



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Arvydas Dranseika

Kompozitinių medžiagų naudojamų motorlaivių gamybai,
mechaninių savybių tyrimas

Baigiamasis bakalauro projektas

Vadovas

Doc. dr. Paulius Griškevičius

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Kompozitinių medžiagų naudojamų motorlaivių gamybai,
mechaninių savybių tyrimas

Baigiamasis bakalauro projektas

Transporto priemonių inžinerija (612E20001)

Vadovas

Doc. dr. Paulius Griškevičius

(data)

Recenzentas

Doc. dr. Ramūnas Skvireckas

(data)

Projektą atliko

Arvydas Dranseika

(data)

KAUNAS, 2015

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Suderinta:

.....
2015 m. vasario mėn. 6 d.

UNIVERSITETINIŲ PIRMOSIOS PAKOPOS STUDIJŲ BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS

Studijų programa: TRANSPORTO PRIEMONIŲ INŽINERIJA

Universitetinių pirmosios pakopos studijų, kurias baigus įgyjamas bakalauro kvalifikacinis laipsnis, baigiamasis darbas yra taikomojo ar tiriamojo pobūdžio projektas, kuriam atlikti ir apginti skiriama 12 kreditų. Šiuo projektu studentas parodo, kad yra sukaupęs pakankamai žinių, yra įgijęs pakankamai gebėjimų ir turi pakankamą pasirinktos studijų krypties analitinio ar projektavimo darbo patirtį. Baigiamuoju projektu bei jo gynimu studentas parodo savo kūrybingumą, socialinės bei komercinės aplinkos, teisės aktų ir finansinių galimybių išmanymą, informacijos šaltinių paieškos ir jų analizės įgūdžius, gilų nagrinėjamos temos supratimą, projektavimo ir inžinerinės analizės įgūdžius, informacinių technologijų naudojimo ir rašytinio bendravimo, taisyklingos kalbos vartosenos įgūdžius, gebėjimą tinkamai formuluoti išvadas.

Išduota studentui	<i>Arvydui Dranseikai</i>
1. Darbo tema:	<i>Kompozitinių medžiagų naudojamų motorlaivių gamybai, mechaninių savybių tyrimas. Analizis of mechanical properties of composite materials useable for raceboats.</i>
Patvirtinta 2015 m. gegužės mėn. 11 d. dekanų įsakymu Nr. ST17-F-11-1 _____	
2. Darbo tikslas	<i>Parinkti tinkamiausias kompozitines medžiagas bei formavimo būdą sportinio laivo gamybai.</i>
3. Darbo uždaviniai ir struktūra	Išanalizuoti kompozitinių medžiagų įvairovę bei kompozitinių medžiagų formavimo būdus. Išnagrinėti tarptautinės motorlaivių federacijos reikalavimui laivo korpuso konstrukcijai. Atlikti bandymus su medžiagomis naudojamomis laivų gamybai. Atlikti laivo konstrukcijos stiprumo skaičiavimus.
4. Reikalavimai ir sąlygos	Bandiniai ir bandymo sąlygos mechaninių savybių nustatymui turi atitikti LST EN ISO 527-4 ir pagal LST EN ISO 14125 reikalavimus. Skaitinis modelis ir skaičiavimai turi būti atlikti naudojantis programa Solid Works ir jos priedais.
5. Užduoties išdavimo terminas	<u>2015-02-06</u> (data)
6. Darbo pateikimo (gynimui) terminas	<u>iki 2015-05-29</u> (data)
Užduotį gavau:	_____ (studento vardas, pavardė, parašas) (data)
Vadovas:	_____ (pareigos, vardas, pavardė, parašas) (data)

Dranseika, A. Baigiamojo projekto pavadinimas. Kompozitinių medžiagų mechaninių savybių tyrimas naudojamų motorlaivio gamybai/ vadovas doc. dr. Paulius Griškevičius; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Kaunas, 2015. 43 p.

SANTRAUKA

Šiuo metu kompozitinės medžiagos naudojamos daugelyje žmogaus veiklos sričių. Tai statiniai, automobiliai, laivai, skraidymo aparatai, kosminiai aparatai, prietaisai, sporto ir poilsio įranga, technologiniai įrenginiai. Naujų medžiagų gamyba taip sparčiai vystosi, kad dažnai jų savybių tyrimas atsilieka nuo kūrimo. Darbo objektas: sportinis motorlaivis. Šio darbo metu tiriamos kompozitinių medžiagų mechaninės savybės, atlikus bandymus ir skaičiavimus parinktos medžiagos sportinio motorlaivio gamybai. Taip pat parinktas laivo formavimo būdas.

Darbo metu išanalizuotos tarptautinės motorlaivių federacijos UIM taisyklės laivo konstrukcijai, taip pat ištirtos kompozitinės medžiagos naudojamos laivų gamybai: fanera, stiklo audinys, anglies audinys, aramido audinys, poliesterinė bei epoksidinė dervos. Darbo metu įsigilinta į kompozitinių medžiagų formavimo būdus: rankinis formavimas ir vakuuminis formavimas.

Parinktos tinkamiausias medžiagos laivo gamybai. Parinktas tinkamiausias laivo formavimo būdas. Atliktų tempimo ir lenkimo eksperimentų pagalba nustatytos kai kurių kompozitinių medžiagų mechaninės savybės. Suprojektuota laivo konstrukcija ir atlikti stipruminiai skaičiavimai.

Atlikus rašytinių šaltinių analizę bei atlikus tempimo ir lenkimo bandymus buvo nustatyta, labiausiai tinkanti armuojanti medžiaga, laivo gamybai yra anglies audinys, šis audinys išlaiko didesnes apkrovas nei kitos bandytos armuojančios medžiagos, parinkta epoksidinė derva, nors ji yra brangesnė nei poliesterinė derva, tačiau yra žymiai atsparesnė krūviams. Išnagrinėjus formavimo būdus buvo parinktas vakuuminio formavimo būdas, šio būdo privalumas yra tas, kad formuojant pašalinamas perteklinis dervos kiekis, taip armuojančios medžiagos kiekis gaminyje siekia apie 60% gaminys tampa lengvesnis ir tvirtesnis, nei formuojant rankiniu būdu. Kompiuterinės programos Solidworks pagalba suprojektuota laivo konstrukcija ir apskaičiuota, kad parinktos medžiagos tenkina stiprumo reikalavimus.

Raktiniai žodžiai: Kompozitinės medžiagos, armuojanti medžiaga, vakuuminis formavimas

Dranseika, A. Bachelor project title. Analysis of mechanical properties of composite material useable for raceboats/ guide doc. dr. Paulius Griškevičius; Kaunas university of technology, Faculty of mechanical engineering and design.

Summary

Nowadays composite materials are used very widely in many fields of human activity. This includes buildings, automobiles, ships, aircraft, space vehicles, equipment, sports, recreational equipment, and technological equipment. The new materials are developing so rapidly that often the study of their properties is falling behind. Work object: powerboat. This work will research mechanical properties of composite materials after testing and calculating of chosen material for motor ship building. Also it contains a research about selected building method.

During work analyzed the international federation of powerboat racing UIM book of rules for ships construction as plywood, glass fabric, carbon fabric, polyester and epoxy resins. Also work researches the composite materials forming techniques like hand forming and vacuum molding. Selected the most suitable materials for manufacturing ship and the most suitable materials of forming it. The tensile and bending experiments helped set the mechanical properties of some composite materials. The ship structure was designed and done strength calculations.

After written sources research and performing tensile and bending test was determined most suitable reinforcing material that is the carbon fabric. This fabric retains bigger loads than other tested reinforcing materials. Selected the epoxy resin instead of cheaper polyester resin because it is much more resistant to loads. Examined the forming techniques selected vacuum forming technique the advantage of this approach is that during forming the excess of resin is removed. So reinforcing material amount is about 60 percent that is why the product is stronger and lighter than formed with hands. With help of software SolidWorks designed the ship construction and calculating revealed that selected material meets the strength requirements.

Key word: Composite materials, reinforcing material, vacuum forming.



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

(Fakultetas)

(Studento vardas, pavardė)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Pavadinimas“

AKADEMINIO SAŽNINGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Arvydo Dranseikos**, baigiamasis projektas tema „ *Kompozitinių medžiagų mechaninių savybių tyrimas naudojamų motorlaivio gamybai*“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

TURINYS

Įvadas.....	8
1. PATENTINĖS IR REFERTINĖS MEDŽIAGOS APŽVALGA BEI ANALIZĖ.....	10
1.1 Bendrosios tarptautinės motorlaivių sporto federacijos UIM reikalavimai GT klasės laivo korpuso konstrukcijai.....	10
1.2 Esamų armuojančių medžiagų apžvalga.....	10
1.2.1 Anglies pluoštai.....	10
1.2.2 Stiklo pluoštai.....	12
1.2.3 Aramido pluoštai.....	16
1.2.4 Fanera.....	18
1.3 Dervos.....	18
1.3.1 Poliesterinė derva.....	19
1.3.2 Epoksidinė derva.....	20
1.4 Formavimo būdų apžvalga.....	20
1.4.1 Rankinis formavimo būdas.....	20
1.4.2 Vakuuminis formavimas.....	23
2. EKSPERIMENTINĖ DALIS.....	25
2.1 Bandiniai.....	25
2.2 Tempimo bandymas.....	25
2.3 Lenkimo bandymas.....	31
3. LAIVO KORPUSO PROJEKTAVIMAS IR STIPRUMINIS SKAIČIAVIMAS	38
3.1 Laivo korpuso principinės schemos.....	38
3.2 Detalių sujungimo parinkimas.....	39
3.3. Stipruminiai laivo korpuso skaičiavimai.....	39
DARBO IŠVADOS.....	42
Literatūros sąrašas.....	43
Priedai	
P-1 Laivo bendro vaizdo brėžinys.....	44

IVADAS

Šiuo metu kompozitinės medžiagos naudojamos daugelyje žmogaus veiklos sričių. Tai statiniai, automobiliai, laivai, skraidymo aparatai, kosminiai aparatai, prietaisai, sporto ir poilsio įranga, technologiniai įrenginiai. Naujų medžiagų gamyba taip sparčiai vystosi, kad dažnai jų savybių tyrimas atsilieka nuo kūrimo. Todėl labai svarbu žinoti kompozitinių medžiagų komponentų savybes, kaip kompozito savybės priklausys nuo jų sudarančių komponentų savybių bei kompozitų gamybos būdų. Išmanant šiuos dalykus, galima numatyti, kaip būtų galima pagaminti reikiamų savybių medžiagą.

Kompozitinės medžiagos gali būti gaunamos iš labai įvairių pradinių medžiagų. Didžiausią dalį tarp visų kompozitinių medžiagų užima polimeriniai kompozitai.

GT-30 ir GT-15 klasės yra smarkiai populiarėjančios visame pasaulyje, nes laikui bėgant motorlaivių sportas žengia ir į taršos mažinimo kelią, šiose klasėse naudojami keturtakčiai varikliai kurie mažiau teršia aplinką, kelia mažiau garso. Varklis montuojamas laivo korpuso gale. GT-30 klasės laivams naudojami 30 arklio galių keturtakčiai, pakabinami valčių varikliai, GT-15 klasės laivams naudojami 15 arklio galių keturtakčiai pakabinami valčių varikliai. GT- 15 klasė yra skirta vaikams nuo 10 iki 16 metų. GT-30 klasėje gali dalyvauti sportininkai nuo 14 metų.

Laivo konstrukcija parenkama atsižvelgiant į tarptinės motorlaivių federacijos (toliau UIM) taisyklėse nurodomus reikalavimus.

Nagrinėjamas laivo korpusas yra GT-30 klasės (1 pav.) , tačiau jį galima naudoti ir GT-15 klasėje, nes laivo konstrukcijos reikalavimai yra vienodi abiejų klasių laivams, tik skiriasi laivo su varikliu ir pilotu bendro svorio minimalūs reikalavimai.



1pav. Nagrinėjamas laivas.

Kadangi laivo konstrukcija yra atitinkanti UIM reikalavimus šio darbo tikslas parinkti labiausiai tinkamas kompozitines medžiagas ir labiausiai tinkamą kompozitinių medžiagų formavimo būdą, tokios kategorijos laivo gamybai.

Šio darbo tikslas, pritaikius universitete įgautas žinias bei žinias įgautas profesinės praktikos metu, yra ištirti kompozitinių medžiagų mechanines savybes, parinkti tinkamiausias medžiagas laivo gamybai bei gamybos būdą. Taip pat remiantis UIM taisyklėmis suprojektuoti laivo korpusą tinkantį klasėms GT-30 ir GT-15 laivams.

1. PATENTINĖS IR REFERTINĖS MEDŽIAGOS APŽVALGA BEI ANALIZĖ

1.1 Bendrosios tarptautinės motorlaivių sporto federacijos UIM reikalavimai GT klasės laivo korpuso konstrukcijai

Korpuso tipas- vienkorpūsis. Korpusas negali turėti papildomų aerodinaminių dalių kurios padėtų laivą pakelti virš vandens.

Tuneliai, laivai su povandeniniais sparnais ar kitos dalys ant korpuso dugno, kurios gali didinti oro slėgį po laivu, yra draudžiami. Leidžiama montuoti laivo korpuse peleką vienoje laivo pusėje dėl vairavimo stabilumo, maksimalus peleko ilgis 250mm. Balastas leidžiamas korpuso viduje, tačiau balastui draudžiama naudoti vandenį.

Korpuso ilgis nemažesnis kaip 3,50m; minimalus laivo plotis 1,35m. Minimalus svoris su pilotu klasėje GT-30 yra 250kg, klasėje GT-15 minimalus svoris 210kg. Kokpito minimalus kokpito gylis 0,40m.

Betkokie įtaisai, galintys padėti staigiai stabdyti, sukulentys didelius vandens purslus, kurie pablogintų matomumą, yra draudžiami.[2]

1.2 Esamų armuojančių medžiagų apžvalga.

Armuojančiosioms medžiagoms (AM) naudojamos įvairios medžiagos. Vienos jų tinka visų tipų matricoms, kitos — tik kai kurioms. Tai priklauso ne tik nuo armuojančiosios medžiagos savybių, bet ir nuo matricai naudojamos medžiagos savybių.

1.2.1 Anglies pluoštai

Anglies pluoštai (C pluoštai) yra labai standūs ir mažo tankio, todėl sėkmingai konkuruoja su plienu. Terminės C pluoštų savybės yra išskirtinės. Jeigu jie apsaugoti nuo oksidacijos esant aukštesnei kaip 1000 °C temperatūrai, jie yra atsparūs net iki 2000 °C. Dar aukštesnėje temperatūroje jie suyra. Esant vidutinei temperatūrai C pluoštai turi labai mažą terminio plėtimosi koeficientą, o kai kuriais atvejais jo vertė yra net neigiama. Dėl šitų savybių C pluoštai tinka kompozitams, iš kurių pagamintų detalių matmenys turi nesikeisti iki 300 °C temperatūros. C pluoštai yra chemiškai inertiški, atsparūs korozijai ir oksidacijai esant žemesnei negu 1000 °C temperatūrai, labai atsparūs savo savybės varginimui; šias pluoštai perduoda kompozitams. Yra laidūs elektrai, todėl jie tinka naudoti kompozitams, kurių paviršiuje neturi kauptis elektros krūvis. Vienas C pluoštų trūkumas — jie yra

brangūs, todėl kompozitai su stiklo pluoštu naudojami karinėje aviacijoje, laivyboje, sporto inventoriaus gamybai. Anglies audinys pavaizduotas (1.1 pav)



1.1 pav. Anglies audinys[9]

C pluoštų sandara ir savybės priklauso nuo jų gamybos būdo. Yra skiriami trys C pluoštų gamybos būdai (skirstant pagal žaliavas) — iš celiuliozės, poliakrilnitrilo (PAN) ir mezofazinės dervos. Šiuo metu iš celiuliozės C pluoštas negaminamas dėl didelės celiuliozės pavertimo į anglį ar grafitą savikainos.

