

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS

Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas

Inžinerijos katedra

Deivydas Šapalas

**KARTONO GAMINIŲ KORIO PAGRINDU
TYRIMAI**

Gamybos inžinerijos studijų programos
magistro baigiamasis darbas

KLAIPĖDA, 2016

SANTRAUKA

Autorius: Deivydas Šapalas

Baigiamojo darbo pavadinimas: *Kartono gaminių korio pagrindu tyrimai.*

Gamybos inžinerijos studijų programos magistro baigiamasis darbas. Darbo vadovas Doc. dr. A. Tadžijėvas, Klaipėdos universitetas: Klaipėda, 2016. – 59 p.

Šio darbo teorinėje dalyje analizuojama literatūra susijusi su korinio užpildo gamyba, jo savybėmis, konstrukcijomis ir pritaikymo sritimis. Praktinėje darbo dalyje pateikiama sudaryta eksperimentinių tyrimų metodika, remiantis išanalizuotais straipsniais ir standartais.

Šio darbo tikslas išanalizuoti kompozitinių plokščių pagamintų kartoninio korio pagrindu mechanines savybes nustatant stiprį lenkiant ir gniuždant, kai yra keičiami skirtingi korio parametrai: aukštis, akies dydis, gramatūra. Analizuotos kompozitinės plokštės buvo pagamintos iš vietinio gamintojo produkcijos, kuris gamina korinį užpildą ir įvairios gramatūros popierių. Darbo pabaigoje pateikiamos išvados ir bandymų rezultatai.

Raktiniai žodžiai: *kompozitinė plokštė, korys, kartonas, lenkimas, gniuždymas.*

SUMMARY

Author: Deivydas Šapalas

Title of final work: *Research of sandwich panels based on paper honeycomb*

Processing Industry Engineering study Master's degree thesis. Supervisor Doc. dr. A. Tadžijėvas, Klaipėda University: Klaipėda, 2016. – 59 p.

In this paper theoretical part was analysed literature associated with honeycombs, their manufacturing, properties, structures and field of applications. In practical part of this paper, experimental investigation methodology was created by studying articles and standards.

The purpose of this research is to analyse strength properties of sandwich panels made of paper honeycomb using three point bending and static compression tests, when different honeycomb parameters such as honeycomb height, cell size, grammage are varied. Analysed sandwich panels were made from materials manufactured in local industrial plant, which produces paper honeycomb filling and various grammage papers. In the end of work conclusions and experimental results are given.

Key words: *sandwich panel, paper, honeycomb, three point bending test, static compression test.*

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Korio akies geometriniai parametrai (Veltin, 2009, 39 p.).....	11
2 lentelė. Laminuotų kompozitinių plokščių (I) gniuždymo bandinių serijos parametrai.....	32
3 lentelė. Laminuotų kompozitinių plokščių (II) gniuždymo bandinių serijos parametrai	32
4 lentelė. Laminuotų kompozitinių plokščių (I) lenkimo bandinių serijos parametrai	33
5 lentelė. Laminuotų kompozitinių plokščių (II) lenkimo bandinių serijos parametrai	33
6 lentelė. Korinio užpildo (I) gniuždymo bandinių serijos parametrai	34
7 lentelė. Korinio užpildo (II) gniuždymo bandinių serijos parametrai	34
8 lentelė. Pagrindiniai tempimo gniuždymo mašinos Z020 parametrai (Zwick/Roell)	35
9 lentelė. Pagrindiniai tempimo gniuždymo mašinos Z100 parametrai (Material testing machines)	36
10 lentelė. Variacijos koeficiento reikšmės	37
11 lentelė. Klijų DP 51/10 parametrai (Achema)	38
12 lentelė. Korio K160_H46,6_A22 gniuždymo rezultatai.....	42
13 lentelė. Korio gniuždymo rezultatų vidutinės reikšmės, esant skirtingam akies dydžiui.....	44
14 lentelė. Laminuoto korio gniuždymo rezultatai jų variacija.....	46
15 lentelė. Kompozitinių plokščių lenkimo jėgos sumažėjimas, lyginant su kompozitine plokšte, kurios korinio užpildo akies dydis 10 mm.....	51
16 lentelė. Kompozitinių plokščių lenkimo jėgos pokytis, esant skirtingam korio aukščiui, kai laminato gramatūra pastovi	52
17 lentelė. Kompozitinių plokščių lenkimo jėgos pokytis, esant skirtingoms laminato gramatūroms, kai korio aukštis pastovus.....	54

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS

1 pav. Korio gamyba naudojant išplėtimo procesą	10
2 pav. Korio gamyba naudojant gofravimą	10
3 pav. Dažniausiai sutinkami koriniai užpildai: a) šešiakampio formos. b) keturkampio formos. ...	11
c) trikampio formos (Tekoğlu, 2007, 19 p.)	11
4 pav. Korio akies geometriniai parametrai (Veltin, 2009, 39 p.).....	11
5 pav. Korio akies geometriniai parametrai pagal (Tounsi et al., 2016, 2 p.)	11
6 pav. Korinis užpildas ir jo stiprio savybių kryptys (Deqiang et al., 2010, 2 p.).....	12
7 pav. Korio akis. a) nedeformuota. b) deformuota atitinkamai X_1 ir X_2 kryptimis	12
8 pav. Korio akis, esant pakankamai veikiančiam jėgai subliukšta atsiradus elastiniam klupumui....	15
9 pav. Apkrovos kampas ψ ir orientacijos plokštumoje kampas β (Tounsi et al., 2016, 2 p.)	16
10 pav. Kirpimo schema, norint išgauti įvairias kampo β reikšmes (Tounsi et al., 2016, 3 p.)	16
11 pav. Principinė bandymų įrenginio schema (Tounsi et al., 2016, 3 p.)	16
12 pav. Realios ir pagerintos įrenginio simuliacija baigtiniais elementais (Tounsi et al., 2016, 4 p.)17	
13 pav. Bandymų rezultatai	17
14 pav. Bandinių deformacijos.....	17
15 pav. Hibridinio korio struktūra (Han et al., 2016, 2 p.).....	18
16 pav. Įtempių – deformacijos kreivės, esant skirtingai korinio užpildo sandarai	18
17 pav. Visiškai suspaustas korys	19
18 pav. Korio gniuždymo eiga įvairiais laiko tarpais.....	19
19 pav. Kartoninio korio įtempių – deformacijos kreivė (Dongmei et al., 2015, 3 p.)	19
20 pav. Takumo įtempių reikšmės, esant skirtingam t/l santykiui (Dongmei et al., 2015, 4 p.).....	20
21 pav. Simuliacijai naudojama schema (Liu et al., 2015, 2 p.).....	22
22 pav. Tiriamos kompozitinės plokštės sandara (Yang et al., 2016, 18 p.).....	22
23 pav. Korio parametrai	22
24 pav. Bandinių konfiguracija a) be užpildo b) 3,1 μm plaušeliai c) 1,5 μm plaušeliai.....	23
d) 1,5 μm rutuliukai (Yang et al., 2016, 18 p.).....	23
25 pav. Garso absorbcija su stiklo pluošto plaušeliais (Yang et al., 2016, 19 p.)	23
26 pav. Garso absorbcija su stiklo pluošto rutuliukais (Yang et al., 2016, 20 p.).....	23
27 pav. Gniuždymo bandymo principinė schema	24
28 pav. Šlyties bandymo principinė schema	24
29 pav. Lenkimo bandymo principinė schema.....	25
30 pav. Kompozitinės plokštės struktūrinė schema (HexWeb).....	26
31 pav. Kompozitinė plokštė (HexWeb)	27

32 pav. Kartoninio korio įtempimų – deformacijos kreivės, esant skirtingoms santykinės drėgmės reikšmėms (Phol, 2009, 114p.).....	27
33 pav. Bandinių impregnuotų naudojant komercines priemones, drėgmės sugėrimas procentais lyginant su neimpregnuotu bandiniu (Phol, 2009, 123p.)	29
34 pav. Impregnuotų korio bandinių atsparumas gniuždymui, esant 20°C ir 95 %SD.....	29
35 pav. Gniuždymo principinė schema (IOS–P–0010 standartas)	31
36 pav. Trijų taškų lenkimo bandymo principinė schema (ASTM-393-00 standartas)	33
37 pav. Zwick/Roell Z020 tempimo – gniuždymo mašina (Zwick/Roell).....	35
38 pav. Zwick/Roell Z100 tempimo – gniuždymo mašina (Zwick/Roell).....	35
39 pav. Bandinių stendas	37
40 pav. Ištemptas kartoninis korys	38
41 pav. Kompozitinių plokščių gamybos eiga	39
42 pav. Kompozitinių plokščių pagamintu kartoninio korio pagrindu trijų taškų principinė lenkimo schema	39
43 pav. Korio džiovavimo ir maksimalaus drėgmės kiekio sugėrimo laikas.....	40
44 pav. Korio mirkymo pradžia.....	41
45 pav. Korio mirkymo pabaiga	41
46 pav. Korio džiovavimo ir sugeriamo drėgmės kiekio (kai SD = 62 %) laikas.....	41
47 pav. Korio gniuždymo bandymas	42
48 pav. Korio [K160_H46,6_A22] gniuždymo rezultatai, kai (SD = 63 %, t = 19°C).....	43
49 pav. Apibendrinti korių džiovavimo rezultatai, kai (SD = 63 %, t = 19°C)	43
50 pav. Korio su skirtingu akutės dydžiu gniuždymo rezultatai, kai (SD = 63 %, t = 17°C)	44
51 pav. Tipinė kompozitinės plokštės rezultatų kreivė, gauta plokštės gniuždymo metu	45
52 pav. Laminuoto korio gniuždymo pradžia.....	45
53 pav. Laminuoto korio gniuždymo pabaiga	45
54 pav. Laminuoto korio su skirtingu akutės dydžiu gniuždymo rezultatai, kai (SD = 53 %; t = 20,5°C; laminuojančio sluoksnio gramatūra – 125g/m ²)	46
55 pav. Laminuoto korio gniuždymo rezultatų vidutinės reikšmės.....	46
56 pav. Laminuoto ir nelaminuoto korio gniuždymo apibendrinti rezultatai.....	47
57 pav. Džiovinto ir nedžiovinto korio gniuždymo apibendrinti rezultatai	47
58 pav. Kompozitinės plokštės [K160_L125_A22] gniuždymo jėgos priklausomybė, nuo korio aukščio	48
59 pav. Apibendrinti kompozitinių plokščių gniuždymo rezultatai, esant skirtingai laminato gramatūrai ir korio aukščiui.....	48
60 pav. Lenkimo bandymams naudotas korinis užpildas	49

61 pav. Lenkimo bandymo pradžia	49
62 pav. Lenkimo bandymo pabaiga.....	49
63 pav. Tipinė kompozitinės plokštės rezultatų kreivė, gauta plokštės lenkimo metu	50
64 pav. Kompozitinės plokštės L160_H322_K125 lenkimo rezultatai.....	50
65 pav. Apibendrinti kompozitinių plokščių lenkimo rezultatų vidurkiai, esant skirtingai laminato gramatūrai ir akutės dydžiui	51
66 pav. Kompozitinės plokštės L125_K160_A22 lenkimo jėgos priklausomybė, nuo korio aukščio	52
67 pav. Apibendrinti kompozitinių plokščių lenkimo rezultatų vidurkiai, esant skirtingai laminato gramatūrai (L) ir korio aukščiui (H)	53
68 pav. Apibendrinti kompozitinių plokščių lenkimo rezultatų vidurkiai, esant skirtingai laminato gramatūrai, o korio aukštis (H) nekinta	53

TURINYS

ĮVADAS	8
I. MOKSLINIŲ STRAIPSNIŲ APŽVALGA	9
1.1. Korinio užpildo gamyba	9
1.2. Korinio užpildo parametrai ir jo stipris gniuždant.....	10
1.3. Taikymo sritys	21
1.4. Kompozitinių plokščių mechaninių savybių tyrimai	23
1.5. Norminiai dokumentai	25
1.6. Tyrimų tikslas	25
1.7. Drėgmės poveikis korio mechaninėms savybėms	27
II. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ METODIKA	31
2.1. Bandymų metodika	31
2.2. Eksperimentiniams tyrimams naudota įranga.....	35
2.3. Gautų duomenų apdorojimas	36
2.4. Bandinių gamyba	37
III. KOMPOZITINIŲ PLOKŠČIŲ GNIUŽDYMO REZULTATAI	40
3.1. Korio džiovinimas ir drėgmės kiekio nustatymas.....	40
3.2. Korio gniuždymo bandymai, esant skirtingam jo aukščiui.....	41
3.3. Korio gniuždymo bandymai, esant skirtingam akutės dydžiui.....	44
3.4. Laminuoto korio gniuždymo bandymai, esant skirtingam akutės dydžiui	45
IV. KOMPOZITINIŲ PLOKŠČIŲ LENKIMO REZULTATAI	49
4.1. Laminuoto korio lenkimo bandymai, esant skirtingam akutės dydžiui	50
4.2. Kartoninio korio aukščio įtaką kompozitinės plokštės lenkimo jėgai	52
4.3. Laminuojančio sluoksnio gramatūros įtaką kompozitinės plokštės lenkimo jėgai.....	53
IŠVADOS	55
Literatūra	57
PRIEDAI	59

ĮVADAS

Korio struktūra susideda iš atvirų kamerų masyvo, kuri suformuojama iš labai plonų, tarpusavyje surišų, medžiagos lakštų. Todėl ši struktūra gali būti gamina iš daugumos plonų ir lygų paviršių turinčių medžiagų, šiuo metu žinoma daugiau 500 skirtingų medžiagų rūšių iš kurių gaminamas korio užpildas (Bitzer, 1997, 40 p.).

Korinis užpildas nėra nauja medžiaga, jis gana seniai naudojamas aviacijoje ir automobilių pramonėje. Pagrindinė priežastis, kodėl korinis užpildas populiarėja – tai jo masės ir stiprio santykis (Han et al., 2016, 1 p.).

Šiuo metu dažnai pakavimui naudojama medžiaga yra putų polistirolas. Tai nedidelio tankio putos, kurios savyje turi oro intarpų. Kadangi putų polistirolas sudėtyje yra iki 95 % oro, vėliau iš jo susidariusios atliekos yra pakankamai lengvos, todėl lengvai pasišalina iš šiukšlių dėžių ir sąvartynų. Dėl šios priežasties yra gana sunku kaupti ir transportuoti tokio tipo atliekas bei jas perdirbti žinomais metodais (Polystyrene Fact Sheet, 2010, 1 p.). Kita priežastis trukdanti perdirbti putų polistirolas atliekas – tai jų matmenys. Lietuvoje vidutiniškai polistirolas atliekų matmenys siekia 1300x1400x360 mm. Tokių matmenų atliekas perdirbti pakankamai sunku, nes reikalingaF plati smulkinimo įrenginio darbinė zona; praktiškai nėra tokiam smulkinimui pritaikytos įrangos; smulkinant susidaro gana didelės pasipriešinimo jėgos (Kligys, 2009, 115 p.). Dėl šių polistirolas trūkumų kompozitinės plokštės, pagamintos iš kartoninio korio užpildo yra puiki alternatyva, nes jos pasižymi ne tik geromis mechaninėmis savybėmis, bet ir paprastu perdirbimu tuo pačiu sumažinant reikiamą celiuliozės kiekį, kuris išgaunamas iš medienos.

Todėl šiuo metu labai išaugo susidomėjimas korinio užpildo pritaikymu kitose srityse.

Darbo tikslas: Nustatyti, kaip keičiasi koriniu pagrindu pagamintos kompozitinės plokštės mechanines savybes, kintant įvairiems kartoninio korinio užpildo parametrams.

Darbo uždaviniai:

1. Išanalizuoti mokslinėje metodikoje pateiktus tyrimų rezultatus, metodikas ir būdus;
2. Vadovaujantis standartais ir publikacijomis sudaryti mokslinių tyrimų metodiką;
3. Atlikti korio ir kompozitinių plokščių lenkimo, gniuždymo bandymus;
4. Išanalizuoti tyrimų rezultatus ir nustatyti parametrų sąryšį.

I. MOKSLINIŲ STRAIPSNIŲ APŽVALGA

1.1. Korinio užpildo gamyba

Nuo 1940m. korys buvo gaminamas iš daugybės skirtingų medžiagų, kadangi korio gamybai tinkamas beveik bet koks didelis ir lygų paviršių turintis medžiagos lakštas. Dažniausiai pramoninėje korio gamyboje naudojamos dviejų tipų: metalinės ir nemetalinės medžiagos:

- Metalinės – aliuminis, nerūdijantysis plienas, titanas;
- Nemetalinės – stiklo pluoštas, įvairūs polimerai (pvz.: Nomex), kartonas.

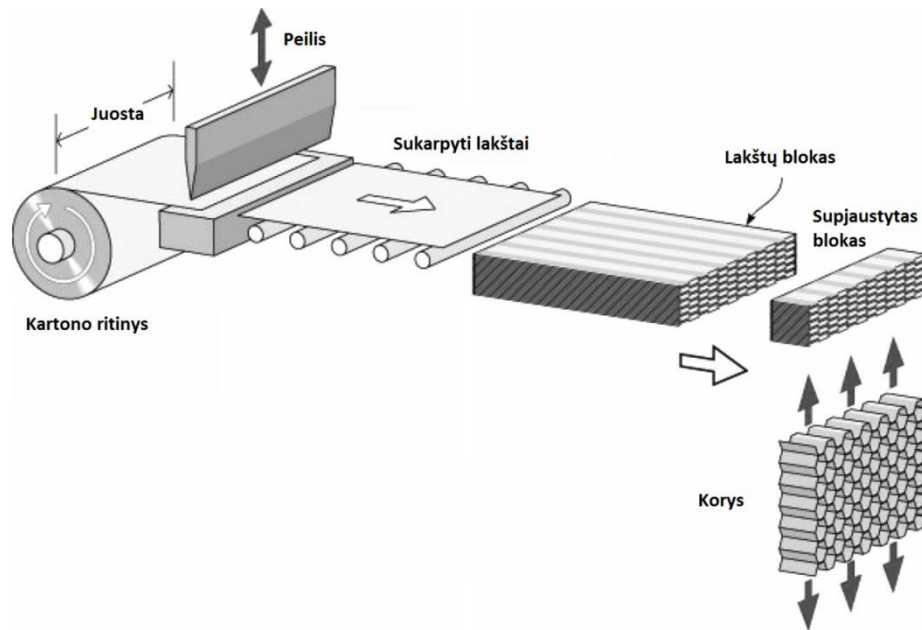
Rečiau korio gamyboje naudojamos medžiagos yra: varis, švinas, asbestas, kevlaras. Gana nauja korio gamyboje naudojama medžiaga yra anglies pluoštas, kuris pasižymi labai aukštomis mechaninėmis savybėmis (Barboutis and Vassiliou, 2005, 3 p.; Bitzer, 1997, 50 p.). Nors korio gamybai naudojama daug įvairių medžiagų, šiame darbe pagrindinis dėmesys bus skiriamas koriumi gaminamam iš kartono bei jo pritaikymui.

Kalbant apie korinio užpildo gamybą, darbe nagrinėjamas kartoninis korinis užpildas, todėl detaliau bus apžvelgiama šio tipo korio gamybos procesas. Pramonėje naudojami du pagrindiniai kartoninio korio gamybos būdai:

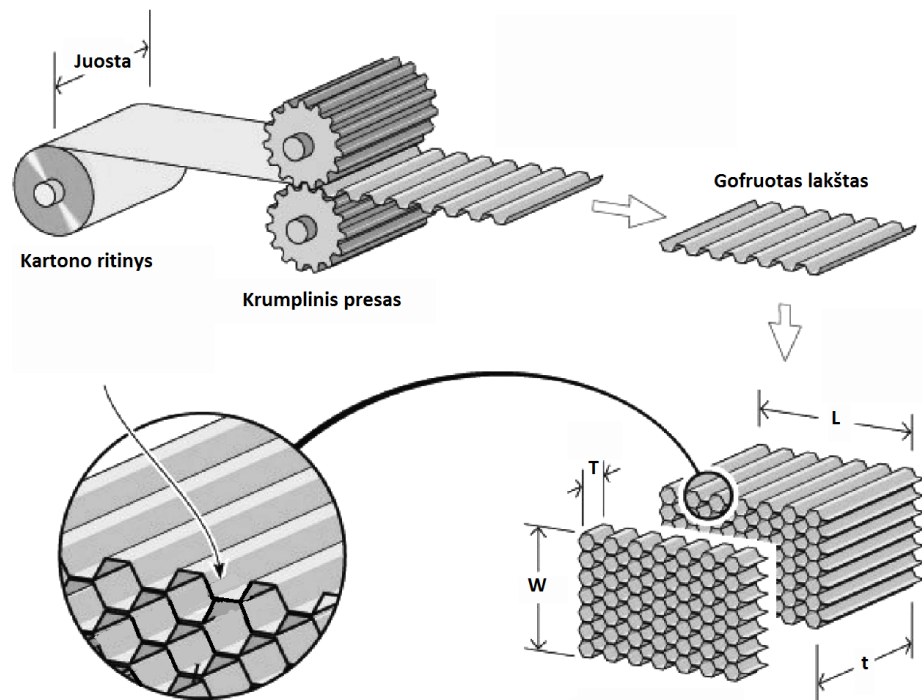
- 1) Išplėtimo procesas;
- 2) Gofravimo procesas.

Naudojant išplėtimo procesą, kuris pavaizduotas 1 pav., pirmiausiai iš kartono ritinio vyniojama juosta yra karpoma peiliu į reikiamo dydžio lakštus. Ant sukarpytų lakštų suformuojamos klijų juostos, kurių tankumas priklauso nuo norimos gauti korio akutes skersmens. Po to lakštai yra suspaudžiami ir laikomi tam tikrame suspaudimo laipsnyje ir temperatūroje. Praėjus šį procesą gautas blokas yra supjaustomas į reikiamo storio dalis, kurios po to yra ištempiamos, taip suformuojant korinę struktūrą. Nemetalinėms medžiagoms, tarp kurių ir kartoninis korys taikomas papildomas apdorojimas, nes šios medžiagos po tempimo neišlaiko savo formos. Todėl norint suteikti reikiamą formą šių medžiagų korys yra įmerkiamas į skystą dervą ir kaitinamas krosnyje pakabinus ant stovų, palaikant tam tikrą temperatūrą (Bitzer, 1997, 55 p.).

Taikant gofravimo procesą, kuris pavaizduotas 2 pav., pirmiausiai popierius yra gofruojamas naudojant krumplinį presą. Po to gofruota juosta karpoma į reikiamo dydžio lakštus arba gaminama ištisinė. Atlikus gofravimą, gofruotos juostos taškai padengiami klijais, suspaudžiami ir apdorojami tam tikroje temperatūroje. Reikia paminėti, kad suspaudžiant gofruotus lakštus, galimas tik nedidelis suspaudimas, dėl to juostos taškuose esančių klijų kiekis yra daug didesnis negu naudojant išplėtimo procesą. Dažniausiai klijų kiekis siekia iki 10 % viso korio masės lyginant su 1 % naudojant išplėtimo procesą. (Haydn and Wadley 2006; Barboutis and Vassiliou, 2005; Bitzer, 1997)



1 pav. Korio gamyba naudojant išplėtimo procesą

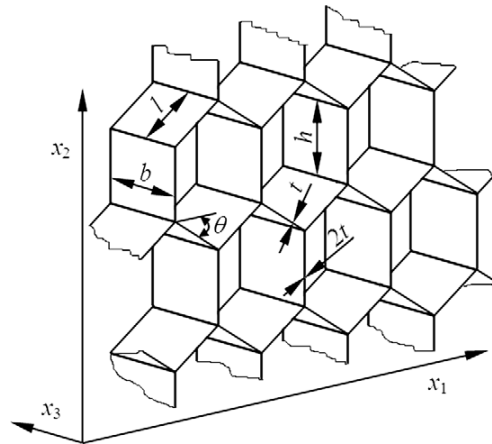


2 pav. Korio gamyba naudojant gofravimą

1.2. Korinio užpildo parametrai ir jo stipris gniuždant

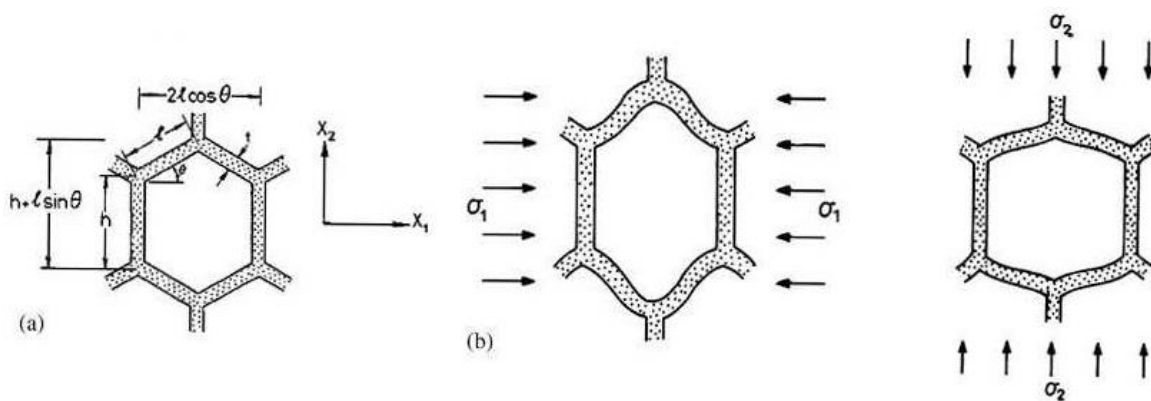
Gaminamo korinio užpildo akies forma gali būti įvairi, pvz.: kvadratinė, stačiakampė, trikampė, šešiakampė ir kt. Dažniausiai sutinkamų korinių užpildų pavyzdžiai pateikti 3 pav.

