

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

INGRIDA VENYTĖ

BRAILIO RAŠTO TAŠKŲ IR RELJEFINIŲ
ELEMENTŲ FIZIKINIŲ-MECHANINIŲ
PARAMETRŲ TYRIMAS

Daktaro disertacija
Technologijos mokslai, medžiagų inžinerija (08T)

2015, Kaunas

Disertacija rengta nuo 2010 09 01 Kauno technologijos universiteto Dizaino ir technologijų fakulteto Grafinių komunikacijų inžinerijos katedroje, o nuo 2013 09 01 Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakulteto Gamybos inžinerijos katedroje, remiant Lietuvos valstybiniam mokslo ir studijų fondui ir Lietuvos mokslo tarybai.

Mokslinis vadovas

Prof. habil. dr. Edmundas Kibirkštis (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, medžiagų inžinerija – 08T).

Disertantė nuoširdžiai dėkoja Lietuvos Mokslų Akademijos akademikui, profesoriui habil. dr. Kazimierui Mykolui Ragulskiui už naudingus patarimus ir konsultacijas, rengiant daktaro disertaciją.

TURINYS

ĮVADAS	6
1. LITERATŪROS APŽVALGA	11
1.1. Brailio rašto tipai ir jam keliami reikalavimai.....	11
1.2. Akliesiems skirtų reljefinių atvaizdų ypatumai.....	13
1.3. Pakuotėms su Brailio raštu naudojamos medžiagos.....	14
1.4. Brailio rašto ženklų formavimo būdai.....	16
1.5. Brailio rašto tyrimo metodų analitinė apžvalga	21
1.5.1. Brailio rašto skaitytojų lytėjimo suvokimas ir jį lemiantys veiksniai	21
1.5.2. Brailio rašto kokybę įtakojantys faktoriai ir geometrinių parametrų įtaka nuskaitymui.....	24
1.6. Literatūros apžvalgos apibendrinimas.....	29
2. TYRIMO OBJEKTAS IR METODIKA	30
2.1. Tyrimo objektas	30
2.2. Eksperimentinių tyrimų metodika.....	32
2.2.1. Brailio rašto geometrinių parametrų sklaidos ir kokybę įtakojančių faktorių nustatymo tyrimo įranga ir metodika	32
2.2.2. Brailio rašto atspaudų ant skirtingų medžiagų tyrimo mechaniniam poveikiui įranga ir metodika	34
2.2.3. Brailio rašto, suformuoto ant skirtingų medžiagų, atsparumo temperatūriniais veiksniais ir senėjimui tyrimų įranga ir metodika.....	36
2.2.4. Lipniose etiketėse skaitmeniniu būdu suformuoto BR technologinių parametrų optimizavimo tyrimų įranga ir metodika	37
2.2.5. BR spausdinimui trafaretine spauda medžiagų tinkamumo nustatymo metodika.....	38
2.2.6. Brailio rašto ir iliustracijų, suformuotų ant polimerinių plėvelių, įtempių pasiskestymo analizės, naudojant fototamprumo metodą tyrimo įranga ir metodika.....	39
3. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATAI.....	45
3.1. Farmacinėse pakuotėse įspausto Brailio rašto nuskaitymo ir geometrinių parametrų sklaidos ir kokybę įtakojančių faktorių nustatymo rezultatai.....	45
3.2. Brailio rašto, suformuoto ant skirtingų medžiagų tyrimo mechaniniam poveikiui rezultatai ir jų analizė	52
3.3. Brailio rašto atspaudų, suformuotų ant skirtingų medžiagų, atsparumo temperatūriniais veiksniais ir senėjimui tyrimo rezultatai.....	63
3.4. Lipniose etiketėse skaitmeniniu būdu suformuoto BR technologinių parametrų optimizavimas	65
3.5. Optimalaus BR taško aukščio suformavimas trafaretine spauda. Terminės analizės rezultatai	67
3.6. Brailio rašto ir iliustracijų, suformuotų ant polimerinių plėvelių, įtempių pasiskestymo analizė, naudojant fototamprumo metodą	72
3.7. Štampo, formuojančio BR taškus įspaudimo būdu, įtempių analizė.....	74
3.8. Eksperimentinių tyrimų išvados.....	75

4. SKAITMENINIS ĮTEMPIŲ MODELIAVIMAS POLIMERINĖSE MEDŽIAGOSE SU BR TAŠKAIS IR RELJEFINIAIS ELEMENTAIS	78
4.1. Fototamprumo taikymas įtempių polimerinėje medžiagoje tyrimams	78
4.1.1. Virpančios polimerinės medžiagos įtempių matavimai	78
4.1.2. Fototamprumo taikymas polimerinėje medžiagoje lankstymo metu sukeltų įtempių tyrimams	81
4.2. Įtempių pasiskirstymo atskiruose reljefiniuose polimerinės medžiagos elementuose tyrimai	83
4.2.1. Pusės apskritimo srities įtempių tyrimai	84
4.2.2. BR reljefinio elemento paviršiaus su plokščia dalimi įtempių tyrimai ..	85
4.3. Brailio rašto taškų, suformuotų polimerinėse medžiagose, įtempių analizė .	86
4.3.1. Tyrimai, remiantis ašiasimetriniu modeliu	86
4.3.2. Įtempių BR taškuose tyrimas, remiantis ašiasimetriniu modeliu pirmai harmonikai	90
4.4. Virpančios polimerinės plėvelės ciklų iki susidėvėjimo pradžios nustatymas	93
4.5. Skaitmeninių tyrimų išvados	95
APIBENDRINTOSIOS IŠVADOS	97
LITERATŪROS SĄRAŠAS	99
MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS	105
PRIEDAI	108

ŽYMĖJIMAI IR SUTRUMPINIMAI

BR – Brailio raštas;
 h – Brailio rašto ar reljefinio elemento taško aukštis, mm;
 d – Brailio rašto taško diametras, mm;
 d_1 – minimalus Brailio rašto taško diametras, mm;
 d_2 – minimalus Brailio rašto taško diametras, mm;
 b – BR elemento aukštis, mm;
 b_1 – horizontalus atstumas tarp Brailio rašto taškų centrų, mm;
 b_2 – atstumas tarp Brailio rašto to pačio žodžio dviejų raidžių, mm;
 b_3 – atstumas tarp Brailio rašto žodžių, mm;
 l – medžiagos storis, mm;
 h_1 – atstumas tarp Brailio rašto eilučių, mm;
 h_2 – vertikalus tarpas tarp Brailio rašto dviejų taškų centrų, mm;
 Ra – paviršiaus šiurkštumas, μm ;
 R – BR taškų išlinkimo spindulys;
 R_i – įlinkis prie BR taško pagrindo;
 A – pakuotės pagrindinė pusė;
 B – pakuotės šoninė pusė;
 H – pakuotės aukštis;
 W – reljefinio elemento plotis;
 μ – trinties koeficientas;
 N – normalinė jėga, N;
 F – jėga, N;
 A – piršto pagalvėlės su medžiagos paviršiumi kontakto plotas, mm^2 ;
 S – adhezijos šlytis;
 n_a – aklių skaitytųjų skaičius;
MD – išilginė kartono plaušelių liejimo kryptis;
CD – skersinė kartono plaušelių liejimo kryptis;
 L_h – BR atstumas nuo pakuotės horizontaliosios kraštinės, mm;
 L_v – BR atstumas nuo pakuotės vertikaliosios kraštinės, mm;
 $[D]$ – tamprių konstančių matrica;
 $[B]$ – deformacijas ir mazginius poslinkius siejanti matrica;

I – ekvivalentiniai įtempiai;
 $\{\delta\}$ – mazginių poslinkių vektorius;
 $\{\delta_x\}, \{\delta_y\}, \{\delta_z\}, \{\delta_{xy}\}$ – įtempių mazginiuose taškuose verčių vektoriai;
 λ – glotninimo parametras;
 ν – Puasono koeficientas;
 ρ – medžiagos tankis, kg/m^3 ;
 G – šlyties modulis, N/mm^2 ;
 K – tūrinio tamprumo modulis, N/mm^2 ;
 E – medžiagos tampros modulis, N/mm^2 ;
 N_1, \dots – dvimačio Lagranžo kvadratinio baigtinio elemento formos funkcijos;
 u, v ir w – baigtinio elemento mazginiai poslinkiai x, y ir z ašių atžvilgiu;
 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – įtempiai x, y, z koordinatinių kryptimis;
 τ_{xy} – šlyties įtempiai x ir y koordinatinių kryptimis;
 x, y ir z – ortogonalios Dekarto koordinatinių sistemos ašys;
 $\bar{N}_1, \bar{N}_2, \bar{N}_3, \bar{N}_4$ – dvimačio Lagranžo tiesinio baigtinio elemento su mazginiais taškais formos funkcijos;
 $[\hat{F}]$ – apkrovos vektorius jungtinės aproksimacijos procedūroje mazginių įtempių skaičiavimui;
 $[\hat{N}]$ – dvimačio Lagranžo kvadratinio baigtinio elemento formos funkcijų eilutė;
 $[\hat{K}]$ – standumo matrica jungtinės aproksimacijos procedūroje mazginių įtempių skaičiavimui;
 \bar{x} – aritmetinis matavimo rezultatų vidurkis;
 s – standartinis nuokrypis;
 V – variacijos koeficientas;
 Δ_a – absoliutinė pasikliautinė paklaida;
 δ_a – santykinė pasikliautinė paklaida;
 x_i – atskirų matavimų rezultatai;
 n – matavimų skaičius;
 t_a – Stjudento koeficientas.

ĮVADAS

Temos aktualumas

Pasaulyje yra apie 285 mln. žmonių su regėjimo sutrikimais, iš kurių 39 mln. aklieji ir 90 proc. jų gyvena besivystančiose šalyse [1, 2]. Lietuvos aklių ir silpnaregių sąjungos duomenimis, šiuo metu Lietuvoje yra per 7 tūkst. regėjimo negalią turinčių žmonių, tačiau manoma, jog šis skaičius yra gerokai didesnis. Europos Sąjungoje yra 7,4 milijono aklių ir silpnaregių, o visoje Europoje – jų dar daugiau [3]. Pastaraisiais metais padaugėjo silpnaregių tiek pasaulio bei Europos mastu ir 82 % aklių yra virš 50 metų amžiaus. Tad remiantis Pasaulio sveikatos organizacijos duomenimis galima manyti, kad visuomenėje regos negalią turinčių žmonių skaičius pastoviai didės dėl ilgėjančios gyvenimo trukmės ir su tuo susijusių veiksnių.

Tad vis svarbesniu socialiniu klausimu tampa neįgaliųjų integravimas. Globalaus masto problemos sprendimo būdų ieško ne tik valstybinių ir teisinių sistemų atstovai, tačiau įtraukiami ir įvairių pramonės šakų darbuotojai, technologijų kūrėjai. Europos aklių sąjunga (EAS) bei nacionalinės Vakarų valstybių aklių organizacijos labai stengiasi, kad visų rūšių informacija regėjimo netekusiems žmonėms taptų kaip galima prieinamesnė.

Pastaraisiais metais informacijos perdavimo priemonės akliesiems sparčiai tobulėja. Yra sukurtos elektroninės skaitymo priemonės, keičiančios tekstinę informaciją į garsinę. Tačiau ir šiandien viena iš svarbiausių informacijos perdavimo priemonių išliko Brailio raštas (BR). 1825 m. neregys prancūzas Luji Brailis (Louis Braille) išrado šešių reljefinių taškų rašto sistemą (XIX a.) ir 1829 m. Paryžiaus Aklių institute sukūrė Brailio raštą. Nuo 1878 m. BR pripažintas ir naudojamas visame pasaulyje.

Brailio sistemos dėsniai yra moksliskai pagrįsti ir per daugiau nei 180 metų nepavyko niekam jų nei pakeisti, nei pataisyti. Ir šiais laikais, sudarinėjant naujus alfabetus, trumparaščius, pagaliau tobulinant spausdinimo įrengimus, griežtai laikomasi L. Brailio nustatytų dėsnių. Pagrindinė priežastis, dėl kurios Brailio raštas nukonkuravo kitus reljefinio rašto tipus, yra tai, jog Brailio raštu galima rašyti ir skaityti, o kiti reljefinio rašto tipai tinka tik skaitymui [4, 5].

Šiuo metu Lietuvoje akliesiems aplinka nėra tinkamai pritaikyta ir gan retai galima išvysti informacinius užrašus, suformuotus Brailio raštu. Aklieji dėl savo regėjimo negalios negauna daugelio paslaugų, kurios yra lengvai prieinamos gerai matantiems žmonėms arba dėl paslaugų teikėjų elementarių žinių ir įgūdžių stokos, dažnai suteikiamos labai prastos kokybės paslaugos ir savarankiškai negali naudotis informacija autobusų, geležinkelio stotyse, oro uostuose, bankuose ir kt. Akliesiems labai sunku, o dažnai – neįmanoma susiorientuoti prekybos centruose. Jie negali susirasti reikalingų produktų, perskaityti informacijos ant etikečių, pakuočių. Šitaip žmogus kiekvieną kartą yra verčiamas prašyti aplinkinių pagalbos, tampa nuo jų priklausomas. Tai prieštarauja Lietuvos įstatymams, tarptautinėms sutartims bei konvencijoms, lygių galimybių nuostatomis. Taip pat pastebėta, jog aklieji Lietuvoje negali naudotis ir piniginiiais banknotais, nes ant jų suformuoti iškilūs reljefiniai

elementai, dėl netinkamai parinktos vietos ir netinkamos technologijos, yra sunkiai nuskaityti.

Aklųjų raštu yra spausdinamos įvairios knygos ir kiti leidiniai. BR gali būti pateikta beveik visų rūšių informacija – nuo autobusų tvarkaraščio, informacinių lentelių iki natų, paveikslų ir net cheminių formulių.

Vykdamas Europos Sąjungos 2004/27/EC direktyvą [6], nuo 2005 m. spalio pabaigos Lietuvoje įvestas reikalavimas, kad visų farmacijos produktų, skirtų žmonėms, pakuotėse būtų pateikta informacija Brailio raštu. Šis reikalavimas įsigaliojo tik nuo 2012-01-01 d. ir šiuo metu BR yra naudojamas ir sutinkamas tik kartoninėse vaistų pakuotėse [7].

Šiuo metu Lietuvoje BR plačiausiai naudojamas išpaudimo būdu suformuotas kartoninėse pakuotėse, nors gali būti taikomi ir kt. iškilųjų elementų formavimo būdai, t.y. trafaretinė spauda, termografija, skaitmeninė rašalinė spauda. Būtų tikslinga Brailio raštą naudoti ne tik vaistų pakuotėms, bet ir kitos paskirties prekėms – maisto, drabužių, chemijos gaminių pakuotėms ir etiketėms iš skirtingų medžiagų (polimero, tekstilės, folijos, metalo, stiklo ir kt.), naudojant iškilųjų elementų formavimo technologijas. Šių spaudos būdų gilesni tyrimai išplėstų BR naudojimo galimybes ant skirtingų medžiagų. Tai labiau akluosius integruotų į visuomenę, padidintų žmogaus mobilumą ir savarankiškumą.

BR poreikio ant pakuočių bei etikečių klausimais bendraujama su Lietuvos aklųjų ir silpnaregių sąjunga, Ukrainos spaudos universiteto ir Varšuvos technikos universiteto mokslininkais. Lietuvos spaustuovės iki šiol neturi moksliniais tyrimais parengtos Brailio rašto spausdinimo metodikos, tinkančios skirtingiems spaudos būdams, o taip pat ir Brailio rašto formavimui tinkančioms medžiagoms.

Pastaraisiais metais Lietuvoje, Vilniaus Gedimino technikos universitete Biomechanikos katedroje bei Kauno technologijos universitete sukurti taktiliniai įrenginiai akliems. Tačiau kokybiško BR pateikimo klausimas šiuose tyrimuose nebuvo nagrinėjamas.

Šiame disertaciniame darbe ištirta ir pasiūlytos naujos BR taškų formavimo technologijos ant įvairių iki šiol nenaudotų medžiagų, tam taikant specialias BR formuojančias medžiagas. Ištirtas BR taškų geometrinių ir fizikinių parametrų stabilumas, atliktas skaitmeninis fizikinių parametrų modeliavimas.

Darbo tikslas

Disertacijoje formuluojamas **darbo tikslas** – nustatyti Brailio rašto taškų ir reljefinių elementų fizikinių-mechaninių parametrų stabilumą, įvertinant medžiagų tipą, formavimo būdą ir eksploatacines sąlygas. Tikslui pasiekti būtina išspręsti šiuos **uždavinius**:

1. Atlikti Brailio rašto taškų ir reljefinių elementų mokslinės literatūros apžvalgą.

2. Išskiriant amžiaus grupes, nustatyti skirtingais spaudos būdais suformuoto Brailio rašto taškų parametrus, tenkinančius aklųjų poreikius.

3. Sudaryti metodiką Brailio rašto taškų ir reljefinių elementų geometrinių ir fizikinių parametrų eksperimentiniams ir skaitmeniniams tyrimams atlikti.

4. Atlikti Brailio rašto, suformuoto skirtingais būdais ant įvairių medžiagų (popieriaus, kartono, audinio, polimero, folijos), geometrinių ir fizikinių parametru tyrimą, įvertinant medžiagų savybes, klimatinės ir eksploatacines sąlygas.

5. Atlikti BR, suformuoto skaitmeniniu būdu lipniose etiketėse ir trafaretiniu būdu popieriuje, spaudos technologinių režimų optimizavimą.

6. Atlikti Brailio rašto taškų ir reljefinių elementų įtempių fototamprumo metodu tyrimą ir skaitmeninį fizikinių parametru modeliavimą.

Darbo naujumas ir jo reikšmė

Panaudojant pasirinktą metodiką, ištirtas Brailio rašto, suformuoto skirtingomis technologijomis ant skirtingų medžiagų geometrinių ir fizikinių parametru stabilumas. Ištirti BR taškų geometriniai ir fizikiniai parametrai, panaudojant specialius dažus ir laką. Nustatytos BR spausdinimui tinkamos medžiagos ir optimalūs spausdinimo technologiniai parametrai. Nustatytas polimeriniuose gaminiuose su BR ir reljefiniais elementais įtempių pasiskirstymas, kas turi tiesioginės įtakos galutinei gaminių kokybei.

Tyrimams atlikti taikyti eksperimentiniai, tame tarpe ir fototamprumo, ir skaitmeniniai tyrimo metodai, kurių metodika sudaryta, naudojantis moksliniais straipsniais, gamintojų pateiktais duomenimis ir rekomendacijomis.