C pluoštuose gali būti įvairus grafito kiekis. Nuo grafito sandaros priklauso C pluoštų savybės. Grafitas yra sluoksninė anizotropinė medžiaga, laidus elektrai lygiagrečiai su pagrindu kryptimi. Grafito gardelė heksagoninė, joje šešiakampiai sudaro stirtas pagrindo kryptimi ir sluoksnius statmena pagrindu kryptimi. Lygiagrečiai su pagrindu kryptimi grafitas yra labai stiprus, o statmena kryptimi — labai silpnas.

Anglies pluošto paviršiaus apdorojimu siekiama:

- padidinti pluošto ir matricos sąveikos stiprumą;
- apsaugoti pluošto paviršių nuo pažeidimų;
- padidinti pluošto slidumą;
- suteikti antistatinių savybių.

Paviršius gali būti ruošiamas skirtingai, tai priklauso nuo to, koku būdu bus gaminamas kompozitas. Pavyzdžiui, vejant gijas pluošto kuokštas turi neišsiskaidyti, nes kitaip nebus galima

atlikti tam tikrų operacijų. Todėl reikia pluoštą apdoroti taip, kad tarp atskirų gijų veiktų stiprios jėgos. Tačiau dažniausiai siekiama sustiprinti sąveiką tarp armuojančios medžiagos ir matricos medžiagos.

Apdorojimas, kuriuo norima padidinti sąveikos stiprumą, gali būti labai įvairus. Dažniausiai atliekamas oksidacinis apdorojimas. Taip pat taikomi kiti apdorojimo būdai, kurių dėka anglies pluošto paviršiuje susidaro chemiškai reaktyvios funkcinės grupės arba pluoštas pasidengia medžiagų pasižyminčių gera adhezija tiek pluoštui, tiek matricai, sluoksniu. Norint tai pasiekti, pluoštas veikiamas plazma, dujomis ar tirpalais. [2]

1.2.2 Stiklo pluoštai

Stiklo pluoštas armavimui naudojamas verpalų pusverpalių ir kuokštelių pavidalo. Gaminant stiklo pluoštą pirmiausia iš stiklo lydalo tempiamos gijos. Stiklo žaliavos sumaišomos, išlydomos lydymo vonioje ir lydalą spaudžiant per filjeres gaunamos pluošto gijos. Jos paskui mechaniškai tempiamos, grūdinamos, surenkamos į gniūžtes ir glituojamos. Glituotos gijos kompaktiškesnės. Stiklo pluošto gijų gniūžtės vadinamos strengais. Jie verpiami ir kondicionuojami — gaunamas galutinis produktas verpalai. Gaminant pusverpalius ir kuokštelių, per filjeres išėjusios gijos pratempiamos ir sutraukomos oro srautu 20-40 cm ilgio siūlus, iš kurių ant besisukančio būgno padaromos gniūžtės. Kondicionuotos arba išdžiovintos gniūžtės tinka galutiniam produktui — pusverpaliams arba kuokšteliams. Pagal pluošto skersmenį stiklo pluoštas žymimas raidėmis.

Stiklo pluošto žymėjimas ir pluošto skersmuo 1.1 lentelė.[1]

Žymėjimas	Skersmuo, μm
B	3,8
C	5,4
D	5
DE	6
E	7
G	9

Pluoštas dar žymimas pagal stiklo, iš kurio gaunamas, sudėtį ir savybes:

- A - labai šarmiškas stiklas, naudojamas chemiškai atspariam pluoštui gauti;
- AR - šarmams atsparus stiklas;
- C - stiklas, turintis daug natrio boro silikatų, chemiškai atsparus;
- D - stiklas, pagamintas iš mažos dielektrinės skvarbos kompozicijos;
- E - mažai šarmiškas stiklas, kuriame yra aliuminio boro silikato, dažniausiai naudojamas tekstiliniam stiklo pluoštui gaminti;

- ECR-kalcio aliumosilicatinis stiklas, pasižymintis stiprumu, elektroizoliacinėmis savybėmis ir atsparumu rūgštims;
- R - kalcio aliumosilikatinis stiklas, stiprus ir atsparus rūgštims;
- S-2 -stiklas, pagamintas iš magnio ir aliuminio silikatų, vienas stipriausių - stipris maždaug 40% didesniu negu E stiklo;
- Tuščiaviduris pluoštas-naudojamas ten, kur reikia lengvos armuojančiosios medžiagos, pavyzdžiui aviacijoje.[1]

Stiklo pluošto savybės visų pirma priklauso nuo stiklo sudeties ir jo gamybos metu naudotos temperatūros bei jos kitimo. Stiklo pluošto pagrindinės savybės.

Didelis stipris tempiant. Stiklo pluošto stipris tempiant yra didžiausias iš visų tekstilinių pluoštų. Savitasis stiklo pluošto stipris (stiprio tempiant ir tankio santykis) yra didesnis negu tokio pat skersmens plieno vielos.

Atsparumas šilumai ir ugniai. Stiklas yra neorganinės kilmės medžiaga, jis nedega ir nepalaiko degimo. Dėl aukštos lydymosi temperatūros stiklą galima naudoti esant aukštai temperatūrai.

Atsparumas drėgmei. Stiklo pluoštas nekaupia drėgmės, todėl jos veikiamas nebrinksta, nesideformuoja ir nesuyra.

Terminės savybės. Stiklo pluoštas turi mažą šiluminės plėtros koeficientą ir dideli šilumos laidumo koeficientą, todėl jis tinka naudoti aukštesnėje temperatūroje, ypač jei reikia, kad šiluma greitai išsisklaidytų.

Elektrinės savybės. Stiklo pluoštas nelaidus elektros srovei, todėl jis yra geras izoliatorius. Ši savybė ypač svarbi, kai reikia didelio elektrinio atsparumo ir mažos dielektrinės skvarbos. Stiklo pluoštų pagrindinės fizikinės savybės ir patvarumas pateikti 1.2 lentelėje.

Stiklo pluoštų fizikiniai ir patvarumo rodikliai.1.2. lentelė.[1]

Rodiklis	Pluošto rūšis							
	A	AR	C	D	E	ECR	R	S-2
Tankis, g/cm ³	2,44	2,70	2,52	2,11-2,14	2,58	2,72	2,54	2,46
Lūžio rodiklis	1,538	1,562	1,533	1,465	1,558	1,57	1,546	1,521
Minkštėjimo temperatūra, °C	705	773	750	771	846	882	952	1056
Stipris temptiant 196 °C, MPa			5380		5310	5310		8275
Stipris temptiant 23 °C, MPa	331	3241	3310	2415	3445	3445	4135	4890
Stipris temptiant 371 °C, MPa					2620	2165	2930	4445
Stipris temptiant 538 °C, MPa					1725	1725	2140	2415
Tampros modulis 23 °C, GPa	68,9	73,1	68,9	51,7	72,3	80,3	85,5	86,9
Tampros modulis 538 °C, GPa					51,3	81,3		88,9

Armavimui gati būti naudojami stiklo pluošto pusverpaliai, audiniai iš pusverpalių, veltiniai, tekstiliniai ir tekstūruoti verpalai, audiniai.

Stiklo pluošto pusverpaliai yra ištisinių ir lygiagrečių gijų arba gniūžčių sutankinta sluoksnelė. Pusverpaliai dažniausiai gaminami iš G arba K pluošto, nors gali būti naudojamas ir storesnis pluoštas.

Audiniai iš pusverpalių naudojami tiems kompozitams, iš kurių bus daromi didelio ploto ir storasluoksniai gaminiai, pavyzdžiui, valčių korpusai. Audiniai yra reto pynimo ir gali būti įvairaus ilginio tankio (0,407-1,356 kg/m²) bei storio (0,51-1,02 mm). Iš šių audinių, įmirkytų reaktoplastinėje poliesterinėje matricoje, gaminius galima daryti rankinio klojimo būdu.

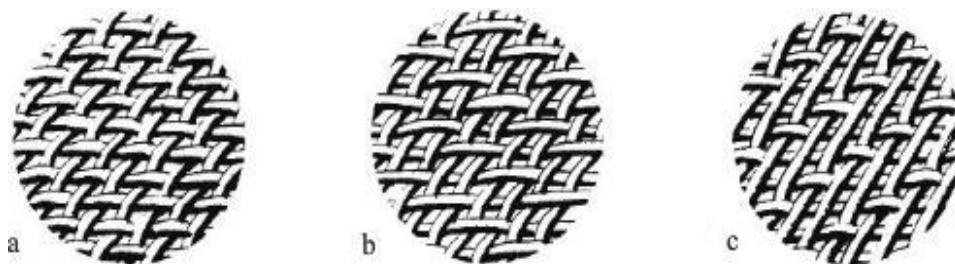
Veltiniai gaminami iš kapoto pluošto, ištisinio pluošto ir dekoratyviniai. Kapoto pluošto veltiniai yra neaustinės medžiagos, kurių kuokštelių ilgis 25,4-50,5 mm. Pluošto orientacija juose atsitiktinė, ilginis tankis 0,229-0,916 kg/ m², storis 50,8-1930,4 mm. pluošto veltiniai gaunami sudėjus pluoštą lygiagrečiai ir susukus į spirales. Tokie veltiniai yra tamprūs ir mechaniškai stiprūs, nes pluoštas juose yra persipynęs. Dekoratyviniai veltiniai gaunami veliant ištisinius monoplaukelius. Jie yra labai ploni ir naudojami paviršiniam armuotiems kompozitų sluoksniams gauti.

Tekstiliniai verpalai — siūlai, sudaryti ištiesintų ir tarpusavyje susuktų plaukelių. Šiuos verpalus vėliau galima perdirbti į tekstilines medžiagas. Pagal sukimo kryptį verpalai skirstomi į S ir Z verpalus. S verpaluose sukimo seka yra dešinė viršus kairė, o Z verpaluose — kairė viršus dešinė.

Tekstūruotieji verpalai gaunami oro srautu paveikus tekstilinius verpalus — sukiamas atsitiktinis, bet kontroliuojamas stiklo pluošto plaukelių, esančių verpalų paviršiuje, irimas, ir verpalai

tampa pūkuoti. Pūkuotumas padidina verpalų įgeriamumą. Šios verpalų savybės reikia, kai matricos kiekis kompozite turi būti minimalus.

Stiklo audinio įtaka kompozitui daugiausia priklauso nuo audinio struktūros — persipynimo tankio, verpalų sukrumo, verpalų tankio. Siūlų tankis metmenyse ir atauduose rodo siūlų kiekį 1 cm metmenų arba ataudų kryptimi. Metmenys — išilginių audinio siūlų, kurie pindamiesi su statmenai jiems pratiestais ataudais sudaro audinį, sistema. Yra keletas stiklo pluošto audinių metmenų ir ataudų pynimo būdų, nuo kurių gali priklausyti kompozito savybės.



1.3 pav. Stiklo audinių pynimas: a- drobinis, b- panamos, c- ruoželinis.[1]

Drobinis pynimas yra vienas paprasčiausių visi nelyginiai metmenų siūlai yra pakilę virš vieno ataudų ir nusileidę po kitu ataudu per visą audinį, o visi lyginiai metmenys pinami priešingai nelyginiams. Tokio audinio tankis visur vienodas.(1.3 pav.)



1.3pav. Drobinio pynimo stiklo audinys [7]

Panamos pynimas —metmenys ir ataudai pinami po du ar daugiau siūlų kartu. Tokių audinių tankio vienodumas menkesnis už drobinio pynimo audinių, bet jie yra liaunesni ir lengviau igauna reikiamą formą juos klojant.

Ruoželiais pynimas — pynimas, kurio raportas (mažiausias pasikartojantis audinio pynimo būdo elementas) trys ar daugiau siūlų, jo perdangos sudaro įstrižas linijas audinio paviršiuje. Šis pynimas apibūdinamas trupmena, kurios skaitiklis rodo greta esančių metmenų perdangą, o vardiklis — ataudą skaičių. Šis audinys dar liaunesnis negu anksčiau minėtieji.

1.2.3 Aramido pluoštai

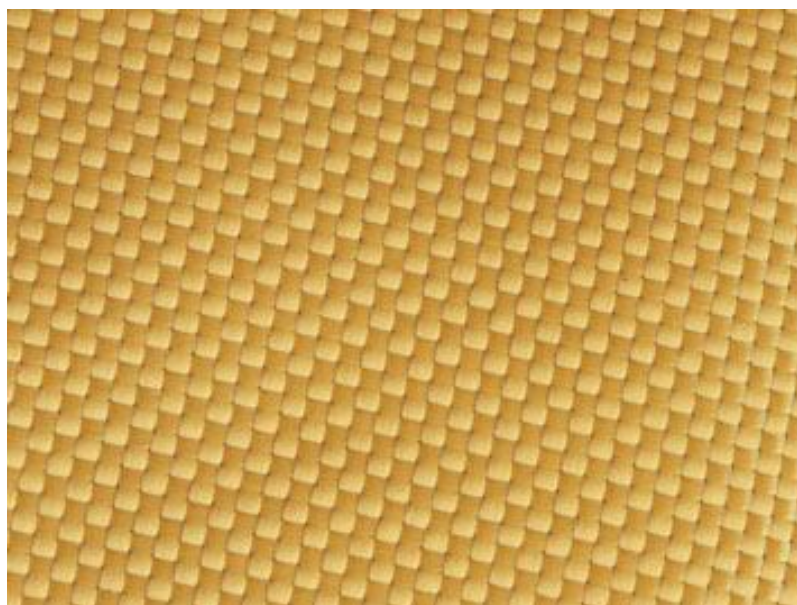
Aramidinis pluoštas yra poliesterinio pluošto rūšis - cheminis pluoštas, gautas iš linijinių poliamidų, kurių pagrindinėje makromolekulės grandinėje ne mažiau kaip 85% amidinių grupių, sujungtų kovalentiniais ryšiais su dviem aromatiniais žiedais.

Daugumos aramidinio pluošto tampros modulis yra 55-125 GPa, o pailgėjimas trūkio metu 1,5-4,5%, tačiau kai kurių pluoštų modulis yra 8-12 GPa, o pailgėjimas trūkio metu 20-45%. Šis pluoštas neatsparus lenkimui, susimazgo, todėl nelabai atsparus slėgio apkrovai. Kylant temperatūrai, pluoštas silpnėja, pvz., esant 180 °C aramidinių pluoštų modulis sudaro apie 70-80% modulio, buvusio esant kambario temperatūrai. Žemoje temperatūroje (krio-geninėmis sąlygomis) modulis padidėja, bet nedaug. Drėgmė taip pat silpnina aramidinį pluoštą. Išilgine kryptimi drėgmės poveikis nėra didelis, bet skersine kryptimi, kuria ir taip aramidiniai pluoštai yra gerokai silpnesni negu išilgine, poveikis yra labai didelis. Vandenyje pluošto stipris skersinė kryptimi sumažėja perpus ir daugiau, o išilgine kryptimi siekia apie 80% buvusio sausoje aplinkoje. Todėl šis pluoštas netinka naudoti drėgnoje aplinkoje. Aramidinių pluoštų savybės nekinta ilgą laiką, t.y. jiems būdingas atsparumas nuovargiui.