Šie parametrai nulemia korinio užpildo stiprio savybes X_1 , X_2 , X_3 kryptimis. Kryptys X_1 , X_2 vadinamos korio akies plokštuminėmis kryptimis, o X_3 – neplokštumine arba ašine kryptimi (Veltin, 2009, 38 p.)



6 pav. Korinis užpildas ir jo stiprio savybių kryptys (Deqiang et al., 2010, 2 p.)

Koriai yra dažniausiai sutinkamos dviejų dimensijų porėtos struktūros, todėl svarbu suprasti jų mechanines savybes.



7 pav. Korio akis. a) nedeformuota. b) deformuota atitinkamai X_1 ir X_2 kryptimis (Erjavec, 2011, 5 p.)

Korio mechaninės savybės priklauso nuo apkrovos krypties. Stiprio savybės plokštumos kryptimis (X_1 ir X_2) priklauso nuo santykinio tankio ir akies geometrijos, o savybės ne plokštumine kryptimi (X_3) priklauso tik nuo santykinio tankio (Gibson et al., 1997, 27 p.). Todėl porėtos medžiagos santykinis tankis ρ_s yra vienas svarbiausių parametru. Santykinis tankis ρ_s išreiškiamas bendrąja forma:

$$\rho_s = \frac{\rho^*}{\rho_0}, \quad (1)$$

- čia
- ρ_s – santykinis tankis, kg/m^3 ;
 - ρ^* – porėtos struktūros tankis, kg/m^3 ;
 - ρ_0 – medžiagos tankis, iš kurios pagaminta porėta struktūra, kg/m^3 .

Didėjant santykiniam tankiui, porėtos medžiagos sienelių storis didėja. Gniuždant korio sienelės plokštumos kryptimis 7 pav. b), jos tuoj pat deformuojasi vykstant lenkimui, taip susidarant linijinei elastinei deformacijai. Dėl šios priežasties stipris ir standumas plokštuminėmis kryptimis yra mažesnis lyginant su ne plokštumine kryptimi. Kai gniuždymas pasiekia ribines įtempių reikšmes, korio akis subliūkšta dėl elastinio klupumo elastingose medžiagose, dėl plastinės deformacijos medžiagose su takumo aikštele ir valkšniu arba trapiu lūžių trapiose medžiagose. Trapioms ir takumo aikštelę turinčioms medžiagoms subliūškimo procesas yra nebegrįžtamas. Jeigu akies sienelės yra veikiamos tempimo, jos linksta, tačiau ne elastinio klupimo būdu. Joms pasireiškia plastiškumas, kuriame galime matyti lūžį, jeigu korio akys padarytos iš trapios medžiagos (Erjavec, 2011, 6 p.).

Kai šešiakampis korinis užpildas yra taisyklingas, tai yra visi kampai (θ) lygus 30° , visų sienelių ilgiai yra vienodi ir visų sienelių storiai (t) taip pat vienodi, tada korio savybės plokštuminėmis kryptimis (X_1 ir X_2) yra izotropinės.¹ Tai reiškia, kad galima aprašyti korinio užpildo savybes plokštumų kryptimis, pasinaudojant tamprumo (E) ir šlyties (G) moduliais. Tačiau kai korys nėra taisyklingas, jo savybės plokštumų (X_1 ir X_2) kryptimis yra anizotropinės, todėl pilnam šių savybių užrašymui reikalinga 4 moduliai (E_1 , E_2 , G_{12} ir Puasono koeficientas) taip pat reikalingos σ_1 ir σ_2 reikšmės (Erjavec, 2011, 7 p.).

Laikant, kad korinis užpildas turi nedidelį santykinį tankį, tai yra sienelės storis palyginti su sienelės aukščiu yra labai mažas, tada santykinis tankis yra lygus:

$$\frac{\rho^*}{\rho_0} = \frac{t}{l} \frac{h/l + 2}{2 \cos \theta (h/l + \sin \theta)}, \quad (2)$$

- čia ρ^* – porėtos struktūros tankis, kg/m^3 ;
 ρ_0 – medžiagos tankis, iš kurios pagaminta porėta struktūra, kg/m^3 ;
 t – sienelės storis, m;
 l – akies pasvirusios sienelės aukštis, m;
 h – akies vertikalios sienelės aukštis, m.
 θ – akies kampas, kampas tarp horizontalios ašies ir pasvirusios sienelės, $^\circ$.

Iš (2) išraiškos matyti, kad santykinis tankis yra proporcingas (t/l) santykiui. (Tincher, 2010, 7 p.) savo darbe siūlo naudoti paprastesnę (2) formulės išraišką, norint nustatyti šešiakampio korinio užpildo santykinį tankį:

$$\frac{\rho^*}{\rho_0} = \frac{8(t/l)}{3\sqrt{3}}, \quad (3)$$

- čia ρ^* – porėtos struktūros tankis, kg/m^3 ;

¹ Medžiagos savybės plokštumų X_1 ir X_2 visomis kryptimis yra vienodos.

ρ_0 – medžiagos tankis, iš kurios pagaminta porėta struktūra, kg/m^3 ;

t – sienelės storis, m;

l – akies pasvirusios sienelės aukštis, m.

Šios išraiškos formulė galioja tik tuo atveju, kai korinis užpildas yra taisyklingos formos t.y. $h = l$; $\theta = 30^\circ$ (Xu et al., 2012, 3 p.).

Veikiant nuožulnią akies sienelę gniuždymo jėga P , kuri yra lygi:

$$P = \sigma_1 (h + l \cdot \sin \theta) b, \quad (4)$$

čia σ_1 – jėga veikianti X_1 kryptimi, pa;

h – akies vertikalios sienelės aukštis, m;

b – korio akies aukštis (gylis), m;

l – akies pasvirusios sienelės aukštis, m;

θ – akies kampas, kampas tarp horizontalios ašies ir pasvirusios sienelės, $^\circ$.

Gauname, kad akies sienelė pasilenka pagal tokią išraišką:

$$\delta = \frac{Pl^3 \sin \theta}{12E_0 I}, \quad (5)$$

čia E_0 – tamprumo modulis, pa;

P – nuožulnią akies sienelę veikianti apkrovos jėga P , N;

I – korio akies sienelės inercijos momentas ($I = bt^3/12$), m^4 ;

l – akies pasvirusios sienelės aukštis, m;

θ – akies kampas, kampas tarp horizontalios ašies ir pasvirusios sienelės, $^\circ$.

Kryptimi X_1 poslinkis yra lygus $\delta \cdot \sin \theta$ ir duoda įtempius, kurie išreiškiami:

$$\varepsilon_1 = \frac{\delta \sin \theta}{l \cdot \cos \theta} = \frac{\sigma_1 (h + l \cdot \sin \theta) b l^2 \cdot \sin^2 \theta}{12E_0 I \cdot \cos \theta}, \quad (6)$$

čia E_0 – tamprumo modulis, pa;

σ_1 – jėga veikianti X_1 kryptimi, pa;

I – korio akies sienelės inercijos momentas, m^4 ;

l – akies pasvirusios sienelės aukštis, m,

h – akies vertikalios sienelės aukštis, m;

b – korio akies aukštis (gylis), m;

δ – poslinkis, m;

θ – akies kampas, kampas tarp horizontalios ašies ir pasvirusios sienelės, $^\circ$.

Tamprumo modulis lygiagrečiai X_1 kryptimi yra lygus $E_1^* = \sigma_1 / \varepsilon_1$, ir duoda:

$$\frac{E_1^*}{E_0} = \left(\frac{t}{l}\right)^3 \frac{\cos \theta}{(h/l + \sin \theta) \sin^2 \theta}, \quad (7)$$

- čia E_0 – tamprumo modulis, pa;
 E_1 – tamprumo modulis lygiagrečiai X_1 kryptimi, pa;
 l – akies pasvirusios sienelės aukštis, m;
 h – akies vertikalios sienelės aukštis, m;
 t – sienelės storis, m;
 θ – akies kampas, kampas tarp horizontalios ašies ir pasvirusios sienelės, °.

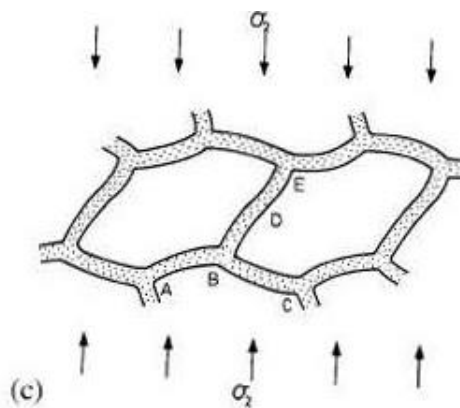
Taigi tamprumo modulis plokštuminėje korio akies apkrovoje priklauso nuo santykinio tankio:

$$\frac{E_1^*}{E_0} \propto \left(\frac{\rho^*}{\rho_0} \right)^3 \quad (8)$$

Analogiškai tamprumo modulis randamas X_2 kryptimi ir šlyties modulis $X_1 - X_2$ plokštumoje. Esant didelei veikiančiai jėgai, korio akys subliukš susiformuojant elastiniam klupumui, plastinei deformacijai arba susidarant trapiam lūžiui. Elastinio klupumo atveju, gniuždymo jėga yra proporcinga Eulerio apkrovai:

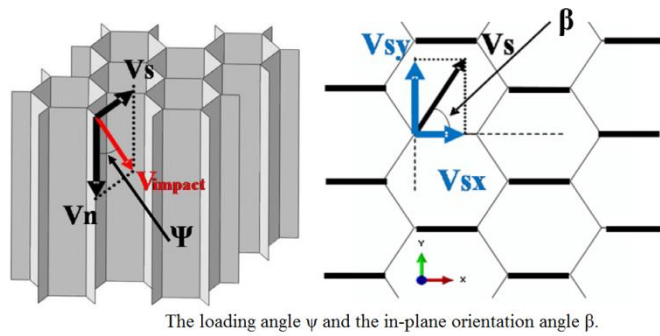
$$\sigma_{el}^* = \frac{P_{crit}}{2l \cdot b \cdot \cos \theta}, \quad (9)$$

- čia P_{crit} – Eulerio apkrova, N;
 l – akies pasvirusios sienelės aukštis, m;
 b – korio akies aukštis (gylis), m;
 θ – akies kampas, kampas tarp horizontalios ašies ir pasvirusios sienelės, °.



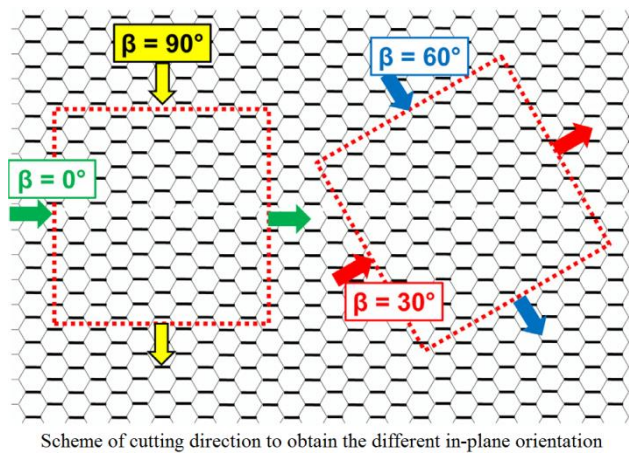
8 pav. Korio akis, esant pakankamai veikiančiai jėgai subliukšta atsiradus elastiniam klupumui
(Erjavec, 2011, 5 p.)

Tounsi et al., savo darbe atliko šlyties – gniuždymo bandymus, keičiant korį veikiančių apkrovų kampus ir korio akies pasukimo kampą plokštuminėmis kryptimis, taip nustatant korio mechanines savybes.



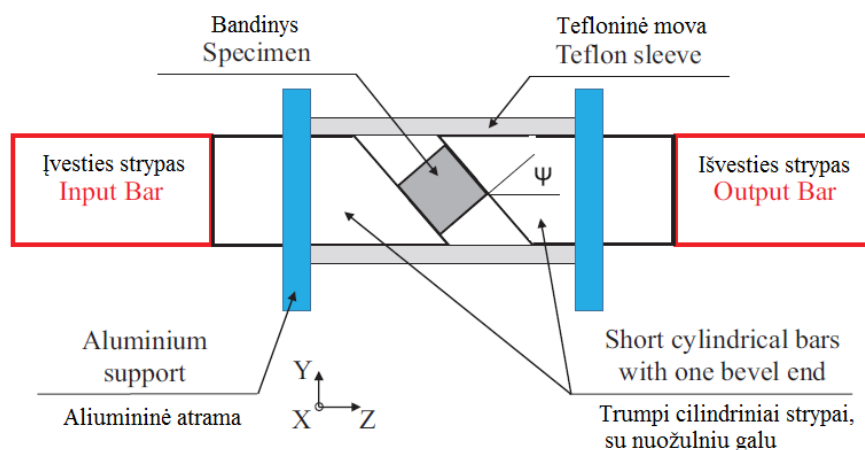
9 pav. Apkrovos kampas ψ ir orientacijos plokštumoje kampas β (Tounsi et al., 2016, 2 p.)

Tiriant korio orientacijos kampo įtaką šlyčiai plokštuminėmis kryptimis buvo pasirinktos keturios kampo β reikšmės: 0° , 30° , 60° ir 90° .

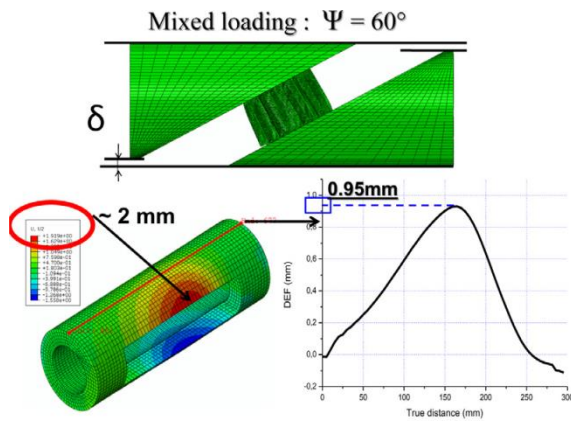


10 pav. Kirpimo schema, norint išgauti įvairias kampo β reikšmes (Tounsi et al., 2016, 3 p.)

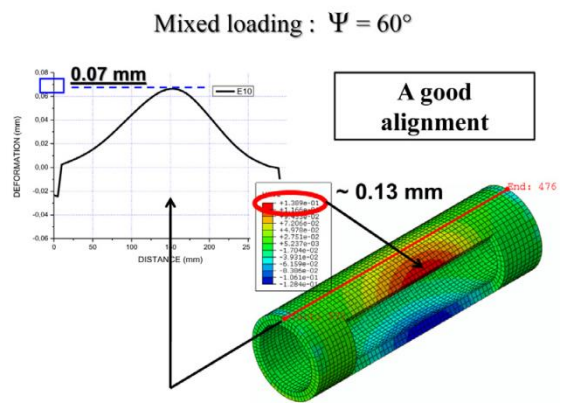
Bandymas buvo atliekamas su testavimo įranga, kurios pagrindiniai elementai yra du trumpi nuožulnūs strypai, kurie turi penkis skirtingus nuožulnumo kampus. Taip išgaunami skirtingi apkrovos kampai ψ nuo 0 iki 60° , esant 15° žingsniui (Tounsi et al., 2016, 2 p.).



11 pav. Principinė bandymų įrenginio schema (Tounsi et al., 2016, 3 p.)

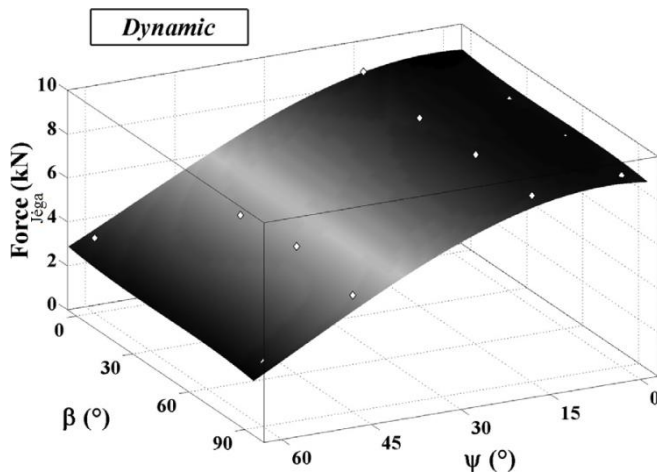


(a) Original device



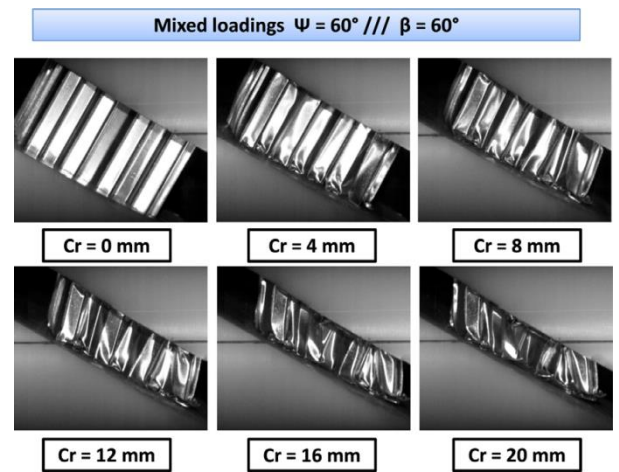
(b) Improved device

12 pav. Realus ir pagerinto įrenginio simuliacija baigtiniais elementais (Tounsi et al., 2016, 4 p.)



13 pav. Bandymų rezultatai

(Tounsi et al., 2016, 8 p.)

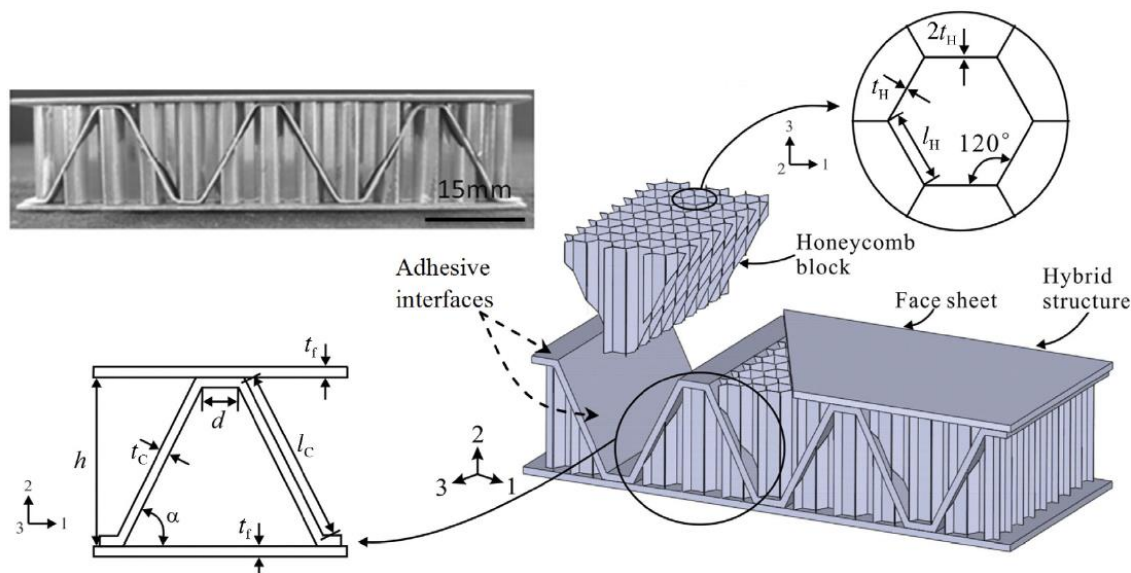


14 pav. Bandinių deformacijos

(Tounsi et al., 2016, 9 p.)

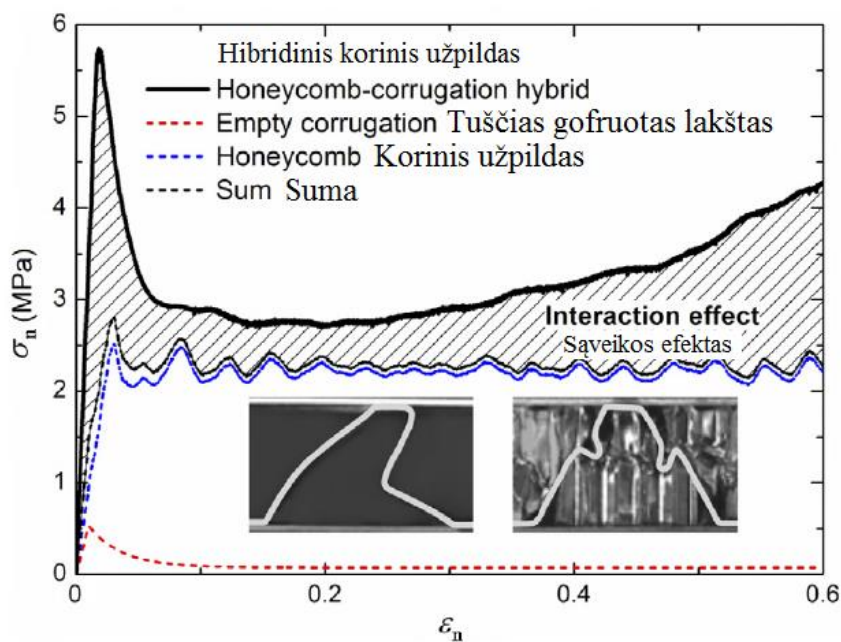
Iš gautų rezultatų nustatyta, kad apkrovos kampas ψ turi didelę reikšmę. Korinio užpildo orientacijos kampas β plokštuminėmis kryptimis tampa svarbesnis tada, kai apkrovos kampas didėja: $\psi \geq 45^\circ$ (Tounsi et al., 2016, 10 p.).

Norint padidinti korinio užpildo stiprį gniuždant galima į jo struktūrą įvesti papildomą konstrukciją. Han et al. pasiūlė naujo tipo korinį užpildą. Į standartinį aliuminio korį įterpti gofruotą aliuminio lakštą. Toks hibridinis korys yra pagaminamas užpildant gofruoto lakšto tarpus su tiksliai išpjautais aliumininio korio blokais, juos suklijuojant epoksidiniais klijais. Tokio korio stiprio ir energijos absorbavimo savybės lyginant su paprastu koriu ženkliai pagerėjo.



15 pav. Hibridinio korio struktūra (Han et al., 2016, 2 p.)

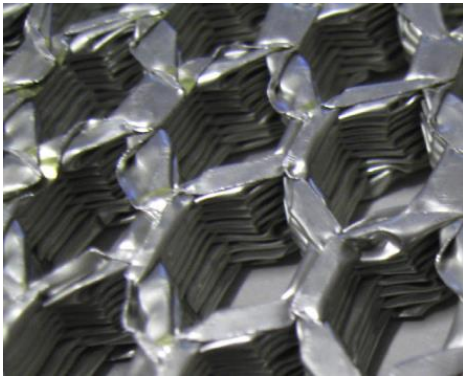
Atlikus kompozitinių plokščių su hibridiniu koriu gniuždymo rezultatus, buvo nustatyta, kad įtempių reikšmės ženkliai padidėjo. Korinio užpildo ir gofruoto lakšto konstrukcijos sąveika yra stipri. Tai reiškia, kad standumas, stipris gniuždant ir gebėjimas absorbuoti energiją yra stipriai pagerinami (Han et al., 2016, 2 p.). Apibendrinti bandymų rezultatai pateikti 16 pav.



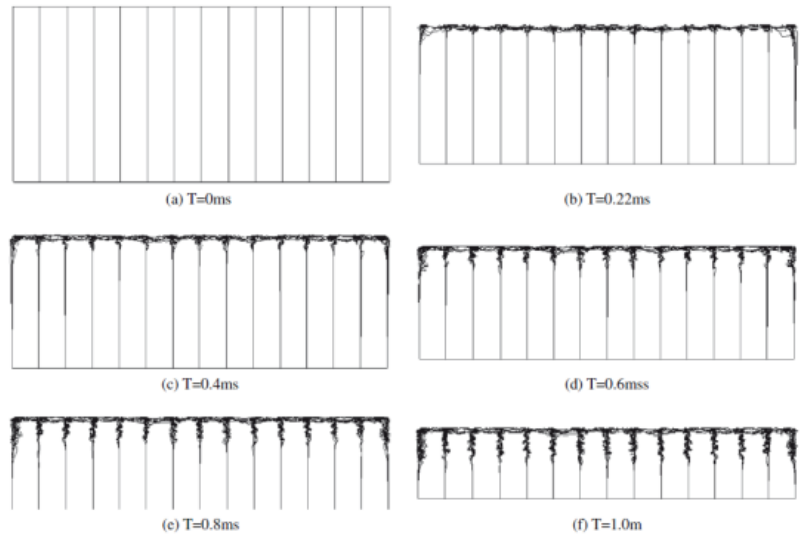
16 pav. Įtempių – deformacijos kreivės, esant skirtingai korinio užpildo sandarai

(Han et al., 2016, 2 p.)