Tyrimų pagrindu išplėsta Brailio rašto (BR) taikymo sritis, kas sudaro sąlygas aklujų integracijos į visuomenę didinimui.

Ginamieji disertacijos teiginiai

1. Farmacinėse kartono pakuotėse išpausto BR pagrindiniai geometriniai parametrai (BR taško aukštis, skersmuo ir atstumas tarp šių taškų) apsprendžia skirtingų amžiaus grupių, turinčių regėjimo negalią, teisingą informacijos nuskaitymą.

2. Mechaninis ir temperatūrinis poveikis bei senėjimas neigiamai įtakoja BR, suformuoto skirtingose medžiagose, geometrinius ir fizikinius parametrus.

3. Skaitmeniniu būdu atspausdintų Brailio rašto taškų geometrinių parametru dydžius įtakoja technologiniai parametrai: spausdinimo greitis, slėgis ir lako temperatūra.

4. Trafaretinėje spaudoje naujų medžiagų (trafaretiniai dažai su termo milteliais) naudojimas leidžia išgauti didesnio reljefo Brailio rašto taškus.

5. Polimeriniuose gaminiuose su BR taškais ir reljefiniuose elementuose susiformavę liekamieji įtempiai mažina šių gaminių ilgaamžiškumą.

Darbo aprobavimas

Mokslinis darbas atliktas vykdant tarptautinį Lietuvos – Jungtinių Amerikos Valstijų mokslo projektą: „*Development of novel optical methods for defectoscopy of polymer films for polygraphic and packaging manufacturing*“ (projekto vykdymo laikotarpis: 2012–2015). Projekto vadovai: KTU prof. habil. dr. Edmundas Kibirkštis ir Lehig universiteto (LU) prof. habil. dr. A. Voloshin.

Tiriamąjį darbo temą paskelbta 11 publikacijų; iš jų 4 straipsniai publikuoti „ISI Web of Science“ leidiniuose, turinčiuose citavimo indeksą. Be to, disertacijos

tema yra parengtas ir įteiktas redakcijai straipsnis žurnalui „Materials Science“. Šiam straipsniui yra atlikta ekspertizė. Kitas straipsnis po recenzavimo yra rengiamas žurnalui „Microscopy Research and Technique“.

Darbo rezultatai buvo pristatyti 5 tarptautinėse, 3 respublikinėse ir kt. konferencijose:

1. 7 tarptautinė konferencija „*Mechatronic Systems and Materials (MSM 2011)*“, „Investigation of geometrical and physical – mechanical parameters of Braille by assessing the materials“ (bendraautoriai: Edmundas Kibirkštis, Volodymyr Mayik, Diana Vakulich). 2011 m. liepos 7–9 d., KTU, Kaunas, Lietuva.

2. LMA II-oji jaunųjų mokslininkų konferencija „*Fizinių ir technologijos mokslų tarpdalykiniai tyrimai*“, „Kartoninių ir plastikinių pakuočių medžiagų mechaninių charakteristikų tyrimai statinio ir dinaminio apkrovimo atveju“ (bendraautoriai: Miliūnas Valdas, Gegeckienė Laura). 2012 m. vasario 14 d., Lietuvos mokslų akademija, Vilnius, Lietuva.

3. 17 tarptautinė konferencija „*Mechanika-2012*“, „Investigation of formation of Braille font and resistance to mechanical effect“ (bendraautoriai: Kibirkštis Edmundas, Mayik Volodymir, Dudok Taras, Vasylykiv Yuriy). 2012 m. balandžio 12–13 d; KTU, Kaunas, Lietuva.

4. Tarptautinė mokslinė-praktinė konferencija „*Inovacijos leidybos, poligrafijos ir multimedijos technologijose*“, „Investigation of qualitative parameters of Braille formed in packages“ (bendraautoriai: Kibirkštis Edmundas, Lydekaitytė Justina). 2012 balandžio 18–19, Kauno kolegija, Kaunas, Lietuva.

5. Studentų respublikinė konferencija „*Gaminių technologijos ir dizainas*“, „Lazerinės optikos ir kitų tyrimo metodų analizė tiriant popieriaus-kartono, pakuočių fizikines savybes ir mechanines charakteristikas“ (bendraautoriai: Lydekaitytė Justina, Kibirkštis Edmundas). 2012 balandžio 27 d., KTU, Kaunas, Lietuva.

6. VII tarptautinė mokslinė-praktinė konferencija „*Квалілогія книги*“, „Resistance to mechanical effect of Braille dot surface, formed on different materials“ (bendraautoriai: E. Kibirkštis, J. Lydekaitytė) 2012 birželio 6 d., UAD, Lvovas, Ukraina.

7. I tarptautinė mokslinė-praktinė konferencija „*Пакувальна індустрія: сучасні тенденції розвитку та підготовка кадрів*“, „Investigation of Braille parameters“ (bendraautoriai: E. Kibirkštis, V. Mayik, K. Vaitasius). 2012 lapkričio 8 d., UAD, Lvovas, Ukraina.

8. Respublikinė konferencija „*Medžiagų inžinerija 2012*“, pranešimas: „Brailio rašto, suformuoto ant skirtingų medžiagų, kokybinių parametrų tyrimai“ (bendraautoriai: Kibirkštis Edmundas). 2012 lapkričio 16 d., KTU, Kaunas, Lietuva.

9. Respublikinė konferencija „*Medžiagų inžinerija 2013*“, „Brailio rašto, suformuoto tradicine trafaretine spauda ir dažais su termo milteliais, terminė analizė“ (bendraautoriai: S. Havenko, V. Kochubei, M. Labetska, S. Khadzhyanova, E. Kibirkštis). 2013 lapkričio 15 d., KTU, Kaunas, Lietuva.

10. Jaunųjų mokslininkų konferencija „*Pramonės inžinerija 2014*“, „Kartoninių pakuočių apdailos technologinių procesų analizė“ (bendraautorė: V. Lelešiūtė). 2014 gegužės 8 d., KTU, Kaunas, Lietuva.

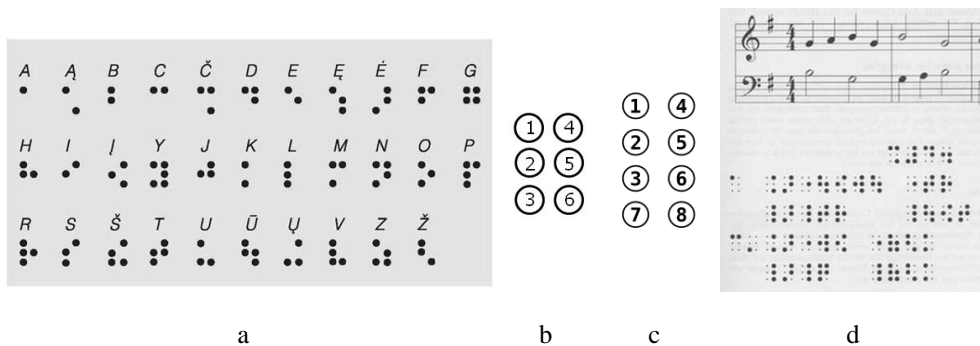
Disertacijos apimtis ir struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, 4 dalys, svarbiausios apibendrintos darbo išvados, literatūros sąrašas iš 98 šaltinių ir autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas. Disertacijos apimtis – 107 puslapiai, 86 iliustracijos, 18 lentelių ir 7 puslapiai priedų.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Brailio rašto tipai ir jam keliami reikalavimai

Brailio raštas (BR) – toks raštas, kuriame raidės ar kt. elementai išreikšti taškais. BR elementas (raidė, skaičius ar kt.) susideda iš šešių taškų, išdėstytų tinklulyje po tris taškus dviejuose stulpeliuose: du taškai horizontaliai ir trys taškai vertikaliai. Taškai tradiciškai sunumeruoti nuo 1 iki 3 iš viršaus į apačią kairiame stulpelyje ir nuo 4 iki 6 iš viršaus į apačią dešiniame stulpelyje (žiūr. 1.1 pav. b). Suformuojant BR elementą, taškas išdėstomas bet kokioje šešių taškų padėtyje (žiūr. 1.1 pav. a). Tokių rašto taškų kombinacijų gali būti šešiasdešimt trys ir jais užrašomos visos lotyniškos abėcėlės raidės, skyrybos ženklai, skaitmenys ir netgi muzikiniai simboliai (Brailio muzikinė notacija) (1.1 pav. d) [8]. Pirštų galais liesdamas reljefinius elementus, akklasis skaito: viena ranka skaitomi taškeliai, o kita – užčiuopiama eilutė. Sutinkamas ir aštuonių taškų BR (1.1 pav. c), kuris naudojamas kompiuterinių sistemų aplinkoje [9].



1.1 pav. Brailio rašto pavyzdžiai: a) Brailio rašto lietuviškoji abėcėlė; b) šešių taškų Brailio rašto elementas; c) aštuonių taškų Brailio rašto elementas; d) Brailio raštu užrašytos natos [5]

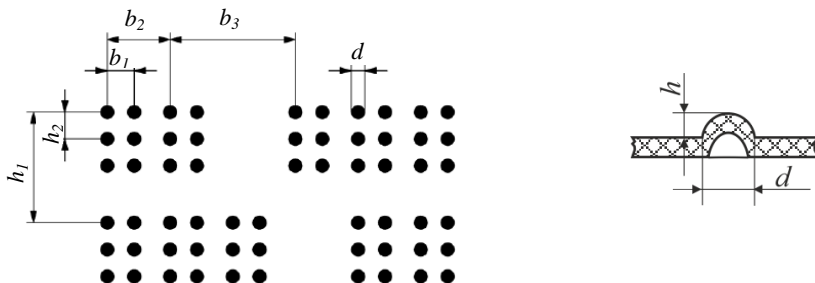
BR yra naudojamas daugelyje pasaulio šalių. Įvairiose šalyse, kuriose galioja direktyvos dėl akliųjų rašto specifikacijos, gali būti taikomi skirtingi reikalavimai, kuriuose skiriasi Brailio taškų vieta, atstumai tarp eilučių, taškų dydis ir kt. parametrų dydžiai (žr. 1 priedas 1 lent.) [10].

Lietuvių kalbai Brailio rašto abėcėlė buvo pritaikyta prieš aštuoniasdešimt metų. Ji yra fonetinė. Be to, kai kuriose kalbose vartojamas trumparaštis – pavyzdžiui, vokiečiai vietoj artikelio „das“ dažnai palieka tik „s“ [11].

Brailio rašto, naudojamo pakuotėse, reikalavimai sudaryti atsižvelgiant į pateiktas pakuočių ar medžiagų gamintojų bei akliųjų bendrijų rekomendacijas. Pavyzdžiui, Europos kartono gamintojų asociacija (ECMA, angl. European Carton Makers Association), atsižvelgdama į Brailio rašto naudojimą Europoje, pateikė reikalavimus BR naudojimo lankstomose pakuotėse [12], Europos akliųjų sąjunga (EBU, angl. European Blind Union) taip pat pateikusi rekomendacijas [13] BR geometriniais parametrams.

Visose ES šalyse farmacinėms pakuotėms rekomenduojama naudoti tokio dydžio Brailio rašto geometrinius parametrus, kurie būtų ne mažesni už Marburgo

vidutinio (angl. Marburg Medium) reikalavimuose nurodytus [14]. Europos sąjungos šalims yra taikomas standartas EN 15823:10, kuris atskirose šalyse yra adaptuotas ir nacionalizuotas, pvz. Lietuvos standartas LST EN 15823:10 [7]. Šis standartas sudarytas remiantis Birmingemo universitete atliktais ir 2008 m. sausio 31 d. paskelbtais rezultatais: „Brailio rašto taško aukščio tyrimas: Brailio rašto taško ant farmacijos pakuočių iškilimo tyrimai“ (angl. „Braille Dot Height Research: Investigation of Braille Dot Elevation on Pharmaceutical Products“) rezultatais [15]. Pagrindiniai reikalavimuose apibrėžti parametrai ir jų dydžiai pateikti 1.2 pav. ir 1.1 lentelėje [7, 15].



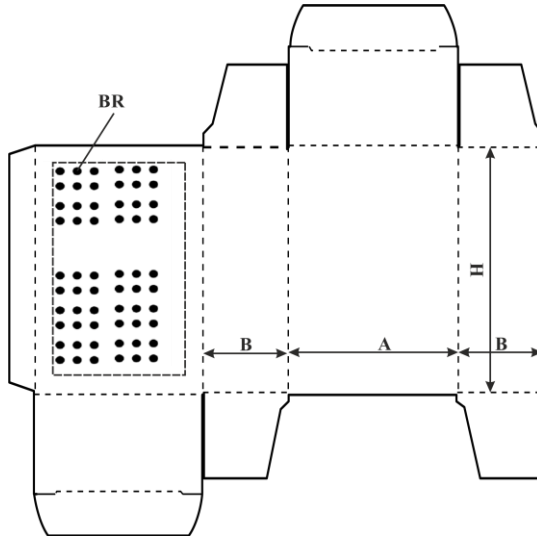
1.2 pav. Brailio rašto pagrindiniai geometriniai parametrai: d – BR taško skersmuo; b_1 – horizontalus atstumas tarp BR taškų; b_2 – horizontalus atstumas tarp BR elementų; b_3 – atstumas tarp BR žodžių; h_1 – atstumas tarp BR eilučių; h_2 – vertikalus atstumas tarp dviejų BR taškų centrų; h – BR taško aukštis

1.1 lentelė. Brailio rašto parametų dydžiai [7, 15]

Parametro apibūdinimas	Žymėjimas	Dydis, mm
Horizontalus atstumas tarp BR taškų centrų	b_1	2,5
Horizontalus atstumas tarp BR elementų (raidžių)	b_2	6,0
Atstumas tarp BR žodžių	b_3	12,0
BR taško skersmuo	d	1,6
Atstumas tarp BR eilučių	h_1	10,0
Vertikalus tarpas tarp dviejų BR taškų centrų	h_2	2,5
BR taško aukštis	h	0,2
Atstumas nuo pakuotės lenkimo linijos	L	8,0

BR turėtų būti formuojamas ant pagrindinės sulankstomos dėžutės pusės. Jei BR suformavimui vienos pusės nepakanka, nes gana ilgas pavadinimas, tuomet jis pateikiamas dviejose pagrindinėse pakuotės pusėse (žr. 1.3 pav.). Pirmiausiai yra spausdinama visa pakuotės informacija, o vėliau suformuojamas Brailio raštas, kuris turi būti 8 mm atstumu nuo lenkimo ir iškirtimo linijų. Be to, BR negali būti toje vietoje, kur klijuojamos etiketės, spausdinami brūkšniniai kodai ir atliekama perforacija. Atsižvelgiant į šiuos reikalavimus, BR gali būti suformuojamas toje pakuotės vietoje, kur yra atspausdinta informacija, tačiau tai gali sumažinti

įskaitomumą silpnaregiams žmonėms. Pabrėžtina, jog reljefiniai BR taškai yra formuojami išilgine popieriaus liejimo kryptimi [12].



1.3 pav. Brailio pozicionavimas sulankstomose pakuotėse: *BR* – informacija Brailio raštu, *A* – pakuotės pagrindinė pusė, *B* – pakuotės šoninė pusė, *H* – pakuotės aukštis

Reikalavimų laikymasis yra labai svarbu, nes vieno taško netinkamas suformavimas arba nebuvimas gali visiškai pakeisti prasmę, o tai, jei kalbant apie medicininės pakuotes, gali sukelti labai rimtų pasekmių.

1.2. Akliesiems skirtų reljefinių atvaizdų ypatumai

Taktiliniai ar reljefiniai elementai yra būtini savarankiškai aklių kasdienybei, pavyzdžiui buitinei, profesinei, laisvalaikio veiklai. Skirtingo pobūdžio atvaizdai gali perteikti įvairių informaciją, kurios jokiais kitais būdais (pvz. aprašymo) nepavyktų išreikšti [16, 17].

Grafiniai atvaizdai akliesiems asmenims yra tokie pat reikalingi, kaip ir regintiesiems. Dažniausiai yra susiduriama su problema – jų tinkamumu lytėjimo suvokimui. Problemos, susijusios su grafinių atvaizdų, skirtų akliesiems, kūrimo praktika, šiuo metu yra lygiai taip pat aktualios, kaip ir tos praktikos atsiradimo pradžioje. Būdai raštui ir atvaizdams perkelti į taktilinį formatą pradėti ieškoti panašiu metu – XVIII a. pabaigoje. Jei raštui tinkamas būdas (Brailio raštas), nors ir po ilgų bandymų, tačiau buvo surastas ir sėkmingai naudojamas iki šiol, tai atvaizdai vis dar yra „eksperimentavimo zonoje“, nepaisant to, kad yra išleistas ne vienas praktinis vadovas, turintis padėti išvengti klaidų kuriant atvaizdus, skirtus suvokimui lytėjimu [18].

Akimis galima atskirti daugybę raštų tame pačiame piešinyje, o pirštais galima suvokti skirtumus tik tarp kelių faktūrų. Reljefiniai piešiniai ir elementai suteikia akklajam galimybę suvokti struktūrinį daikto aprašą [19].

Arnheim R. pastebėjo [20], kadangi jutiminis suvokimas yra struktūrinių bruožų suvokimas, akliesiems lengviau atpažinti paprastus linijinius piešinius nei

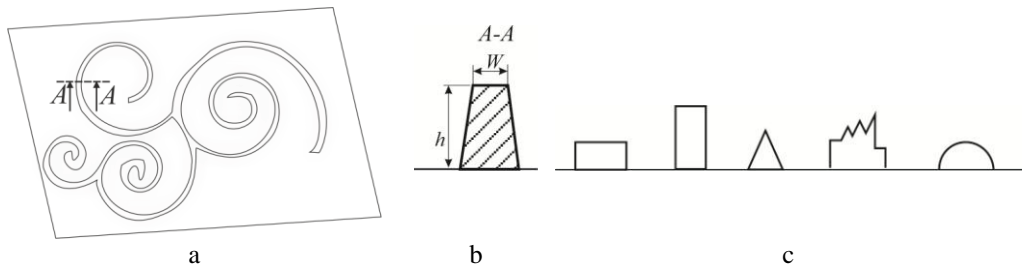
fotografinio sudėtingumo realistinius paveikslus. Lytėjimu tiriamas kiekvienas atvaizdo elementas paeiliui. Taktilinis, lytėjimu suvokiamas, grafinis atvaizdas yra atvaizdas tiek, kiek jį suvokiant susidaromas vaizduojamo objekto vaizdinys arba, jei kūrinys abstraktus – kompozicijos visuma [19, 20]. Labai svarbu yra, kad reljefinį paveikslą sudarytų aiškios ir paprastos formos, svarbu yra teisingas reljefinės grafinės medžiagos išdėstymo pobūdis [19–21], teksto ir reljefinių elementų santykis [21–23].