Aramidinių pluoštų tankis yra apie 1400 kg/m³, todėl jis tinka ten, kur reikia mažos masės gaminių

Paraaramidiniai pluoštai intensyviai sugeria UV spinduliuotę. Apšvitinus šia spinduliuote geltonos arba aukso spalvos pluoštas tampa oranžinis, o paskiaurudas. Tokios spalvos atsiradimas yra pluošto irimo požymis. Pluoštas yra tik deguoninėje aplinkoje, irimas nedidėja esant drėgmės. UV spinduliuote veikiant 4 mėnesius, mechaninis pluošto stipris sumažėja net per pus. Todėl aramidinis pluoštas turi būti apsaugotas nuo UV spinduliuotės poveikio. Tai dažniausiai atliekama padengiant apsauginiu sluoksniu arba dažant pluoštą. Atsparumą UV spinduliuotei galima padidinti tankiai supakavus pluoštą.

Kompozitų gamyboje naudojamas beveik vien tik parapluoštas, kurio prekybinis vardas yra kevlaras (1.4 pav.). Jis naudojamas ten, kur reikia didelio būdingo stiprio kartu su kietumu ir atsparumu slinkčiams. Matricos medžiagos pasirinkimas taip pat svarbus. Epoksidinės dervos geriau priima aramidinį pluoštą negu poliesterinės. Epoksimatricų kompozitams su aramidiniu pluoštu būdingas didesnis šlyties atsparumas, atsparumas lenkimui, bet mažesnis atsparumas smūgiui.



1.4. Armido (Kevlaro) audinys [8]

Vinilesterinė: matricos kompozitai su šiais pluoštais turi didelį šlyties atsparumą ir atsparumą smūgiui. Termoplastinių matricų kompozitai atsparesni smūgiui negu reaktoplastinių matricų kompozitai. Dvi savybės- adhezi ja ir stiprumas- lemia, kaip apkrova, tenkanti kompozitui, bus perduodama paraamidiniam pluoštui. Jeigu matricos modulis mažas, įtempis kompozite persiskirsto taip, kad pavienės pluošto gijos yra apkraunamos nepriklausomai viena nuo kitos. Tokiu atveju pavienės gijos trūkissukelia kitų gijų papildomą apkrovą, ir gijų trūkio eiga įgauna pagreitį. [1]

Labai dažnai naudojamas laivų gamyboje, ypač laivo vietų kur reikalingas didesnis stiprumas bei atsparumas smūgiams yra hybridinis aramido (kevlaro)/anglies audinys (1.5 pav.) , kuris pasižymi abiejų armuojančių medžiagų savybėmis.



1.4 pav. Hybridinis aramido/anglies audinys [8]

Jeigu derva su audiniu parinktos tinkamai visos gijos dirba kaip vienas kūnas, ir audinio stipris tampa didelis.

1.2.4 Fanera

Fanera - lakštinė klijuotos medienos medžiaga, kuri susideda iš keleto (nelyginio skaičiaus, pradedant nuo 3-jų sluoksnių) suklijuotu tarpusavyje lukšto lapų (1.3 pav.). Kad būtų gautas didesnis faneros stiprumas, lukšto lapai klijuojami taip, kad gretimų sluoksnių pluoštas būtų statmenas. Sluoksniai suklijuojami stipriais klijais (dažnai formaldehidinėmis dervomis), smarkiai suslėgus ir aukštoje temperatūroje.[4]



1.3 pav. Daugiasluoksni fanera. [6]

Nuo lukšto kokybės ir rūšies, bei naudojamų klijų, priklauso kam gali būti naudojama bei faneros rūšis.

Faneros rūšys:

- FK
- FSF
- LFSF

FK-Daugiasluoksni fanera beržiniu pagrindu yra ideali medžiaga statybos ir baldų pramonei. Graži natūralaus medžio struktūra ypatingai tinka vidinei ir išorinei apdailai. Mūsų daugiasluoksni faneros aukšto lygio fiziniai ir mechaniniai parametrai, ypatingas ilgaamžiškumas, puikus atsparumas vandeniui ir paviršiaus kietumas yra aukštai vertinami visose pramonės šakose. Daugiasluoksni fanera beržiniu pagrindu pasižymi puikiu atsparumu, standumu, atsparumu vandeniui ir smūginio pobūdžio

poveikiams, lygiu ir patvariu paviršiumi. Šios savybės yra aukštai vertinamos gamyboje, statybos pramonėje, transporto pramonėje, vagonų gamyboje ir kitose pramonės šakose, kuriose keliami specialūs reikalavimai medžiagų atsparumui.

FSF-Fanera FK rūšies klijuojama fenolformaldehydinės klijuojama, jie užtikrina gerą atsparumą drėgmei, dėl to tokią fanerą galima naudoti ne tik viduje, bet ir lauke. Iš jos galima gaminti reklaminius skydus, fasadų apdailą, atitvėrimus, automobilių viduje, įpakavimams bei daugelį kitų vietų reikalaujančių drėgmei atsparių medžiagų. Tokia fanera tinka statybos darbams, klojinių liejimui.

LFSF-aminuota fanera, tai drėgmei atspari fanera, padengta viršutiniu sluoksniu, gali būti: fenolio plėvelė, karboliorūgštimi, melaminoplėvele. Papildomas sluoksnis apsaugo laminuotą fanerą nuo drėgmės patekimo į ją, taip pat gaminiui (perdangoms, klojiniams ir kitiems liejiniais iš cemento) suteikia idealiai lygų paviršių, bet taip pat iš papildomo sluoksnio gali būti suformuotas tinklinis, dviejų tipų raštas. Tokios plokštės dažniausiai naudojamos transporto priemonių remontui bei vidinėms furgonų, konteinerių, šaldytuvų, geležinkelio vagonų apdaila. LFSF fanera yra nekenksminga, lengvai valosi yra higieniška, atspari įvairioms oro sąlygoms bei chemikalams.

1.3 Dervos

1.3.1 Poliesterinė derva

Šios dervos yra pačios populiariausios ir plačiausiai naudojamos. Jos gali būti ortoftalinės, izoftalinės, modifikuotos akrilu, su greitikliu, be greitiklio, skirtingo klampumo, spalvos, reakcijos greičio ir pan.

Tačiau bendrai šios dervos tinkamiausios šioms sritims:

- Valčių, baidarių, jachtų statyba ir remontas.
- Vėjo jėgainių statyba ir remontas.
- Auto dalių gamyba.
- Autovežių gamyba bei remontas.
- Lėktuvų gamyba ir remontas.
- Baseinų, vandens pramogų parkų inventoriaus gamyba ir remontas.
- Laisvalaikio prekių gamyba: riedlentės, jėgos aitvarai, banglentės, rogutės, slidžių lazdos ir kt.
- Buities prekės (dirbtinio akmens gamyba): pjaustymo lentelės, stalviršiai, vonios, kriauklės, dušo kabinų pagrindai ir kt.

Dauguma standartinių poliesterinių dervų yra pagreitintos tikstotropinės ortoftalinės dervos, kurios yra sertifikuotos vandens transporto gamybai. Tačiau tam, kad pagamintas gaminys būtų pilnai

atsparus vandeniui, pagamintą gaminį būtina padengti gelkautu (poliesterio pagrindo dažai), kuris jau yra atsparus vandeniui bei UV spinduliams.

Derva atlieka rišiklio vaidmenį, gaminant stiklo plastiką. Jos dėti reikia nedaug, kad tik persigertų stiklo pluoštas (demblis) ar audinys. Pati iš savęs derva tvirtumo neduoda, stiprumą suteikia armuojanti medžiaga, kuri paprastai būna stiklo, anglies, kevlaro pluoštai. Nepamirškite į dervą įdėti kietiklio, nes ji nesukietės.

Praktiškai visuomet, kai armuojanti medžiaga yra stiklas, gamintojas rinksis rišančiąją medžiagą poliesterinę dervą. Negana to, kad ji yra žymiai pigesnė, bet ir mažiau kenksminga sveikatai. Keista, tačiau nors ir mažiau pavojinga sveikatai, poliesterinė derva skleidžia stipresnę kvapą dirbant, tad būtinai pasirūpinkite tinkama ventiliacija.[5]

1.3.2 Epoksidinė derva

Šios dervos lyginant su poliesterinėm labiau atsparios karščiui, todėl dažnai naudojamos tiems gaminiams, kurie gali įkaisti, pvz. variklio gaubtai, dangčiai ir pan.

Taip pat dėl savo permatomos spalvos (epoksidai paprastai yra skaidrus gelsvos spalvos) epoksidinė derva dažnai naudojama su gražios faktūros anglies pluoštu, kuris dervai sukietėjus atskleidžia puikų gaminio raštą.

Taip pat epoksidinė derva yra atsparesnė didesniems krūviams, todėl naudojama gaminiuose, kurie to reikalauja: pvz. vėjo jėgainės sparnai, slidžių lazdos, sportiniai laivai ar bolidai.

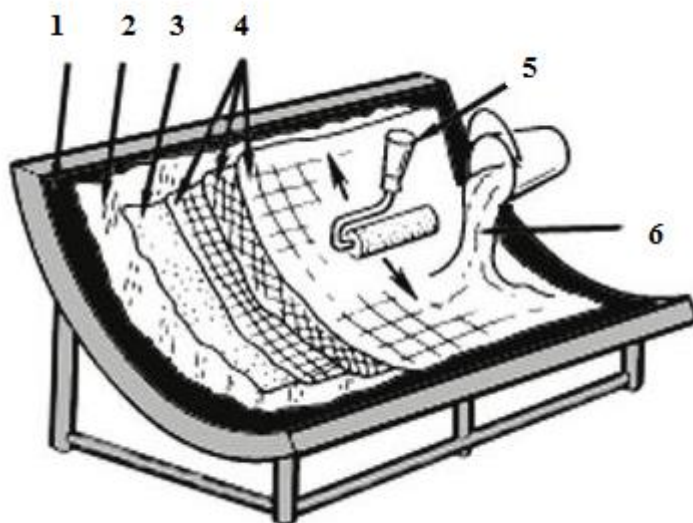
Taip pat yra ir epoksinilinės dervos (chemiškai labai atsparios), DCPD (diciklopentadijono), PET dervos (iš antrinių žaliavų gamintos) ir daugybė kitų, kurios pritaikomos atskirai pagal kiekvieno kliento specifinius poreikius. Šiuo metu baigiama išdirbti ir „žaliąsias“ dervas, kurios bus beveik nekenksmingos, tačiau šiuo metu jos yra dar per brangios rinkai.[5]

1.4 Formavimo būdų apžvalga

1.4.1 Rankinis formavimo būdas

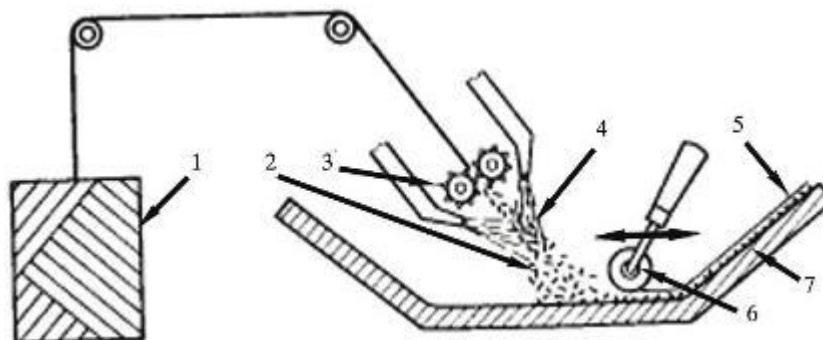
Šiuo metodu gaminant PMK, beformis niošinys dedamas į formą, kurioje sukietėja ir įgauna jos kontūrus (1.6 pav.). Formos dažniausiai yra gaminio kontūro negatyvai ir būna padegtos pigmentuota poliesterine derva, kuri ant gaminio sudaro plėvelę. Ruošinys susideda iš stiklo, anglies ar aramidinio pluošto, paskirstyto epoksidinėje, poliesterinėje arba vinilesterinėje dervoje kartu su iniciatoriumi. Išėmus gaminį, jo išorė būna padengta plonu polimeriniu sluoksniu — geldanga (angl. gelcoat). Procesas gali būti atliekamas dviem būdais: liejamuoju ir purškiamuoju. Gaminant 1-ju būdu formos paviršius padengiamas derva, paskui AM, kuri gali būti stiklo pluoštas, jo verpalai, pusverpaliai,

kuokšteliai ar audinys. Paskui dengiamas dervos sluoksnis, jis sutankinamas voleliais kartu pašalinant oro burbuliukus. 2-asis būdas gali būti naudojamas kuokštelinėms AM, kurios išmaišomos dervoje su iniciatoriumi, ir šis mišinys užpuršleiamas ant formos lizdo. Pirmoji rankinio liejimo atviroje formoje pakopa yra formos lizdo padengimas antiadheziniu sluoksniu, nes be jo gaminys prilips prie formos. Kokią antiadhezinę medžiagą pasirinkti, priklauso nuo norimo gaminio paviršiaus lygumo, ar bus dažomas šis paviršius. Antiadheziniam sluoksniui sudaryti dažniausiai naudojami alkanai, polivinilo alkoholis, fluorangliavandeniliai, silanai, siloksanai, antiadhezinės plėvelės, vidiniai antiadheziniai priedai. Naudojant alkanus gaunamas blizgus paviršius, gaminys atkartoja formos kontūrus, nereikia lizdo iš naujo dengti prieš kito gaminio ruošimą. Naudojant polivinilo alkoholi galima gauti lengvai dažomus paviršius, bet lizdas turi būti dengiamas kiekvieną kartą prieš kito gaminio ruošimą. Vidiniai antiadheziniai priedai padaro paviršių blizge, lengvai dažoma, lizdo nereikia dengti antiadheziniu sluoksniu, gaminys gerai atkartoja lizdą. Jeigu dengiamas antiadheziniu sluoksniu, ši sluoksni reikia poliruoti. Antroje pakopoje padengiamas derva su mineraliniais užpildais ir pigmentais. Iš jos susidarogaminio geldanga. Paskui klojama AM, kuri dengiama derva su iniciatoriumi. Derva apdorojama voleliais, kad ji pasidarytų tankesnė ir pasišalintų oras.



1.5 pav. Rankinis liejamasis formavimas: 1 — formos lizdas, 2 — antiadhezinis sluoksnis, 3 — išorinis gaminio sluoksnis, 4 — armuojančioji medžiaga, 5 — volelis, 6 — derva su iniciatoriumi. [1]

Gaminant rankiniu purškiamuoju (1.7 pav.) būdu pluoštas kapojamas, maišomas su derva, kurioje yra iniciatoriaus, ir mišinys užpurškiamas ant formos lizdo. Gautas sluoksnis apdorojamas voleliais. AM koncentracija dervoje 20-40%. Dažniausiai naudojamos greitai kietėjančios dervos, kurių kietėjimo trukmė 30-40 minučių. Taip pat dervoje gali būti 5-25% užpildų. Dažniausiai naudojami užpildai yra kalcio karbonatas ir aliuminio hidroksidas. [1]



1.6 pav. Rankinis purškiamasis formavimas: 1 — pusverpaliai, 2 — kuokšteliai ir derva su iniciatoriumi, 3 - smulkintuvas, 4 - derva su iniciatoriumi, 5 - sutankintas sluoksnis, 6 — volelis, 7 - forma[1]

Tokios gamybos privalumai:

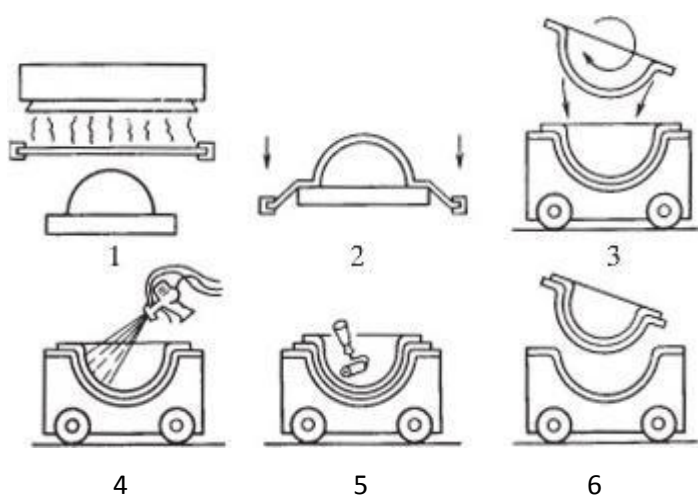
- universalumas;
- galimybė gauti didelių ir sudėtingų kontūrų gaminius;
- minimalios sąnaudos įrengimams ir personalo mokymui;
- formos lizdui tinka bet kuri medžiaga, išsauganti savo formą;
- galimybė į gaminį įdėti papildomas detales;
- galimybė gauti sluoksniuotus gaminius — laminatus;
- greitai galima persiorientuoti į kitokio reljefo gaminių paruošimą.

