

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

DONATA ZUBAUSKIENĖ

**TEKSTILINIŲ BALDINIŲ MEDŽIAGŲ ELGSENOS VERTINIMO
METODAS**

Daktaro disertacijos santrauka
Technologijos mokslai, medžiagų inžinerija (08 T)

2017, Kaunas

Disertacija rengta 2011-2017 metais Kauno technologijos universiteto Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultete, Medžiagų inžinerijos katedroje. Mokslinius tyrimus rėmė Lietuvos mokslo taryba.

Mokslinis vadovas:

Prof. dr. Eugenija STRAZDIENĖ (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, medžiagų inžinerija, 08T).

Mokslinis konsultantas:

Doc. dr. Virginijus Urbelis (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, medžiagų inžinerija, 08T).

Redagavo: Aurelija Gražina Rukšaitė (Leidykla “Technologija”)

Medžiagų inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo taryba:

prof. dr. Rimvydas MILAŠIUS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, medžiagų inžinerija, 08T) – **pirmininkas**;

prof. dr. Saulius GRIGALEVIČIUS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, medžiagų inžinerija, 08T);

doc. dr. Daiva MIKUČIONIENĖ (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, medžiagų inžinerija, 08T);

dr. Małgorzata MATUSIAK (Lodzės technologijos universitetas, technologijos mokslai, medžiagų inžinerija, 08T);

Prof. habil. dr. Iwona FRYDRYCH (Lodzės technologijos universitetas, technologijos mokslai, medžiagų inžinerija, 08T).

Disertacija bus ginama viešame medžiagų inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo tarybos posėdyje 2017 m. gruodžio 18 d., 10 val. Kauno technologijos universiteto Disertacijų gynimo salėje.

Adresas: K. Donelaičio g. 73-403, 44249 Kaunas, Lietuva.

Tel. (370) 37 300 042; faks. (370) 37 324 144; el. paštas doktorantura@ktu.lt.

Disertacijos santrauka išsiųsta 2017 m. lapkričio 17 d.

Su disertacija galima susipažinti internetinėje svetainėje <http://ktu.edu> ir Kauno technologijos universiteto bibliotekoje (K. Donelaičio g. 20, 44239 Kaunas).

IVADAS

Tiriamoji problema ir darbo aktualumas. Tekstilės medžiagoms, naudojamoms gaminant baldus, transporto priemonių vidaus salonų įrengimuose, keliami kokybės reikalavimai, pradedant nuo baldinių medžiagų atsparumo dėvėjimuisi, jų deformuojamumo baldo užtraukimo metu, sąlyčio su žmogaus kūnu, gaminio priežiūra ir t. t.

Baldinių medžiagų vartojamosios savybės vertinamos atsižvelgiant į jų fizikinius ir mechaninius parametrus, kurie nustatomi standartiniais tyrimo metodais iki visiško medžiagos suirimo. Aprangos medžiagoms svarbesnės apkrovos, atitinkančios gamybos ir dėvėjimo lygį, šiuo atveju baldinių medžiagų gamybos, ypač užvalkalų užtraukimo ant baldo metu, eksploatacijos apkrovos didesnės. Stipruminių savybių įvertinimas labai svarbus prognozuojant baldinės medžiagos elgseną deformavimo metu. Užvalkalas, kuriuo aptrauktas baldas, visą laiką patiria dviašes deformacijas iš medžiagos blogosios pusės baldo viduje, kur veikia nuolatinė trintis tarp medžiagos ir kitų sudedamųjų baldo dalių (porolono, metalinio ar medinio karkaso, kitų medžiagų), todėl baldinės medžiagos negali būti liaunos ir minkštos, o turi pasižymėti dideliu stiprumu, tvirtumu, stabilumu. Dėvėjimo metu, kai žmogus sėdi ant baldo, veikia trinties ir deformuojamumo jėgos iš baldinės medžiagos gerosios pusės, kuriai keliami pagrindiniai atsparumo dilinimui, medžiagos ilgaamžiškumo reikalavimai, nes, pvz., drabužius žmogus keičia ne tik dėl susidėvėjimo, bet dažnai didelį vaidmenį atlieka besikeičianti mada, o baldinės medžiagos keičiamos nepalyginti rečiau, dažniausiai baldo užvalkalai naudojami iki visiško susidėvėjimo (medžiagos suirimo), kas trunka ne vienerius metus. Todėl pagrindinė problema neapsiriboja vien baldinių medžiagų stipruminių savybių analize: labai svarbus deformacinių savybių nustatymas tiek iš gerosios, tiek iš blogosios medžiagos pusių, įvertinant trinties įtaką ir patiriamas apkrovas apmušalų užtraukimo metu.

Tekstilės pramonėje sparčiai plečiasi moderniausia technika, technologijos, įrenginiai, automatizavimas. Robotizavimo įdiegimas į aprangos gamybą sumažina gamybos laiką, padidina gaminių kokybę ir kiekybę, naudojamos programinės įrangos itin pagerina projektavimo laiką, sugeneruoja visos gamybos darbo procesus – nuo dizaino kūrimo iki gatavos produkcijos. Todėl baldinių medžiagų deformacinės elgsenos įvertinimas neatsiejamas, norint tinkamai suprojektuoti gaminį, naudojantis kompanijos „Lectra“ programiniais paketais *DesignConcept*, kurių virtualios 3D gaminio simuliacijos operacinėje sistemoje nustatomi medžiagų mechaniniai ir fizikiniai parametrai, deformacinės savybės (*DesignConcept* programinėje įrangoje įvedami matavimo sistemų KES-F ir FAST parametrai).

Minkštų baldų detalėms aptraukti naudojamos įvairios pluoštinės sudėties, skirtingos struktūros ir dažniausiai stipriai anizotropiškos lanksčios polimerinės medžiagos, kurių deformacinė-relaksacinė elgsena labai skiriasi. Todėl, parinkus naują inžinerinę medžiagą gaminamam baldui, anksčiau taikytos laisvumo užlaidos

netinka, nes jos parinktos neatsižvelgus į medžiagos mechanines charakteristikas. Projektuojant apmušalų detales, stengiamasi naudoti tokias užlaidas, kad būtų nesunku ant baldo užtempti apmušalą ir kad jis stipriai prisispaustų prie baldo paviršiaus, atkartodamas net ir sudėtingą formą. Apmušalo įgyta forma turi išlikti stabili ir baldo dėvėjimo metu, todėl labai svarbu ištirti ne tik eksploatacines apkrovas, bet ir jų sukeltą medžiagų relaksacinę elgseną: valkšnumą ir deformacijos relaksaciją. Todėl baldų gamintojams, projektuojant minkštų baldų apmušalus, parenkant baldines medžiagas, aktualu įvertinti šių medžiagų stiprumines savybes, deformacinę elgseną, siekiant aukštą kokybės ir išvaizdos rezultatų, kad patenkintų vartotojo poreikius – gaminio ilgaamžiškumą ir formos stabilumą dėvėjimo metu. Baldinių medžiagų deformacinės elgsenos nustatymas esant mažoms eksploatacijos apkrovoms yra vienas sunkiausių uždavinių dėl medžiagų nestabilumo, netiesialiniškumo, anizotropiškumo, siūlų paslankumo, todėl akivaizdu, kad tokių medžiagų modeliavimas ir elgsenos prognozavimas svarbus, norint kuo tiksliau įvertinti jų deformacinės elgsenos savybes, parinkti tinkamus parametrus programinės įrangos duomenų paketai.

Darbo tikslas – baldinių tekstilinių medžiagų eksploatacijos savybių tyrimas ir vertinimas esant vienašiam ir dviašiam deformavimui dėl mažų apkrovų ir trūkimo jėgų poveikio.

Darbo uždaviniai:

1. Atlikti tekstilinių baldinių medžiagų vienašio deformavimo esant mažoms apkrovoms, nustatytoms KES-F matavimo sistema, eksperimentinę analizę;
2. Įvertinti tekstilinių baldinių medžiagų parametrų, nustatytų KES-F matavimo sistema, įtaką valkšnumo deformacijos procesams;
3. Išanalizuoti tekstilinių baldinių medžiagų valkšnumo ir deformacijos relaksacijos procesus, nustatant anizotropijos įtaką veikiant vienašio deformavimo apkrovoms;
4. Įvertinti dubliuotų baldinių medžiagų sistemų struktūros įtaką dviašio duobimo rodikliams;
5. Įvertinti vienašio pradinio įtempimo įtaką dubliuotų baldinių medžiagų sistemų dviašio deformavimo charakteristikoms;
6. Nustatyti trinties tarp puansono ir tekstilinių baldinių medžiagų įtaką dviašio duobimo rodikliams.

Darbo mokslinis naujumas ir praktinis vertingumas. Spartus prototipų taikymas yra esminė ypatybė kuriant inovatyvius gaminius, ir tai glaudžiai susiję su gaminio skaitmeninės plėtros procesais. Virtualus prototipų kūrimas siejamas su gaminiuose naudojamų medžiagų savybėmis. Šio darbo naujumas pagrįstas įrodymu, kad baldinių medžiagų KES-F parametrai esant mažoms apkrovoms gali

būti taikomi virtualioje simuliacijoje, imituojant baldų apmušalų elgseną dėvėjimo metu. Tyrimo rezultatai buvo pagrįsti ankstesnių tyrimų rezultatų duomenimis, remiantis sukurtu laisvumo užlaidos dydžio nustatymo ant baldo (pufo) metodu.

Nėra specialios įrangos, aprėpiančios visą kompleksą tiriamųjų savybių, norint įvertinti baldinių medžiagų deformacinę ir eksploatacinę elgseną. Remiantis skirtinga tyrimų įrangos baze, pritaikyta aprangos medžiagų mechaninėms savybėms nustatyti, atlikti tyrimai su baldinėmis medžiagomis, kur įvertinama deformacinė elgsena, mechaninių parametrų bei paviršiaus tyrimai KES-F matavimo sistema, praplečiant šios įrangos tiriamų objektų asortimentą. Remiantis daugelio mokslininkų, tyrinėjusių įvairias lanksčias daugiasluoksnes tekstilines ar polimerines medžiagas, tyrimų rezultatais, šio darbo duomenys papildė baldinių medžiagų deformacinių savybių analizę, įvertinant vieną svarbiausių veiksnių – trintį. Mažai randama literatūros šaltinių, kuriuose būtų analizuojama trinties įtaka baldinėms medžiagoms.