Daug dėmesio yra skiriama taktilinių žemėlapių kūrimui ir jų suvokimui. Šioje srityje pastaruoju metu dirba Graf C. (Brėmeno Universitetas) [24–26], McCallum D. [27, 28], Jehoel S., Rowell J. ir Ungar S. (Surray Universitetas) [28].

Be to, žmonių sugebėjimas atskirti skirtingas faktūras [29] labai skiriasi priklausomai nuo amžiaus, išsilavinimo ir patirties [18, 19], o, pavyzdžiui, silpnaregiams labai svarbūs yra tinkami spalvų kontrastai [30].

Reljefiniams paveikslams atvaizduoti naudojamos skirtingos technologijos. Tokių technologijų pasirinkimas priklauso nuo vaizdų pobūdžio, nuo jų kiekio, nuo tiražo, siekiamo ilgaamžiškumo ir pan. Dažniausiai praktikoje sutinkami reljefiniai/taktiliniai vaizdai ir jų išpildymo technologijos pateiktos 1 priede 2 lentelėje.

Reljefiniai vaizdai gali būti išgaunami skirtingomis technologijomis. Jie gali būti sudaryti iš iškilusių plokštumų, reljefinių kontūrų bei sudaryti iš taškelių kontūro ar visumos. Formuojant reljefinius elementus spausdinimo būdu ar įspaudimu taškai gali būti įvairių formų [27] (1.4 pav.).








1.4 pav. Reljefiniai vaizdai (a), jų elementų profilis (b) (A-A): h – reljefinio elemento aukštis, W – reljefinio elemento plotis ir galimos reljefinių elementų formos (c)

1.3. Pakuotėms su Brailio raštu naudojamos medžiagos

Šiuo metu Lietuvoje suformuotas Brailio raštas sutinkamas tik farmacinėse pakuotėse. Šių pakuočių gamybai dažniausiai naudojamas kartonas, kuris užima didžiausią pakavimo medžiagų rinkos dalį pasaulyje, kadangi jis yra pigus, lengvai suyrantis gamtoje ir suteikiantis pakankamą apsaugą nuo žalingo aplinkos poveikio.

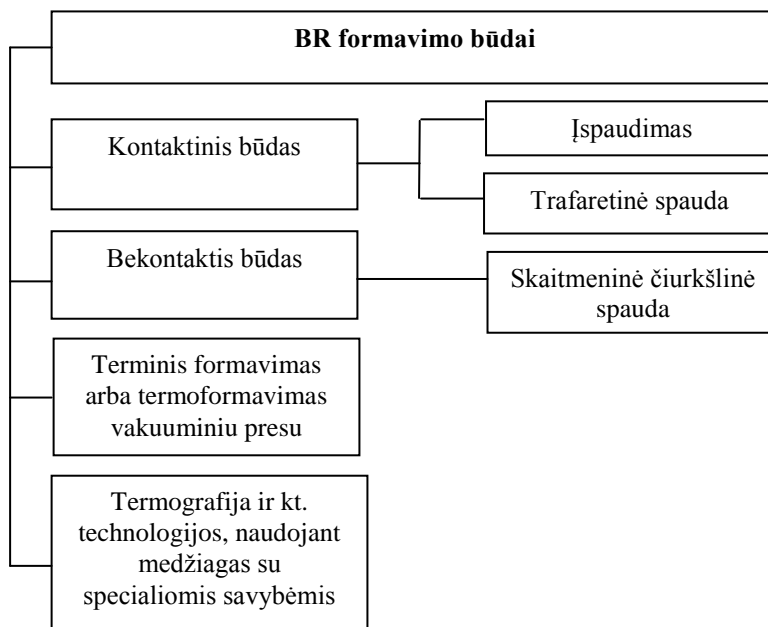
Farmacinėms pakuotėms, kaip ir kitų produktų pakuotėms, dažniausiai yra naudojami kartono tipai Alaska GC2, Arktika GC1, Multicolor Mirabell GD2 (1.2 lent., 2 priedas 1 lent.). Pagrindinės pakuočių su Brailio raštu medžiagų panaudojimo sritys yra pateikiamos 1.2 lentelėje.

1.2 lentelė. Pakuotėms su Brailio raštu naudojamų medžiagų privalumai ir trūkumai

Skirtingų medžiagų ypatybės					
Medžiaga	Popierius ir kartonas	Plastikas	Metalas	Stiklas	Audinys
Pavyzdys					
Naudojamos medžiagos privalumai	Gamybos metu neišsiskiria kenksmingos medžiagos. Lengvas ir pigesnis, nei kitos žaliavos. Lengvai apdirbama bei perdirbama medžiaga.	Lengvesnis nei stiklas. Lengvai ir greitai apdirbamas ir formuojamas. Sandariai uždarytas indas apsaugo nuo žalingo aplinkos poveikio. Platus asortimento pasirinkimas: spalvos, formos, dydžiai.	Atsparus aplinkos poveikiui. Stiprus ir standus. Lengvai perdirbamas.	Gerai apsaugoje esantį produktą. Maža sąveika su aplinka. Sandariai uždarytas indas geriausiai apsaugo nuo žalingo aplinkos poveikio. Lengvai perdirbamas.	Galima skalbti, lankstyti.
Naudojamos medžiagos trūkumai	Mažai apsaugano žalingo aplinkos poveikio.	Sunkiai suvargamtoje, ją teršia. Gamybos metu išskiriamos aplinkai kenksmingos medžiagos. Gali pakeisti inde esančio maisto skonį.	Teršia aplinką. Dažniausiai pakuotė būna sunkiai atidaroma.	Sunkesnis nei kitos pakavimo medžiagos. Trapi medžiaga, eksploatuojant reikia saugoti, kad nesudužtų.	Brailio raštas gali būti formuojamas tik tam tikromis technologijomis.
Brailio rašto formavimo būdai	Išspaudimas, trafaretinė spauda, skaitmeninė čiuurkšlinė spauda, termografija.	Trafaretinė spauda, skaitmeninė čiuurkšlinė spauda, termoformavimas.	Išspaudimas, trafaretinė spauda, skaitmeninė čiuurkšlinė spauda, termografija.	Trafaretinė spauda, skaitmeninė čiuurkšlinė spauda, termografija.	Trafaretinė spauda, skaitmeninė čiuurkšlinė spauda.

1.4. Brailio rašto ženklų formavimo būdai

Priklausomai nuo naudojamų medžiagų, nuo taikymo srities ir paskirties, Brailio rašto elementai gali būti formuojami skirtingais būdais (1.5 pav.).



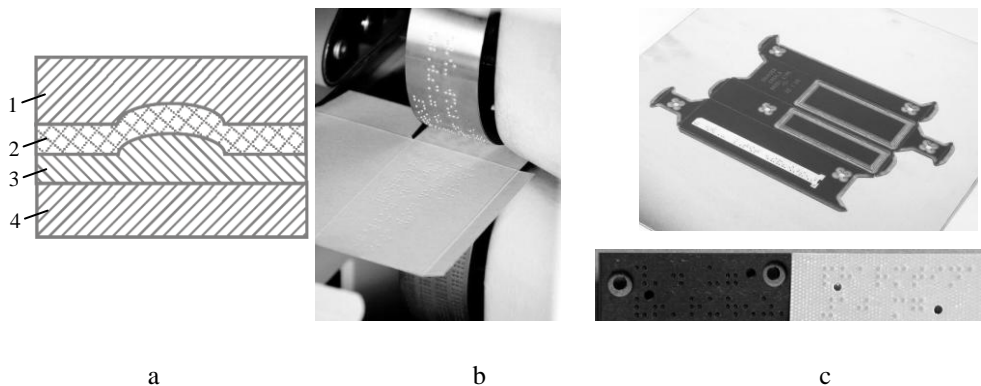
1.5 pav. BR elementų formavimo būdai

Šiuo metu BR plačiausiai naudojamas kartoninėse pakuotėse. Europos šalyse plačiausiai yra sutinkami šie BR formavimo būdai [6, 7]:

- BR įspaudimas ant kartono;
- BR spausdinimas ant lipnių etikečių trafaretine ir skaitmenine spauda, kurios prikljuojamos ant pakuotės.
- BR suformavimas, panaudojant specialių spausdintuvų galimybes, kuomet ant kartono užpurškiami tam tikri dažai (medžiaga), kurie po reakcijos sudaro reljefinius elementus [6, 7].

Įspaudimo technologija formuojamas Brailio raštas

Šis būdas yra plačiausiai paplitęs, formuojant Brailio raštą kartoninėse pakuotėse. Įprastai BR įspaudžiamas naudojant tradicinę metalinio įspaudos smūgiavimo technologiją. Formuojant įspaudimo būdu BR, pakuotės arba etiketės medžiaga yra dedama tarp dviejų plokštumų (žr. 1.6 pav. a) ir veikiant jėgai, matricos pagalba yra suformuojamas Brailio raštas [7]. Brailio aukštis reguliuojamas, keičiant atstumą tarp dviejų plokštumų. BR gali būti formuojamas rotaciniu arba plokščiu įrenginiu (žr. 1.6 pav. b, c). Taip pat BR gali būti įspaudžiamas, naudojant metalinio įspaudos smūgiavimo technologiją, naudojant elektromagnetą [32]. Technologinio proceso ekonomiškesniam pasiekimui kartu su įspaudimu yra naudojamas pakuotės lankstymas ir kljivimas [33].



1.6 pav. Įspaudimo principas (a): 1 – puansonas; 2 – medžiaga; 3 – matrica; 4 – matricos pagrindas [7] ir išspaudžiamo Brailio rašto formavimo įranga: Panmer Alba Braille rotacinis išspaudimo modulis (b); plokščio išspaudimo štampos (c) [<http://www.panmer.net>]

Įspaudimas yra veiksmingas būdas, sukurti reljefinius elementus ir vaizdus, tačiau būtina štampos gamyba, kas padidina išspaudimo proceso išlaidas, ir BR taškus galima išgauti riboto dydžio. Be to, išspaudimo būdu formuojant BR, tinkamų elementų suformavimui iškyla daug technologinių niuansų, pavyzdžiui, parametrų dydžiams įtakos turi formavimo metu veikiantis slėgis, kuris gali sukelti medžiagos įtrūkimus [34].

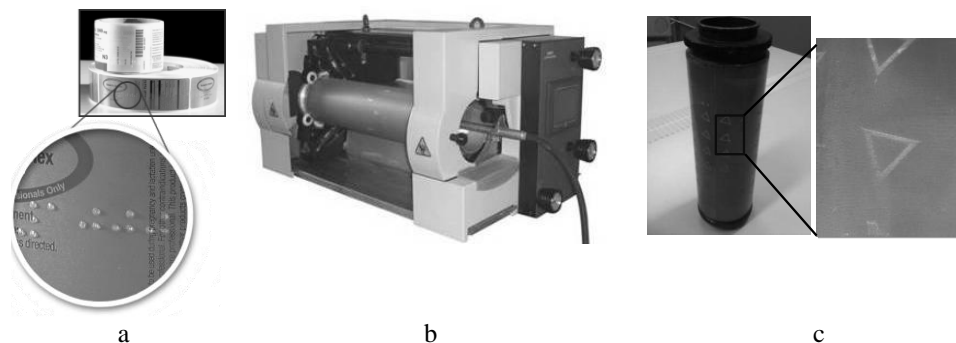
Trafaretiniu būdu spausdinamas Brailio raštas

Trafaretiniu būdu dėl storo dažų sluoksnio lengva išgauti reljefinius vaizdus ir galima spausdinti ant įvairių medžiagų: popieriaus, kartono, tekstilės, metalo bei medžiagų, padengtų polietilenu (PE) ir polipropilenu PP, lipnios folijos, PET, poliesterio padengto folija, PVC ir kt [35, 36]. Spausdinant Brailio raštą trafaretine spauda, BR nuskaitymas priklauso nuo medžiagos tipo ir BR geometrinių parametrų dydžio [37]. Siekiant išgauti norimą reljefinio vaizdo dydį, trafaretinis atvaizdas yra papildomai šildomas. Reljefiniams (taktiliniams) elementams išgauti trafaretinėje spaudoje yra naudojami tradiciniai trafaretiniai arba vandens pagrindo UV kietėjantys skaidrūs dažai (lakas), pasižymintys aukštu klampumu, bekvapiai, greitai džiustantys ir gerų adhezinių savybių [38].

Spausdinimas trafaretiniu būdu yra nuoseklesnis ir patikimesnis nei išspaudžiant (t.y. mažesnė standartinė nuokrypa). Be to, kadangi yra spausdinama skaidriais dažais, tai nepablogina ir spausdintos informacijos įskaitomumo [7, 39]. Spausdinant BR trafaretine spauda, užtikrinamas elementų geras nuskaitymas [40], tačiau tai palyginus lėtas ir brangus būdas, nes savikainą gerokai padidina spaudos formų (trafaretų) ir lako kaina.

BR pakuotėse gali būti formuojamas integruojant ir klijuojant atspausdintas etiketes (1.7 pav.) trafaretiniu būdu. Tačiau naudojant tokio tipo etiketes, atsiranda galimybė, jog etiketė bus užklijuota ant netinkamos pakuotės.

BR spausdinimas trafaretine spauda išplečia BR naudojimo sritį, nes yra galimybė spausdinti ant įvairių medžiagų.

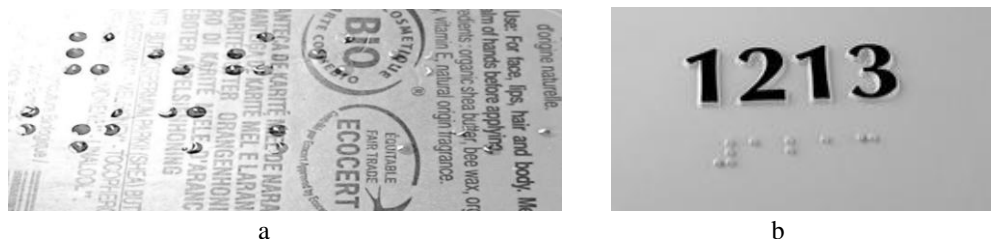


1.7 pav. Etiketė trafaretine spauda suformuotu Brailio raštu (a), rotacinis trafaretinės spaudos įrenginys (b) ir trafaretinė spaudos forma su suformuotais spausdinamaisiais elementais (c)

BR spausdinamas skaitmenine rašaline (čirukšline) technologija

Vienas iš novatoriškiausių ir lanksčiausių sprendimų yra BR spausdinimas skaitmenine rašaline (angl. ink-jet) spauda, kai Brailio rašto taškai spausdinami didelio klampumo skaidriais UV džiovinamais dažais (laku) ant įvairių medžiagų. Kadangi dažai yra bespalviai, tad kaip ir trafaretine spauda, neuždengiamas po juo esantis fonas (1.8 pav. a).

Reljefiniams elementams išgauti naudojamos dviejų tipų rašalinio spausdinimo technologijos: nuolatinio rašalo purškimo (CIJ, angl. continuous inkjet) principu ir rašalo nutrūkstamo purškimo (DOD, angl. drop on-demand) [41]. Brailio rašto taško dydžiui įtakos turi naudojamų dažų klampumas ir spausdinamosios medžiagos paviršiaus įtempiai [27, 42, 43].



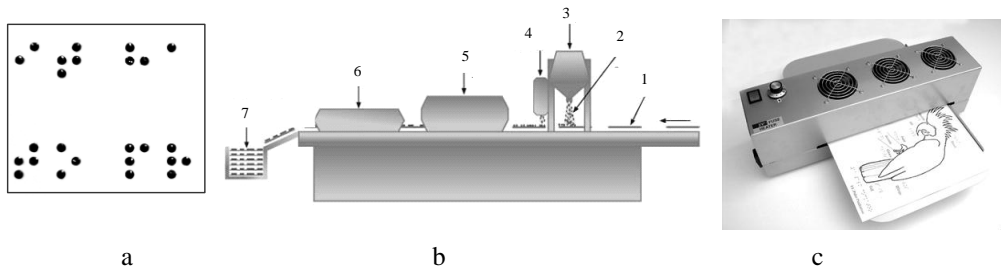
1.8 pav. BR suformuotas skaitmenine rašaline spauda (a) ir termoformavimo būdu (b)

Pagrindiniai privalumai, palyginus su trafaretine spauda ir įspaudimu yra tai, jog gali būti spausdinama ant įvairių medžiagų, galima spausdinti mažais tiražais, galima spausdinti individualius su kintama informacija duomenis.

BR spausdinimas termografija

Termografijoje yra naudojamos tokios medžiagos, kurias paveikus temperatūra padidinamas tūris bei išgaunami iškilę elementai, suformuojant BR būtinus geometrinius parametrus. Ant pagrindo atspaudus dažus ar laką užnešami specialūs termografiniai mažadispersiniai milteliai ir paveikus temperatūra (šildant) suformuojami reljefiniai elementai ar BR. Termografija yra naudojama su tradiciniais spaudos būdais. Pavyzdžiui, specialiais dažais ofsetine spauda

atspausdintas atspaudas dar neišdžiūvęs konvejeriu transportuojamas į termografinį įrenginį, kuriame užnešami termografiniai milteliai (termoplastiniai, 07 dispersiškumo klasės), vakuomo pagaba pašalinamas perteklius ir specialioje kaitinimo kameroje vykdomas šildymas (2,5–3,0 s), kuomet milteliai lydomi aukštoje 270–300 °C temperatūroje pradeda tirpti ir vėliau aušinimo zonoje vykdomas sukietinimas, suformuojant reljefinius elementus (1.9 pav. a, b) [44].



1.9 pav. BR (a) formuojamas termografiniu įrenginiu (b): 1 – atspaudai, 2 – termografiniai milteliai, 3 – termografinių miltelių padavimo sekcija, 4 – vakuumas, 5 – kaitinimo sekcija, 6 – aušinimo sekcija, 7 – produkcijos išėjimo sekcija; reljefiniai vaizdai, formuojami ant mikrokapsulinio popieriaus specialaus įrenginio pagalba (c) [32]

Ši BR formavimo technologija gali būti naudojama ir su rašaliniiais spausdintuvais [44], skaitmeniniais termografiniais įrenginiais [45].