Trūkumai:

- didelis rankinio darbo kiekis, menkas našumas;
- gaminiai turi lygų paviršių tik iš vienos pusės;
- gaminio kokybė labai priklauso nuo formuotojo sugebėjimų;
- ilga kietinimo trukmė;
- sunku gauti vienodo storio gaminius;
- daug atliekų.

1.4.2 Vakuuminis formavimas

Paprastuoju vakuuminio būdu formuojama taip: lakštinis termoplastikas kaitinamas kol suminkštėja, paskui jis formuojamas vakuume (arba veikiant slėgiu) jį ištempiant pagal formą ir atvėsinant. Gautas reikiamos formos pusgaminis dedamas laikiklius, jo vidinė pusė užpurškiama dervos ir kuokštelių mišiniu, sutankinama voluojant. Derva turi gerai sukibti su termoplastiku. Sukietėjus dervai, susidaro sluoksniuotasis kompozitas, kurio išorinis sluoksnis yra iš termoplastinės medžiagos. Termoplastikai dažniausiai būna iš polimetilmetakrilato, polikarbonato, polivinilchlorido, o dervos — dažniausiai polistirenesterinės.[1]



1.8 pav. Vakuuminis formavimas: 1 — termoplastinio lakšto kaitinimas, 2 — formos suteikimas, 3 — pusgaminio dėjimas į laikiklius, 4 - užpurškimas derva su anuojančiuja kuokšteline medžiaga, 5 — tankinimas ir kietinimas, 6 — išėmimas.[1]

Formavimui su elastinga diafragma naudojami prepregai, pagaminti anglies, stiklo, organinio pluošto epoksidinėje dervoje, termooreaktyviuosiuose poliimiduose, cianatiniuose esteriuose, bismaleinimiduose. Prepregai laikomi šaldiklyje, o išimti iš jo — kambario temperatūroje, kad iš lėto sušiltų. Paskui supjaustomi reikiamos formos ir dydžio gabalais. Tokie sluoksniniai ruošiniai, vadinamosios laminos, klojami į formos lizdą, prieš tai padengtą tam tikra medžiaga ar mišiniu, kad gaminys (lamina) lengvai atsiskirtų nuo formos lizdo. Laminos sudedamos reikiama tvarka ir norima AM orientacijos kryptimi, suslegiamos voleliais, kad tarp sluoksnių neliktų oro tarpų. Sudėjus ir suspaudus prepregus, surenkama įranga, ant visų klojinių viršaus dengiamas tam tikras adheziją mažinančios medžiagos sluoksnis, kuris palengvina gaminio atskyrimą nuo kitų sluoksnių. Tolesnių darbų seka tokia: dedamas poringas audinys, kuris sugeria drėgmę ir matricos medžiagos perteklių, paskui — barjerinis sluoksnis (neporinga medžiaga) ir galiausiai — paskutinis poringo audinio sluoksnis, kad slėgio jėga pasiskirstytą apie visą ruošinį ir kartu galėtų per jį prasiskverbti išsiskyre lakūs produktai. Ant viršaus dedama elastingos diafragmos plėvelė, dažniausiai iš poliamido arba

elastomero, silikoninio kaučiuko. Ši plėvelė tarsi gaubtas užsandarina visą ruošinį. Jeigu forma pagaminta iš poringos medžiagos, forma plėvele apgaubiama iš visų pusių. Gaubte yra vakuumavimo anga vakuuminiam siurbliui prijungti. Vakuuumavimo metu gaubto viduje mažesnis slėgis negu jo išorėje, todėl ruošinys, veikiamas atmosferos slėgio, įgauna reikiamą formą ir sutankėja. Kad būtų galima reguliuoti temperatūrą, dažniausiai visa forma dedama į autoklavą. Kokioje temperatūroje vyks kietinimas, priklauso nuo naudojamų medžiagų. Visas gamybos ciklas trunka 4-5 valandas. Aprašytasis būdas vadinamas autoklaviniu formavimu. Dar yra vakuuminis ir slėgiamasis formavimo būdas. Vakuuminis formavimas — kai kietinama kambario temperatūroje; trukumas — ilga ciklo trukmė. Slėgiamuoju formavimu sutankinama karštomis dujomis (dažniausiai oro arba azoto), kuriomis užpildomas autoklavas. Iš šių 3 būdų mažiausi apribojimai gaminių dydžiui yra formuojant vakuuminį būdą.

Šio kompozitų gamybos būdo pagrindiniai privalumai:

- galima gauti gaminius, kuriuose didelė arnuojančiosios medžiagos (iki 60%) koncentracija;

- galima gaminti labai įvairios formos gaminius;
- galima gaminti labai stiprius ir standžius gaminius.

Pagrindiniai trūkumai

- daug rankų darbo;
- negalima gauti didelių matmenų (gabaritų) gaminių;
- didelė savikaina.

2. EKSPERIMENTINĖ DALIS

2.1 Bandiniai

Bandiniai buvo gaminti vakuuminio formavimo būdu. Pirmiausia buvo pagamintos plokštės, iš kurių buvo pjaustomi bandiniai. Plokščių gamybai buvo naudota plokščia forma, ji buvo išvaškuota sutepama epoksidine derva, toliau klojama armuojanti medžia sutepta derva, medžiagų sluoksnis priklauso nuo to kokį plokštės svorį norima gauti. Sudėjus reikiamą sluoksnių skaičių viskas uždengiama badyta plėvele, ant jos dedama nusausinimo medžiaga šiuo atveju buvo dėta vatina, šios medžiagos paskirtis sugerti perteklinį dervos kiekį. Poto viskas dedama į vakuuminį maišą prijungiama žarna, kurios kitas galas prijungtas prie vakuuminio siurblio. Siurblys traukia orą, ir maišas apspaudžia gaminį, tarp sluoksnių atsiradę oro burbulai pasišalina vakuumo pagalba. Kai derva pilnai sukietėja gaminys išimamas iš vakuuminio maišo ir dedamas į pečių kuris įkaitintas iki 70°C, pečiuje gaminys laikomas apie 2 valandas.

Bandiniams naudotos armuojančios medžiagos: Anglies audinys, anglies pluoštas Zoltek ir stiklo pluoštas ir fanera.

Bandiniams naudota derva: epoksidinė derva L 285.

2.2 Tempimo bandymas

Atlikti tempimo bandymai su medžiagomis naudojamomis sportinių laivų gamybai. Bandymams naudotos medžiagos (2.1 pav): anglies audinys ir anglies pluoštas Zoltek. Naudota epoksidinė derva L285 Bandymų duomenys pateikti lentelėje 2.1.

Bandymams naudota įranga(2.2 pav.):

Universalia 5t. tempimo – gniuždymo bandymų mašina atliekami jėgos ir poslinkio matavimai naudojant **elektroninę matavimo sistemą** HBM (Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH), kurią sudaro matuojamų dydžių (jėgos ir poslinkio) jutikliai, keturių kanalų matavimo stiprintuvas (SPIDER-8) ir kompiuteryje įdiegta programinė įranga CatmanExpress, skirta matavimo rezultatams apdoroti ir analizuoti.

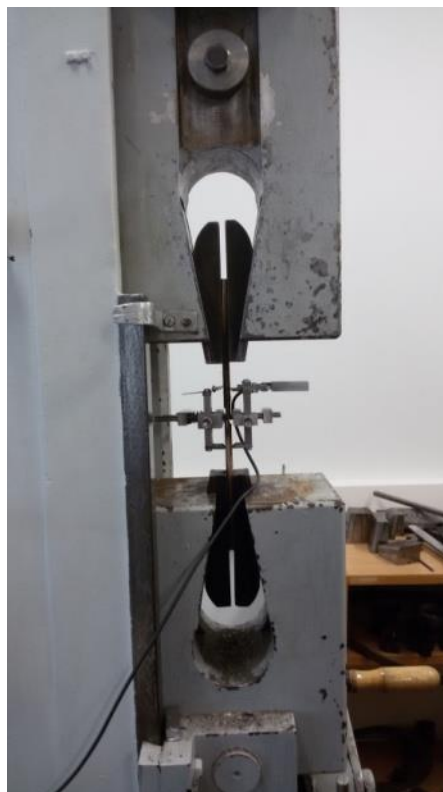
Poslinkio jutikliai induktyviniai WA-20mm arba WA-50mm. Tikslumo klasė 0,2. Matavimo bazės ir tikslumai: $20 \pm 0,04$ mm ir $50 \pm 0,1$ mm.

Deformacijų matavimo jutiklis tenzometriniis DD1 (HBM): Matavimo bazė $50 \pm 2,5$ mm. Tikslumo klasė 0,1.

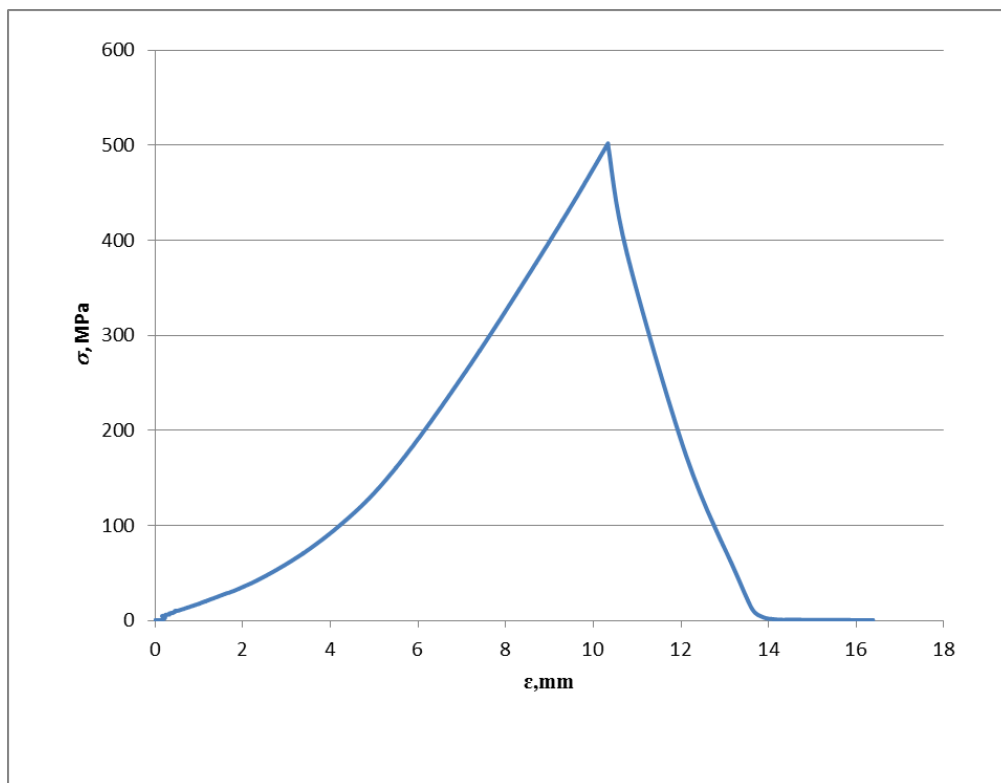
Jėgos matavimo jutiklis tenzometriniis U5-100kN (HBM). Tikslumo klasė 0,1, (jutiklis 100kN.), ± 100 N, mažiausia išmatuojama vertė yra 6N.



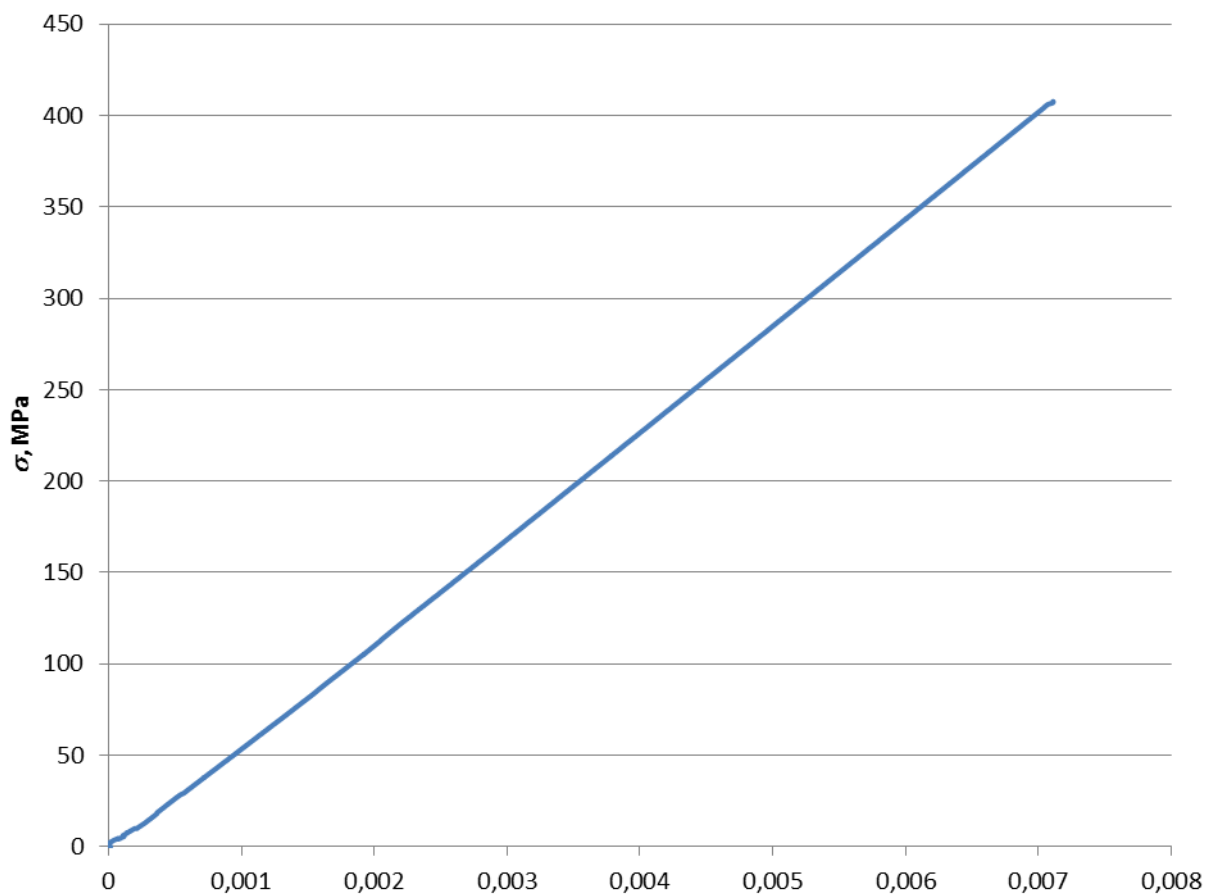
2.1 pav. Bandiniai tempimo bandymui: 1. Anglies audinys orientuotas 90° kampu; 2. Anglies audinys orientuotas 45° kampu; 3. Anglies pluoštas Zoltek orientuotas 90° kampu; 4. Anglies pluoštas Zoltek orientuotas 45° kampu; 5. Anglies pluoštas Zoltek orientuotas 0° kampu.



