrukcijų su kamštinės medžiagos užpildu gamybos būdus reikia atsižvelgti į tokių konstrukcijų geometrijos savybes. Būtina išskirti plokščias trisluoksnes paneles ir trisluoksnius viengubo ar dvigubo kreivumo orlaivių konstrukcijų elementus.

4.2.1 Plokščių trisluoksnių panelių gamybos būdai

4.2.1.1 Plokščių trisluoksnių panelių gamyba naudojant mechaninį prispaudimą

Mechaniškai suspaudžiant sumuštinio tipo paneles geriausia gaminti kai jos yra plokščios, o išoriniai sluoksniai sudaryti iš metalo, medienos, plastikų ar kitų medžiagų iš anksto pagamintų lakštų (pav. 4.14). Tam galima naudoti ir kompozicinius stiklo, anglies, arba kitais pluoštais armuotus polimerizuoto plastiko lakštus. Gamybos procesui reikia turėti lygią, pakankamų gabaritų ir pakankamai standžią plokštumą ir galimybę suspausti gaminamą paketą.



4.14. Pav. Principinė plokščios trisluoksnės sumuštinio tipo panelės gamybos schema.

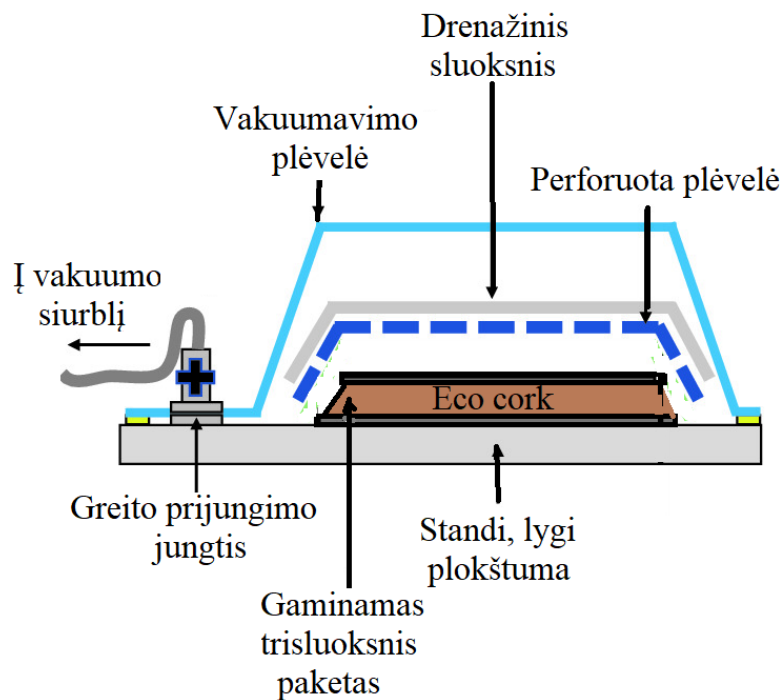
Ant plokštumos dedamas išorinio sluoksnio lakštas padengtas klėjais. Po to dedama kamštinės medžiagos šerdis, tepami klėjai ir visa tai užklojama kitu išoriniu sluoksniu. Paketas suspaudžiamas ir klėjams sukietėjus arba susipolimerizavus gaunama plokščia trisluoksnė panelė, kurią vėliau reikia apipjauti pagal reikiamą kontūrą.

Paketo suspaudimui galima naudoti bet koki mechaninio suspaudimo įrenginį (presą, specialius suspaudėjus ir kita). Nedideles paneles galima gaminti suspaudžiant paprasčiausiais sunkiais daiktais. Siekiant tolygiau paskirstyti suspaudimo jėgą, naudojami maišeliai užpildyti smėliu ar kita bria, pakankamai sunkia medžiaga. Tam, kad panelė būtų suspaudžiama tolygiai, labai pageidautina ją ir iš viršaus prispausti kita lygia ir standžia technologine plokšte. Gaminant tokio tipo paneles labai patogu naudoti plėvelinius klėjus. Tai supaprastina gamybos procesą, padaro jį patogesniu ir tvaresniu.

Naudojant skystus klėjus labai svarbu, kad klijų sluoksnyje nesusidarytų oro ertmės, kurios ne tik gadina panelės išorinį vaizdą, bet ir veikiant temperatūrų kaitai, gali iššaukti dalinį panelės sluoksnių atsiklijavimą. Būtina siekti, kad nebūtų lokalių perspaudimų, nuo kurių geriausiai saugo panelės suspaudimas technologinėmis plokštėmis iš abiejų pusių. Kamštinės medžiagos užpildas nėra labai kietas ar standus, todėl būtina kontroliuoti suspaudimo jėgą, o tai itin svarbu gaminant nedidelių gabaritų plokštes.

4.2.1.2 Plokščių trisluoksnių panelių gamyba naudojant prispaudimą vakuumu

Gaminant sluoksniuotas plokščias paneles su kamštinės medžiagos šerdimi suspaudimui patogu naudoti vakuumą. Taip galima gauti labai tolygų ir ne per didelį suspaudimą, paprasčiau išvengti oro pūslių susidarymo klijų sluoksniuose. Tokio panelių gamybos proceso schema parodyta pav. 4.15.



4.15. Pav. Plokščių sluoksniuotų panelių su kamštinės medžiagos šerdimi, kurioms suspausti naudojamas vakuumas, gamybos principinė technologinė schema.

Tokiu būdu panelės gaminamos taip:

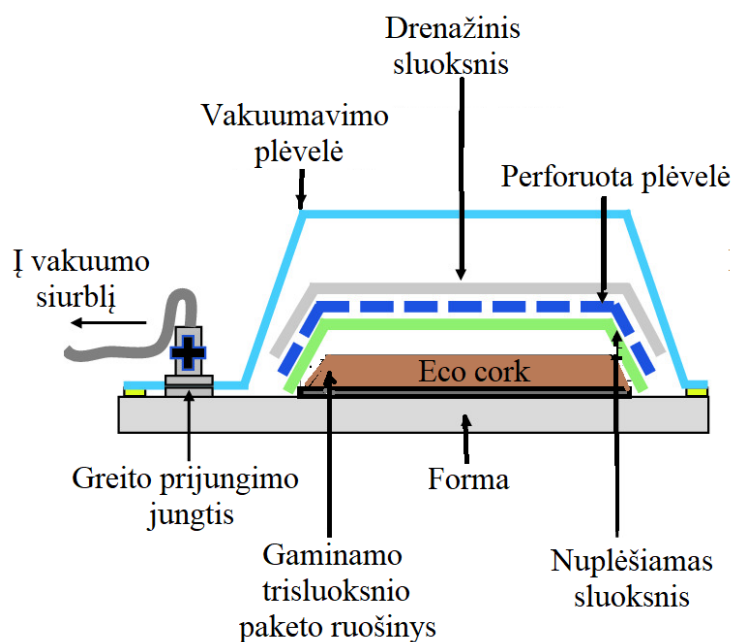
1. Ant pakankamai lygios ir standžios reikiamų gabaritų plokštės dedamas išorinio sluoksnio lakštas. Jei gaminant sluoksniuotą panelę naudojami skysti klijai, prieš tai plokštę būtina padengti antiadheziniu sluoksniu (dažniausiai tai silikono pagrindu pagamintos pastos), kad ištryškę klijai nepriliptų prie technologinės plokštės.
2. Išorinis sluoksnis tepamas klijais ir dedama kamštinės medžiagos šerdis.
3. Viršutinis šerdies paviršius tepamas klijais.
4. Ant klijų sluoksnio dedamas kitas išorinio sluoksnio lakštas.
5. Viskas užklojama specialia perforuota plėvele. Perforuota plėvelė dedama tik tuomet, kai paketo sluoksniai klijuojami skystais klijais. Naudojant plėvelinius klijus perforuotos plėvelės dėti nebūtina, nes plėvelinių klijų sluoksnis yra nestoras ir paprastai suspaudus jie neištrykšta per paketo kraštus.
6. Perforuota plėvelė užklojama specialia stora, orui laidžia medžiaga. Tai drenažinis sluoksnis, kuris apsaugo nuo vidinių oro pūslių susidarymo tarp vakuumavimo plėvelės ir gaminamos panelės paviršių.

7. Apie 50÷150 mm atstumu nuo panelės kraštų ant technologinės plokštės aplink visą gaminamą panelę klijuojama speciali lipni juosta ir viskas užklojama vakuumavimo plėvele. Svarbu, kad vakuumavimo plėvelė gerai priglustų prie lipnios juostos, nes nuo to priklausys, ar prijungus vakuuminį siurblių bus gautas pakankamas vakuumas.
8. Vakuumavimo plėvelėje padaromos standartinės įpjovos greito prijungimo jungčiai su vakuuminiu siurbliu įstatyti ir įstatoma jungtis.
9. Viskas patikrinama ir per greito pajungimo jungtį maišas sujungiamas su vakuomo linija (vakuuminiu siurbliu).
10. Įjungiamas vakuumas. Čia svarbu po vakuumavimo plėvele vakuumą sudaryti pakankamai lėtai kontroliuojant plėvelės hermetiškumą ir vakuumavimo plėvelės raukšlių susidarymą palei gaminamos panelės perimetrą.
11. Įjungtas vakuumas laikomas kol klijai sudžius ar polimerizuosis.
12. Klijamis sukietėjus vakuumas išjungiamas ir pašalinama vakuumavimo plėvelė bei drenažinis sluoksnis. Gaminys nuimamas nuo technologinės plokštės ir apipjaustomas pagal reikiamus matmenis.

Tokiu būdu galima pagaminti aukštos kokybės sluoksniuotas paneles su kamštinės medžiagos šerdimi nenaudojant papildomo mechaninio prispaudimo. Tačiau šiam procesui reikalingas vakuuminis siurblys ir nemažai pagalbinių medžiagų

4.2.2 Viengubo ir dvigubo kreivumo panelių gamybos būdai

Dauguma aviacijoje naudojamų trisluoksnių sumuštinio tipo gaminių sudaryti iš viengubo ar dvigubo kreivumo paviršių [28]. Tokie gaminiai gaminami pagal šiek tiek skirtingą technologiją nei plokšti. Ši technologija naudojama ir gaminant plokščius trisluoksnių sumuštinio tipo gaminius kai jų išoriniai ir vidiniai sluoksniai sudaryti iš pluoštais armuotų kompozitinių medžiagų, kurios formuojamos gaminant trisluoksnius gaminius [29]. Šiems gaminiams gaminti būtina forma atliekanti kontaktinio paviršiaus funkciją ir suformuojanti darbinį gaminio paviršių. Paprastai visi tokie gaminiai gaminami dviem etapais. Pirmojo gamybos etapo schema pateikta pav. 4.16.



4.16. Pav. Sumuštinio tipo konstrukcijos gamybos proceso pirmojo etapo principinė technologinė schema, kai formuojama naudojant kompozicines medžiagas

Išnagrinėsime šio etapo technologinį procesą:

1. Prieš pradėdant pirmąjį gamybos etapą būtina apžiūrėti formą ypač atkreipiant dėmesį į paviršių, ant kurių bus formuojama kokybė. Esant būtinybei forma taisoma poliruojant smulkius įbrėžimus arba užglaistant ir užpoliruojant gilesnius pažeidimus.
2. Darbinis formos paviršius dengiamas antiadheziniu sluoksniu ir poliruojamas. Visa tai atliekama pagal šio sluoksnio gamintojo technologinius nurodymus.
3. Jei gaminys bus dažomas, formos darbinis paviršius dengiamas specialiu dekoratyviniu sluoksniu (gelkautu).
4. Visu formos perimetru klijuojama speciali lipni juosta skirta vakuumavimo plėvelės užsandarinimui.
5. Gelkautui išdžiūvus iki nedidelio lipnumo būsenos pradedami kloti išoriniai kompozito sluoksniai kiekvieną jį mirkant derva. Klojant kompozito sluoksnius svarbu išlaikyti konstruktorinėje ir technologinėje dokumentacijoje nurodytą sluoksnių armavimo kryptį.
6. Suklojus reikiamą sluoksnių skaičių dedama šerdies medžiaga (kamštinės medžiagos). Dedant šerdies medžiagą ir vėliau viską vakuuojant svarbu kontroliuoti, kad šios medžiagos lakštas (kartais šerdis būna sudaryta iš kelių lakštų tuomet reikia kalbėti apie lakštus) formoje užimtų reikiamą poziciją ir neslinktų gaminių vakuuojant. Tai reikalauja tam tikrų įgūdžių ir supratimo, kaip vyksta paketo deformacija prijungus vakuumą ir pradėjus traukti orą iš po vakuumavimo

plėvelės. Ši pastaba itin aktuali gaminant gaminius dvigubo kreivumo formoje, kurios paviršių kitimo spindulys sąlyginai nedidelis.

7. Ant suformuoto paketo dedamas specialios nuplėšiamos medžiagos sluoksnis. Jis padeda sugerti ištryškusios dervos perteklių ir supaprastinti paviršių paruošimą kitam formavimo etapui.

8. Viskas užklojama specialia perforuota plėvele.

9. Ant perforuotos plėvelės dedamas drenažinis sluoksnis. Jis apsaugo nuo vidinių oro pūslių susidarymo tarp vakuumavimo plėvelės ir gaminamos panelės paviršių ir sugeria dervos perteklių neišvengiamai atsirandantį naudojant tokią gamybos technologiją.

10. Formuojamas gaminyje užklojamas vakuumavimo plėvele. Svarbu, kad vakuumavimo plėvelė gerai priglustų prie lipnios juostos, nes nuo to priklausys ar prijungus vakuuminį siurblią bus gautas pakankamas vakuumas.

11. Vakuumavimo plėvelėje padaromos standartinės įpjovos greito prijungimo jungčiai su vakuuminiu siurbliu įstatyti ir įstatoma jungtis.

12. Viskas patikrinama ir per greito pajungimo jungtį maišas sujungiamas su vakuumo linija (vakuuminiu siurbliu).

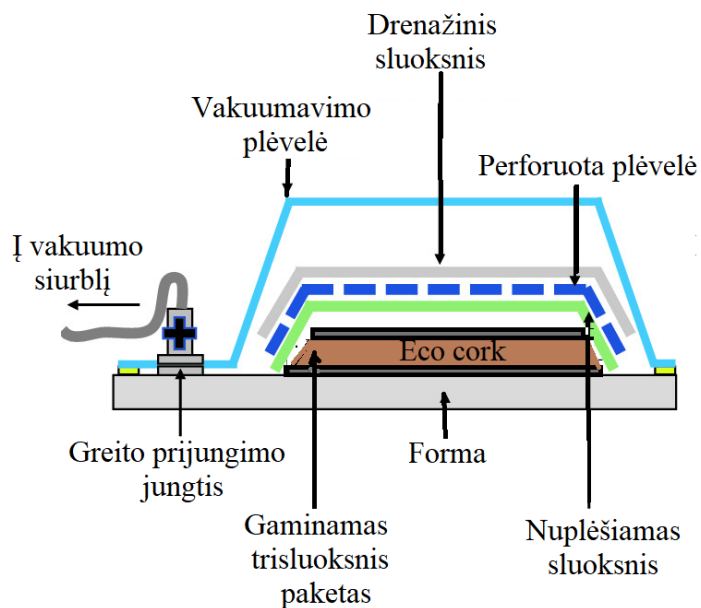
13. Įjungiamas vakuumas. Čia svarbu po vakuumavimo plėvele vakuumą sudaryti pakankamai lėtai kontroliuojant plėvelės hermetiškumą ir vakuumavimo plėvelės raukšlių susidarymą palei gaminamos panelės perimetrą.

14. Įjungtas vakuumas laikomas kol derva polimerizuosis.

15. Dervai galutinai sukietėjus, vakuumas išjungiamas ir pašalinama vakuumavimo plėvelė, drenažinis sluoksnis, perforuota plėvelė ir nuplėšiamas sluoksnis.

Gaminį apžiūrėjus ir įsitikinus, kad jis atitinka reikalavimus galima pradėti antrąjį gamybos etapą.

Antrojo gamybos proceso etapo metu formuojamas kitas išorinis sumuštinio tipo konstrukcijos sluoksnis. Šio etapo veiksmų seka mažai skiriasi nuo pirmojo. Principinė antrojo etapo technologinė schema parodyta pav. 4.17. Žemiau smulkiau išnagrinėti antrojo etapo technologinis procesas.



4.17. Pav. Sumuštinio tipo konstrukcijos gamybos proceso pirmojo etapo principinė technologinė schema, kai formuojama naudojant kompozicines medžiagas

Prieš pradėdant antrąjį sumuštinio tipo kompozicinės konstrukcijos elemento gamybos etapą jo paviršiai, gauti nuėmus nuplėšiamąjį sluoksnį, lengvai sušiuurkštinami ne mažesnio kaip 100 numerio grūdėtumo švitrinio popieriumi. Toliau atliekami šie veiksmai:

1. Klojami šerdies medžiagą uždarantys išoriniai kompozito sluoksniai kiekvieną jį mirkant derva. Kaip ir pirmojo etapo metu, klojant kompozito sluoksnius svarbu išlaikyti konstruktorinėje ir technologinėje dokumentacijoje nurodytą sluoksnių armavimo kryptį.
2. Ant suformuoto paketo dedamas specialios nuplėšiamos medžiagos sluoksnius. Jo funkcijos tokios pat kaip ir pirmojo etapo metu naudoto nuplėšiamos medžiagos sluoksnio.
3. Toliau atliekamos operacijos analogiškos 8÷12 pirmojo etapo operacijoms.
4. Gaminys išimamas iš formos. Patikrinama jo kokybė.
5. Gaminys apipjaunamas pagal brėžinyje pateiktus matmenis ir po kokybės kontrolės yra tinkamas tolimesniam naudojimui.

4.2.3 Trisluoksnių panelių tvirtinimo vietų konstrukcijos ypatybės

Trisluoksnių panelės su kamštinės medžiagos užpildu turi keletą konstrukcinių ypatybių. Viena jų komplikuoja tvirtinimo taškų konstrukcija. Ši ypatybė būdinga visoms lengvųjų medžiagų šerdis turinčioms sluoksniuotoms konstrukcijoms. Šerdies medžiagos lengvos ir pasižymi labai mažais kontaktiniais įtempiais. Išorinių sluoksnių medžiagos paprastai pasižymi geromis mechaninėmis savybėmis (taip pat ir pakankamai aukštais kontaktiniais įtempiais), tačiau jos labai plonos. Dažnai prie trisluoksnių konstrukcijų elementų reikia tvirtinti įvairias detales ar mazgus. Todėl vietinių krūvių

priėmimas tokiose konstrukcijose dažniausiai labai kompliktuotas ir reikalauja specialių konstrukcinių sprendimų.

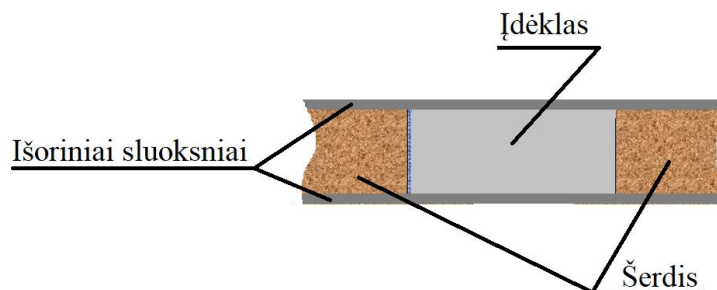
Gali būti keli tvirtinimų variantai. Kiekvienam iš jų naudojami specifiniai tvirtinimo būdai.

4.2.3.1 Trisluoksnių konstrukcijų stiprinimas kitų konstrukcinių elementų priklijavimo vietose

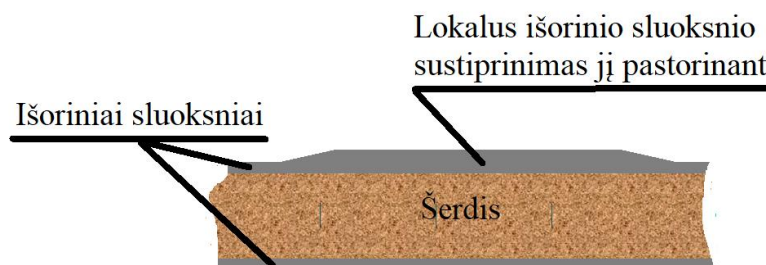
Jei prie trisluoksnės panelės ar kitokio trisluoksnio gaminio paviršiaus reikia priklijuoti kitą konstrukcinę elementą, veikiamą didesniu krūviu, dažniausiai naudojamas lokalus tvirtinimo vietos šerdies medžiagos pakeitimas kita sunkesne, bet turinčia geresnes mechanines savybes, medžiaga. Trisluoksnės konstrukcijos su tokiu įdėklu pjūvis parodytas pav. 4.18.

Tokia konstrukcija gaminama kaip įprasta plokščia ar viengubo arba dvigubo kreivumo panelė lokaliuose tvirtinimo vietose pašalinant šerdies medžiagą ir vietoje jos įklijuojant reikiamos formos ir šerdies storį atitinkantį įdėklą. Įdėklas gaminamas iš medžiagos, turinčios geresnes mechanines savybes. Technologinio proceso supaprastinimui įdėklas gali būti suformuojamas į šerdyje padarytą reikiamos formos išėmą pripilant dervos sumaišytos su mechanines savybes gerinančių užpildu (kapotu armuojančiu pluoštu, kitais specialiais dervos užpildais).

Kai prie trisluoksnės konstrukcijos klijuojamas kitas konstrukcinis elementas, kurį veikia itin nedideli krūviai, gali užtekti padidinti išorinio sluoksnio, prie kurio klijuojama, storį lokaliu vietoje suklojant didesnį armuojančios medžiagos sluoksnių skaičių arba paprasčiausiai priklijuojant diudesnį sustiprinantį lopą iš išorės. Tokio sustiprinimo principinė schema parodyta pav. 4.19.



4.18 Pav. Trisluoksnės konstrukcijos su kamštienos šerdimi įdėklo pjūvis



4.19 Pav. Lokalaus išorinio sumuštinio tipo konstrukcijos sustiprinimo pjūvio schema

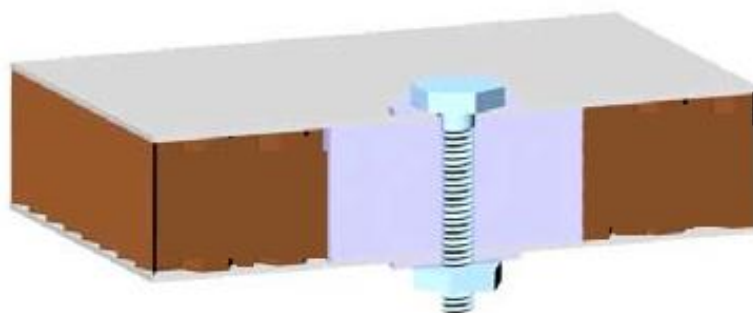
4.2.3.2 Trisluoksnių konstrukcijų stiprinimas kitų konstrukcinių elementų prijungimo vietose kai šie elementai prisukami varžtais

Dažnai prie trisluoksnių panelių ar kitų elementų tenka prijungti detales ar mazgus, kuriuos laikas nuo laiko būtina nuimti. Tam geriausia naudoti sujungimus varžtais. Tačiau čia iškyla dvi problemos:

- A. Naudojant sujungimus varžtais labai nesunku perspausti šerdies medžiagą užveržiant varžto veržlę. Ši problema itin aktuali kai šerdies medžiaga yra kamštinė medžiaga. Tokia šerdis labai elastinga ir lengvai deformuojama, todėl veržiant sujungimą lengva sugniuždyti šerdį taip pažeidžiant jėginius išorinius sluoksnius.
- B. Veikiant didesniems krūviams nesustiprinus šerdies medžiagos sujungimų vietose varžtai gali būti tiesiog išplėšti.