Šiame darbe buvo išspręsta reali baldų įmonės problema su juos gaminant naudojamomis baldinėmis medžiagomis ir, atlikus valkšnumo ir deformacijos relaksacijos tyrimus, pasiūlytas metodas, leidžiantis nustatyti medžiagų deformacines savybes užtraukimo ant baldo metu veikiant apkrovoms (100 N apkrovai). Siekiant išspręsti problemą praktiškai, buvo sukurtas pradinio įtempimo metodas, nustatant pradinio įtempimo įtaką dviašio deformavimo metu, kurio įvertinimas svarbus iš praktinės pusės apmušalo užtraukimo ant baldo metu.

Darbo aprobacija. Disertacijos tema paskelbtos 9 mokslinės publikacijos, iš jų 3 publikacijos paskelbtos mokslinės informacijos instituto duomenų bazės „Clarivate Analytics Web of Science“ leidiniuose su citavimo indeksu, 1 publikacija mokslinės informacijos instituto duomenų bazės „Clarivate Analytics Web of Science“ leidiniuose be citavimo indekso, 5 publikacijos konferencijų pranešimų medžiagose. Tyrimų rezultatai paskelbti 11 konferencijų pranešimų medžiagose: 9 tarptautinėse ir 2 respublikinėse konferencijose.

Darbo sandara ir apimtis. Disertacija sudaryta iš įvado, 3 skyrių, išvadų, literatūros sąrašo (172 įrašai), publikuotų mokslinių darbų sąrašo, priedų. Disertacijos apimtis – 128 puslapiai, juose pateikta 75 paveikslai, 19 lentelių, 34 formulės.

DISERTACIJOS TURINYS

Disertacijos **įvade** pristatomas lanksčių daugiasluoksnių medžiagų deformacinės elgsenos įvertinimas minkštų baldų aptraukimo ir eksploataavimo metu, aptartas temos aktualumas, suformuluotas darbo tikslas, iškelti uždaviniai, aptartas darbo mokslinis naujumas ir praktinis vertingumas.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

Pirmajame skyriuje **Literatūros apžvalga** pateikiama bendra informacija apie baldinių medžiagų, dirbtinių odų savybes, struktūrą, laminavimo (stiprinimo) procesus, apžvelgiama baldinių medžiagų mechaninė elgsena. Antroje literatūros apžvalgos dalyje analizuojama lanksčių daugiasluoksnių tekstilės medžiagų deformacinė elgsena, jų klasifikavimas ir modeliavimas.

2. TYRIMŲ METODOLOGIJA

Antrajame, **Tyrimų metodologijos**, skyriuje pateikiama informacija apie tiriamuosius objektus, jų mechanines charakteristikas, sudėtį. Baldinių medžiagų sandaros charakteristikos pateiktos 1 lentelėje, struktūra ir pynimo tipai pateikti 2 lentelėje.

1 lentelė. Baldinių medžiagų sandaros charakteristikos

Medžiagos kodas	Pav. tankis ρ , g/m ²	Ilginis tankis D_L , tex 1-as sluoksnis (2-as sluoksnis)		Siūlų tankumas D , dm ⁻¹ 1-as sluoksnis (2-as sluoksnis)		Storis T , mm
		Išilginė kr.	Skersinė kr.	Išilginė kr.	Skersinė kr.	
M1	305	61	101	290	120	0,71
M2	528	20	262, 454	680	110	1,69
M3	548	153	211	240	180	1,57
M4	532	34 (30)	37, 149 (67)	260 (160)	150 (150)	3,12
M5	376	18 (30)	14 (66)	800 (160)	340 (160)	1,02
M6	272	71	77	200	150	0,54
M7	378	38 (38)	45 (76)	280 (150)	280 (100)	1,25
M8	320	21	80, 252	600	100	1,59
M9	371	41 (30)	41 (72)	320 (150)	270 (100)	1,25
M10	548	45, 250, 470	54, 236, 434	340	70	2,33
M11	672	152, 430	74, 330	140	130	2,41
M12	320	21	21, 149, 250	700	110	1,33
M13	404	18	36, 400	620	150	1,99
M14	347	126	134	160	120	1,18
M15	380	38	256, 423	320	100	1,62
M16	519	316	340	90	90	1,13
M17	483	56	47, 180	280	160	2,17
M18	303	60	100	280	120	0,66
M19	637	20 (36)	279 (130)	700 (360)	160 (140)	2,89
M20	399	228	290	100	60	1,66
M21	298	192	258	70	60	1,20
L1	401	(27)	(64)	180	160	0,98
L2	580	-	-	220	180	1,23
L3	417	(24)	(65)	180	160	0,98
L4	595	(35)	(93)	180	120	1,14
K1	186	-	-	140	200	0,89
K2	291	-	-	160	140	1,60

2 lentelė. Baldinių medžiagų struktūra ir pynimo tipai

Medžiagos kodas	Struktūra		Pynimo tipas	
	1-as sluoksnis	2-as sluoksnis	1-as sluoksnis	2-as sluoksnis
M1-M3, M6, M18	austinė		drobinis	
M4	austinė	austinė	kordinis velvetas	drobinis
M5	austinė	austinė	kordinis	drobinis
M7, M9	austinė	austinė	drobinis	drobinis
M8, M15	austinė (šiaurta blogoji pusė)		supintasis ripsas	
M10	austinė		panama 2/2	
M11	pūkinė austinė		kombinuotasis	
M12, M21	austinė	neaustinė	drobinis	-
M13	austinė		kordinis	
M14	austinė		ruoželinis 2/2	
M16, M20	austinė (blogoji pusė dengta lateksu)		drobinis	
M17	austinė		kordinis velvetas	
M19	austinė	austinė	žakardas	žakardas
L1, L4	PVC danga	austinė	-	drobinis
L2	PVC danga	megztinė	-	lygusis skersinis
L3	PU danga	austinė	-	drobinis
K1, K2	megztinė		lygusis skersinis	

Visi tiriamieji objektai prieš eksperimentus buvo laikomi standartinėmis kondicinėmis sąlygomis (22,2 °C temperatūros ir 47,7 proc. drėgmės) 24 valandas.

Baldinių medžiagų deformacinės elgsenos įvertinimas veikiant mažoms apkrovoms buvo atliekamas KES-F matavimo sistema pagal metodiką, kurios metu nustatomi tempimo, lenkimo, šlyties, gniuždymo bei paviršiaus parametrai. KES-F parametų rezultatų variacijos koeficientas ν neviršijo 14,9 proc.

Baldinėms medžiagoms lenkimo bandymas buvo atliekamas F. T. Pirsio metodu išilgine ir skersine bandinio kryptimis, ν neviršijo 8,57 proc.

Valkšnumo ir deformacijos relaksacijos tyrimo trukmė, suteikus bandiniui pastovią apkrovą, – 1800 s, ją pašalinus, – 1800 s. Suskaičiuotos valkšnumo ir deformacijos relaksacijos sudaromosios, ν neviršijo 6,80 proc.

Vienaašio tempimo bandymai buvo atliekami pagal standartą. Standumo modulis E_m ir anizotropijos koeficientas c_a buvo skaičiuojami esant 25 N, remiantis KES-F metodika [1], ir 100 N apkrovos, kurios nustatytos kaip eksploatacinės, užtraukimo metu naudojamos apkrovos, ν neviršijo 7,95 proc.

3 lentelė. Klijujinių įdėklų ir pagrindinės medžiagos M charakteristikos

Kodas	T , mm	ρ , g/m ²	Struktūra	Klijų tankis, tašk./cm ²	D , dm ⁻¹	
					išilg.	skers.
W1	0,30	44	austinis, ruoželinis pynimas 2/2	52	360	150
W2	0,31	53	austinis, ruoželinis pynimas 2/2	76	240	140
W3	0,26	50	neaustinis	52	-	-
W4	0,39	50	megztinis, uždaryjū kilpų grandinėlė	52	70	130
W5	0,16	36	megztinis, uždaryjū kilpų grandinėlė	76	130	200
M	0,31	136	austinis, drobinis	-	250	190

Pradinio įtempimo įtakai dviašiam deformavimui įvertinti dubliuotoms sistemoms buvo naudojama drobinio pynimo 100 proc. medvilnė kaip pagrindinė medžiaga ir 5 skirtingos struktūros klijiniai įdėklai 100 proc. PES sudėties (3 lent.).

Tolesniuose tyrimuose buvo naudojamos 2 vinilinės dangos PVC, tekstilinio pagrindo dirbtinės odos (4 lent.) L5 (neperforuota) ir L6 (perforuota).

4 lentelė. Dirbtinių odų L5 ir L6 charakteristikos

Parametras	Kryptis	Mat. vnt.	Standartas	L5	L6
Storis T		mm	EN ISO 5084:2000	1,06	1,01
Tekstil. pusės pav. tankis ρ		g/m^2		80 ± 5	80 ± 5
Paviršinis tankis ρ		g/m^2	EN 12127:1999	674,8	629,0
Stipruminiai parametrai	Išilginė	F_{\max} , N	LST EN ISO 13934-1:2000	342,8	170,0
		ϵ_{\max} , proc.		23,9	23,4
	Skersinė	F_{\max} , N		282,8	118,4
		ϵ_{\max} , proc.		127,6	50,6
Anizotropijos koeficientas c_a				0,19	0,46

Dubliuotų sistemų struktūros analizei atlikti, vertinant pradinio įtempimo įtaką dviašiam deformavimui, buvo sukurtas pradinio įtempimo nustatymo metodas. Bandiniai buvo įtempiami 0,0 proc., 0,4 proc., 0,8 proc., 1,2 proc., 1,7 proc., 2,1 proc., remiantis [2], ir duobiami puansonu, v neviršijo 19,09 proc. Tyrimo metu pradinio įtempimo įtakai dubliuotų sistemų deformacinei gebai įvertinti buvo apskaičiuoti polinių diagramų plotai, juos išreiškus kompleksinio deformuojamumo rodikliu S , kuris apskaičiuojamas polinės diagramos plotų santykiu c/d , kur c – bandinių H_{\max} vertės be pradinio įtempimo, d – bandinių H_{\max} vertės kiekvienam pradinio įtempimo dydžiui.