2.2 pav. Tempimo bandymas

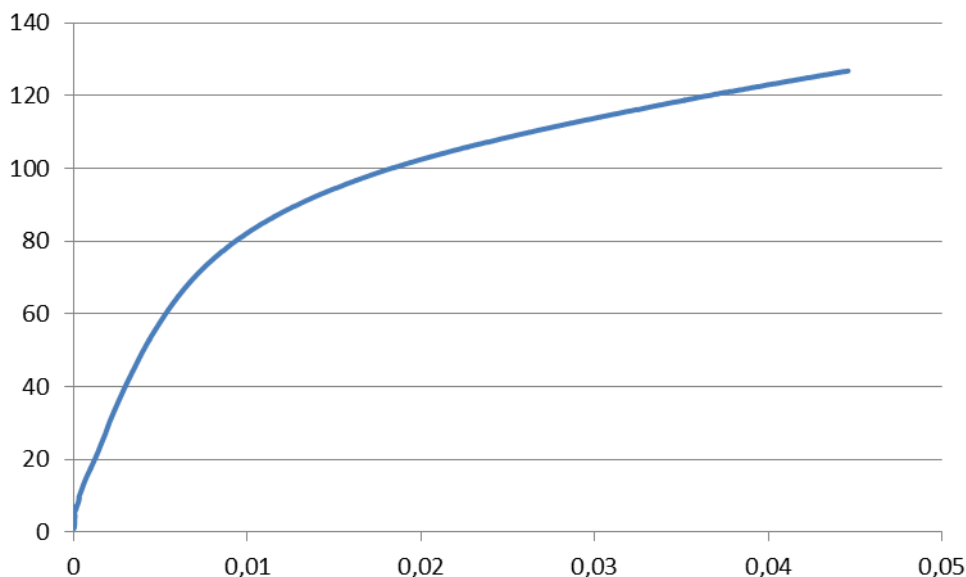


2.3 pav. Įtempių - poslinkių priklausomybė (medžiaga: Anglies audinys)



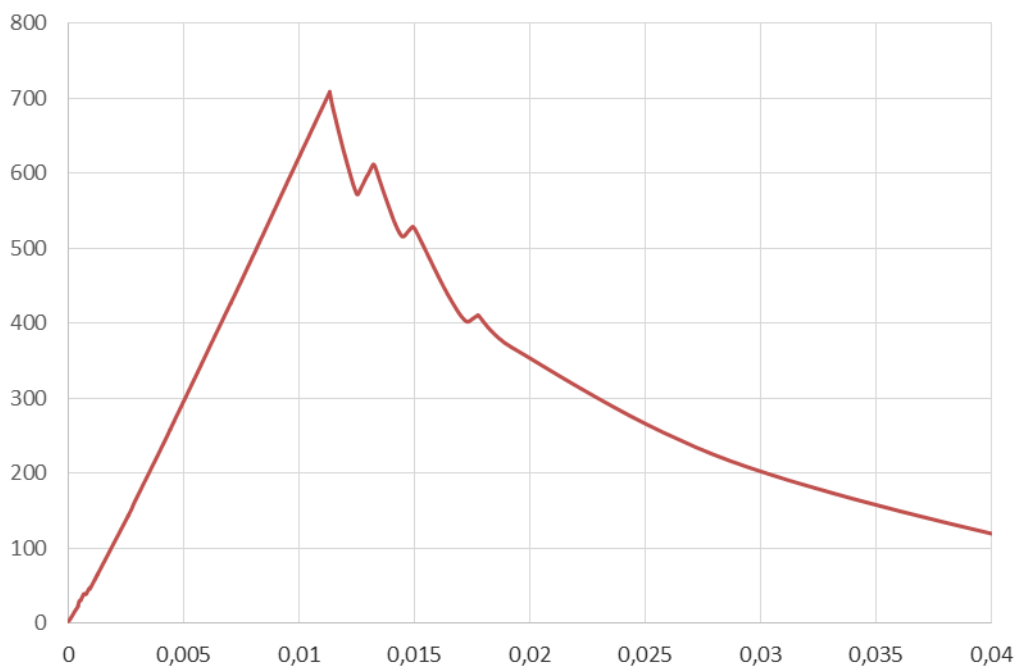
2.4 pav. Įtempių - deformacijų priklausomybė (medžiaga: Anglies audinys)

Atlikus tempimo bandymą, kai medžiaga anglies audinys buvo nustatyta kad tamprumo modulis yra lygus 40,3 GPa, maksimalūs vidutiniai įtempiai 540,4 MPa. 2.3 pav pavaizduota įtempių – poslinkių diagrama, o 2.4 pav. įtempių - deformacijų priklausomybė. 2.3 pav. akivaizdžiai matomas bandinio praslydimas griebtuvuose, todėl tamprumo savybės nustatytos naudojant įtempių - deformacijų priklausomybę, o stiprumo riba nustatoma iš įtempių - poslinkių priklausomybės.



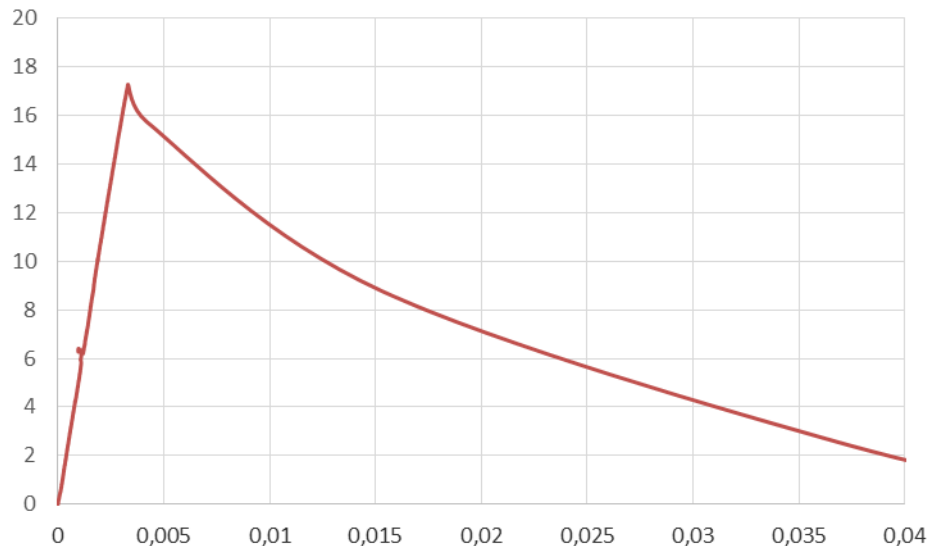
2.5 pav. Įtempių - deformacijų priklausomybė (medžiaga: Anglies audinys 45°)

Atlikus tempimo bandymą kai medžiaga anglies audinys orientuotas 45° kampu, buvo nustatyta kad tamprumo modulis yra lygus 9,6 GPa, maksimalūs vidutiniai įtempiai 146,6 MPa. 2.5 pav pavaizduota įtempių - deformacijų priklausomybė.



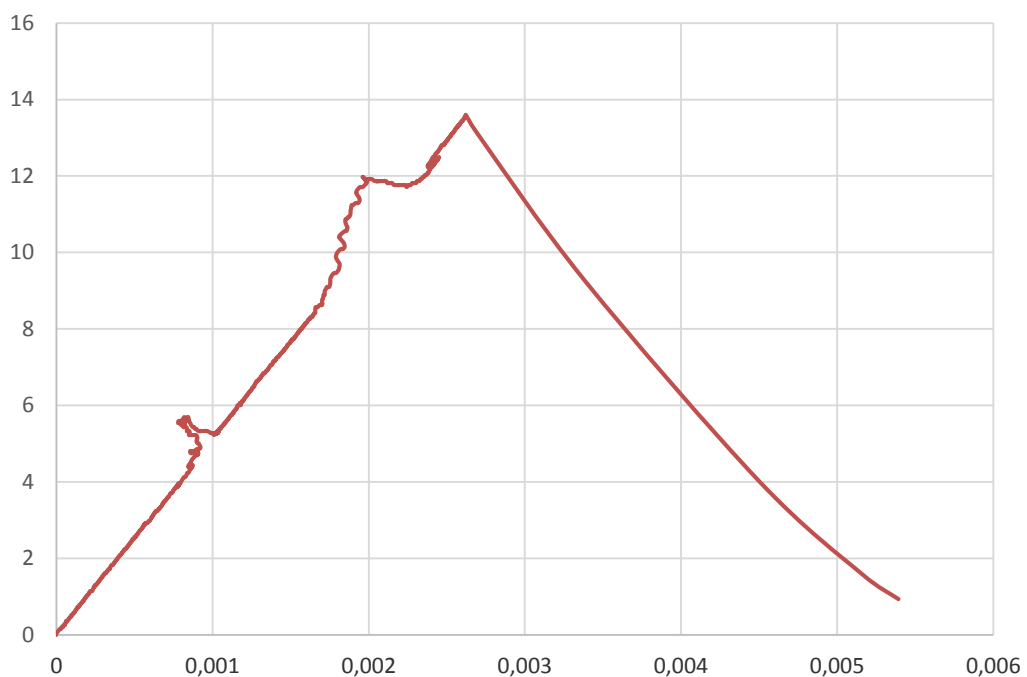
2.6 pav. Įtempių - deformacijų priklausomybė (medžiaga: anglies pluoštas Zoltek 0°)

Atlikus tempimo bandymą kai medžiaga anglies pluoštas Zoltek orientuotas 0° kampu, buvo nustatyta, kad tamprumo modulis yra lygus 63,25 GPa, maksimalūs vidutiniai įtempiai 665,78 MPa. 2.6 pav pavaizduota įtempių - deformacijų priklausomybė.



2.7 pav. Įtempių - deformacijų priklausomybė (medžiaga: anglies pluoštas Zoltek 45°)

Atlikus tempimo bandymą kai medžiaga anglies pluoštas Zoltek orientuotas 45° kampu, buvo nustatyta, kad tamprumo modulis yra lygus 43,6 GPa, maksimalūs vidutiniai įtempiai 14,15 MPa. 2.7 pav. pavaizduota įtempių - deformacijų priklausomybė.



2.8 pav. Įtempių - deformacijų priklausomybė (medžiaga: anglies pluoštas Zoltek 90°)

Atlikus tempimo bandymą kai medžiaga anglies pluoštas Zoltek orientuotas 90° kampu, buvo nustatyta kad tamprumo modulis yra lygus 20,26 GPa, maksimalūs vidutiniai įtempiai 12,25 MPa. 2.8 pav. pavaizduota įtempių - deformacijų priklausomybė.

Tempimo bandymo rezultatai.2.1 lentelė.

Eil. Nr.	Bandinio medžiaga	Matmenys, m	Skerspjūvio plotas, m ²	F, kN	σ, Mpa	E, GPa
Vidurkis				13,342	101,8	-
1	Anglies audinys 90°	20x3,76	75,2	37,74		
2	Anglies audinys 90°	20x3,76	75,2	41,016		
3	Anglies audinys 90°	20x3,76	75,2	43,176		
Vidurkis				40,644	540,4	40,29
1	Anglies audinys 45°	20x3,76	75,2	10,86		
2	Anglies audinys 45°	20x3,76	75,2	10,974		
3	Anglies audinys 45°	20x3,76	75,2	11,238		
Vidurkis				11,024	146,6	9,6
1	Zoltek 90°	20x5,74	114,8	1,2		
2	Zoltek 90°	20x5,74	114,8	1,59		
3	Zoltek 90°	20x5,74	114,8	1,308		
Vidurkis				1,366	12,253	20,65
1	Zoltek 0°	3,4x4,62	15,708	11,142		
2	Zoltek 0°	3,4x4,62	15,708	9,774		
Vidurkis				10,458	665,78	63,25
1	Zoltek 45°	20x5,74	114,8	1,578	14,155	43,6

Įtempiai σ apskaičiuojami pagal (2.1 formulę).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

σ - įtempiai [MPa]

A- bandinio skerspjūvio plotas [m²]

F- jėga [kN]

Tamprumo modulis E apskaičiuojamas pagal (2.2 formulę)

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\Delta F \cdot L}{A \cdot \Delta L} \quad (2.2)$$

E- tamprumo modulis [GPa]

L- bandinio ilgis [m]

$\Delta\sigma$ - įtempiu pokytis [MPa]

$\Delta\varepsilon$ -deformacijų pokytis [m]

Atlikus tempimo bandymą su medžiagomis ir apskaičiavus įtempius σ (pagal formulę 2.1) gauta: Anglies audinio 90° kampu 540,4 MPa, Anglies audinys 45° kampu 146,6 MPa, Pluošto Zoltek 90° kampu 12,253MPa, Pluošto Zoltek 0° kampu 665,78 MPa, Pluošto Zoltek 45° kampu 14,155 MPa. Apskaičiavus tamprumo modulį E pagal formulę 2.4 gauta: Anglies audinio 90° kampu 40,29 GPa, Anglies audinys 45° kampu 9,6 GPa, Pluošto Zoltek 90° kampu 20,65 GPa, Pluošto Zoltek 0° kampu 63,25 GPa, Pluošto Zoltek 45° kampu 43,6 GPa.

2.3 Lenkimo bandymas

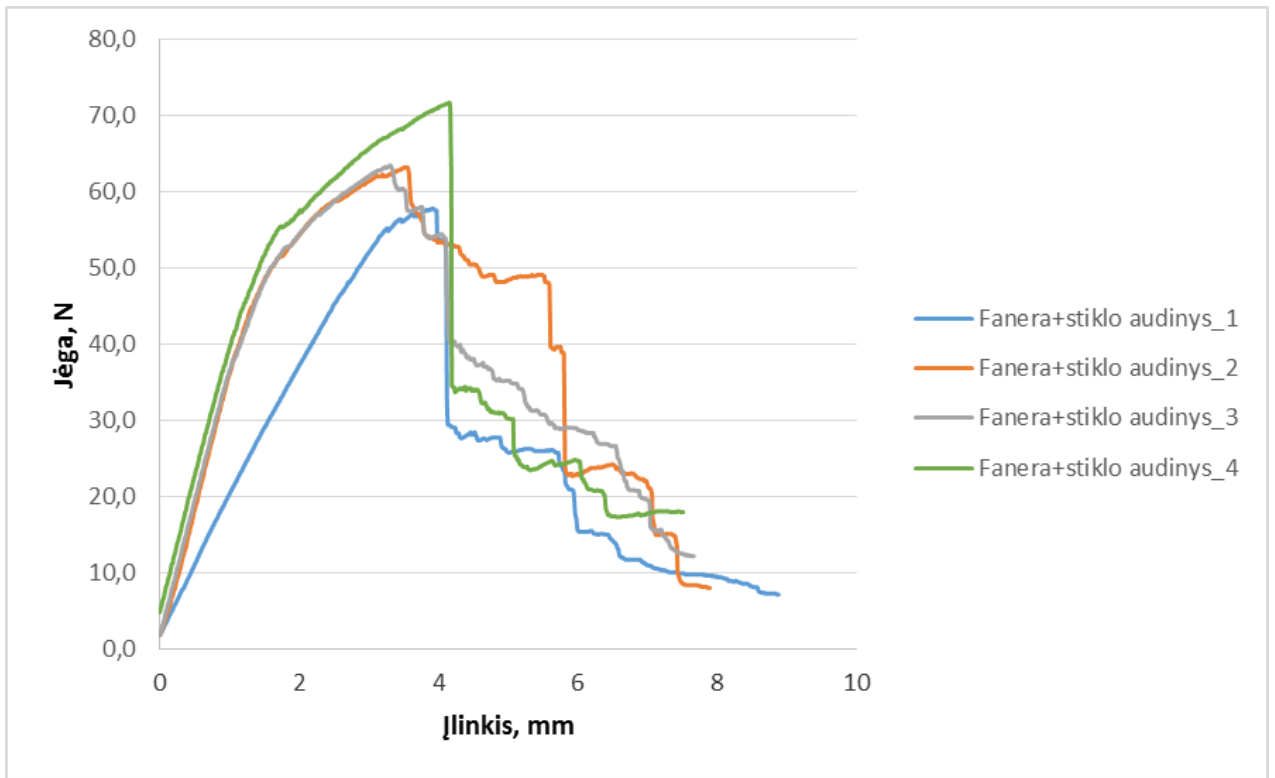
Atlikti lenkimo bandymai su medžiagomis naudojamomis sportinių laivų gamybai. Bandymams naudotos medžiagos: fanera, fanera dengta stiklo audiniu, anglies audinys ir anglies pluoštas Zoltek. Bandinių matmenys Ilgis 80mm, plotis 15mm. Naudota epoksidinė derva L285.