Problema sprendžiama varžtų vietose įklijuojant arba įliejant įdėklus kaip parodyta pav. 4.18. ir vėliau, surinkimo metu, tose vietose pragrežiant kiaurymes varžtams.

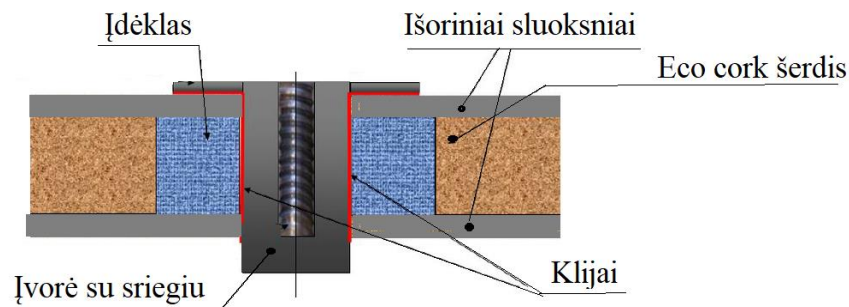
Tokio sujungimo principinė schema parodyta pav. 4.20.



4.20. Pav. Trisluoksnės konstrukcijos, kurioje naudojamas sujungimas varžtu tiesiog pragrežiant įdėklą, pjūvis [30].

Tačiau tokio sprendimo ne visuomet pakanka. Dažnu atveju sujungimo vietose veikia labai dideli krūviai, pats sujungimas dėl eksploatacinių arba kitokių reikalavimų turi būti lengvai išardomas ir surenkamas [31]. Kartais keliami ir tokio sujungimo hermetiškumo užtikrinimo reikalavimai arba, kaip būdinga uždarams aviacinėms konstrukcijoms, varžtas turi būti užveržiamas iš vienos pusės nenaudojant veržlės.

Tokiais atvejais šerdyje įklijuojamas didesnis įdėklas ir, išgręžus kiaurymę įklijuojama speciali įvorė. Tokio sujungimo schema parodyta pav. 4.21. Aviacijoje dažniausiai naudojamos specialios sertifikuotos įvorės (pav. 4.22). Esant būtinybei įvorės gali būti projektuojamos ir gaminamos konkrečiai sujungimo vietai.



4.21. Pav. Į sumuštinio tipo konstrukciją įklijuota įvorė varžtui įsukti [32].

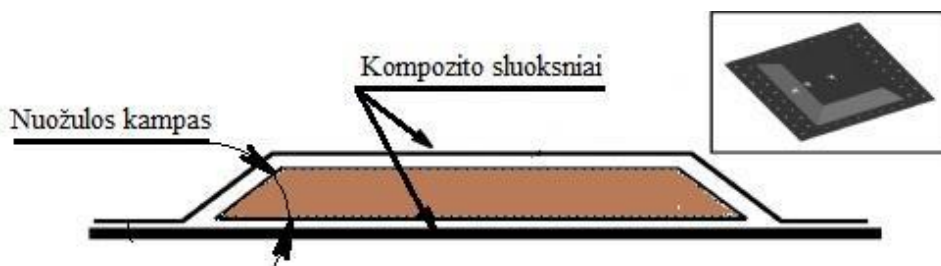


4.22. Pav. Standartinių trisluoksnių konstrukcijų įvorių pavyzdžiai [33].

4.2.4 Trisluoksnių panelių kraštų užbaigimo ypatybės

Trisluoksnių ar daugiasluoksnių panelių kraštai turi būti užbaigiami specialiais būdais. Tai būtina todėl, kad galuose neliktų vietų su atviru šerdies sluoksniu. Be to panelės galuose dažniausiai tvirtinamos viena su kitomis arba prie kitų konstrukcijų elementų, bet tose vietose negalima panaudoti aukščiau išnagrinėtų tvirtinimo būdų.

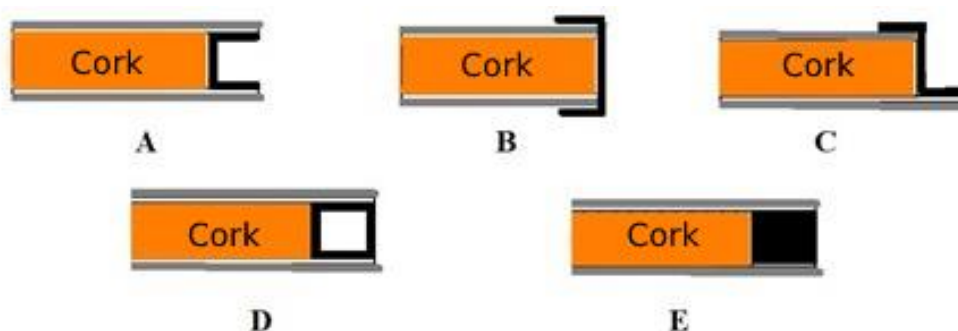
Kai gaminami konstrukciniai elementai naudojami jėginėse konstrukcijose dažniausiai jungčiai reikalingas kraštas, kuriame išoriniai sluoksniai susijungia vienas su kitu ir tarp jų nebėra šerdies medžiagos. Perėjimas turi būti sklandus be staigių standumo pokyčių. Dėl to šerdies kraštuose daromos nuožulos. Pageidautina, kad nuožulos kampas būtų kuo mažesnis. Paprastai jis daromas 30° arba dar mažesnis (pav. 4.23).



4.23. Pav. Sumuštinio tipo panelės galų užbaigimas padarant nuožulas šerdies galuose [34].

Kuo mažesnis nuožulos kampas tuo sklandesnis panelės standumo pokytis jos kraštuose. Mažas nuožulos kampas labai pageidautinas gaminant paneles aukščiau aprašytais vakuumavimo būdais. Esant dideliam (artimam 90o) nuožulos kampui, vakuumuojant detalę šerdies kraštuose neišvengiamai susidaro zonos, kuriose vakuumas blogai prispaudžia kompozito paketą. Dėl to atsiranda estetiniai gaminio paviršiaus defektai ir žymiai suprastėja tos zonos stiprumo savybės.

Kartais trisluoksnię panelę su kamštinės medžiagos šerdimi būtina užbaigti ją stačiai nukertant. Šiuo atveju dažniausiai taip pat negalima palikti šerdies atviros. Tokiu būdu panelės užbaigiamos gaminant įvairias orlaivio salono pertvaras. Tuomet naudojami panelės šerdies medžiagos „uždarymo“ būdai įvairiais profiliais. Šių būdų principinės schemos parodytos pav. 4.24.



4.24. Pav. Trisluoksnių panelių su kamštinės medžiagos šerdimi užbaigimo būdai kai jas būtina stačiai nupjauti. A „U formos profiliu išorinių sluoksnių viduje; B „U“ formos profiliu išorinių sluoksnių išorėje; C „Z“ formos profiliu; D uždaru tuščiaviduriu profiliu; E pilnaviduriu kvadratinu ar stačiakampiu strypu.

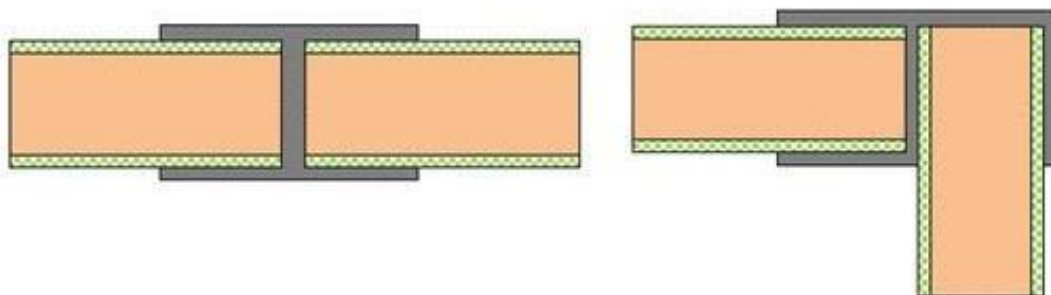
Visais šiais būdais užbaigiant trisluoksnes konstrukcijas užbaigimo elementai (profiliai ir strypai) jungiami juos klijuojant prie išorinių sluoksnių ir šerdies. Rečiau naudojami sujungimai varžtais ar kniedėmis. Jei būtina, kad užbaigimo elementai iš išorės nebūtų matomi, tuomet naudojami užbaigimai su „U“ formos profiliu tarp išorinių sluoksnių (pav. 4.24A) ar su uždaru tuščiaviduriu (arba pilnaviduriu) profiliu (kaip parodyta pav. 4.24D ir pav. 4.24E).

Kartais trisluoksnię panelę būtina „įrėminti“ tam tikrose zonose ar per visą perimetrą. Dažniausiai tai daroma dekoratyviniais tikslais, rečiau dėl konstrukcinių sujungimų ypatybių. Tuomet geriausia naudoti pav. 4.24B ir pav. 4.24C pateiktus panelių užbaigimo būdus.

Išnagrinėsime pav. 4.24A parodyto užbaigimo gamybos procesą. Pirmiausia iš zonos, į kurią planuojama klijuoti užbaigimo profilį, mechaniškai pašalinama šerdies medžiaga. Atliekant šią operaciją svarbu nepažeisti išorinių panelės sluoksnių ir nepalikti šerdies likučių pašalintose zonose. Vidiniai išorinių sluoksnių paviršiai sušiurkštinami ir padengiami kljais. Klijuojamas profilis nuvalomas ir parengiamas kljavimui pagal profilio medžiagai tinkamą technologiją. Įdedamas

profilis, nuvalomi ištryškę klėjai ir suspaudus gaminys paliekamas kol klėjai sukietės. Klėjams sukietėjus atlaisvinamas suspaudimas, nuvalomi suspaudimo metu ištekėję klėjai.

Dažnai kuriant orlaivių salonų interjerus būtina tarpusavyje sujungti stačiai nupjautas trisluoksnes konstrukcijas. Tada jų kraštų užbaigimui racionalu naudoti sudėtingesnius profilius supaprastinančius tokias jungtis.



4.25. Pav. Plokščių panelių sujungimas profiliais užbaigiančiais jų kraštus

4.25 pav. Parodyti du plokščių panelių sujungimo būdai profiliais atliekančiais ir panelių kraštų užbaigimo ir sujungimo elementų funkcijas. Tokiu būdu galima sumažinti jungties masę, atpiginti sujungimą ir gauti gerą estetinį vaizdą.

4.3 Kamštinė kompozicinė medžiaga tarpinėse ir kitose sandarinimo priemonėse

Laiko patikrintas ir vienas iš labiausiai paplitusių guminės kamštienos naudojimo būdų yra šios medžiagos tarpinės. Kamštinės kompozicinės medžiagos yra plačiai naudojamos aviacijoje, jų praktiškumas grindžiamas unikaliomis sandarinimo savybėmis. Guminės kamštienos kompozitų tarpinės yra naudojamos su įvairiais skysčiais ir dujomis įvairiose orlaivių sistemose [35].

4.3.1 Dažniausiai aviacijos pramonėje naudojami skysčiai

1. Kuras (AVGAS 100LL):

AVGAS 100LL yra daugumos stūmoklinių variklių varomų lėktuvų ir sraigtasparnių kuras. Ši kuro rūšis yra įprastai naudojama automobilių pramonėje, tačiau dėl tetraetilšvino (TEL) priedo kuro oktaniškumas padidėja iki 100. Taigi, "Avgas 100LL (Low Lead)" pavadinimas grindžiamas mažesniu TEL skaičiumi, lyginant su AVGAS 100 [36].

2. Žibalas/nafta (Reaktyvinių variklių kuras)

JET A-1 yra plačiausiai naudojama reaktyvinių variklių kuro rūšis [37]. Žibalas nuo benzino ar dyzelino skiriasi pliūpsnio temperatūra, energijos tankiu ir cheminė sudėtimi. Reaktyviniai varikliai gali veikti naudojant įvairius degalus, o tai yra viena iš esminių priežasčių, kodėl naudojami pigesni žibalo pagrindu pagaminti degalai.

3. Variklinė alyva

Priklausomai nuo variklio tipo ir jo savybių, naudojamos įvairios variklinės alyvos rūšys. Sraigtiniams keturtakčiams stūmokliniams varikliams dažniausiai naudojama mineralinė alyva, kuri atitinka SAE J-1966 standartą. Pavyzdžiui, Aeroshell 80 yra tinkama naudoti nuo -17 °C iki 21 °C. Taip pat yra pusiau sintetinių alyvų rūšys, kurios atitinka SAE J-1899 standartą, pavyzdžiui, Aeroshell W15W50 ar jų analogai.

Reaktyviniuose varikliuose dėl didesnio variklio sukimosi dažnio, paprastai naudojamos retesnės rūšies alyvos. Dažniausiai naudojamas MIL-PRF-23699F standartas, o "Eastman Turbo Oil 2380" atitinka šį standartą.

4. Hidraulinis skystis

Pagrindinė hidraulinio skysčio paskirtis yra jėgos perdavimas iš vienos vietos į kitą slėgio pavidalu. Dažniausiai šis skystis nėra sunaudojamas veikimo procese. Tačiau hidraulinio skysčio savybėms keliami labai aukšti reikalavimai. Pavyzdžiui, hidraulinėse sistemose dažniausiai naudojamas darbinis slėgis yra 3000 psi (206,8 bar) [38]. Kitas svarbus veiksnys yra srauto greitis, kuris kai kuriose orlaivių sistemose gali siekti iki 3 litrų per sekundę. Tam reikia, kad hidraulinis skystis galėtų veikti esant dideliame slėgiui ir dideliame srauto greičiui, bet tuo pačiu išliktų skystas. Pageidautina, kad skystis išlaikytų laminarinę tėkmę, nepakeistų savo savybių esant didžiuliams įtempimams ir neišgaruotų, kaip nurodyta SAE AS1241 standarte.

Visas šias savybes galima išgauti sumaišius mineralinę alyvą su įvairiais cheminiais elementais, kurie dėl komercinių priežasčių įprastai nėra atskleidžiami. Tačiau standartinėje orlaivių techninės priežiūros ir remonto organizacijoje hidraulinis skystis laikomas labiausiai eroziją sukeliančiu ir chemiškai agresyviausiu aviacijoje naudojamu skysčiu (4.1 lentelėje).

4.1 lentelė. Standartinis aviacinių skysčių slėgis ir darbinė temperatūra.

Skystis	Standartinė darbinė temperatūra	Standartinis skysčių slėgis
Kuras	-58°C to 60°C	≤ 1000 psi
Žibalas	-47°C to 80°C	≤ 1500 psi
Variklinė alyva (stūmoklinis variklis)	-17°C to 82°C	≤ 65 psi
Variklinė alyva (reaktyvinis variklis)	-40°C to 350°C	≤ 45 psi
Hidraulinis skystis	-40°C to 100°C	≤ 3000 psi

4.3.2 Skysčių sandarinimo technologijos

Dėl skirtingų cheminių ir mechaninių savybių, būtinų sandarinimo medžiagoms, kurios naudojamos kosminėje erdvėje, yra sukurta įvairių sprendimų. Dažniausiai pasitaikančios sprendimo formos yra lakštiniai sandarikliai, kietos medžiagos tarpinės, vokų tarpinės, kampų profiliai ir O formos žiedai (4.26 paveikslas). Tačiau guminės kamštienos kompozitų sandarinimo technologijos pasiteisino tik kaip lakštiniai sandarikliai [39].



4.26. Pav. Guminės kamštienos lakštų tarpinės [40].

Guminės kamštienos lakštų tarpinių savybės priklauso nuo kamštienos grūdelių dydžio, tankio, cheminės sudėties ir gumos bei kamštienos santykio (4.2 lentelėje). Koreguojant šias charakteristikas, galima sukurti kompozicinę medžiagą, kurios rodikliai būtų tinkami konkrečiam atvejui. Tačiau negalima tikėtis, kad bus įmanoma pagaminti "tobulą" kompozicinę medžiagą, kuri būtų vienodai tinkama visai aerokosminei pramonei. Skirtingi skysčiai, temperatūra ir slėgis veiks medžiagą įvairiais būdais, todėl kiekvienai sistemai reikia unikalios guminės kamštienos tarpinės konstrukcijos.

Guminės kamštienos kompozicinės medžiagos turi daug privalumų. Jos yra tvarios o tokie kamštienos pramonės šalutiniai produktai, kaip drožlės ir atraižos, yra naudojami aukštos kokybės kosminių gaminių pramonėje. Kamštiena pasižymi išskirtiniu atsparumu temperatūrai, vibracijų slopinimu ir sandarinimo savybėmis. Tačiau, jos charakteristikos esant aukštam slėgiui galėtų būti geresnės. Dėl šios priežasties, kamštiena nėra naudojama hidraulinėse sistemose, kuriose darbinis slėgis viršija 3000 Psi [42]. Hidraulinėms sistemoms sandarinti dažniausiai naudojamos tokios sintetinės medžiagos, kaip etileno-propileno-nekonjuguoto dieno kaučiukas (EPDM), fluoranglis arba silikonas [43].

4.2. Lentelė. Guminės kamštienos kompozicinės medžiagos ir jų savybės [41].

Medžiaga	Aprašymas	Tankis (kg/m ³)	Kietumas (Shore-A)	Suspaudžiamumas % (400 psi)	Klampumas (Mpa)	Atsparumas temperatūroms (°C)
TS2050 (D205)	Kamštienos/SBR mišinys. Tinka visoms variklinėms ir pavarų alyvoms bei aušinimo skysčiams.	830*	60-80	15-35	2*	-30°C to 90°C
TS4600 (GT46)	Kamštienos/SBR mišinys. Tinka visoms variklinėms ir pavarų alyvoms.	>640	70*	25-45	>1.03*	-30°C to 110°C
TS1521	Kamštienos/SBR mišinys. Tinka daugumai tepalų.	550-750	50-70	35-50	>0.8	-30°C to 110°C
TS1400	Kamštienos ir NBR mišinys. Tinka degalams, biokurui, alyvoms ir aušinimo skysčiams.	1100*	75-90	10-22	>3.5	-30°C to 125°C
TS7100	Kamštienos ir NBR mišinys. Tinka degalams, biodegalams ir alyvoms.	900*	60-75	20-45	2.5*	-30°C to 110°C

4.3.3 Laiko patikrinti ir aviacijos bei kosmoso srityse pritaikyti sprendimai

Aviacijos pramonės vystymosi pradžioje pirmieji orlaiviai turėjo stūmoklinius variklius su sraigtais, o įprastinė variklio ir degalų sistemų tarpinių medžiaga buvo kamštiena (4.27 pav.). Kitų sintetinių medžiagų technologijos nebuvo taip pažengusios, kad galėtų ją pakeisti. Laikui bėgant, kamštinę medžiagą ėmė keisti naujos medžiagos. Tačiau, šiuolaikinei pramonei ėmus vykdyti tvarumu ir ekologiškumu paremta politika, aviacijos ir kosmoso inžinieriai vėl atsigręžė į kamštines tarpines. Šį kartą diegiama pažangi kamštinių kompozicinių medžiagų technologija, kur kamštiena yra derinama su guma ar silikonu, siekiant pagaminti norimų savybių tarpinę.



4.27. Pav. Kamštinė tarpinė (kairėje) ir silikoninė tarpinė (dešinėje) [44], [45].

Dar vienas veiksnys lemiantis kamštinės medžiagos pritaikymą įvairiose aviacijos sistemose yra siejamas su šio sektoriaus ypatybe: čia naujų technologijų pokyčiai ir diegimas vyksta kur kas lėčiau ir konservatyviau negu automobilių pramonėje. Nors kamštinė medžiaga buvo plačiai naudojama pirmuosiuose automobilių ir orlaivių varikliuose, atsiradus naujoms medžiagoms, automobilių pramonės inžinieriai prie permainų prisitaikė kur kas greičiau. Tuo tarpu aviacijos pramonei prireikė daug daugiau laiko kol nauji technologiniai sprendimai buvo tinkamai išbandyti ir sertifikuoti. Pramonė pradėjo taikyti tvarius sprendimus tik tuomet, kai sintetinės sandarinimo medžiagos tapo gerai išvystytos ir kruopščiai išbandytos. Taigi lėktuvuose ir dabar yra naudojamos šios patikimos alyvos ir degalų sistemų tarpinės.

4.4 Trisluoksnių kompozicinių medžiagų su kamščio užpildu bandymai

4.4.1 Trisluoksnių kompozicinių medžiagų su kamščio užpildu spektrinė analizė

Tyrimo tikslas: Rasti rezonanso taškus ir įvertinti (palyginti) skirtingų laminuotų kamštinių medžiagų dinamines (slopinimo) savybes (papildomai palyginti su laminuota polimetakrilimido putų medžiaga).

Tyrimo objektas: Šiame tyrime buvo nagrinėjami keturi skirtingi gaminiai (3 rūšių kamštienos ir 1 rūšies polimetakrilimido putų medžiagos) (4.28 Pav.):



4.28. Pav. Tyrimo objektai (1-3: laminuotos kamštinės medžiagos; 4: laminuotos polimetakrilimido putų medžiagos). Objektų matmenys 30x30x3 mm (1-3) ir ~ 25x30x3 mm (4).

Tyrimo modelis: šis tyrimas yra grindžiamas modaline analize. Modaline analize tiriamos objektų dinaminės savybės dažnių diapazone. Modalinė analizė padeda nustatyti mechaninės konstrukcijos ar komponento virpesių charakteristikas (savuosius dažnius ir formas), parodančias įvairių konstrukcijos dalių judėjimą dinaminės apkrovos sąlygomis, pavyzdžiui, dėl elektrostatiinių pavarų sukuriamos šoninės jėgos [43]. Savieji dažniai ir formos yra esminiai parametrai projektuojant konstrukciją dinaminės apkrovos sąlygomis [46].

Modalinė analizė atliekama taikant vibracijų FFT (Sparčioji Furjė transformacija) spektrinę analizę.

Šio tyrimo pagrindinis tikslas yra rasti rezonansą ir palyginti tiriamo objekto slopinimo savybes.