Trinties įtakai nustatyti dviašiam deformavime bandinių darbinės zonos spindulys $R = 60$ mm. Duobimo puansonu bandymas buvo atliekamas skirtingo dydžio puansonais: $r_1 = 9,0$ mm ($r_1/R = 0,15$), $r_2 = 23,5$ mm ($r_2/R = 0,39$) ir $r_3 = 31,0$ mm ($r_3/R = 52,0$). Variacijos koeficientas v neviršijo 6,73 proc.

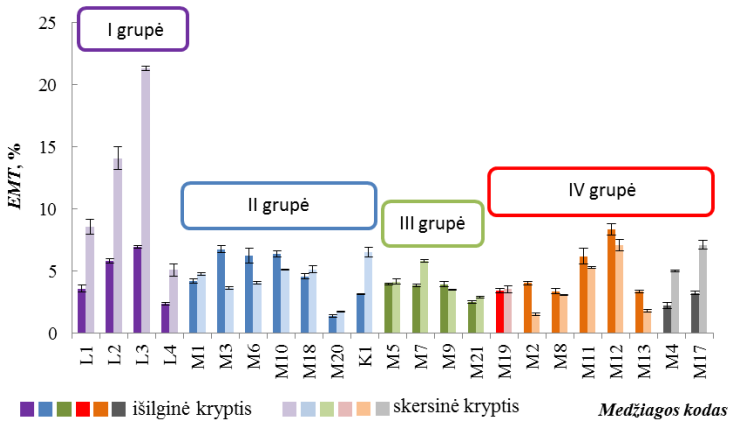
Trinties nustatymo bandymui atlikti buvo parinkti 4 skirtingi lubrikantai: L_A – vanduo; L_B – komercinis odos valiklis „Arexons“, L_C – pramoninis silikonas; L_D – komercinis odos valiklis ir kondicionierius „Turtle Wax“. Bandinio praspaudimo kontakto zonoje su puansonu buvo skaičiuojamas plotas S_n pagal formulę $S_n = \pi n^2$, kur: S_n – trūkimo zonos plotas (mm^2), n – trūkimo zonos spindulys (mm).

Trinties bandymas buvo atliekamas pagal standartą. Eksperimento metu registruojamos trinties kreivės $l-F$ (kelias-jėga), iš jų nustatytos statinė F_S , dinaminė F_D trinties jėgos bei apskaičiuoti statinis μ_S , dinaminis μ_D trinties koeficientai. Tyrimo metu naudojami tie patys lubrikantai, v neviršijo 5,54 proc.

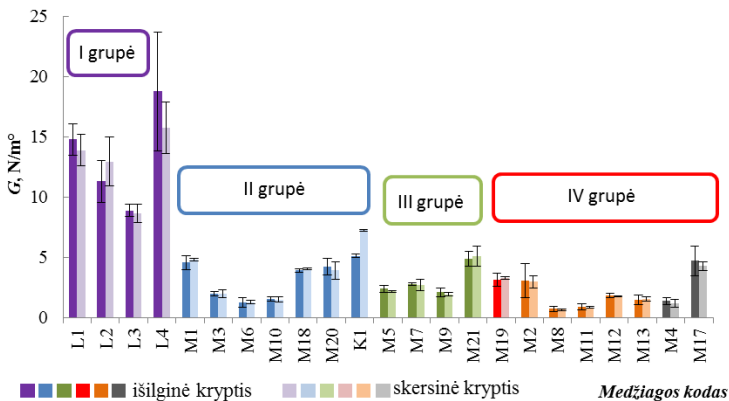
3. TYRIMAS IR REZULTATŲ ANALIZĖ

3.1. Baldinių medžiagų deformacinės elgsenos nustatymas KES-F matavimo sistema

Aptarti KES-F matavimo sistemos tyrimų su 23 skirtingomis baldinėmis medžiagomis duomenys. Pagal struktūrą medžiagos sugrupuotos į keturias grupes: dirbtinės odos (I grupė); vienasluoksnės austinės medžiagos ir viena megztinė medžiaga (II gr.); dvisluoksnės dubliuotos tekstilinės sistemos (III gr.); žakardinės, šenilinės medžiagos ir kordiniai velvetai, kuriems būdingas sudėtingas pynimo tipas (IV gr.).



1 pav. Baldinių medžiagų tempimo deformacija EMT (proc.) išilgine ir skersine kryptimis



2 pav. Baldinių medžiagų šlyties standumas G (N/m²) išilgine ir skersine kryptimis

Iš tirtų baldinių medžiagų didelis dėmesys turi būti skiriamas dirbtinėms odoms. Nors jos pasižymi geromis vartojamosiomis savybėmis, ilgaamžiškumu, trinties atsparumu, lengva priežiūra, tačiau gamybos, tiksliau – projektavimo procesuose, skaitmeninės lekalų gamybos metu, jos tampa probleminės. Ypač tai aktualu suteikiant minkštam baldui dailią trimacią formą. Tempimo deformacijos *EMT* (1 pav.) ir šlyties standumo *G* (2 pav.) atveju dirbtinės odos yra labai tamprios skersine kryptimi (net iki 400 proc. tasesnės nei išilgine kryptimi) ir pasižymi didžiausiu šlyties standumu. Dėl šios savybės dirbtinės odos ir yra probleminės apraukiant baldų erdvines formas. Baldinėms medžiagoms būdingas didesnis standumas, todėl ir lenkimo standumas *B* didesnis, palyginti su aprangos medžiagomis. Gniuždymo bandymo metu dirbtinės odos susispaudžia mažiausiai (nuo 20 proc. iki 30 proc.).

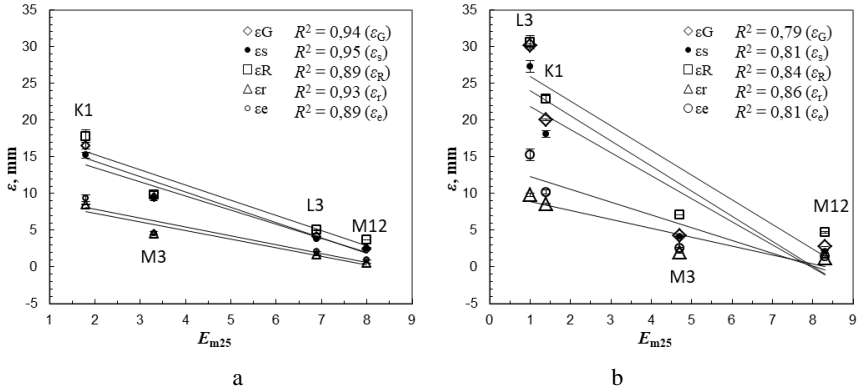
3.2. Valkšnumo ir relaksacijos deformacijos analizė, skirta baldų gamintojams (praktinis pritaikomumas)

Vienaašio tempimo iki trūkimo bei valkšnumo ir deformacijos relaksacijos tyrimai buvo atlikti siekiant išspręsti praktinę minkštų baldų įmonės problemą naudojant pagrindines jų gamyboje naudojamas medžiagas. Pasiūlytas elementarus tyrimo metodas pasitvirtino: nustatyti baldinių medžiagų skirtumai tarp krypčių, įvertinant pagrindinę – sudaromąją – kryptį ir nustatyti skirtumo dydžiai, atsižvelgiant į jų vertes medžiagos suskirstytos į 7 grupes pagal staigiosios deformacijos skirtumo tarp išilginės ir skersinės krypčių dydį, nurodant konkrečios krypties mažinimą.

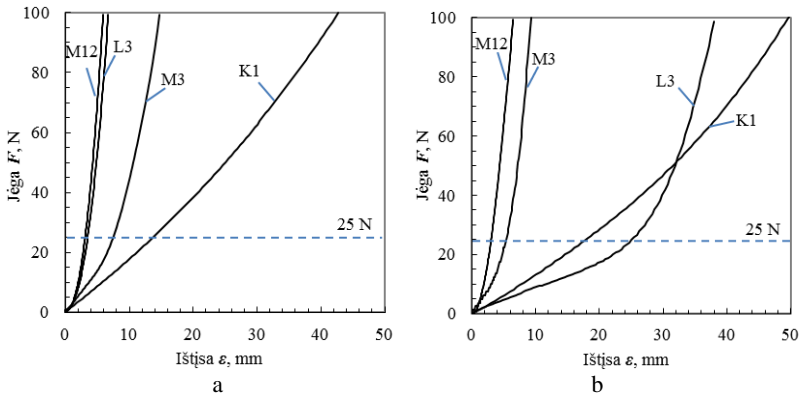
KES-F matavimo sistema, kuri sukurta ir aprobuota plonų, kostiuminių audinių savybėms tirti ir vertinti veikiant mažoms apkrovoms (25 N), yra tinkama prognozuojant skirtingos sandaros ir sudėties tekstilinių baldinių medžiagų eksploatacines apkrovas (100 N), kadangi gauta stipri tiesinė priklausomybė tarp tempimo deformacijos *EMT*, nustatytos iš KES-F, ir staigiosios deformacijos ε_s , nustatytos iš valkšnumo bandymo: dirbtinių odų $R^2 = 0,95$, vienasluoksnių medžiagų $R^2 = 0,83$, dvisluoksnių medžiagų $R^2 = 0,90$ ir sudėtingo pynimo medžiagų $R^2 = 0,74$.

3.3. Baldinių medžiagų valkšnumo ir relaksacijos deformacijos analizė

Baldinių medžiagų vienaašio trūkimo jėga svyruoja 315 N ÷ 1650 N. Momentinis standumo koeficientas E_{m25} svarbesnis nei anizotropijos koeficientas c_{a25} nustatant priklausomybes tarp vienaašio tempimo parametru ir bendrosios deformacijos sudaromųjų dalių: nustatytas stiprus koreliacinis ryšys (3 pav.) tarp E_{m25} ir bendrosios ε_G , staigiosios ε_s , grįžtamosios ε_R , liekamosios ε_f ir elastinės ε_e deformacijų ($R^2 = 0,79 \div 0,95$). Tačiau valkšnumo ε_c ir viskoelastinė ε_v deformacijos su momentiniu standumo koeficientu nekoreliuoja.