BR spausdinimas ant mikrokapsulinio popieriaus termine spauda

Terminė spauda gali būti atliekama ant mikrokapsulinio popieriaus, kuomet pirmiausiai ruošinys juodais dažais atspausdinamas spausdintuvu (lazeriniu, rašaliniu) ar užnešamas specialaus markerio dėka ant specialaus popieriaus, o vėliau specialiu įrenginiu apšviečiamas (pašildomas) popieriaus paviršius, išgaunant iškilusias vietas (žr. 1.9 pav. c) [32]. Prietaisas dažnai yra vadinamas „reljefinių vaizdų didintuvas“ (angl. Tactile Image Enhancer), o mikrokapsulinis popierius dar yra vadinamas „Minolta“ arba „išsipučiančiu popieriumi“. Lapui praeinant pro įrenginį, vietos, kur yra užnešta juoda spalva, nuo šilumos išsipučia ir sudaro reljefą. Ant šio popieriaus galima spausdinti tiek grafinius, reljefinius vaizdus, tiek Brailio raštą. Šiuo būdu reljefiniai elementai gaunami iškilę apie 0,5–0,7 mm. Šis būdas yra vienas iš lengviausių, norint išgauti reljefinį vaizdą.

BR terminis formavimas

BR formavimui plastike (žr. 1.8 pav. b) yra naudojama reljefinių vaizdų termoformavimo metodika, kai plastikas, esant aukštai temperatūrai, formuojamas vakuuminio presu matricos pagalba. Medžiagos pasirinktas grūdėtumas gali turėti įtakos BR nuskaitomumui. Termoformavimo vaizdai gali būti keletu reljefo lygių ir tokiu būdu galima atskirti vieną vaizdą nuo kito ne tik forma, tačiau taip pat ir skirtingu aukščiu [31]. Kiekvienas Brailio rašto formavimo būdas turi savo privalumų ir trūkumų (žr. 1.3 lentelė). Brailio rašto ant pakuočių formavimui galimi įvairūs būdai, priklausomai nuo naudojamų pakuotės medžiagų (žr. 1.2 lent.) ir nuo tiražo.

1.3 lentelė. Pakuotėms su Brailio raštu naudojamų medžiagų ir spausdinimo būdų privalumai ir trūkumai

Brailio rašto formavimo būdai					
	Įspaudimas	Trafaretinė spauda	Skaitmeninė čiurkšlinė spauda	Termografija	Termoforma- vimas
Ypatumai	BR suformuojamas nuo matricos veikiant spaudimo jėgai. Vienu metu suformuojama ne daugiau kaip 4 eilutės. Suformuojamas 0,2–0,25 mm taško aukštis. Įrenginio greitis 240–260 m/min. Standartinė nuokrypa ne didesnė nei 0,025 mm.	Spausdinamas BR specialiais UV kietėjančiais dažais (laku). Rotacinio įrenginio spausdinimo greitis – 40–100 m/min. Standartinė nuokrypa turi būti ne didesnė kaip 0,010 mm. Išgaunamas 0,2–0,3 mm taško aukštis.	Mikrovožtuvų technologija spausdina BR didelio klampumo skaidriais UV dažais (laku). Vienu metu spausdina BR dvi eilutes, 35–36 m/min greičiu. Išgaunamas 0,18–0,35 mm taško aukštis, taško diametras siekia 1,4–2,0 mm.	Ant pagrindo atspaudus dažus ar laką užnešami specialūs mažadispersiniai milteliai, kurie paveikus temperatūra, prilipę prie dažų tampa reljefiniais.	Plastikas, esant aukštai temperatūrai, formuojamas matricos pagalba vakuuminio presu.
Trūkumai	Labai svarbu tikslus pozicionavimas. Iškilę elementai veikiami mechaninių veiksmų susigardina, ekonomiškai spausdinti tik dideliais tiražais.	Nedidelis greitis, ekonomiškai spausdinti tik dideliais tiražais.	Branži technologija, lakas bei įranga. Spausdinama esant nedideliems tiražams.	Branži technologija ir įranga, naudojama esant mažiems tiražams. Ši technologija yra paprasta, tačiau ir brangi, nes ji reikalauja specialių dažų ar lako.	Medžiagos pasirinktas grūdėtumas gali turėti įtakos BR nuskaitytumui.
Privalumai	Ekonomiška, nes įspaudimo metu gali būti naudojamas pakuotės išskirtimas, lankstymas ir klijavimas. Didelis greitis, nedidelė savikaina, spausdinant dideliu tiražu.	Plačiai naudojamas, nes galima spausdinti ant įvairių medžiagų, gali būti integruojama į iškilios spaudos, fleksografinės spaudos, ofsetinės spaudos mašinas ir karšto folijos įspaudimo įrenginius; geras taškų nuskaitymas. Geras BR taško atsparumas mechaniniams poveikiams.	Spausdinama ant įvairių medžiagų, galima spausdinti mažais tiražais, galima spausdinti individualius su kintama informacija duomenis, aukšta Brailio rašto kokybė ir tikslumas; galima lengvai integruoti į esamas sistemas.	Labai plačios taikymo galimybės dėl termoplastinių miltelių įvairovės bei suderinimo su įvairiais spaudos būdais.	Termoformavimo vaizdai gali būti keletu reljefo lygių ir tokiu būdu galima atskirti vieną vaizdą nuo kito ne tik forma, tačiau taip pat ir skirtingu aukščiu.

1.3 lentelė (tęsinys)

	Įspaudimas	Trafaretinė spauda	Skaitmeninė čiurkšlinė spauda	Termografija	Termoformavimas
Galimos naudoti medžiagos	200–500 g/m ² kartonas.	Popierius, kartonas bei lipnios medžiagos, padengtos polietileno (PE) ir polipropileno (PP) sluoksniu, lipni folija, PET poliesteris padengtas folija, PVC, tekstilė ir kt. medžiagos.	Popierius, kartonas, silikoninės nelakuotos medžiagos, medžiagos, kurių paviršius padengtas PE, PA, PET, aliuminiu.	Popierius, kartonas, mikrokapsulinis popierius.	Plastikas.

1.5. Brailio rašto tyrimo metodų analitinė apžvalga

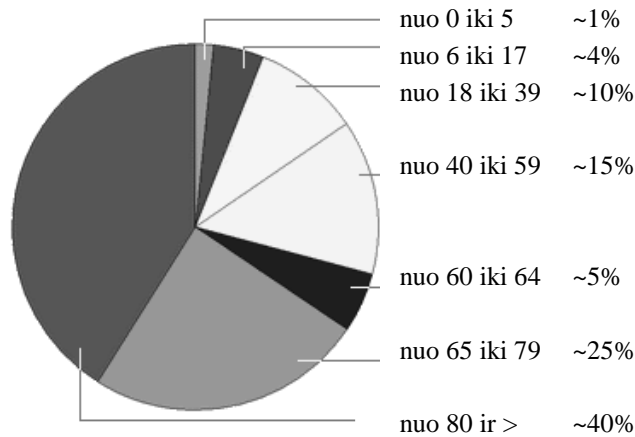
1.5.1. Brailio rašto skaitytojų lytėjimo suvokimas ir jį lemiantys veiksniai

Žmonių sugebėjimas atskirti reljefinius elementus ir perskaityti Brailio raštą labai skiriasi priklausomai nuo amžiaus, tad atliekant BR nuskaitymo tyrimus yra išskiriamos amžiaus grupės. BR nuskaitymo tyrimuose [46] buvo išskirtos dvi skirtingo amžiaus grupės, t.y. vaikai, kurie yra jaunesni nei 16 metų amžiaus ir suaugusieji, kurie vyresni nei 16 metų amžiaus. Kitų tyrimų metu [47], asmenys nuo 9 iki 84 metų, kurių dauguma (93 %) BR išmoko būdami vaikai, suskirstyti į tris amžiaus grupes: iki 18 metų ($n_a = 6$), 18–59 ($n_a = 16$) ir virš 60 metų ($n_a = 5$).

Birmingemo universiteto mokslininkai [15] atlikdami BR nuskaitymo tyrimus, BR skaitytojus, kurių amžius svyravo nuo 15 iki 77 metų, suskirstė į tris amžiaus grupes: <21 metų ($n_a = 11$); 21–59 metų ($n_a = 16$); 60 ir daugiau metų (60+) ($n_a = 18$). Tyrime dalyvavusiųjų skaitytojų dauguma ($n_a = 38$, 84 %) su BR pirmą kartą susipažino mokykloje (nuo 17 metų amžiaus), 11 % ($n_a = 5$) dalyvių BR išmoko būdami tarp 17 ir 59 metų, o likusieji 2 dalyviai (4 %) BR išmoko būdami virš 59 metų amžiaus. Dauguma dalyvių iš amžiaus grupės 60 ir daugiau metų, BR išmoko mokykloje (nuo 14 iki 18 metų, 78 %). Iš tyrime dalyvavusių dalyvių, 21 neregintysis (47 %) teigė, jog Brailio raštu skaito kasdien, 7 (16 %) – skaito tik kartais, esant poreikiui, o likusieji 17 (38 %) buvo galima priskirti tarp vienu ir kitų. Tyrime dalyvavusieji asmenys, kurie tik kartais skaito BR, teigė, jog dažniausiai jį sutinka etiketėse ar pakuotėse [15].

Iš viso skaičiaus regėjimo negalią turinčių žmonių, 70 % yra 60 metų ir vyresni žmonės (žr. 1.10 pav.). Ši amžiaus grupė sudaro apie 20 % visų pasaulio gyventojų ir kaip žinia, vyresnio amžiaus žmonių skaičius daugelyje šalių nuolat didėja [1, 2]. Tad dėl ilgėjančios gyvenimo trukmės ir su tuo susijusių veiksnių, galima manyti, kad visuomenėje regos negalią turinčių žmonių skaičius pastoviai didės. Yra nustatyta, jog 60 metų ir vyresni žmonės blogiau nuskaityto mažesnio aukščio Brailio rašto taškus [15]. BR įskaitomumą lemia daugelis veiksnių. Kadangi BR yra nuskaitymas pirštais, tad kokybiškam lytėjimo suvokimui įtakos turi

medžiagos paviršiaus fizikinės savybės, kas sukelia skirtingus pojūčius [48–53]. Kadangi medžiagų paviršiai skiriasi savo topografija ir yra skirtingai suvokiami žmogaus pojūčių, tad šiuo klausimu yra atlikta eilė tyrimų, kurių rezultatai parodo, jog trinties koeficientai tarp žmogaus piršto ir įvairių rūšių paviršiaus paaiškina šiuos pojūčių išskirtinumus [53–58]. Skirtingą medžiagų lytėjimo suvokimą sukelia paviršiaus šiurkštumas [50]. Kadangi šiurkštumas suprantamas kaip mikronelygumų aukščio skirtumas nuo medžiagos paviršiaus, tad buvo priimta, jog jis gali būti nustatomas statiškai [59, 60].



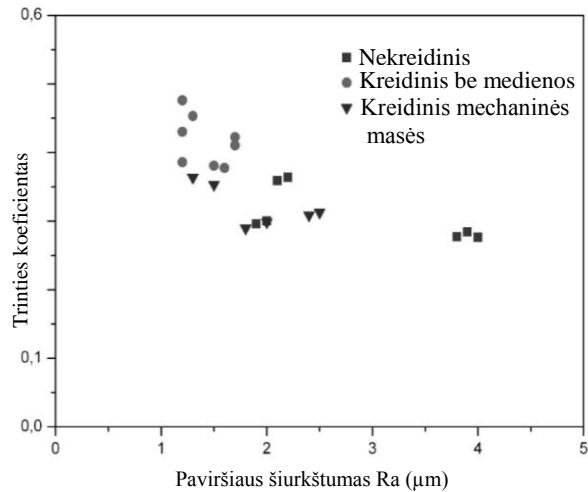
1.10 pav. Aklųjų klasifikacija pagal amžiaus grupes [2]

Šiurkštumo suvokimas yra susijęs su piršto ir paviršiaus sąlyčio plotu. Nustatyta, kaip trinties koeficientas didėja sulig sąlyčio plotu: esant didesniam sąlyčio plotui reikia didesnės trinties jėgos. Skedung L. ir kt. autoriai [61] nustatė, jog lytėjimo suvokimui trintis labai svarbi esant paviršiaus šiurkštumui iki 10 μm , o esant didesniam šiurkštumui trintis nėra tokia reikšminga. Kreidinio popieriaus ir kt. medžiagų su lygiu paviršiumi trinties koeficientas yra didesnis nei nekreidinių medžiagų [53, 61, 91] (žr. 1.11 pav. a). Autoriai Peter H. Warman ir A. Roland Ennos [92] atliko piršto pagalvėlės trinties jėgos nustatymo bandymus, tyrė piršto trinties priklausomybę nuo piršto atspaudų kontakto ploto ir lytėjimo krypties (žr. 1.11 pav. b). Iškelta hipotezė, jog trintis didesnė spaudžiant pirštą stačiu kampu nei lygiagrečiai, nepasitvirtino, nes tyrimo rezultatuose nepastebėtas žymus skirtumas. Esant sausai piršto odai, jėga buvo apskaičiuojama $F = \mu N$, kai μ – trinties koeficientas, N – normalinė jėga. Kai oda drėgna, prilyginama trinčiai su guma $F = SA$, čia A yra kontakto plotas, S – adhezijos šlytis tarp gumos ir paviršiaus, gaunama $F = \pi S (9RN/16E)^{2/3}$, kur R – sferos spindulys, E – Jungo modulis [92].

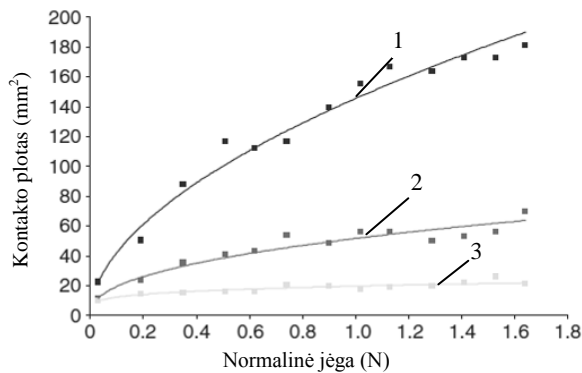
Šiurkštus paviršius sukelia nevienodą slėgio pasiskirstymą jį liečiant statiškai, o esant dinaminiam judesiui – sukelia vibracijas, kurių pojūtis yra daug svarbesnis už šiurkštumo suvokimą [62]. Taigi, vibracijos labai svarbios suvokti paviršiaus šiurkštumui esant mažesniai nei 100 μm [63]. Virpesių įtaka, sukelianti pokyčius nuskaitymo aiškumui bei greičiui yra pateikta autorių darbuose [64].

Darbe [65] nustatyta, jog nėra skirtumo tarp statinio ir dinaminio lietimo. Pastebėta, jog nuskaitymo greitis priklauso nuo medžiagos šiurkštumo, prispaudimo

jėgos tarp pirštų ir paviršiaus. Darbe [50] pateikta, jog medžiagos šiurkštumas neturi įtakos nuskaitymo greičiui. Eilėje tyrimų yra pateikti tyrimų duomenys, parodantys kaip medžiagų savybės įtakoja lytėjimo pojūčius.



a

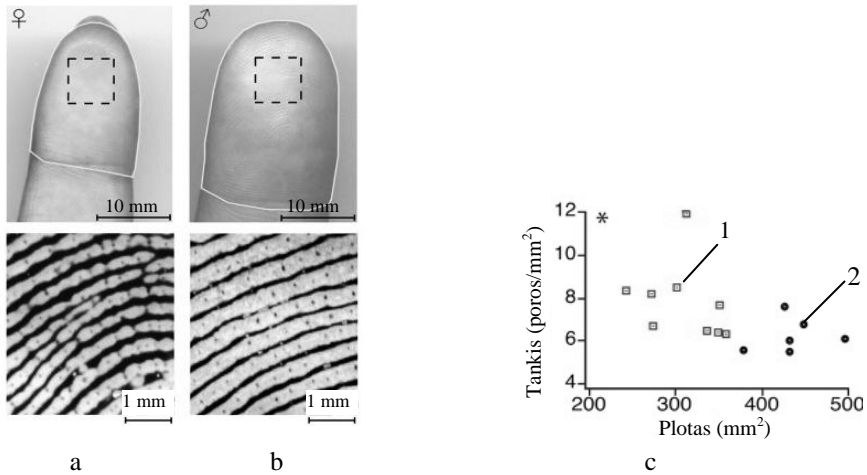


b

1.11 pav. Ryšys tarp trinties koeficiento ir šiurkštumo [91] (a) ir piršto pagalvėlės kontakto ploto ir normalinės jėgos priklausomybė, smiliumi liečiant skirtingoms pozicijomis:

1 – pagrindu, 2 – tarpine pozicija, 3 – galiuku [92]

Tam įtakos turi ir žmogaus pirštų jautrumas, kuris gali skirtis tarp lyčių, bei braukimo per plokštumą pobūdis [61]. Remiantis tyrimais, moterys gali geriau suprasti reljefinius elementus nei vyrai [28, 52, 54], nes moterų pirštai yra mažesni nei vyrų ir moterų pirštų jūslės receptorių didesnis tankis [66]. Tyrėjai [48], įvertinę pirštų pagalvėlių prakaito porų kiekį nustatė, jog prakaito porų tankis didesnis mažesniuose pirštuose (žr. 1.12 pav.), kas ir lemia geresnį lytėjimą. Tad moterims ir vyrams su vienodo dydžio pirštais lytėjimo jautrumas yra vienodas [48].



1.12 pav. Moters (a) ir vyro (b) piršto pagalvėlių struktūra ir prakaito porų tankis (c):
1 – moters; 2 – vyro [48]

1.5.2. Brailio rašto kokybę įtakojantys faktoriai ir geometrinių parametru įtaka nuskaitymui

Svarbiausi Brailio rašto parametrai yra aukštis ir atstumai tarp taškelių bei jų diametras [7, 15, 67]. Kiekvienas atskiras parametras ir bendrai jų visuma, turi svarbią reikšmę nereginių rašto nuskaitymui, nes net vieno taško nebuvimas arba netinkamas suformavimas gali pakeisti žodžio ir visos informacijos prasmę [32, 34, 68]. Birminghamo universitete buvo atlikti išsamūs Brailio rašto taško aukščio tyrimai [68], kuriems atlikti buvo iškelti keli tikslai: nustatyti minimalų nuskaitomą įspausto BR taškų aukštį; nustatyti trafaretine spauda spausdinto Brailio rašto nuskaitomumą ir pateikti aukščio rekomendacijas dviems skirtingoms etikečių medžiagoms; nustatyti leistinus BR parametru dydžius; nustatyti kokia matavimo priemonė yra tinkamiausia; nustatyti spausdintos informacijos nuskaitomumą.