Siekiant sėkmingai atlikti tyrimą, derėtų vadovautis gairėmis arba laikytis kelių žingsnių. Jų sąrašas pateikiamas čia:

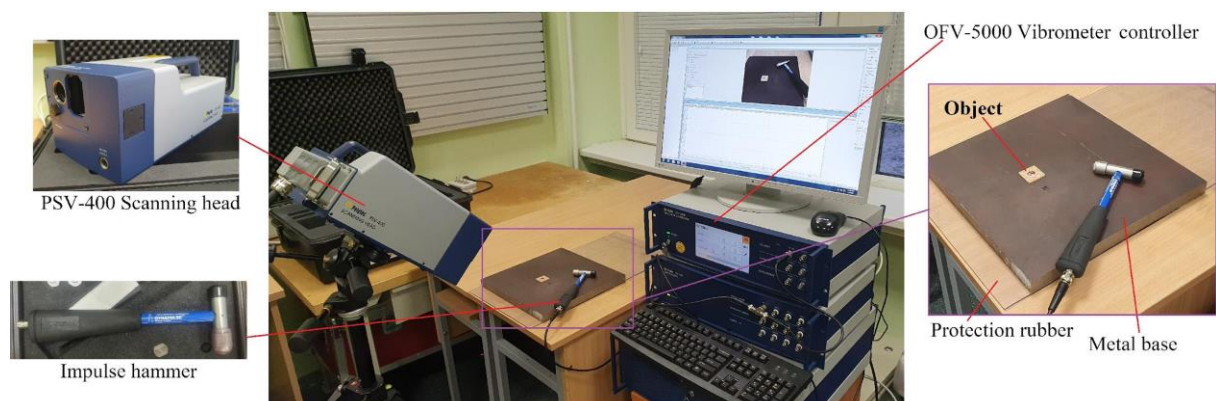
1. Matavimo duomenų surinkimas: objekto vibracijos greitis, veikiamas impulso (išskyrus mažą aplinkos vibraciją). Jei reikia papildomų duomenų, atliekami papildomi bandymai.
2. Palyginimui atliekama kiekvieno objekto FFT spektrinė analizė.
3. Spektrinių duomenų analizė – įvertinamos bendrosios vertės ir konkretūs dažniai, atitinkantys tyrimo objektą.
4. Gautų rezultatų pateikimas ir objektų slopinimo savybių palyginimas.

4.4.2 Eksperimentinis stendas ir matavimų sąlygos

Šie eksperimentiniai matavimai buvo atlikti siekiant nustatyti tyrimų objektų rezonansinius taškus ir palyginti jų slopinimo savybes. Matavimai buvo atlikti taikant dviejų imčių matavimų planą ir remiantis vienos imties statistiniu metodu, kuriame buvo atsižvelgta į pakartotinių matavimų duomenų apdorojimo neapibrėžtumą.

Eksperimentinis tyrimo stendas pavaizduotas 4.29 Pav. Jį sudaro metalinis pagrindas su gumine apsauga nuo aplinkos žemo dažnio poveikio, tyrimų objektai ir lazerinio skenavimo sistema, skirta objekto paviršiaus vibracijai matuoti pagal integruoto elektronikos pjezoelektrinio (IEPE) impulsinio plaktuko smūgio signalą.

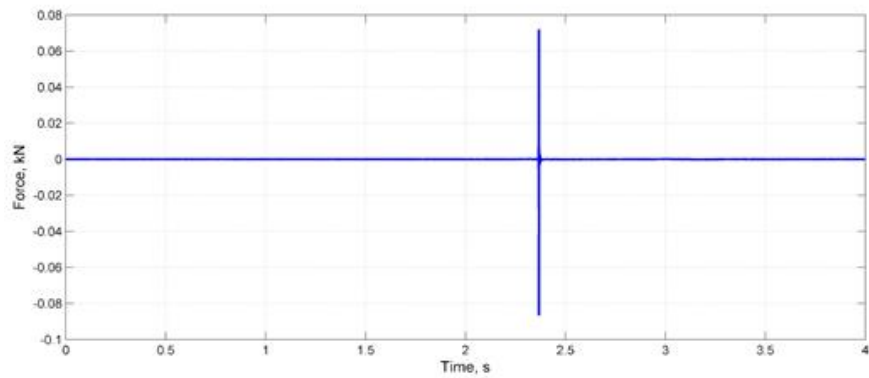
Atliekant matavimo bandymus, matuojama objektų vibracija ir išorinio paviršiaus deformacija (greitis ir poslinkis), kurie atsiranda nuo smūgio impulsinio plaktuko. Vieno PSV jutiklio galvutė išmatuoja smūgio trukmę, kuri siekia 4 sekundes. Per šį laiką IEPE impulsinis plaktukas sukuria impulsą metaliniam pagrindui, kurio jėga parodyta 4.30a paveiksle. Tuo pačiu metu, bandymų metu, PSV jutiklio galvutė matuoja greitį ant metalinio pagrindo, kaip parodyta 4.30b paveiksle.



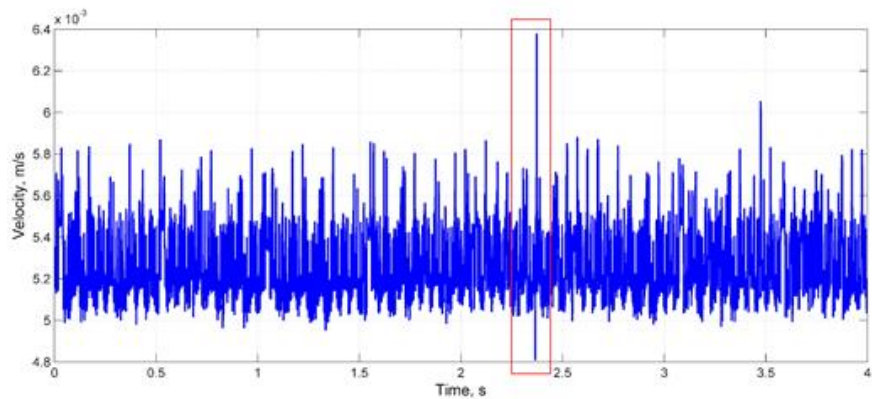
4.29. Pav. Eksperimentinis matavimų stendas [47].

Matavimų metu buvo nustatytas sumažėjimas ir pateikti vidurkiai iš kelių matavimų rezultatų. Pagrindinis rezultatas, gautas bandymų metu, yra medžiagų dažninė charakteristika, pagrįsta spektrine analize, naudojant Doplerio efektą. Tai leidžia tiksliau nustatyti rezonanso taškus ir palyginti medžiagų slopinimo savybes.

Ant suformuotų objektų buvo sukurtas tinklelis, kuriame yra 25 taškai; jie sudaro artimą matavimo paviršių, kaip parodyta 4.31a paveiksle. Šie taškai buvo nuskaityti lazeriu, o matuojant visą laiką užtikrintos optimalios sąlygos, tai reiškia, kad taškų tinklelis ir lazerio fokusas yra optimalūs tokio tipo atspindinčioms medžiagoms. Be to, dažnių diapazonas apima 1,6 kHz dažnių juostos plotį, su 0,25 Hz žingsnio skiriamąja geba, kaip parodyta 4.31b paveiksle.

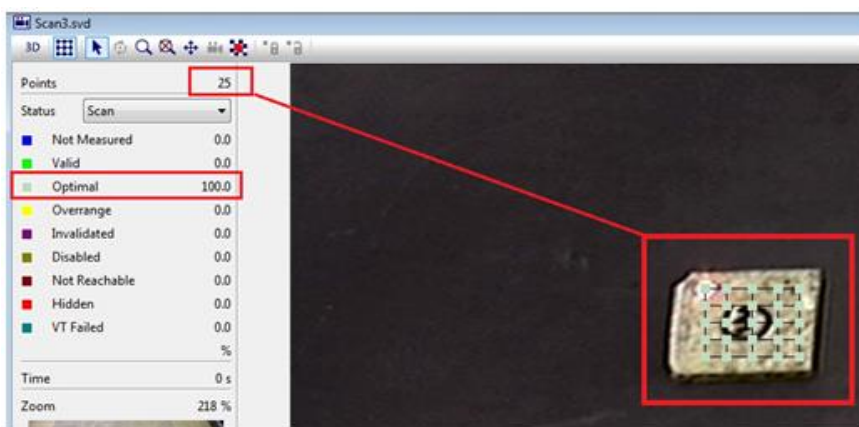


a)

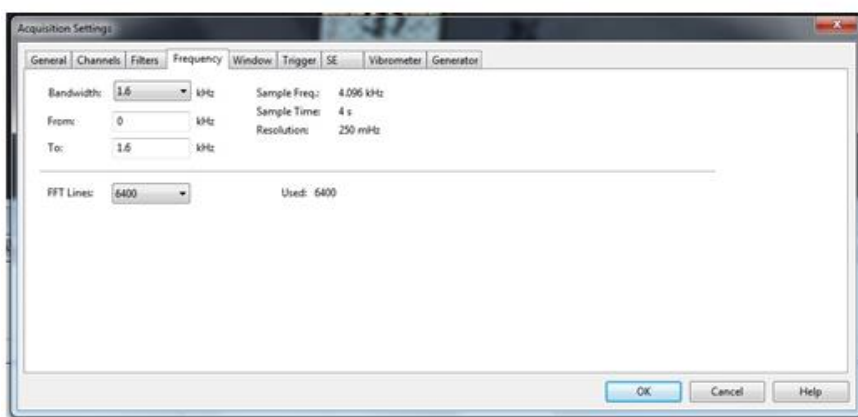


b)

4.30. Pav. Matavimų pavyzdys: a) impulsinio plaktuko IEPE signalas; b) greičio matavimas iš PSV jutiklio galvutės.



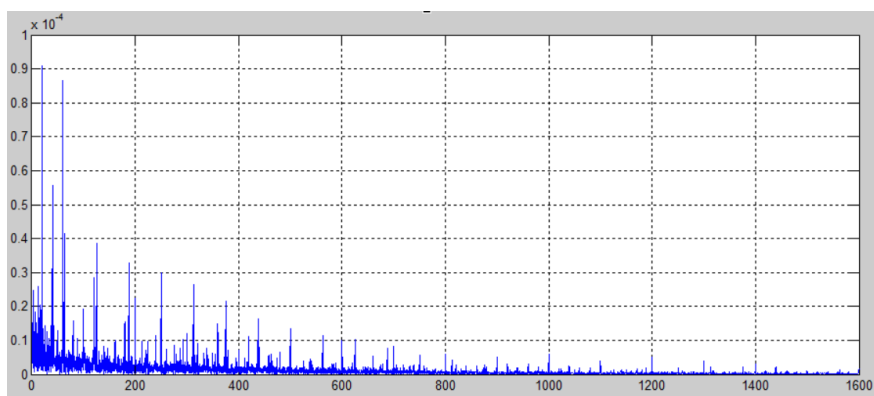
a)



b)

4.31. Pav. Matavimų sąranka: a) matavimo taškas; b) dažnio būklė.

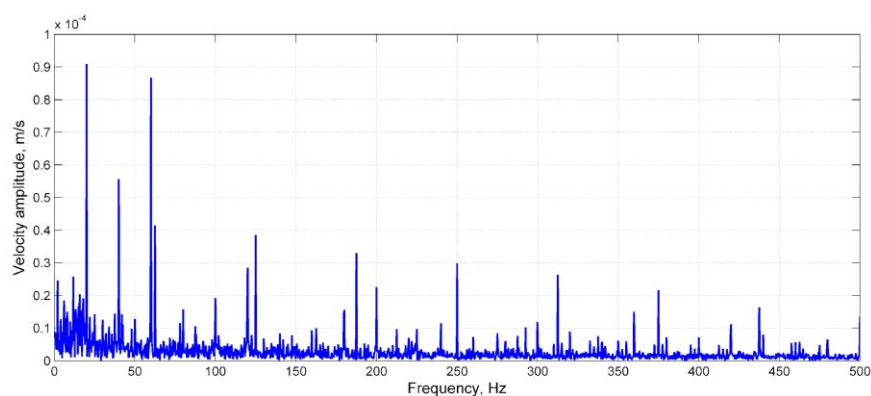
Tai reiškia, kad spektrinės analizės rezultatai bus iki 1600 Hz ir bus atvaizduojami kas 0,25 Hz (4.32 pav.).



4.32. Pav. Spektrinės analizės rezultatai.

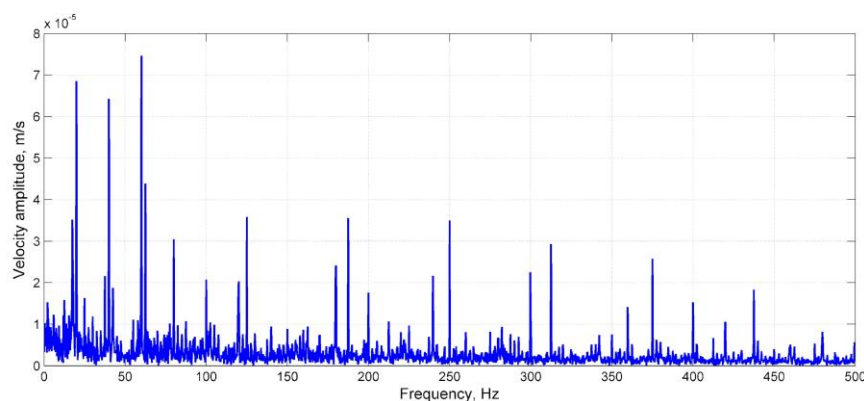
Toliau pateikiami matavimo rezultatai, gauti atlikus modalinę analizę (4.33-4.37 pav.). Visgi tyrimo metu labiausiai domimasi dažnių diapazonu iki 500 Hz, nes šiame dažnių diapazone buvo pastebėtos pagrindinės rezonansinės režtys. * *Pastaba: dažninių charakteristikų grafikai pateikiami greičio*

srityje, nes atliekant spektrinę analizę rezonansiniai taškai yra geriau matomi nei pagreičio ir poslinkio grafikuose.



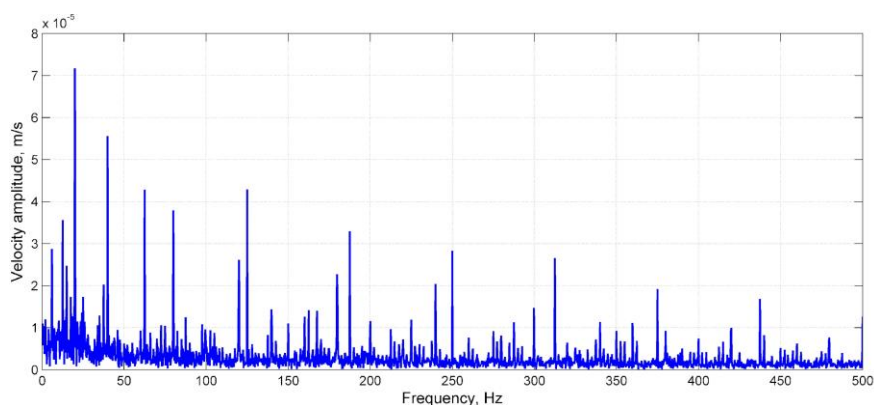
4.33. Pav. Spektrinės analizės grafikai - pirmojo objekto dažnio atsakas.

* Be to, atskirame faile pateikiamas formos režimo vaizdo įrašas iš pirmojo rezonanso taško, kuris yra 20 Hz (+.gif).



4.34. Pav. Spektrinės analizės grafikai - antrojo objekto dažnio atsakas.

* Be to, atskirame faile pateikiamas formos režimo vaizdo įrašas iš pirmojo rezonanso taško, kuris yra 20 Hz (+.gif).

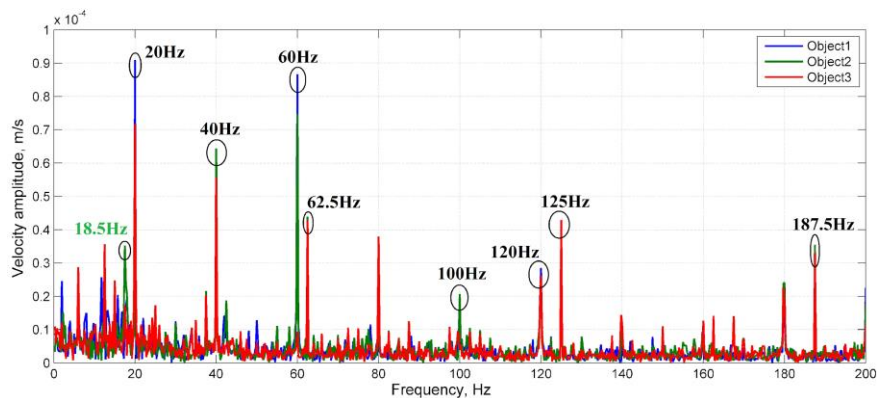


4.35. Pav. Spektrinės analizės grafikai - trečiojo objekto dažnio atsakas.

*Be to, atskirame faile pateikiamas formos režimo vaizdo įrašas iš pirmojo rezonanso taško, kuris yra 20 Hz (+.gif).

4.4.3 Pirmojo bandymo išvados

Pirmasis bandymas apima kamštinių medžiagų dažninių charakteristikų palyginimą (4.36 pav.):



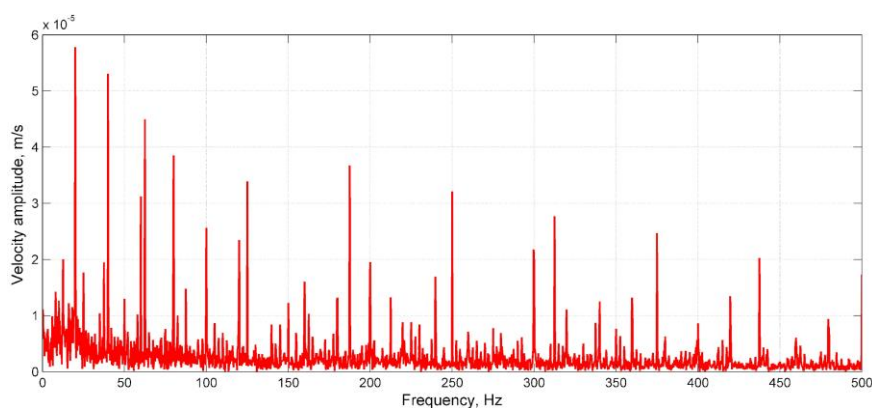
4.36. Pav. Lyginamoji analizė: spektrinės analizės grafikai - kamštinių medžiagų objektų dažnio atsakas.

Atlikus dažnių analizę (4.36 pav.) matyti, kad laminuotų kamštinių medžiagų centrinis rezonanso dažnis yra žemųjų dažnių (0-200 Hz) srityje ir vidutinių dažnių (200-500 Hz) srityje. Pažymėtina, kad šiame dažnių diapazone galima pastebėti pagrindines rezonansines rėžtis. Siekiant geriau parodyti gautus rezultatus, palyginimas pateikiamas iki 200 Hz dažnio.

Atlikus dažnių analizę, nustatyta, kad pagrindinis ir pirmasis tiriamos kompozicinės medžiagos rezonanso dažnis yra 20 Hz, o harmoninis dažnis pasikartoja kas 20 Hz (20/40...80/100 ir t. t. Hz). Be to, pastebėta, kad tai yra smailusis dažnis žemųjų dažnių diapazone, prasidedantis nuo 62,5 Hz, su toliau pasikartojančiais harmoniniais pakopiniais dažniais. Toliau, vidutinio dažnių diapazono (125 Hz...187 Hz ir t. t.) metu galima pastebėti antrąjį rezonansinį dažnį, kuris yra aiškinamas kompozicinės laminuotos kamštienos prigimtimi.

Objektų slopinimo savybių palyginimas pateikiamas, remiantis pirmojo rezonanso tašku, kuris yra 20 Hz.

Dabartiniame taške 1-asis objektas vibravo su greičio amplitudėmis: 0,9-10⁻⁴ m/s; 2-asis objektas - 0,68-10⁻⁵ m/s; 3-iasis objektas - 0,72-10⁻⁵ m/s. Remiantis šiais matavimais, galima padaryti išvadą, kad 2-asis objektas turi geresnes slopinimo savybes nei kiti du sluoksniuotos kamštienos objektai.

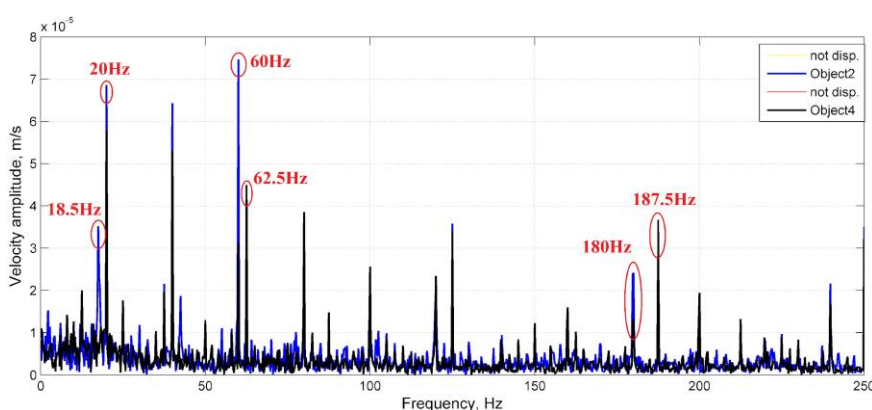


4.37. Pav. Spektrinės analizės grafikai - ketvirtąjo objekto dažnio atsakas.

***Be to, atskirame faile pateikiamas formos režimo vaizdo įrašas iš pirmojo rezonanso taško, kuris yra 20 Hz (+.gif).*

4.4.4 Antrojo bandymo išvados

Antroji analizė apima laminuotos kamštienos (2 objektas) ir polimetakrilimido (4 objektas) medžiagų dažninių charakteristikų palyginimą. Šiuo atveju pasirinktas antrasis objektas, nes jis pasižymi geriausiomis slopinimo savybėmis. Šios lyginamosios analizės rezultatai pateikti 4.38 paveiksle.



4.38. Pav. Lyginamoji analizė: laminuotos kamštinės ir polimetakrilimido putplasčio medžiagos spektro - dažnio atsako grafikai.

Atlikus dažnių analizę (4.38 pav.), matyti, kad laminuotos kamštinės ir polimetakrilimido putplasčio medžiagų pagrindiniai rezonansiniai dažniai yra beveik vienodi ir yra žemųjų dažnių (0-200 Hz) diapazone bei vidutinių dažnių (200-500 Hz) diapazono pradžioje. Taip pat atlikus dažnių analizę nustatyta, kad pagrindinis ir pirmasis tirtų kompozicinių medžiagų rezonanso dažnis yra lygus 20 Hz, o harmoninis dažnis yra kas 20 Hz (20/40...80/100...ir t. t. Hz). Be to, tai turėtų būti smailusis dažnis žemųjų dažnių diapazone 62,5 Hz su harmoniniu poslinkiu, kuris toliau eina vidurinių dažnių diapazonu (125 Hz...187 Hz ir t. t.). Kamštienos ir polimetakrilimido putų laminavimas ta pačia medžiaga gali paaiškinti rezonanso taškų sutapimą tame pačiame dažnyje. Pagrindinis skirtumas šiuo

atveju yra tas, kad 4 objektas užtikrina geresnę slopinimo savybę pagrindiniuose rezonanso taškuose nuo ~16 % iki ~57 %, priklausomai nuo dažnio.

Objektų slopinimo savybių palyginimui pasirinktas pirmasis rezonanso taškas, kuris yra 20 Hz.