3 pav. Tiesinės priklausomybės tarp E_{m25} ir $\epsilon_G, \epsilon_s, \epsilon_R, \epsilon_r, \epsilon_e$ deformacijų išilgine (a) ir skersine (b) kryptimis



4 pav. Jėgos-ištįsos kreivės esant 25 N ir 100 N jėgai išilgine (a) ir skersine (b) kryptimis

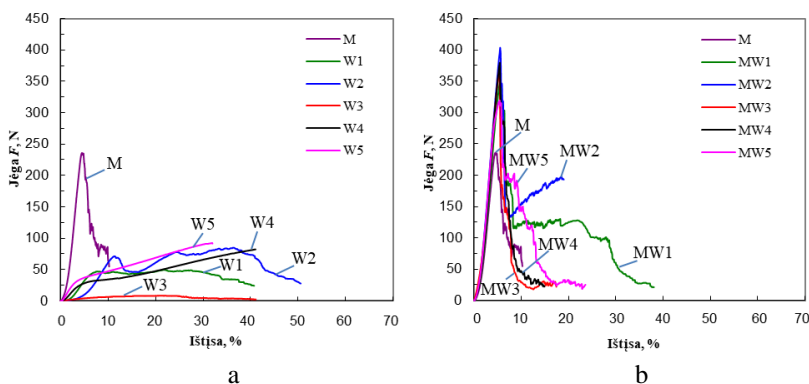
Skirtinga anizotropija pasižyminčių medžiagų pasipriešinimo ištempimui jėgų vertės kinta netiesiškai viso tempimo proceso metu. Lyginant šiuos procesus matyti, kad ties didesnių tempimo jėgų verčių ribomis vyksta kreivių susikirtimas (4 pav., b), kuris svarbus vertinant medžiagų deformacinių savybių elgseną esant konkrečioms eksploatacinėms apkrovoms. E_{m100} parodė, kad L3 ir K1 medžiagų standumas pasikeitė ties 50 N jėgos verte. Tai rodo, kad labai svarbu žinoti konkrečias eksploatacines apkrovas, kurias tikslinga taikyti tiriant deformacines-relaksacines savybes.

Baldines medžiagas galima suklasifikuoti nustatčius jų ϵ_s išilgine ir skersine kryptimis bei jų verčių c_{a100} , parinkus gamybinę ar eksploatacinę apkrovą (100 N). Didelės anizotropijos atveju c_{a100} nurodo, kad tiriamą medžiagą būtina priskirti prie probleminių konstruojant baldų apmušalus. Šio tyrimo rezultatai leidžia teigti, kad

jei medžiaga pasižymi didele anizotropija, tai deformacinė elgsena išilgine ir skersine kryptimis po nukrovimo išlieka tendencinga visose bendrosios deformacijos dalyse: jei ε_s buvo didelė skersine kryptimi, tai ε_e , ε_R ir ε_F deformacijos bus didesnės. Kitą svarbią informaciją suteikia ε_s , kuri leidžia įvertinti medžiagos tąsumą skirtingomis kryptimis. Nustačius ε_s galima numatyti, kokio dydžio bus bendroji, valkšnumo, tamprioji, relaksacijos ir liekamoji deformacijos, nes tyrimo metu nustatyti stiprūs koreliaciniai ryšiai (3 pav.).

3.4. Dubliuotų medžiagų struktūros įtaka lanksčių daugiasluoksnių sistemų erdvinės formos pokyčiui

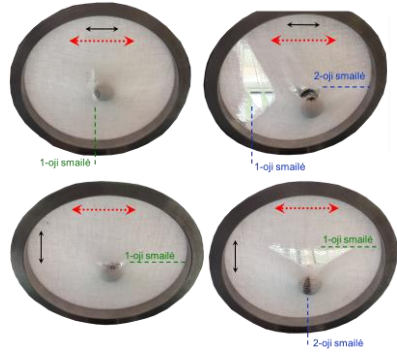
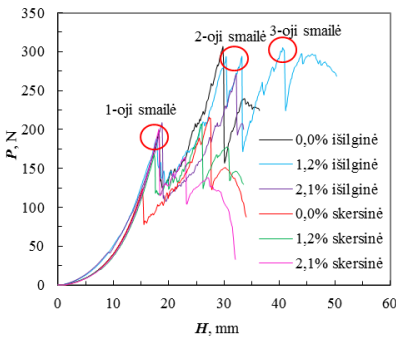
Tyrimo metu nustatyta, kad pagrindinė medžiaga M, taip pat ir austiniai klijiniai įdėklai pasižymi dideliu anizotropiškumu, o neaustinis ir megztiniai įdėklai mažai anizotropiški. Po dubliavimo visos dubliuotos sistemos tapo artimos viena kitai (5 pav.) ir stipriai anizotropiškos. Medžiagos struktūra turi įtakos dubliuotų sistemų vienašio tempimo elgsenai išilgine kryptimi, tačiau skersine šis skirtumas ne toks ryškus, išskyrus neaustinį įdėklą W3. Medžiagos M vienašio trūkimo jėga po dubliavimo padidėjo 25,7–41,6 proc., ištįsa – 13,6–20,0 proc. (išilgine kryptimi).



5 pav. Tipinės jėgos-ištįsos kreivės pagrindinės medžiagos M ir klijinių įdėklų (a) bei dubliuotų sistemų (b) išilgine kryptimi

Dubliavimo įtaka skersinės krypties stipruminėms savybėms mažesnė, t. y. F padidėjo 6,1–26,7 proc., ε – 1,1–18,4 proc. Dubliuotoms sistemoms skersine kryptimi būdingos dvi ar trys trūkimo smailės. Skirtingos struktūros įdėklai neturi esminės įtakos dubliuotos sistemos duobimo parametrui (jėgai ir aukščiui). Šie rezultatai patvirtina ankstesnius tyrimus [3], kad medžiaga, kurios duobimo jėga didžiausia, pasižymi mažiausiu anizotropiškumu. Dubliuotų sistemų duobimo P ir H su 1,2 proc. pradiniu įtempimu padidėjo skersine kryptimi. Esant 2,1 proc.

pradinio įtempimo dydžiui, sistemoms su austiniais įdėklais būdingos trys trūkimo smailės (6 pav., a).



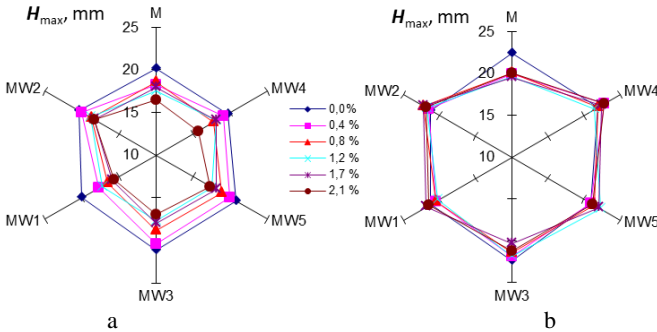
6 pav. Dviašio duobimo trūkimo kreivės (a) MW1 sistemoms su skirtingais pradinio įtempimo dydžiais 0,0 %, 1,2 % ir 2,1 % išilgine ir skersine kryptimis ir dviašio duobimo vaizdai (b), kur juodos rodyklės žymi bandinio kryptį, o raudonos punktyrinės – pradinio įtempimo kryptį

Esant pradiniam įtempimui išilgine kryptimi, pirmiausia trūksta stipresnės krypties (išilginės) siūlai, tačiau duobimo procesas nesustoja dėl trinties tarp puansono ir medžiagos (6 pav., b), dėl to duobimo apkrova persiskirsto ant silpnės ir labiau deformuojamos skersinės pusės, kuri tampa pagrindine nešančiąja kryptimi. Šioje vietoje atsiranda antrasis trūkimas. Analizuojant trūkimo pobūdžius, kai pradinis įtempimas buvo atliekamas skersine kryptimi, pirmasis trūkimas visada vyksta išilgine bandinio kryptimi, ir tik paskui trūksta skersinės krypties siūlai. Daroma prielaida, kad, esant mažam pradinio įtempimo dydžiui, pvz., 2,1 proc., galima kontroliuoti duobimo deformacijos aukštį, bet negalima pakeisti kritinių įtempių vietos.

3.5. Pradinio įtempimo dydžio įtaka dubliuotų sistemų dviašio deformavimo elgsenai

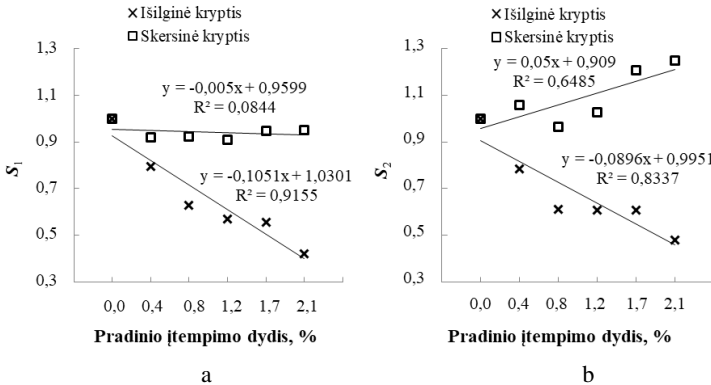
Šiame tyrimo etape duobiamo bandinio tiriamosios zonos forma (rėmas, į kurį tvirtinamas bandinys) iš kvadrato pakeista į rutulio, atsižvelgiant į tai, kad duobimo metu įtempių koncentracija kvadratinės formos plote pasiskirsto nevienodai [4, 5], todėl buvo parenkamas apvalios – rutulio formos rėmas, siekiant išvengti papildomų įtempių, atsirandančių dviašio praspaudimo puansonu metu rėmo kraštuose. Pirmojo trūkimo taško (smailės) duobimo aukštis H (mm), kai pradinis įtempimas buvo atliekamas išilgine kryptimi nuo 0,0 proc. iki 2,1 proc., sumažėjo nuo 10,29 iki 21,50 proc., skersine kryptimi pokytis mažesnis – 3,75–13,17 proc. Akivaizdi pradinio įtempimo įtaka lyginant deformacinę elgseną tarp

tirtų sistemų (7 pav.). Didėjant pradinio įtempimo dydžiui išilgine kryptimi, H_{\max} mažėja (7 pav., a).



7 pav. Pradinio įtempimo įtaka duobimo deformacijos aukščiui H_{\max} (mm) išilgine (a) ir skersine (b) kryptimis

Mažiausiu deformuojamumu išilgine kryptimi pasižymi dubliuota sistema su austiniu įdėklu MW2 (pokytis siekia 10,29 proc.), paaiškinant tuo, kad stipruminės savybės, nustatytos vienašio tempimo metu, didžiausios iš visų sistemų. Skersine kryptimi pokytis pasireiškia tik pagrindinėje medžiagoje M – 39 proc. (7 pav., b).