Atliekant korio, gniuždymą ne plokštumine kryptimi (X_3), korys yra gniuždomas ašine kryptimi. Pagrindinė korio funkcija yra atlaikyti šlyties ir gniuždymo apkrovas ašine kryptimi, todėl šia kryptimi korys pasižymi daug didesniu stipriu negu plokštumos kryptimis (X_1 ir X_2). Vykstant gniuždymui, korys pamažu lankstosi iš viršaus į apačią, kol galiausiai visiškai susispaudžia ir sutankėja (Deqiang et al., 2010, 3 p.).

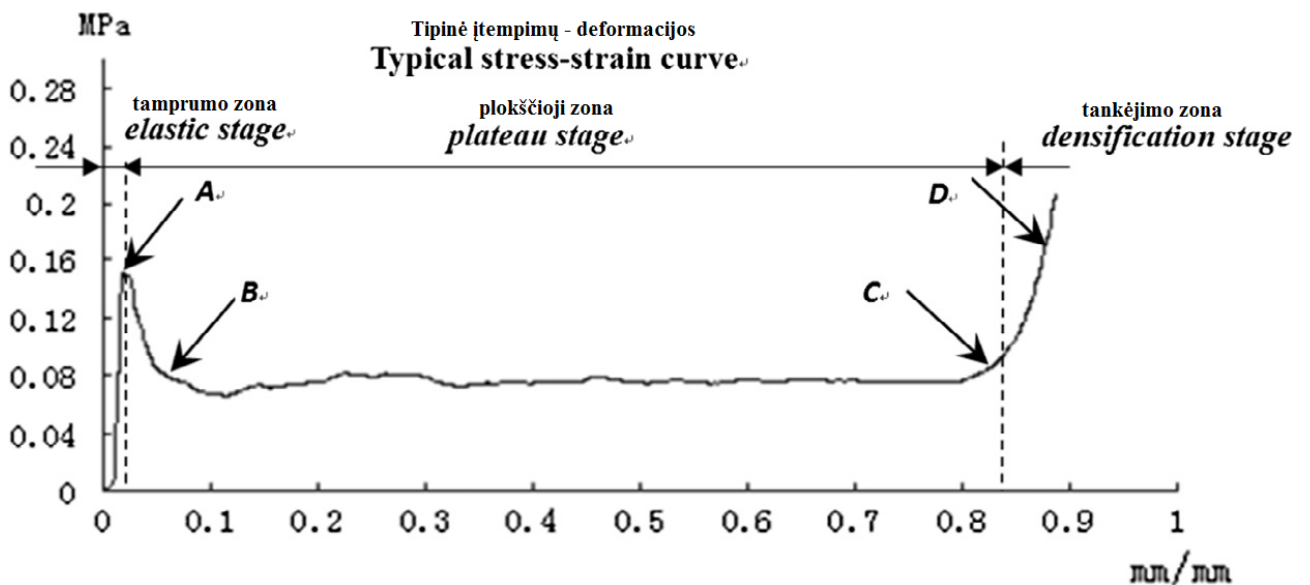


17 pav. Visišškai suspaustas korys
(Xu et al., 2012, 11 p.)



18 pav. Korio gniuždymo eiga įvairiais laiko tarpais
(Deqiang et al., 2010, 5 p.)

Tipinė kartoninio korio įtempimų – deformacijos kreivė atliekant gniuždymo bandymą pavaizduota 19 pav. Taškas A nurodo medžiagos tiesinį deformavimą ir jo pabaigą. Peržengus šį tašką prasideda plastinė deformacija. Zona tarp taškų B ir C nurodo plokščiąją zoną, kurioje yra daugiausiai absorbuojama energijos atliekant gniuždymo bandymą. Taip pat ši zona apibrėžia mechanines ir apsaugines korio savybes, kurios svarbios pakavime.



19 pav. Kartoninio korio įtempimų – deformacijos kreivė (Dongmei et al., 2015, 3 p.)

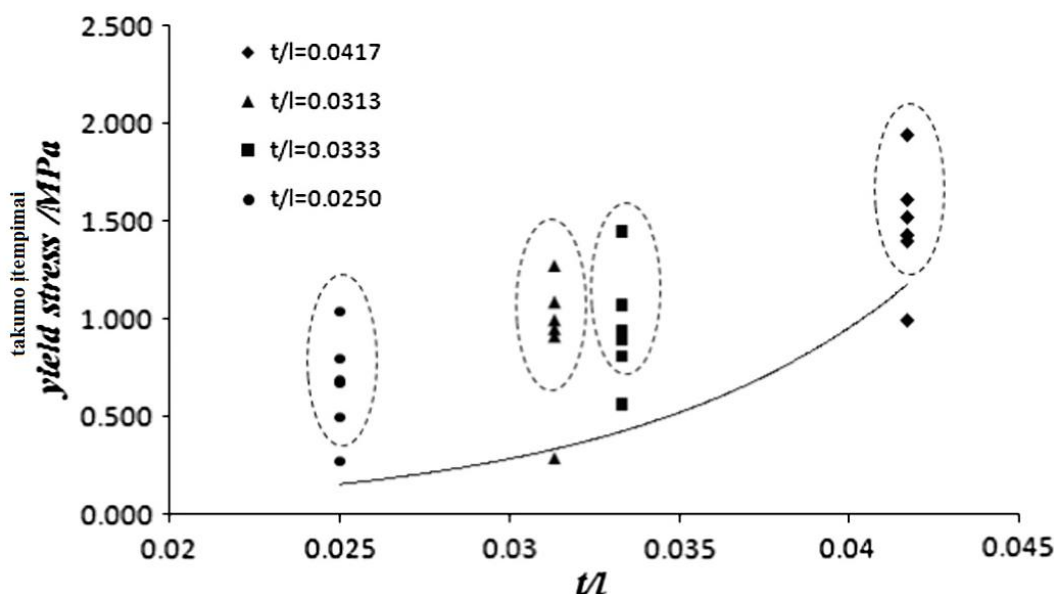
Pasiekus tašką C įtempiai staigiai auga dėl prasidedančio korio sutankėjimo, tuo pat metu koriui prarandant savo buferines (apsaugos nuo smūgių savybes). Iš kreivės matome, kad korio įtempiai staigiai auga tamprumo zonoje ir jie beveik atitinka tiesinę priklausomybę. Deformacijai toliau didėjant įtempimų reikšmė ženkliai sumažėja ir išlieka pastovi, kol pasiekiamas sutankėjimo zona. Tačiau korio gebėjimas absorbuoti energiją yra apribotas iki taško A. Vis dėl to

maksimali įtempimų reikšmė tamprumo zonoje gali būti pakankama, kad pažeistų pakuojamus daiktus. (Wang, 1991, 4 p.) nustatė apytikslių priklausomybę kartoninio korio takumui nustatyti:

$$\sigma_y = \frac{23E_s}{(1-\lambda^2)\cos\alpha(1+\sin\alpha)}\left(\frac{t}{l}\right)^3, \quad (10)$$

čia E_s – tamprumo modulis, pa;
 λ – korio sienelės Puasono koeficientas;
 α – kampas tarp gretimų korio akies sienelių, °;
 l – akies pasvirusios sienelės ilgis, m;
 t – sienelės storis, m.

Remiantis šia išraiška, buvo atlikti bandinių su skirtingu t/l santykiu gniuždymo bandymai. Gauti rezultatai pateikti 20 pav.



20 pav. Takumo įtempimų reikšmės, esant skirtingam t/l santykiui (Dongmei et al., 2015, 4 p.)

Iš paveikslo matyti, kad didėjant t/l santykiui, didėja ir tamprumo įtempiai. Norint padidinti t/l santykį, reikia didinti sienelės storį (t) ir nekeisti sienelės ilgio (l). Arba nekeičiant sienelės storio, mažinti korio akies sienelės ilgį.

Pagaminti iš anizotropinių medžiagų (pvz.: popierius, kartonas) gniuždymo bandiniai, dažniausiai yra atliekami 3 kartus, esant toms pačioms aplinkos sąlygoms ir apskaičiuojamas vidurkis (Dongmei et al., 2015, 1 p.). Atliekant įtempimų skaičiavimus, laikome, kad gniuždymo greitis yra lygus greičiui gniuždymo kontakto pradžioje. Taigi įtempiai apskaičiuojami pagal formulę:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{2gh}}{T}, \quad (11)$$

čia T – korio sienelės storis, m;
 h – kritimo aukštis, korio dinaminio gniuždymo bandyme, m;
 g – laisvojo kritimo pagreitis, m/s^2 .

Statinio gniuždymo atveju, griebtų greitis fiksuojamas tiesiai iš bandymų įrangos, todėl įtempiai gali būti apskaičiuojami:

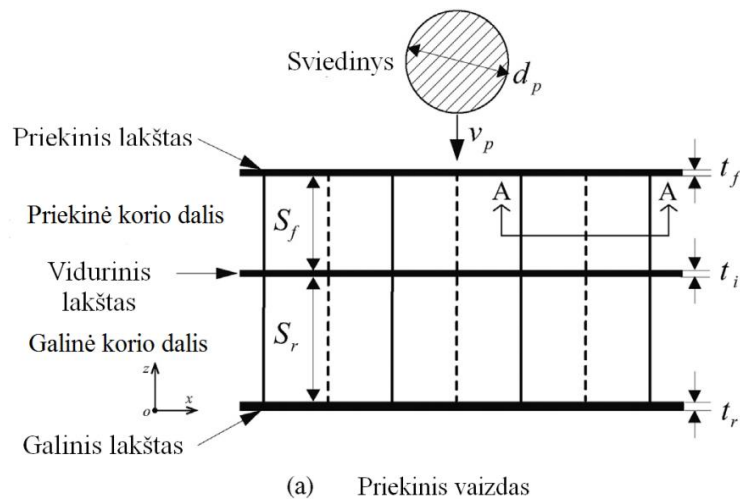
$$\varepsilon = \frac{v}{T}, \quad (11)$$

čia T – korio sienelės storis, m;
 v – gniuždymo greitis, m/s.

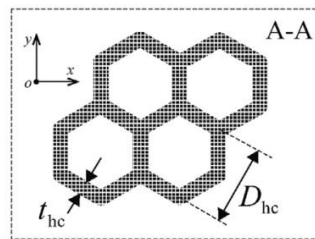
1.3. Taikymo sritys

Dėl savo nedidelio svorio, didelio stiprio ir pakankamų apsauginių savybių, kompozitinės plokštės pagamintos iš korio užpildo, gana plačiai naudojamos pakavimo pramonėje. Šios plokštės taip pat naudojamos aviacijoje (lėktuvų fiuzeliažų gamyboje). Baldų pramonėje – durų ir stalviršių gamyboje. Statybų pramonėje – apšiltinimui ir garso izoliacijai (Wang, 2008, 1 p.; Wang, 2006, 2 p.). Korinis užpildas ir jo gaminiai logistikoje naudojami, kaip apsauginės medžiagos, kurios sugeria vibracijas, ir smūgius (Dongmei et al., 2015, 1 p.). Šios korio savybės svarbios pakuočių optimizavimui, pasirenkant tinkamas medžiagas įpakuojant tam tikros rūšies produkciją (Wang, 2010, 2 p.).

Korio struktūra, gali būti naudojama ir kaip ekranas, kuris apsaugo nuo erdvėje viršgarsiniu greičiu skriejančių nuolaužų. Tai aktualu kosminėje erdvėje skriejantiems ryšio palydovams ir kitai tyrimų įrangai. (Liu et al.) savo darbe atlieka dvigubo aliuminio korio simuliaciją naudojant MPM (angl. material point method) metodą. Simuliacijai naudojamas aliuminio korys, kurio viršus ir apačia yra laminuoti aliuminio lakštais, o korio viduje įterptas papildomas lakštas, kurio atstumas nuo korio viršaus ir apačios yra keičiamas (Liu et al., 2015, 1 p.). Simuliacijai naudojama schema pateikta 21 pav.



(a) Priekinis vaizdas



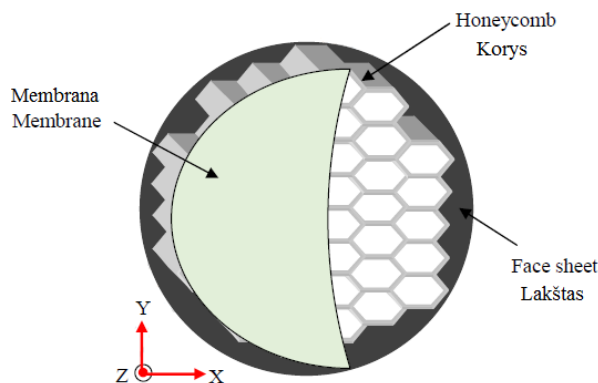
Korys

(b) Viršutinis vaizdas

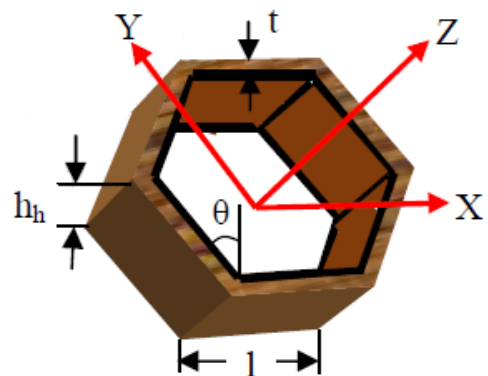
21 pav. Simuliacijai naudojama schema (Liu et al., 2015, 2 p).

Atlikus simuliaciją nustatyta, kad geriausias ekranavimas yra tada, kai vidurinis lakštas yra atstumu lygiu ekvivalentiam ekranavimo atstumui S_f . Tai yra atstumu, kuriuo gali keliauti skeveldros korio viduje, nesusidurdamos su korio sienelėmis. Šiuo atveju ekranavimo atstumas yra lygus $1,18D_{hc}$, kai skeveldros greitis 5km/s ir $1,26D_{hc}$, kai skeveldros greitis 4km/s . Šie rezultatai gauti laikant, kad skeveldros skersmuo $d_p - 2\text{ mm}$; lakštų storis (t_f, t_i, t_r) – $0,4\text{ mm}$; korio akies dydis $D_{hc} - 4,76\text{ mm}$ (Liu et al., 2015, 6 p).

Kita kompozitinių plokščių pagamintų iš korinio užpildo pritaikymo sritis – garso absoravimas. Yang et al. savo darbe nagrinėja kompozitinės plokštės akustines savybes. Kompozitinės plokštės pagrindą sudaro kevlaro korys, kuris užpildytas įvairių parametrų stiklo audiniu.

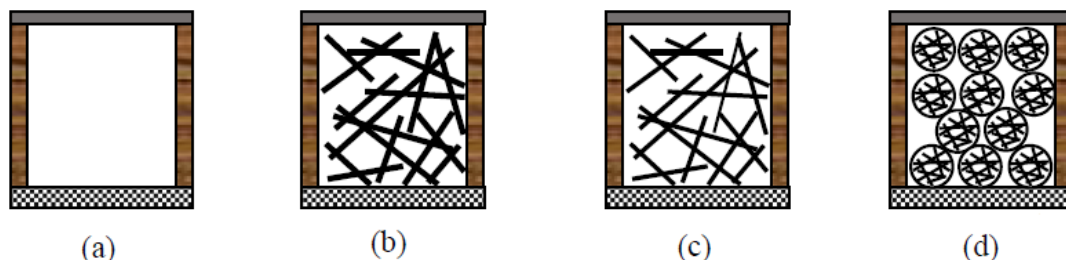


22 pav. Tiriamos kompozitinės plokštės sandara (Yang et al., 2016, 18 p.)

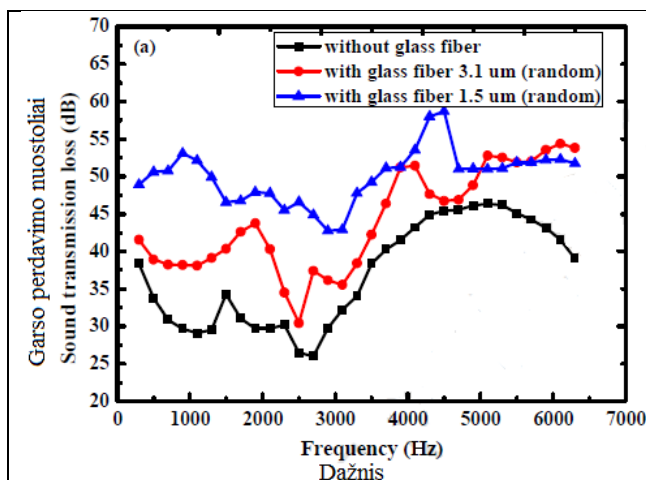


23 pav. Korio parametrai (Yang et al., 2016, 18 p.)

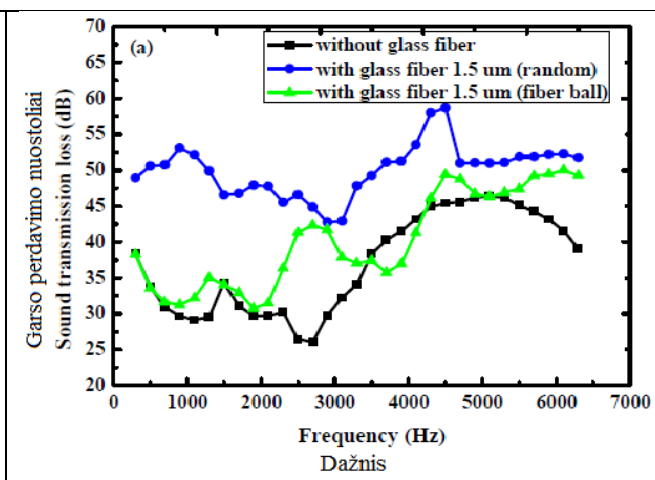
22 paveiksle pateikta kompozitinė plokštė pagaminta iš kevlaro korio, kurio parametrai: $t = 0,07$ mm; $l = 3,65$ mm; $h_h = 25$ mm; $\theta = 30^\circ$. Plokštės membrana pagaminta iš 0,25 mm storio latekso gumos, o lakštas iš 2,5 mm storio anglies pluošto. Bandymų metu kiekviena korio akis buvo užpildoma 0,013 g stiklo pluošto. Bandymuose buvo naudojami 1,5 μ m dydžio stiklo pluošto rutuliukai ir plaušeliai, kurių dydis 1,5 ir 3,1 μ m. Bandymai buvo atliekami naudojant 300 – 6300 Hz garso šaltinį (Yang et al., 2016, 7 p.).



24 pav. Bandinių konfiguracija a) be užpildo b) 3,1 μ m plaušeliai c) 1,5 μ m plaušeliai d) 1,5 μ m rutuliukai (Yang et al., 2016, 18 p.)



25 pav. Garso absorbcija su stiklo pluošto plaušeliais (Yang et al., 2016, 19 p.)



26 pav. Garso absorbcija su stiklo pluošto rutuliukais (Yang et al., 2016, 20 p.)

Iš gautų rezultatų buvo nustatyta, kad žemų ir vidutinių dažnių srityje garso absorbcija maksimaliai skyrėsi 20 dB. Taip pat nustatyta, kad stiklo pluošto plaušeliai pasižymi geresnėmis garso absorbcijos savybėmis nei stiklo pluošto rutuliukai. Lyginant stiklo pluošto plaušelių rezultatus, nustatyta, kad 1,5 μ m dydžio plaušeliai efektyviau absorbuoja garsą lyginant su 3,1 μ m plaušeliais. Taip yra todėl, kad tame pačiame masės kiekyje 1,5 μ m plaušelių yra daugiau. Didesnis plaušelių kiekis nulemia didesnę paviršiaus plotą ir mažesnes oro ertmes. (Yang et al., 2016, 12 p.).

1.4. Kompozitinių plokščių mechaninių savybių tyrimai

Atliekant mechaninių savybių tyrimus iš medžiagos tikimasi gauti tokius rezultatus, kokių iš jos tikimasi. Pagrindiniai mechaniniai bandymai atliekami, norint nustatyti kompozito mechanines savybes yra:

1. atsparumas gniuždymui;
2. stipris lenkiant;
3. atsparumas šlyčiai.

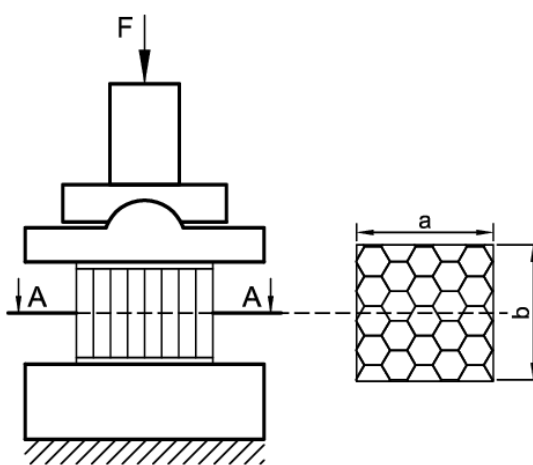
Atsparumas gniuždymui

$$\sigma = \frac{P}{A}, \quad (12)$$

čia σ – užpildo atsparumas gniuždymui, Pa;

P – maksimali apkrova, N;

A – gniuždomo paviršiaus plotas ($A = a \cdot b$), m^2 .



27 pav. Gniuždymo bandymo principinė schema

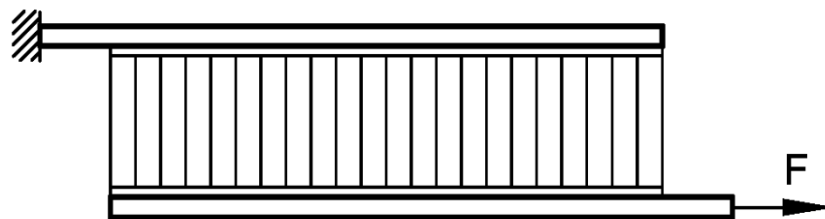
Šlyties bandymas

$$\tau = \frac{F_p}{A}, \quad (13)$$

čia: τ – šlyties įtempiai, N/m^2 ;

F_p – jėga veikianti lygiagrečius kraštus, N;

A – veikiamas paviršiaus plotas, m^2 .

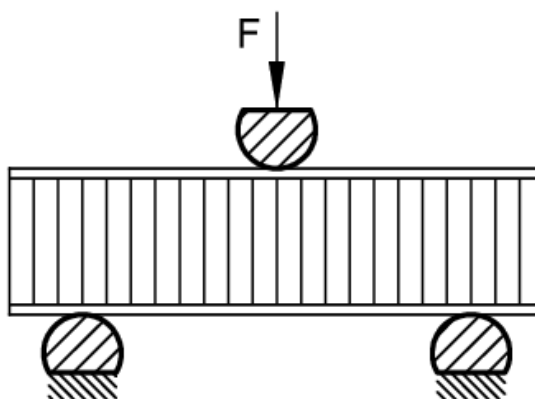


28 pav. Šlyties bandymo principinė schema

Lenkimo bandymas

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bd^2}, \quad (14)$$

čia: σ_f – įtempiai, Pa;
F – veikianti jėga, N;
L – atstumas tarp atramų, m;
b – bandinio plotis, m;
d – bandinio aukštis, m.



29 pav. Lenkimo bandymo principinė schema

1.5. Norminiai dokumentai

Atliekant bandinių testavimą, svarbu laikytis standartuose nurodomų reikalavimų ir parametrų. Paruošiant ir testuojant bandinius, remiantis standartų reikalavimais užtikrinami tikslesni bandymų rezultatai. Pagrindiniai standartai skirti kompozitinių plokščių stiprio nustatymui gniuždant ir lenkiant yra:

ASTM C365 – Standartas skirtas nustatyti kompozitinių medžiagų stiprį gniuždant;

ASTM-393-00 – Kompozitinių konstrukcijų bandinių reikalavimai, atliekant trijų taškų lenkimą;

IOS-P-0010 – IKEA standartas skirtas kompozitinių plokščių pagamintų kartoninio korio pagrindu, gniuždymo bandymams.

GB/T 1453-2005 – Kinijos standartas, skirtas nustatyti kompozitinių medžiagų stiprį gniuždant.