Minimalaus įspausto ir trafaretine spauda spausdinto BR taškų aukščio nustatymo tyrime [68] dalyvavo 45 vartotojai. BR taškai buvo suformuoti ant kartono GC2, padengto 400 mikronų storio vandens pagrindo laku ir aukštis išgautas šešių skirtingų dydžių: 0,09 mm, 0,12 mm, 0,15 mm, 0,18 mm, 0,21 mm ir 0,24 mm. Būtent tokie aukščiai buvo parinkti dėl keleto priežasčių:

- parinkti iš įvairiai produkcijai dažniausiai naudojamo BR taškų aukščių intervalo;
- bandyme pasirinktas žemiausias aukščio taškas, kuris buvo žemesnis nei nustatyta ankstesniuose tyrėjų eksperimentuose;
- labiausiai iškilusio taško aukštis artėjo prie didžiausio, kokį įmanoma išgauti su įspaudimo technologijomis šiuo metu;
- vidutinis pasirinktas aukštis yra maždaug ties BR taško trūkimo riba (angl. cracking point);
- buvo įvertinti minimalūs nuokrypiai, kurie yra maždaug 0,03 mm.

1.4 lentelė. Įspaudimo būdu suformuoto BR šešių pozicijų aukščio rezultatai [15]

BR taškų aukštis, mm	BR taškų aukščio šešios pozicijos					
	1	2	3	4	5	6
Vidurkis	0,06	0,14	0,15	0,18	0,19	0,23
Minimalus	0,02	0,09	0,09	0,12	0,13	0,15
Maksimalus	0,11	0,20	0,20	0,24	0,24	0,29
Standartinis nuokrypis	0,016	0,023	0,023	0,025	0,026	0,025

Išmatavus visų bandinių su šešiais skirtingais aukščiais faktines reikšmes, nustatytas Brailio rašto aukščių vidurkis ir diapazonas (1.4 lent.). Yra nustatyta, jog 60 metų ir vyresni žmonės blogiau nuskaityto mažesnio aukščio Brailio rašto taškus (žr. 1.5 lent.) [15]. Net 96 % dalyvių iki 60 metų tiksliai perskaitė BR medikamentų pavadinimus 0,15 mm aukščio, ir tik 67 % dalyvių, kuriems daugiau nei 60 metų. 71 % dalyvių perskaitė vaisto pavadinimą, kai BR taško aukštis tesiekė 0,14 mm (1.5 lent.) [15].

1.5 lentelė. Skirtingo aukščio BR, suformuoto įspaudimo būdu ant kartoninių pakuočių, nuskaitymo rezultatai, tyrime dalyvaujant skirtingoms amžiaus grupėms [15]

BR aukščio vidurkis, mm	Skirtingų amžiaus grupių BR nuskaitymas		
	iki 60 metų (n _a = 27)	60 metų ir vyresni (n _a = 18)	Visi (n _a = 45)
0,06	41 %	22 %	33 %
0,14	78 %	61 %	71 %
0,15	96 %	67 %	84 %
0,18	100 %	83 %	93 %
0,19	100 %	83 %	93 %
0,23	96 %	100 %	98 %

BR, suformuoto trafaretine spauda nuskaitymui, tirtas BR ant blizgios sintetinės etiketės, kai taško aukščio vidurkis siekė 0,21 mm (taškų aukštis svyravo nuo 0,19 mm iki 0,22 mm) ir matinės kreidinės LW60 etiketės, kai taško aukščio vidurkis siekė 0,19 mm (taškų aukštis svyravo nuo 0,16 mm iki 0,20 mm). Gauti rezultatai pateikti 1.6 lent. [15].

Tyrėjai [15] BR taškų aukščio matavimų metu naudojo du prietaisus: spyruoklinį apskritos skalės mikrometrą Mitutoyo 547-320, bei optinį komparatorių – Eye C Benelux. Atlikus rezultatų analizę pastebėta, jog BR taško aukščio matavimai, naudojant optinį komparatorių mažesni, nei naudojant mikrometrą. Tai galimai turėjo įtakos optinio komparatoriaus netikslus kalibravimas. Be to, po pirmojo matavimo buvo praėję laiko, kas sukėlė BR taško aukščio minimalų sumažėjimą ir prieš pradėdant matavimus su optiniu komparatoriumi jie buvo atlikti su mikrometru, kas suspaudė taškus. Darbe [15] nustatyta jog Brailio aukštis matavimo metu ženkliai sumažėjo per šešis su puse mėnesių vidutiniškai 0,02 mm (nuo 0,18 iki 0,16 mm). Tad svarbu yra įvertinti senėjimo poveikį.

1.6 lentelė. BR, suformuoto lipniose etiketėse (blizgiose ir matinėse), kurios pritvirtintos ant įvairių pakuočių nuskaitymo rezultatai (%), tyrime dalyvaujant skirtingoms amžiaus grupėms ($n_a = 45$) [15]

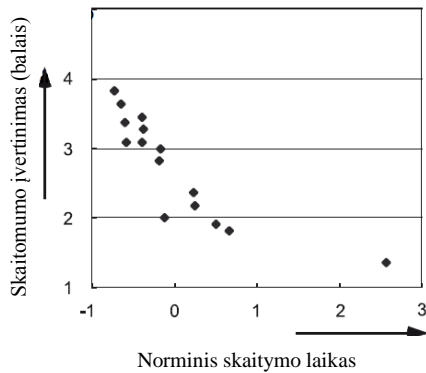
Etiketė - pakuotė	Skirtingų amžiaus grupių BR nuskaitymas		
	iki 60 metų ($n_a = 27$)	60 metų ir vyresni ($n_a = 18$)	Visi ($n_a = 45$)
Blizgi-buteliukas	93 %	56 %	78 %
Blizgi-dėžutė	100 %	83 %	93 %
Matinė-buteliukas	96 %	72 %	87 %
Matinė-dėžutė	100 %	89 %	96 %

Buvo tiriami [15] trafaretinės spaudos būdu dviejų skirtingų medžiagų etiketėse (sintetinis blizgus popierius ir LW60 kreiduotas popierius) spausdinto Brailio rašto taškų aukščiai. Matavimai buvo atlikti jau minėtais prietaisais: mikrometru ir optiniu komparatoriumi. Nustatyta, jog trafaretine spauda BR taškų aukštis yra gan pastovus, gauti nuokrypiai yra 0,03 mm ir 0,04 mm. Tai pat pastebėta, kad spausdinant trafaretiniu būdu, nėra ryškaus skirtumo tarp BR taškų aukščių, kai elementai spausdintami eilutės pradžioje, viduryje ar gale. Tyrimų metu nustatyta, jog BR aukštis siekia 0,2 mm, minimalus 0,17 mm, o maksimalus – 0,29 mm.

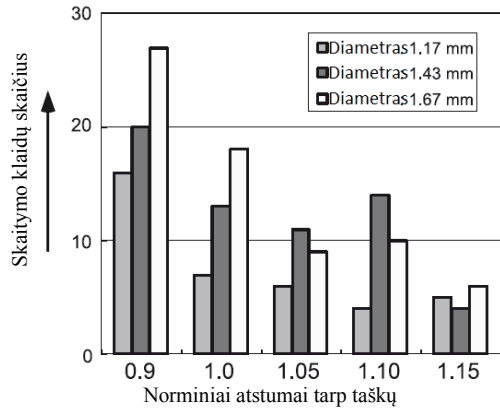
WATANABE Tetsuya ir OOUCHI Susumu [39] atliko tyrimus, kurių metu buvo nustatytas BR, suformuoto ant mikrokapsulinio popieriaus, nuskaitymo greitis ir klaidos. Tyrimų metu vienuolika 26-68 metų amžiaus aklųjų nuskaitytė BR, esant skirtingiems atstumams tarp taškų (0,9; 1,0; 1,05; 1,10 ir 1,15 mm) ir skirtingiems taškų diametrams – 1,43 mm, 1,17 mm ir 1,67 mm. Tyrimo metu 1-5 balų sistemoje dalyviai įvertino Brailio rašto įskaitomumą, kuomet skaitymo laikas buvo matuotas chronometru, o gauti duomenys priskiriami norminiams ir sudaryta diagrama (1.13 pav.). Koreliacija tarp įskaitomumo ir skaitymo laiko buvo beveik linijinė (koreliacijos koeficientas $r = 0,843$). Jokio ryšio tarp skaitymo greičio ir perskaitymo tikslumo nepastebėta; nustatyta, jog ilgas skaitymo laikas neįtakoja daromų skaitymo klaidų skaičiaus.

Tyrimo rezultatai [39] rodo labai didelę BR taškų diametro, tarpų tarp taškų ir taškų aukščio įtaką teksto nuskaitymui. Nustatyta, jog Brailio raštas didesnio taško skersmens ir mažesnių tarpų tarp taškų skaitomas daugiau laiko ir vertinant daroma didesnis kiekis klaidų. Taip pat įskaitomumui didelę įtaką turi BR taško forma: didesnio aukščio mažiau aiškus BR taškas gali būti blogiau įskaitomas nei mažesnio aukščio aiškus BR [39].

Kadangi Brailio raštas yra vienas iš taktilinių (iškilųjų) elementų, tad tuo remiantis atsižvelgta į atliktų su taktiliniais elementais, rezultatus [28], kurie dar kartą patvirtina, jog didesni iškilūs elementai yra nuskaityti greičiau, nei mažesni. Taip pat pastebėta, kad laikas, reikalingas nuskaityti liečiamą objektą sumažėjo iškilųjų elementų dydžius padidinus nuo 20 iki apytiksliai 200 μm (t.y. 0,02-0,2 mm) (1.14 pav.). Tai parodo, kad aklieji gana nesudėtingai atpažįsta 0,2 mm aukščio iškilus elementus.

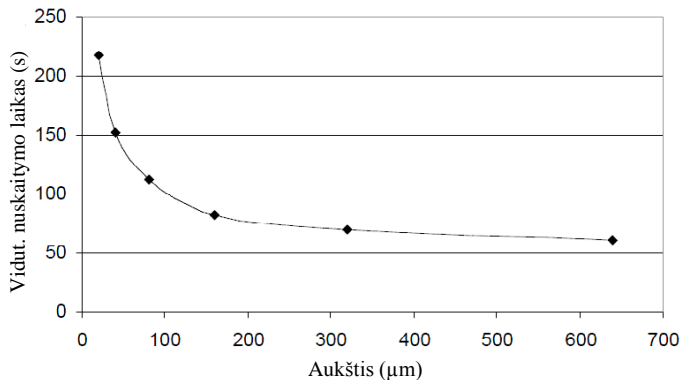


a



b

1.13 pav. BR nuskaitymo greičio ir klaidų nustatymo rezultatai: a) koreliacija tarp skaitymo laiko ir įskaitomumo įvertinimo; b) skaitymo klaidų skaičiaus ir atstumų tarp taškų priklausomybė, esant skirtingam Brailio rašto taškų diametrai [39]

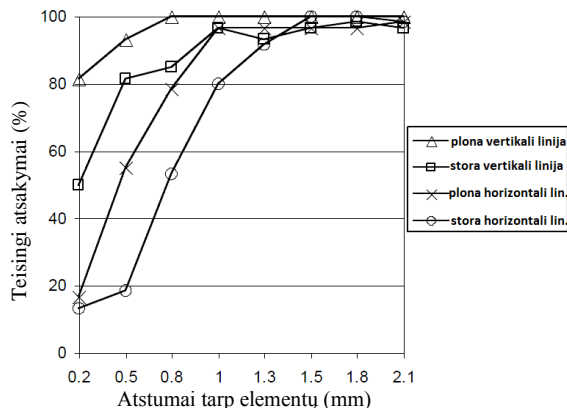


1.14 pav. Taktilinių elementų nuskaitymo laiko priklausomybė nuo elementų aukščio (μm) [28]

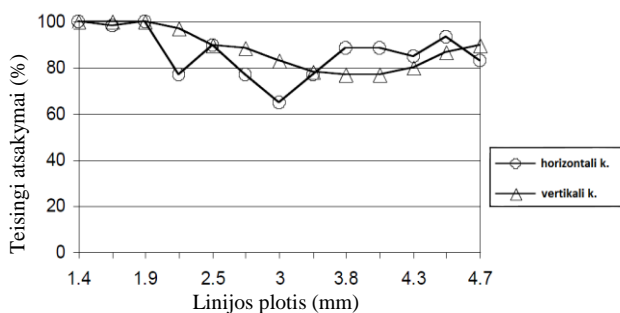
Nors atliktų tyrimų metu nustatyta [15, 68], jog kai kurie respondentai nuskaityt net ir gana mažo 0,18 ir net 0,12 mm aukščio pateiktą informaciją, tačiau daugelis tyrėjų rekomenduoja naudoti kuo didesnio aukščio, kaip ir nurodyta Marburgo Vidutiniojo reikalavimuose [14], iki 0,5 mm Brailio raštą, kad jis būtų įskaitomas vyresnių žmonių, kurių pirštų lietimui vietos jau nebe tokios jautrios [34].

Atlikdami tyrimus taktilinių grafikos ir diagramų formavimo ant žemėlapių (taip pat taikomų akliems) Kembridžo universiteto mokslininkai [28] pastebėjo, kad aklujų lytėjimui įtakos turi net tik objektas, kurį tikriname, bet ir aplink jį esantys tam tikru atstumu nutolę reljefiniai paviršiai. Todėl bandyme panaudojo dviejų tipų iškilią linijas, kurios buvo išspausdintos rašaliniiais spausdintuvais – 26 viengubos (13-os skirtingų linijos storių 2-iejų krypčių) ir 32 dvigubos linijos

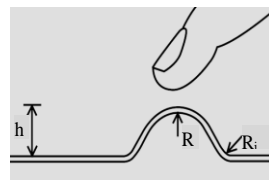
(8 skirtingų tarpų pločių tarp jų 2-iejų krypčių ir 2-iejų linijos storių). Laikas skirtas liesti tiriamąjį paviršių buvo ribotas – 5 sekundės kiekvienai iškilusiai linijai. Teisingų atsakymų skaičiai buvo išreikšti procentais, o gauti rezultatai pateikiami diagramomis (1.15 pav. a ir b). Padaryta išvada, kad objektas gerai atpažįstamas, kai atstumas tarp objektų yra – 1,3 mm.



a



b



c

1.15 pav. Taktilinių elementų nuskaitymo rezultatai: a) dvigubų linijų skirtingų storių išdėstytų skirtingomis kryptimis; b) viengubų linijų išdėstytų skirtingomis kryptimis [28] ir BR taško profilis (c): h – BR taško aukštis; R – BR taško išlinkimo spindulys; R_i – BR taško įlinkio prie pagrindo spindulys [66]

Akivaizdu, kad Brailio rašto įskaitomumui didžiausią reikšmę turi jo taško aukštis, tačiau tai įtakoja ir taško diametras d , paviršiaus šiurkštumas Ra [32] ir kiti BR taško profilį apibūrinantys parametrai [66]. Sumažėjus BR taškų išlinkimo spinduliui R , sumažėja ir pats taškas, o taško stiprumą (patvarumą) nulemia įlinkis prie taško pagrindo – R_i (1.15 pav. c). Jeigu pastarojo reikšmė didelė, Brailio taškas gali būti lengvai deformuojamas (suspaudžiamas) [66]. Remiantis analizuojamų tyrimų duomenimis, galima daryti prielaidą, jog pagrindiniai parametrai, nuo kurių priklauso BR įskaitomumas yra: taško aukštis, taško diametras bei atstumai tarp taškų ir eilučių.

1.6. Literatūros apžvalgos apibendrinimas

Apie 190 metų naudojamas BR nepraranda reikšmės. Ir šiandien regėjimo negalią turintiems asmenims tai viena iš plačiausiai naudojamų priemonių, leidžiančių perskaityti ir suprasti informaciją.

Šiuo metu BR Lietuvoje plačiausiai naudojamas kartoninėse farmacinėse pakuotėse. Tačiau pastaraisiais metais yra pradėta taikyti ir kt. BR formavimo būdai, t.y. trafaretinė spauda, termografija, skaitmeninė rašalinė spauda ir kt. Šių spaudos būdų gilesni tyrimai išplėstų BR naudojimo galimybes ant skirtingų medžiagų, kas leistų labiau akluosius integruoti į pilnavertį gyvenimą.

Tad labai svarbu yra BR geram nuskaitomumui parinkti medžiagas, formavimo būdus ir tinkamus geometrinis parametrus, kurie ir po tam tikro eksploatacinio laiko turėtų išlikti lengvai nuskaitomi akliems.

Kadangi Brailio raštas yra nuskaitomas lytėjimo būdu, tad svarbūs yra asmens piršto pagalvėlės lytėjimo mechanizmo veiksniai. Vienas ypatumų, lemiančių BR nuskaitymo kokybę yra BR skaitytojų amžius. Graeme D., Douglas G., Weston A., Whittaker J. ir kt. tyrimų metu nustatė, jog 60 metų ir vyresni žmonės blogiau nuskaito mažesnio aukščio, t.y. iki 0,19 mm Brailio rašto taškus.

Gaminams su BR yra svarbios medžiagų fizikinės, mechaninės ir vartojamosios savybės. Brailio rašto ir reljefinių elementų nuskaitymo aiškumas priklauso nuo paviršiaus medžiagos, ant kurios jis suformuotas. Kadangi medžiagų paviršiai skiriasi savo topografija ir yra skirtingai suvokiami žmogaus pojūčių, tad šiuo klausimu yra atlikta eilė tyrimų. Bergmann M., Johansson A., Warman P.H., Ennos A.R. tyrimų rezultatai parodo, jog trinties koeficientai tarp žmogaus piršto ir įvairių rūšių informaciją nešančio paviršiaus nusako šiuos pojūčių išskirtinumus. Nagrinėjant literatūros šaltinius pastebėta, kad nemažai tyrimų liečia medžiagų šiurkštumo įtaką trinčiai tarp piršto pagalvėlės ir medžiagos paviršiaus. Šioje srityje tyrimus atliko Skedung L., Garoff N., Smith A.M., Chapman C.E., Kim M.S., YoungKim I. Ir kt. Tyrėjai Enomae T., Yamaguchi N., Skedung. L. nustatė, kad kreidinio popieriaus ir kt. medžiagų su lygiu paviršiumi trinties koeficientas yra didesnis nei nekreidinių medžiagų ir šias medžiagas liečiant, geriau suvokiamas reljefinis paviršius. Birminghamo universitete buvo atlikti Brailio rašto, suformuoto įspaudimu ir trafaretine spauda taško aukščio tyrimai, kurių metu nustatytas minimalus BR taškų aukštis, Brailio rašto nuskaitomumas, leistini BR parametrų dydžiai. Literatūros šaltinių analizės metu pastebėta, jog svarbiausi Brailio rašto parametrai yra aukštis ir atstumai tarp taškelių bei jų diametras, tad kiekvienas atskiras parametras ir bendrai jų visuma, turi svarbią reikšmę nereginiųjų rašto nuskaitymui.