Dabartiniame taške buvo stebima, kad laminuota kamštinė medžiaga vibravo su greičio amplitudės verte - $0,68 \times 10^{-5}$ m/s, o laminuotos polimetakrilimido putos - $0,57 \times 10^{-5}$ m/s. Slopinimo skirtumas tarp šių medžiagų sudaro apie 16 %. Taip pat pastebėta, kad 60 Hz dažniu laminuota kamštinė medžiaga vibravo su greičio amplitudės verte - $0,74 \times 10^{-5}$ m/s, o laminuotas polimetakrilimido putplastis - $0,32 \times 10^{-5}$ m/s. Slopinimo skirtumas šiuo atveju siekia apie 57 %. Taip pat pastebėta, kad deformacijos greičio amplitudės vertės 62,5 Hz, 125 Hz ir t.t. dažniuose polimetakrilimido putplastis beveik neslopina vibracijos, tuo tarpu laminuota kamštinė medžiaga rodo tam tikrą slopinimą (bet mažesnę nei kituose taškuose). *Medžiagų amplitudžių skirtumas patvirtina, kad polimetakrilimido putplastis geriau slopina smūgio impulsą nei kamštinė medžiaga, nes objektų standumas ir deformacijos skiriasi. Taip pat pastebima, kad antrasis objektas pasižymi panašiomis slopinimo charakteristikomis keliuose rezonanso taškuose. Remiantis šiais rezultatais, galima daryti išvadą, kad laminuotas kamščio medžiagas galima naudoti atskirai nuo laminuotų polimetakrilimidinių putų.*

4.5. Trisluoksnių kompozitinių medžiagų su kamštinio užpildu lenkimo bandymai

4.5.1 Bandiniai

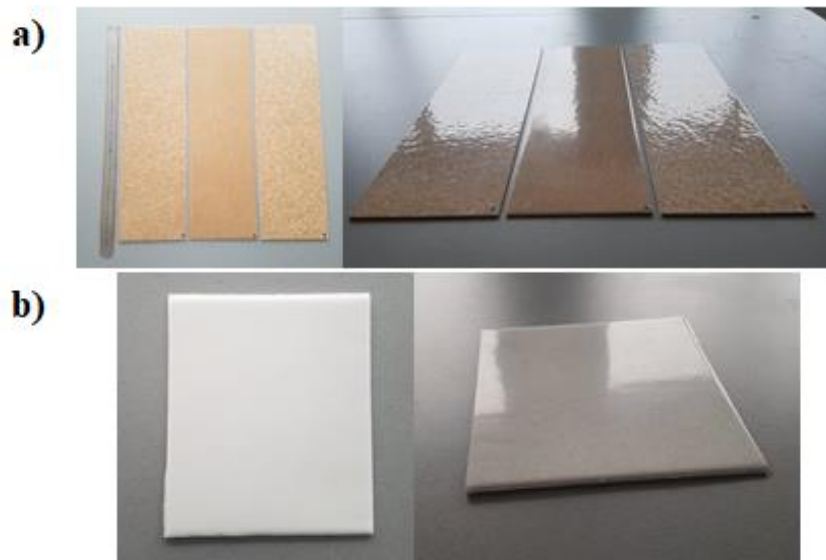
Norint palyginti trisluoksnės konstrukcijos plokščių su skirtingais užpildais lenkimo charakteristikas buvo pagamintos 4 bandymo plokštės. Trijose naudoti skirtingi kamštinio kompozito užpildai. Jų pagrindinės charakteristikos pateiktos 1.1 lentelėje. Vienoje - polimetakrilimido putplasčio užpildas. Jo charakteristikos pateiktos 1.2 lentelėje. Visos plokštės iš abiejų pusių buvo padengtos vienodu stiklo plastiko laminatu, kurio storis 0,135 mm. Jame naudoto stiklo pluoštas *Interglas 91110*, svoris – 110 g/m², audimo tipas – eglutė. Reikia paminėti, kad iš abiejų pusių plokštės dengtos audiniu tuo pačiu kampu. Stiklo pluošto audinys buvo įmirkytas dvikomponente epoksidine derva „*Epoxy Resin L + Hardener L*“ bei prispaustas prie plokščių paviršiaus dedant jas į sandarų vakuumavimo maišą, kuriame buvo sudarytas 820 mbar vakuumas. Po 14 h slėgis maiše buvo suvienodintas iki atmosferinio tačiau plokštelės išimtos tik po 24 h. Laminuotų plokščių vaizdas pateiktas pav. 4.39.

4.3. Lentelė. Kamštinių kompozitų charakteristikos

Kamštinės medžiagos plokštelės nr.	1	2	3
Kamštienos granulių dydis	2-5 mm	0.5-1 mm	2-5 mm
Granulių rišamoji medžiaga	Poliuretanas	Specialus poliuretanas	Poliuretanas
Tankis	186.1kg/m ³	165.3 kg/m ³	357.7kg/m ³
Atsparumas tempimui	≥500 kPa	≥400 kPa	≥400 kPa
Suspaudžiamumas	10-25 %	30-50 %	5-25 %
Sugrįžtamumas į pradinę padėtį	≥70 %	≥75 %	≥70 %

4.4. Lentelė. Polymethacrylimide putplasčio charakteristikos

Medžiagos pavadinimas	CASCELL 30 RS
Tankis	30 kg/ m ³
Atsparumas gniuždymui	400 kPa
Atsparumas tempimui	800 kPa
Tamprumo modulis	38 MPa
Atsparumas lenkimui	800 kPa
Atsparumas šlyčiai	400 kPa
Šlyties modulis	15 Mpa
Atsparumas temperatūrai	≥200 °C



4.39. Pav. a) Trisluoksnės konstrukcijos plokštės su skirtingais kamštinio kompozito užpildais,
 b) Trisluoksnės konstrukcijos plokštė su polymethacrylimide putplasčio užpildu



4.40. Pav. Paruoštos plokštelės lenkimo bandymui. Raudona rodyklė rodo 0°, žalia 90°.

Laminuotų trisluoksnės konstrukcijos plokštelių su kamštinio kompozito užpildu paviršiai turi didesnę paviršiaus nelygumą nei plokštė su polimetakrilimido putplasčio užpildu. Tiesa, kuo mažesnis kamštinio kompozito granuliu dydis tuo paviršiaus nelygumai mažesni.

Iš kiekvienos plokštės išpjauti bandiniai, kurių matmenys: 40*75*3mm. Iš viso pagaminta 16 bandinių, t.y. iš kiekvienos trisluoksnės plokštės po 4 bandinius, su kuriais buvo atlikti lenkimo eksperimentai. Taip pat reikia paminėti, jog bandiniai paruošti 0-90° stiklo pluošto pasukimu išilgai ilgiausios bandinio kraštinės kryptimi. Jų vaizdas pateiktas pav. 4.40.

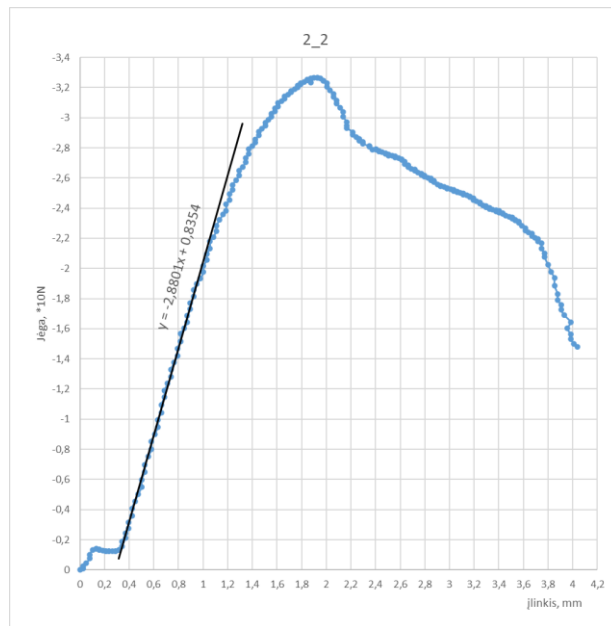
4.5.2 Lenkimo eksperimento atlikimas

Tempimo ir lenkimo bandymai buvo atlikti naudojant Tira test 2300 bandymų stendą su skaitmeniniu bandymo duomenų registravimu. Duomenų įrašymui naudota Catman express 3 programinė įranga. Buvo naudojamas trijų taškų lenkimo stendas. Tarpas tarp stendo atramų - 50 mm. Lenkimo preso greitis 2-0,4 mm/min. Jo vaizdas pateiktas pav. 4.41. Visų bandinių storis ir plotis buvo išmatuoti slankmačiu.



4.41. Pav. Lenkimo bandymo stendas

Siekiant gauti tikslius rezultatus atliekant praktinius bandymus yra labai svarbus teisingas sistemos paruošimas. Yra žinoma, kad dėl nelygaus medžiagų paviršiaus atliekant bandymą reikia atlikti bandinio įveržimą. Bandiniai deformuojami 0,3-0,4 mm iki kol prasideda proporcingas* apkrovimas. 2_2 bandinio įlinkio priklausomybės nuo jėgos grafikas pateiktas pav. 4.42.



4.42. Pav. 2_2 bandinio įlinkio priklausomybė nuo jėgos

Proporcingo apkrovimo ribose buvo nubraižyta aproksimuojanti kreivė bei apskaičiuotas kiekvieno bandinio stiprumas bei tamprumo modulis.

Stiprumas (σ) buvo apskaičiuotas naudojant formulę (Eq. 4.1):

$$\sigma = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (4.1)$$

L - Lenkimo jėga Niutonais; L - atstumas tarp atramų milimetrais; b - bandinio plotis milimetrais; h - bandinio storis milimetrais.

Tamprumo modulio skaičiavimams buvo apskaičiuoti įlinkiai prie atitinkamu įtempių reikšmių $\varepsilon_{f1}=0.0005$ and $\varepsilon_{f2}=0.0025$ (Eq. 4.2).

$$s_i = \frac{\varepsilon_i L^2}{6h} \quad (i=1;2) \quad (4.2)$$

s_i - įlinkis milimetrais; ε_{fi} - atitinkamos įtempių reikšmės pateiktos aukščiau; L - atstumas tarp atramų milimetrais; h - bandinio storis milimetrais.

Tamprumo modulis buvo apskaičiuotas naudojant formulę (Eq. 4.3):

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (4.3)$$

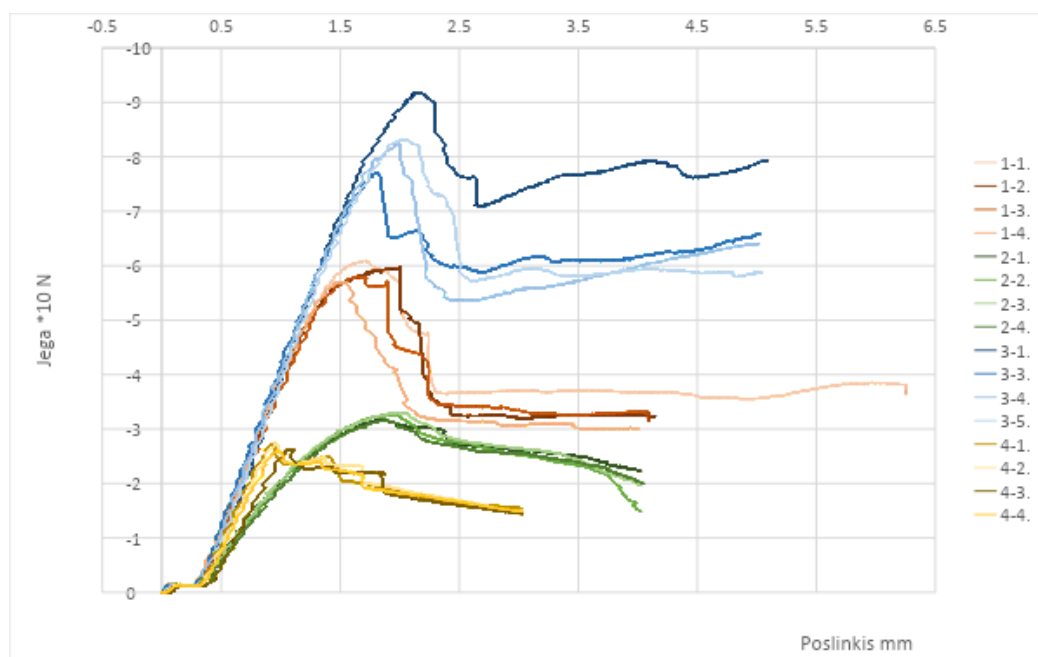
σ_1 - stiprumas MPa, ties s_1 lenkimo tašku; σ_2 - stiprumas MPa, ties s_2 lenkimo tašku.

4.5.3 Rezultų palyginimas, analizė

Lentelėje 4.5 pateikiami duomenys gauti eksperimentų metu. Taip pat lentelėje yra pateiktas apskaičiuotas kiekvieno bandinio E_f . (Figure 4.43).

4.5. Lentelė. Eksperimentų duomenų lentelė.

	h - bendras storis	Laminato storis	Užpildo storis	b- plotis	l - atstumas	Fm	σ	Ef
	mm	mm	mm	mm	mm	N	MPa	MPa
01 01	2,96	0,135	2,69	40,3	50	60,88	12,93146	10,32732
01 02	2,9	0,135	2,63	40,1	50	59,52	13,23682	11,70209
01 03	2,91	0,135	2,64	40,3	50	57,95	12,73573	11,34853
01 04	2,91	0,135	2,64	40,2	50	56,99	12,5559	11,20888
02 01	2,91	0,135	2,64	40,3	50	31,65	6,95575	6,153586
02 02	2,87	0,135	2,6	40,1	50	32,65	7,413722	6,539743
02 03	2,97	0,135	2,7	40,6	50	33,01	6,913021	6,104861
02 04	2,9	0,135	2,63	40,4	50	31,57	6,968808	6,295767
03 01	3,28	0,135	3,01	40,4	50	91,65	15,81484	9,001601
03 03	3,22	0,135	2,95	40,2	50	76,95	13,84625	10,24622
03 04	3,37	0,135	3,1	40,9	50	82,25	13,28049	8,753336
03 05	3,2	0,135	2,93	40,8	50	83,13	14,9231	9,717874
04 01	2,82	0,135	2,55	40,2	50	27,43	6,435211	11,04473
04 02	2,89	0,135	2,62	40,2	50	27,47	6,136181	9,911932
04 03	2,65	0,135	2,38	40,1	50	26,18	6,972601	10,8347
04 04	2,73	0,135	2,46	40,1	50	26,06	6,539823	10,39721



4.43. Pav. Apskaičiuotas kiekvieno bandinio Ef

Kaip matoma iš gautų rezultatų didžiausia jėgą atlaikanti medžiaga buvo sudaryta iš didžiausių kamštinės medžiagos granuliu. Atlaikoma jėga buvo iki trijų kartų didesnė lyginant su kompozito pagaminto su polimetakrilimido putplasčio užpildu. Tai pat reikia paminėti, jog mažėjant kamštinės medžiagos granuliu dydžiui mažėjo atlaikoma lenkimo jėga. Bandinių su mažiausiomis granulėmis atlaikomo lenkimo jėga buvo iki trijų kartų mažesnė nei kompozitų su didžiausiomis granulėmis.

4.5.4 Tempimo bandymai

Praktinių bandymų atlikimui iš laminuotų plokščių išpjaunamos formos bandymams. Matmenys parinkti remiantis bandymus atliekančio personalo rekomendacijomis (Figure 4.44). Bandinių formos iš sulaminuotų plokščių buvo išpjautos naudojant frezavimo stakles (CNC).

Bandymai atlikti naudojant tempimo standą. Pagrindinė problema iškilusi atliekant bandymus – plokštelių slydimas griebtuose. Dėl šios priežasties nepavyko gauti nuoseklių rezultatų. Antriesiems bandymams norint išvengti plokštelių slydimo prie tvirtinimo vietų buvo priklijuotas guminės plokštelės padidinti sukibimui.



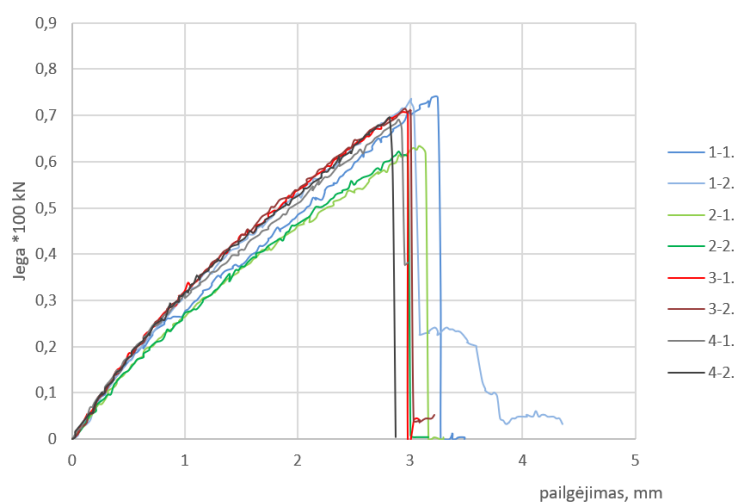
4.44. Pav. Bandinių frezavimas ir matmenys.

4.5.5 Tempimo bandymų rezultatai

Kaip matoma iš gautų rezultatų pateiktų 4 lentelėje didžiausią tempimą atlaikanti medžiaga buvo sudaryta iš didžiausių kamštinės medžiagos granuliu. Atlaikoma jėga buvo apie 5 proc. didesnė lyginant su kompozito pagaminto su polimetakrilimido putplasčio užpildu. Bandinių su mažiausiomis granulėmis atlaikomo tempimo jėga 20N mažesnė nei su didžiausiomis granulėmis, tačiau bandinių su vidutinėmis granulėmis atlaikoma jėga buvo apie 10 proc mažesnė nei bandinių su didžiausiomis granulėmis.

4.6. Lentelė. Testavimo rezultatai

	a	b	S ₀	F _m	R _m
	mm	mm	mm ²	N	MPa
1_1	2.95	10.07	29,7	738,9	2,95
1_2	2.96	10.03	29.7	734.9	2.96
2_1	2.88	10.08	29.0	634.5	2.88
2_2	2.91	10.03	29.2	622.5	2.91
3_1	2.85	10.02	28.6	706.8	2.85
3_2	2.83	10.03	28.4	714.8	2.93
4_1	2.80	10.01	28.0	690.8	2.80
4_2	2.80	10.03	28.1	694.8	2.80



4.45. Pav. Pailgėjimo ir kiekvieno mėginio veikiančios jėgos tarpusavio priklausomybė

Gavus tempimo bandymo rezultatus buvo nubrėžti bandinių pailgėjimo priklausomybės nuo tempimo jėgos grafikai (Figure 4.45). Iš grafikų galime matyti, kad skirtingų bandinių atsparumas tempimui yra panašus (rezultatai svyruoja 10 proc ribose) kadangi jis mažai priklauso nuo trisluoksnės konstrukcijos užpildo medžiagos.

Literatūros sąrašas

- [1] Fan, J., & Njuguna, J. (2016). An introduction to lightweight composite materials and their use in transport structures. *Lightweight Composite Structures in Transport*, 3–34. <https://doi.org/10.1016/b978-1-78242-325-6.00001-3>
- [2] Krzyżak, A., Mazur, M., Gajewski, M., Drozd, K., Komorek, A., & Przybyłek, P. (2016). Sandwich Structured Composites for Aeronautics: Methods of Manufacturing Affecting Some Mechanical Properties. *International Journal of Aerospace Engineering*, 2016, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2016/7816912>
- [3] Li, Z., & Ma, J. (2020). Experimental Study on Mechanical Properties of the Sandwich Composite Structure Reinforced by Basalt Fiber and Nomex Honeycomb. *Materials*, 13(8), 1870. <https://doi.org/10.3390/ma13081870>.
- [4] Walkowiak, M., Reinicke, U., & Anders, D. (2022). Numerical Investigation of Different Core Topologies in Sandwich-Structured Composites Subjected to Air-Blast Impact. *Applied Sciences*, 12(18), 9012. <https://doi.org/10.3390/app12189012>
- [5] (P6B) - ALU - Panneau sandwich âme en polystyrène expansé by Weiss Chemie | DirectIndustry. (n.d.). <https://www.directindustry.fr/prod/weiss-chemie/product-66508-1338307.html> (accessed Jan. 11, 2023).
- [6] Gil, L. (2015). New Cork-Based Materials and Applications. *Materials*, 8(2), 625–637. <https://doi.org/10.3390/ma8020625>
- [7] Silva, J., Sabatini, R., and Gardi, A.G.M. (2014). Opportunities offered by naturally occurring materials in lightweight aerostructures design, Proceedings of the Practical Responses to Climate Change (PRCC 2014), pp. 1–9.
- [8] Pereira, H. (2015). The Rationale behind Cork Properties: A Review of Structure and Chemistry. *BioResources*, 10(3). <https://doi.org/10.15376/biores.10.3.pereira>
- [9] Gesimondo, N., & James Christopher Postell. (2011). *Materiality and interior construction*. Hoboken, N.J.: John Wiley.
- [10] Utah National Parks Trivet hot Pad Original Text - Etsy. (n.d.). from www.etsy.com website: https://www.etsy.com/listing/573062806/utah-national-parks-trivet-hot-pad?click_key=20412901616b07a04914e36a5a71b3c36f16acc4%3A573062806&click_sum=3bb4c7d7&ref=shop_home_active_9&sts=1 (accessed Jan. 11, 2023).
- [11] “Maripaz – 4Spaces.” Maripaz. (n.d.). 4Spaces. <https://www.4spaces.ch/collections/cork-fabrics-and-wallcoverings/products/maripaz>

(accessed Jan. 11, 2023).