8 pav. Bendro deformuojamumo kriterijaus S_1 (a) ir bendro jėgos kriterijaus S_2 (b) skirtumai dėl pradinio įtempimo dydžio poveikio

Nustatytos bendro deformuojamumo kriterijaus S_1 , kuris apibūdina H_{\max} skirtumus, priklausomybės nuo pradinio įtempimo dydžio išilgine ir skersine kryptimis (8 pav., a). Bendras stiprumo kriterijus S_2 buvo nustatytas remiantis P_{\max} pokyčiais (8 pav., b).

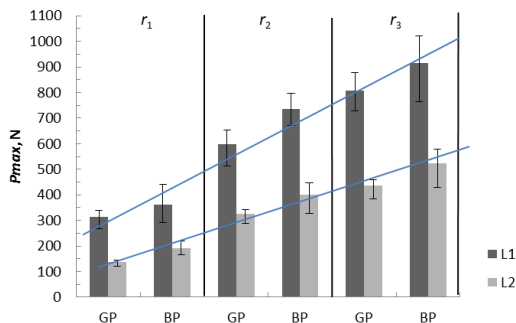
Pradinis įtempimas labiausiai paveikia išilginės krypties deformacijas.

Kompleksinė deformacija tendencingai mažėja, didėjant pradinio įtempimo dydžiui tik išilgine kryptimi ($R^2 = 0,834 \div 0,916$). Vertinant skersinės krypties kompleksinio deformuojamumo rodiklio S_1 tendencingumą, jokios priklausomybės nėra ($R^2 = 0,084$). O matuojant duobimo jėgą P_{\max} , kai pradinio įtempimo dydis kinta nuo 0,0 proc. iki 2,1 proc., S_2 tendencingai didėja ($R^2 = 0,6485$).

Šio tyrimo naujumas – pradinio įtempimo įtaka skirtingos struktūros dubliuotoms sistemoms, kuri atskleidė skirtumus tarp pradinio įtempimo krypties, pvz., duobimo aukštis H_{\max} , didėjant pradiniam įtempimui iki 2,1 proc., sumažėjo 47,88 proc. išilgine kryptimi ir 28,51 proc. skersine kryptimi.

3.6. Trinties įtaka dviašio deformavimo puansono bandinio kontakto zonoje

Duobimo jėga P_{\max} priklauso nuo puansono spindulio r_1, r_2, r_3 (9 pav.). Gauti tyrimo rezultatai patvirtino kitų tyrėjų bandymų rezultatus, kur gautos priklausomybės tiriant: polietileną, trisluoksnes, neaustines medžiagas ir medžiagas, dengtas keramika [6]. Taip pat gauti rezultatai patvirtino ir priklausomybes tiriant megztnines medžiagas [7]. Jų metu nustatyta, kad duobimo charakteristikos priklauso nuo puansono dydžio, t. y. P_{\max} didėja, o H_{\max} mažėja, didėjant puansono spinduliui r/R . Šio tyrimo metu nustatyta, kad neperforuotos odos P_{\max} padidėjo vidutiniškai 2,72 karto L5 ir 2,90 karto perforuotos odos L6. Dirbtinė oda L5 beveik du kartus stipresnė, bet mažiau deformuojama, palyginti su perforuota oda L6 dėl padidėjusios įtempių koncentracijos aplink perforacijų skylutes. Lyginant duobimo aukščio H_{\max} pokyčius tarp odų L5 ir L6, ryškių skirtumų nepastebima.



9 pav. Dirbtinių odų L5 ir L6 puansono dydžio įtaka duobimo jėgai P_{\max} , kai duobinama iš gerosios – vinilinės dangos pusės ir iš blogosios – tekstilinės pusės

Nagrinėjant trinties įtaką puansono bandinio kontakto zonoje duobimo charakteristikoms buvo naudojami keturi skirtingi lubrikantai L_A, L_B, L_C ir L_D . Perforuotos odos L6 deformacijos aukštis H_{\max} didesnis 6,3 proc. – 20,65 proc. ir didėja priklausomai nuo puansono dydžio. Bendru atveju nustatyta, kad

lubrikantai didesnė įtaką daro duobimo jėgai P_{\max} , kai padengiama tekstilinės dangos pusė, t. y. P_{\max} mažėja, kai duobiamą iš vinilinės dangos pusės, ir didėja, kai duobiamą iš tekstilinės dangos pusės. Duobimo elgsena išsiskiria naudojant silikoną – visais atvejais P_{\max} mažėja.

Statiniai trinties parametrai, nustatyti vertinant vinilinę dangos pusę, daug didesni (iki 68,8 proc.) nei dinaminiai. Tekstilinės dangos statiniai ir dinaminiai trinties parametrai kinta iki paklaidų ribų. Neperforuotos odos L5 vinilinės dangos pusės trinties charakteristikos didesnės už perforuotos odos L6. Daroma prielaida, kad visi lubrikantai μ_S ir μ_D trinties koeficientus (iš vinilinės dangos pusės) mažina: 27,69 – 53,85 proc. L5 odos išilgine kryptimi ir 15,69 – 59,42 proc. L6 odos skersine kryptimi.

Kiti tyrėjai [7] nustatė, kad bandinio trūkimo linija visada lokalizuojasi žemiau kevalo viršūnės, t. y. toje vietoje, kur bandinys praranda kontaktą su puansonu ir trūkimas vyksta per visą perimetrą arba lokalizuojasi vienoje vietoje. Šio tyrimo su dirbtinėmis odomis rezultatai prieštarauja [7] teiginiams. Viena vertus, trūkimo linija priklauso nuo duobiamo bandinio dangos pusės (vinilinė ar tekstilinė), kita vertus, priklauso nuo puansono dydžio, t. y. kuo didesnis puansonas, tuo trūkimo linija labiau atitolsta nuo centro – tuo didesnis puansono ir odos kontakto plotas S , mm^2 duobimo metu. Puansono ir odos kontakto trūkimo plotas S didesnis esant perforuotai odai L6, naudojant visus lubrikantus, kai duobiamą tiek iš gerosios, tiek iš blogosios pusių. Jei lygintume puses, didesnis trūkimo plotas S būdingas tekstilinei dangos pusei (ypač perforuotai odai).

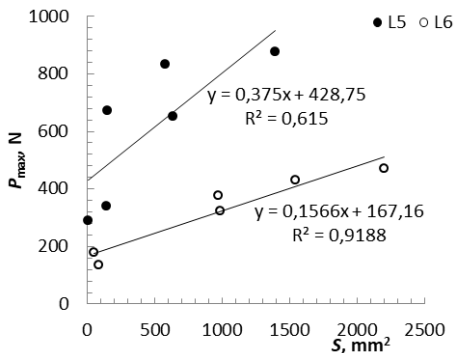
Lubrikantų įtaka ryškesnė duobiant iš vinilinės dangos pusės: abiejų odų trūkimo plotas su lubrikantais L_A ir L_B sumažėjo 25,9–61,2 proc., su lubrikantais L_C ir L_D sumažėjo 24,1–96,5 proc. Duobiant iš tekstilinės dangos pusės, tendencijos, kad trūkimo plotas S didėja naudojant lubrikantus, nėra.

5 lentelė. Priklausomybės (R^2) tarp puansono ir odos kontakto ploto trūkimo metu S , mm^2 ir vidutinės statinės μ_{SA} ir dinaminės μ_{DA} trinties koeficientų

	L5				L6			
	Geroji pusė		Blogoji pusė		Geroji pusė		Blogoji pusė	
	μ_{SA}	μ_{DA}	μ_{SA}	μ_{DA}	μ_{SA}	μ_{DA}	μ_{SA}	μ_{DA}
r_1	0,25	0,92	0,94	0,97	0,45	0,94	0,54	0,94
r_2	0,45	0,93	0,94	0,98	0,56	0,79	0,55	0,90
r_3	0,45	0,97	0,91	0,96	0,49	0,94	0,43	0,92

Nėra priklausomybių tarp S ir μ_S bei μ_D išilgine ir skersine kryptimis. Atkreipiant dėmesį į tai, kad duobimo procesas yra dviašis deformavimas, kurio metu trintis vyksta tuo pačiu metu tiek išilgine, tiek skersine kryptimis, remiantis [8, 9] buvo priimtas sprendimas apskaičiuoti ir vertinti duomenis su vidutine (išilginės ir skersinės krypties) trinties verte. Gauta tiesinė priklausomybė nuo μ_{DA} ir puansono ir odos kontakto ploto S trūkimo metu, kurios R^2 abiejų odų

kinta $R^2 = 0,79 \div 0,98$ (5 lent.). Deja, tiesinės priklausomybės tarp S ir μ_{SA} nėra ($R^2 = 0,25 \div 0,94$).



10 pav. Tirtų odų puansono ir odos kontakto ploto S trūkimo metu ir P_{max} priklausomybės iš gerosios ir blogosios pusių, nenaudojant lubrikanto

Tyrimo metu nustatytos tiesinės priklausomybės tarp P_{max} ir puansono ir odos kontakto ploto S trūkimo metu (10 pav.). Neperforuotos odos L5 atveju, duobiant skirtingo dydžio puansonais iš abiejų pusių, nustatyta: be lubrikanto (L_0) $R^2 = 0,615$, su lubrikantu L_A $R^2 = 0,869$, su L_B $R^2 = 0,772$, su L_C $R^2 = 0,737$ ir su L_D $R^2 = 0,753$. Perforuotos odos L6 atveju šios priklausomybės didesnės: be lubrikanto (L_0) $R^2 = 0,919$, su lubrikantu L_A $R^2 = 0,923$, su L_B $R^2 = 0,891$, su L_C $R^2 = 0,819$ ir su L_D $R^2 = 0,807$.