1.6. Tyrimų tikslas

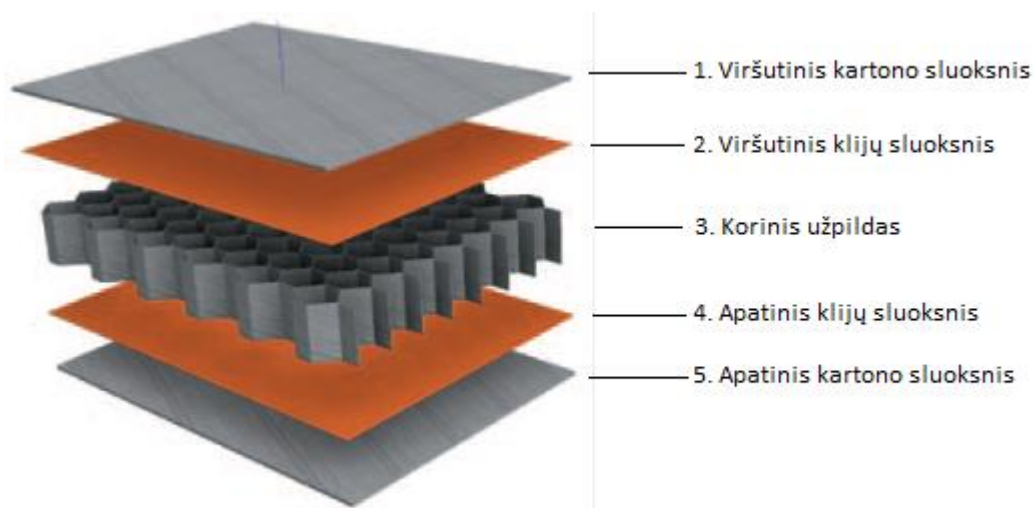
Analizuojant kompozitinių plokščių pagamintų kartoninio korio pagrindu stiprio savybes gniuždant ir lenkiant, svarbu nusistatyti pagal kokius parametrus bus analizuojama kompozitinė plokštė. Analizuoti kompozitinę plokštę galima pagal šiuos parametrus:

1. kartoninio korio užpildo gramatūra;
2. kartoninio korio užpildo aukštis;
3. kartoninio korio užpildo aukutės dydis;
4. kartoninio korio užpildo akutės forma;
5. laminuojančio kartono gramatūra;
6. sunaudotas klijų kiekis, klijuojant korinį užpildą su laminuojančią sluoksniu;
7. kartoninio korio ir kartono drėgnumo.

Atliekant šį darbą, buvo siekiama nustatyti, kaip kinta kompozitinės plokštės, pagamintos iš kartoninio korio, stipris, keičiant įvairius korio ir laminato parametrus. Šiuo atveju buvo keičiami: korio aukštis, korio akutės dydis, laminato gramatūra, korio drėgmė. Kaičiant šiuos parametrus buvo gaminami kompozitinių plokščių bandiniai.

Gaminant kompozitines plokštes, naudojamos įvairios medžiagos. Iš metalinių medžiagų dažniausiai naudojamos: aliuminis, plienas, titanas. Iš nemetalinių dažniausiai gamybai naudojami kartonas, stiklo pluoštas. Nepriklausomai nuo to iš kokios medžiagos pagamintas korinis užpildas ir jį laminuojantis sluoksniu, operacijos, kurios atliekamos gamybos metu gaminant kompozitinę plokštę yra tos pačios arba labai panašios.

Kompozitinės plokštės gamybos eiga prasideda nuo laminuojančio paviršiaus padengimo kliju. Padengus laminatą kliju, jis prispaudžiamas prie korio naudojant presą, kol sudžius klijai. Norint paspartinti džiuvimo procesą, naudojama džiovinimo krosnis (Bitzer, 1997, 63 p.). Kompozitinės plokštės sandara ir galutinis produktas pateikti 30 pav. ir 31 pav.



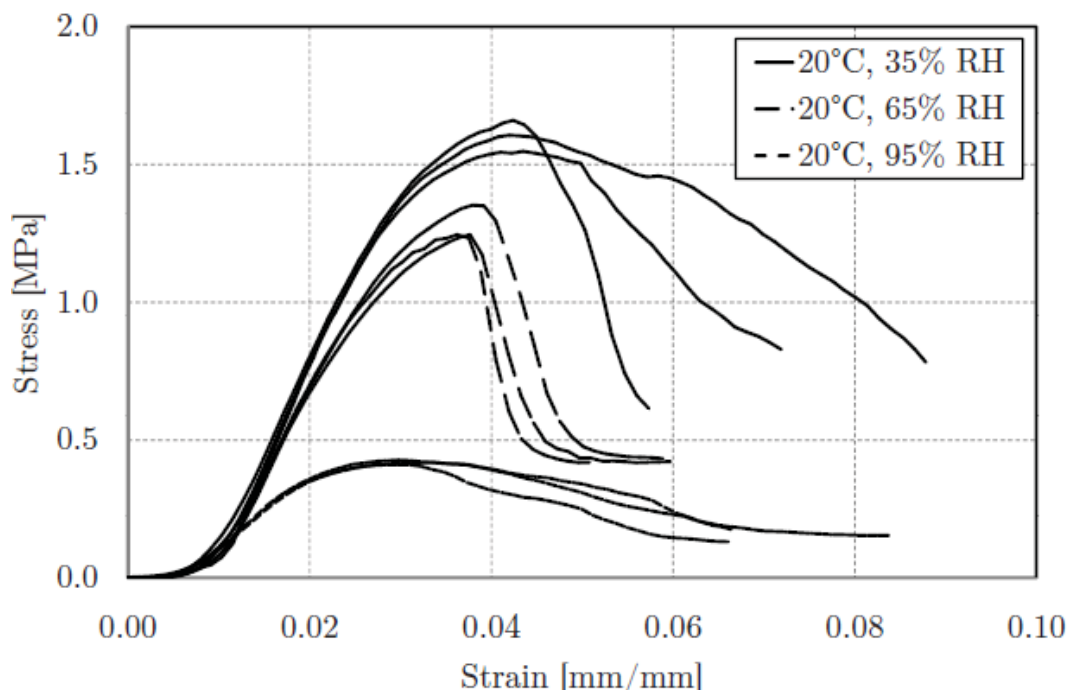
30 pav. Kompozitinės plokštės struktūrinė schema (HexWeb)



31 pav. Kompozitinė plokštė (HexWeb)

1.7. Drėgmės poveikis korio mechaninėms savybėms

Drėgmės kiekis popieriuje priklauso nuo jo supančios aplinkos temperatūros ir santykinės oro drėgmės. Drėgmės kiekis esantis popieriuje tampa didesnis esant drėgnoms ir žemos temperatūros sąlygoms. Dėl šios priežasties popierius išbrinksta ir susilpnėja. Esant drėgmei popieriaus mechaninės savybės kinta, kadangi patekusios vandens dalelės sukelia dislokacijas kameros sienelėse, sudarant mikroklupumą. Dėl to gana ženkliai sumažėja elastingumo modulis, šlyties modulis, tai pat sumažėja atsparumas gniuždymui ir lenkimui. Norint nustatyti drėgmės įtaką kartoninio korio užpildui, buvo atlikti gniuždymo bandymai. Buvo matuojama po tris bandinius, esant pastoviai 20°C temperatūrai ir esant skirtingoms santykinės drėgmės vertėms (atitinkamai 35 %, 65 %, 95 %). Bandymo rezultatai pateikiami 32 pav.



32 pav. Kartoninio korio įtempių – deformacijos kreivės, esant skirtingoms santykinės drėgmės reikšmėms (Phol, 2009, 114p.)

Iš pateiktų kreivių matyti, kad santykinės drėgmės kiekis turi neigiamą įtaką kartoninio korio stipriui. Nustatyta, kad didžiausias stipris gniuždant pasiektas esant mažiausiai santykinės drėgmės

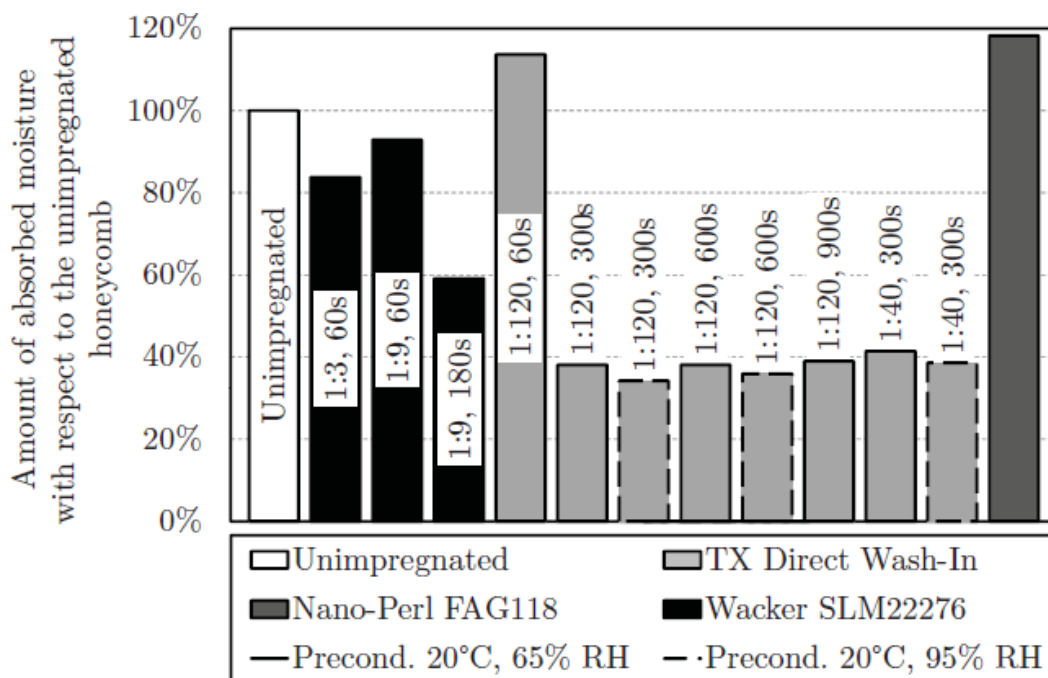
reikšmei ir siekė 1,63 MPa. Esant 65 % stipris sumažėjo beveik 20 % ir siekė 1,27 MPa. Santykinės drėgmės reikšmei pasiekus 95 %, kartoninio korio stipris sumažėjo 74 % ir siekė 0,41 MPa. Iš gautų rezultatų matome, kad kartoninis korys yra gana jautrus drėgmės pokyčiams. Todėl naudojant korinį užpildą, kaip struktūrinę medžiagą, yra būtina sumažinti stiprio praradimą, dėl aplinkos sąlygų (Phol, 2009, 115 p.).

Norint apsaugoti kartoninį korį nuo drėgmės galimi du pagrindiniai būdai: popieriaus lakšto, iš kurio gaminamas kartoninis korys, apsaugojimas kaip visumos, taip neleidžiant drėgmei patekti į popieriaus skaidulų tinklą arba sustiprinant popierių skaidulų tinklo lygyje. Naudojant pirmąjį būdą, popieriaus apsaugojimui naudojamas vandeniui atsparių dalelių pridėjimas ant lakšto paviršiaus arba suteikiant paviršinėms skaiduloms vandens ne pralaidumo savybių. Taikant antrąjį būdą, kuris skirtas labai drėgnoms aplinkoms, galimi keli sprendimo variantai:

- 1) sustiprinant jau esamas grandines;
- 2) apsaugant esamas grandines nuo vandens;
- 3) sukuriant naujas, vandeniui nejautrias grandines;
- 4) sukuriant pridėtinių medžiagų tinklą, kurias fiziškai susikabina su popieriaus skaidulomis;
- 5) sustiprinant skaidulas, jas apgaubiant apvalkalu;
- 6) užpildant mikrodefektus kamerų sienelėse.

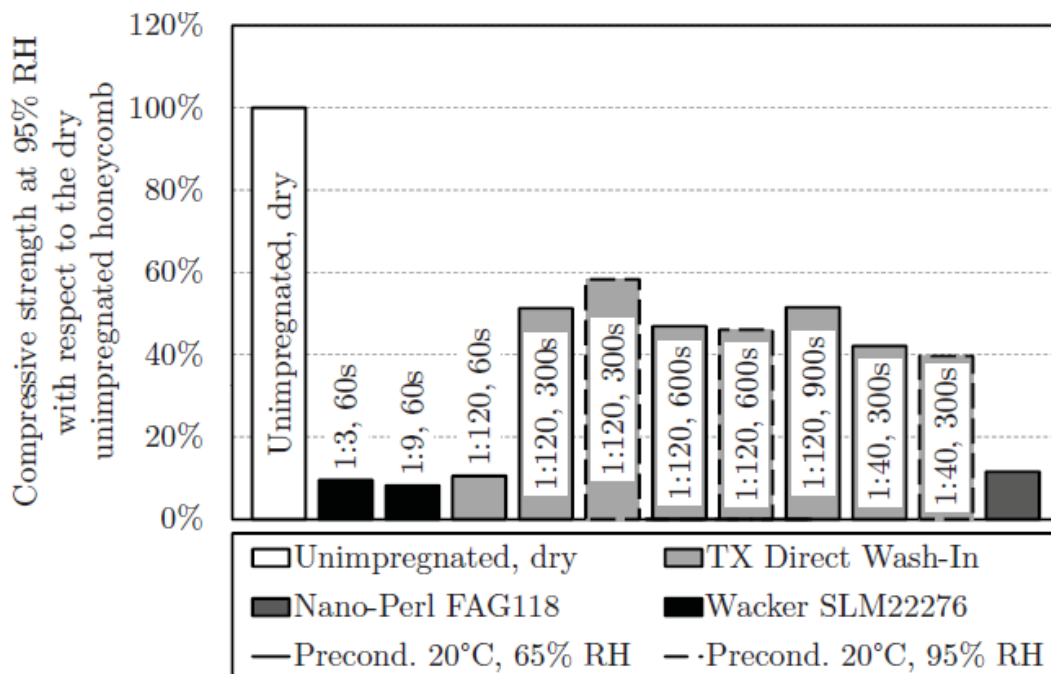
Taigi drėgno popieriaus stipris iš esmės priklauso nuo atskirų skaidulų ir jų grandinių kiekio bei kokybės. Praktikoje, norint apsaugoti popierių nuo drėgmės naudojami du pagrindiniai būdai: popieriaus lakšto įvyniojimas arba padengimas, kita, vandeniui atsparia medžiaga, pvz.: metalizuota folija. Antras būdas apsaugai nuo drėgmės – impregnavimas t.y. popieriaus arba korio įmerkimas į tam tikrą skystį. Šis būdas yra pranašesnis lengvesniu apdirbimu nei pirmasis. Dėl šios priežasties korys gali būti naudojamas struktūriniuose elementuose lygiai taip pat kaip ir neimpregnuotas. Šiuo metu kartoninis korys, kuris naudojamas atlaikyti dideles apkrovas, esant didelei santykinei drėgmei, dažnai impregnuojamas sintetinėmis dervomis, taip suteikiant drėgmei atsparių savybių. Tačiau dervų pridėjimas turi neigiamą savybę – toks gaminys yra sunkiai arba iš viso neperdirbamas (Phol, 2009, 104 p.).

Norint nustatyti impregnantų efektyvumą esant skirtingoms santykinės drėgmės vertėms buvo atlikti bandymai, kurie pavaizduoti 33 pav.



33 pav. Bandinių impregnuotų naudojant komercines priemones, drėgmės sugėrimas procentais lyginant su neimpregnuotu bandiniu (Phol, 2009, 123p.)

Iš gautų rezultatų matyti, kad impregnuotas gaminy s sugeria ženkliai mažiau drėgmės negu neimpregnuotas. Išimtį sudaro tik dvi medžiagos, kuriomis impregnuojant sugeriamas didesnis kiekis drėgmės (atitinkamai 14 ir 18 %). Norint nustatyti impregnuojančių medžiagų poveikį stipriui, buvo atlikti jų gniuždymo bandymai, kurie pateikti 34 pav.



34 pav. Impregnuotų korio bandinių atsparumas gniuždymui, esant 20°C ir 95 %SD (Phol, 2009, 127 p.)

Iš gautų rezultatų matyti, kad bandiniai, kurie sugėrė mažiau drėgmės pasižymi geresnėmis mechaninėmis savybėmis. Tačiau savo savybėmis vis dar nusileidžia neimpregnuotam ir sausoje sąlygose esančiam bandiniui.

II. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ METODIKA

2.1. Bandymų metodika

Sudaroma tyrimų metodika, kuri skirta kompozitinių plokščių stipriui nustatyti, nagrinės kompozitinių plokščių stiprį dviem aspektais:

1. kompozitinių plokščių stipris lenkiant;
2. kompozitinių plokščių stipris gniuždant;

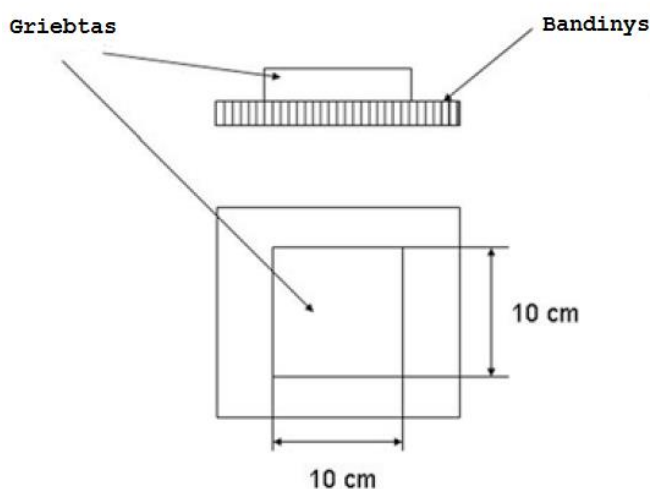
Tai pat taikant šią metodiką bus atliekami ir paties korinio užpildo stiprio gniuždant bandymai.

Kompozitinių plokščių stipris gniuždant

Kompozitinių plokščių pagamintų kartoninio korio pagrindu, gniuždymo bandymus aprašo tarptautinės švedų įmonės IKEA, kuri specializuojasi baldų pramonėje, standartas IOS-P-0010. Šis standartas taikomas bandiniams, kurių storis yra 10 milimetrų ir daugiau. Standarte nusakomi šie reikalavimai bandiniams:

1. bandinio matmenys: plotis – 300mm; ilgis – 300mm;
2. aplinkos sąlygos: prieš testą bandiniai turi būti laikomi 24 valandas esant $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrai ir $50\% \pm 5\%$ santykinei oro drėgmei;
3. griebtuvo greitis 10 mm/min;
4. bandymo metu rezultatai fiksuojami tol, kol bus pasiekta 5 mm bandinio deformacijos reikšmė
5. gniuždančio griebtuvo matmenys: ilgis – 100mm, plotis – 100mm;
6. rekomenduojamas bandinių skaičius – 5;

Gniuždymo principinė schema pateikta 35 pav.



35 pav. Gniuždymo principinė schema (IOS-P-0010 standartas)

Standartas pagal minimalią reikšmę gniuždymui išskiria tris pagrindines kompozitinių plokščių kategorijas ir jų taikymo sritis:

1. plokštės neskirtos dideliems apkrovoms (minimali gniuždymo jėga $\geq 1\text{kN}$);
2. plokštės skirtos šoninių kraštinių apsaugai (minimali gniuždymo jėga $\geq 3\text{kN}$);
3. plokštės skirtos pervežamiems kroviniams (minimali gniuždymo jėga $\geq 3\text{kN}$);

2 lentelė. Laminuotų kompozitinių plokščių (I) gniuždymo bandinių serijos parametrai

Akies dydis, mm	Klijų kiekis, g	Korio gramatūra, g/m ²	Korio aukštis, mm	Laminato gramatūra, g/m ²	Bandinių skaičius	Bandinių matmenys, mm
22	2,61	160	15,2	125	3	140x140
				140	3	
				160	3	
			32,2	125	3	
				140	3	
				160	3	
			46,6	125	3	
				140	3	
				160	3	
Bendras bandinių skaičius					27	

Ši bandinių serija bus skirta nustatyti, kaip kinta kompozitinės plokštės stipris gniuždant, kai yra keičiami korinio užpildo aukštis ir laminuojančio sluoksnio gramatūra.

3 lentelė. Laminuotų kompozitinių plokščių (II) gniuždymo bandinių serijos parametrai

Korio gramatūra, g/m ²	Korio aukštis, mm	Klijų kiekis, g	Akies dydis, mm	Laminato gramatūra, g/m ²	Bandinių skaičius	Bandinių matmenys, mm
125	32,2	2x2,61	10	125	3	140x140
			10	140	3	
			10	160	3	
			20	125	3	
			20	140	3	
			20	160	3	
			28	125	3	
			28	140	3	
			28	160	3	
Bendras bandinių skaičius					27	

Ši bandinių serija bus skirta nustatyti, kaip kinta kompozitinės plokštės stipris gniuždant, kai yra keičiami korinio užpildo aukštis ir laminuojančio sluoksnio gramatūra.

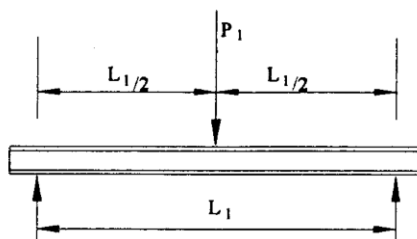
Kompozitinių plokščių stipris lenkiant

Kompozitinių konstrukcijų bandinių reikalavimus, atliekant trijų taškų lenkimą, nustato ASTM-393-00 standartas. Standarte apibrėžiami šie reikalavimai bandiniams:

1. bandinys turi būti stačiakampio formos;

2. bandinio aukštis turi būti lygus kompozitinės plokštės storiui, plotis neturi būti mažesnis negu dvigubas plokštės storis ir ne mažesnis negu užpildo akies trigubas matmuo;
3. bendras bandinio ilgis turi būti lygus atstumui tarp lenkimo atramų, plus 50 mm.

Bandymų metu, naudojama testavimo mašina turi užtikrinti stabilią kontroliuojamą apkrovą ir ją fiksuoti $\pm 1\%$ tikslumu. Standartas taip pat apibrėžia aplinkai keliamus parametrus. Atliekant testą patalpos temperatūra turi būti $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, o santykinė oro drėgmė $50\% \pm 5\%$. Trijų taškų lenkimo bandymo principinė schema parodyta 36 pav.



36 pav. Trijų taškų lenkimo bandymo principinė schema (ASTM-393-00 standartas)

4 lentelė. Laminuotų kompozitinių plokščių (I) lenkimo bandinių serijos parametrai

Akies dydis, mm	Klijų kiekis, g	Korio gramatūra, g/m ²	Korio aukštis, mm	Laminato gramatūra, g/m ²	Bandinių skaičius	Bandinių matmenys, mm
22	7	160	15,2	125	3	350x150
				140	3	
				160	3	
			32,2	125	3	
				140	3	
				160	3	
			46,6	125	3	
				140	3	
				160	3	
Bendras bandinių skaičius					27	

Ši bandinių serija bus skirta nustatyti, kaip kinta kompozitinės plokštės stipris lenkiant, kai yra keičiami korinio užpildo aukštis ir laminuojančio sluoksnio gramatūra.

5 lentelė. Laminuotų kompozitinių plokščių (II) lenkimo bandinių serijos parametrai

Korio gramatūra, g/m ²	Korio aukštis, mm	Klijų kiekis, g	Akies dydis, mm	Laminato gramatūra, g/m ²	Bandinių skaičius	Bandinių matmenys, mm
125	32,2	2x7	10	125	3	140x140
			10	140	3	
			10	160	3	
			20	125	3	
			20	140	3	
			20	160	3	
			28	125	3	
			28	140	3	
			28	160	3	
Bendras bandinių skaičius					27	

Ši bandinių serija bus skirta nustatyti, kaip kinta kompozitinės plokštės stipris lenkiant, kai yra keičiami korinio užpildo akutės dydis ir laminuojančio sluoksnio gramatūra.

Korinio užpildo stipris gniuždant

Atliekant šio tipo bandymus bus remiamasi lygiai tokiais pat reikalavimais, kurie keliami nustatant kompozitinių plokščių stiprį gniuždant.

6 lentelė. Korinio užpildo (I) gniuždymo bandinių serijos parametrai

Korio gramatūra, g/m ²	Akies dydis, mm	Korio džiovimo laikas, min	Korio aukštis, mm	Bandinių skaičius	Bandinių matmenys, mm
160	22	0	15,2	3	300x300
			32,3	3	
			46,6	3	
		15	15,2	3	
			32,3	3	
			46,6	3	
		30	15,2	3	
			32,3	3	
			46,6	3	
Bendras bandinių skaičius				27	

Ši bandinių serija bus skirta nustatyti, kaip kinta korinio užpildo stipris gniuždant, kai yra keičiamas jo aukštis ir pašalinama dalis drėgmės naudojant laiko intervalus kas 15 minučių.

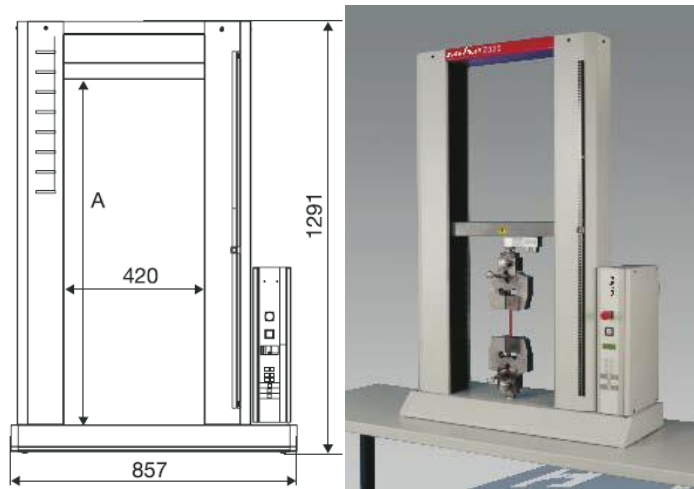
7 lentelė. Korinio užpildo (II) gniuždymo bandinių serijos parametrai

Korio gramatūra, g/m ²	Korio aukštis, mm	Korio tipas	Akies dydis, mm	Bandinių skaičius	Bandinių matmenys, mm
125	32,2	Nedžiovintas	10	3	300x300
			12	3	
			16	3	
			20	3	
			28	3	
		Džiovintas	10	3	
			12	3	
			16	3	
			20	3	
			28	3	
Bendras bandinių skaičius				30	

Ši bandinių serija bus skirta nustatyti, kaip kinta korinio užpildo stipris gniuždant, kai yra keičiamas jo akutės dydis. Taip pat palyginami džiovinto ir nedžiovinto korinio užpildo gniuždymo bandymų rezultatai.

