

STIKLOPLASTIKO MECHANINIŲ SAVYBIŲ PALYGINIMAS EKSPERIMENTINIAIS METODAIS

Laurynas Mačiulis

VGTU AGAI Aviacinės mechanikos katedra

El. p.: laurynas.maciulis@vgtu.lt; aviatorius@gmail.com

Santrauka. Straipsnyje apibendrinti įvairių kompozitinių medžiagų iš stikloplasčio mechaninių bandymų rezultatai. Bandymai buvo atlikti AGAI ir VGTU medžiagų atsparumo laboratorijoje bei Italijos aeronautikos tyrimų institute „CIRA“ bendro Italijos ir Lietuvos projekto „Libapark“ metu. Šie bandymai buvo atlikti siekiant nustatyti projektinius leistinus įtempimus ir parinkti tinkamiausias medžiagas ultralengvojo mokomojo sklandytuvo „MS“ sparno stiprumui skaičiuoti. Bandymų rezultatai taip pat gali būti naudingi studentams, inžinieriams ar konstruktoriams mėgėjams, savo projektuose naudosiantiems tiriamąsias medžiagas.

Reikšminiai žodžiai: polimerinės kompozitinės medžiagos, mechaniniai bandymai, eksperimentiniai metodai, mechaninės savybės, stiklo pluoštas, stikloplastis, klasikinė laminato teorija, pusfabrikatis.

1. Įvadas

Aviacijos pramonėje naudojamos metalinės medžiagos yra tiekiamos standartizuota pusfabrikačių forma su aiškiai apibrėžtomis mechaninėmis ir kitomis charakteristikomis. Tuo tarpu naudojant kompozitus pati medžiaga yra suformuojama gamybinio proceso metu ir jos savybės iš esmės nulemia technologiniai parametrai, kaip, pvz., pasirinktas armavimo pluoštas, dervos tipas, pluošto tūrinis santykis, išklojimo schema, aplinkos sąlygos, darbuotojo kvalifikacija ir pan. (Baker *et al.* 2004: 213). Todėl projektuojant naują gaminį iš kompozitinių polimerinių medžiagų išskyla būtinybė pačiam konstruktoriui iširti medžiagos savybes. Tam dažniausiai pasitelkiami mechaniniai bandymai.

Toks pat poreikis iškilo ir AGAI akademiniame kolektyvui, projektuojančiam pradinio mokymo sklandytuvo „MS“ (projekto autorius K. Leonavičius) sparną, sukonstruotą daugiausia naudojant stiklo pluoštu sustiprintas polimerines medžiagas. Bandymams buvo atrinktos 5 medžiagų grupės, kombinuojant skirtingus stiklo pluoštus ir epoksidines dervas. Jos pateiktos 1 lentelėje.

Minėto sklandytuvo sparno stikloplasčio konstrukcinius elementus galima grubiai suskaidyti į 2 grupes:

1. Skersines jėgas ir sukimo momentą priimančios šlyties elementai – sparno noselė ir lonžerono vertikali sienelė.
2. Lenkimo momentą priimančios ir didelio stiprumo išilgine kryptimi reikalaujantys elementai – tai yra lonžerono lentynos.

Pagal 1 lentelėje pateiktas specifikacijas, 1-ajai grupei, kaip galimos pretendentės, priklauso medžiagos M3 ir M4, o 2-ajai – M1, M2 arba M5.

Eksperimento tikslas buvo dvejopas:

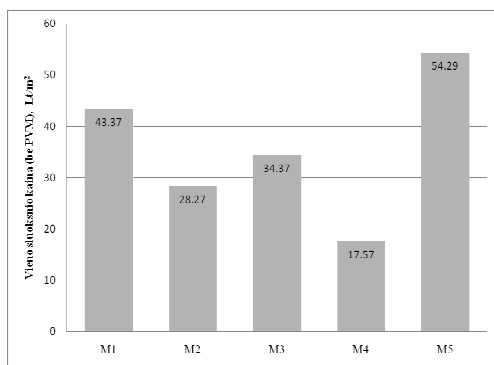
1. Nustatyti šių medžiagų mechanines charakteristikas.
2. Įvertinti tiriamų medžiagų stiprumo ir kainos santykį ir pagal tai nuspręsti, kurios iš jų yra ekonomiškai optimaliausios.