- [12] Laser Cut Cork – Laser Cut Signs. (n.d.). https://lascutsigns.co.uk/dt_gallery/laser-cut-cork/ (accessed Jan. 11, 2023).
- [13] Silva, J. M., Nunes, C. Z., Franco, N., & Gamboa, P. V. (2011). Damage tolerant cork based composites for aerospace applications. *The Aeronautical Journal*, 115(1171), 567–575. <https://doi.org/10.1017/s0001924000006205>
- [14] About. (2019, July 27). HandBoom. <https://handboom.net/about/> (accessed Jan. 11, 2023).
- [15] Densities of cork granules - CorkLink - cork products direct from Portugal. <https://www.corklink.com/index.php/densities-of-cork-granules/> (accessed Jan. 11, 2023).
- [16] Gil, L. (2015b). New Cork-Based Materials and Applications. *Materials*, 8(2), 625–637. <https://doi.org/10.3390/ma8020625>.
- [17] Castanie, B., Bouvet, C., & Ginot, M. (2020b). Review of composite sandwich structure in aeronautic applications. *Composites Part C: Open Access*, 1, 100004. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2020.100004>
- [18] My glider has 4 configurations of wingtips, winglets and wing extensions. Can anyone beat that?! (2020, October 8). Reddit. https://www.reddit.com/r/aviation/comments/j7atmo/my_glider_has_4_configurations_of_wingtips/ (accessed Jan. 11, 2023).
- [19] Dimino, I., Gallorini, F., Palmieri, M., & Pispola, G. (2019). Electromechanical Actuation for Morphing Winglets. *Actuators*, 8(2), 42. <https://doi.org/10.3390/act8020042>
- [20] Trabolts, J. (2021, December 7). Test: HpH 304 Shark MS. Nordic Gliding. <https://nordicgliding.com/ng-tester-hph-304-shark-ms/> (accessed Jan. 11, 2023).
- [21] Modern Aviation. (n.d.). 2001 Falcon 2000. <https://modern-aviation.com/product/2001-falcon-2000/> (accessed Jan. 11, 2023).
- [22] Ramec - Materiali Ecologici da Costruzione. (2017, December 14). Superlight panel - Pannello sandwich, Okoumè, sughero compatto biondo. R.A.M.E.C - Materiali Ecologici E Da Costruzione. <https://www.ramec.it/prodotti/superlight-panel-pannello-sandwich-okoume-sughero-compattobiondo/> (accessed Jan. 11, 2023).
- [23] Grōwancork - Projetos customizados. (n.d.). <https://www.growancork.com/projetos/projetos-customizados-4/> (accessed Jan. 11, 2023).
- [24] Kamšcio produktu ekspertai! (n.d.). Dekoratyvine kamÂštinè danga NATÛRALUS 3D STRIPE - BESTSELLER! Kam□Cio Produktu Ekspertai! <https://www.kamstiena.lt/parduotuve/139->

stripes/571-dekortyvine-kamstine-sienu-danga-fiord-exclusive-3x300x600mm-pakelis-198m22/
(accessed Jan. 11, 2023).

[25] Lakreb, N., Knapic, S., Machado, J. S., Bezzazi, B., & Pereira, H. (2017). Properties of multilayered sandwich panels with an agglomerated cork core for interior applications in buildings. *European Journal of Wood and Wood Products*, 76(1), 143–153. <https://doi.org/10.1007/s00107-017-1198-3>

[26] Griffe Clik Cork. (n.d.). Mcbike. <https://mcbike24.de/Griffe-Clik-Cork/1026771> (accessed Jan. 11, 2023).

[27] Anti Vibration Mounting Pad. (n.d.). indiamart.com. <https://www.indiamart.com/proddetail/anti-vibration-mounting-pad-15429567862.html> (accessed Jan. 11, 2023).

[28] Wingren, N., & Sjoberg, D. (2022). Nondestructive Testing Using mm-Wave Sparse Imaging Verified for Singly Curved Composite Panels. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/tap.2022.3211341>

[29] Kim, B. J., Kim, J., Cha, S. H., Shim, Y. B., Jeong, C., Kim, N., & Park, Y. B. (2021). Interfacial enhancements between a three-dimensionally printed Honeycomb-Truss core and woven carbon fiber/polyamide-6 facesheets in sandwich-structured composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 149, 106534. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2021.106534>.

[30] Ge Qi, L.M. and Jin-Shui, Y. (2016). Development of the lightweight inserts for composite sandwich panels with pyramidal truss cores Conference: ECCM17-17th European Conference on Composite Materials.

[31] Yam, K. L. (2009). *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*. Wiley.

[32] Jadhav, P., Quabili, A., Molligan, D., Andersen, S. and Gillespie Jr., J.W. (2007). Mechanical Characterization of Adhesively Bonded Metallic Insert Joints in Vinyl-Ester Balsa core Sandwich Panels, in American Society for Composites – 22nd Annual Technical Conference, 2007.

[33] PCC Fasteners - Sandwich Structure Fasteners. (n.d.). <https://www.pccfasteners.com/products/product-categories/specialty-fasteners/fasteners-for-sandwich-structure/> (accessed Jan. 12, 2023).

[34] Castanie, B., Bouvet, C., & Ginot, M. (2020). Review of composite sandwich structure in aeronautic applications. *Composites Part C: Open Access*, 1, 100004. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2020.100004>

[35] Flitney, R. K. (2014). *Seals and Sealing Handbook*. Elsevier.

- [36] Kumar, T., Mohsin, R., Majid, Z. A., Ghafir, M. F. A., & Wash, A. M. (2020). Experimental study of the anti-knock efficiency of high-octane fuels in spark ignited aircraft engine using response surface methodology. *Applied Energy*, 259, 114150. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114150>
- [37] Chuck, C. J., & Donnelly, J. (2014). The compatibility of potential bioderived fuels with Jet A-1 aviation kerosene. *Applied Energy*, 118, 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.12.019>
- [38] Erickson, J., Brewer, P., Friederich, G., & Peltzer, E. (2002). Design and operation of a pressure retaining sampler for sedimentary gases and gas hydrates. MTS/IEEE Oceans 2001. An Ocean Odyssey. Conference Proceedings (IEEE Cat. No.01CH37295). <https://doi.org/10.1109/oceans.2001.968374>.
- [39] Fernandes, E., Pires, R., & Reis, R. (2017). Cork biomass biocomposites. *Lignocellulosic Fibre and Biomass-Based Composite Materials*, 365–385. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100959-8.00017-2>
- [40] Cork Gasket Material | Types & Thicknesses. (2021, November 6). RAM Gasket Solutions. <https://www.ramgaskets.com/gasket-materials/cork-gasket-material/> (accessed Jan. 09, 2023).
- [41] Portugal, F. (n.d.). Automotive industry. Amorim Cork Composites. <https://amorimcorkcomposites.com/en/materials-applications/sealing/industries-applications/automotive/> (accessed Jan. 09, 2023).
- [42] Parr, E. A. (2011). *Hydraulics and pneumatics : a technician's and engineer's guide*. Amsterdam ; Boston: Butterworth-Heinemann..
- [43] Santra, R. N., Roy, S., Tikku, V. K., & Nando, G. B. (1995). In-situ compatibilization of thermoplastic polyurethane and polydimethyl siloxane rubber by using ethylene methyl acrylate copolymer as a reactive polymeric compatibilizer. *Advances in Polymer Technology*, 14(1), 59–66. <https://doi.org/10.1002/adv.1995.060140106>
- [44] Ashton Seals. (n.d.). CORK. <https://www.ashtonseals.co.uk/gaskets-cork> (accessed Jan. 12, 2023).
- [45] Silicone Gaskets - Real Gaskets Tennessee. (2022, August 3). Valve Cover Gasket - Lycoming engines O-235 thru TIO-540. <https://realgaskets.com/product/valve-cover-gasket-6-holes-2/> (accessed Jan. 12, 2023).
- [46] Woodyard, D. (2009). Theory and General Principles. *Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines*, 1–40. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-8984-7.00001-1>
- [47] Karpenko, M., & Nugaras, J. (2022). Vibration damping characteristics of the cork-based composite material in line to frequency analysis. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 593–602. <https://doi.org/10.15632/jtam-pl/152970>

SKYRIUS 5

Kamštinių kompozitų taikymas aviacijos ir kosmoso srityje

Elvin Ragimov¹, Mehmet Alper Sofuoğlu^{2,}, Selim Gürgen³, Melih Cemal Kuşhan³*

¹Lydso universiteto Mechanikos inžinerijos katedra, Jungtinė Karalystė

²Mechanikos inžinerijos katedra, Eskisehir Osmangazi universitetas, Eskisehir, Turkija

³Aeronautikos inžinerijos katedra, Eskisehir Osmangazi universitetas, Eskisehir, Turkija

* el. paštas: asofuoglu@ogu.edu.tr

Anotacija

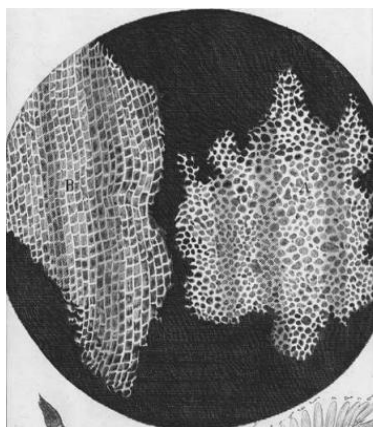
Kamštiena yra natūrali, atsinaujinanti ir ilgaamžė žaliava, kurią žmonės naudoja jau seniai. Mokslinėje literatūroje apie kamštieną yra daug informacijos, nes ji ilgą laiką kelia susidomėjimą. Daugumoje tyrimų yra skiriama dėmesio kamštienos cheminei struktūrai, mechaninėms ir fizinėms savybėms, jos gaminiams bei subproduktams. Pradedant nuo kamštienos augimo ir baigiant histologija bei struktūra, išsamiai aptariami tyrimai, kurie atidžiai charakterizuoja kamštieną, taip pat apžvelgiami naujausi pasiekimai ir moksliniai tyrimai mikro– ir makrolygmeniu. Toliau nagrinėjamos kamštienos išskirtinės savybės. Atlikta kamštinės medžiagos ir kitų medžiagų, naudojamų panašiose pramonės srityse lyginamoji analizė. Šiame tyrime siekiama apibūdinti, kodėl kamštiena yra pranašesnė nei kitos medžiagos įvairiais aspektais. Nagrinėjant mechanines savybes, yra tiriamas tempiamasis stipris, Jungo modulis ir Puasono santykis, vertinant juos skirtingose realaus naudojimo sąlygose. Be to, apžvelgiamos kamštinių kompozicinių medžiagų mechaninės ir šiluminės savybės bei jų taikymo galimybės aviacijos ir kosmoso pramonėje. Galiausiai, apsvarstoma šių ekologiškų kompozicinių medžiagų ateities perspektyva ir pritaikymo galimybės.

Esminiai žodžiai: kamštinės kompozicinės medžiagos, ekologiškas, aerokosminis pritaikymas

5.1 Įvadas

Mokslininkams yra itin svarbu ieškoti natūralių medžiagų, kurios pasižymi unikaliomis savybėmis ir turi didelį potencialą inžinerijos srityje. Viena iš geriausiai žinomų turi neįtikėtinas galimybes pakeisti sintetines ląstelines medžiagas. Tai yra kamštiena. Be to, šiandienos pasaulyje vis daugiau dėmesio skiriama vartotojų sąmoningumui, vyriausybiniams politikoms ir „ekologiškoms“ tendencijoms, kurios reikalauja, kad gamintojai užtikrintų perdirbamų sprendimų pasiekiamumą rinkose. XVI amžiuje Robertas Hukas atrado ir ištyrė kamštieną, kuri tapo viena iš pirmųjų medžiagų, išnagrinėtų tuo metu. Pasitelkęs

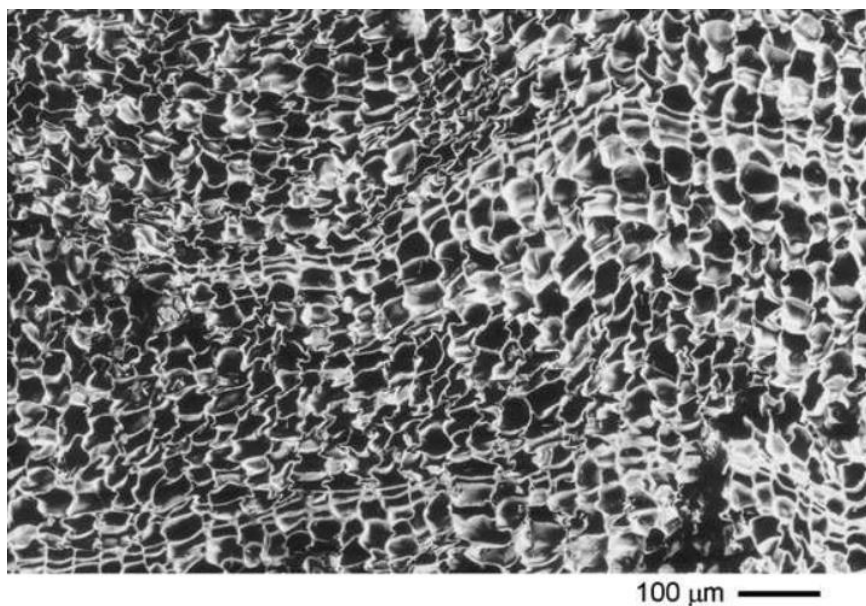
mikroskopą, jis nupiešė kamštienos *gabaličius*, o 1665 metais paskelbė savo tyrimų rezultatus. Tyrimo metu pastebėta, kad mažos struktūros kamštienos medžiagoje vadinamos „ląstelės“ (*angl. cells*). Šis terminas kilo iš lotynų kalbos ir reiškia „ankštą erdvę“. 5.1 paveikslas pavaizduoja Huko brėžinį, kuris tuo metu suteikė informacijos apie daugybę kamštinių ląstelių topologinių savybių. Žmonės jau daugiau kaip 5000 metų naudoja kamštieną kaip natūralią, atsinaujinančią ir tvirtą žaliavą. Visame pasaulyje kamštiena yra nepakeičiama kasdieniniame gyvenime – ji naudojama indų sandarinimui, žvejybos įrankių gamybai ir net sandalų pramonėje. Kamščių gamybas pramonė pradėjo naudoti kamštieną XVII amžiaus pirmoje pusėje, taip atsitiko dėka benediktinų vienuolio Dom'o Perignon'o pastangų. Šiuolaikiniai kamštinių medžiagų tyrimai nukrypo nuo vien tik kamštienos ir vyno pramonės sąveikos, siekdami didesnio išteklių naudojimo, tvarumo, kamštienos pramonės likučių panaudojimo ir kompozicinių medžiagų plėtros. XXI amžiuje kamštiena randa panaudojimą įvairiose srityse: ne tik kamščių gamyboje, bet ir kosmoso pramonėje. Be to, kamštinė medžiaga atlieka svarbų vaidmenį statybų sektoriuje, ji sėkmingai naudojama grindų, sienų dangose; taip pat ir kitose pramonės srityse. Be to, kamštiena yra universali statybinė medžiaga, kuri išsiskiria įvairiomis naudingomis savybėmis. Ji yra lengva, elastinga ir tampri, taip pat pasižymi nepralaidumu, geru izoliaciniu efektyvumu, atsparumu dilimui ir ugniai bei hipoalerginėmis savybėmis. Taip pat, kamštiena yra ilgaamžė, o tai yra jos privalumas lyginant su mediena ir akmeniu [1].



5.1 Pav. Kamštinio audinio ląstelės per mikroskopą [2].

Kamštienos esminės savybės yra susietos su kietąja dalimi, kuri randama kiekvienoje prizminėje pakopoje. Šias prizmines pakopas vadiname ląstelėmis, kurias sujungia biosintetinis polimerinis junginys. Svarbu pažymėti, kad kietų medžiagų ląstelės forma nėra vienalytė. Toks ultrastruktūros tipas pasireiškia žemiau mikroskopinio lygmens, nes jis priklauso nuo cheminių komponentų sudėties ir jų išsidėstymo erdvėje, taip pat nuo biologinio vystymosi proceso eigos. Kamštienos ląstelių struktūra yra ypatinga. Putplasčio ląstelės yra mažesnės ir plonesnės nei kamštienos. Optimalūs matmenys vidutinei ląstelei būtų tokie: 40 μm aukštis, 20 μm pagrindo kraštinė, 1 μm sienelių storis, dvi ar trys raukšlės kiekvienoje šoninėje sienelėje, 15 metrų bangos ilgis ir 5–6 μm amplitudė. Kamštienos ląstelių sienelės yra itin

lanksčios, todėl, suspaudus jas, jos gali įvairiai raukšlėtis arba banguotis. Be to, palyginti su pirminės žievės ląstelėmis, šios yra trumpesnės ir storosienės negu vėlesnio derliaus ląstelės, kurios yra tvirtesnės ir stipresnės. 5.2 paveikse pavaizduota pirminės kamštinės žievės struktūra.



5.2 Pav. Pirminės kamštinės žievės struktūra [1].

Įvairūs mokslininkai ištyrė skirtingus kamštinės medžiagos pritaikymo būdus. Jardin *et al* [3] bei Santos *et al* [4] nagrinėjo, kaip aglomeruota kamštiena mechaniniu būdu reaguoja į įvairias situacijas. Jie taip pat ištyrė tokių charakteristikų priklausomybę, kaip tankis, rišklio tipas ir išplėstinės kamštinės medžiagos granuliu dydis. Costas *et al* [5] analizavo kamštinę kompozicinę medžiagą, kaip hibridinio automobilio priekinio smūgio amortizatoriaus komponentą. Be to, aglomeruota kamštiena buvo naudojama šoninio smūgio reduktorių formavimui kelių transporto priemonėse siekiant užtikrinti saugumą. Tyrimams vadovavo Tay *et al* [6]. Sanchez–Saezas ir kt. [7] tyrė konstrukcijas su kamštienos užpildu, skirtas balistiniams smūgiams.

Kamštiena yra medienos pavidalo medžiaga, ji išgaunama iš išorinio ąžuolo žievės sluoksnio. Nepažeista kamštinė žievė lupama nuo medžių kas 9–12 metų, kai augintojas įsitikina, kad sluoksnis pasiekė reikiamą plotį. Žievę renka kvalifikuoti darbuotojai, kad vėliau medis užsiaugintų dar vieną išorinį žievės sluoksnį, kurį bus galima nulupti ateityje. Todėl per 200 metų trunkantį kamštinio ąžuolo gyvenimą ciklą, kamštinę žievę galima rinkti 17 kartų. Kamštiena – tai perdirbamas ir nuolat atsinaujinantis gaminis išteklius. Tai reiškia, kad tai yra visiškai ekologiška medžiaga su neigiamu anglies dioksido pėdsako rodikliu, juk jos gamyba vyksta per visą medžio gyvenimo ciklą. Portugalijoje auga 2,1 mln. hektarų kamštinių ąžuolų, kas sudaro trečdalį visų pasaulio ąžuolų. Ispanijoje ir Portugalijoje kamštinių ąžuolų žievės derlius sudaro

atitinkamai 30,5% ir 49,6% visų žaliavų šiuose kraštuose. Todėl kamštiena yra svarbi žaliava integruotoms pramonės grandinėms, kurios šioms šalims turi didelę ekonominę reikšmę.

Kietasis kamštienos tūris sudaro apie 15% viso kamštienos tūrio dėl jos uždarų ląstelių savybių. Be to, kietojo tūrio santykis yra mažesnis nei dujų tūris. Kitas svarbus aspektas yra aglomeruotos kamštienos gamyba: kamštienos granulės yra sumaišomos su poliuretano termoreaktyvinėmis dervomis ir tokiu būdu išgaunama aglomeruota kamštiena. Slėgis, šiluma ir riškis yra labai svarbūs veiksniai, kurie nulemia medžiagos savybes. Kai granulės prilimpa viena prie kitos, mišinys yra suspaudžiamas ir šildomas iki 110–150 °C temperatūros. Mechaninės reakcijos į ekstremalias apkrovas stipriai priklauso nuo kompozicinės medžiagos tipo ir kiekio [4]. Taip pat yra gerai žinoma, kad aglomerato mechaninės, šiluminės ir akustinės savybės buvo išbandytos kamščių gamyboje.

Kamštinių medžiagų taikymas kitose pramonės šakose nuolat plečiasi. Norint naudoti kamštienos pagrindu pagamintas kompozicines medžiagas aviacijos ir kosmoso sektoriuje, būtina atsižvelgti į tam tikras savybes, susijusias su jų elgsena ekstremaliose temperatūrose [8]. Dėl mažo šilumos laidumo ir didelio gniuždymo stiprumo, kamštiena yra idealus pasirinkimas šilumos izoliacijai raketose, garso izoliacijai povandeniniuose laivuose, vidaus degimo varikliuose, taip pat energiją absorbuojančioms grindų plokštėms.

Šis skyrius yra suskirstytas į keturias dalis, kurios nagrinėja skirtingus aspektus. Antroje dalyje yra analizuojamos bendrosios kamštinių kompozicinių medžiagų savybės. Šioje dalyje suteikiamas paaiškinimas apie kamštinės medžiagos mechanines ir šilumines savybes. Trečioje dalyje aptariamos šiuo metu naudojimas kamštinės kompozicinės medžiagos aviacijos ir kosmoso pramonėje, pateikiant konkrečių pavyzdžių. Galiausiai, ketvirtoje dalyje aptariami galimi būdai kaip kamštinės medžiagos gali būti panaudotos aviacijos ir kosmoso srityje. Skyriaus pabaigoje pateikiamos išvados, kurios apibendrina aptartus punktus.

5.2 Bendrosios kamštinių kompozicinių medžiagų savybės

Kamštinės kompozicinės medžiagos yra gaminamos įvairiais būdais perdurbant kamštienos produktus. Šios medžiagos struktūriškai yra panašios į kompozicines medžiagas, kurios jau yra naudojamos inžinerijoje. Kompozitų savybės priklauso nuo to, kaip yra sujungtos kompozicinės medžiagos sluoksniai, taip pat nuo sudarančių medžiagų savybių ir jų koncentracijos. Dėl šių veiksnių kamštinės kompozicinės medžiagos pasižymi tokiais charakteringomis kamštienai savybėmis, kaip lengvumas, šilumos ir garso izoliacija bei smūgių slopinimas.

Kamštinės kompozicinės medžiagos gaminamos skirtingais būdais, kad būtų pasiektos įvairios fizikinės ir mechaninės savybės, pritaikytos skirtingiems sektoriams. Šie gamybos metodai skiriasi priklausomai

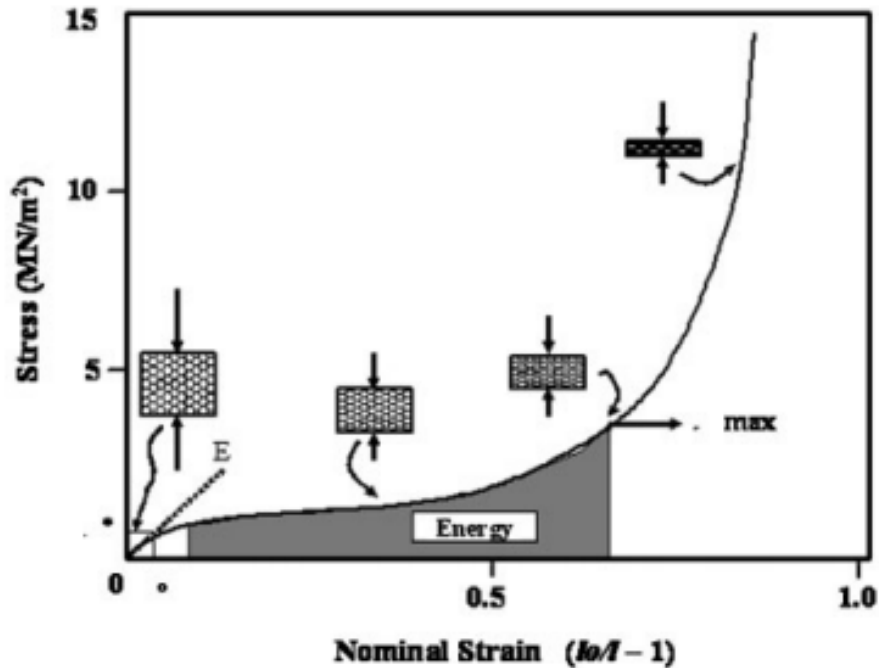
nuo kamštinės medžiagos apdorojimo ir kompozicinės struktūros kūrimo. Kompozicines medžiagas galima apibendrintai suskirstyti pagal gaminių tipus ir jungimo būdus, atsižvelgiant į jų paskirtį. Gamybos procese kamštinė medžiaga gali būti malta, skaldyta arba presuota. Be to, medžiagos gali būti skirstomos pagal jungimo būdus: trisluoksnės, sluoksniuotos arba aglutinacinės medžiagos.