IŠVADOS

1. Gaminio projektavimo proceso metu negalima vertinti baldinių medžiagų atsižvelgus tik į stiprumines jų savybes, kadangi apmušalo užtraukimo ant baldo metu medžiagos patiria mažesnes eksploatacijos lygio apkrovas, todėl medžiagų deformacinė elgsena labai skiriasi nuo tų pačių medžiagų trūkimo deformacijos. Atlikti tyrimai parodė, kad baldinių medžiagų stipruminiai (standartiniai) rodikliai gali būti priešingi nei eksploataciniai rodikliai – vienašio tempimo iki trūkimo metu megztinės medžiagos K1 deformacija ε buvo 79,33 proc., o deformacija EMT esant mažoms apkrovoms (25 N) buvo 6,56 proc., tačiau dirbtinės odos L3 deformacija ε vienašio tempimo metu iki trūkimo buvo 39,60 proc., o EMT esant mažoms apkrovoms – 21,33 proc.
2. KES-F matavimo sistema, kuri sukurta ir aprobuota plonų, kostiuminių audinių savybėms tirti ir vertinti veikiant mažoms apkrovoms (25 N), yra tinkama prognozuojant skirtingos sandaros ir sudėties tekstilinių baldinių medžiagų eksploatacines apkrovas (100 N), kadangi gauta stipri priklausomybė tarp tempimo

deformacijos EMT (nustatytos iš KES-F) ir staigiosios deformacijos ε_s (nustatytos atlikus valkšnumo bandymą): dirbtinių odų $R^2 = 0,95$, vienasluoksnių medžiagų $R^2 = 0,83$, dvisluoksnių medžiagų $R^2 = 0,90$ ir sudėtingo pynimo medžiagų $R^2 = 0,74$.

3. Tiriant priklausomybes tarp momentinio standumo modulio, nustatyto vienašio tempimo iki trūkimo bandymo metu, ir valkšnumo bei relaksacijos deformacijų, galima prognozuoti baldų apmušalams naudojamų medžiagų deformacinę elgseną, nes momentinis standumo modulis (E_m), esant eksploatacinėms apkrovoms (25 N ir 100 N), turi stiprų koreliacinį ryšį ($R^2 = 0,64 \div 0,95$) su bendrąja ε_G , staigiąja ε_s , grįžtamąja ε_R ir liekamąja ε_r deformacijomis, nustatytomis esant toms pačioms apkrovoms.

4. Pradinio įtempimo dydžio įtakai baldinių medžiagų dviašio deformavimo elgsenai nustatyti buvo sudarytas naujas tyrimo metodas, kuriuo nustatyta, kad pradinis vienašis įtempimas skirtingomis kryptimis turi esminę įtaką dvisluoksnių sistemų erdvinei deformacinei elgsenai bei stipruminėms savybėms. Skirtingos struktūros klijiniai įdėklai turi skirtingą poveikį dubliuotų sistemų bendram trūkimo procesui, kuriam būdingos viena, dvi ar net trys trūkimo jėgos smailės: sistemų su austiniu įdėklu pirmojo trūkimo jėga P_{1max} išilgine kryptimi lygi 188 N, deformacijos aukštis $H_{1max} = 17,8$ mm, antrojo trūkimo $P_{2max} = 294$ N, $H_{2max} = 30,4$ mm, trečiojo trūkimo $P_{3max} = 304$ N, $H_{3max} = 40,7$ mm. Sistemų su mezgtiniu įdėklu stipruminės savybės mažesnės ir būdingos dvi trūkimo jėgos smailės: pirmojo trūkimo jėga (išilgine kryptimi) 152 N, deformacijos aukštis – 16,1 mm, antrojo trūkimo $P_{2max} = 223$ N, $H_{2max} = 32,3$ mm.

5. Po dvisluoksnių medžiagų dubliavimo vienašio tempimo elgsena iki pirmojo sutrūkimo labai vienoda visų tirtų medžiagų (trūkimo jėga F_{max} svyruoja nuo 21,39 proc. iki 21,91 proc., deformacija ε_{max} kinta nuo 7,27 proc. iki 17,53 proc.), nors kljiniai įdėklai skirtingi tiek savo struktūra, tiek charakteristikomis. Ta pati tendencija būdinga ir dviašio duobimo metu, tik deformacinė elgsena dar labiau suvienodėja (P_{max} svyruoja tarp 3,28 proc. ir 17,15 proc., H_{max} svyruoja nuo 0,99 proc. iki 4,55 proc.). Didėjant pradinio įtempimo dydžiui nuo 0,0 proc. iki 2,1 proc., išilgine kryptimi duobimo aukštis H_{max} dvisluoksnių tekstilinių sistemų sumažėjo 47,88 proc., o skersine kryptimi H_{max} sumažėjo 28,51 proc.

6. Dvisluoksnių sistemų trūkimo elgsenos tyrimu nustatyta, kad kljiniai įdėklai, kurie turėjo keletą trūkimo aukščiausių taškų esant vienašiam tempimui, ta pati tendencija išlieka ir esant dubliuotų sistemų vienašiam tempimui, nors sistemos pagrindinė medžiaga M turėjo tik vieną ir aiškų trūkimo tašką. Ta pati tendencija būdinga ir dviašiam deformavimui duobiant puansonu.

7. Dabartiniai tyrimai, atlikti su perforuota ir neperforuota dirbtinėmis odomis, patvirtino priklausomybę tarp dviašio trūkimo jėgos P_{max} ir puansono spindulio r . P_{max} padidėjo vidutiniškai 2,72 karto neperforuotos dirbtinės odos L5 ir vidutiniškai 2,90 karto perforuotos odos L6, kai puansono spindulys didėjo nuo

$r_1 = 9,0$ mm ($r_1/R = 0,15$) iki $r_3 = 31,0$ mm ($r_3/R = 0,52$). Ta pati tendencija galioja ir tuomet, kai puansono ir bandinio kontakto zonoje veikia skirtinga trintis duobiant iš gerosios bandinio pusės (vinilinės dangos) arba iš blogosios (tekstilinės) pusės. Lyginamosios analizės rezultatai parodė, kad neperforuota oda yra beveik du kartus stipresnė, bet mažiau deformuojama, palyginti su perforuota oda, dėl padidėjusių įtempių koncentracijos aplink perforacijų skylutes. Dirbtinių odų paviršiai iš gerosios ir blogosios pusių skiriasi, nes oda turi tekstilinį pagrindą, padengtą vinilo sluoksniu. Todėl duobimo charakteristikos iš abiejų pusių skiriasi ne tik dėl skirtingo puansono dydžio, bet ir dėl trinties kontakto zonoje.

8. Galioja tiesinė priklausomybė tarp puansono ir neperforuotos bei perforuotos dirbtinių odų kontakto zonos ploto S duobimo metu ir vidutinės dinaminės μ_{DA} trinties koeficientų, t. y. trūkimo plotas didėja priklausomai nuo didėjančios trinties. Reikia pažymėti, kad statinės trinties parametrai, palyginti su dinamine, yra aiškiai didesni iš gerosios vinilinės pusės. Tam tikrais atvejais skirtumas padidėja iki 68,8 proc. Tačiau iš blogosios tekstilinės pusės trinties procesas lygesnis, ir skirtumas neperžengia paklaidų ribų.

LITERATŪROS ŠALTINIAI

1. Kawabata, S. The Standardization and Analysis of Hand Evaluation. *Osaka: Textile Machinery Society of Japan*, 1980, p. 563.
2. Zubauskiene, D.; Strazdiene, E.; Urbelis, V.; Saceviciene, V. The Investigation of Soft Furniture Upholstery Deformational Behaviour. *Material Science (Medžiagotyra)*, 2012, Vol. 18, No. 4, p. 367-372.
3. Kovacevic, S.; Ujevic, D.; Brnada, S. Coated Textile Materials. *Woven Fabric Engineering* [interaktyvus]. InTech, 2010, p. 241-255 [žiūrėta 2014-11-24]. Prieiga per doi: 10.5772/10468.
4. Chen, S.; McGregor, O. L.; Harper, L. T.; Endruweit, A.; Warrior, N. A. Defect Formation During Preforming of a Bi-Axial Non-Crimp Fabric with a Pillar Stitch Pattern. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 91, 2016, ISSN 1359-835X, p. 156-167.
5. Nishi, M.; Hirashima, T. Approach for Dry Textile Composite Forming Simulation. *The 19th International Conference on Composite Materials (ICCM-19)*, 2013, p. 7486-7493.
6. Zhang, X.; Sahraei, E.; Wang, K. Deformation and Failure Characteristics of Four Types of Lithium-ion Battery Separators. *Journal of Power Sources*, 2016, Vol. 327, p. 693-701.
7. Strazdiene, E.; Gutauskas, M. V.; Papreckiene, L.; Williams, J. T. The Behaviour of Textile Membranes in Punch Deformation Process. *Materials Science (Medžiagotyra)*, 1997, Vol. 2, Issue 5, p. 50-54.
8. Fontaine, S.; Marsiquet, C.; Renner, M. Adhesion, Roughness and Friction Characterization on Time-Dependant Materials: Example with Fibrous

Structures. *SEM Annual Conference and Exposition on Experimental and Applied Mechanics*, 2006, Vol. 4, p. 1948-1953.

9. Ezazshahabi, N.; Latifi, M.; Tehran, M. A. Analysis of Frictional Behavior of Woven Fabrics by a Multi-directional Tactile Sensing Mechanism. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 2015, Vol. 10, Issue 3, p. 129-135.

PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS, DALYVAVIMAS KONFERENCIJOSE

**Tarptautinėse duomenų bazėse esančiuose mokslo leidiniuose paskelbti
straipsniai**

**Mokslinės informacijos instituto duomenų bazės „Clarivate Analytics Web of
Science“ leidiniuose, turinčiuose citavimo indeksą**

1. Zubauskienė, Donata; Strazdienė, Eugenija; Urbelis, Virginijus; Sacevičienė, Virginija. (2012). The Investigation of Soft Furniture Upholstery Deformational Behaviour. *Materials Science = Medžiagotyra*. Kaunas University of Technology, Academy of Sciences of Lithuania. Kaunas: Technologija, 2012, vol. 18, no. 4, pp. 367–372. ISSN 1392-1320. doi: DOI:org/10.5755/j01.ms.18.4.3099 [INSPEC; Science Citation Index Expanded (Web of Science)] IF: 0,522; AIF: 3,264; IF/AIF: 0,160; Q4 (2012, SCIE)] [Indėlis: 0,250]
2. Zubauskienė, Donata; Strazdienė, Eugenija; Urbelis, Virginijus. (2015). Analysis of Pre-Tension Level upon Biaxial Behaviour of Fused Systems. *Materials Science = Medžiagotyra*. Kaunas University of Technology, Academy of Sciences of Lithuania. Kaunas: KTU, 2015, vol. 21, no. 2, pp. 276–281. ISSN 1392-1320. doi: 10.5755/j01.mm.21.2.5788 [Scopus; INSPEC; Science Citation Index Expanded (Web of Science)] [IF: 0,428; AIF: 3,984; IF/AIF: 0,107; Q4 (2015, SCIE)] [Indėlis: 0,334]
3. Zubauskienė, Donata; Strazdienė, Eugenija. (2017). Effect of Friction in the Punch-to-Specimen Contact Zone Upon the Punching Behaviour of Synthetic Leathers. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. Lodz: Institute of Biopolymers and Chemical Fibres, 2017, vol. 25, iss. 3, pp. 121-128. ISSN 1230-3666. 2017, vol. 25, No. 3, pp. 121–128. ISSN 1230-3666. doi: 10.5604/12303666.1237248 [Scopus; Science Citation Index Expanded (Web of Science)] [IF: 0,626; AIF: 1,655; IF/AIF: 0,378; Q2 (2016, SCIE)] [Contribution: 0,500]