2.2. Eksperimentiniams tyrimams naudota įranga

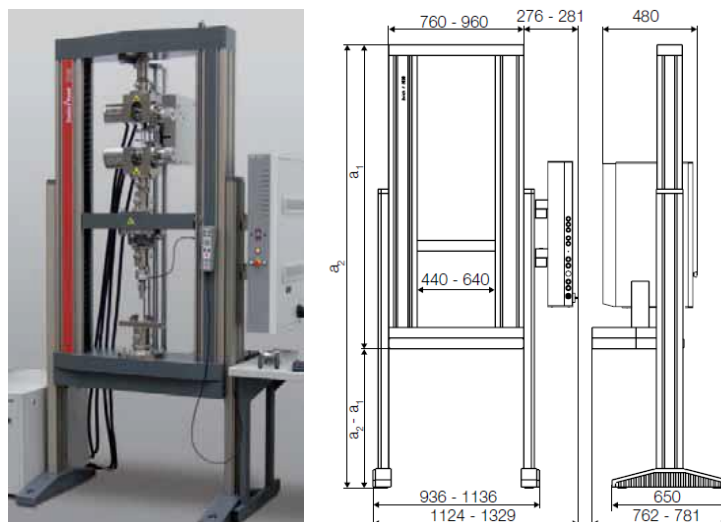
Gniuždymo ir lenkimo bandymams buvo naudojamos Zwick/Roell universalios tempimo – gniuždymo mašinos Z020 ir Z100.



37 pav. Zwick/Roell Z020 tempimo – gniuždymo mašina (Zwick/Roell)

Pagrindiniai tempimo – gniuždymo mašinos Z020 parametrai pateikti 8 lentelėje
8 lentelė. Pagrindiniai tempimo gniuždymo mašinos Z020 parametrai (Zwick/Roell)

Parametras	
Maksimali jėga, kN	20
Maksimalus bandomo paviršiaus plotis, mm	440
Bendras svoris su el. konsole, kg	133
Triukšmo lygis dirbant visu pajėgumu, dB	61
Griebtų greitis, esant apkrovai iki 110 % ($V_{\min} \dots V_{\max}$), mm/min	0,0005 – 1000
Griebtuvų grįžimo greitis (esant sumažintai jėgai), mm/min	1500
Griebtų poslinkio rezoliucija, μm	0.045
Maitinimas: (vienfazis elektros tinklas), V	230/115 \pm 10%
Tinklo dažnis, Hz	50 – 60
Galia, kW	0,6



38 pav. Zwick/Roell Z100 tempimo – gniuždymo mašina (Zwick/Roell)

9 lentelė. Pagrindiniai tempimo gniuždymo mašinos Z100 parametrai (Material testing machines)

Parametras	
Maksimali jėga, kN	100
Maksimalus bandomo paviršiaus plotis, mm	640
Bendras svoris su el. konsole, be kojų, kg	450
Triukšmo lygis dirbant visu pajėgumu, dB	73
Griebtų greitis, esant apkrovai iki 110 % ($V_{\min} \dots V_{\max}$), mm/min	0,0001 – 1500
Griebtuvų grįžimo greitis (esant sumažintai jėgai), mm/min	2500
Griebtų poslinkio rezoliucija, nm	0.48447
Maitinimas: (trifazis elektros tinklas), V	400 ±10%
Tinklo dažnis, Hz	50 – 60
Galia, kW	6

2.3. Gautų duomenų apdorojimas

Atlikus eksperimentą ir gavus tam tikras rezultatų skaitines reikšmes, reikalinga jas paruošti analizei bei išvadų formulavimui, t.y. matematiškai statistiškai apdoroti. Pagrindiniai statistiniai rodikliai, naudojami analizuojant daugelio eksperimentų rezultatus yra vidurkis, standartinis nuokrypis ir variacijos koeficientas.

Aritmetinis vidurkis yra visų stebėjimų vidutinė reikšmė, kuri priklauso nuo kiekvieno stebimojo dydžio vertės. Aritmetinis vidurkis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (15)$$

čia n – atliktų matavimų skaičius;
 x_i – atlikto matavimo reikšmė.

Standartinis nuokrypis tai dydis, kuris parodo vidutinę duomenų sklaidą apie vidurkį. Šis dydis yra matuojamas tais pačiais matavimo vienetais kaip ir analizuojamas dydis, todėl jį patogiau naudoti interpretuojant išvadas (Olsson et al., 2007, 12 p.). Standartinis nuokrypis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (16)$$

čia σ – standartinis nuokrypis;
 n – atliktų matavimų skaičius;
 x_i – atlikto matavimo reikšmė;
 \bar{x} – atliktų matavimų reikšmių vidurkis.

Dažnai naudinga stebėjimo duomenų kintamumą išreikšti charakteristika, kuri nepriklausytų nuo matavimų skalės. Toks dydis vadinamas variacijos koeficientu ir yra gaunamas standartinį nuokrypį padalinus iš aritmetinio vidurkio. (Olsson et al., 2007, 13 p.). Variacijos koeficientas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100, \% \quad (17)$$

čia s – standartinis nuokrypis;
 \bar{x} – atliktų matavimų reikšmių vidurkis.

10 lentelė. Variacijos koeficiento reikšmės

Variacijos koeficiento reikšmė, %	Sklaida
$\leq 5 - 10$	Nedidelė
15 – 20	Didelė
≥ 20	Labai didelė

2.4. Bandinių gamyba

Bandinių gamybai, pirmiausiai buvo pagamintas stendas, skirtas kartoninio korio ištempimui iki reikiamo korio akies dydžio. Stendas pagamintas iš stalviršio, kuriame buvo išgręžtos skylės ir sukaltos vinys. Vinys buvo sukaltos taip, kad korinis užpildas būtų kuo vienodžiau ištempiamas iki reikiamo akies dydžio. Pagamintas stendas pateiktas 39 pav.



39 pav. Bandinių stendas

Naudojant šį stendą buvo ištempiamas kartoninis korys, skirtas pagaminti 6 kompozitines plokštes lenkimo bandymams ir 6 kompozitines plokštes gniuždymo bandymams. Lenkimo bandinių matmenys: ilgis – 350 mm; plotis – 150 mm. Gniuždymo bandinių matmenys: ilgis – 140 mm; plotis – 140 mm. Ištemptas kartoninis korys, naudojant stendą, pateiktas 40 pav.



40 pav. Išstemptas kartoninis korys

Iš kartono ritinio yra iškerpami atitinkamo dydžio kartono lapai, skirti kompozitinių plokščių gamybai: 350x150 mm lenkimo bandiniams ir 140x140 mm gniuždymo bandiniams. Tada ant kartono lakšto yra užnešamas reikiamas kiekis klijų. Klijų kiekis vienam kartono lakštui buvo apskaičiuotas remiantis (Grigelis, 2015, 24p) darbe nustatytu klijų kiekiu į ploto vienetą. Darbe nustatyta, kad 12g klijų yra pakankamas kiekis užnešant juos ant 300x300 mm kartono lakšto. Žinant klijų kiekį į atitinkamą plotą, buvo apskaičiuotos reikiamos klijų kiekio reikšmės 140x140 mm ir 350x150 mm kartono lakštams.

Reikiamas klijų kiekis 140x140 mm kartono lakštui:

$$\frac{14 \cdot 14 \cdot 12}{30 \cdot 30} = 2,61g$$

Reikiamas klijų kiekis 350x150 mm kartono lakštui:

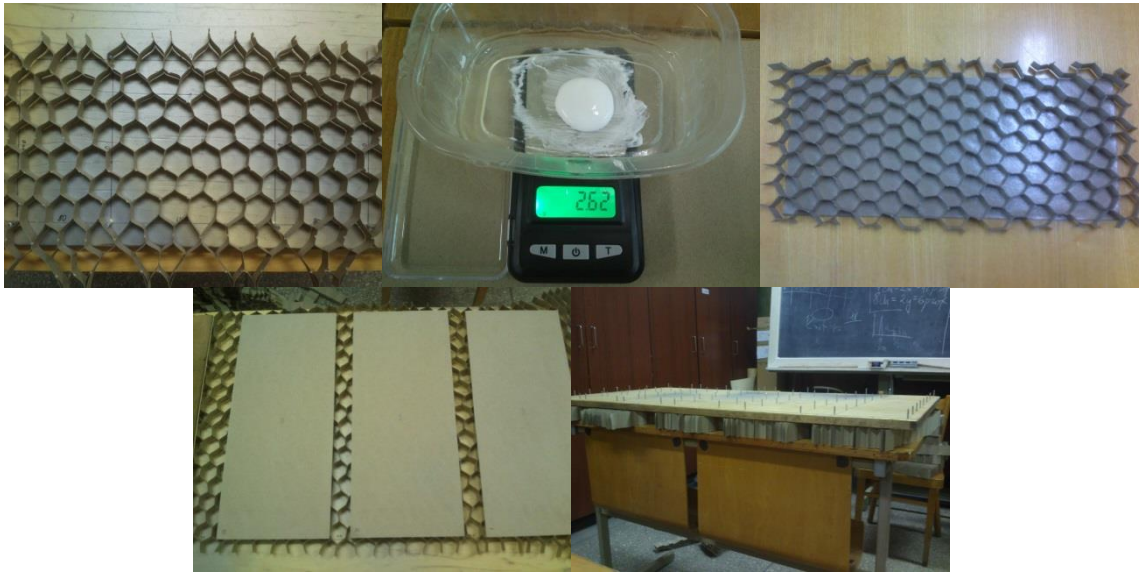
$$\frac{35 \cdot 15 \cdot 12}{30 \cdot 30} = 7,0g$$

Reikiamas klijų kiekis buvo pasveriamas, naudojant elektronines dviejų ženklų po kablelio tikslumo svarstyklas. Užnešus klijus ant kartono lakšto, lakštas buvo prispaudžiamas prie korio ir laikomas 5 minutes, kol prikibs. Prikibus vienai pusei korys yra ištraukiamas ir apverčiamas, taip priklijuojant antrąjį kartono lakštą. Suklijavus gaunama kompozitinė plokštė, kuri yra paliekama suslėgta 24 valandoms, kad klijai galutinai sukietėtų.

Kompozitinių plokščių klijavimui buvo naudoti universalūs D2 klasės klijai „Lipalas“ (markė DP 51/10). Šių klijų parametrai pateikiami lentelėje 11 lentelėje.

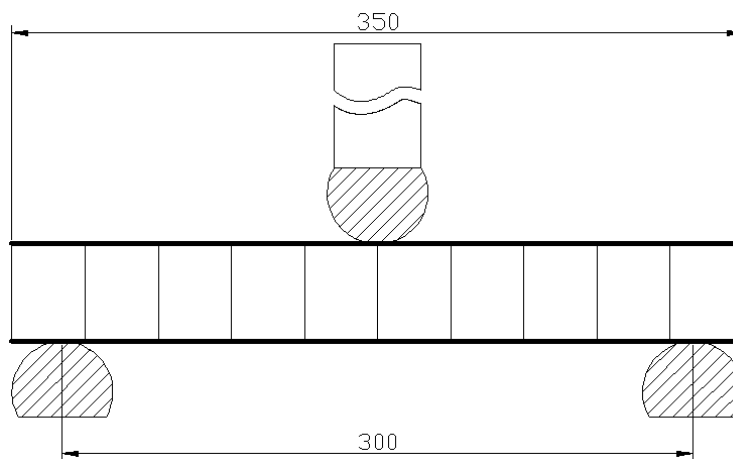
11 lentelė. Klijų DP 51/10 parametrai (Achema)

Rodiklis	Norma
1. Dispersijos išvaizda	Klampus baltos/gelsvos spalvos skystis be pašalinių mechaninių priemaišų ir kruopelyčių.
2. Laisvo monomero masės dalis, %	≤ 0,50
3. Sausųjų medžiagų masės dalis, %	40-51
4. Sąlyginė klampa, s	15-140
5. Dinaminė klampa, Pa·s	2,0-18,0
6. pH	4,0-6,0
7. Suklijavimo stipris, N/m	≥ 550



41 pav. Kompozitinių plokščių gamybos eiga

Atliekant lenkimo bandymus, remiantis ASTM-393-00 standartu, tarp apatinių griebtų buvo nustatytas 300 mm atstumas, nes standartas reikalauja atstumą tarp griebtų naudoti 50 mm mažesnę nei tiriamo bandinio ilgį. Lenkimo bandymų schema pateikta 42 pav.



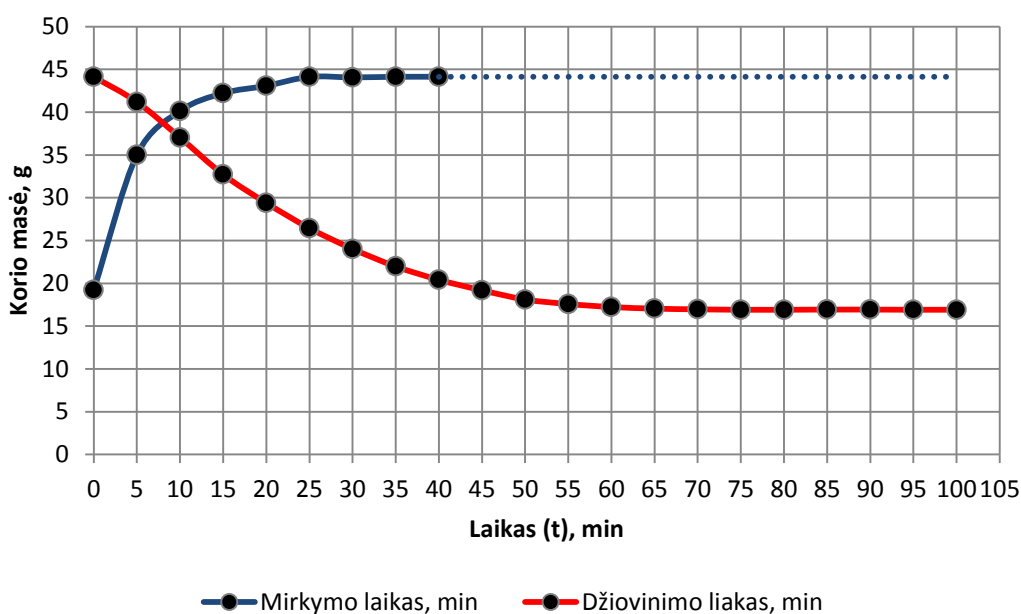
42 pav. Kompozitinių plokščių pagamintu kartoninio korio pagrindu trijų taškų principinė lenkimo schema

III. KOMPOZITINIŲ PLOKŠČIŲ GNIUŽDYMO REZULTATAI

Iš viso (naudojant 22 mm dydžio akutės korinį užpildą) buvo pagamintas 81 bandinys: 27 – lenkimo; 27 – gniuždymo (laminuoti) ir 27 – gniuždymo (nelaminuoto korio, iš kurių 9 bandiniai nedžiovinti, 9 džiovinti 15 min., 9 džiovinti 30min.). Bandinių gamybai buvo naudojamas trijų skirtingų aukščių korinis užpildas: 15,2 mm; 32,2 mm; 46,6 mm. Taip pat naudotas trijų skirtingų gramatūros verčių laminuojantis sluoksnis (kartonas): 125 g/m²; 140 g/m²; 160g/m². Taip gautos 9 rūšių kompozitinės plokštės skirtos lenkimo bandymams ir 18 rūšių kompozitinės plokštės skirtos gniuždymo bandymams. Kiekvienos rūšies gniuždymo ir lenkimo bandymai buvo atliekami po 3 kartus. Taip pat pagaminti 84 lenkimo ir gniuždymo bandiniai, su kintančių akutės dydžiu. Taigi iš viso pagaminta 165 bandiniai.

3.1. Korio džiovinimas ir drėgmės kiekio nustatymas

Atliekant bandymus, buvo nuspręsta patikrinti, kokią įtaką kartoniniam užpildui turi absorbuotos drėgmės kiekis. Bandymams buvo atkirptas nedidelis korio gabaliukas. Korio parametrai: gramatūra – 160g/m², aukštis – 46,6mm, akies dydis – 22 mm. Gabaliuko svoris – 19,21g. (esant SD 62 %). Pirmiausiai buvo nustatinėjama, kokį maksimalų drėgmės kiekį gali absorbuoti korys. Todėl eksperimentas buvo atliekamas taip: korio gabalėlis mirkomas vandenyje, jį visiškai panardinant, ir kas 5min ištraukiant ir pasveriant. Matavimai buvo tęsiami tol, kol korio gabalėlio svoris nebekito. Analogiškai buvo nustatinėjamas korio svoris, kai jis yra visiškai sausas. Visiškai drėgnas korio gabaliukas buvo džiovinamas 130°C temperatūroje ir kas 5min ištraukiamas. Matavimai buvo atliekami tol, kol džiovinamo korio svoris nebekito. Iš gautų rezultatų buvo sudarytos korio džiovinimo ir drėgmės sugėrimo kreivės, kurios pavaizduotos 43 pav.



43 pav. Korio džiovinimo ir maksimalaus drėgmės kiekio sugėrimo laikas

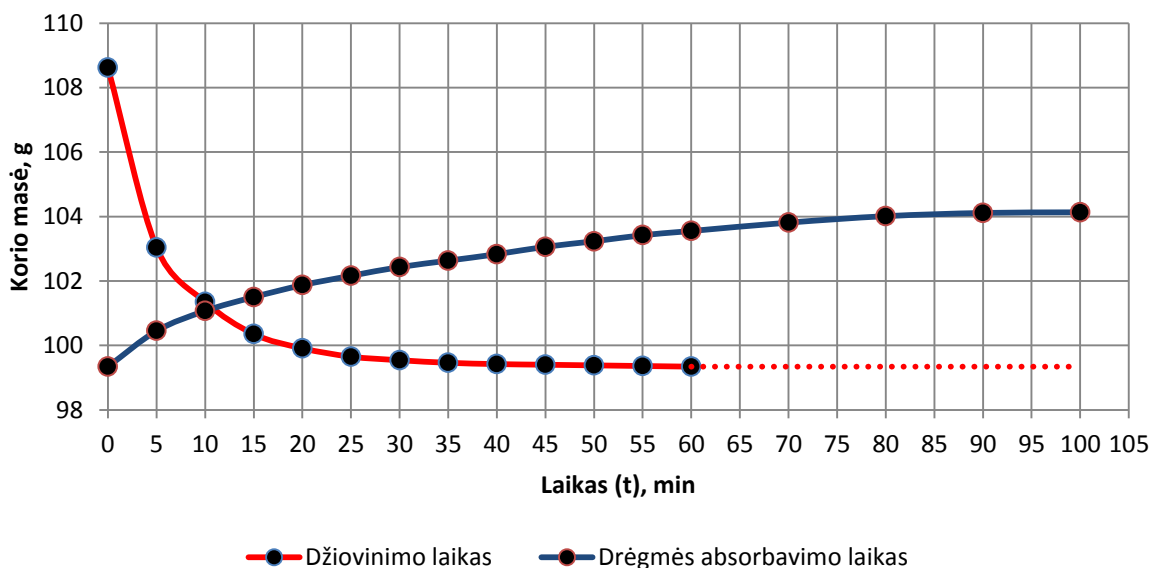


44 pav. Korio mirkymo pradžia



45 pav. Korio mirkymo pabaiga

Tai pat buvo nustatinėjama, koks kiekis drėgmės pasišalina iš kartoninio korio užpildo jį visiškai išdžiovinus, jeigu kartoninis korys buvo laikomas patalpose, kurių temperatūra $19,5^{\circ}\text{C}$, o $\text{SD} = 63\%$. Taip pat nustatinėjama, per, kiek laiko korys absorbuoja išgarintą drėgmės kiekį, laikant jį patalpose, kurių temperatūra $21,3^{\circ}\text{C}$, o $\text{SD} = 62\%$. Matavimų rezultatai pateikti 46 pav.



46 pav. Korio džiovinimo ir sugeriamo drėgmės kiekio (kai $\text{SD} = 62\%$) laikas

Prieš džiovinimą korio gabalėlis svėrė $108,63\text{g}$. Iš pateikto paveikslo matome, kad didžiausiais drėgmės kiekis ($5,58\text{g}$) pašalinamas per pirmąsias 5 minutes. Po 15 minučių išgarinama $8,27\text{g}$ drėgmės. Praėjus 30 minučių išgarintos drėgmės kiekis $9,08\text{g}$. Korys visiškai išdžiūva po 50 minučių (išgarinta $9,24\text{g}$ drėgmės), jį džiovinant ilgiau masė kinta labai nežymiai svėrimo metu.

3.2. Korio gniuždymo bandymai, esant skirtingam jo aukščiui

Remiantis gautais džiovinimo kreivės rezultatais, buvo atliekami korio gniuždymo bandymai, norint nustatyti jo stiprį gniuždant esant skirtingiems drėgmės kiekiams. Bandymai buvo atliekami su nedžiovinu, džiovinu 15 min. ir džiovinu 30 min. koriais. Šie laiko intervalai pasirinkti atsižvelgiant į rezultatus, kurie pavaizduoti 46 pav.



47 pav. Korio gniuždymo bandymas

Bandymai buvo atliekami su korio, kurio parametrai: gramatūra (K) – 160g/m², akutes dydis (A) – 22 mm, aukštis (H) – 15,2 mm; 32,2 mm; 46,6 mm.

12 lentelė. Korio K160_H46,6_A22 gniuždymo rezultatai

K160_H46,6_A22			K160_H46,6_A22			K160_H46,6_A22		
Nedžiovintas korys			Džiovintas korys po 15 min			Džiovintas korys po 30 min		
Nr	F max, N	ε-Fmax mm	Nr	F max, N	ε-Fmax mm	Nr	F max, N	ε-Fmax mm
1	2785,81	2,05	1	3393,26	1,78	1	3652,48	8,15
2	2636,46	2,11	2	3693,82	3,88	2	3470,35	2,62
3	2661,08	2,69	3	3456,92	2,43	3	3561,06	5,97
Vidurkis	2694,45		Vidurkis	3514,67		Vidurkis	3561,30	
v, %	3,0		v, %	4,5		v, %	2,6	
SD, %	64		SD, %	63		SD, %	63	
T, °C	18,6		T, °C	21,5		T, °C	18,9	

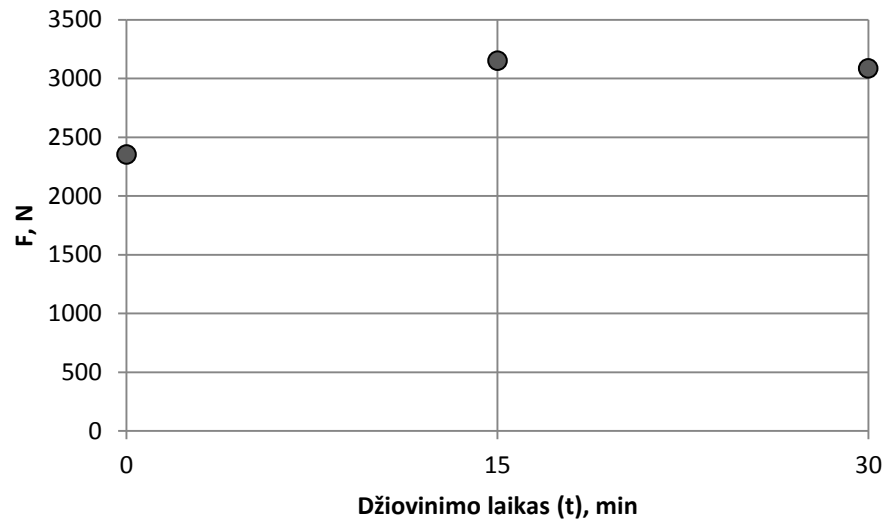
Lentelėje pateikiami korio gniuždymo rezultatai, esant skirtingam džiovinimo laikui, taip pat gniuždymo vidutinės reikšmės ir aplinkos sąlygos: santykinė drėgmė ir oro temperatūra. Iš lentelėje esančių gniuždymo rezultatų apskaičiuojame nedžiovinto korio K160_H46,6_A22 variacijos koeficientą.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{2785,81 + 2636,46 + 2661,08}{3} = 2694,45N;$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{3-1} \cdot ((2785,81 - 2694,45)^2 + \dots + (2661,08 - 2694,45)^2)} = 80,07N;$$

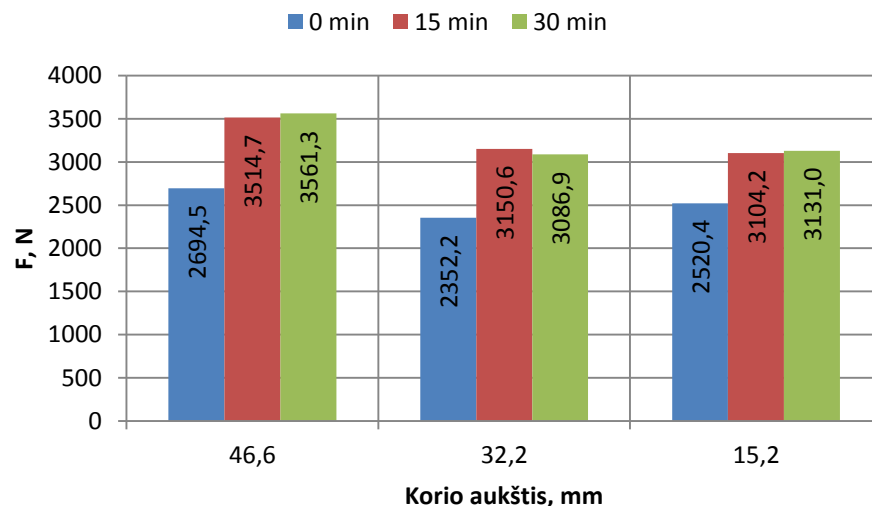
$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 = \frac{80,07}{2694,45} \cdot 100 = 2,97 \approx 3,0\%$$

Analogiškai apskaičiuojamos variacijos koeficiento vertės ir kitiems bandymų rezultatams. Iš apskaičiuotų variacijos koeficiento verčių matome, kad bandymų rezultatų sklaida yra nedidelė ir svyruoja nuo 2,6 iki 4,5 %.