Literatūros šaltinių apžvalga parodė, kad nepakanka tyrimų kuriuose būtų nagrinėjama BR, suformuoto ant skirtingų medžiagų skirtingais spaudos būdais, svarbiausių BR taškų parametrų stabilumas, esant optimaliems technologiniams režimams. BR yra nuskaitomas lytėjimo būdu, todėl svarbūs yra BR taškų parametrų stabilumo, esant skirtingoms medžiagoms, eksperimentiniai ir skaitmeniniai tyrimai, veikiant BR atspaudus klimatiniams ir eksploataciniams veiksniams.

2. TYRIMO OBJEKTAS IR METODIKA

2.1. Tyrimo objektas

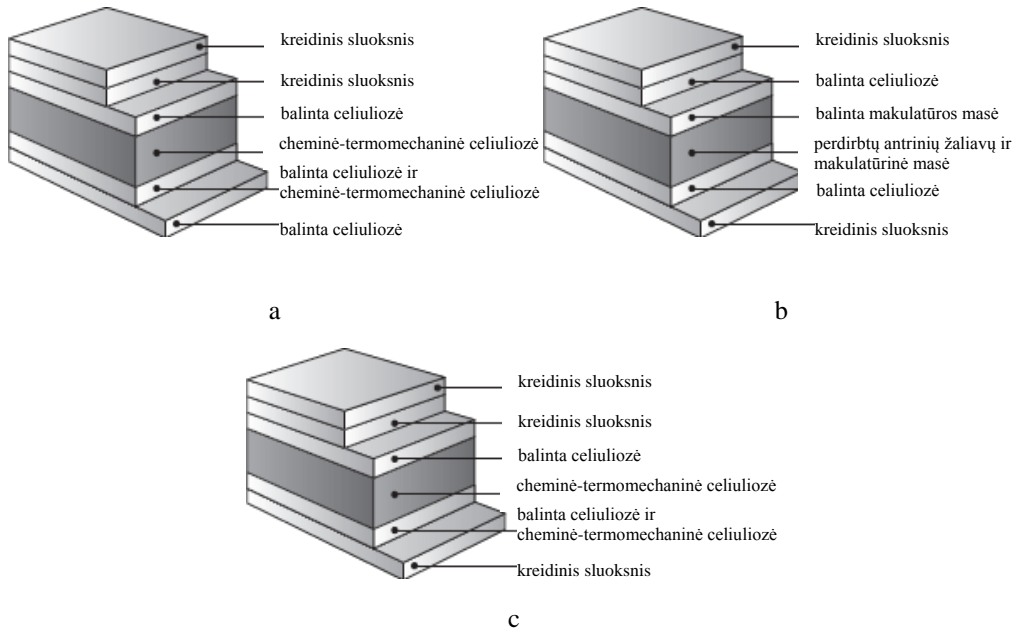
Tyrimo objektas – Brailio rašto atspaudai, suformuoti ant skirtingų medžiagų skirtingomis formavimo technologijomis.

Tyrimuose naudotos medžiagos ir BR formavimo būdai pateikti 2.1 lentelėje. Skirtingos medžiagos ir BR formavimo būdai buvo pasirinkti siekiant praplėsti BR panaudojimo galimybes, pritaikant tyrimų rezultatus praktikoje.

2.1 lentelė. Eksperimentiniams tyrimams naudotos medžiagos ir BR formavimo būdai

Medžiagos tipas	Pavadinimas (gamintojas)	Gramatūra, g/m ²	BR formavimo būdai	Panaudojimo galimybės
Kartonas	Arktika GC1, celiuliozinis (International Paper)	250	Įspaudimas Trafaretinė spauda Termografija Skaitmeninė spauda	Vaistų, maisto produktų pakuotėms
Kartonas	Alaska GC2, celiuliozinis (International Paper)	250	Įspaudimas Trafaretinė spauda Termografija Skaitmeninė spauda	Vaistų, maisto produktų pakuotėms
		275	Įspaudimas	
Kartonas	Multicolor Mirabell GD2, makulatūrinis (MM karton)	250	Įspaudimas Trafaretinė spauda Termografija Skaitmeninė spauda	Vaistų, maisto produktų pakuotėms
		320	Įspaudimas	
Popierius	Polaris, kreidinis (Torrapapel SA)	115	Trafaretinė spauda Termografija Skaitmeninė spauda	Saldainių, šokolado pakuotėms
Popierius	Munken Pure, nekreidinis (Arctic Paper)	90	Trafaretinė spauda Termografija Skaitmeninė spauda	Saldainių, šokolado pakuotėms, knygoms, kalendoriams
Audyns	100 % medvilnė (Klasikinė tekstilė)		Trafaretinė spauda	Drabužių etiketėms
Audyns	100 % poliesteris (Liningas)		Trafaretinė spauda	Drabužių etiketėms
Polimeras	PP, lipnus (UPM Raflatac)		Trafaretinė spauda	Lipnioms etiketėms
Al folija	Aliuminis (Al) ir aliuminio oksidas (Al ₂ O ₃) (Aluflexpack)		Trafaretinė spauda	Maisto produktų indelių dangteliams
Kartonas	Plike, celiuliozinis	250	Trafaretinė spauda	Vaistų, maisto produktų pakuotėms

Kaip matyti, didžiausias formavimo technologijų pritaikomumas yra kartonui, kuris plačiausiai yra naudojamas pakuotėms (žr. 2.1 pav., 2.2 lent.).



2.1 pav. Alaska GC2 kartono tipo (a), Multicolor Mirabell GD2 kartono tipo (b) ir Arktika GC1 kartono tipo (c) sudėtinės dalys [69, 70]

2.2 lentelė. Pagrindinės kartono Multicolor Mirabell GD2, Alaska GC2 ir Arktika GC1 charakteristikos [69, 70]

Kartono tipas		Multicolor Mirabell GD2		Alaska GC2		Arktika GC1
Gramatūra, g/m ²		250	320	250	275	250
Storis, μm		340	435	410	456	410
Šiurkštumas, μm		4	4	1,3	1,3	1,3
Standumas, pagal Taber 15°, mNm	MD kryptimi	16,2	16,2	21,7	21,7	14,5
	CD kryptimi	6,4	6,4	10,4	10,4	7,0
Standumas DIN 53 121 (5°), mNm	MD kryptimi	15,4	31,8	29,6	18,7	12,6
	CD kryptimi	7	13,3	14,4	21,7	14,5
Baltumas, D65, kreiduota pusė, % (pagal ISO 2470-2) %		82	82	91	91	92
Panaudojimo sritis		Maisto produktų, konditerijos, vaistų, kosmetikos, parfumerijos, vaikiškų žaislų pakuotėms.		Maisto produktų, vaistų, kosmetikos, dovanų pakuotėms, atvirutėms.		Maisto produktų, kosmetikos, vaistų, žaislų pakuotėms

Alaska GC2 tipo – celiuliozinis daugiasluoksnis kartonas yra tvirtas, standus, pagamintas iš balintos celiuliozės ir balintos cheminės termomechaninės masės celiuliozės, kurio viena pusė kreiduota du kartus (žr. 2.1 pav. a) [70].

Multicolor Mirabell GD2 tipo – makulatūrinis kreiduotas kartonas, minkštas vidutinio purumo, kurio viršutiniai sluoksniai pagaminti iš atrinktos bei balintos makulatūros masės, o vidurinis iš perdirbtų antrinių žaliavų ir makulatūrinės masės (žr. 2.1 pav. b) [69].

Arktika GC1 tipo – celiuliozinis daugiasluoksnis kartonas, dvigubo dengimo paviršiumi ir viengubo dengimo apatine balta puse. Pagamintas iš balintos celiuliozės ir balintos cheminės termomechaninės masės, pasižymintis tvirtumu, stabilumu, standumu [70].

Šiame skyriuje pateikiamos eksperimentinių tyrimų metu nustatytos tinkamiausios BR formavimui medžiagos ir būdai. Atlikti šie tyrimai:

- farmacinėse pakuotėse išpausto BR geometrinių parametru sklaidos ir kokybę įtakojančių veiksnių nustatymas;
- Brailio rašto, suformuoto ant skirtingų medžiagų, atsparumo mechaniniam poveikiui tyrimas;
- Brailio rašto, suformuoto ant skirtingų medžiagų, temperatūrinių veiksnių ir senėjimo poveikio tyrimas;
- skaitmenine spauda formuojamo BR technologinių parametru optimizavimas;
- BR spausdinimui trafaretine spauda medžiagų tinkamumo nustatymas;
- Brailio rašto ir iliustracijų, suformuotų ant polimerinių plėvelių, įtempimų pasiskirstymo analizė, naudojant fototamprumo metodą.

2.2. Eksperimentinių tyrimų metodika

Bandiniai prieš pradėdant tyrimus buvo aklimatizuoti. Visi tyrimai buvo atlikti esant tokioms aplinkos klimatinėms sąlygoms: temperatūrai – $+21\pm 1$ °C ir 50 ± 2 % santykiniam oro drėgnumui (EN ISO 186). Bandiniai tyrimų pradžioje ir jų eigoje buvo nuskaityti aklųjų ($n_a = 36$), suskirstytų pagal amžiaus grupes: iki 25 metų ($n_a = 10$), 26–45 metų ($n_a = 8$), 46–60 metų ($n_a = 10$), virš 60 metų ($n_a = 8$), iš kurių 88 % asmenų turi įgimtą šią negalią ir 12 % asmenų pradėję skaityti Brailio raštą tik prieš keletą metų. BR nuskaitymo laikas buvo pasirinktas 10 s, priimant vidutinį BR skaitymo greitį 100 žodžių per minutę, atsižvelgiant į Brailio rašto skaitymo greičio atliktų tyrimų literatūrinę analizę [15, 39].

2.2.1. Brailio rašto geometrinių parametru sklaidos ir kokybę įtakojančių faktorių nustatymo tyrimo įranga ir metodika

BR skaitytojų amžiaus grupės parinkimas

Atlikus literatūros analizę (žr. 1 skyrius) buvo pastebėta, kad didėjant neregijų amžiui, blogėja BR skaitymo kokybė. Atsižvelgus į straipsniuose [15, 46, 47] išskirtas amžiaus grupes, tyrimų metu testavimui buvo sudarytos BR skaitytojų grupės (žiūr. 2.3 lent.).

BR nuskaitymo tyrime dalyvavo 36 asmenys, iš kurių 88 % asmenų turi įgimtą šią negalią ir 12 % asmenų pradėję skaityti Brailio raštą tik prieš keletą metų.

Pagal 2.3 lentelėje pateiktus tyrimo rezultatus nustatyta, kad blogiausiai BR skaito virš 60 metų amžiaus neregijai.

2.3 lentelė. Regėjimo negalią turinčių asmenų BR skaitymo testo rezultatai

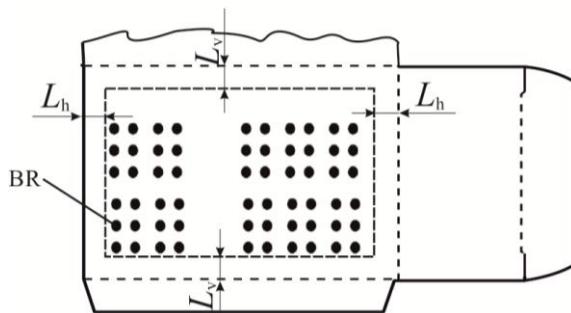
Amžius (metais)	Dalyvių skaičius	BR nuskaitymas (BR parametrai: $d = 1,6$ mm, $h = 0,18$ mm, $b_l = 2,51$ mm)
Iki 25	$n_a = 10$	Puikiai nuskaitytas BR tekstas. 5 % asmenų pasižymėjo labai greitu teksto suvokimu ir nuskaitymu .
26–45	$n_a = 8$	Puikiai nuskaitytas BR tekstas.
46–60	$n_a = 10$	30 % asmenų sunkiau nuskaitė BR, nes jie pradėję skaityti BR tik prieš keletą metų. Likusieji asmenys puikiai ir greitai nuskaitė BR tekstą.
Virš 60	$n_a = 8$	12 % asmenų puikiai ir greitai nuskaitė BR tekstą. 88 % asmenų sunkiau nuskaitė mažesnio aukščio ar nepakankamai išspausčius BR taškus, skaitymas užtruko ilgesnį laiką, nes lėčiau surandama eilutė ir pan.

BR, suformuoto išpaudimu, geometrinių parametų sklaidos tyrimas

BR geometrinių parametų sklaidos nustatymo tyrimams atlikti buvo naudota 11 bandinių, t.y. su išpaudimo būdu suformuotu Brailio raštu vaistų pakuotės skirtingų gamintojų (Liuks, Valentis, Sanitas) iš dviejų skirtingo tipo ir gramatūros kartono Multicolor Mirabell GD2 320 g/m² ir Alaska GC2 275 g/m², kuris gali būti naudojamas farmacinių pakuočių su BR gamyboje ir pasižymintis skirtingomis savybėmis (kartono tipas ir charakteristikos pateikiami 2.2 lent.).

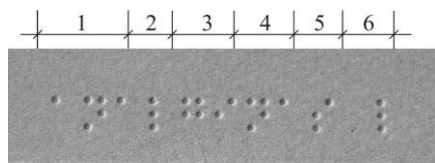
Eksperimentiniams tyrimams parinktas kartonas skirtingos sudėties ir savybių, kuris gali būti naudojamas farmacinių pakuočių su BR gamyboje.

Šiam tyrimui bandiniai buvo parinkti iš skirtingų Lietuvos spaustuvių, tikslu nustatyti BR formavimo farmacinėse pakuotėse kokybę. Atlikti Brailio rašto aukščio h bei kitų BR geometrinių parametų (žr. 1.2 pav.) bei BR pozicionavimo nuo pakuotės lenkimo linijos (žr. 2.2 pav.) matavimai, naudojant žemiau pateiktą metodiką ir matavimo įrangą.



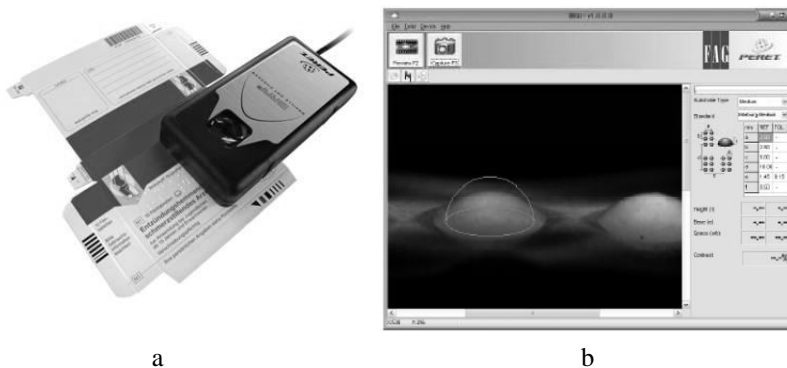
2.2 pav. BR pozicionavimas nuo pakuotės lenkimo linijos: L_h – BR atstumas nuo pakuotės horizontaliosios kraštinės; L_v – BR atstumas nuo pakuotės vertikaliosios kraštinės

Brailio rašto tarpai tarp elementų, tarp žodžių, tarp eilučių ir pozicionavimas nuo pakuotės lenkimo linijos buvo išmatuoti dviejų koordinatinių optiniu matavimo prietaisu DIP-1.



2.3 pav. Bandinio su Brailio raštu šešių matavimo zonų pavyzdys

Brailio rašto taško aukščio h matavimai buvo atlikti kalibruotu storio matavimo prietaisu – mikrometru Vogel Germany, kurio padalos vertė 0,01 mm ir specializuotu BR taškų nuskaitymo įrenginiu FAG BRAI³ Braille Dot Checker (FAG Graphic Systems SA firmos) (žr. 2.4 pav.), kurio techninės charakteristikos pateiktos 3 priede 1 lent. Brailio rašto taško aukštis išmatuotas prietaisu, apimant ne mažiau kaip tris taškus. Matavimai atlikti išilgai kiekvienos BR eilutės iki 6–11 zonų (žiūr. 2.3 pav.), matuojant kiekvieno elemento viršutinę ir apatinę dalį. Skirtingas zonų skaičius pasirinktas dėl skirtingo BR elementų, žodžių bei eilučių kiekio (žiūr. 3.1 pav.). BR nuskaitymo kokybė vertinta aklujų ($n_a = 36$).



2.4 pav. FAG BRAI³ Braille Dot Checker prietaiso išorinis vaizdas (a) ir rezultatų išvedimo langas (b)

2.2.2. Brailio rašto atspaudų ant skirtingų medžiagų tyrimo mechaniniam poveikiui įranga ir metodika

Eksplotacijos metu pakuotės ir etiketės yra veikiamos įvairių veiksnių, tame tarpe ir mechaninių. Siekiant įvertinti mechaninio poveikio įtaką BR geometriniam parametrui, eksperimentiniai tyrimai buvo atlikti naudojant bandinius su Brailio raštu, suformuotu skirtingais būdais ant skirtingų medžiagų, pasižyminčių skirtingomis fizikinėmis-mechaninėmis savybėmis. Brailio raštas buvo suformuotas įspaudimu, trafaretine, skaitmenine spauda ir termografija, kadangi šiomis technologijomis galima išgauti reljefinius elementus, tame tarpe ir Brailio raštą. Tiriamos medžiagos pasirinktos, atsižvelgiant į platesnę galimybę naudoti pakuotėms ar etiketėms su Brailio raštu.

Tyrimų pradžioje ištirtas farmacinėse pakuotėse BR, įspausas skirtingo tipo ir gramatūros kartone: Alaska GC2 200 g/m², Alaska GC2 250 g/m², Alaska GC2 275 g/m², Arktika GC1 200 g/m², Arktika GC1 230 g/m², Arktika GC1 250 g/m², SBS 200 g/m² (celiuliozinis) ir Multicolor Mirabell GD2 320 g/m² (makulatūrinis).