Mokslinės informacijos instituto duomenų bazės „Clarivate Analytics Web of Science“ leidiniuose, neturiniuose citavimo indekse

1. Zubauskienė, Donata; Strazdienė, Eugenija; Urbelis, Virginijus. (2012). The Investigation of Relaxation Behaviour of Flexible Polymer Materials. In: *Mechanika 2012: proceedings of the 17th international conference*, 12, 13 April 2012, Kaunas University of Technology, Lithuania. Kaunas University of Technology, Lithuanian Academy of Science, IFTOMM National Committee of Lithuania, Baltic Association of Mechanical Engineering. Kaunas: Technologija, 2012, pp. 351-356. ISSN 1822-2951. [Conference Proceedings Citation Index (nenaudotinas)] [Indėlis: 0,334]

**Kituose recenzuojamuose mokslo leidiniuose paskelbti straipsniai
Konferencijų pranešimų medžiagoje paskelbti straipsniai**

1. Zubauskienė, Donata; Strazdienė, Eugenija; Urbelis, Virginijus. (2012). The Investigation of Creep and Relaxation Deformation of Flexible Polymer Materials. In: *AUTEX 2012: Innovative Textile for High Future Demands: 12th World Textile Conference AUTEX 2012*, 13–15 June 2012, Zadar, Croatia: book of proceedings. Vol. 1. Zagreb: University of Zagreb, 2012, pp. 1067–1072. ISBN 9789537105471. [Indėlis: 0,334]
2. Zubauskienė, Donata; Strazdienė, Eugenija; Urbelis, Virginijus. (2013). The Effect of Fusing Materials Structure upon the Variations of Flexible Multilayer Systems Spatial Shape. In: *AUTEX 2013 [elektroninis išteklis]: proceedings of the 13th AUTEX World Textile Conference*, 22–24 May, 2013, Dresden, Germany. Institute of Textile Machinery and High Performance Material Technology, Technische Universität Dresden. Dresden: ITM, 2013, pp. 1-5. ISBN 9783867803434. [Indėlis: 0,334]
3. Zubauskienė, Donata; Strazdienė, Eugenija; Urbelis, Virginijus. (2013). The Investigation of Soft Furniture Upholsteries Exploitation Behaviour. In: *Proceedings of the 1st International Conference on Natural Fibers – Sustainable Materials for Advanced Applications [elektroninis išteklis]* : 9–11 June 2013. Braga: Universidade do Minho, 2013, pp. 401–402. ISBN 9789892038728. [Indėlis: 0,334]
4. Strazdienė, Eugenija; Zumarienė, Jolita; Zubauskienė, Donata. (2016). Textile / Foam Strength Properties under Punch Loading. In: *AUTEX 2016 [elektroninis išteklis]: proceedings of the 16th world textile conference*, 8–10 June 2016, Ljubljana, Slovenia. University of Ljubljana. Faculty of Natural Sciences and Engineering. Ljubljana: University of Ljubljana, 2016, pp. 1–6. ISBN 9789616900171. [Indėlis: 0,333]

Knygų skyriai

Kitose tarptautinėse ir nacionalinėse leidyklose

1. Strazdienė, Eugenija; Zubauskienė, Donata; Leišis, Vitalis; Sacevičienė, Virginija; Schacher, Laurence. (2017). The Characterization of Upholstery Materials Performance Properties by KES-F Parameters. In: Innovations in clothing 3D design, products, fashion, technologies and testing of clothing materials: [monograph]. Edited by Iwona Frydrych, Grażyna Bartkowiak & Maria Pawłowa. Lodz: Lodz University of Technology, 2017, pp. 250-263. ISBN 9788372838544. [Autorinių lankų: 0,200]

Pranešimai tarptautinėse konferencijose

1. Tarptautinė konferencija „Mechanika 2012“, Kaunas, Lietuva. Žodinis pranešimas: D. Zubauskienė „The investigation of relaxation behaviour of flexible polymer materials“ 2012 m. balandžio 12-13 d.
2. 12-oji pasaulinė tekstilės konferencija „AUTEX 2012“, Zadar, Kroatija. Žodinis pranešimas: V. Urbelis „The investigation of creep and relaxation deformation of flexible polymer materials“ 2012 m. birželio 13-15 d.
3. 14-oji tarptautinė konferencija-mokykla „Advanced materials and technologies“, Palanga, Lietuva. Stendinis pranešimas: D. Zubauskienė „The investigation of upholstery materials performance properties“ 2012 m. rugpjūčio 27-31 d.
4. 13-oji pasaulinė tekstilės konferencija „AUTEX 2013“, Dresden, Vokietija. Žodinis pranešimas: D. Zubauskienė „The effect of fusing materials structure upon the variations of flexible multilayer systems spatial shape“ 2013 m. gegužės 22-24 d.
5. Tarptautinė konferencija „1st International Conference on Natural Fibers - Sustainable Materials for Advanced Applications“, Braga, Portugalija. Stendinis pranešimas: D. Zubauskienė „The investigation of soft furniture upholstery exploitational behaviour“ 2013 m. birželio 09-11 d.
6. Tarptautinė konferencija „Baltic polymer symposium 2013“, Trakai, Lietuva. Stendinis pranešimas: D. Zubauskienė „The effect of uniaxial pretension upon multilayer textile systems biaxial strength parameters“ 2013 m. rugsėjo 18-21 d.
7. 16-oji tarptautinė konferencija-mokykla „Advanced materials and technologies“, Palanga, Lietuva. Stendinis pranešimas: D. Zubauskienė „The Effect of Friction during Punch Loading“ 2014 m. rugpjūčio 27-31 d.
8. 16-oji pasaulinė tekstilės konferencija „Autex 2016“, Liublijana, Slovėnija. Stendinis pranešimas: E. Strazdienė „Textile/Foam Strength Properties Under Punch Loading“. 2016 m. birželio 08-10 d.

9. 12-oji pasaulinė tekstilės konferencija „Clotech 2017“, Lodz, Lenkija. Žodinis pranešimas: E. Strazdienė „The characterization of upholstery materials performance properties by KES-F parameters“. 2017 m. spalio 11-14 d.

Pranešimai respublikinėse konferencijose

1. Respublikinė konferencija „Medžiagų inžinerija 2012“, Kaunas, Lietuva. Žodinis pranešimas: D. Zubauskienė „Baldinių medžiagų valkšnumo ir deformacijos relaksacijos procesų analizė“ 2012 m. lapkričio 16 d.
2. Respublikinė konferencija „Medžiagų inžinerija 2013“, Kaunas, Lietuva. Stendinis pranešimas: D. Zubauskienė „Pradinio deformavimo įtaka dubliuotų sistemų dviašio deformavimo procesui“ 2013 m. lapkričio 15 d.

Informacija apie disertacijos autorių

Donata Zubauskienė gimė 1986 m. sausio 19 d. Kaune, Lietuvoje.

Išsilavinimas:

2005: Garliavos Jonučių vidurinė mokykla, Kauno r.

2005-2009: **Bakalauro diplomą**, pramonės inžinerijos bakalauro kvalifikacinis laipsnis, Kauno technologijos universitetas, Dizaino ir technologijų fakultetas.

2009-2011: **Magistro diplomą**, pramonės inžinerijos magistro kvalifikacinis laipsnis, Kauno technologijos universitetas, Dizaino ir technologijų fakultetas.

2011-2017: **Doktorantūros studijos** Kauno technologijos universitete, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultete.

Kontaktams: zubauskienes@yahoo.com

RESUME

The Problem of the Research and the Relevance of the Work. Textiles being an inseparable part of everyday human life leads to continual improvements of their quality, aesthetic and wear properties, expanding assortment, focusing on and integrating up-to-date technologies so that to keep pace with the modern times and contemporary technology, current challenges and demand trends. The range of the application of textiles extends from fashion to furniture, to construction and even to medical appliances. This study focuses on upholstery materials applications which have specific requirements for wear, stress/strain concentrations during manufacturing processes, contact with human body, care and support of the product for extended lifetime, etc.

The quality of both fashion and furniture textiles is evaluated by their physical and mechanical parameters which are determined by standard research methods applied until the complete disintegration of the subject. However, better

wear and strength properties are required for upholstery textiles, this being the main distinction in opposition to the clothing textiles. The load and wear processes are significantly more prominent in the furniture applications, upholstering products, manufacturing and exploitation. Tensile properties are the key factor in projecting the fabric deformational behavior which are manifested in the manufacture and use processes. The furniture cover is always under biaxial deformation on the inside, where constant friction is present between the fabric and other components of the furnishing (foam, the metal or wooden frame and other materials). The outside of the fabric is affected by friction and deformation when the piece of furniture is in use, the main requirement here being durability and resistance to wear. This is why the upholstery textiles, compared to the clothing, must be adequately thick and stiff, must feature the best stability, strength and durability properties. Clothing pieces are more often replaced if compared to upholstery, not only because of wear off, but also due to the dynamic fashion trends. Thus furniture upholsteries are usually used for many years until complete wear off (fabric disintegration). It is crucial that the fabrics carry not only the best tensile properties, but are also investigated for the deformation properties, both inside and outside, by considering friction and loads appearing in the process of upholstery. Therefore, making the development and manufacturing predictable and less time consuming is a major objective of our times.

The textile industry is rapidly expanding. This is a result of the introduction of new technologies, robotic components and automation. Production time is getting reduced while the quality and quantity of the products increase. Up-to-date software shortens the design process, and optimizes the whole manufacturing process line: from the design to the final product. 3D model simulation requires specific parameters of the fabrics used for the product. Software package *Design Concept* by *Lectra company* is a common measure which uses the KES-F and FAST system parameters. Therefore, any investigation of the textile deformation behavior indispensably involves the proper use of the design software (e.g. *DesignConcept*) and successful product manufacturing.