48 pav. Korio [K160_H46,6_A22] gniuždymo rezultatai, kai (SD = 63 %, t = 19°C)

Iš 48 paveikslo matome, kad nedžiovinto korio stipris gniuždant vidutiniškai siekia 2694,45N, džiovinto 15 minučių – 3514,67N, džiovinto 30 minučių – 3561,30N. Iš gautų rezultatų matome, kad korio džiovinto 15 min. stipris padidėjo 30,44%, o džiovinto 30 min. 32,17%.

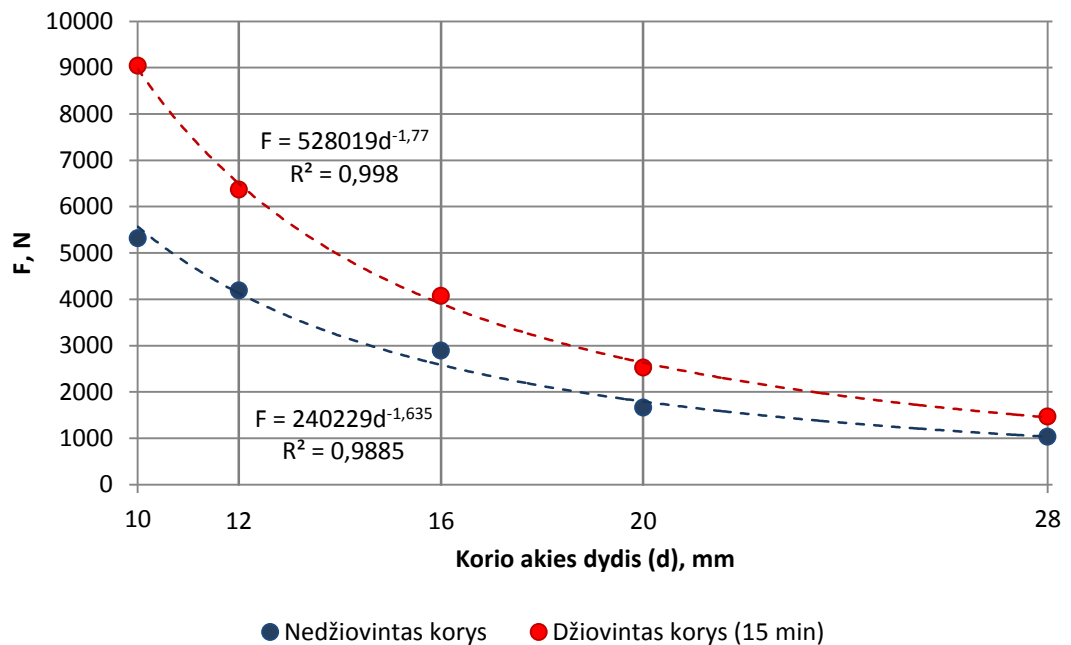


49 pav. Apibendrinti korių džiovavimo rezultatai, kai (SD = 63 %, t = 19°C)

49 paveiksle matome analogišką situaciją. Nedžiovinto korio [K160_H15,2_A22] stipris gniuždant vidutiniškai siekia 2520,4 N, džiovinto 15 minučių – 3104,2 N, džiovinto 30 minučių – 3131 N. Matome, kad korio džiovinto 15 min. stipris padidėjo 23,16%, o džiovinto 30 min. 24,22%. Korio [K160_H32,2_A22] duomenys analogiški. Iš gautų rezultatų matyti, kad džiovinant korį 15 minučių iš jo pasišalina didžioji dalis drėgmės taip padidėjant korio stipriui gniuždant. Džiovinant papildomas 15 minučių išgaruoja palyginti labai nedidelis kiekis drėgmės, tai atsispindi ir gniuždymo rezultatuose. Stipris gniuždant šiuo atveju padidėja neženkliai 1,06 – 1,73%. Todėl remiantis šiais rezultatais, tolimesni bandymai buvo atlikinėjami su nedžiovinu ir džiovintu 15 min koriu.

3.3. Korio gniuždymo bandymai, esant skirtingam akutės dydžiui

Kompozitinių plokščių stipriui gniuždam, kaip pagrindinis kriterijus buvo pasirinktas akutės dydis. Likę parametrai: klijų kiekis, laminato gramatūra, korinio užpildo gramatūra, korinio užpildo aukštis, akutės forma, drėgnumas buvo nekintantys. Akutės dydis buvo pasirinktas žinant, kad medžiagos stipris gniuždam priklauso nuo to, koks jos paviršiaus plotas yra veikiamas. Šiuo atveju buvo veikiamas $0,0144\text{m}^2$ korinio užpildo plotas. Esant tam pačiam veikiamam plotui ir mažėjant akutės dydžiui, veikiamame plote atsiranda didesnis gniuždomų akučių sienelių kiekis. Taigi korinis užpildas su vis mažėjančiu akučių dydžiu geba atlaikyti vis didesnę gniuždymo jėgą. Atliekant gniuždymo bandymus buvo tiriamas kartoninis korinis užpildas su tokiais akučių dydžiais: 10mm, 12mm, 16mm, 20mm, 28mm. Bandymai atlikti su nedžiovinu ir 15 minučių džiovintu koriu. Kiekvienas bandymas buvo atliktas po 3 kartus. Iš viso atlikta 30 bandinių.



50 pav. Korio su skirtingu akutės dydžiu gniuždymo rezultatai, kai (SD = 63 %, t = 17°C)

Iš 50 paveikslo matome, kad mažėjant nedžiovinato gniuždomo korio akies dydžiui, jo stipris gniuždymui laipsniškai didėja. Mažėjant džiovinto korio akies dydžiui, gauname analogišką situaciją, tačiau reikalingos gniuždymo jėgos reikšmės yra ženkliai didesnės.

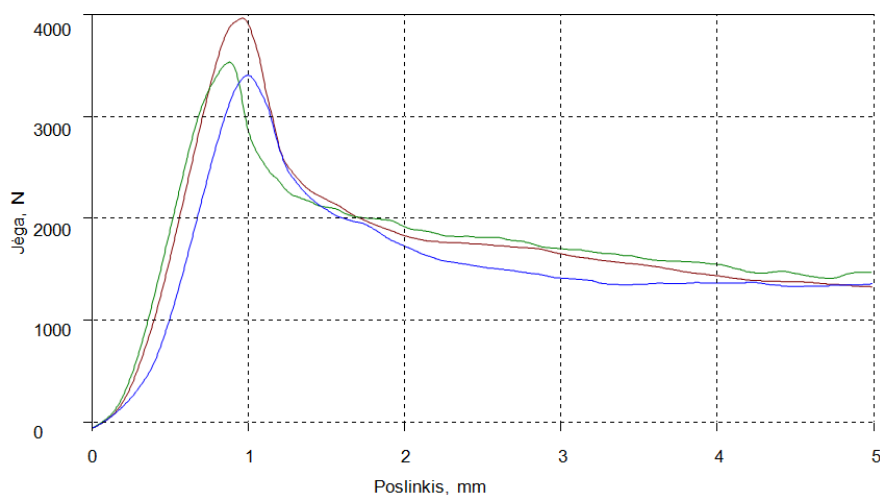
13 lentelėje yra pateikiamos vidutinės džiovinto ir nedžiovinato korio gniuždymo jėgos reikšmės, esant skirtingam akies dydžiui.

13 lentelė. Korio gniuždymo rezultatų vidutinės reikšmės, esant skirtingam akies dydžiui

Akutės skersmuo, mm	Nedžiovinatas, N	Džiovinatas 15 min, N	Skirtumas, %
10	5314,51	9037,65	70,06
12	4188,57	6368,71	52,05
16	2886,35	4072,87	41,11
20	1659,83	2523,80	52,05
28	1032,66	1468,67	42,22

Iš pateiktos lentelės matome, kad atlikus džiovinimą didžiausias pokytis nustatytas koriui su 10 mm dydžio akutėmis. Tokio korio stipris gniuždam, atlikus 15 minučių džiovinimą, padidėjo 70,06 %. Korių su didesnio dydžio akutėmis po atlikto džiovinimo, stipris gniuždam padidėjo nuo 41,11 iki 52,05 %. Iš gautų rezultatų matome, kad drėgmės kiekis koryje stipriai nulemia jo stiprį gniuždam.

3.4. Laminuoto korio gniuždymo bandymai, esant skirtingam akutės dydžiui



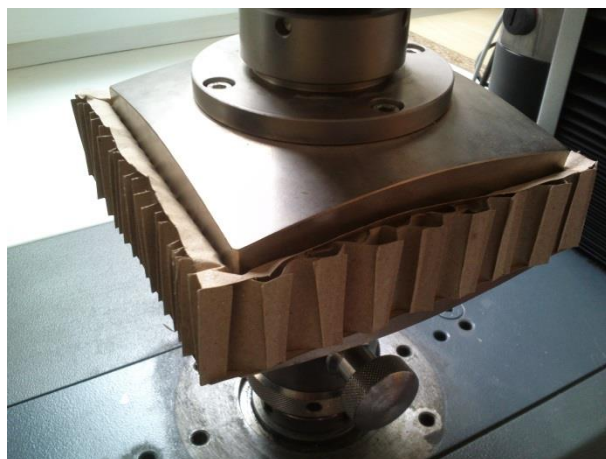
51 pav. Tipinė kompozitinės plokštės rezultatų kreivė, gauta plokštės gniuždymo metu

Laminuotų korio bandinių gamybai buvo naudojamas trijų skirtingų akučių dydžių korinis užpildas: 10 mm; 20 mm; 28 mm. Taip pat naudotas trijų skirtingų gramatūros verčių laminuojantis sluoksnis (kartonas): 125 g/m²; 140 g/m²; 160g/m².

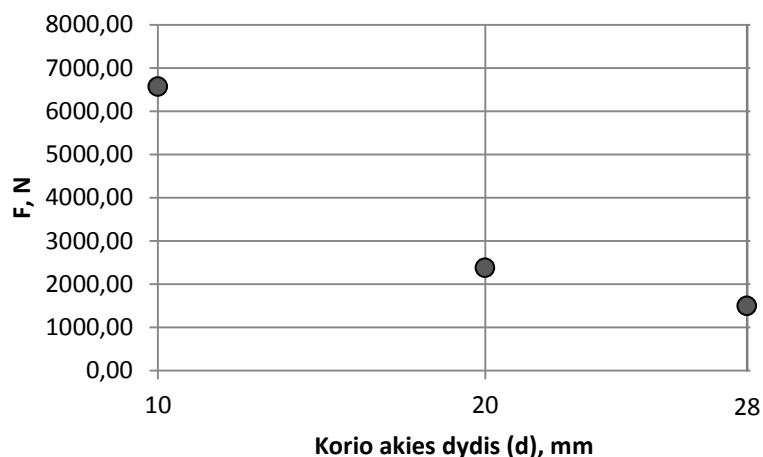
Taip gautos 9 rūšių kompozitinės plokštės skirtos gniuždymo bandymams. Kiekvienos rūšies gniuždymo bandymai buvo atliekami po 3 kartus. Tiriamiems bandiniams buvo įvestas žymėjimas: L125_H322_A10. A – korio akies dydis, mm; H – korio aukštis, mm; L – laminuojančio sluoksnio (kartono) gramatūra, g/m².



52 pav. Laminuoto korio gniuždymo pradžia

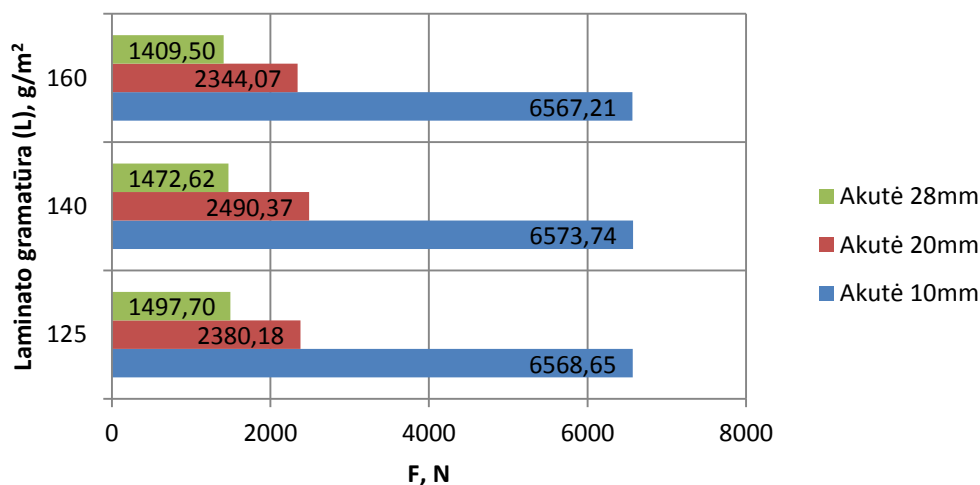


53 pav. Laminuoto korio gniuždymo pabaiga



54 pav. Laminuoto korio su skirtingu akutės dydžiu gniuždymo rezultatai, kai (SD = 53 %; t = 20,5°C; laminuojančio sluoksnio gramatūra – 125g/m²)

Iš gautų rezultatų, pateiktų 54 paveiksle matome, kad mažėjant laminuoto korio akies dydžiui, korio stipris gniuždant didėja. Laminuoto korio su 10 mm akute vidutinė reikšmė gniuždant – 6568,65N; 20 mm – 2380,18N; 28 mm – 1497,70N. Korio stiprio gniuždant, esant skirtingoms laminato gramatūroms, apibendrinti rezultatai pateikti 55 pav.



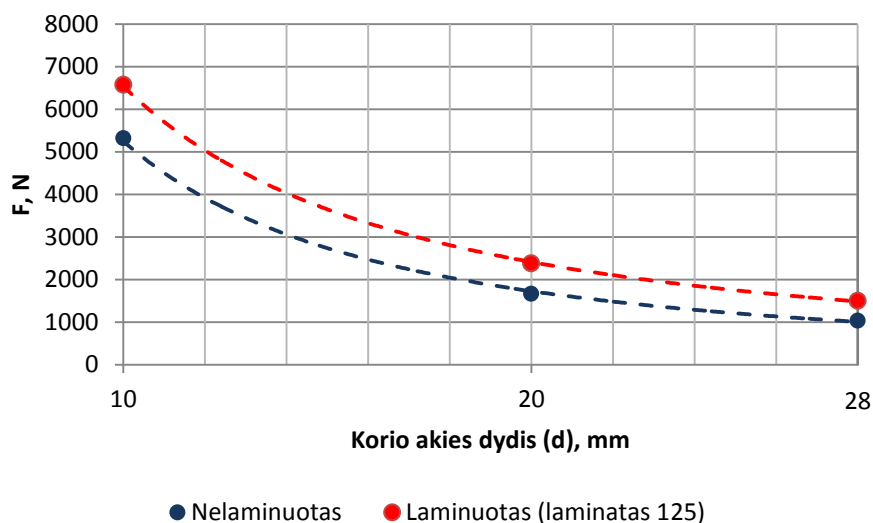
55 pav. Laminuoto korio gniuždymo rezultatų vidutinės reikšmės

14 lentelė. Laminuoto korio gniuždymo rezultatai ir jų variacija

L, g/m ²	Akies dydis, mm		
	10	20	28
125	6568,65 N	2380,18 N	1497,70N
140	6573,74 N	2490,37 N	1472,62 N
160	6567,21 N	2344,07 N	1409,50 N
Vidurkis, N	6569,87 N	2404,87 N	1459,94 N
Vidutinis skirtumas, %	0,04	2,37	2,30

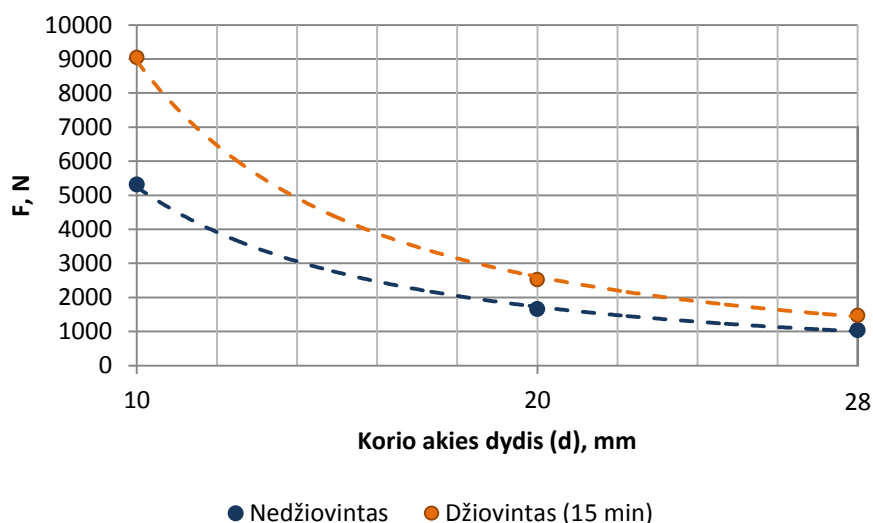
Iš 55 paveikslo matome, kad korio stipris gniuždant, esant skirtingoms laminuojančio sluoksnio gramatūros reikšmėms yra panašios. Tai patvirtina 14 lentelėje pateiktos mažos vidutinio skirtumo reikšmės, kurios svyruoja nuo 0,04 iki 2,37 %. Vidutinės gniuždymo jėgos reikšmės, esant

akutės dydžiui 10mm: 6568,65 N, kai L125; 6573,74 N, kai L140 ir 6567,21 N, kai L160. Analogiški duomenys gaunami esant akutės dydžiui 20 ir 28mm. Todėl galima teigti, kad atlaikomos apkrovos jėgos reikšmės gniuždant nuo laminuojančio sluoksnio gramatūros nepriklauso, priklauso tik nuo akutės dydžio. Iš paveikslu taip pat matome, kad korio akutės dydžiui sumažėjus 2,8 karto, gniuždymo jėga vidutiniškai išauga 4,5 karto (nuo 1459,94N iki 6569,87N).



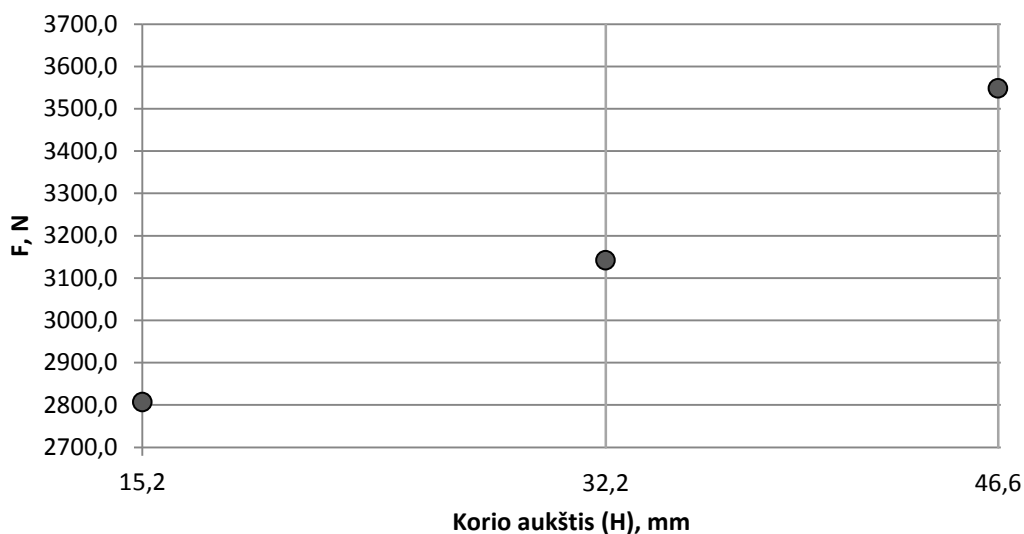
56 pav. Laminuoto ir nelaminuoto korio gniuždymo apibendrinti rezultatai

56 ir 57 paveiksluose pateikti apibendrinti nedžiovinto, džiovinto 15 minučių ir laminuoto nedžiovinto (L125) korio gniuždymo rezultatai. Iš gautų rezultatų matome, kad visais trimis atvejais mažėjant korio akutės dydžiui, didėja korio stipris gniuždant. Iš paveikslų taip pat matome, kad laminuotas korys pagal stiprio gniuždant reikšmes užima tarpinę poziciją tarp nedžiovinto ir džiovinto korio. Ypač tai išryškėja esant mažiausiam akutės dydžiui. Didėjant akutės dydžiui, laminuoto korio stipris artėja prie džiovinto korio reikšmių.



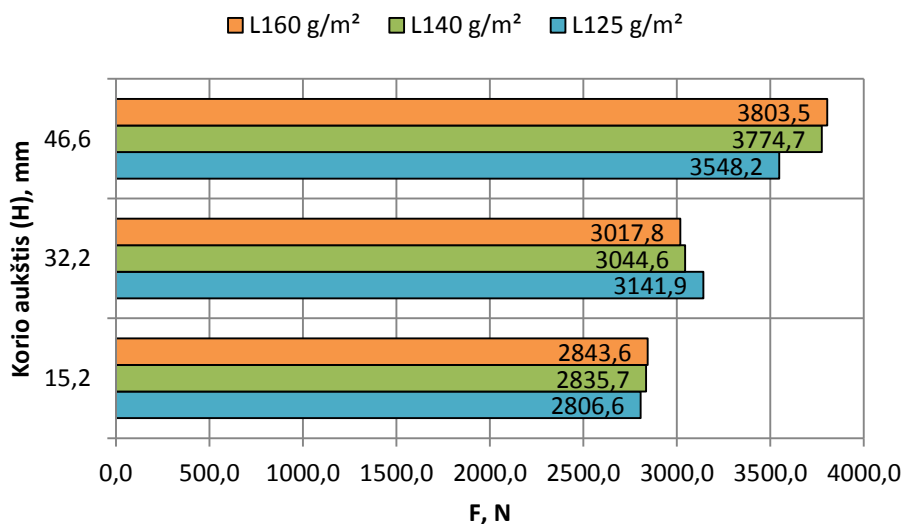
57 pav. Džiovinto ir nedžiovinto korio gniuždymo apibendrinti rezultatai

3.5. Kartoninio korio aukščio įtaką kompozitinės plokštės gniuždymo jėgai



58 pav. Kompozitinės plokštės [K160_L125_A22] gniuždymo jėgos priklausomybė, nuo korio aukščio

Paveiksle pateikiami kompozitinės plokštės, kurios parametrai: A – korio akies dydis 22 mm; K – korinio užpildo gramatūra 160 g/m²; L – laminuojančio sluoksnio (kartono) gramatūra, g/m² gniuždymo rezultatai. Iš paveikslo matyti, kad didėjant korinio užpildo aukščiui, didėja kompozitinės plokštės stipris gniuždant.