1 lentelė. Mechaniniams bandymams pasirinktos medžiagų grupės

Table 1. Material groups which were selected for mechanical testing

Medžiagos id. Nr.	Medžiagos sudėtis	
	Stiklo pluošto tipas	Epoksidinės dervos tipas
M1	Vienakryptis stiklo audinys 220 g/m ² (gamintojo kodas: R&G 190157-X)	Derva L (R&G 100135-X) + kietiklis L (R&G 100145-X)
M2	Vienakryptis stiklo audinys 220 g/m ² (R&G 190157-X)	Derva Dow D.E.R. 331 + kietiklis Dow D.E.H. 24
M3	Dvikryptis stiklo audinys 163 g/m ² (R&G 190115-X)	Derva L (R&G 100135-X) + kietiklis L (R&G 100145-X)
M4	Dvikryptis stiklo audinys 160 g/m ² (Valmiera TG-160 C)	Derva Dow D.E.R. 331 + kietiklis Dow D.E.H. 24
M5	Vienakryptė stiklo juosta 220 g/m ² (R&G 200110-X)	Derva L1100 (R&G 103100-X) + kietiklis EPH 294 (R&G 103105-X) + kietiklis EPH 295 (R&G 103110-X)

Medžiagų kainos įvertintos laikantis gamintojo nurodytų komponentų mišinio proporcijų ir taikant 80% dervos ir audinio įmirkymo santykį, kuris pasiteisino praktikoje.



1 pav. Tiriamų medžiagų vieno sluoksnio rinkos kaina (be PVM), kai derva sudaro 80% audinio svorio

Fig. 1. One layer market price (without VAT) of materials analyzed, when pitch makes up 80% of fabric weight

2. Bandymų metodika

Skaiciuojant bet kokio laminato stiprumą pagal klasikine laminuotos plokštelės teoriją, visų pirma reikia žinoti visų tą laminatą sudarančių elementariųjų sluoksnelių (dar kitaip vadinamų laminų) tamprumo ir stiprumo charakteristikas medžiagos pagrindinių ašių sistemoje. Huko dėsnis tokiai ortotropinei medžiagai, kai įtempimų būvis yra vienašis, išreiškiamas šia forma (Baker *et al.* 2004: 173):

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/E_1 & -\nu_{12}/E_2 & 0 \\ -\nu_{21}/E_1 & 1/E_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/G_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix}$$

Dešinės lygties pusės pirmasis narys vadinamas suderinamumo matrica, kurioje yra 5 nežinomieji. Tačiau tik 4 dydžiai yra nepriklausomi, nes, remiantis energijos tvarumo principais galima įrodyti, kad matrica yra simetrinė (ten pat). Vadinas, norint žinoti laminos tamprumo charakteristikas, reikia atlikti 3 bandymus nustatant tamprumo modulius E_1 ir E_2 atitinkamai išilginėmis ir skersinėmis kryptimis (kartu matuojant ir Puasono koeficientą laisvai pasirinktoje kryptyje) bei šlyties modulį G_{12} . Kadangi kompozitinių medžiagų savybės tempimo ir gniuždymo metu skiriasi, reikia papildomai atlikti 2 gniuždymo bandymus 0 ir 90 laipsnių kryptimis – iš viso 5 bandymus.

Sluoksnio savybės paprastai tiriamos atliekant mechaninius tempimo ir gniuždymo bandymus su taip vadinamais kuponiniais bandiniais. Akivaizdu, kad elementarųjį sluoksnelį išbandyti mechaniškai būtų netikslinga, todėl bandiniai technologiskumo sumetimais būna sudaryti iš tam tikro skaičiaus atitinkama kryptimi suklotų (sulaminuotų) tiriamos medžiagos sluoksnių. Tiek bandinio geometriją, tiek jo gamybos specifikacijas reglamentuoja standartai (ASTM... 2004).

Kadangi aplinkos sąlygos turi pastebimą įtaką polimerinių kompozitų savybėms, buvo nuspręsta dalį bandymų atlikti dirbtinai sukėlus maksimaliai galimas

* Ortotropine vadinama medžiaga, kurios savybės yra pasiskirsčiusios simetriškai trijų tarpusavyje statmenų plokštumų atžvilgiu (Baker *et al.* 2004: 173)

nepalankias sąlygas eksploatacijos metu – tai yra atliekant bandymus 50⁰ temperatūroje ir išlaikius bandinius specialioje įrangoje tol, kol jie pasieks visiškos drėgmės stovį esant 85% aplinkos santykinei drėgmei.

Atsižvelgiant į visas aukščiau išvardintas sąlygas, buvo paruošta stikloplastčio (SP) bandymų programa, kuri glaustai pateikta 2 lentelėje.