Different fiber structure, flexible and anisotropic fabrics are used for upholstery materials. Naturally, the deformation-relaxation behavior is widely spread. When a new fabric is introduced into furniture manufacturing, the ease allowances of previous materials may not be applied for the new material due to different mechanical properties. Ease allowances must allow the cover to be upholstered on the piece of furniture and perfectly mould to the shape. The shape must be retained while the furniture is in use – this is where the exploitation loads and the relaxation caused by them need to be investigated considering the relaxation behavior, that is, creep and deformation relaxation. Furniture manufacturers aim to satisfy their client's needs – to achieve proper long-lasting quality and aesthetic properties of the produced furniture. Therefore, fabrics must

be chosen considering the tensile properties and the deformational behaviour at low-stress loading taking into account their non-linearity and anisotropy.

The Aim of the Work. The investigation and evaluation of upholstery materials performance properties under uniaxial and biaxial deformations in respect to low-stress and breaking loading.

Scientific Tasks of the Work:

1. to perform experimental analysis of upholstery materials uniaxial low-stress properties defined by the KES-F testing system;
2. to define the effect of the properties of upholstery materials determined by the KES-F testing system upon creep deformation processes;
3. to analyze creep and relaxation processes of upholstery materials in respect to the anisotropy level under uniaxial loadings;
4. to define the effect of fused upholstery system structure upon the variations of its spatial shape under biaxial punching;
5. to evaluate the effect of uniaxial pre-tension level upon biaxial punching deformation of fused upholstery systems;
6. to determine the effect of friction in the contact zone between the punch and upholstery material surface during biaxial deformation process.

The Novelty of the Work and its Importance. Rapid prototyping is the key feature of innovative production, and it is closely associated with the digitization of product development processes. Virtual prototyping is inextricably linked with the properties of the materials to be applied in new products. The novelty of this research is that it has proven that low-stress KES-F parameters of upholstery materials can be applied in virtual simulation of furniture cover behavior during wear. The results were validated by further developing the method of pull-on ease level measurement directly on the furniture (pouffe) earlier developed by the author of this dissertation thesis.

There is no specific equipment that covers the whole set of actual properties regarding the investigation of furniture textile deformational and exploitational behavior. Upholstery textile research was carried out by using a variety of research methods. It enables to investigate the textile behavior under deformation, to detect mechanical properties and to conduct surface experiments according to KES-F measuring system thus expanding the variety of the subjects that can be investigated. This study is integrated with and contributes to the long term scientific database and analysis of other researches performed in the field of investigation of flexible multilayer textile and polymer materials deformational behavior considering exclusive attention to friction. There are fewer scholarly studies analyzing the influence of friction between upholstery materials.

This study has tackled a highly topical problem of furniture manufacturers. Creep and deformation relaxation experiments were performed on the specific

materials used in the production in real life thus enabling to determine the deformation properties of the textiles which develop in the process of upholstering and under application of the relevant force (100 N load). A specific method was developed in order to solve the production issue – it registers the initial tensile load, determines its influence upon biaxial deformation as these parameters are crucial for the fluent upholstering process.

Approval of the Research Results. The topic of this dissertation has been presented in **9** scientific publications, among which **3** articles are listed among *Clarivate Analytics Web of Science* base publications with a citation index, **1** article is listed among *Clarivate Analytics Web of Science* base publications without a citation index, **5** articles – in other periodical reviewed scientific journals. The research results have been discussed in **11** conferences including **9** international and **2** national conferences.

The Structure of the Doctoral Dissertation. The present dissertation consist of the following parts: Introduction, 3 Chapters, Conclusion, a List of References (**172** entries) and a List of Scientific Studies. The dissertation material is submmited on **128** pages displaying **75** Figures, **19** Tables and **34** formulas.

CONCLUSSIONS

1. It is not reasonable to take into account only the strength properties of upholstery materials during furniture development because, during the exploitation of furniture, its materials are exposed to lower level external loads. Therefore, the deformation of these materials significantly differs from their behavior during breaking, i.e. in the cases of maximal loading. Our investigation has shown that standard strength parameters of furniture upholstery may even be opposite to the corresponding parameters at low level loading, e.g. deformation ε of knitted fabric K1 while getting extended up to the breaking point was 79.33 proc., whereas deformation EMT at low loads (25 N) was 6.56 proc., but the deformations of artificial leather L3 were opposite: deformation ε was 39.60 proc., while deformation EMT was 21.33 proc.
2. The KES-F evaluation system, which was developed and approved for the investigation and evaluation of the properties of thin costume fabrics at low loads (25 N), is suitable for predicting the behavior of upholstery materials which are different in terms of structure and composition at exploitation level loads (100 N) because strong correlation between tensile deformation EMT (determined by KES-F) and sudden deformation ε_s (determined from the creep test) was found, specifically for synthetic leathers $R^2 = 0.95$, one-layer materials $R^2 = 0.83$, two-layer materials $R^2 = 0.90$, and for materials of complex weave $R^2 = 0.74$.

3. A relationship was established between the instantaneous rigidity modulus of the uniaxial tensile test and creep and relaxation deformations, which allows to predict deformational behavior of furniture upholstery because its instantaneous rigidity modulus (E_m) at low loads (25 N and 100 N) shows a strong correlation ($R^2 = 0.64 \div 0.95$) with the general ε_G , sudden ε_s , reversible ε_R and residual ε_r deformations determined at the same loads.
4. A novel research method was developed in order to determine the influence of pre-tension upon the biaxial behavior of upholstery. It was defined that uniaxial pre-tension in different directions has a significant effect upon the spatial behavior and strength properties of two-layer textile systems. Fusing interlinings which have different structures affect differently the overall bursting process of two-layer systems which are characterized by one, two or even three breaking peaks. A two-layer system with the woven interlining has three breaking peaks: the first breaking peak $P_{1\max}$ occurs at 188 N, deformation height $H_{1\max}$ is 17.8 mm; the second peak $P_{2\max}$ is observed at 294 N, $H_{2\max}$ is 30.4 mm; the third peak $P_{3\max}$ is visible at 304 N, $H_{3\max}$ is 40.7 mm. The strength of a two-layer system with knitted interlining is lower, and it has two breaking peaks: the first breaking peak $P_{1\max}$ is at 152 N, deformation height $H_{1\max}$ is 16.1 mm; the second peak $P_{2\max}$ is observed at 223 N, $H_{2\max}$ is 32.3 mm.
5. After fusing the uniaxial behavior of two-layer systems until the first break, it is very close for the investigated materials (F_{\max} varies between 21.39 proc. and 21.91 proc., ε_{\max} varies between 7.27 proc. and 17.53 proc.) even though the fusing interlinings of different structures (woven, non-woven and knitted) and characteristics are used. The same can be said about biaxial punching of the same two-layer systems whose behavior becomes even closer (P_{\max} varies between 3.28 proc. and 17.15 proc., H_{\max} varies between 0.99 proc. and 4.55 proc.). Breaking height H_{\max} of a two-layer textile system decreases by 47.88 proc. when the initial pre-tension is increased from 0.0 proc. to 2.1 proc. in the longitudinal direction. Meanwhile, this decrease becomes lower by 28.51 proc. when the same initial pre-tension is applied in the transverse direction.
6. What concerns the breaking character of two-layer systems, it was observed that fusing interlinings which featured several breaking maximums in uniaxial tension maintained the same trend in their fused systems uniaxial tension even though the base material of the fused system had only one very prominent breaking point. Moreover, the same trend is evident in the process of biaxial loading, e.g. punching.
7. The results of our investigation have confirmed the dependence between maximal punching force P_{\max} and radius r of the punch for non-perforated and perforated synthetic leathers. P_{\max} increased on average by 2.72 times for non-

perforated leather L5 and on average by 2.90 times for perforated leather L6 when the punch radius increased from $r_1 = 9.0$ mm ($r_1/R = 0.15$) to $r_3 = 31.0$ mm ($r_3/R = 0.52$). The same trend is also observed in the cases when different levels of friction act in the punch-to-specimen contact zone or when the specimens are punched from the face (vinyl) or from the reverse (textiles) side. Comparative analysis has demonstrated that non-perforated leather is nearly twice as strong but less deformable compared to perforated leather due to the increased stress concentration around the perforated holes. The surfaces of synthetic leathers from the face and reverse sides differ because they are made of a textile background coated with a vinyl layer. Thus the punching characteristics from both sides are different not only when taking into account the size of the punch but also in respect to contact friction.

8. For non-perforated and perforated synthetic leathers, dependencies exist between area S of the punch-to-leather contact zone during tearing and the averaged dynamic μ_{DA} friction coefficients, i.e. the tearing area increases with the increase of friction. It must be noted that static friction parameters compared to the dynamic parameters are evidently higher from the face (vinyl) side. In certain cases, this difference reaches as high as 68.6 proc. However, from the reverse (textile) side, the friction process is smoother, and this difference does not exist or varies within the limits of standard errors.

PADEKA

Visų pirma dėkoju savo mokslinei vadovei prof. dr. Eugenijai Strazdienei už neįkainojamą patirtį visais studijų metais, perteiktas vertingas žinias, nesuskaičiuojamas konsultacijas ir didelę įtaką mano tobulėjimui. Dėkoju doc. dr. Virginijui Urbeliui už skirtą dėmesį ir laiką, už vertingas pastabas ir suteiktas žinias rengiant mokslinius straipsnius. Taip pat noriu išreikšti padėką doc. dr. Eglei Kumpikaitei už pagalbą ir suteiktas žinias apie tiriamų objektų pynimus.

Esu dėkinga UAB įmonei „Kauno Baldai“, kuri aprūpino tyrimo objektais (baldinėmis medžiagomis) ir noriai bendradarbiavo.

Galiausiai noriu nuoširdžiai padėkoti savo vaikučiams ir vyrui už didelę kantrybę ir supratingumą dėl mažai skirto dėmesio rengiant disertaciją. Ir, žinoma, savo tėveliams už nuolatinę paramą ir palaikymą visais studijų metais.

UDK 684.73 + 677.017.4 + 677.04] (043.3)

SL344. 2017-10-27, 1,75 leidyb. apsk. l. Tiražas 50 egz.

Išleido Kauno technologijos universitetas, K. Donelaičio g. 73, 44249 Kaunas
Spausdino leidyklos „Technologija“ spaustuvė, Studentų g. 54, 51424 Kaunas