Kamštinių kompozicinių medžiagų fizikinės ir mechaninės savybės yra panašios į bendras kamštienos savybes, todėl jų privalumai yra susiję su kamštinės medžiagos savybėmis. Vertinant kamštinių kompozicinių medžiagų privalumus, svarbu atsižvelgti į jų naudojimo sritį. Šioje dalyje įvairiais aspektais bus išsamiai nagrinėjamos ir vertinamos kamštinių kompozicinių medžiagų mechaninės bei šiluminės savybės [9].

5.2.1 Mechaninės / fizikinės savybės

Kamštiena turi unikalias savybes, tokias kaip mažas šilumos laidumas, ypatingas gniuždomumas, mažas tankis, mažas pralaidumas skysčiams ir dujoms, cheminis stabilumas bei ilgaamžiškumas. Be to, kamštiena yra anizotropinė, tai reiškia, kad jos savybės skiriasi priklausomai nuo ląstelių orientacijos. Matavimai radialinėmis (R, sutampa su prizmės radialine ašimi) ir neradialinėmis kryptimis (N.R., statmena plokštuma) atskleidžia šias skirtumus. Nors formos anizotropijos koeficientai yra maži, kamštiena pasižymi mažesnėmis su tuo susijusiomis savybėmis nei kitos medžiagos. Nustatytos kelios kamštinės medžiagos mechaninės savybės, svarbiausios iš jų pateiktos 5.1 lentelėje.

Suspaudimo kreivė yra vaizduojama trimis atkarpomis, kaip parodyta 5.3 paveiksle. Kiekviena atkarpa yra susijusi su vienu iš trijų mechanizmų, kurie kontroliuoja lanksčių ląstelių medžiagų savybes [10], [11]. Pirmoje srityje, kai ląstelės sienelės lenkiasi elastingai, deformacija siekia iki 7 %. Antroje srityje, horizontalioje plokštumoje, sudaro apie 70 % viso įtempio. Galiausiai, dėl ląstelių sienelių palaiptinio išlinkimo, sienelių plyšimo ir visiško ląstelių sunaikinimo, suspaudimo kreivė pradeda staigiai kilti vertikalčiai [10], [11].



5.3 Pav. Kamštinės kompozicinės medžiagos gniuždymo kreivė [16].

5.1 lentelė. Kamštinės medžiagos mechaninės savybės

Šaltinis	Mechaninės savybės	Vertė
Gibson <i>et al</i> [10]	Lūžio deformacija esant įtempimui, %	5 (R) 9 (N.R.)
Gibson <i>et al</i> [10]	Lūžio įtempiai esant tempimui, MPa	1.0 (R) 1.1 (N.R.)
Rosa and Fortes [11]	Lūžio stiprumas, virintas, MP	60–130
Gibson <i>et al</i> [10], Fortes and Nogueira [12]	Puasono santykis, virintas	0–0.097 ($\nu_{wR/R}$) 0–0.064 ($\nu_{wR/R}$) 0.26–0.5 ($\nu_{wR/R}$.R.)
Rosa <i>et al</i> [13]	Jungo modulis, virintas, MPa	6 (R) 8–9 (N.R.)
Rosa and Pereira [14]	Jungo modulis, termiškai apdorotas 150 °C temperatūroje, MPa	15 (R) 14 (N.R.)
Rosa and Fortes [11]	Tempimo modulis, virintas, MPa	38 (R) 24–26
Gibson <i>et al</i> [10]	Deformacija dėl suirimo (išlinkimo), %	4 (R) 6 (N.R.)

Gibson <i>et al</i> [10], Vaz and Fortes [15]	Suirimo (išlinkimo) įtempiai, virintas, MPa	0.75–0.8 (R) 0.6–0.7 (N.R.)
---	---	--------------------------------

Esant dideliame suspaudimo lygiui ir didelėms medžiagos deformacijoms, sumažinus įtempį, kamštiena grįžta į pradinę būseną. Svarbu paminėti, kad tankis turi didelę įtaką kamštienos gniuždymo savybėms. Kamštienos gniuždymo stipris skirtingomis kryptimis nėra labai didelis. Tačiau mechaninis stipris yra didesnis radialine kryptimi [16], [17], [18].

Kaip jau minėta anksčiau, pakopinis ir atsitiktinis ląstelių išsidėstymas, taip pat raukšlėtumas šoninėse ląstelių sienelėse, turi įtakos Puasono santykiui, kuris gali keisti kamštienos savybes skirtingose jos panaudojimo srityse [12], [18]. Gniuždamas medžiagą radialine kryptimi, raukšlės sukelia ląstelių sienelių lenkimą ir suspaudimą, o tai padidina raukšlių amplitudę ir sukuria radialinę ląstelių pagrindų išsidėstymo kryptį. Kai suspaudimas vyksta neradialine (N.R.) kryptimi, šoninės ląstelės sulinksta ir išsitiesia. Esant didelėms deformacijoms šis procesas gali pakeisti raukšlėtumo modelį, todėl radialine (R) kryptimi gali atsirasti pokyčio ištraukimas, o tai gali lemti neigiamą Puasono santykį [12]. Taip pat svarbu pažymėti, kad kamštinės žievės storis gali skirtis priklausomai nuo augavietės. Šis storis turi didelę įtaką mechaninėms savybėms [19], [20]. Pavyzdžiui, didesnis žievės skersmuo gali sumažinti gniuždymo stiprį ir modulio stiprį spaudimo procese.

Kamštienos alveolinės ląstelės primena korio formą. Jos sudarytos iš suberino, celiuliozės ir lignino. Dėl šios ląstelinės struktūros kamštinė medžiaga pasižymi puikiomis mechaninėmis savybėmis [21]. Pereira *et al* [22] atliko bandymus ir pateikė duomenų apie natūralios kamštienos mechanines savybes: gniuždymo stipris ir savitasis modulis yra didesni nei lanksčių polimerinių putų ar kitų standžių putų. Be to, derinant gniuždymo stiprį su mažu šilumos laidumu, medžiaga įgyja puikias savybes. Ši ekologiška medžiaga puikiai atlaiko šiluminės bangos ir gniuždymo apkrovas.

Kamštinė medžiaga turi mažą pralaidumą tokioms nekondensuojamoms dujoms, kaip helis [23], [24]. Kamštiena turi mažą šilumos perdavimo greitį dėl didelio oro kiekio ir mažų ląstelių matmenų. Šiluma gali būti perduodama keliais būdais: dujų konvekcijos, spinduliavimo ar laidumo per kietąją dalį būdu. Kamštinei kompozicinei medžiagai būdingos mažos ir uždaros ląstelės, kurios atlieka barjero funkciją. Dėl to laidumas dujoms yra prastesnis. Be to, daugybė ląstelių absorbuoja spinduliuotę, tokiu būdu slopindamos jos perdavimą. Kamštinė medžiaga taip pat turi didelį garso slopinimo efektą. Akustinė varža apibrėžta formule $1.2 \times 10^5 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (žr. 5.2 lentelę). [1], [16].

Tai susiję su kamštienos paviršiaus savybėmis. Nors kamštiena yra hidrofobinė medžiaga, t.y. mažai sugeria poliarinius skysčius, pvz., vandenį, drėgmę. Kamštiena yra labai atspari nepoliniams skysčiams, o jos paviršiaus energija yra 18 mN m^{-1} [25].

Per pastarąjį dešimtmetį mokslininkai aktyviai domėjosi kamštienos savybėmis ir stengėsi apibrėžti jos charakteristikas, dalyvaudami keliuose projektuose. Dauguma šių projektų buvo skirti suprasti kamštienos mechanines savybes naudojant duomenų gavybos ir mašininio mokymosi metodus, tiriant medžiagą gniuždymo apkrovos sąlygomis [26]. Pirmieji ir svarbiausi bandymai šioje srityje buvo atlikti praėjusiam amžiuje, kai buvo atlikta įvairių tyrimų [27]–[31].

Lyginant kamštieną su kitomis medžiagomis, pastebima, kad natūrali kamštiena turi prastesnes mechanines savybes nei įvairios šerdies medžiagos, pvz. sintetinės putos. Tačiau dėl specifinių savybių ir naudojimo būdų kamštiena gali jas pranokti. Palyginus savitąjį gniuždymo stiprį (σ_c/ρ)

ir savitąjį modulį (E/ρ), kamštiena pasižymi geresnėmis mechaninėmis savybėmis nei lanksčios polimerinės putos. Be to, jos mažas šilumos laidumas prisideda prie gniuždymo stiprumo. Todėl kamštiena gali būti naudinga užtikrinant šiluminę apsaugą. Ši medžiaga taip pat gali būti tinkama gniuždymo apkrovų vietose [32]. 2 lentelėje pateikiama bendra kamštienos charakteristika.

5.2 lentelė. Bendrosios kamštinių medžiagų savybės

Šaltinis	Bendrosios savybės	Vertė
Medeiros [33]	Akustinė varža ($\text{kg/ m}^2.\text{s}$)	1.2×10^5
Fortes and Nogueira [12]	Elektrinis laidumas (S/m)	1.2×10^{-10} (25 °C) 1.6×10^{-13} (50 °C)
Vaz and Fortes [15]	Trinties koeficientas (kamštiena/kamštiena) virinta	0.97 (R) 0.77 (N.R.)

Castro *et al* [32] atliko tyrimą, kuriame nagrinėjo galimybę gaminti naują aglomeruotą kamštienos kompozicinę medžiagą su skirtingo dydžio granulėmis ir palygino ją su komerciškai prieinamomis medžiagomis. Tyrime siekta pagerinti medžiagos stiprumą, todėl buvo sukurtos trys skirtingos kamštienos rūšys, kurių sudėtyje buvo įvairaus dydžio granulės ir epoksidinė derva. Granulių dydžiai buvo pasirinkti kaip mažos (2/3), mišrios (mažų ir didelių granulių mišinys) ir didelės (3/4). Pagrindinė problema, su kuria susiduriama šiame procese, yra metodo sudėtingumas, kuris susijęs su aglomeracijos kiekio ir epoksidinės dervos santykiu. Tačiau tinkamai derinant sudedamąsias dalis, galima pasiekti puikių rezultatų. Po kelių bandymų, atsižvelgiant į granulių skaičių, nustatyta, kad optimali epoksidinės dervos

norma svyruoja nuo 24 % iki 30 %. Aprūpinimo procesas prasideda nuo kamštinių granulių derinio, o dervų normos yra nurodytos 5.3 lentelėje. Tada įvairios medžiagos formuojamos ir padengiamos plieno lakštais, po to jos presuojamos. Paskutiniame etape susidariusi mišinio masė laikoma krosnyje stabilioje 80 °C temperatūroje apie 2 valandas, kol kietėjimo lygis pasiekia norimą vertę.

Castro *et al* [32] tyrimai rodo, kad granulių dydis neturi įtakos paviršiaus lenkimo ir šlyties įtempiams, kaip parodo trijų taškų lenkimo bandymas. Remiantis šių bandymų rezultatais, kamščio ir epoksidinės medienos kompozicinės medžiagos pasižymi žymiai geresniu šerdies šlyties įtempio rodikliu ir sumažina plintančio lūžio plotą. Dėl šių savybių kamštienos aglomeratai gali būti naudojami trisluoksnėse konstrukcijose. Smūginių bandymų rezultatai rodo, kad trisluoksnės kamštinių kompozitų konstrukcijos gali atlaikyti didelę apkrovą. Be to, kamštinių trisluoksnių konstrukcijų atsinaujinimo savybės nėra paveiktos granulių dydžio ar gamybos metodo. Lyginant kamštienos pagrindu pagamintas kompozicines medžiagas su kitomis išskirtinai geros kokybės putplasčio medžiagomis, trisluoksnės konstrukcijos, pagrįstos modifikuotais kamštienos aglomeratais, pasižymi didesne sugeriamąja geba ir mažesne pažeidžiamumo riba.

5.3 lentelė. Kamštinių aglomeratų paruošimo veiksniai

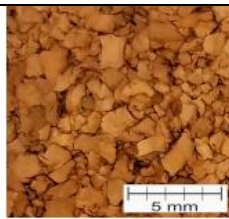



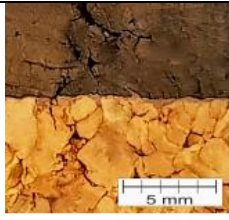
Kamštienos aglomerato tipas	Dervos procentinė dalis pagal masę	Aglomeracijos slėgis [bar]	Kamštienos granulių masė [g]	Kietėjimo procesas
Smulki	24 %	50	270	2 val esant 80° C temperatūrai
Didelė	24 %	60	270	2 val esant 80° C temperatūrai
Mišri	30 %	15	150	2 val esant 80° C temperatūrai

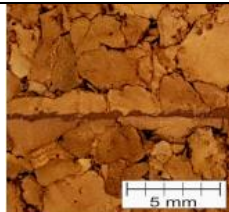
5.2.1.1 Mechaninių savybių pokyčiai nuo temperatūros

Kaczynski *et al* [33] atliko tyrimus, kurių metu buvo nagrinėjamas mechaninių savybių kitimas priklausomai nuo temperatūros pokyčių. Šiems tyrimams atlikti buvo naudojamos kelios kamštinės kompozicinės medžiagos (pateiktos 5.4 lentelėje). Be to, eksperimentiškai buvo išanalizuota medžiagos elgsena priklausomai nuo reguliavimo, krosnies temperatūros ir azoto aušinimo jungties temperatūros. Kamštienos ruošiniai buvo įkaitinti iki 100 °C, o po to, naudojant azotą, temperatūra buvo sumažinama iki –30 °C. Smūgio bandymams buvo naudojamas Instron Dynatup 9250HV aparatas su pradinio smūgio greičiu 9,2 m/s. Kiekvienos kamštienos rūšies buvo atliekami trys bandymai. Smogtuvo skersmuo buvo 50 mm, o bendras jo svoris – 11,2 kg. Visų bandymų skerspjūvio plotas buvo 50 mm × 50 mm, o aukštis – 60 mm. Kritimo bandymų vaizdai buvo fiksuojami naudojant „Phantom V12“ kamerą, kurios dažnis buvo 10

000 kadru per sekundę. Kadru užfiksavimo laikas buvo 40 μ s esant neigiamai temperatūrai ir 50 μ s esant aukštai temperatūrai.

5.4 lentelė. Kamštinių medžiagų charakteristikos ir smūgio energijos vertės, atsižvelgiant į skirtingas temperatūras [33]

Kamštienos pavadinimas Granulių dydis [mm] Tankis [kg/m ³]	Smūgio galia [J]	Temperatūra (°C)	Dalis
AC199A 199 0.5–2	100	24	
AC216 216 2-4	100 500	For 100 J: 24 For 500 J: -30; -15; 0; 24; 100	
EC159_AC199A n.a. n.a.	100	24	
EC159 159 4-10	100 500	For 100 J: 24 For 500 J: -30; -15; 0; 24; 100	
EC159_AC216 n.a. n.a.	100	24	

EC159_AC216 n.a. n.a.	100	24	
-----------------------------	-----	----	---

Be to, Kaczynski *et al* [33] atliko tyrimą, siekdami išsiaiškinti temperatūros, suspaudimo ir kamštienos ląstelių savybių sąveiką. Bandymų metu visi mėginių judesiai, susiję su suspaudimo poveikiu, buvo fiksuojami ir analizuojami naudojant greitaeigę kamerą. Pastebėta, kad kamštienos ląstelių sienelės suspaudimo etape gali išlinkti ir netgi suirti. Tyrimo metu mėginiai buvo gniuždomi įvairiose temperatūrose nuo $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rezultatai rodo, kad įtrūkimai buvo matomi esant visiems suspaudimo laipsniams, išskyrus $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroje. Remiantis šiais bandymų rezultatais, kamštienos atsparumas smūgiams tiesiogiai priklauso nuo temperatūros. Jie pastebėjo, kad didinant temperatūrą nuo $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, kamštinių medžiagų energijos absorbcija sumažėjo mažiau nei 25 %. Tai reiškia, kad kamštinės medžiagos, kurios yra naudojamos padidinto saugumo vietose arba kosmoso sektoriuje, turi būti tinkamai pritaikytos prie konkrečių aplinkos sąlygų. Energiją sugeriančios savybės kamštinėse kompozicinėse medžiagose yra tiesiogiai susijusios su temperatūros pokyčiais, todėl gamintojai gali apskaičiuoti ir užtikrinti tinkamą saugos lygį remdamiesi atitinkamais duomenimis. Kitas svarbus aspektas yra granuliu dydžio įtaka skirtingoms kamštinių medžiagų energijos absorbcijai. Tyrimų rezultatai rodo, kad granuliu dydis turi didelę įtaką kamštienos atsparumui smūgiams. Tai susiję su poliuretano klijais, kurie yra naudojami kaip rišamoji medžiaga. Jos kiekis kinta priklausomai nuo granuliu dydžio. Kai temperatūra pakyla iki $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, kamštienos klampumas didėja, o tai gali lemti žemesnį lipnumo lygį. Taip pat dėl šios priežasties mikrostruktūros lygmenyje gali įvykti granuliu atsiskyrimas. Todėl, jei granulės yra didelės, būtina atsižvelgti į pavojus, susijusius su temperatūros augimu. Temperatūra yra svarbiausias kintamasis, kuris daro didelę įtaką kamštienos mechaninėms savybėms, ypač esant dinaminiam apkrovimui. Šie rezultatai rodo, kad prieš naudojant kamštinę medžiagą gamyboje, labai svarbu atlikti įvairias suspaudimo ir temperatūros sąlygų įvertinimo procedūras. Be to, dėl mechaninių savybių, buvo atliktas tyrimas, kuriame nagrinėjamas temperatūros pokyčio poveikis aglomerato energijos intervalams nuo 120 J iki 850 J esant $21\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrai [31], [34], [35].

5.3 Šiandieninis kamštienos panaudojimas aviacijos ir kosmoso srityse

Dėl kamštinių medžiagų unikalių savybių ir galimybės naudoti įvairius gamybos metodus, ši medžiagų grupė yra tinkama aviacijos, o ypač kosmoso pramonėje. Kamštinės kompozicinės medžiagos yra plačiai taikomos srityse, kuriose veikia santykinai nedidelės apkrovos, ir kurios reikalauja tam tokių savybių, kaip šilumos ar vibracijos izoliacija, smūgių slopinimas, lengvumas ir nepralaidumas. Kamštinės medžiagos jau seniai yra plačiai naudojamos automobilių ir pramonės sektoriuose. Tačiau jų naudojimas aviacijos ir

kosmoso pramonėje yra įvairus ir nuolat plėtojamas, remiantis atliktų tyrimų rezultatais. Vienas iš intensyviausių inžinerinių kamštienos medžiagų pritaikymų yra erdvėlaivių korpusų ir kitų komponentų dengimas šilumos izoliacijos tikslais. Įgyvendinti keli projektai, skirti naudoti kamštines medžiagas orlaivių korpusuose ir kitose aviacijos srityse. Pavyzdžiui, tam tikrų raketų ir erdvėlaivių apsauginiai šilumos skydai yra pagaminti iš kamštienos. Be to, dėl kamštienos gero atsparumo ugniai ji taip pat naudojama karo laivuose ir povandeninių laivų vidaus pamušaluose. [36].

Aviacijos ir kosmoso sistemų komponentai dažnai yra projektuojami siekiant mažo svorio, didelio stiprumo ir atsparumo pažeidimams. Šias savybes galima pasiekti tinkamai parinkus medžiagas. Dėl naujausių pasiekimų trisluoksnės medžiagos yra labai vertinamos aeronautikos srityje. Trisluoksniai komponentai, tokie kaip lenkiamieji, gniuždomieji ir smūginiai elementai, pasižymi didesniu tvirtumu ir geresnėmis veiklos charakteristikomis, pritaikytomis specifinėms apkrovų sąlygoms. Dažniausiai trisluoksnėms sudedamosioms dalims naudojamos pluoštu armuotos polimerų kompozicinės medžiagos, kurios yra sujungiamos su įvairių rūšių mažo tankio šerdies medžiagomis, tokiomis kaip balzos mediena, koriais ir polimerinėmis putomis. Kaip tikėtasi, šerdies medžiagos yra pirmiausia pasirenkamos dėl jų mažo tankio, didelio tamprumo modulio, didžiulio stiprumo statmenai paviršiams bei geros šilumos ir garso izoliacijos savybių. Kamštiena, kaip natūrali medžiaga, atitinka šiuos reikalavimus dėl jos ląstelių morfologijos. Todėl kamštinius aglomeratus galima laikyti alternatyvia medžiaga. Akivaizdu, kad kamštinės ląstelės stiprumas yra panašus į kai kurių sintetinių putų stiprumą, tačiau kamštienos specifinis stiprumas yra žymiai didesnis. Be to, kamštiena pasižymi mažu šilumos laidumu ir pakankamu atsparumu gniuždymui, todėl puikiai tinka šiluminei izoliacijai ir gniuždymo apkrovoms. Be to, kamštiena jau seniai naudojama dinamiškai apkrovinamose sudedamosiose dalyse, nes dėl savo išskirtinių slopinimo savybių ji puikiai tinka vibracijos slopinimui. Apibendrinant, galima teigti, kad kamštinės trisluoksnės konstrukcijos, atsižvelgiant į daugelį jų savybių, yra itin tinkamos naudoti kosmoso ir aeronautikos sektoriuose.

Kamštinė medžiaga yra puikiai tinkama naudoti kaip lengvų trisluoksnių konstrukcijų sudedamąją dalį ir jų užpildo medžiagą. Ji yra plačiai naudojama aviacijos ir kosmoso srityje [37]. Lyginant trisluoksnes kompozicines medžiagas su aukštos kokybės putplasčiu, kompozicinės medžiagos neabejotinai pasižymi didesne energijos absorbcijos geba ir geresnėmis atsparumo susidūrimui savybėmis apkrovos metu. Be to, kamštienos aglomeratai pasižymi geresnėmis šiluminėmis savybėmis, kurios yra itin svarbios tokių konstrukcijų projektavimui.

Kamštinė medžiaga yra gerai žinoma ir plačiai naudojama automobilių ir pramonės sektoriuose. Tačiau jos taikymo sritys neapsiriboja tik šiais sektoriais – aeronautikos ir karinė pramonė taip pat yra svarbūs jos vartotojai. Pavyzdžiui, kai kurie raketų ir erdvėlaivių apsauginiai šilumos skydai yra pagaminti iš

kamštienos. Be to, dėl kamštienos atsparumo ugniai, ji taip pat naudojama karo laivuose ir povandeninių laivų vidiniuose pamušaluose [36].