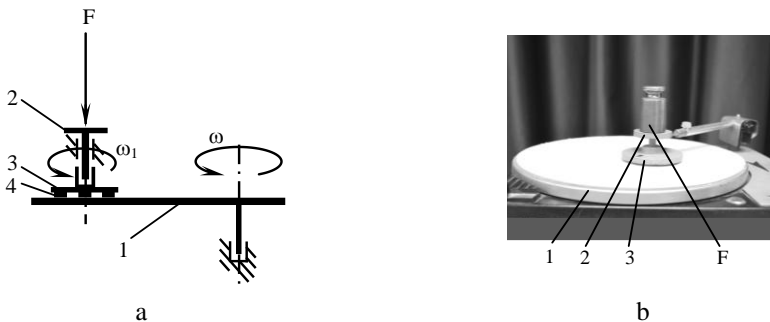
Vėlesniems tyrimams įspaudimu BR buvo suformuotas ant dviejų skirtingo tipo kartono medžiagų (Arktika GC1 250 g/m², Multicolor Mirabell GD2 250 g/m²), nes pastarieji tipai dažniausiai yra naudojami farmacinių pakuočių gamyboje.

Tyrimams naudotos medžiagos pateiktos 2.1 lent. (pagrindinės charakteristikos pateiktos 2.2 lent. ir 2 priede 1 lent.). Ant šių pasirinktų medžiagų BR buvo suformuotas ne visais BR formavimo būdais, nes yra ribotos technologinės galimybės.

Trafaretiniu spaudos būdu BR buvo suformuotas ant visų nurodytųjų medžiagų (žiūr. 2.1 lent.) plastizoliniais dažais. Šių dažų pasirinkimą nulėmė tai, jog tyrimo pradžioje ant skirtingų medžiagų BR buvo suformuotas plastizoliniais ir silikoniniais dažais. Silikoniniais dažais suformuotas Brailio raštas buvo nuskaitytas sunkiai (apie 30 proc.), taškai buvo sunkiai suprantami. Todėl tolimesniems tyrimams naudoti plastizoliniais dažais trafaretiniu būdu suformuotas BR, kuris aiškesnis ir gerai nuskaitomas (100 proc.). BR geometriniai parametrai buvo išmatuoti FAG BRAI³ Braille Dot Checker prietaisu.

Termografijos būdu BR termoplastiniais milteliais atspausdintas ant skirtingo tipo kartono (Arktika GC1 250 g/m², Multicolor Mirabell GD2 250 g/m²) ir ant kreidinio (Polaris 115 g/m²) bei nekreidinio (Munken Pure 90 g/m²) popieriaus. Šios medžiagos pasirinktos ir spausdinimui skaitmenine spauda. Eksperimentiniams tyrimams naudotiems bandiniams medžiagų charakteristikos ir BR formavimo būdai pateikti 2.1 lentelėje.

Tyrimų metu buvo tiriama, kaip mechaninis poveikis (trynimas) keičia BR taškų geometrinius parametrus. Tyrimų sąlygos pasirinktos artimos eksploatacinėms (temperatūra – +21±1 °C ir 50±2 % santykinis oro drėgnumas), imituojuojant skaitymą pirštais.



2.5 pav. Brailio rašto atsparumo mechaniniam poveikiui tirti eksperimentinio įrenginio schema: a) įrenginio kinematinė schema: 1 – diskas, 2 – laikiklis, 3 – bandinių diskelis, 4 – bandiniai, F – prispaudimo jėga, ω , ω_1 – disko ir bandinių diskelio kampiniai sukimosi greičiai; b) įrenginio bendras stendo vaizdas

Brailio rašto, suformuoto įspaudimo būdu ant kartono BR bandiniams (žr. 2.1 lent.) geometrinių parametų pokyčio nustatymui, veikiant cikliniam mechaniniam poveikiui, buvo naudota Oser tipo eksperimentinė įranga (žiūr. 2.5 pav.). Eksperimento metu bandiniui buvo suteiktas planetinis judesys ir bet kurio bandinio taško linijinis greitis buvo vienodas. Bandinių laikiklio prispaudimo jėga F buvo pasirinkta 1,96 N, o linijinis greitis buvo parinktas 0,47 m/s.

Mechaninio poveikio trukmė buvo keičiama nuo 1 min iki 60 min kuri atitinka 1692 m trynimo kelio ilgį.

Brailio rašto mechaninio poveikio kelias yra pasirinktas, atsižvelgiant į Brailio rašto skaitymo greičio atliktų tyrimų literatūrinę analizę [75–81]. Pasirinkta prispaudimo jėga F , atsižvelgus į nereginciojo pirštų spaudimo jėgą, naudojamą skaitant Brailio raštą. Mokslininkų Watanabe ir kt. [82] nustatyta, kad skaitymo metu prispaudimo jėga svyruoja nuo 0,4–1,2 N. O tyrėjai Saadeh M., Trabia M. [83] nustatė, kad skaitymo proceso metu ši jėga svyruoja nuo 0,75–0,9 N. Tyrimų laiko sutrumpinimo tikslu, šiame darbe F jėgos vertė buvo priimta 1,96 N. Eksperimento metu bandiniai buvo veikiami mechaninės jėgos ir nustatytais laiko tarpais, aukščiau aprašytu prietaisu FAG BRAI³ Braille Dot Checker buvo atliekami Brailio rašto taškų aukščio h ir BR diametro d matavimai (žr. 2.5 pav.). Per pirmąsias penkias trynimo minutes buvo matuojami bandiniai kas minutę, per pirmą tyrimo pusvalandį kas penkias minutes ir vėliau kas 10 min.

BR taškų paviršiaus mikroskopinės analizės metodika ir įranga

BR taškų paviršiaus kokybinei analizei įvertinti buvo padaryti skaitmeniniai vaizdai, naudojant mikroskopą su integruota skaitmenine vaizdo kamera DN-CAM su specializuota įranga ir FAG BRAI³ Braille Dot Checker (žr. 2.4 pav.) įrenginiu. Taip pat atlikta mikroskopinė analizė, naudojant skaitmeninį optinį mikroskopą Optika M-699 LWPDPPLAN (žr. 2.6 pav.), vaizdus išdidinus 75, 150 ir 300 kartų. Bandinių skaitmeniniai vaizdai pateikti iki ir po mechaninio poveikio (poveikio trukmė – 60 min arba poveikio kelio ilgis – 1692 m). BR nuskaitymo kokybę vertinta aklyjū ($n_a = 36$).



2.6 pav. Mikroskopas Optika M699

2.2.3. Brailio rašto, suformuoto ant skirtingų medžiagų, atsparumo temperatūriniais veiksniams ir senėjimui tyrimų įranga ir metodika

Brailio raštu žymimos pakuotės ar etiketės naudojamos vaistams ar maisto produktams turi būti saugomos šaldytuve ar laikomos vėsioje ir tamsioje patalpoje. Siekiant įvertinti temperatūrinio poveikio įtaką BR geometriniais parametrams, eksperimentiniai tyrimai buvo atlikti naudojant įspaudimo būdu kartone Arktika GC1 250 g/m², Multicolor Mirabell GD2 250 g/m² ir trafaretine spauda skirtingose medžiagose (kartone Arktika GC1 250 g/m², kartone Multicolor Mirabell GD2 250 g/m², popieriuje Polaris 115 g/m², popieriuje Munken Pure 90 g/m², polimere PP, Al folijoje) bandinius su BR (žr. 2.1 lent.). Senėjimo proceso įtaka BR geometriniais

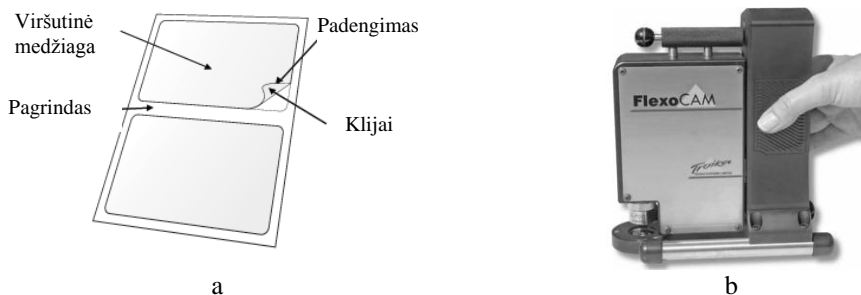
parametrams nustatyta skirtingo tipo kartone (Arktika GC1 250 g/m², Multicolor Mirabell GD2 250 g/m²) įspaudimo būdu suformuotam Brailio raštui.

Temperatūrinių veiksnių tyrimui, įvertinant vartojimo sąlygas, buvo pasirinkta -15 °C ir +5 °C temperatūra. Bandinių temperatūriniam poveikiui tikslingai parinktos temperatūrinės reikšmės, atsižvelgiant į temperatūrinius režimus (šaldytuvo ir šaldiklio). Aukščiau aprašytu prietaisu FAG BRAI³ Braille Dot Checker buvo atliekami Brailio rašto taškų aukščio h matavimai. BR taškų aukštis buvo matuotas išlaikius bandinius 14 ir 29 paras, pasirinkus vidutinį vaistų ir maisto produktų laikymo šaldytuve ir šaldiklyje laiko tarpą.

Atsižvelgiant į vaistų ir maisto produktų sandėliavimo vidutinį laikotarpį, BR senėjimo įtakos nustatymui buvo pasirinktas 6 mėn ir 12 mėn. laikotarpis, esant temperatūrai $+21 \pm 1$ °C ir 50 ± 2 % santykiniam oro drėgnumui.

2.2.4. Lipniose etiketėse skaitmeniniu būdu suformuoto BR technologinių parametrų optimizavimo tyrimų įranga ir metodika

Vienas iš galimų BR spausdinimo būdų ant lipnių etikečių yra skaitmeninė rašalinė (angl. ink-jet) spauda, kai Brailio rašto taškai spausdinami didelio klampumo UV džiovinamu laku. Šiuo atveju, atspaudos kokybė priklauso nuo spausdinamosios medžiagos, lako fizinių bei mechaninių savybių ir spausdinimo proceso technologinių režimų: lako temperatūros, slėgio, spausdinimo greičio. Buvo nustatyta spausdinimo greičio ir lako temperatūros vertės, kurioms esant suformuojami BR optimalūs geometriniai parametrai.



2.7 pav. Lipnios etiketės sudedamosios dalys(a) ir BR geometrinių parametrų matavimui naudotas įrenginys FlexoCAM (b)

Šių tyrimų objektas buvo atspaudai su BR, suformuotu skaitmenine rašaline spaudos mašina 4 One Convertec (pagrindinės charakteristikos pateiktos 3 priede 2 lent.) su specialiu skaidriu laku Braille maker Varnish 1.0 A (žr. 4 priede 1 lent.).

Naudojant šį specialų laką buvo išgauti $(1,40-2,00) \times 10^{-3}$ m diametro d ir $(0,20-0,40) \times 10^{-3}$ m aukščio h BR taškai ant dviejų skirtingų lipnių etikečių medžiagų (76 mm pločio): a) popieriaus PrimeCoat MC S2000, b) polietileno plėvelės FASSON PE85 WHITE S692N-BG40WH (žiūr. 2 Priedas 2 lentelė). Lipnios etiketės struktūra pateikta 2.7 pav. a.

Spausdinimo metu buvo parinkti skirtingi režimai: lako temperatūra 51–59 °C, lako padavimo slėgis 2–3 MPa, spausdinimo greitis 0,25–0,75 m/s. BR geometrinių

parametrų, keičiant technologines sąlygas, įvertinimui buvo naudojamas matavimo prietaisas FlexoCam [84] (2.7 pav. b) ir skaitmeninis mikroskopas IntelPlay QX3.

2.2.5. BR spausdinimui trafaretine spauda medžiagų tinkamumo nustatymo metodika

Brailio rašto spausdinimas trafaretine spauda pastaraisiais metais vis plačiau naudojamas, nes dėl storo dažų sluoksnio lengva išgauti reljefinius vaizdus ir galima spausdinti ant įvairių medžiagų: popieriaus, kartono, tekstilės, metalo bei medžiagų, padengtų polietileno (PE) ir polipropileno PP, lipnios folijos, PET poliesterio padengto folija, PVC ir kt. [35, 36]. Spausdinant Brailio raštą trafaretine spauda, BR nuskaitymas priklauso nuo medžiagos tipo ir BR geometrinių parametrų dydžio [37]. Reljefiniams elementams išgauti trafaretinėje spaudoje yra naudojami tradiciniai trafaretiniai arba vandens pagrindo UV kietėjantys skaidrūs dažai. Spausdinant BR labai svarbu yra išgauti tinkamo dydžio BR taškus, nes technologinio proceso metu džiovinant atspaudą, taškų aukštis mažėja. Pavyzdžiui, vandens pagrindo UV kietėjantys dažai, po džiovinimo sudaro mažesnę BR elementų aukštį nei tik užnešus dažus, lyginant su tradiciniais UV kietėjančiais dažais [38].

Siekiant parinkti tinkamas medžiagas BR spausdinimui, buvo atlikti eksperimentiniai tyrimai, kurių metu buvo nustatyta terminio poveikio įtaka BR dažų masės kitimui.

Eksperimentinių tyrimų metu buvo naudoti šio tipo 4 bandiniai:

- 1 bandinys padengtas trafaretiniais dažais;
- 2 bandinys – trafaretiniais dažais+termomilteliais;
- 3 bandinys – trafaretiniais dažais+kartonas;
- 4 bandinys – trafaretiniais dažais+termomilteliais+kartonas.

Tyrimų metu reljefiniams vaizdams trafaretiniu būdu spausdinti buvo naudoti vandens pagrindo trafaretiniai dažai PASSAD AQ 0-51 ir šių dažų kompozicija su termomilteliais, kurią sudaro 55÷75 % trafaretinių dažų PASSAD AQ 0-51 ir likusi dalis priedai, į kurių sudėtį įeina termoplastinė medžiaga stireno ir maleino rūgšties anhidridas (12÷22 %) ir tirpiklis dimetilsulfoksidas (13÷23 %).

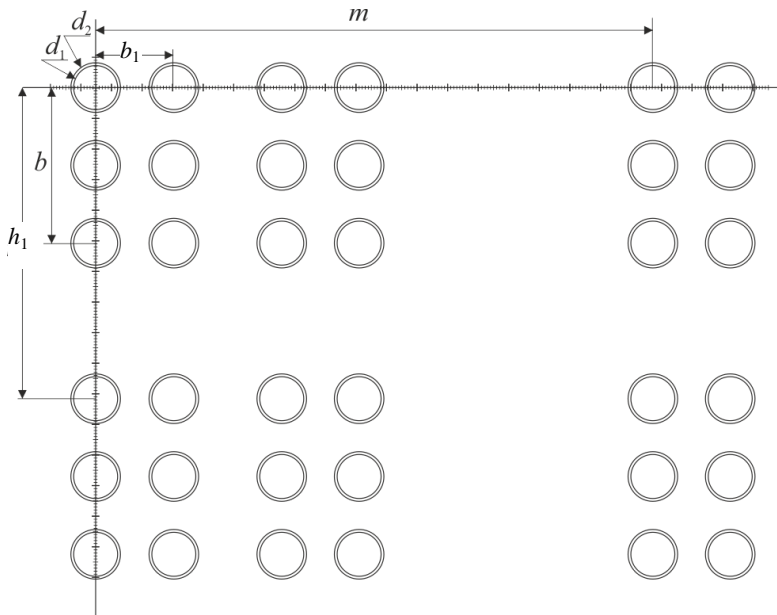
Brailio raštas ant kartono Plike (kreidinis, celiuliozinis, atsparus karščiui, 250 g/m², žr. 2.1 lent.) buvo atspausdintas trafaretine spaudos mašina TX-2530 (esant optimaliems spausdinimo režimams) aukščiau paminėtais dažais ir jų kompozicija. Kad pasiekti tam tikro aukščio reljefinius elementus, BR atspaudai buvo džiovinami iki 200 °C temperatūros esant džiovinimo trukmei 15÷35 s [38, 85–87].

Atliekant atspaudų su BR kokybinę analizę, buvo vertinamas terminis stabilumas, kuris nustatytas analizuojant termogramas, gautas derivatografu Q-1500 D (F. Paulik, J. Paulik, L. Erdey system). Mėginiai buvo analizuoti dinaminio režimu, esant šildymo greičiui 5 °C /min patalpoje. Mėginių masė buvo 200 mg. Etalonine medžiaga buvo aliuminio oksidas, kuris yra vienas iš rekomenduojamų medžiagų termogravimetrinėje analizėje, nes nereaguoja su tiriamomis medžiagomis kaitinimo metu. Nustatant dažų, naudojamų BR spausdinimui skilimo ribas, bandiniai buvo kaitinami iki 350 °C temperatūros.

Termogravimetrinės analizės (TGA) metodu buvo registruojamas bandinių

medžiagos masės kitimas (TG kreivė) bandinį kaitinant iki aukštos temperatūros. Šiuo atveju buvo nustatomas terminis medžiagų stabilumas, destrukcijos procesai. Kartu su TG kreive buvo užrašoma ir jos pirmoji išvestinė (DTG kreivė). Analizuojant gautą diferencinės termogravimetrijos (DTG) kreivę, buvo nustatytas didžiausias bandinio masės mažėjimo greitis.

Diferencinės terminės analizės (DTA) metodu buvo matuojamas bandinio ir etalono (aliuminio oksido) temperatūrų skirtumas, esant tam tikram temperatūriniam režimui oro aplinkoje.



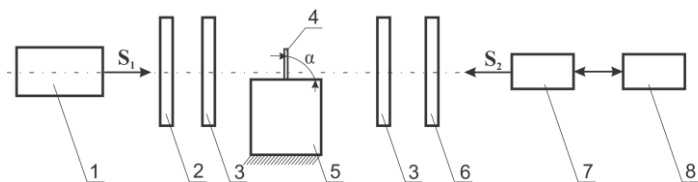
2.8 pav. BR geometrinių parametrų kontrolinė skalė, kur d_1 , d_2 – min ir max BR taško diametras, b_1 – atstumas tarp BR taškų centro, b – BR elemento aukštis, m – tarpas tarp žodių, h_1 – atstumas tarp eilučių [88]

Naudojant mikroskopą Biolam C-11 Lomo, buvo analizuoti BR elementų vaizdai. Brailio rašto geometrinių parametrų kokybinei analizei atlikti buvo naudojama aukščiau paminėta įranga bei specialiai sukurta ant skaidrios plėvelės bandomoji skalė (žr. 2.8 pav.) [88] ir optinis prietaisas FAG BRAI³ Braille Dot Checker (BRAI³), išvedant rezultatus kompiuteryje.

2.2.6. Brailio rašto ir iliustracijų, suformuotų ant polimerinių plėvelių, įtempių pasiskirstymo analizės, naudojant fototampromo metodą tyrimo įranga ir metodika

Polimerinėje plėvelėje, įprastai optiškai izotropinėje polimerinėje medžiagoje, BR taškų ar iliustracijų formavimo proceso metu ar knygos lapų lankstymo metu susidaro įtempiai, kurie gali neigiamai įtakoti kokybinius BR parametrus [7]. Siekiant nustatyti įtempių išsidėstymo pobūdį polimerinėje medžiagoje su Brailio rašto elementais ar iliustracijomis, šiame darbe panaudotas fototampromo metodas.