Bandymams naudota įranga (2.9 pav):

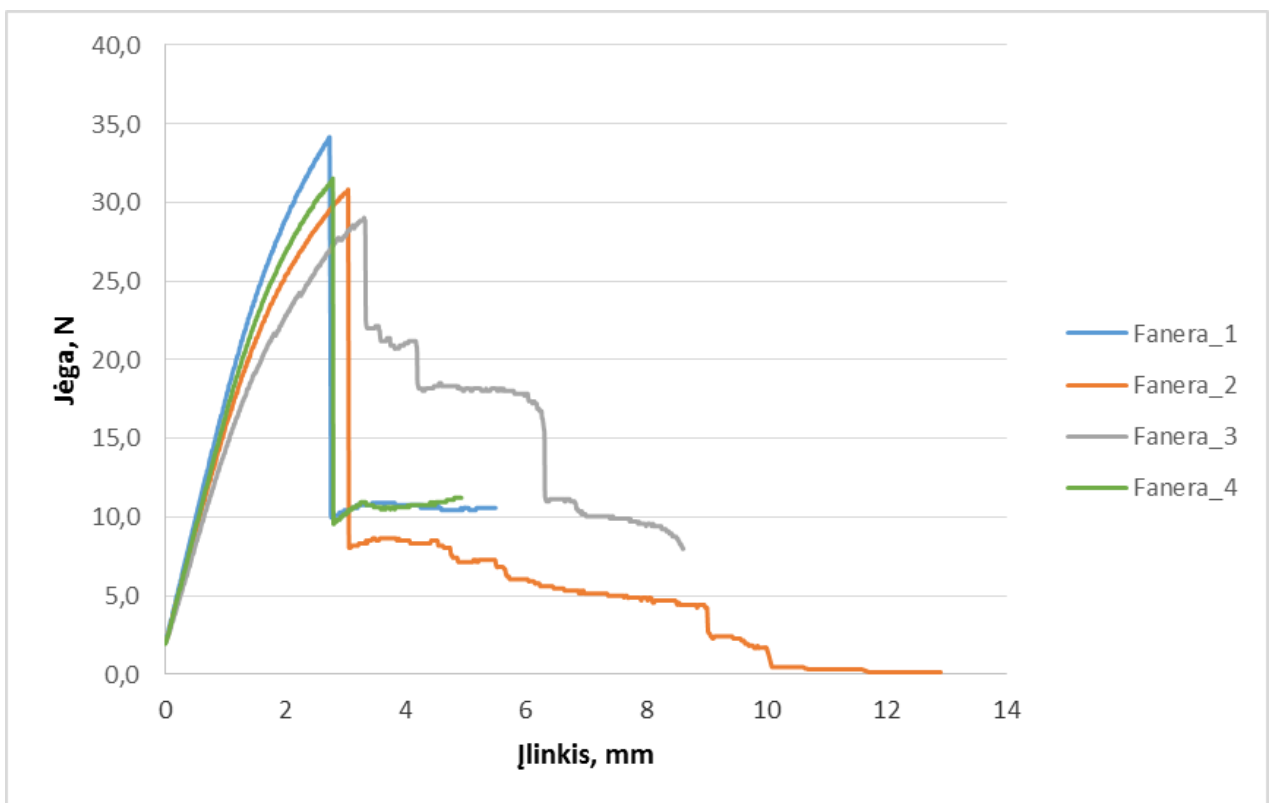
- Universali elektromechaninė bandymų mašina Tinius Olsen H25KT
- Kompiuteris



2.9 pav. Lenkimo bandymas



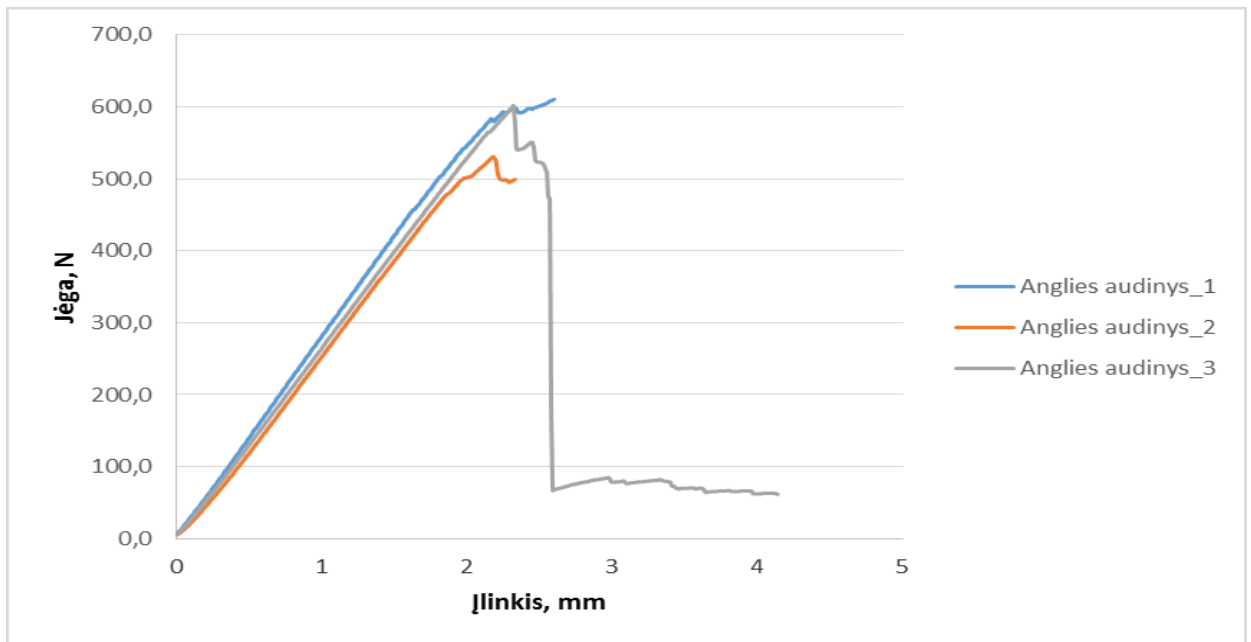
2.10 pav. Jėgos įlinkio priklausomybės tritaškio lenkimo bandyme (medžiaga Fanera+ stiklo audinys)



2.11 pav. Jėgos įlinkio priklausomybės tritaškio lenkimo bandyme (medžiaga Fanera)

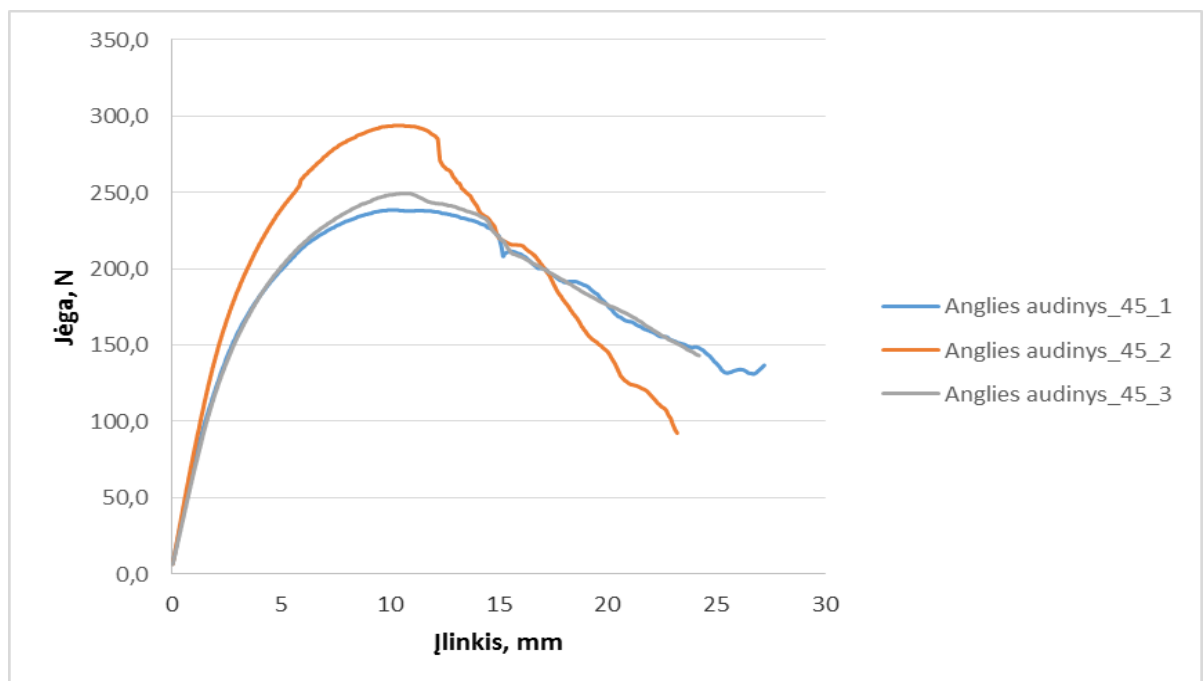
Bandiniai pagaminti iš faneros ir faneros dengtos stiklo audiniu: Atlikus lenkimo bandymą nustatyta, kad šie bandiniai yra mažesnio stiprumo iš bandytų medžiagų. Tamprumo modulis yra mažesnis kai medžiaga yra mažesnio stiprumo. Tai matoma iš grafikų (2.10 ir 2.11 pav.). Vidutinis

tamprumo modulis Faneros dengtos stiklo audiniu yra 2,3 GPa, o bandytos faneros 1,1 GPa. (2.2 lentelė)



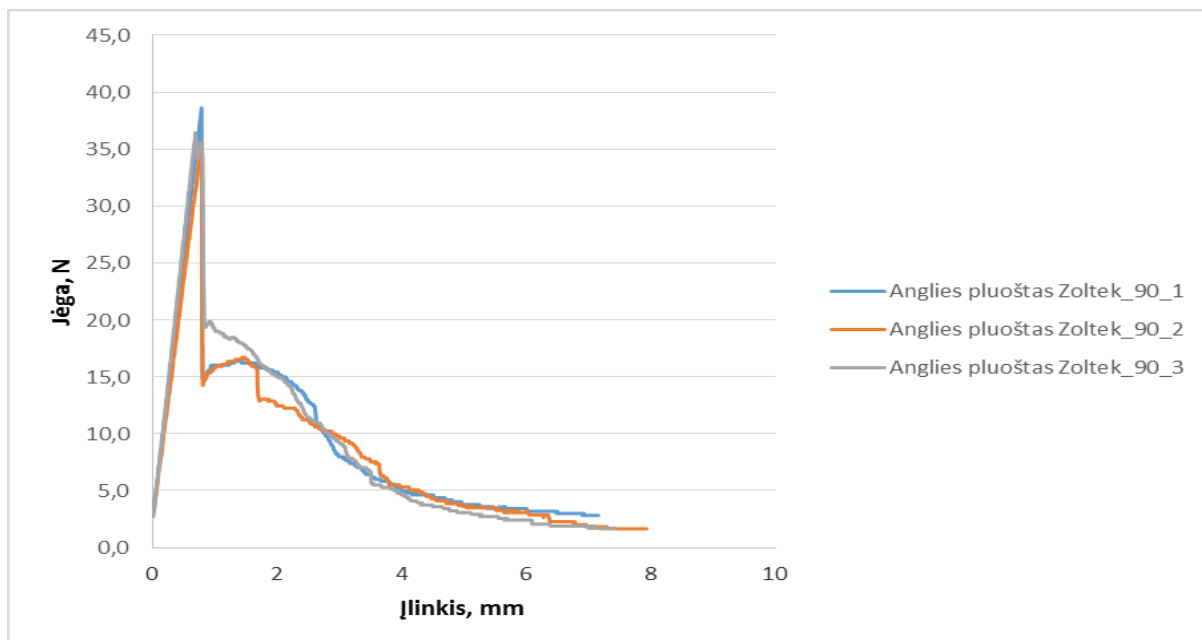
2.12 pav. Jėgos įlinkio priklausomybės tritaškio lenkimo bandyme (medžiaga anglies audinys)

Anglies audinys. Bandymo metu nustatyta, kad šie bandiniai atsparesni didesniai apkrovai, nei anglies audinys orientuotas 45° kampu, tačiau mažiau deformuojami iki kol bandinys sulūžta 2.12 pav. Taip orientuotos armuojančios medžiagos gaminiai tamprumo modulis yra didesnis nei bandant 45° kampu orientuotos armuojančios medžiagos, vidutinis tamprumo modulis 42,1 GPa.



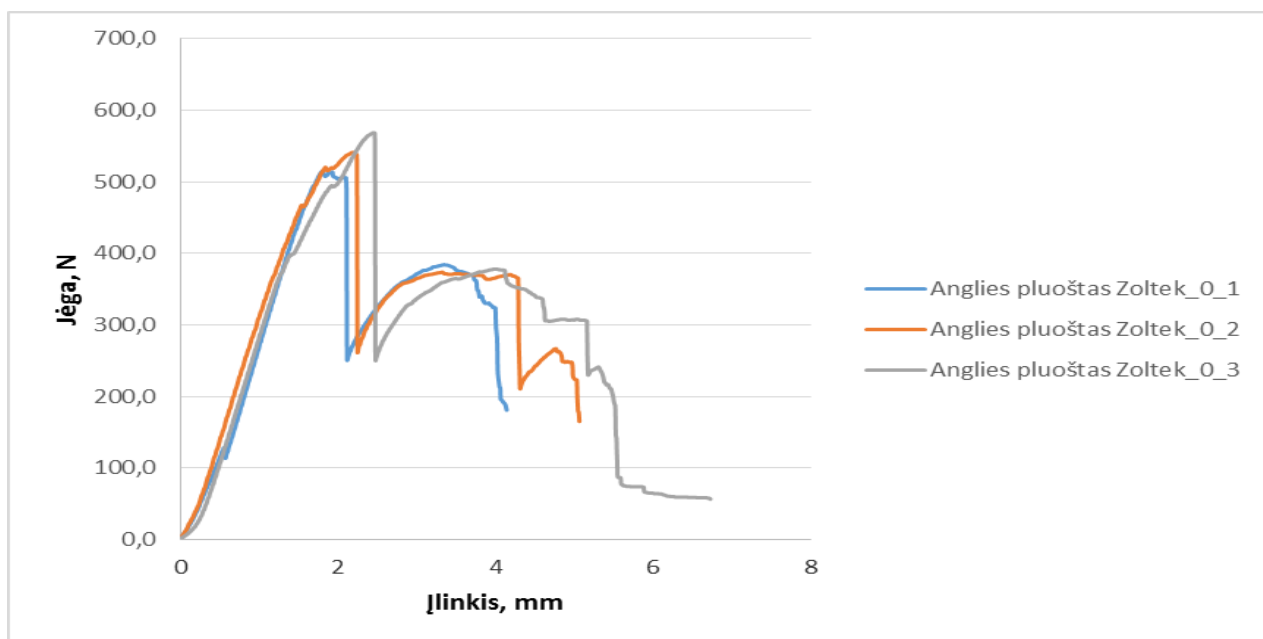
2.13 pav. Jėgos įlinkio priklausomybės tritaškio lenkimo bandyme (medžiaga Anglies audinys 45°)

Anglies audinys orientuotas 45° kampu. Bandymo metu nustatyta kad šie bandiniai stipresni nei kiti bandyti. 2.13 pav. matyti, kad šio tipo bandiniai atsparesni apkrovai, nes nei vienas bandinys nelūžo tik deformavosi. Taip orientuotos armuojančios medžiagos gaminiai gali būti naudojami ten kur reikia, kad gaminys sugertų didelis veikiančias jėgas. Tamprumo modulis yra mažesnis nei bandant nulinio laipsnių orientuotos armuojančios medžiagos, vidutinis elastingumo modulis 5,4 GPa.