Iš pirmo žvilgsnio, kamštiena gali pasirodyti turinti silpnas mechanines savybes, lyginant ją su alternatyviomis šerdies medžiagomis, tokiomis kaip sintetinės putplasčio medžiagos. Tačiau kamštiena turi kitų svarbių savybių, kurios ją padaro vertinga. Kamštiena yra puiki šilumą sulaikanti medžiaga, turinti mažą šilumos laidumą ir geras gniuždymo atsparumo savybes. Dėl šių savybių kompozicinės trisluoksnės plokštės, pagamintos iš kamštienos, tampa populiarius pasirinkimas aeronautikos dizaine. Jos gali būti lyginamos su aliuminio lydinio lakštais, nes abi medžiagos pasižymi atsparumu išlinkimui. 1924 m. von Karman'o ir Stock'o išduotas trisluoksnės sienos patentas yra puikus trisluoksnės konstrukcijos pritaikymo aviacijos srityje pavyzdys. 1934 m. „Schneider–Creusot“ gamykloje Le Creusot mieste, Prancūzijoje, inžinierius S. E. Mautner'is pirmą kartą pritaikė trisluoksnės konstrukcijas lėktuvui. Jis sukūrė nebrangų viensparnį lėktuvą, kuris turėjo trisluoksnį sparną su faneros ir kamštienos trisluoksne konstrukcija. Kamštinės kompozicinės medžiagos yra plačiai naudojamos kosmoso pramonėje, nes jų vaidmuo svorio mažinimo procese yra itin svarbus, o tai leidžia sutaupyti lėšų. Be to, viena iš dažniausių kamštienos aglomeratų panaudojimo sričių yra abliacinės medžiagos. Abliaciją sukelianti medžiaga išsklaido energiją garuodama, o ne absorbuodama šilumą. Tai leidžia efektyviai apsaugoti konstrukcijas nuo didelės šiluminės energijos šaltinių.

Skirtingų trisluoksnių konstrukcijų kompozicinės medžiagos, tokios kaip išoriniai sluoksniai, užpildai ir rišamosios medžiagos, yra naudojamos kvazistatinių ir dinaminių apkrovų atveju. Svarstant trisluoksnių kompozicinių medžiagų naudojimo prioritetus, didžiausias dėmesys skiriamas jų atsparumui pažeidimams iš išorės. Yra įvairių situacijų, kuriose trisluoksnės konstrukcijos gali susidurti su smūginėmis apkrovomis. Orlaiviai ir lėktuvai gali būti pažeisti dėl vietinės sąveikos su mažais, bet potencialiai pavojingais objektais, tokiais kaip iškritę įrankiai, paukščių smūgiai, akmenys arba ledas. Be to, horizontalūs paviršiai, pvz., lėktuvų grindys, gali būti lengvai pažeidžiami [38], [39].

Yra dvi pagrindinės kamštinių aglomeratų rūšys: izoliaciniai aglomeratai ir kompoziciniai aglomeratai. Izoliaciniai aglomeratai gaminami be jokių papildomų rišamųjų medžiagų ar įrankių, todėl jų negalima laikyti kompozicinėmis medžiagomis. Kompoziciniai aglomeratai, priešingai, yra pagaminti iš granulių, susijungusių su įvairiomis sintetinėmis ar natūraliomis rišamosiomis medžiagomis, pvz. uretanu, fenolinėmis dervomis ir kt.

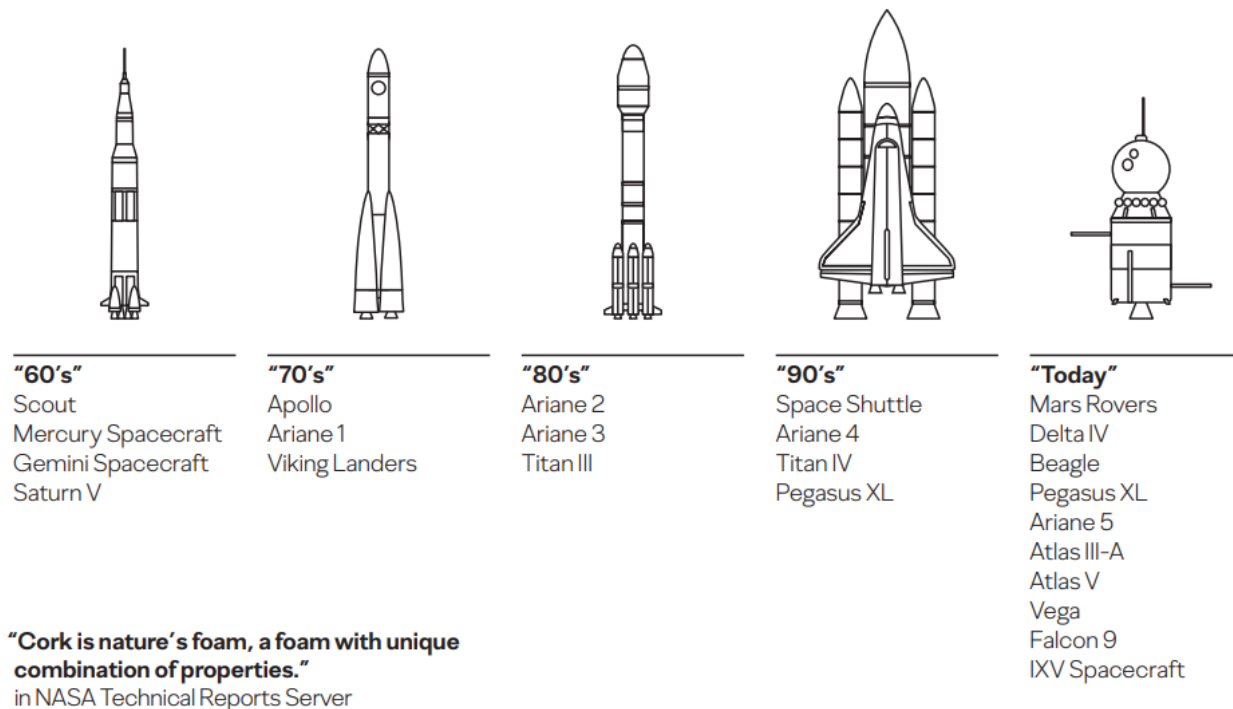
Atlikus trumpą tyrimą apie kamštinių kompozicinių medžiagų naudojimą aviacijos ir kosmoso sektoriuje, bendrovė „Amorim Cork Composites“ (ACC) pasiūlė keletą produktų. Ši bendrovė sukūrė dvi kamštines kompozicines medžiagas, žinomas kaip P45 ir P50, kurios kurios gali būti naudojamos kaip apsauginiai skydai įvairiose pramonės šakose. Skirtingos šių medžiagų charakteristikos pateiktos 5.5 lentelėje.

5.3.1 Kamštinės konstrukcijos kosmoso srityje

Aviacijos ir kosmoso sektoriuje kamštinės ir kompozicinės medžiagos plačiausiai naudojamos erdvėlaivių korpusams ir sudedamoms dalims gaminti (5.4 pav.). Nuo pat pirmųjų kosmoso tyrinėjimo dienų kamštinės medžiagos buvo plačiai naudojamos erdvėlaiviuose. Kamštinės kompozicinės medžiagos yra itin svarbios aukštatemperatūre erdvėlaivių varomosiose sistemose, taip pat tokiose sekcijose kaip degalų rezervuarai, kuriems reikalinga šiluminė izoliacija. Kamštiena ne tik užtikrina efektyvią šilumos izoliaciją, bet taip pat naudojama kaip apsauginis sluoksnis staigiai pasikeitus temperatūrai, nes ji yra pigesnė už aukštųjų technologijų medžiagas. Be to, kamštiena dega be liepsnos ar padegimo, todėl ji yra naudojama kaip pirmasis sluoksnis, kuris degs aukštoje temperatūroje, apsaugodamas pagrindinį erdvėlaivio korpusą ir jo dalis nuo ugnies.

5.5 lentelė. Kai kurios P45 ir P50 kamštinių kompozicinių medžiagų charakteristikos

Savybės	P45	P50	Matavimo vienetai
Ištempimas	>30	>13	(%)
Specifinė šiluma	2.5	2.1	($\frac{KJ \cdot K}{Kg}$)
Tempiamasis stipris	>0,86	>1,70	(MPa)
Kamštienos dalelių dydis	1/2	0.5/1	(mm)
Lakšto matmenys	1270 x 760	1270 x 760	(mm)
Terminis laidumas	0.06	0.07	($\frac{W}{m \cdot K}$)
Tankis esant 20° C	300-350	448-512	($\frac{kg}{m^3}$)

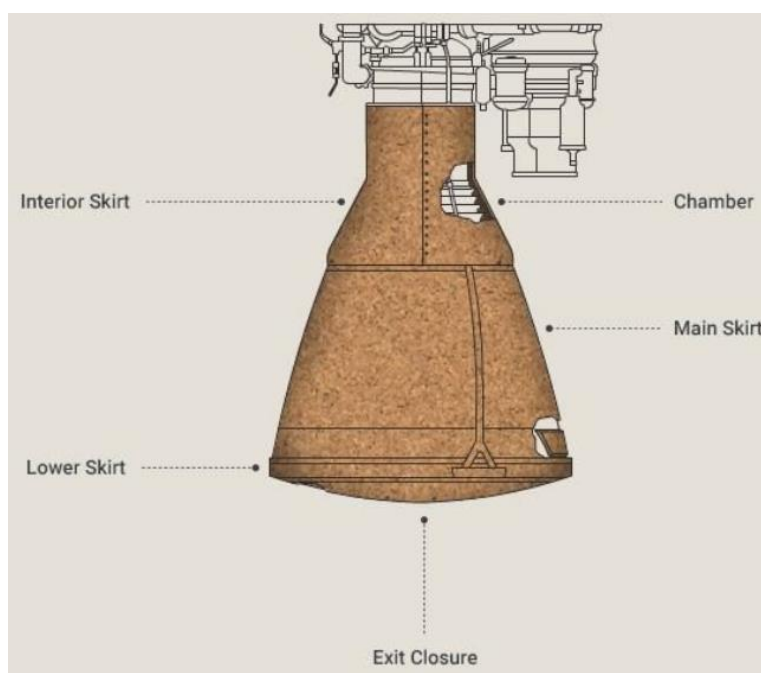


5.4 Pav. Erdvėlaiviai, kuriuose naudojami kamštinės medžiagos ir kamštinės kompozicinės medžiagos [40]

Šios kompozicinės medžiagos, palyginti su kitomis rūšimis, pasižymi keliomis svarbiomis savybėmis. Pirmiausia, kamštinės kompozicinės medžiagos yra labiau pritaikytos technologiniam procesui nei kitos medžiagos. Jos lengvai pritvirtinamos prie daugumos medžiagų pagrindų naudojant standartinius rišimo metodus. Apipjaustymas ir apdirbimas gali būti atliekami naudojant įprastus įrankius ir stakles be specialių apsaugos priemonių. Trisluoksnių elementų integravimas yra paprastas, nereikalaujantis sudėtingų montavimo procesų. Be to, šios medžiagos jau įrodė savo pranašumus kaip termoizoliaciniai skydai raketose ir vidaus termoizoliacija šildomose konstrukcijose įvairiose misijose. 5.5 paveiksle pateiktas „United Launch Alliance“ sukurtos raketos „Vulcan“ apvalkalas.



5.5 Pav. Apsauginis korpusas su „Amorim P50“ abliaciniu šiluminiu tirpalu [41]



5.6 Pav. Tipiškas kamštinių kompozicinių medžiagų panaudojimas raketose [42]

Išorinę cilindrinio korpuso dangą apdengia kamštienos sluoksnis. Kamštiena, kuri yra pritvirtinta prie kompozicinio sluoksnio dangos, apsaugo ją nuo karščio, kuris susidaro dėl aerodinaminės trinties poveikio. Be to, nuo septintojo dešimtmečio kamštinės kompozicinės medžiagos naudojamos šiluminėms apsaugos sistemoms orlaivių sektoriuje užtikrinti. 5.6 paveiksle pavaizduota, kaip kamštinės kompozicinės medžiagos dažnai yra naudojamos kaip šilumos sugėrikliai kosmose. Taip pat, kamštinės kompozicinės medžiagas galima lengvai formuoti.

Be orbitalinių skrydžių ir grįžimo į orbitą transporto priemonių, aerokosminės šiluminės apsaugos sistemos (TPS) taip pat yra svarbi pirminės zondavimo raketų konstrukcijos dalis. Pastaraisiais dešimtmečiais Vokietijos aerokosminio centro (DLR) mobiliojoje raketų bazėje (MORABA) įvairioms nešančiųjų raketų konstrukcijoms, įskaitant pelekus, nosies kūgius, kūginius antgalius ir šiluminius skydus, naudojamos epoksidinės dviejų komponentų termoreaktyvios dangos šiluminei apsaugai užtikrinti. Jas palyginti paprasta pagaminti ir galima purkšti beveik ant bet kokios formos paviršių. Pagrindiniai veiksniai, kurie skatina naujų šiluminės apsaugos sistemų kūrimą su specialiomis kamštinėmis medžiagomis, yra kenksmingų dūmų kiekis, ribotas galiojimo laikas, dideli sandėliavimo reikalavimai ir likučiai, kurie lieka po naudingosios apkrovos komponentų. Pagrindinė zondavimo raketos konstrukcija, tokia kaip pelekas, nosies kūgis, kūginis antgalis ir šiluminis skydas, skirta apsaugoti raketą nuo šiluminio spinduliavimo. Tai aiškiai matoma 5.7 paveiksle. Šiluminės apsaugos sistemos medžiaga, naudota Vokietijos aerokosminio centro (DLR) mobiliojoje raketų bazėje (MORABA), buvo abliacinė, epoksidinė, dviejų komponentų termoreaktyvioji danga. Dėl kaimyninių naudingosios apkrovos elementų, atsirado didesnis poreikis naujai šiluminei apsaugos sistemai.



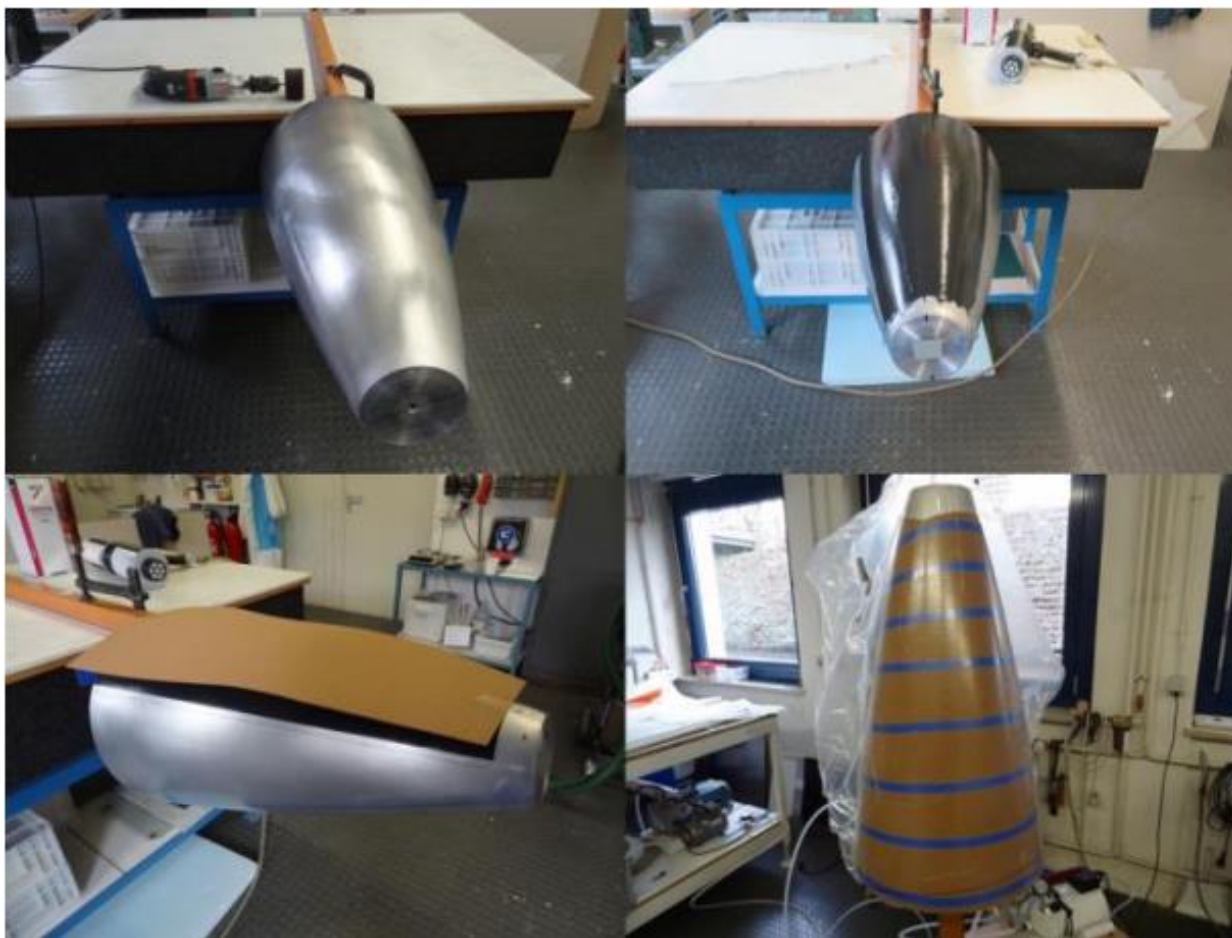
5.7 Pav. Patobulinta Malemute (IM) transporto priemonė, aprūpinta patobulinta kamštine šiluminės apsaugos sistema, sumontuota ant jos peleko [43]

Renkantis šiluminės apsaugos sistemos medžiagas, pirmenybė teikiama tam, kad jos būtų lengvos, plastiškos, ekologiškos, pigios, nereikalaujančios brangių priežiūros sprendimų ir neturėtų eksporto apribojimų. Šiems reikalavimams atitikti, infiltruota kamštiena buvo pasirinkta kaip optimali šiluminės

apsaugos sistemos medžiaga. Norint giliau išnagrinėti šį klausimą, bus aptartas NORCOAT LIEGE medžiagos aspektas kituose mūsų tyrimo etapuose.

Taigi, NORCOAT LIEGE yra pagrindinis pusgaminių pasirinkimas Europos Sąjungos rinkoje. Šiluminės apsaugos sistemos komponentų, pagamintų iš kamštinių medžiagų, gamybos procesas susideda iš kelių svarbių etapų: paviršiaus paruošimo, struktūrinio rišimo įgyvendinimo, šiluminės apsaugos sistemos dangos uždėjimo, vakuumo maišymo ir kietinimo. 5.8 paveiksle pavaizduotas VSB–30 FNC struktūros su NORCOAT LIEGE paruošimo procesas, kuris iliustruoja šių etapų vykdymą.

Sėkmingai išvysčius VSB–30 FNC gamybos procesą, jis buvo pritaikytas kitoms su šiluminės sistemos apsauga susijusios konstrukcijoms, įskaitant šilumos skydo mazgus, variklio priedus ir pelekus (5.9 paveikslas).



5.8 Pav. VSB–30 FNC struktūra su NORCOAT LIEGE [43]



5.9 Pav. NORCOAT LIEGE taikymas įvairioms raketų konstrukcijų dalims [43]

5.3.2 Kamštienos panaudojimas aviacijos ir kosmoso konstrukcijose: Projektas „Aerocork“

Prasidėjus XXI amžiui, vyno pramonė pradėjo naudoti plastikinius ir metalinius kamščius, kurie buvo laikomi technologiškai pažangesniais. Dėl to kamštinių medžiagų naudojimas palaipsniui mažėjo. Norint rasti alternatyvius sprendimus, kamštienos gamintojai pradėjo tirti alternatyvias kamštinių kompozicinių medžiagų pritaikomumo būdus, kitose pramonės šakose. 2008 m. Portugalijos lengvųjų orlaivių gamintojas „Dyn'Aero Industrie“ (DAI) kreipėsi į pramonės ir mokslo atstovus, prašydamas pagalbos pakeisti iš naftos gaunamus produktus, naudojamus jų orlaivių modeliuose, kamštinėmis kompozicinėmis medžiagomis. Šis prašymas inicijavo bendradarbiavimą, o 2008 m. pabaigoje konsorciui buvo patvirtinta ir suteikta QREN mokslinių tyrimų ir plėtros dotacija. Projekto tikslas yra palaipsniui sumažinti naftos produktų pagrindu pagamintų komponentų naudojimą. Pavyzdžiui, tokios medžiagos yra polivinilo chlorido (PVC) pagrindo medžiagos. Atsisakius šių medžiagų, galima sutaupyti lėšų visame gamybos procese. Be to, naftos produktų kainos nėra stabilios ir gali augti dėl pasaulinės paklausos, todėl yra rizika, kad šie komponentai brangs.

DAI orlaivyje naudojamos dvi medžiagos: polivinilo chlorido pagrindo užpildas (trisluksnėje konstrukcijoje) ir „Sphere“ (mikro–trisluksnėje konstrukcijoje). Šios medžiagos yra išgaunamos iš naftos ir turi anglies paviršiaus lakštų topologiją. Tačiau ACC¹ teigia, kad šias medžiagas galima pakeisti kamštinėmis trisluksnėmis konstrukcijomis, siekiant tvarumo. Todėl siekdami šio tikslo, buvo atlikti bandymai.

Atliekant bandymus, tikėtasi, kad kamštinės ir kompozicinės medžiagos bus naudojamos kuriant lėktuvo sekcijas, kurios patiria palyginti nedidelę apkrovą ir yra tinkamos apšvietimui. Bandymų metu buvo

¹ Amorim Cork Composites.

išbandyti tokie elementai kaip piloto sėdynė, sparno priekinė briauna ir sparno rėmo konstrukcijos. Šie elementai buvo pagaminti AEROCORK projekto rėmuose ir rezultatai yra pavaizduoti paveiksluose 5.10 ir 5.11.



5.10 Pav. AEROCORK kamštinė kompozicinė medžiaga [44].



5.11 Pav. „Dyn'Aero“ MCR UL orlaivis [44].

5.4 Galimas kamštinių kompozicinių medžiagų panaudojimas aviacijos ir (arba) kosmoso konstrukcijose

Kamštienos milteliai, kompozicinės medžiagos ir kitos gaminių formos gali būti naudojamos įvairiais būdais, siekiant užtikrinti apsaugą, šiluminį atsparumą ir apsaugą nuo smūgių kosminėje erdvėje. Šioje dalyje bus išnagrinėjami keli galimi kamštinių medžiagų naudojimo būdai.