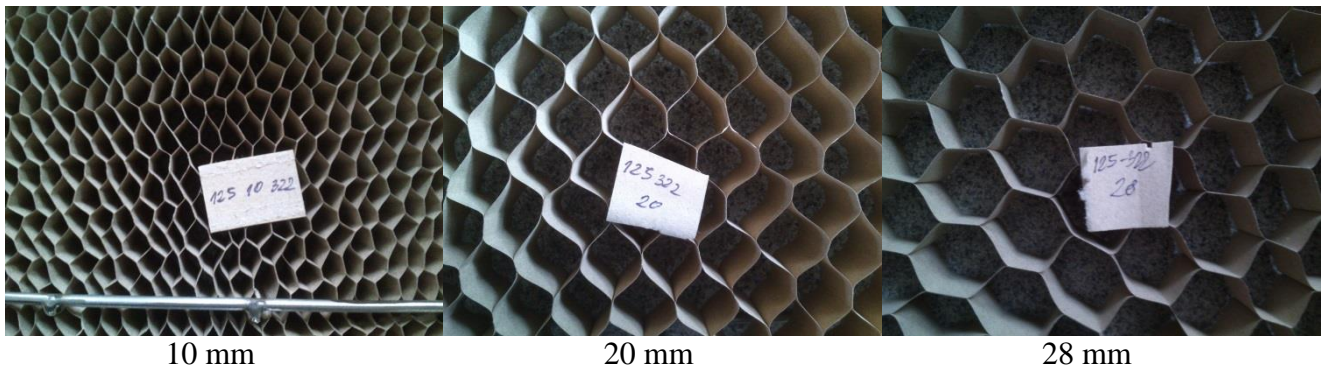


59 pav. Apibendrinti kompozitinių plokščių gniuždymo rezultatai, esant skirtingai laminato gramatūrai ir korio aukščiui

Iš gautų rezultatų matome, kad esant tai pačiai laminuojančio sluoksnio gramatūrai, tačiau kintant korio aukščiui, apkrovos jėga reikalinga suardyti kompozitinę plokštę didėja. Korio aukščiui pakitus nuo 15,2 mm iki 46,6 mm, gniuždymo jėga vidutiniškai išauga 31 %.

IV. KOMPOZITINIŲ PLOKŠČIŲ LENKIMO REZULTATAI

Lenkimui buvo pagaminta 27 su kintančiu akutės dydžiu ir laminuojančio sluoksnio gramatūra bandiniai. Bandinių gamybai buvo naudojamas trijų skirtingų akučių dydžių korinis užpildas: 10 mm; 20 mm; 28 mm. Taip pat naudotas trijų skirtingų gramatūros verčių laminuojantis sluoksnis (kartonas): 125 g/m²; 140 g/m²; 160g/m². Taip gautos 9 rūšių kompozitinės plokštės skirtos lenkimo bandymams. Taip pat pagaminti 27 bandiniai su kintančiu korio aukščiu ir laminato gramatūra. Bandinių gamybai buvo naudojamas trijų skirtingų aukščių korinis užpildas: 15,2 mm; 32,2 mm; 46,6 mm. Kiekvienos rūšies gniuždymo ir lenkimo bandymai buvo atliekami po 3 kartus.

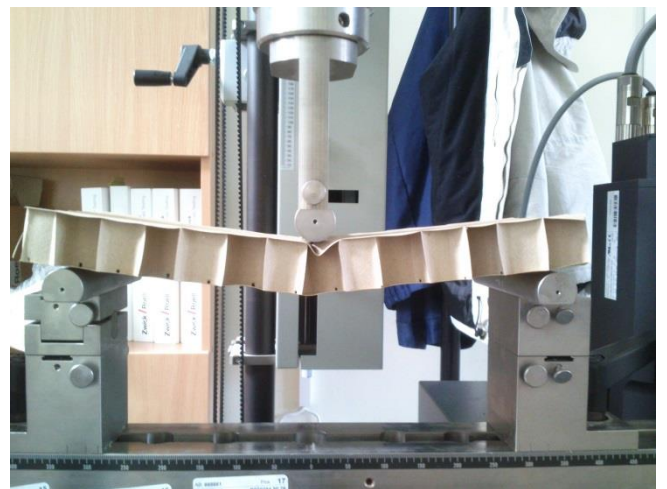


60 pav. Lenkimo bandymams naudotas korinis užpildas

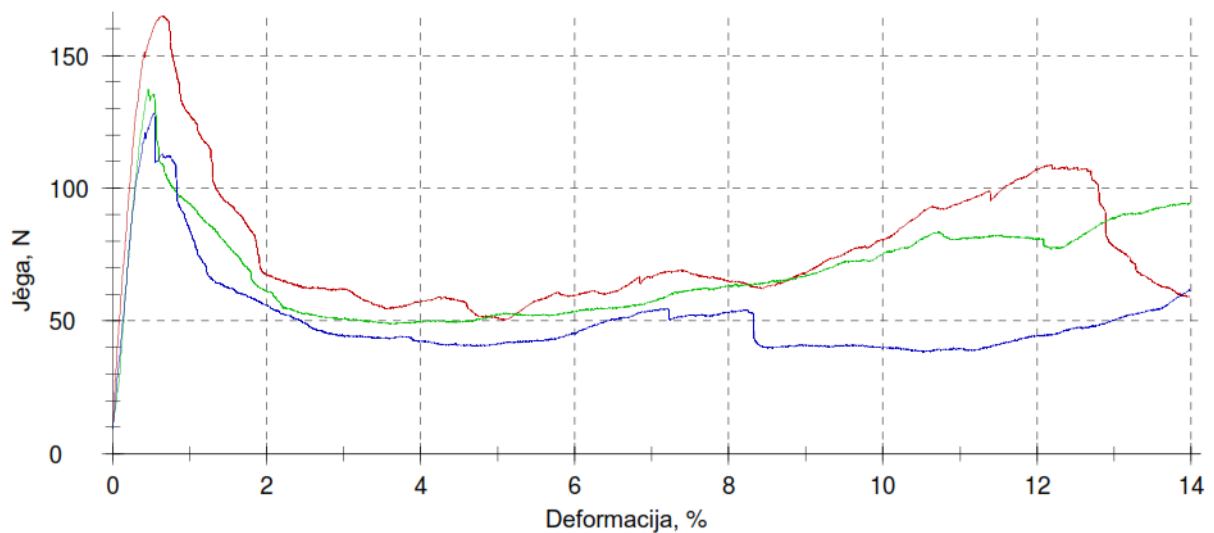
Lenkimo bandymų metu buvo nustatinėjama maksimali apkrovos jėga, kurią bandinys gali išlaikyti jį lenkiant. 61 ir 62 pav. pateikiama lenkimo bandymų eiga.



61 pav. Lenkimo bandymo pradžia



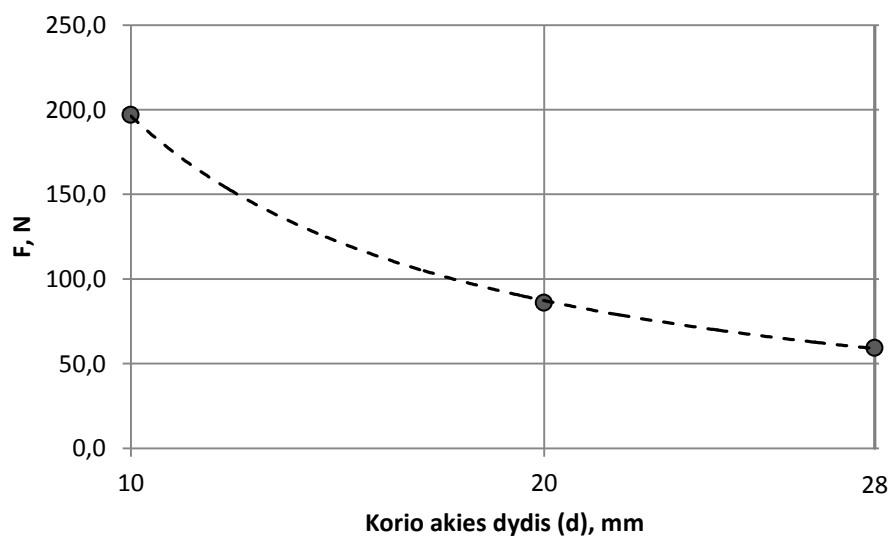
62 pav. Lenkimo bandymo pabaiga



63 pav. Tipinė kompozitinės plokštės rezultatų kreivė, gauta plokštės lenkimo metu

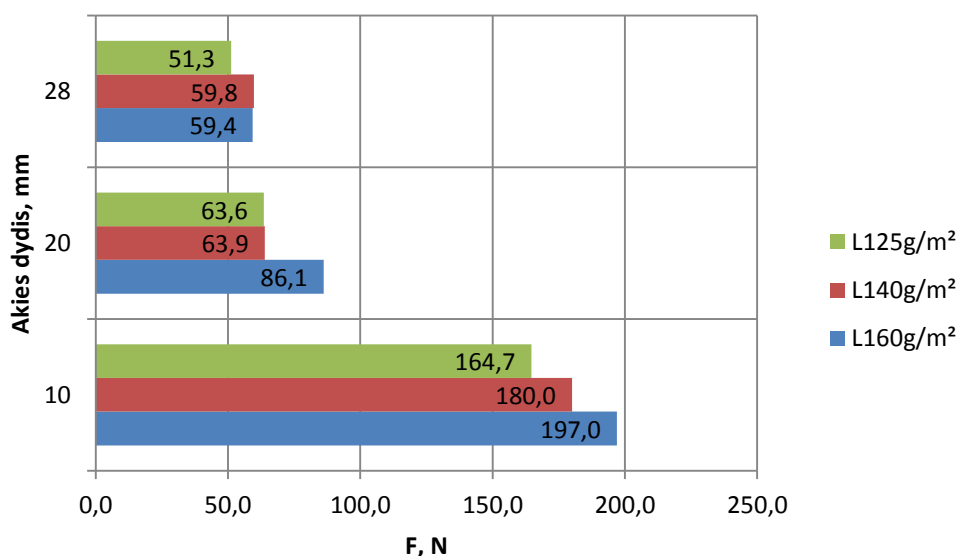
4.1.Laminuoto korio lenkimo bandymai, esant skirtingam akutės dydžiui

Atliekant lenkimo bandymus, buvo siekiama nustatyti, kaip kinta reikalingos lenkimo jėgos dydis nuo kompozitinėje plokštėje panaudoto korinio užpildo akutės dydžio. Lenkimo bandiniams buvo įvestas žymėjimas, pvz.: L160_H322_K125. K – korio gramatūra, g/m²; H – korio aukštis, mm; L – laminuojančio sluoksnio (kartono) gramatūra, g/m².



64 pav. Kompozitinės plokštės L160_H322_K125 lenkimo rezultatai

Iš paveikslo matome, kad didėjant korio akutės dydžiui, kompozitinių plokščių stipris lenkiant mažėja. Apkrovos jėga reikalinga sulenkti kompozitinę plokštę, kai korio akutės dydis 10 mm, vidutiniškai siekė 197,0N; 20 mm – 86,1N; 28mm – 59,4N.



65 pav. Apibendrinti kompozitinių plokščių lenkimo rezultatų vidurkiai, esant skirtingai laminato gramatūrai ir akutės dydžiui

Pateiktame paveiksle matome analogišką situaciją, didėjant akutės dydžiui, stipris lenkiant mažėja. Apkrovos jėga reikalinga sulenkti kompozitinę plokštę, kai korio akutės dydis 10 mm, o laminato gramatūra (L) 140 g/m² vidutiniškai siekė 180,0N; 20 mm – 63,9N; 28mm – 59,8N.

Panašūs rezultatai gauti ir su kompozitine plokšte, kuri laminuota 125g/m² gramatūros kartonu. Kompozitinių plokščių, su 20 ir 28 mm akutėmis, apibendrinti lenkimo rezultatai ir palyginimas pateikti 15 lentelėje.

15 lentelė. Kompozitinių plokščių lenkimo jėgos sumažėjimas, lyginant su kompozitine plokšte, kurios korinio užpildo akies dydis 10 mm

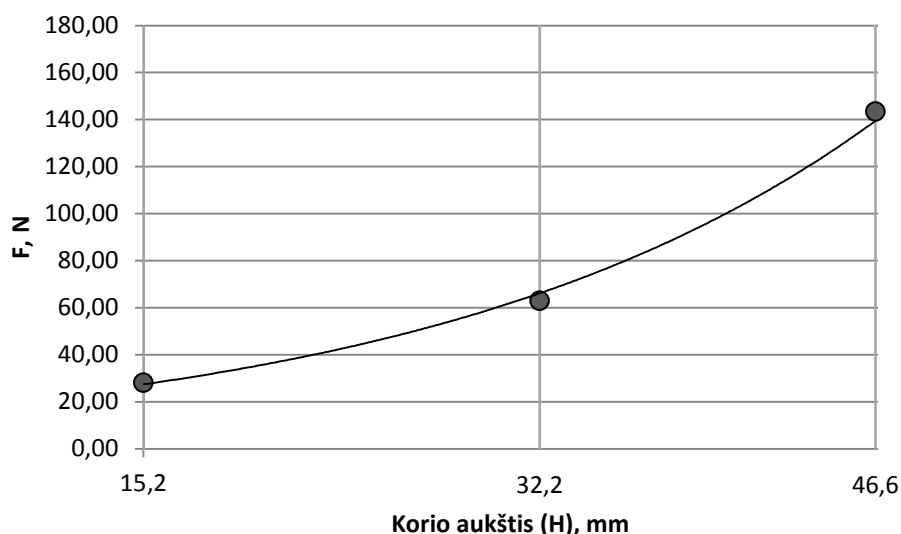
Laminato gramatūra g/m ²	Korinio užpildo akies dydis, mm	
	20	28
125	- 19,3 %	- 68,9 %
140	- 6,4 %	- 66,7 %
160	- 31,0 %	- 69,8 %
Vidurkis	- 18,9 %	- 68,5 %

Iš lentelės matome, kad padidėjus akutės dydžiui 2 kartus (t. y. nuo 10 iki 20 mm), plokštės lenkimo jėga vidutiniškai sumažėja 18,9 %, o padidėjus akutės dydžiui 2,8 karto (t. y. nuo 10 iki 28 mm), plokštės lenkimo jėga vidutiniškai sumažėja 68,5 %.

Iš 65 paveikslo taip pat matome, kad didėjant laminato gramatūrai, kai akies dydis 10 mm, didėja ir stipris lenkiant. Esant laminato gramatūrai 125g/m², vidutinė stiprio reikšmė lenkiant – 164,7N; 140g/m² – 180,0N; 160g/m² – 197,0N. Naudojant 160g/m² laminatą, stipris lenkiant padidėjo 32,3 N (19.6%) lyginant su 125g/m² laminatu. Didėjant akutės dydžiui matome, kad laminato gramatūra turi vis mažesnę reikšmę stipriui lenkiant. Geriausiai tai atspindi rezultatai su 28 mm dydžio akute.

Iš gautų rezultatų galime teigti, kad priklausomybė yra vidutiniška, todėl stipris lenkinat didėja palyginti nežymiai, kai kinta tik laminato gramatūra, o akutės dydis yra pastovus.

4.2. Kartoninio korio aukščio įtaką kompozitinės plokštės lenkimo jėgai



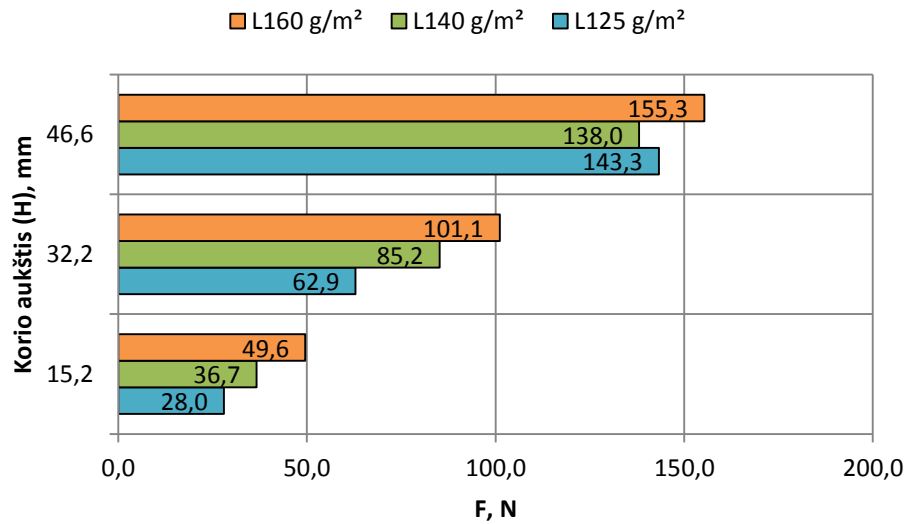
66 pav. Kompozitinės plokštės L125_K160_A22 lenkimo jėgos priklausomybė, nuo korio aukščio

Paveiksle pateikiama kompozitinės plokštės, kurios parametrai: A – korio akies dydis 22 mm; K – korinio užpildo gramatūra 160 g/m²; L – laminuojančio sluoksnio (kartono) gramatūra 125 g/m², lenkimo rezultatai, kai keičiamas tik korinio užpildo aukštis. Iš pateikto paveikslo matome, kad didėjant korio aukščiui, didėja kompozitinės plokštės sulenkimui reikalinga jėga. Panašūs rezultatai gauti ir kompozitinėms plokštėms pagamintoms su 140 ir 160g/m² gramatūros laminuojančiu sluoksniu. Apibendrinti lenkimo rezultatai, esant skirtingai laminuojančio sluoksnio gramatūrai ir korio aukščiui pateikti žemiau esančioje lentelėje.

16 lentelė. Kompozitinių plokščių lenkimo jėgos pokytis, esant skirtingam korio aukščiui, kai laminato gramatūra pastovi

Laminato gramatūra, g/m ²	Korio aukštis, mm		
	15,2	32,2	46,6
125	28,0 N	62,9 N (+ 124,6 %)	143,3 N (+ 411,8 %)
140	36,7 N	85,2 N (+ 132,2 %)	138,0 N (+ 276,0 %)
160	49,6 N	101,1 N (+ 103,8%)	155,3 N (+ 213,1 %)

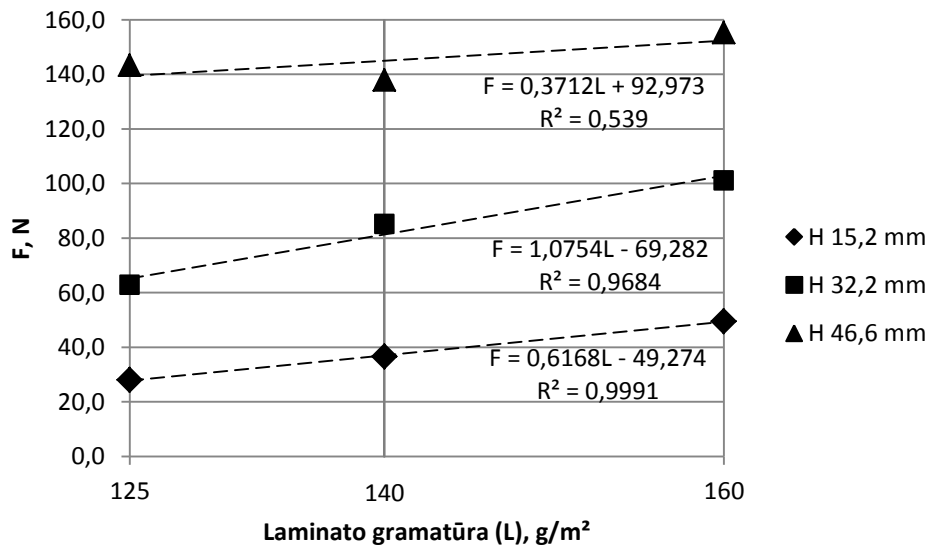
Iš 16 lentelės matome, kad kompozitinės plokštės stipris lenkiant labiausiai padidėja (411,8 %), kai laminuojančio sluoksnio gramatūra 125 g/m², o mažiausiai (213,1 %), kai laminuojančio sluoksnio gramatūra 160 g/m².



67 pav. Apibendrinti kompozitinių plokščių lenkimo rezultatų vidurkiai, esant skirtingai laminato gramatūrai (L) ir korio aukščiui (H)

Iš 67 paveikslo matome analogišką situaciją kaip ir gniuždymo bandymuose. Didėjant korio aukščiui didėja ir lenkimo jėgos reikšmės. Korio aukščiui pakitus nuo 15,2 mm iki 46,6 mm, lenkimo jėga vidutiniškai išauga 107 N.

4.3. Laminuojančio sluoksnio gramatūros įtaką kompozitinės plokštės lenkimo jėgai



68 pav. Apibendrinti kompozitinių plokščių lenkimo rezultatų vidurkiai, esant skirtingai laminato gramatūrai, o korio aukštis (H) nekinta

Iš pateikto paveikslo matome, kad laminuojančio sluoksnio gramatūra didžiausią įtaką turi kompozitinėms plokštėms gaminamoms iš mažo aukščio korinio užpildo 15,2 mm. Plokštėms pagamintoms naudojant 32,2 mm aukščio korinį užpildą, laminuojančio sluoksnio gramatūros įtaka yra šiek tiek mažesnė negu 15,2 mm. Mažiausia įtaka nustatyta plokštėms pagamintoms iš 46,6 mm korinio užpildo, laminuojančio sluoksnio gramatūra šiose plokštėse yra silpna.

17 lentelė. Kompozitinių plokščių lenkimo jėgos pokytis, esant skirtingoms laminato gramatūroms, kai korio aukštis pastovus

Korio aukštis, mm	Laminato gramatūra, g/m ²		
	125	140	160
15,2	28,0 N	36,7 N (+ 31 %)	49,6 N (+ 77 %)
32,2	62,9 N	85,2 N (+ 35 %)	101,1 N (+ 61 %)
46,6	143,3 N	138,0 N (- 4%)	155,3 N (+ 8 %)

Iš lentelėje pateiktų rezultatų matome, kad laminato gramatūrai pakitus nuo 125 iki 160 g/m², kompozitinės plokštės su 15,2 mm koriu, lenkimo jėga išaugo 77 %. Analogiška situacija užfiksuota ir kompozitinėje plokštėje su 32,2 mm koriu. Šios plokštės lenkimo jėga išaugo 61 %. Mažiausias pokytis užfiksuotas kompozitinėje plokštėje su aukščiausiu 46,6 mm koriu. Šios plokštės stipris išaugo 8 %. Iš gautų rezultatų galime teigti, jog gaminant kompozitines plokštes su didelio aukščio koriniu užpildu laminato gramatūra daro minimalų poveikį plokštės stipriui lenkiant. Todėl gaminant tokio tipo plokštes reikėtų naudoti mažesnės gramatūros laminuojantį sluoksnį, o kompozitinėse plokštėse su žemu koriu, naudoti laminuojantį sluoksnį su didesne gramatūra.

IŠVADOS

1. Atlikus literatūros analizę, susijusią su kartoninio korio mechaninių savybių tyrimais, nustatyta, kad šiuo metu didelis dėmesys yra skiriamas korinio užpildo ir kompozitinių plokščių gaminamų iš korinio užpildo mechaninių savybių tyrimams jas lenkiant ir gniuždant. Pagrindinė to priežastis geras stiprio ir masės santykis. Dėl šios savybės korio konstrukcijos naudojamos labai plačiai nuo konstrukcijų baldų gamyboje iki kosminių palydovų korpusų. Reikia paminėti, kad šiuo metu labai intensyviai yra tiriamos šių konstrukcijų mechaninės savybės, gniuždant jas tiek ašine, tiek plokštumų kryptimis. Taip pat analizuojami apsaugos nuo drėgmės būdai, nes popierius pasižymi savybe sugerti aplinkos oro drėgmę. Dėl šios popieriaus savybės suprastėja jo mechaninėms savybės, kurios yra svarbios kompozitinių plokščių gamyboje.
2. Vadovaujantis IKEA IOS-P-0010 bei ASTM-393-00 standartais buvo sudaryta bandymų metodika, skirta nustatyti kompozitinių plokščių ir korinio užpildo stiprį lenkiant ir gniuždant. Išanalizavus literatūrą, susijusią su kompozitinių plokščių gamyba, buvo nustatytas reikalingas klijų kiekis korinį užpildą laminuojančiam sluoksniui. Lenkimo bandiniui – 2 x 7,0g; gniuždymo bandiniui – 2 x 2,61g. Taip pat literatūroje ir standartuose pateiktoje medžiagoje nurodomas ir reikiamas bandymų skaičius. Šiuo atveju kiekvienas bandymas turi būti kartojamas mažiausiai 3 kartus.
3. Naudojantis sudaryta metodika, buvo atlikti kartoninio korio ir kompozitinių plokščių lenkimo ir gniuždymo bandymai. Atliekant kompozitinių plokščių lenkimo ir gniuždymo bandymus buvo keičiami šie plokštės parametrai: korinio užpildo akies dydis 10 – 28 mm; laminuojančio sluoksnio gramatūra 125 – 160 g/m²; korinio užpildo aukštis 15,2 – 46,6 mm. Atliekant kartoninio korio lenkimo ir gniuždymo bandymus buvo keičiamas korio aukštis 15,2 – 46,6 mm ir jo akies dydis 10 – 28 mm. Iš viso buvo atlikta 165 bandymai, iš jų: 54 – kompozitinių plokščių lenkimas; 54 – kompozitinių plokščių gniuždymas; 57 – kartoninio korio gniuždymas.
4. Atlikus kompozitinių plokščių ir kartoninio korinio užpildo lenkimo ir gniuždymo bandymus, buvo gauti tokie rezultatai:
 - 1) Iš gautų gniuždymo rezultatų nustatyta, kad esant tam pačiam korio aukščiui, tačiau mažėjant korio akutės dydžiui, didėja kompozitinės plokštės stipris gniuždant. Korio akutės dydžiui sumažėjus 2,8 karto, stipris gniuždant vidutiniškai išauga 4,5 karto nuo 1459,94N iki 6569,86N.
 - 2) Atliekant džiovinto ir nedžiovinto korio gniuždymo bandymus, buvo nustatyta, kad džiovinant korį 15 minučių 130°C temperatūroje ženkliai padidėja jo stipris gniuždant,

lyginant su nedžiovintu. Esant 10 mm akutės dydžiui, korio stipris gniuždant padidėjo 70,06%. Esant didesniems akutės dydžiams, buvo užfiksuotas taip pat ženklus stiprio gniuždant padidėjimas, kuris svyravo nuo 41,11 iki 52,05%.