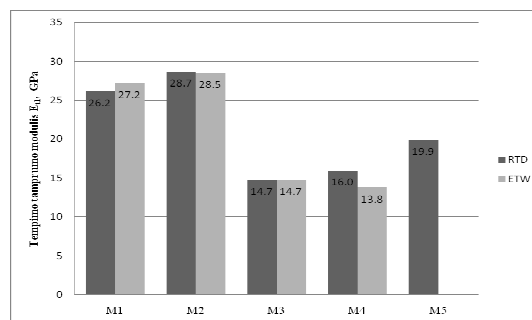
2 lentelė. Mechaninių savybių bandymai. SP – stikloplastis, RTD – testas bus atliekamas esant normalioms aplinkos sąlygoms; ETW – testas bus atliekamas esant 50⁰C aplinkos temperatūrai ir atlikus 85% bandinio drėgmės sugerimui

Table 2. Tests of mechanical characteristics. SP – glassfibre, RTD – test will be carried out under normal ambient conditions, ETW – test will be carried out at 50⁰C ambient temperature and having performed 85% sample moisture absorption

Mechaninės savybės	Standartas	Bandymų skaičius	
		RTD	ETW
SP įtempis išilgine kryptimi (išskyrus medžiagą M5)	ASTM D3039	3	8
SP įtempis išilgine kryptimi (tik medžiaga M5)	ISO 527-5	7	N/A
SP įtempis skersine kryptimi (išskyrus medžiagą M5)	ASTM D3039	3	8
SP atsparumas gniuždymui išilgine kryptimi (išskyrus medžiagą M5)	ASTM D3410	3	8
SP atsparumas gniuždymui skersine kryptimi (išskyrus medžiagą M5)	ASTM D3410	3	8
SP atsparumas šlyčiai (išskyrus medžiagą M5)	ASTM D3518	3	8

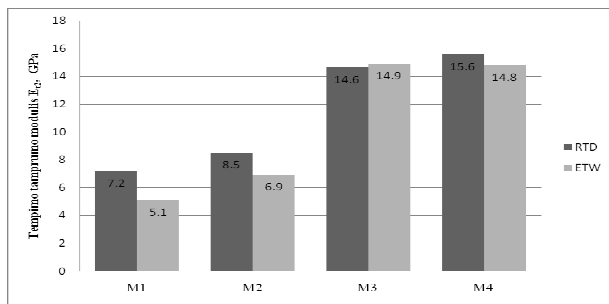
Bandymus su medžiaga M5 (ir jos gamybos darbus) atliko teksto autorius ir AM-07 grupės studentas B. Bakšinskas VGTU medžiagų atsparumo laboratorijoje. Bandymai su visomis kitomis medžiagomis buvo atlikti Italijos aeronautikos tyrimų institute CIRA pagal programos LIBAPARK paramą. Medžiagos šiems tyrimams buvo pagamintos Lietuvoje, Kauno aviacijos gamykloje ir nusiųstos į Italiją bandymams. Gamybos darbus atliko UAB „Helisota“ eksperimentinio skyriaus inžinierius R. Apavičius.

3. Bandymų rezultatai

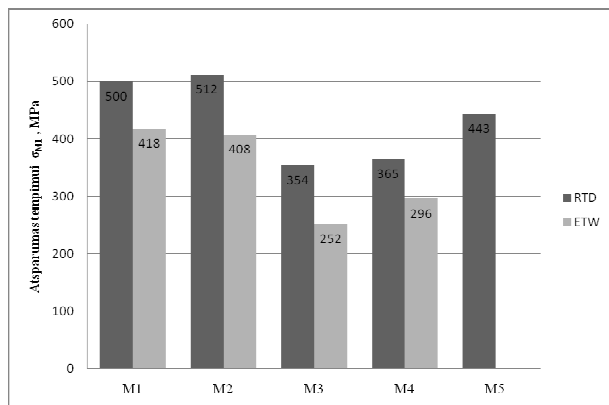


2 pav. Tempimo tamprumo modulis išilgine kryptimi

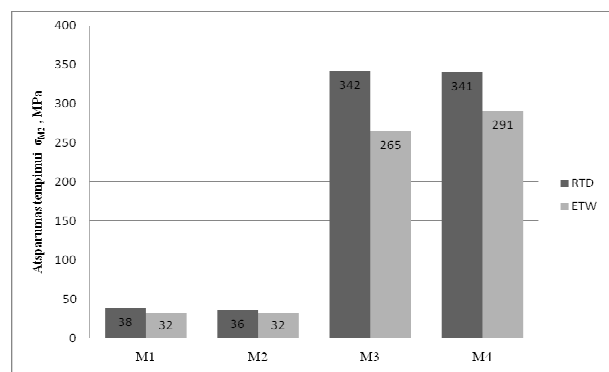
Fig. 2. Tension resilience module in a cross direction