5.4.1 Kamštienos ir keramikos matricos kompozitų medžiaga aviacijos / kosmoso srityje

Pirma, vienas iš svarbiausių mokslinių tyrimų temų yra kamštienos ir keraminės matricos medžiagų derinys. Kamštiena yra tinkamiausia medžiaga dėl jos netiesinio elastingumo, atsparumo lūžimui ir gebėjimo atkurti pradinę formą. Šiuo metu atliekami tyrimai dėl laminarinių struktūrų, kurios susideda iš C/C–SiC keraminės matricos kompozicinės medžiagos ir kamštinės abliacinės medžiagos. Dažniausiai naudojamas būdas sujungti skirtingas medžiagas yra rišimas kljais. Kljavimas pasižymi didesniu atsparumu cikliniam įtempimui, šlyties įtempimui ir lūžiams, todėl jis yra ilgaamžiškesnis, patikimesnis ir

patogesnis nei kiti mechaniniai jungimo būdai [45]. Šio derinio abliacinė medžiaga yra naudojama sugrįžimo programų paleidimo proceso metu. NORCOAT LIEGE buvo pritaikytas „Beagle 2“ zondui, kuris įžengė į Marso atmosferą 2003 metais, ir „Atmospheric Re-Entry Demonstrator“, kuris sugrįžo į Žemę 1998 metais. Tai yra kosmose išbandyta abliacinė kamštinė medžiaga. Taip pat C/C–SiC buvo patobulinta Vokietijos aerokosmoso centro (DLR). Norint gauti SiC šioje matricoje, naudojamas likutinės anglies ir skysto silicio reakcijos produktas. Siekiant užtikrinti lipnų derinį tarp C/C–SiC ir NORCOAT LIEGE, gali būti naudojami trys komerciniai neorganiniai klijai, kurie išlaiko atsparumą temperatūrai iki 1650 °C. Šių klijų pasirinkimo kriterijai grindžiami klijuojamų paviršių temperatūros reikalavimais. Tai reiškia, kad ši kamštinės keramikos matricos medžiaga gali būti naudojama ateities aviacijos ir kosmoso programose, siekiant užtikrinti atsparumą karščiui ir smūgių sugeriamumą. Prieš įprastą pramoninį naudojimą, galima atlikti įvairių rūšių bandymus, kad būtų patikrinta, ar medžiaga atitinka keliamus reikalavimus.

Kamštienos ir keraminės matricos kompozicinių medžiagų konfiguracijos schema pateikta 5.12 paveiksle.



5.12 Pav. Kamštienos ir keraminės matricos kompozicinių medžiagų konfiguracijos schema [47]

5.4.2 Kosminio paleidimo sistemos izoliacija

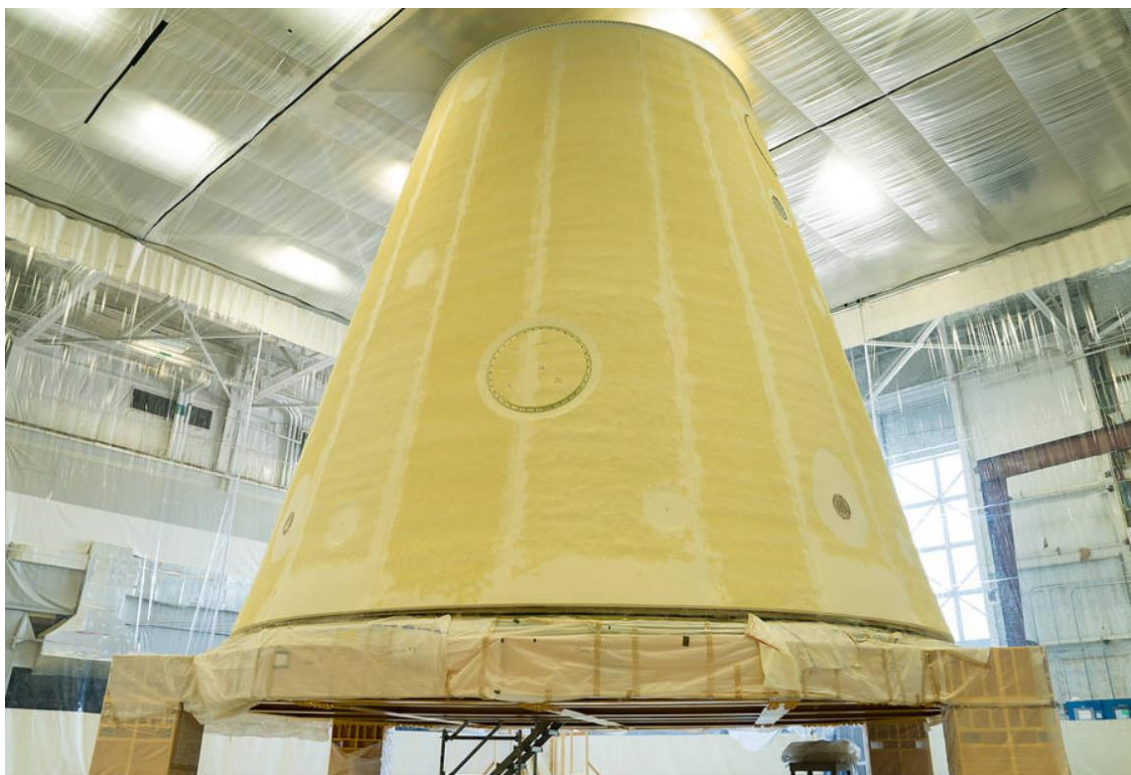
Naujoji NASA sunkioji raketa „Space Launch System“ (SLS) yra pritaikyta keliauti kosmose ir susiduria su ekstremaliais temperatūros pokyčiais, nuo –423 laipsnių Farenheito iki daugiau nei 200 laipsnių Farenheito. Tam, kad užtikrintų šiluminę apsaugą, NASA mokslininkai sukūrė naujus modelius, pasitelkdami pažangiausias technologijas. Dalis šių naujų modelių yra pagaminta iš aplinkai nekenksmingų medžiagų, tokių kaip kamštiena, o mažesnės dalys yra pagamintos naudojant 3D spausdintuvus. Šios dalys gali būti sujungtos su NASA kosminiu laivu „Orion“, kuris turi būti pakankamai tvirtas, kad galėtų gabenti astronautus į Mėnulį ir Marsą.

Purškiamą putų izoliaciją ir kitas klasikinės izoliacinės medžiagos, tokios kaip kamštiena, atlieka svarbų vaidmenį užtikrinant šiluminę apsaugą visiems „Space Launch System“ raketos komponentams. Ši raketos

sistema pasiekia labai didelį greitį, nuo 0 iki 17 400 mylių per valandą, ir per mažiau nei 8 minutes pakyla į daugiau nei 100 mylių aukštį virš Žemės. Izoliacija yra lanksti, kad galėtų prisitaikyti prie raketos judėjimo, tačiau ji taip pat yra pakankamai tvirta, kad atlaikytų aerodinaminę apkrovą. Raketa naudoja kriogeninę kuro rūšį, kuri apima skystą vandenilį ir skystą deguonį. Skystas vandenilis turi būti labai šaltas, siekiant išlaikyti jį skystą, o skystas deguonis taip pat turi būti šaltas, bet šiltesnis nei vandenilis. Vandenilio temperatūra turi būti mažesnė nei minus 423 laipsniai Farenheito, o deguonies temperatūra – mažesnė nei minus 298 laipsniai Farenheito. Jei temperatūra pakyla per daug, kuras virsta dujomis [48].

NASA „Space Launch System“ šiluminės apsaugos sistemos grupės vadovas Michael Alldredge pabrėžė, kad skrendant „Space Launch System“ raketai susidaro didžiulė šiluminė apkrova. Izoliacija yra būtina, nes paleidimo metu susidariusi šiluma gali neigiamai paveikti kriogeninio kuro stabilumą ir pažeisti raketos struktūrinį vientisumą. Todėl NASA kreipiasi į šią medžiagą, kad ji atliktų svarbų uždavinį apsaugant pagrindines raketos sistemas, kurios apima didelius konstrukcijų elementus, elektroniką ir degalų tiekimo linijas. Tai yra būtina ekstremalioje paleidimo aplinkoje, kurioje vyrauja ekstremalios temperatūros ir slėgis. Izoliacinės medžiagos yra prašoma atlikti nepaprastą darbą užtikrinant, kad šios svarbios raketos sistemos veiktų saugiai ir patikimai.

Šiai dangai NASA nusprendė naudoti putplastį, o ne kamštinę medžiagą. Šis sprendimas buvo priimtas dėl to, kad putplastį yra lengviau uždėti rankomis, o jo prieinamumas yra didesnis. Avionikos pozicionavimui buvo naudojamos trimačio spausdinimo formos, kad būtų galima sukurti reikiamus elementus. Nors kamštiena yra tankesnė nei putplastis, ji užtikrina geresnę apsaugą keliose sritise. Kamštienos lakštai gali būti naudojami pagrindinės pakopos variklio sekcijoje, kaip parodyta 5.13 paveiksle.



5.13 Pav. Purškiamų putų šiluminė izoliacija ant raketos–nešėjos pakopos adapterio [48].

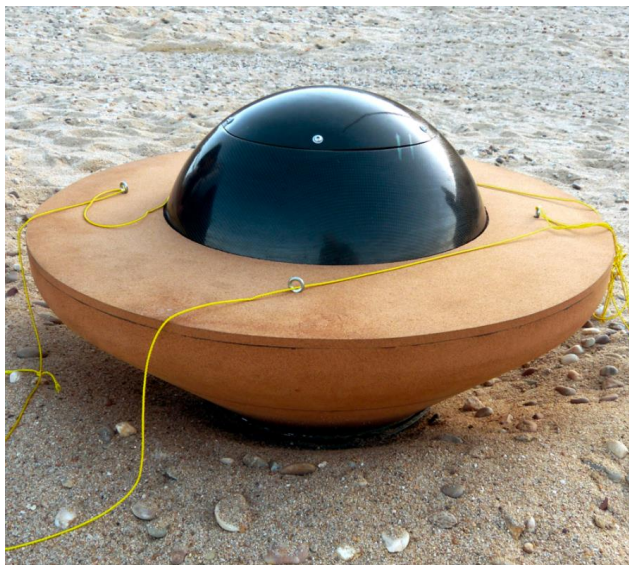
5.4.3 Kamštiena ir misija į Marsą

Siekiant sukurti naują Europos kosmoso agentūros (ESA) kapsulę, skirtą mėginiams iš Marso į Žemę gabenti, kamštiena buvo derinama su naujoviškais inžineriniais sprendimais. Šiam projektui vadovavo „Critical Materials“, ISQ, PIEP ir „Amorim Cork Composites“ sukurtas konsorciumas, kuris gavo užsakymą iš NASA. Vienas iš pagrindinių iššūkių buvo sukurti kapsulės koncepciją, kuri pasižymėtų optimaliomis termomechaninėmis savybėmis, leidžiančiomis pasyviai grįžti į Žemės atmosferą. Svarbu buvo užtikrinti, kad kai konteineris su Marso grunto mėginiais susidurs su Žemės paviršiumi, jam nereikėtų jokios papildomos smūgio slopinimo sistemos, tokios kaip parašutas.

Dangos, naudojamos į kosmosą gabenamoms kapsulėms apsaugoti, yra dar vienas svarbus kamštinių medžiagų panaudojimo būdas. Kai kosminės kapsulės pateks į planetos atmosferą, jos greitai įšils. Temperatūra gali siekti 1600 °C, ypač kapsulės paviršiuje. Medžiagos, kurios gali atlaikyti aukštą temperatūrą, pavyzdžiui, metalas ar keramika, bus gerokai sunkesnės už kamštieną. Be to, šios medžiagos nepasižymi reikiamomis šilumos laidumo savybėmis. Kamštinės medžiagos yra tinkamos aukštai temperatūrai paskirstyti paviršiuje ir neleidžia karščiui patekti į kapsulės vidų, taip užtikrinant apsaugą.

Čia naudojamas unikalus įvairių medžiagų integravimas į kapsulės dizainą ir konstrukciją, bei apibrėžtos geometrinės konfigūracijos sprendimas, atitinkantis visas EKA Marso tyrinėjimo programos

specifikacijas. Šis sprendimas yra daigiafunkcinė sistema, kuri gali atlaikyti dideles šilumines ir dinamines apkrovas, susijusias su grįžimu į Žemės atmosferą, ir kartu atitikti visus iš anksto nustatytus reikalavimus. Be to, šis naujas sprendimas, palyginti su pradinėmis Europos kosmoso agentūros sąlygomis, sumažino svorį ir leido atsisakyti pagalbinių sistemų bei sumažinti gamybos sąnaudas. Prognozuojama, kad 2026 metais Žemę pasieks sugrįžtančioji kapsulė, skirta mėginių gabenimui. Kapsulė, kuri padengta kamštine medžiaga, naudojama Marso nusileidimui, pateikta 5.14 paveiksle [49].



5.14 Pav. Marso nusileidimo kapsulė, padengta kamštine kompozicine medžiaga [49]

5.5 Išvados

Šiame tyrime apžvelgiamos kamštinių kompozicinių medžiagų mechaninės ir šiluminės savybės bei jų esamas ir perspektyvus pritaikymas kosminėje, karinėje ir kitose srityse. Tyrimai rodo, kad kamštienos kompozicinė medžiaga buvo naudojama kosminiuose erdvėlaiviuose ir raketose kaip korpusų šilumos izoliatorius. Be to, darbe aptariami įvairių formų putplasčio kompozicinių medžiagų ir kamštinių kompozicinių medžiagų skirtumai. Nors pirmenybė teikiama trisluoksnių kamštinių konstrukcijų naudojimui aviacijos ir kosmoso pramonėje, gauti rezultatai gali būti svarbūs ir transporto priemonių sektoriui. Tyrime nepateikiama informacija apie šios medžiagos potencialų pritaikymą aviacijoje, taip pat trūksta informacijos ir apie dabartinį kamštienos naudojimą kaip šilumos izoliatorių, tikėtina, dėl privatumo politikos. Nepaisant šių trūkumų, šis tyrimas prisideda prie geresnio supratimo apie aplinkai palankias ir tvarias kamštinės medžiagos savybes aviacijos gamyboje. Jei ateityje būtų atlikti tyrimai dėl kamštienos aglomeratų stiprinimo papildomomis medžiagomis ir kompozicinių medžiagų gamybos, tai suteiktų geresnį supratimą apie stiprumo padidinimo galimybes. Šios žinios galėtų būti naudingos kuriant tikslias intervencines priemones atsinaujinančioms pramonės šakoms ir skatinant gamintojus siekti aplinkos apsaugos gerinimo naudojant kamštinius kompozitus ateityje.

Literatūros sąrašas

- [1] Pereira, H. (2007). Cork: Biology, Production and Uses. Elsevier.
- [2] Hooke, R. (1665). Micrographia, or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses with Observations and Inquiries Thereupon. London: Printed by J. Martyn and J. Allestry.
- [3] Jardim, R.T., Fernandes, F.A.O., Pereira, A.B., Alves de Sousa, R.J. (2015). Static and dynamic mechanical response of different cork agglomerates. *Materials & Design*, 68:121–126.
- [4] Santos, P.T., Pinto, S., Marques, P.A.A.P., Pereira, A.B., Alves de Sousa, R.J. (2017). Agglomerated cork: a way to tailor its mechanical properties. *Composites Structures*, 178:277–287.
- [5] Costas, M., Díaz, J., Romera, L.E., Hernández, S. (2013). Static and dynamic axial crushing analysis of car frontal impact hybrid absorbers. *International Journal of Impact Engineering*, 62:166–81.
- [6] Tay, Y.Y., Lim, C.S., Lankarani, H.M. (2014). A finite element analysis of high-energy absorption cellular materials in enhancing passive safety of road vehicles in side-impact accidents. *International Journal of Crashworthiness*, 19:288–300.
- [7] Sanchez-Saez, S., Barbero, E., Cirne, J. (2011). Experimental study of agglomerated-cork-cored structures subjected to ballistic impacts. *Materials Letters*, 65:2152–4.
- [8] Silva, J.M., Devezas, T.C., Silva, A., Gil, L., Nunes, C., Franco, N. (2010). Exploring the use of cork-based composites for aerospace applications. *Materials Science Forum*, 636:260-265.
- [9] Put a Cork in It. Available: <https://www.labmanager.com/news/put-a-cork-in-it-material-now-shows-promise-in-new-applications-includng-aircraft-and-energy-16773/>
- [10] Gibson. L. J., Easterling, K. E., Ashby, M. F. (1981). The structure and mechanics of cork. *Proceedings of the Royal Society of London*, A377, 99–117.
- [11] Rosa. M. E and Fortes, M. A. J. (1991). Deformation and fracture of cork in tension. *Materials Sciences*, 26:341–348.
- [12] Fortes, M. A., Nogueira, M.T. (1989). The Poisson effect in cork. *Materials Sciences and Engineering*, A122, 227–232.
- [13] Rosa, M. E., Pereira, H., Fortes, M. A. (1990). Effects of hot water treatment on the structure and properties of cork. *Wood and Fiber Sciences*, 22: 149 – 164.
- [14] Rosa, M.E., Pereira, H. (1994). The effect of long term treatments at 100 – 150 °C on structure, chemical composition and compression behaviour of cork. *Holzforschung*, 48:226-232.

- [15] Vaz, M. F., Fortes, M. A. (1998). Friction properties of cork. *Journal of Materials Science*, 33: 2087-2093.
- [16] Silva, S.P., Sabino, M.A., Fernandes, E.M., Correlo, V.M., Boesel, L.F., Reis, R.L. (2005). Cork: properties, capabilities, and applications. *International Materials Reviews*, 50(6):345–365.
- [17] Mano, J.F. (2002). The viscoelastic properties of cork. *Journal of Materials Science*, 37(2):257–263.
- [18] Anjos, O., Rodrigues, C., Morais, J., Pereira, H. (2014). Effect of density on the compression behavior of cork. *Materials & Design*, 53:1089–1096.
- [19] Pereira, H., Graca, J., Baptista, C. (1992). The Effect of Growth Rate on the Structure and Compressive Properties of Cork. *IAWA Bulletin*, 13(4):389–396.
- [20] Pereira, H. (1998). The caliber and porosity as parameters of the technological quality of cork in plank. *Revista Florestal*, 2(XI), 46–50.
- [21] Gibson, L.J. (2005). Biomechanics of cellular solids. *Journal of Biomechanics*, 38:377-99.
- [22] Pereira, S.C., Soares, G.A.M., Oliviera, A.C., Rosa, M.E. (2006). Effect of fungal colonization on mechanical performance of cork. *International Biodeterioration and Biodegradation* 57(4): 244-250.
- [23] Faria, D.P., Fonseca, A.L., Pereira, H., Teodoro O.M.N.D. (2011). Permeability of cork to gases. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 59(8):3590–3597.
- [24] Lequin, S., Chassagne, D., Karbowiak, T., Simon, J.M., Paulin, C., Bellat, J.P. (2012). Diffusion of oxygen in cork. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 60(13):3348–3356.
- [25] Abenojar, J., Barbosa, A.Q., Ballesteros, Y., Martinez, M.A. (2014). Effect of surface treatments on natural cork: surface energy, adhesion, and acoustic insulation. *Wood Science and Technology*, 48:207–224.
- [26] Garcia, A., Anjos, A., Iglesias, C., Pereira, H., Martínez, J., Taboada, J. (2015). Prediction of mechanical strength of cork under compression using machine learning techniques. *Materials & Design*, 82:304–11.
- [27] Gameiro, C.P., Cirne, J. (2007). Dynamic axial crushing of short to long circular aluminum tubes with agglomerate cork filler. *International Journal of Mechanical Sciences*, 49:1029–37.
- [28] Paulino, M., Teixeira-Dias, F. (2011). An energy absorption performance index for cellular materials – development of a side-impact cork padding. *International Journal of Crashworthiness*, 16:135–53.
- [29] Fernandes, F.A.O., Tavares, J.P., Alves de Sousa, R.J., Pereira, A.B., Esteves, J.L. (2014). Manufacturing and testing composites based on natural materials. *Procedia Manufacturing*, 13:227–34.

- [30] Fernandes, F.A.O., Pascoal, R.J.S., Alves de Sousa, R.J. (2014). Modelling impact response of agglomerated cork. *Materials & Design*, 58:499–507.
- [31] Ptak, M., Kaczynski, P., Fernandes, F.A.O. (2017). Assessing impact velocity and temperature effects on crashworthiness properties of cork material. *International Journal of Impact Engineering*, 106:238–48.
- [32] Castro, O., Silva, J.M., Tessaleno, D., Silva, A., Gil, L. (2009). Cork agglomerates as an ideal core material in lightweight structures. *Materials & Design*, 31:425–432.
- [33] Kaczynski, P., Ptak, M., Wilhelm, J., Fernandes, F.A.O., Alves de Sousa, R.J. (2019). High-energy impact testing of agglomerated cork at extremely low and high temperatures. *International Journal of Impact Engineering* 126:109-116.
- [34] Moreira, R.A.S., Dias Rodrigues, J.F. (2010). Static and dynamic characterization of composition cork for sandwich beam cores. *Journal of Materials Science*, 45(12):3350–3366.
- [35] Gil, L. (2007). Cork as a building material. Technical manual. Associação Portuguesa da Cortiça.
- [36] Gil, L., Moiteiro, C. (2003). Cork. In Ullmann’s Encyclopedia of Chemical Technology.
- [37] Hoff, N.J., Mautner, S. E. (1944). Sandwich construction, *Aeronautical Engineering Review*.
- [38] Hildebrand, M. (1996). A comparison of FRP-sandwich penetrating impact test methods. Espoo: VTT publications 281.
- [39] Christopherson, J., Mahinfalah, M., Jazar, G., Aagaah, M. (2005). An investigation on the effect of small mass impact on sandwich composite plates. *Composite Structures*, 67(3):299–306.
- [40] Amorim Cork Composites. Available: https://amorimcorkcomposites.com/media/1095/brochura-aerospace_en_digital.pdf
- [41] Amorim Cork Composites. Available: www.amorimcorkcomposites.com/en-us/about-us/news/ablative-thermal-solution-p50-in-next-generation-launch-rockets/
- [42] Amorim Cork Composites. Available: www.amorimcorkcomposites.com/en-us/materials-applications/aerospace/
- [43] Drescher, O., Hörschen-Eggers, M., Pinaud, G., Podeur, M. (2017). Cork based thermal protection system for sounding rocket applications-development and flight testing. 23rd ESA Symposium, Sweden.
- [44] New Atlas. Available: <https://newatlas.com/aerocork-sustainable-aircraft-materials/15649/>
- [45] Marques, E.A.S., Silva L.F.M., Banea M.D., Carbas R. (2015). Adhesive joints for low and high temperature use: an overview. *Journal of Adhesion*, 91:556-85.

- [46] Bouilly, J.M., Francine Bonnefond, F., Dariol F., Jullien P., Leleu F. (2006). Ablative thermal protection systems for entry in Mars atmosphere. A presentation of materials solutions and testing capabilities. In: Proceedings of 4th international planetary probe workshop, pasadena, California, USA.
- [47] Triantou, K., Perez, B., Marinou, A., Florez, S., Mergia, K., Vekinis, G., Barcena, J., Rotarmel, W., Zuber, C., Montburn, A. (2016). Performance of cork and ceramic matrix composite joints for re-entry thermal protection structures. *Composites Part B: Engineering*, 108:270-278.
- [48] NASA, Available: <https://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/multimedia/tps-on-lvsa.html>
- [49] Amorim Cork Composites. Available: <https://amorimcorkcomposites.com/en/about-us/news/cork-on-mission-to-mars/>