- 3) Didėjant korio akutės dydžiui, kompozitinės plokštės stipris lenkiant mažėja. Tyrimų metu nustatyta, kad akutei padidėjus 2,8 karto, plokštės stipris lenkiant vidutiniškai sumažėja 68,5 %.
- 4) Didėjant korio aukščiui didėja ir stipris lenkiant. Nustatyta, kad korio aukščiui pakitus nuo 15,2 mm iki 46,6 mm, stipris lenkiant išauga nuo 213,1 (kai naudojamas didžiausios gramatūros laminatas) iki 411,8%, kai naudojamas mažiausios gramatūros laminatas.
- 5) Nustatyta, kad laminuojančio sluoksnio gramatūra didžiausią įtaką turi kompozitinėms plokštėms gaminamoms iš mažo aukščio korinio užpildo 15,2 mm. Laminuojančio sluoksnio gramatūrai pakitus nuo 125g/m^2 iki 160g/m^2 , stipris lenkiant vidutiniškai išauga 77 %.
- 6) Atlikus kompozitinių plokščių su skirtingu akutės dydžiu gniuždymo bandymus, nustatyta, kad stipris gniuždant nuo laminuojančio sluoksnio gramatūros nepriklauso. Tai parodo mažos skirtumo reikšmės, kurios svyruoja nuo 0,04 iki 2,37 %.

Literatūra

1. Achema. Universalūs klijai „Lipalas“ [interaktyvus]. [Žiūrėta 2016 m. Gegužės 2 d.]. Prieiga per internetą: <
<http://www.achema.lt/uploads/achema%20products/Organiniai%20produktai/Universalus%20klijai/Lipalas/20014%20Lipalas.pdf>>
2. Barboutis, I.; Vassiliou, V. 2005. Strength properties of lightweight paper honeycomb panels for the furniture.
3. Bitzer, T. 1997. Honeycomb technology. London: Chapman & Hall. 242 p.
4. Denes, L.; Utassy, V. 2014. Finite element modelling of paper honeycomb panels. SWST International Convention.
5. Deqiang S., Weihong Z., Yanbin W. 2010. Mean out-of-plane dynamic plateau stresses of hexagonal honeycomb cores under impact loadings. *Composite Structures* 92 2609–2621 p.
6. Dongmei W., Ziyou B. 2015. Mechanical property of paper honeycomb structure under dynamic compression. *Materials and Design* 77 59–64 p.
7. Erjavec M. 2011. Mechanical properties of cellular materials. 15 p.
8. Gibson J. L., Ashby M. F. *Cellular Solids*, Cambridge University Press, 2nd edition 1997.
9. Grigelis, E. 2015. Laminuojančio sluoksnio storio įtaka kartono korio kompozitų stiprumo savybėms. Magistro baigiamasis darbas.
10. Haydn, N.; Wadley, G. Multifunctional periodic cellular metals. Department of Materials Science and Engineering, University of Virginia, Charlottesville, VA 22903, USA.
11. Han B., Wang W., Zhang Z. et al. 2016. Performance enhancement of sandwich panels with honeycomb–corrugation hybrid core. *Theoretical and Applied Mechanics Letters* 6 54–59 p.
12. Han B., Wang W., Zhang Z. et al. 2016. Performance enhancement of sandwich panels with honeycomb – corrugation hybrid core. *Theoretical and Applied Mechanics Letters* 6 54–59 p.
13. HexWeb™ Honeycomb Attributes and Properties. 1999. A comprehensive guide to standard hexcel honeycomb materials, configurations, and mechanical properties.
14. Ikea IOS-P-0010 standartas.
15. Yang Y., Li B., Chen Z. et al. 2016 Acoustic properties of glass fiber assembly-filled honeycomb sandwich panels. *Composites Part B*.
16. Kligys M. 2009. Kompozitinės medžiagos iš poringosios cemento tešlos ir trupinto polistireninio putplasčio gamybos technologija ir savybės: daktaro disertacija. Vilnius.
17. Kompozitinių konstrukcijų bandinių ASTM-393-00 standartas
18. Liu P., Liu Y., Zhang X. 2015. Improved shielding structure with double honeycomb cores for hyper-velocity impact. *Mechanics Research Communications* 69 34–39 p.

19. Olsson U., Engstrand U., Rupšys P. 2007. Statistiniai metodai SAS ir MINITAB: Mokomoji knyga.
20. Paper Honeycomb Determination of Cell Geometry. 2012. Voluntary Technical Standard.
21. Phol A. 2009. Strengthened corrugated paper honeycomb for application in structural elements: daktaro disertacija. Ciurichas.
22. Polystyrene Fact Sheet. 2010. 2 p.
23. Static materials testing machines from 0.2 kN to 2,500 kN [interaktyvus]. [Žiūrėta 2015 m. Birželio 15 d.]. Prieiga per internetą: < <http://www.zwick.com/en/products/static-materials-testing-machines.html>>
24. Tekoğlu C. 2007. Size effects in cellular solids. 139 p.
25. Tincher B., Sypeck D. 2010. Determination of mechanical properties of aluminum honeycomb structures using finite element analysis. Embry-Riddle Aerospace Engineering.
26. Tounsi R., Markiewicz E., Haugou G. et al. 2016. Dynamic behaviour of honeycombs under mixed shear-compression loading: Experiments and analysis of combined effects of loading angle and cells in-plane orientation. *International Journal of Solids and Structures* 80 501–511 p.
27. Veltin B. A., Effect of geometric parameters on the in-plane crushing behavior of honeycomb and honeycombs with facesheets. A Dissertation in Aerospace Engineering. 2009. 176 p.
28. Wahl L., Maas S. 2013. Fatigue in the core of aluminum honeycomb panels: Lifetime prediction compared with fatigue tests. *International Journal of Damage Mechanics*.
29. Wang D. 2008. Impact behavior and energy absorption of paper honeycomb sandwich panels. *International Journal of Impact Engineering* 36 110–114 p.
30. Wang DM. 2006. Compression breakage properties research on the honeycomb paperboard. *Packaging Engineering* 27(1):37–9.
31. Wang Y. 1991. Elastic collapse of honeycombs under out-of-plane pressure. *Int. J. Mech. Sci.* 33 (8) 637–644 p.
32. Wang ZW. 2010. Mathematical modelling of energy absorption property for paper honeycomb in various ambient humidities. *Materials and Design* 31 4321–4328 p.
33. Xu S., Beynon H. J., Ruan D. et al. 2012. Experimental study of the out-of-plane dynamic compression of hexagonal honeycombs. *Composite Structures* 94 2326–2336 p.
34. Zwick/Roell. Product Information. ProLine table-top machines Z005 up to Z100.

PRIEDAI

1 priedas. Kompozitinių plokščių lenkimo rezultatai

Nr	Lenkimas[K160_H15,2_L125]		Nr	Lenkimas[K160_H15,2_L140]		Nr	Lenkimas[K160_H15,2_L160]	
	Fmax, N	dL at Fmax, mm		Fmax, N	dL at Fmax, mm		Fmax, N	dL at Fmax, mm
1	28,4	5,9	1	34,1	4,1	1	47,0	4,6
2	26,0	6,5	2	39,0	5,4	2	49,4	4,1
3	29,7	5,5	3	37,0	5,1	3	52,3	3,9
Vidurkis	28,0		Vidurkis	36,7		Vidurkis	49,6	
v, %	6,7		v, %	6,7		v, %	5,4	
Nr	Lenkimas[K160_H32,2_L125]		Nr	Lenkimas[K160_H32,2_L140]		Nr	Lenkimas[K160_H32,2_L160]	
	Fmax, N	dL at Fmax, mm		Fmax, N	dL at Fmax, mm		Fmax, N	dL at Fmax, mm
1	77,4	5,5	1	82,5	1,8	1	105,0	2,2
2	51,0	1,7	2	77,0	2,2	2	78,3	1,6
3	60,3	2,3	3	96,1	2,5	3	120,0	2,5
Vidurkis	62,9		Vidurkis	85,2		Vidurkis	101,1	
v, %	21,3		v, %	11,5		v, %	20,9	
Nr	Lenkimas[K160_H46,6_L125]		Nr	Lenkimas[K160_H46,6_L140]		Nr	Lenkimas[K160_H46,6_L160]	
	Fmax, N	dL at Fmax, mm		Fmax, N	dL at Fmax, mm		Fmax, N	dL at Fmax, mm
1	165,0	2,1	1	124,0	1,8	1	179,0	1,7
2	137,0	1,5	2	113,0	1,6	2	162,0	1,2
3	128,0	1,7	3	177,0	2,4	3	125,0	1,6
Vidurkis	143,3		Vidurkis	138,0		Vidurkis	155,3	
v, %	13,5		v, %	24,8		v, %	17,8	

2 priedas. Kompozitinių plokščių gniuždymo rezultatai

Nr	Gniuždymas[K160_H15,2_L125]		Nr	Gniuždymas[K160_H15,2_L140]		Nr	Gniuždymas[K160_H15,2_L160]	
	Fmax, N	ϵ -F max, mm		Fmax, N	ϵ -F max, mm		Fmax, N	ϵ -F max, mm
1	2754,6	2,74	1	2810,4	1,96	1	2893,4	1,52
2	2756,8	1,17	2	2748,3	2,35	2	2829,9	1,99
3	2908,5	1,16	3	2948,4	1,58	3	2807,5	1,57
Vidurkis	2806,6		Vidurkis	2835,7		Vidurkis	2843,6	
v, %	3,1		v, %	3,6		v, %	1,6	
Nr	Gniuždymas[K160_H32,2_L125]		Nr	Gniuždymas[K160_H32,2_L140]		Nr	Gniuždymas[K160_H32,2_L160]	
	Fmax, N	ϵ -F max, mm		Fmax, N	ϵ -F max, mm		Fmax, N	ϵ -F max, mm
1	3126,2	1,11	1	3028,4	1,51	1	3094,1	1,65
2	3033,4	1,09	2	2988,8	1,67	2	2960,3	1,61
3	3266,1	1,08	3	3116,6	1,49	3	2999,0	1,49
Vidurkis	3141,9		Vidurkis	3044,6		Vidurkis	3017,8	
v, %	3,7		v, %	2,1		v, %	2,3	
Nr	Gniuždymas[K160_H46,6_L125]		Nr	Gniuždymas[K160_H46,6_L140]		Nr	Gniuždymas[K160_H46,6_L160]	
	Fmax, N	ϵ -F max, mm		Fmax, N	ϵ -F max, mm		Fmax, N	ϵ -F max, mm
1	3653,28	0,97	1	4106,88	0,96	1	4069,44	0,89
2	3421,44	1,6	2	3672	0,88	2	3624,48	1,06
3	3569,76	0,99	3	3545,28	0,99	3	3716,64	1,14
Vidurkis	3548,16		Vidurkis	3774,72		Vidurkis	3803,52	
v, %	3,3		v, %	7,8		v, %	6,2	

3 priedas. Džiovinto ir nedžiovinto korio K160 gniuždymo rezultatai

K160_H46,6_A22			K160_H46,6_A22			K160_H46,6_A22		
Nedžiovintas korys			Džiovintas korys po 15 min			Džiovintas korys po 30 min		
Nr	F max, N	ε, mm	Nr	F max, N	ε, mm	Nr	F max, N	ε, mm
1	2785,81	2,05	1	3393,26	1,78	1	3652,48	8,15
2	2636,46	2,11	2	3693,82	3,88	2	3470,35	2,62
3	2661,08	2,69	3	3456,92	2,43	3	3561,06	5,97
Vidurkis	2694,45		Vidurkis	3514,67		Vidurkis	3561,30	
v, %	3,0		v, %	4,5		v, %	2,6	
SD, %	64		SD, %	63		SD, %	63	
T, °C	18,6		T, °C	21,5		T, °C	18,9	
K160_H32,2_A22			K160_H32,2_A22			K160_H32,2_A22		
Nedžiovintas korys			Džiovintas korys po 15 min			Džiovintas korys po 30 min		
Nr	F max, N	ε, mm	Nr	F max, N	ε, mm	Nr	F max, N	ε, mm
1	2317,48	1,3	1	3143,14	1,93	1	3059,25	
2	2337,35	1,89	2	3229,02	6,28	2	3094,8	
3	2401,89	1,85	3	3079,71	2,56	3	3106,72	
Vidurkis	2352,24		Vidurkis	3150,623		Vidurkis	3086,923	
v, %	1,9		v, %	2,4		v, %	0,8	
SD, %	62		SD, %	62		SD, %	61	
T, °C	17,9		T, °C	18,4		T, °C	20	
K160_H15,2_A22			K160_H15,2_A22			K160_H15,2_A22		
Nedžiovintas korys			Džiovintas korys po 15 min			Džiovintas korys po 30 min		
Nr	F max, N	ε, mm	Nr	F max, N	ε, mm	Nr	F max, N	ε, mm
1	2513,16	1,04	1	2996,05	1,25	1	3118,25	0,98
2	2602,47	1,11	2	3112,34	1,95	2	3091,94	1,04
3	2445,62	1,47	3	3204,07	1,9	3	3182,71	1,53
Vidurkis	2520,417		Vidurkis	3104,153		Vidurkis	3130,967	
v, %	3,1		v, %	3,4		v, %	1,5	
SD, %	62		SD, %	62		SD, %	62	
T, °C	17,4		T, °C	18		T, °C	18,9	

4 priedas. Džiovinimo ir nedžiovinimo korio gniuždymo rezultatai, esant skirtingam akies dydžiui

K125_H322_A10			K125_H322_A10		
Nedžiovinimas			Džiovinimas po 15 min		
Nr	F max, N	ϵ , mm	Nr	F max, N	ϵ , mm
1	5284,04	2,72	1	9403,57	2,2
2	5267,64	8,87	2	9651,8	3,08
3	5391,86	4,05	3	8057,58	2,97
Vidurkis	5314,513		Vidurkis	9037,65	
v, %	1,3		v, %	9,5	
SD, %	63		SD, %	63	
T, °C	17,4		T, °C	17,7	
K125_H322_A12			K125_H322_A12		
Nedžiovinimas			Džiovinimas po 15 min		
Nr	F max, N	ϵ , mm	Nr	F max, N	ϵ , mm
1	4155,81	1,73	1	6361,59	3,29
2	4216,24	1,6	2	6445,83	4,03
3	4193,66	2,93	3	6298,72	3,34
Vidurkis	4188,57		Vidurkis	6368,71	
v, %	0,7		v, %	1,2	
SD, %	63		SD, %	64	
T, °C	17,4		T, °C	16,8	
K125_H322_A16			K125_H322_A16		
Nedžiovinimas			Džiovinimas po 15 min		
Nr	F max, N	ϵ , mm	Nr	F max, N	ϵ , mm
1	2904,84	1,72	1	4000,58	1,9
2	2978,31	1,74	2	4118,27	1,81
3	2775,9	1,83	3	4099,76	2,39
Vidurkis	2886,35		Vidurkis	4072,87	
v, %	3,5		v, %	1,6	
SD, %	63		SD, %	63	
T, °C	17,8		T, °C	17,9	

4 priedo tęsinys. Džiovinimo ir nedžiovinimo korio gniuždymo rezultatai, esant skirtingam akies dydžiui

K125_H322_A20			K125_H322_A20		
Nedžiovinimas			Džiovinimas po 15 min		
Nr	F max, N	ϵ , mm	Nr	F max, N	ϵ , mm
1	1675,6	0,9	1	2649,05	2,65
2	1689,09	1,97	2	2458,1	1,24
3	1614,8	1,59	3	2464,24	1,82
Vidurkis	1659,83		Vidurkis	2523,80	
v, %	2,4		v, %	4,3	
SD, %	62		SD, %	63	
T, °C	17,8		T, °C	17,9	
K125_H322_A28			K125_H322_A28		
Nedžiovinimas			Džiovinimas po 15 min		
Nr	F max, N	ϵ , mm	Nr	F max, N	ϵ , mm
1	1058,44	0,84	1	1331,09	0,69
2	1009,85	0,98	2	1599,24	1
3	1029,68	0,94	3	1475,68	0,97
Vidurkis	1032,657		Vidurkis	1468,67	
v, %	2,4		v, %	9,1	
SD, %	63		SD, %	63	
T, °C	17,3		T, °C	17,5	

5 Priedas. Kompozitinės plokštės lenkimo rezultatai, esant skirtingam akies dydžiui

L160_H322_A10			L140_H322_A10			L125_H322_A10		
Kompozitinė plokštė			Kompozitinė plokštė			Kompozitinė plokštė		
Nr	F max, N	ϵ , mm	Nr	F max, N	ϵ , mm	Nr	F max, N	ϵ , mm
1	213	2,3	1	171	2,7	1	150	3,3
2	183	2,1	2	196	3,0	2	169	2,7
3	195	2,4	3	173	3,3	3	175	3,0
Vidurkis	197,0		Vidurkis	180,0		Vidurkis	164,7	
v, %	7,7		v, %	7,7		v, %	7,9	
SD, %	54		SD, %	54		SD, %	54	
T, °C	21,7		T, °C	21,7		T, °C	21,7	
L160_H322_A20			L140_H322_A20			L125_H322_A20		
Kompozitinė plokštė			Kompozitinė plokštė			Kompozitinė plokštė		
Nr	F max, N	ϵ , mm	Nr	F max, N	ϵ , mm	Nr	F max, N	ϵ , mm
1	88,2	2,6	1	67,8	2,8	1	59,1	3,5
2	89,0	3,1	2	64,8	3,3	2	60,8	2,7
3	81,2	2,9	3	59,1	3,1	3	70,9	3,1
Vidurkis	86,1		Vidurkis	63,9		Vidurkis	63,6	
v, %	5,0		v, %	6,9		v, %	10,0	
SD, %	54		SD, %	54		SD, %	54	
T, °C	21,7		T, °C	21,7		T, °C	21,7	
L160_H322_A28			L140_H322_A28			L125_H322_A28		
Kompozitinė plokštė			Kompozitinė plokštė			Kompozitinė plokštė		
Nr	F max, N	ϵ , mm	Nr	F max, N	ϵ , mm	Nr	F max, N	ϵ , mm
1	56,8	2,3	1	62,3	3,5	1	55,7	2,6
2	60,9	2,1	2	60,4	3,0	2	48,4	3,1
3	60,4	2,8	3	56,6	3,7	3	49,7	3,8
Vidurkis	59,4		Vidurkis	59,8		Vidurkis	51,3	
v, %	3,8		v, %	4,9		v, %	7,6	
SD, %	54		SD, %	54		SD, %	54	
T, °C	21,7		T, °C	21,7		T, °C	21,7	

6 priedas. Kompozitinės plokštės gniuždymo rezultatai, esant skirtingam akies dydžiui

L125_H322_A10			L140_H322_A10			L160_H322_A10		
Kompozitinė plokštė			Kompozitinė plokštė			Kompozitinė plokštė		
Nr	F max, N	ϵ , mm	Nr	F max, N	ϵ , mm	Nr	F max, N	ϵ , mm
1	6428,35	1,57	1	7065,54	2,27	1	6808,32	2,06
2	6126,4	1,65	2	6691,19	1,92	2	6182,53	1,93
3	7151,19	1,37	3	5964,48	2,3	3	6710,77	1,4
Vidurkis	6568,65		Vidurkis	6573,74		Vidurkis	6567,207	
v, %	8,0		v, %	8,5		v, %	5,1	
SD, %	53		SD, %	53		SD, %	53	
T, °C	20,5		T, °C	20,5		T, °C	20,5	
L125_H322_A20			L140_H322_A20			L160_H322_A20		
Kompozitinė plokštė			Kompozitinė plokštė			Kompozitinė plokštė		
Nr	F max, N	ϵ , mm	Nr	F max, N	ϵ , mm	Nr	F max, N	ϵ , mm
1	2538,06	1,18	1	2307,11	1,62	1	2475,33	1,37
2	2349,35	1,24	2	2651,63	4,84	2	2203,65	4,65
3	2253,13	1,56	3	2512,36	1,77	3	2353,24	4,56
Vidurkis	2380,18		Vidurkis	2490,37		Vidurkis	2344,073	
v, %	6,1		v, %	7,0		v, %	5,8	
SD, %	53		SD, %	53		SD, %	53	
T, °C	20,5		T, °C	20,5		T, °C	20,5	
L125_H322_A28			L140_H322_A28			L160_H322_A28		
Kompozitinė plokštė			Kompozitinė plokštė			Kompozitinė plokštė		
Nr	F max, N	ϵ , mm	Nr	F max, N	ϵ , mm	Nr	F max, N	ϵ , mm
1	1484,35	1,69	1	1400,81	2,98	1	1375,13	1,65
2	1504,74	1,8	2	1520,45	1,48	2	1417,61	1,93
3	1504,02	2,02	3	1496,59	1,66	3	1435,77	1,7
Vidurkis	1497,703		Vidurkis	1472,617		Vidurkis	1409,503	
v, %	0,8		v, %	4,3		v, %	2,2	
SD, %	53		SD, %	53		SD, %	53	
T, °C	20,5		T, °C	20,5		T, °C	20,5	

7 Priedas. Korio džiovinimo kreivės sudarymo rezultatai

Korys [K160_H46,6]		
Džiovinimo laikas, min	Masė, g	
0	108,62	
5	103,04	94,86
10	101,35	98,36
15	100,35	99,01
20	99,91	99,56
25	99,65	99,74
30	99,54	99,89
35	99,46	99,92
40	99,42	99,96
45	99,4	99,98
50	99,38	99,98
55	99,36	99,98
60	99,34	99,98

8 Priedas. Korio drėgmės absorbavimo kreivės sudarymo rezultatai

Korys [K160_H46,6]	
Atsistatymo laikas, min	Masė, g
0	99,34
5	100,45
10	101,07
15	101,5
20	101,87
25	102,16
30	102,43
35	102,63
40	102,83
45	103,06
50	103,23
55	103,42
60	103,55
70	103,81
80	104,01
90	104,11
100	104,13
1440	108,24

Aplinkos sąlygos	
Drėgmė, %	63
Temperatūra, °C	19,2

9 Priedas. Korio mirkymo rezultatai

Korys [K160_H46,6_A22]		
Mirkymo laikas, min	Masė, g	
0	19,21	
5	34,99	
10	40,13	
15	42,21	
20	43,08	
25	44,12	
30	44,06	
35	44,13	
40	44,13	44,13
45	–	44,13
50	–	44,13
55	–	44,13
60	–	44,13
65	–	44,13
70	–	44,13
75	–	44,13
80	–	44,13
85	–	44,13
90	–	44,13
95	–	44,13
100	–	44,13
SD, %:	62	
T, °C:	18,1	

10 Priedas. Mirkyto korio džiovavimo rezultatai

Korys [K160_H46,6_A22]		
Džiovinimo laikas, min	Masė, g	
0	44,13	
5	41,19	93,34
10	37,03	89,90
15	32,71	88,33
20	29,39	89,85
25	26,44	89,96
30	24,02	90,85
35	21,97	91,47
40	20,41	92,90
45	19,18	93,97
50	18,11	94,42
55	17,58	97,07
60	17,23	98,01
65	17,04	98,90
70	16,96	99,53
75	16,91	99,71
80	16,91	100,00
85	16,93	100,12
90	16,93	100,00
95	16,91	99,88
100	16,91	100,00
SD, %:	62	
T, °C:	19,9	

11 Priedas. Sunaudotų klijų kiekis – lenkimo bandymams

Dydis 150x350	Korys 10 mm	Laminatas 160g/m²
Bandinio Nr.	Klijų kiekis 1 pusė, g	Klijų kiekis 2 pusė, g
1	7,02	7,03
2	7,01	7,03
3	7,00	7,00
Dydis 150x350	Korys 10 mm	Laminatas 140g/m²
Bandinio Nr.	Klijų kiekis 1 pusė, g	Klijų kiekis 2 pusė, g
1	7,02	7,02
2	7,01	7,01
3	7,00	7,01
Dydis 150x350	Korys 10 mm	Laminatas 125g/m²
Bandinio Nr.	Klijų kiekis 1 pusė, g	Klijų kiekis 2 pusė, g
1	7,04	7,02
2	7,03	7,03
3	7,01	7,04

12 Priedas. Sunaudotų klijų kiekis – gniuždymo bandymams

Dydis 140x140	Korys 10 mm	Laminatas 160g/m²
Bandinio Nr.	Klijų kiekis 1 pusė, g	Klijų kiekis 2 pusė, g
1	2,63	2,61
2	2,62	2,62
3	2,62	2,62
Dydis 140x140	Korys 10 mm	Laminatas 140g/m²
Bandinio Nr.	Klijų kiekis 1 pusė, g	Klijų kiekis 2 pusė, g
1	2,63	2,63
2	2,60	2,66
3	2,64	2,63
Dydis 140x140	Korys 10 mm	Laminatas 125g/m²
Bandinio Nr.	Klijų kiekis 1 pusė, g	Klijų kiekis 2 pusė, g
1	2,62	2,61
2	2,65	2,62
3	2,63	2,61