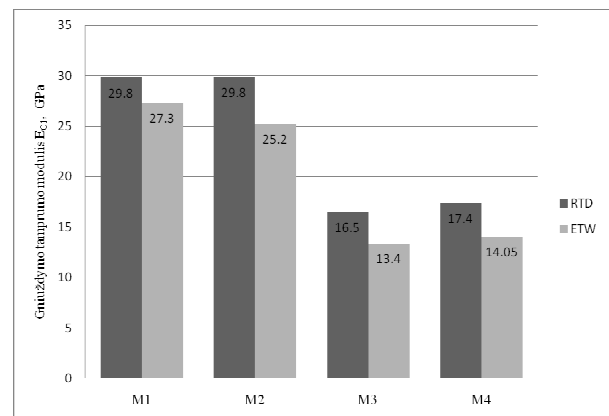
3 pav. Tempimo tamprumo modulis skersine kryptimi
Fig. 3. Tension resilience module in a cross direction



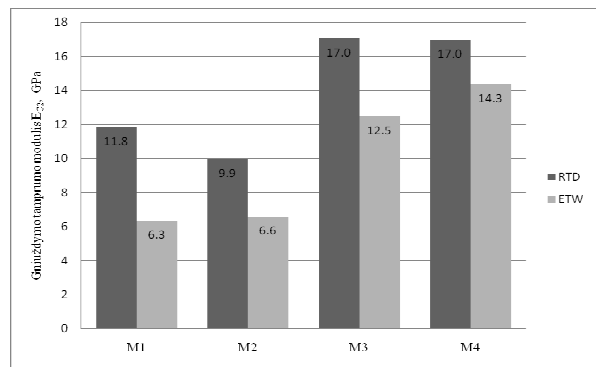
4 pav. Atsparumas tempimo įtempiams išilgine kryptimi
Fig. 4. Resistance to tension resilience in a longitudinal direction



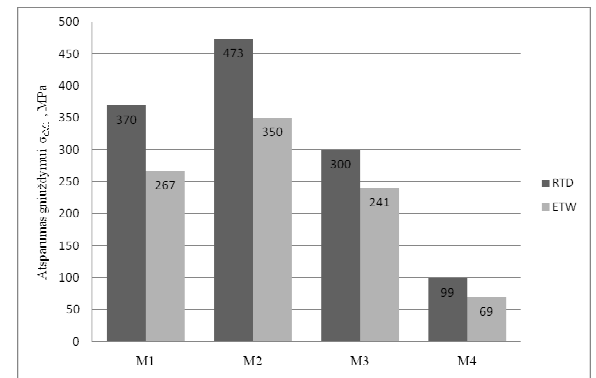
5 pav. Atsparumas tempimo įtempiams skersine kryptimi
Fig. 5. Resistance to tension resilience in a cross direction



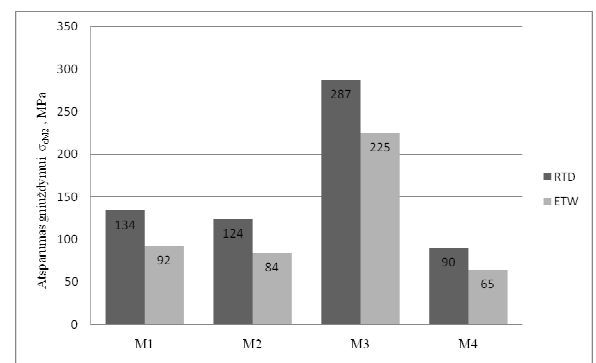
6 pav. Gniuždymo tamprumo modulis išilgine kryptimi
Fig. 6. Compression resilience module in a longitudinal direction



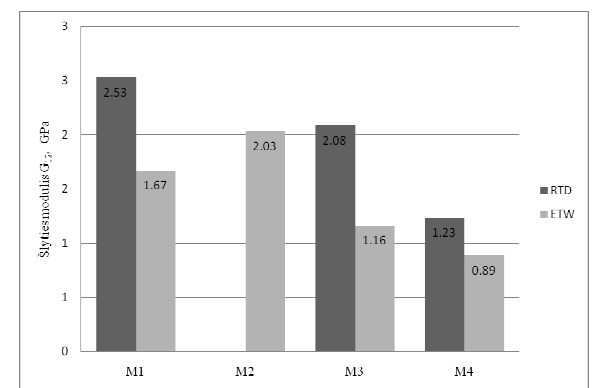
7 pav. Gniuždymo tamprumo modulis skersine kryptimi
Fig. 7. Compression resilience module in a cross direction