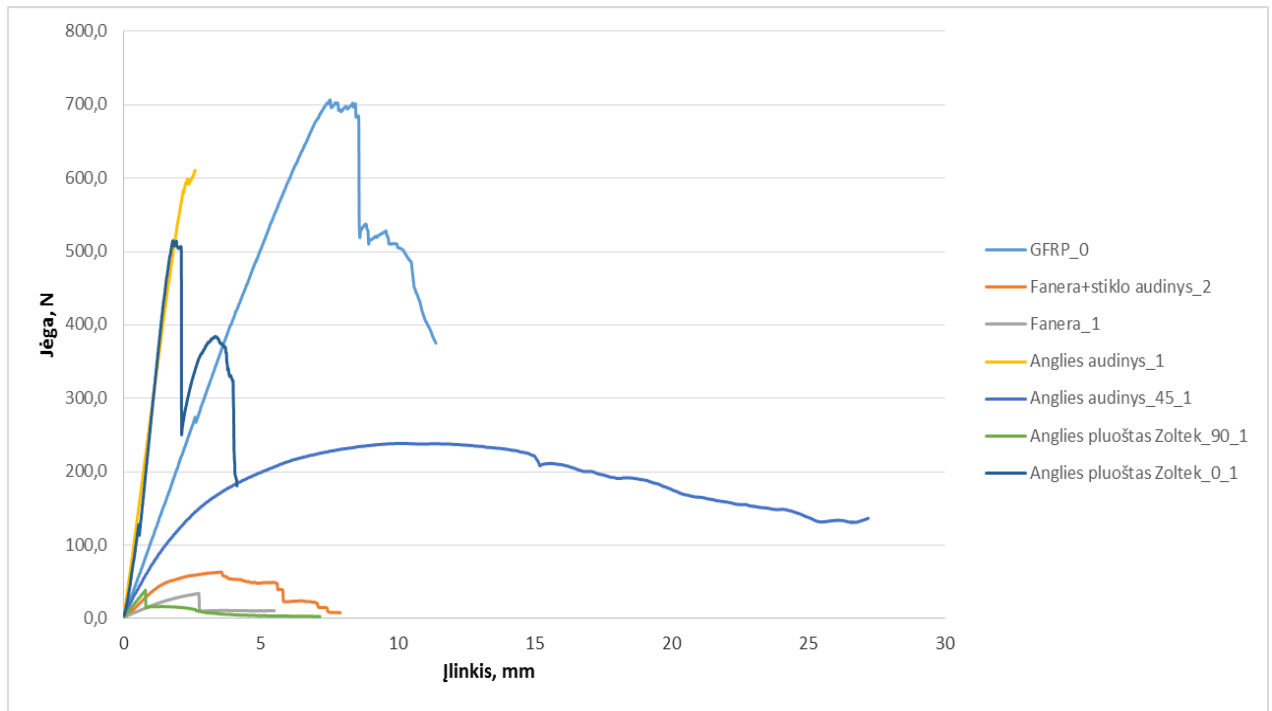
2.14 pav. Jėgos įlinkio priklausomybės tritaškio lenkimo bandyme (medžiaga Anglies Zoltek 90°)

Anglies pluošto Zoltek orientuoto 90° kampu bandiniai atlikus lenkimo bandymą nustatyta, kad yra mažiausio stiprumo. Mažas stiprumas įtakoja mažą elastingumo modulį kuris siekia 5.4 GPa.



2.15 pav. Jėgos įlinkio priklausomybės tritaškio lenkimo bandyme (medžiaga Anglies pluoštas zoltek orientuotas 0° kampu)

Anglies pluoštas Zoltek orientuotas 0° kampu. Lenkimo bandymo metu nustatyta kad ši medžiagia turi didžiausią stiprumo ribą iš visų tyrinėjams naudotų medžiagų. Didelis stiprumas reiškia didelį elastingumo modulį (2.15 pav.). Vidutinis elastingumo modulis gautas 37,4 GPa.



2.16 pav. Jėgos įlinkio priklausomybės tritaškio lenkimo bandyme

Iš bandymų diagramos pasiskirstymo (2.16 pav.) matyti visų bandytų medžiagų vidutinį pasiskirstymą. Bandymo rezultatai pateikti 2.2 lentelėje.

Eil. Nr.	Medžiaga	S _{max} ,MPa	E, GPa
1	Fanera+ stiklo audinys 1	57,8	1,6
	Fanera+ stiklo audinys 2	63,3	2,6
	Fanera+ stiklo audinys 3	63,5	2,5
	Fanera+ stiklo audinys 4	71,7	2,4
	Vidurkis	64,1	2,3
2	Fanera 1	34,2	1,5
	Fanera 2	30,8	0,7
	Fanera 3	29,0	0,9
	Fanera 4	31,5	1,5
	Vidurkis	31,4	1,1
	Anglies audinys 1	610,8	45,5
	Anglies audinys 2	531,0	38,7
	Anglies audinys 3	602,0	42,2
	Vidurkis	581,3	42,1
4	Anglies audinys 45_1	238,3	4,0
	Anglies audinys 45_2	293,8	5,5
	Anglies audinys 45_3	249,3	6,6
	Vidurkis	260,5	5,4
5	Zoltek_90_1	38,6	5,6
	Zoltek_90_2	35,5	5,2
	Zoltek_90_3	36,4	5,5
	Vidurkis	36,8	5,4
6	Zoltek_0_1	514,9	41,3
	Zoltek_0_2	541,2	35,2
	Zoltek_0_3	568,8	35,6
	Vidurkis	541,6	37,4

$$S = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (2.3)$$

S - įtempiai [MPa]

h - bandinio storis [m]

F - jėga [N]

L - ilgis [m]

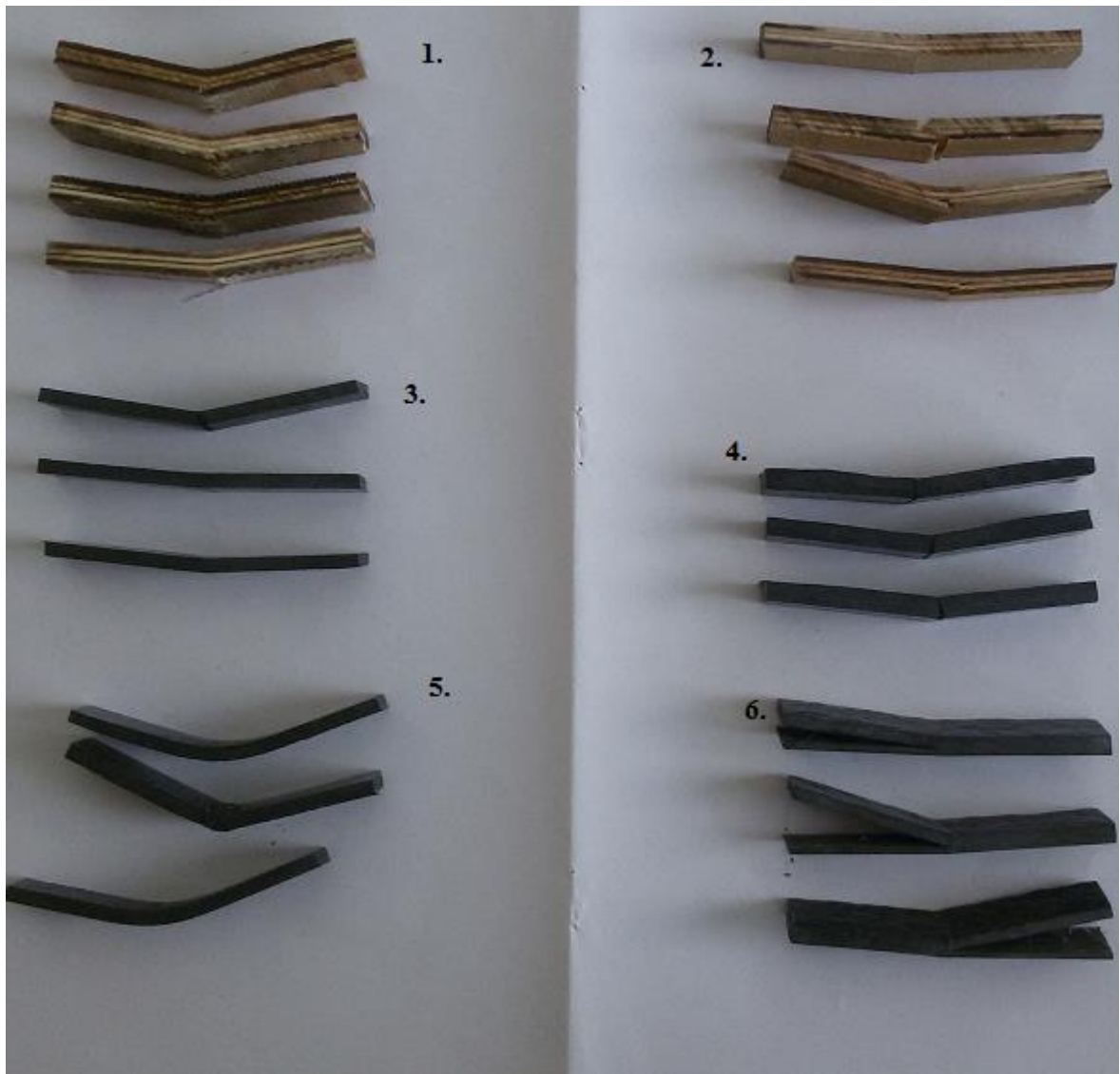
b - bandinio plotis [m]

$$E = \frac{L^3}{4 \cdot b \cdot h^3} \left(\frac{\Delta L}{\Delta s} \right) \quad (2.4)$$

E - tamprumo modulis [GPa]

ΔL - pailgėjimas [m]

Δs - skerspjūvio ploto pasikeitimas [m²]



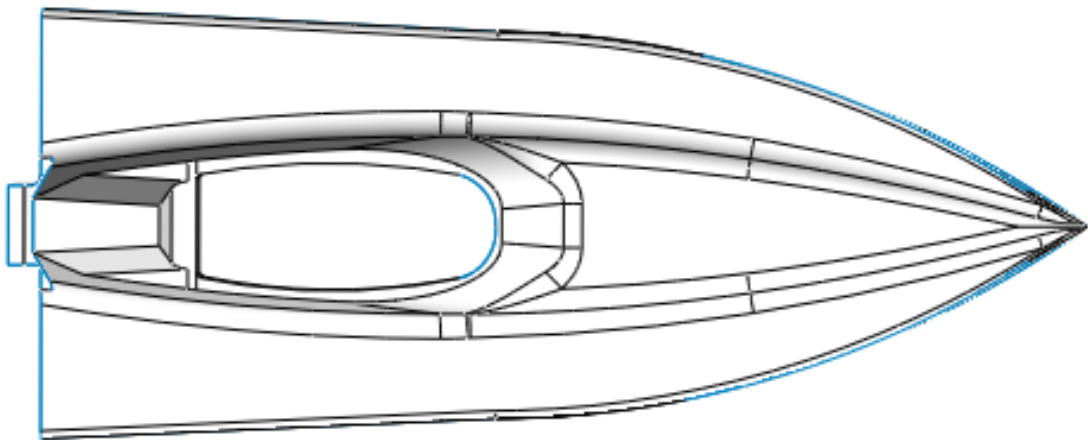
2.17 pav. Bandiniai po lenkimo bandymo: 1. Fanera dengta stiklo audiniu; 2. Fanera; 3. Anglies audinys orientuotas 0° arba 90° kampu; 4. Anglies pluoštas Zoltek orientuotas 90° kampu; 5. Anglies audinys orientuotas 45° kampu; 6. Anglies pluoštas Zoltek orientuotas 0° kampu.

Atlikus lenkimo bandymą su medžiagomis ir apskaičiavus įtempius S (pagal formulę 2.3) gauta: Faneros dengtos stiklo audinio 64,1 MPa, Faneros 31,4MPa, Anglies audinio 90° kampu 581,3 MPa, Anglies audinys 45° kampu 260MPa, Pluošto Zoltek 90° kampu 36,4MPa, Pluošto Zoltek 0° kampu 541,6 MPa. Apskaičiavus tamprumo modulį E pagal formulę 2.4 gauta: Faneros dengtos stiklo audinio 2,3 GPa, Faneros 1.1 GPa, Anglies audinio 90° kampu 42,1 GPa, Anglies audinys 45° kampu 5,4 GPa, Pluošto Zoltek 90° kampu 5,4 GPa, Pluošto Zoltek 0° kampu 37,4 GPa. Bandiniai po lenkimo bandymo (2.17 pav).

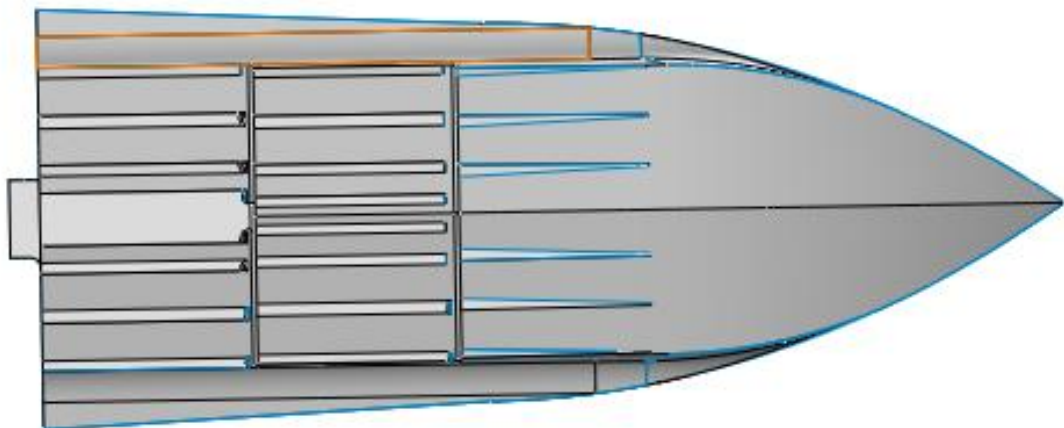
3. Laivo korpuso projektavimas ir stipruminis skaičiavimas

3.1 Laivo korpuso dalių principinės schemos

Laivas būtų gaminamas iš dviejų dalių tai yra viršutinė laivo korpuso dalis (3.1 pav.) ir apatinė laivo korpuso dalis (3.2 pav.), kurios bus gaminamos vienusėse formose vakuuminio formavimo būdu.



3.1 pav. Laivo korpuso viršutinės dalies principinė schema.



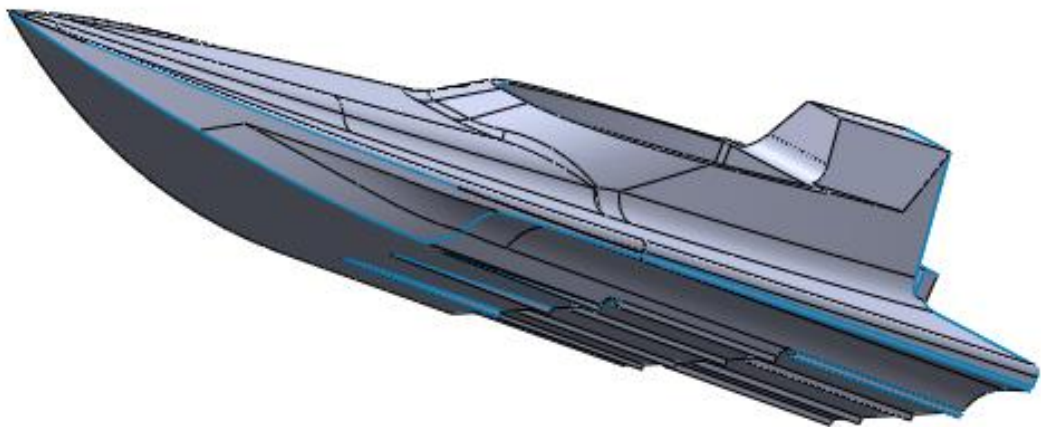
3.2 pav. Laivo korpuso apatinės dalies principinė schema.

Tiek viršutinė tiek apatinė laivo dalis gaminamos iš anglies audinio bei epoksidinės dervos, tačiau apatinės dalies viduryje (laivo slidė) bus sumuštinio tipo, t.y. tarp anglies sluoksnių naudojamas korimatas.

3.2 Detalių sujungimo parinkimas

Kadangi korpusą sudaro dvi dalys viršus ir apačia, pagamintos iš kompozitinių medžiagų, tam kad jas sujungti galima naudoti du būdus:

- sudėjus sujungimui gali būti naudojama epoksidinės dervos ir stiklo audinio pluoštelių mišinys, kuris hermetizuos ir suklijuos sujungimo siūlę.
- galima naudoti hermetikus ir sujungti kniedėmis.
-



3.3 pav. Sungtų laivo dalių vaizdas

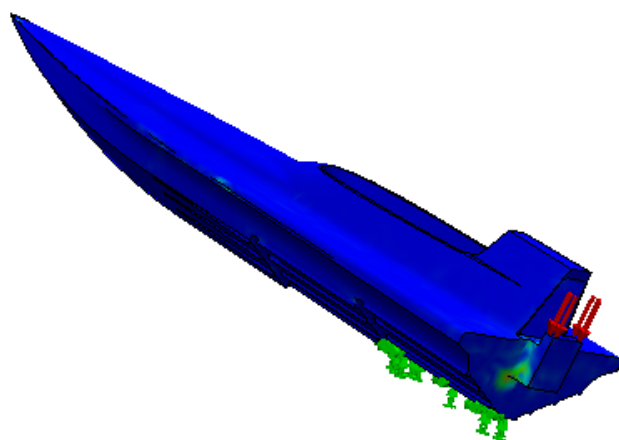
Dalių sujungimui pasirinktas būdas naudoti epoksidinę derva sumaišytą su stiklo plaušeliais, nes šis būdas yra patikimesnis. Epoksidinė derva sumaišoma su stiklo plaušeliais ir mišinys pilamas į dalių sujungimo plyšį.

3.3 Stipruminiai laivo korpuso skaičiavimai

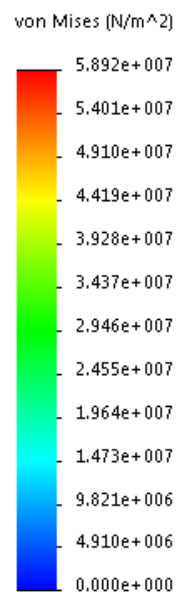
Kompiuterinės programos Solidworks2014 pagalba buvo suprojektuota laivo konstrukcija, ir atlikti stipruminiai skaičiavimai. Apkrova imituoja variklio masę, kuri yra 73kg, tai atitinka 730N

svorio jėgą, variklis kabinamas ant tam skirtos vietos. Palyginimui paimtos dvi medžiagos fanera ir anglies audinys (3.4 pav.). Skaičiavimuose neatsižvelgiama į laivo judėjimą.

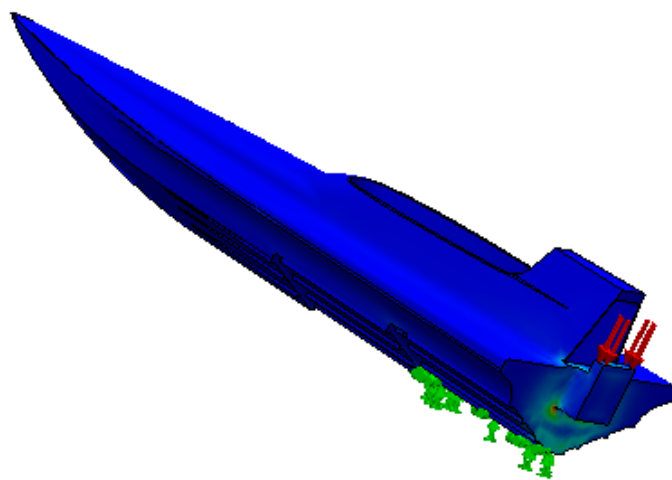
1.



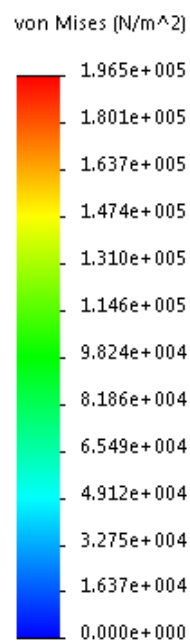
Model name: Racing5
Study name: Static 3(-Default-)
Plot type: Static nodal stress (Top) Stress1
Deformation scale: 1



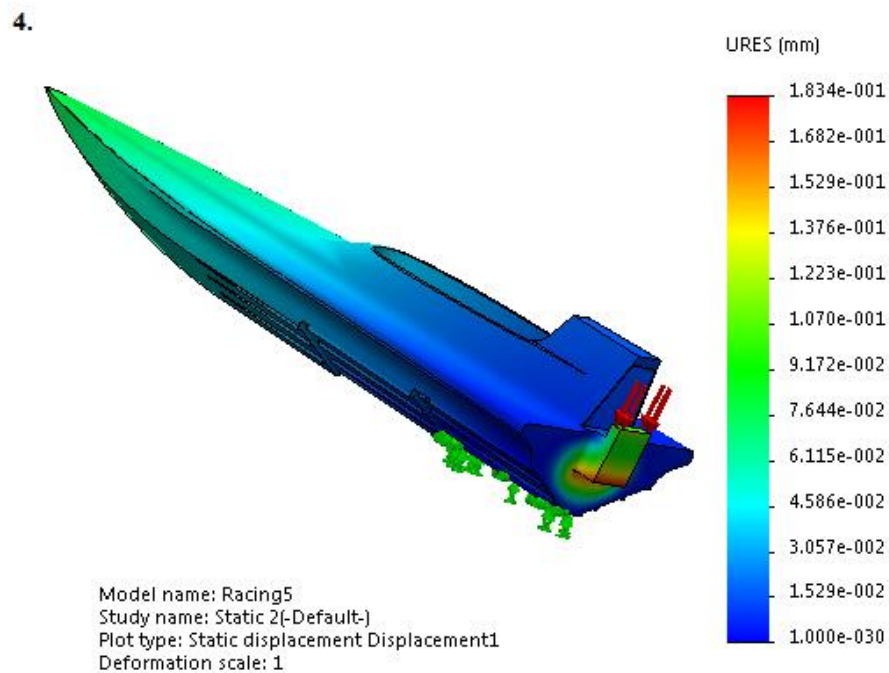
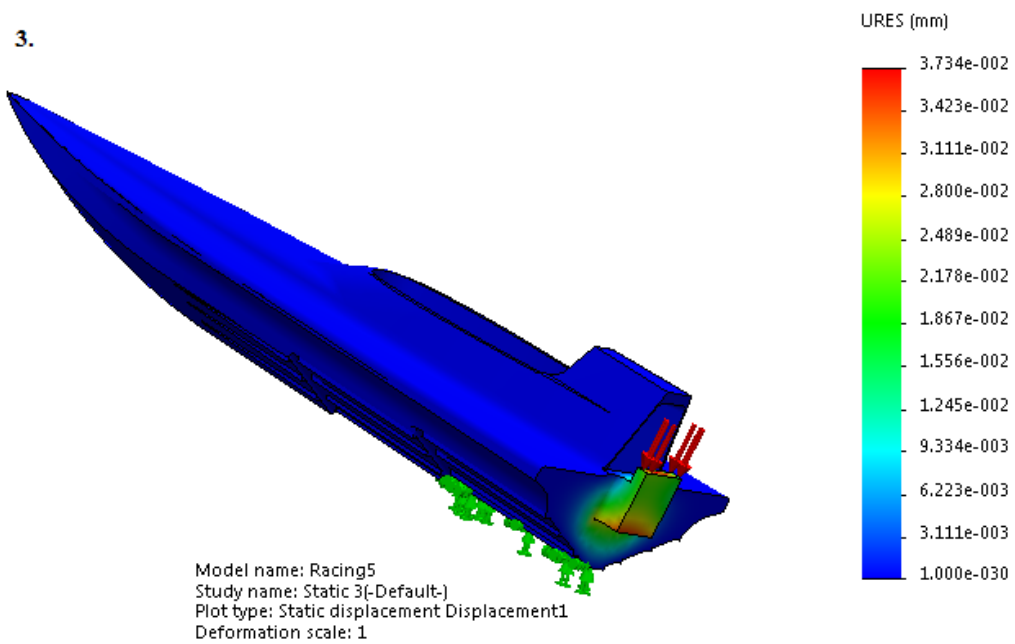
2.



Model name: Racing5
Study name: Static 2(-Default-)
Plot type: Static nodal stress (Top) Stress1
Deformation scale: 1



→ Yield strength: 3.100e+007



3.4 pav. laivo konstrukcijos stipruminiai skaičiavimai: 1. Įtempių diagrama anglies audinys; 2. Deformacijų diagrama anglies audinys; 3. Įtempių diagrama kai medžiaga fanera; 4. Deformacijų diagrama kai medžiaga fanera.

Apkrovus modelį 730N jėga ir apskaičiavus rezultatus programa Solidworks gauta kad takumo riba, kai medžiaga anglies audinys, $6 \cdot 10^{14} \text{ N/m}^2$; kai medžiaga fanera $3,1 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$. Įtempiai: kai medžiaga anglies audinys $5,892 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$; kai medžiaga fanera $1,965 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$. Deformacijos: kai medžiaga anglies audinys $3,734 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$; kai medžiaga fanera $1,834 \cdot 10^{-1} \text{ mm}$.

DARBO IŠVADOS

1. Išnagrinėjus tarptautinės motorlaivių sporto federacijos UIM keliamus techninius reikalavimus GT-30 bei GT-15 klasių laivams, išstudijavus armuojančių medžiagų pasirinkimo įvairovę, nuspręsta rinktis drobinio pynimo anglies audinį, nes jis pasižymi dideliu stiprumu. Gaminant laivo korpusą naudosime epoksidinę dervą, nes ji yra atsparesnė didelėms apkrovoms nei poliesterinė derva. Išnagrinėjus formavimo būdus, laivo gamybai nuspręsta rinktis vakuuminį formavimą vienpusėje formoje. Šiuo būdu formuojant galima gauti gaminius kuriuose yra didelė armuojančios medžiagos koncentracija (iki 60%), taip gaminys tampa stipresnis bei standesnis nei formuojant rankiniu būdu. Šis būdas yra tinkamiausias laivo gamybai nes laivo forma yra sudėtinga.

2. Atlikus tempimo bandymus nustatyti medžiagos stiprumo ribos įtempiai: anglies audinio 90° kampu 540,4 MPa, anglies audinys 45° kampu 146,6 MPa, pluošto Zoltek 90° kampu 12,2MPa, pluošto Zoltek 0° kampu 665,8 MPa, pluošto Zoltek 45° kampu 14,2 MPa. Tamprumo modulio vertės: anglies audinio 90° kampu 40,3 GPa, anglies audinys 45° kampu 9,6 GPa, pluošto Zoltek 90° kampu 20,6 GPa, pluošto Zoltek 0° kampu 63,2 GPa, pluošto Zoltek 45° kampu 43,6 GPa.

3. Atlikus tritaškio lenkimo bandymą nustatyti medžiagos stiprumo ribos įtempiai lenkiant: faneros dengtos stiklo audinio 64,1 MPa, faneros 31,4MPa, anglies audinio 90° kampu 581,3 MPa, anglies audinys 45° kampu 260MPa, pluošto Zoltek 90° kampu 36,4MPa, pluošto Zoltek 0° kampu 541,6 MPa. Tamprumo modulio lenkiant vertės: faneros dengtos stiklo audinio 2,3 GPa, faneros 1.1 GPa, anglies audinio 90° kampu 42,1 GPa, anglies audinys 45° kampu 5,4 GPa, pluošto Zoltek 90° kampu 5,4 GPa, pluošto Zoltek 0° kampu 37,4 GPa.

4. Kompiuterinės programos Solidworks pagalba buvo suprojektuotas laivo modelis, parinkus skaičiavimams dvi medžiagas ir apkrovas modelį 730N jėga imituojant, kad yra pakabintas variklis, gavome, maksimalius įtempius 58,9 Mpa, kai medžiaga anglies audinys ir kai medžiaga fanera 0,2 MPa. Poslinkiai, kai medžiaga anglies audinys 0,04 mm, o kai medžiaga fanera 0,18 mm. Matome, kad stiprumas pakankamas naudojant abi medžiagas, tačiau fanerinio laivo standumas ženkliai sumažėja.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

Knygos:

1. Gintaras Buika. Polimeriniai kompozitai/ Kaunas, Technologija 2008.
2. Deborah D. L. Chung. Carbon Fiber composite/ 1994.
3. UNION INTERNATIONALE MOTONAUTIQUE. Rules circuit/ Monaco, Multiprint2015

Internetiniai puslapiai:

4. Prieiga per internetą: <http://www.fanerosbaze.com/ber382in279-fanera.html>[žiūrėta 2015-05-17]
5. Prieiga per internetą: <http://www.statybajums.lt/temos/statybines-medziagos/zaliavos-medziagos-ir-irankiai-naudojami-stiklo-plastiko-gamyboje> [žiūrėta 2015-05-17]
6. Prieiga per internetą: <http://www.falconpp.co.uk/plywood.php> [žiūrėta 2015-05-20]
7. Prieiga per internetą:http://www.sinoseal.com/en/products/list07/Woven_glass_fiber_cloth/ [žiūrėta 2015-05-20]
8. Prieiga per internetą:
http://www.tapplastics.com/product/fiberglass/carbon_specialty_fabrics/aramid_354/94
[žiūrėta 2015-05-20]
9. Prieiga per internetą: http://www.technologijos.lt/upload/image/n/mokslas/chemija/S-16175/nuotrauka-31827/Aktyvuotos_anglies_pluostas.jpg [žiūrėta 2015-05-20]

Fotografijos:

Iš asmeninio Arvydo Dranseikos albumo. 2015.