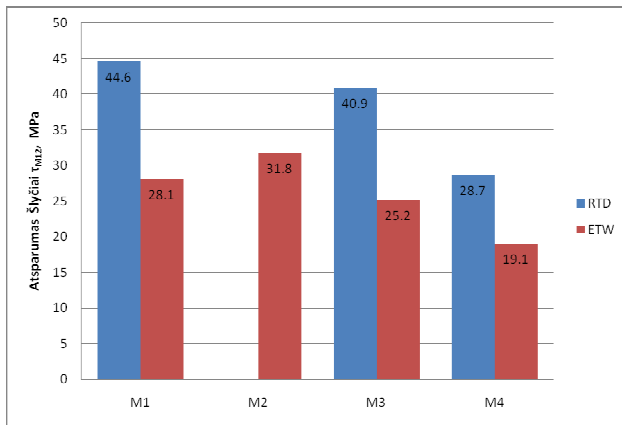
8 pav. Atsparumas gniuždymo įtempiams išilgine kryptimi
Fig. 8. Resistance to compression resilience in a longitudinal direction



9 pav. Atsparumas gniuždymo įtempiams skersine kryptimi
Fig. 9. Resistance to compression resilience in a cross direction



10 pav. Šlyties modulis (testas RTD sąlygomis su medžiaga M2 nebuvo atliktas)
Fig. 10. Shear module (test in RTD conditions with material M2 was not carried out)



11 pav. Atsparumas šlyties įtempiams (testas RTD sąlygomis su medžiaga M2 nebuvo atliktas)

Fig. 11. Resistance to shear tension (test in RTD conditions with the material M2 was not carried out)

4. Išvados

1. Tiek medžiaga M1, tiek ir M2 rodo santykinai geras tempimo ir gniuždymo išilgine kryptimi charakteristikas ir yra tinkamos naudoti stipriai viena kryptimi apkrautiems elementams (pvz., lonžerono lentynoms). Nors medžiaga M2 yra patrauklesnė kainos ir atsparumo gniuždymui požiūriu, šiuos pranašumus nustelbia gan prastos technologinės dervos savybės. Medžiaga M5 nusileidžia savo charakteristikomis ir kaina minėtoms medžiagoms, bet yra technologiškesnė (juostos nereikia pjautyti kaip audinių).
2. Medžiagos M1 ir M2 yra labai jautrios neigiamam aplinkos poveikiui, tiksliau jautri yra derva – tai ypač matyti iš gniuždymo bandymų skersine kryptimi, kur lemiamą reikšmę turi dervos savybės. Jų metu stebimas atitinkamų savybių sumažėjimas iki 30%, palyginti su tyrimais normaliomis sąlygomis.
3. Kaip ir reikėjo tikėtis, medžiagos M3 ir M4 parodė prastesnes mechanines savybes, nei prieš tai minėtos medžiagos. Tačiau šių medžiagų savybės mažiau jautrios neigiamam aukštos temperatūros ir drėgmės poveikiui bei yra vienodos tiek išilgine, tiek ir skersine kryptimis.
4. Medžiagos M4 atsparumo gniuždymui savybės yra pastebimai žemesnės ir dėl to nerekomenduojama šių medžiagų naudoti aviacijai skirtuose produktuose. Šlyčiai dirbančių elementų konstrukcijai verčiau naudoti medžiagą M3.

Literatūra

- ASTM Standards. Space Simulation. Aerospace and Aircraft, *Composite Materials* 2004. 15(03).
- Baker, A.; Dutton, S.; Kelly, D. 2004. *Composite materials for aircraft structures*. 2nd ed. Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics.

COMPARISON OF MECHANICAL PROPERTIES OF DIFFERENT GLASSFIBRE REINFORCED COMPOSITE MATERIALS USING EXPERIMENTAL METHODS

L. Mačiulis

Summary

The results of mechanical testing of different glassfibre reinforced composite materials are summarized. The tests were performed in VGTU laboratory for testing of materials and Central Aeronautical Research Institute of Italy, CIRA. The data acquired during the tests were used to determine the strain permitted and in order to select the proper materials for the calculation of the ultralight primary glider MS wing strength. The results could also be useful for students, engineers and aircraft homebuilders for their designs using respective materials.

Keywords: reinforced composite materials, mechanical testing, experimental methods, mechanical properties, fiberglass, glass-fibre, classical laminate theory, semi-manufactures.