Šių tyrimų metu siekiama nustatyti susidariusius liekamuosius įtempimus polimerinėse plėvelėse, kuriose yra suformuoti BR elementai.



a



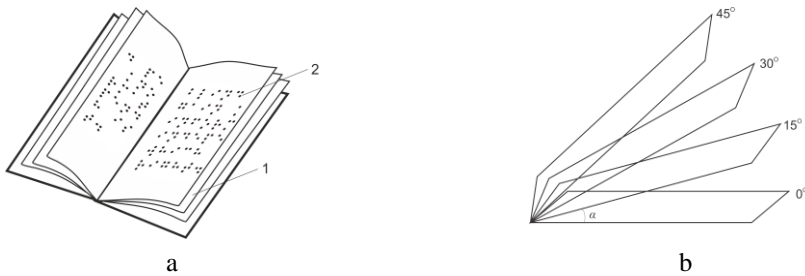
b

2.9 pav. Įtempių tyrimo stendas: a - struktūrinė schema kur 1 – šviesos šaltinis, 2 – poliarizatorius, 3 – ketvirčio bangos ilgio plokštelė, 4 – bandinys (polimerinė plėvelė su BR), 5 – pagrindas, ant kurio dedamas bandinys, 6 – analizatorius, 7 – skaitmeninė kamera EO-1312c, 8 – personalinis kompiuteris, S_1 – šviesos srauto sklidimo kryptis, S_2 – stebėjimo kryptis, α – polimerinės plėvelės posvyrio kampas; b– surinkto tyrimų stendo išorinis vaizdas

Įtempių tyrimo atlikimui buvo surinktas specialusis eksperimentinis stendas, kurio schema bei išorinis vaizdas pateikti 2.9 pav. Jis apima tris pagrindinius suderintus įrenginius: General Purpose Strain Viewer, naudotas įtempių pasiskirstymo spalvinei struktūrai gauti, skaitmeninė kamera ir personalinis kompiuteris.

Buvo tiriami šeši bandomieji pavyzdžiai: pirmieji du bandiniai buvo pagaminti iš skaidrios polimerinės plėvelės (PVC) su skaidriais trafaretine spauda spausdintais BR taškais (2.11 pav. a,b), trečias pavyzdys buvo pagamintas iš skaidrios polimerinės plėvelės (PVC) suformavus skaidrius Brailio rašto taškus termoformavimo (įspaudimo) būdu, ketvirtas, penktas bandiniai – polimerinės medžiagos PET (polietileno teraftalato) ir šeštas bandinys – PP (polipropileno) (žiūr. 2.4 lent.) pakuotės su termoformavimo (įspaudimo) būdu suformuotu Brailio raštu ir reljefiniais elementais (žiūr. 2.11 pav. c,d). Šios medžiagos yra naudojamos maisto ir ne maisto produktų pakavimui. Bandinių medžiagų pagrindinės charakteristikos pateiktos 2.4 lentelėje. Bandinių Nr. 1–3 įtempių lygis įvertintas esant bandinio statiniam būviui ir po vartymo skirtingais kampais (žiūr. 2.10 pav.), o

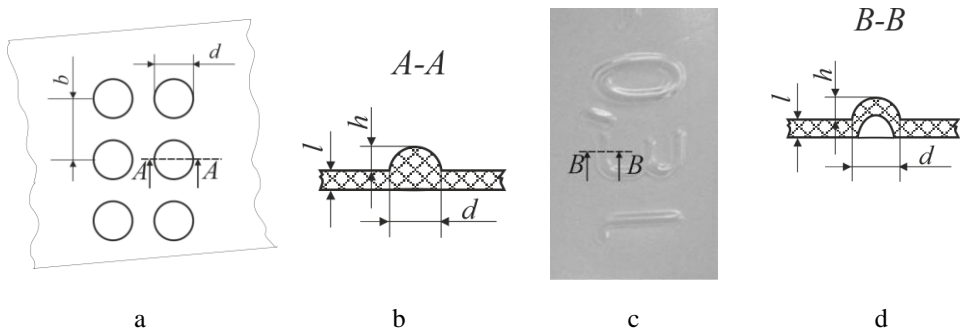
bandinių Nr. 4–6 įtempių pasiskirstymas įvertintas esant statiniam būviui. Vartymo kampo dydis pasirinktas atsižvelgiant į knygos vartymo metu sudaromo kampo galimybes. Tyrimo metu užfiksuotų įtempių spalvinė struktūra buvo analizuojama pagal įmonės „Sharpless“ pateiktą metodiką (2.5 lentelė). Bandiniuose įtempių pasiskirstymo spalvinių struktūrų vaizdai buvo fiksuojami skaitmenine kamera EO-1312c. Tyrimų metu naudota įranga fiksovo tik įtempių lauko pasiskirstymą.



2.10 pav. Bandinių (Nr. 1-3) schematiniai vaizdai: a – knyga, kurią sudaro polimerinių plėvelių lapai l su Brailio raštu 2; b – tyrimo metu bandiniai vartant knygą palenkti kampu α

2.4 lentelė. Bandinių charakteristikos [89]

Parametrai	Bandiniai			
	Polimeras PVC (bandiniai Nr. 1,2)	Polimeras PVC (bandinys Nr. 3)	Polimeras PET (bandiniai Nr. 4, 5)	Polimeras PP (bandinys Nr. 6)
Tamprumo modulis, E (MPa)	2033	2033	$1,41 \cdot 10^4$	1032–1720
Puasono koeficientas, ν	0,42	0,42	0,44	0,45
Stipris tempiant (MPa)	51,7	51,7	172	29,3–38,6
Trūkstamasis pailgėjimas (%)	20–40	20–40	12–55	100–600
Smūginis atsparumas (MPa)	2–4,5	2–4,5	13–35	2,8–6,9
Medžiagos storis (mm)	0,08	0,8	0,25	1,0
Medžiagos tankis (g/cm^3)	1,38	1,38	1,335	0,85–0,854



2.11 pav. Bandinių schematiniai vaizdai: a) BR vaizdas iš viršaus: d – BR taško diametras, b – tarpas tarp BR taškų; b) BR, suformuoto trafaretine spauda polimerinėje medžiagoje vaizdas iš šono (A-A): l – polimerinės medžiagos storis, h – BR taško aukštis; c) išpaustas reljefinis vaizdas; d) profilis reljefinio elemento (B-B): l – polimerinės medžiagos storis, h – reljefinio elemento aukštis, d – reljefinio elemento plotis

2.5 lentelė. Spalvinių sričių eilės, susidaranti apšvietus bandinį poliarizuotos baltos šviesos šaltiniu [90]

Spalva	Delsa, nanometrai (10^{-9} m)
Pirmosios eilės spalvos	
Juoda	0
Pilka	140
Balta	260
Gelsva	330
Oranžinė	460
Tamsiai raudona	520
Purpurinė	580
Tamsiai mėlyna	620
Antrosios eilės spalvos	
Mėlynai–Žalia	700
Žaliai–geltona	830
Oranžinė	960
Melsva	1050
Purpurinė	1150
Žalia	1350
Trečiosios eilės spalvos	
Žaliai–geltona	1450
Rožinė	1550
Žalia	1800
Ketvirtosios eilės spalvos	
Rožinė	2100
Žalia	2400

2.2.7. BR įspaudimui naudojamo štampo įtempimų nustatymas

Įspaudimo būdu kartoninėse pakuotėse suformuoto Brailio rašto kokybę įtakoja ne tik kartono savybės, bet ir įspaudimo proceso metu štampo kontaktas su medžiaga [68]. Brailio rašto formavimo metu, štampiui kontaktuojant su skirtingo tipo medžiagomis, kontakto zonoje atsiranda įtempiai, kurių konfigūracija ir vertė apsprendžia BR geometrinių parametrų ir BR taškų kokybę. Ankstesnių tyrimų metu nustatyta, jog BR formavimui yra tinkamesnis celiuliozinės masės kartonas, tad atsižvelgiant, į šios sudėties kartono asortimentą ir naudojimą pakuotėms, tyrimų bandiniams buvo parinkti dviejų tipų kartonai: Arktika GC1 250 g/m^2 ir Alaska GC2 275 g/m^2 , kurių techninės charakteristikos pateiktos 2 priede 1 lentelėje.

Štampo įtempimų nustatymui naudota eksperimento schema ir įranga pateikta 2.13–2.14 pav. Įtempimų nustatymui buvo naudota skaidri stiklinė testinė plokštelė, turinti optiškai izotropinės medžiagos savybių (2.12 pav. a pozic. 1). Ši medžiaga pasirinkta, nes yra žinoma, jog apkrovus optiškai izotropinę medžiagą, joje susidaro įtempiai, ko pasekoje atsiranda optinė anizotropija. Krintant poliarizuotos šviesos bangai į anizotropinės terpės paviršių, terpėje atsiranda dvi lūžusios skirtingos poliarizacijos bangos, sklindančios skirtingomis kryptimis nevienodais greičiais. Šio dvejopo spindulių lūžio reiškinys identifikuojamas poliarizuotoj šviesoj [71–73].

Kietoje, vienalytėje, skaidrioje optinio diapazono terpėje atsirandantys mechaniniai įtempiai gali būti matuojami taikant poliarimetrijos metodiką [72].

Esant mechaniniams įtempiams σ_μ optinės poliarizacijos tenzoriaus komponentų konstanta B_i (arba lūžio rodiklis n , kai $B_i=(1/n^2)_i$) keičia reikšmę [73, 74]:

$$\Delta B_i = B_i - B_i^0 = \pi_{i\mu} \sigma_\mu ; \quad (2.1)$$

čia $\pi_{i\mu}$ ketvirto rango pjezooptinis tenzorius, o B_i ir B_i^0 – apkrautų bandinių optiškai poliarizuotų konstantų tenzoriaus komponentai. Atitinkamai pasirinkus matavimo objekto geometriją, esant nenuliniais pjezooptiniams koeficientams, keičiasi optinės indikatrixės parametrai ir todėl keičiasi šviesos savųjų bangų, praeinančių per tiriamą bandinį, fazių skirtumas ψ [73, 74]. Šviesos, perduodamos per sistemą intensyvumas aprašomas santykiu:

$$I = \frac{I_0}{2} \{1 + \sin \psi \sin [2(\alpha - \varphi)]\}; \quad (2.2)$$

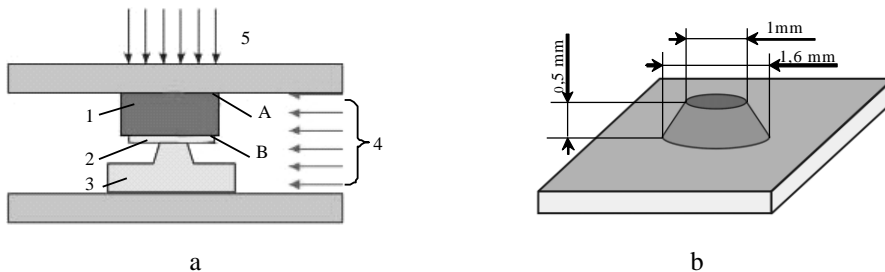
čia I_0 ir I – įeinančios ir išeinančios šviesos intensyvumas, kur:

$$\psi = 2\pi \Delta n d / \lambda ; \quad (2.3)$$

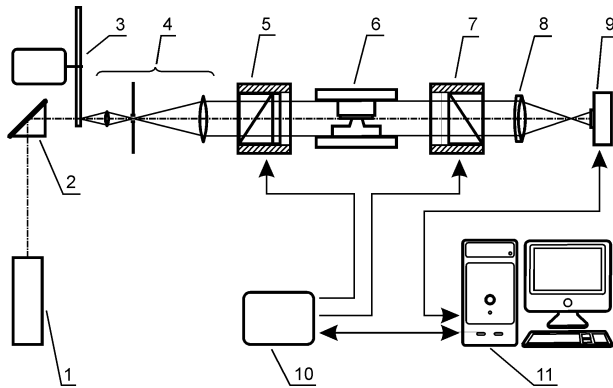
ψ – fazių skirtumas, atsirandantis dėl mechaninių įtempčių, λ – šviesos bangos ilgis, d – bandinio storis, Δn – optinis dvigubas lūžis, atsirandantis dėl mechaninių įtempčių, φ – optinės indikatrixės sukimo kampas, α – analizatoriaus orientacijos kampas [74, 97].

Esant mechaniniam modeliui, jungiančiam tenzoriaus įtempčių komponentus σ_μ , kai bandinys veikiamas mechanine jėga, galima nustatyti įtempčių pasiskirstymą štampe (puansone arba matricoje). Tyrimo metu nustatomas įspaudimo proceso metu atsirandantis įtempčių pasiskirstymas štampe, kai kontakto taško diametras – 1 mm. Spaudžiamas elementas (štamapas) yra parodytas (2.12 pav. b).

Fazių skirtumo pasiskirstymas tiriamame bandinyje yra gaunamas tokiu būdu: bandiniai (žr. 2.12 pav.) įdėti į poliarimetrą (2.13 pav. 6 pozic), buvo veikiami jėgos 101.91 N ir vėliau gauti įtempčių pasiskirstymai.



2.12 pav. Įtempčių nustatymo eksperimentinių tyrimų stendo supaprastinta schema (a): 1 – skaidri, optiškai izotropinė medžiaga, 2 – kartono bandinys, 3 – štamapas, 4 – sklaidžiamos poliarizuotos šviesos srauto kryptis, 5 – prispaudimo apkrovos kryptis, A, B – kontakto zonos, C – įtempimų pasiskirstymo zona; (c): įspaudžiamo štampo, artimo BR formai, konfigūracija



2.13 pav. Poliarimetro funkcinė schema: 1 – lazeris, 2 – veidrodis, 3 – koherencijos šifratorius, 4 – šviesos filtras, 5 – poliarizatorius, 6 – tiriamojo bandinio sritis (žr. 2.12 pav. a), 7 – analizatorius, 8 – objektyvas, 9 – CCD kamera, 10 – variklio reguliatorius, 11 – PC

2.2.8. Duomenų statistinė analizė ir matavimo rezultatų paklaidos dydžio įvertinimas

Eksperimentiniams rezultatams apskaičiuotos statistinės charakteristikos [97]: \bar{x} – aritmetinis matavimo rezultatų vidurkis (2.4 formulė); s – standartinis nuokrypis arba vidutinė kvadratinė paklaida (2.5 formulė), variacijos koeficientas V (2.6 formulė) ir atskirų matavimų absoliutines paklaidas (2.7), t.y., jų nuokrypius nuo vidurkio:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ; \quad (2.4)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} ; \quad (2.5)$$

$$V = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \% ; \quad (2.6)$$

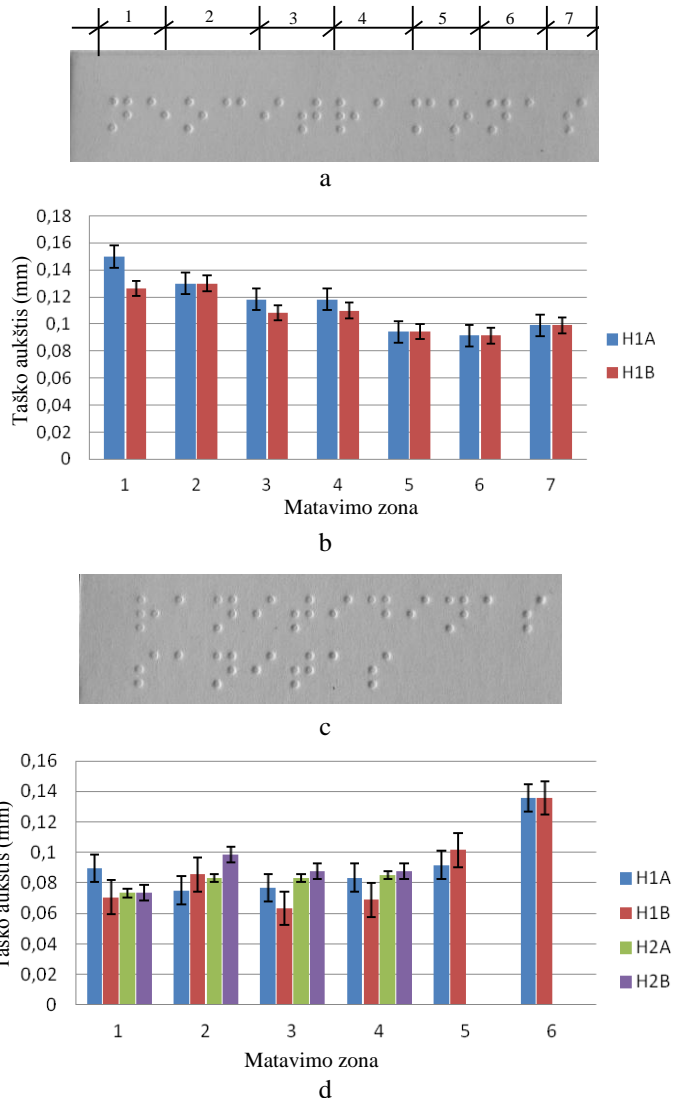
$$\Delta x_i = x_i - \bar{x}_n ; \quad (2.7)$$

čia x_i – atskirų matavimų rezultatai, n – matavimų skaičius.

3. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATAI

3.1. Farmacinėse pakuotėse išpausto Brailio rašto nuskaitymo ir geometrinių parametrų sklaidos ir kokybę įtakojančių faktorių nustatymo rezultatai

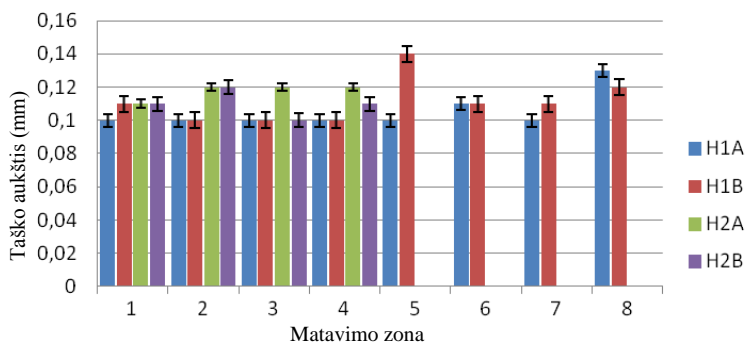
Farmacinėse pakuotėse išpausto BR taškų aukščio h matavimai atlikti remiantis metodika, kuri yra pateikta 2.2.1. poskyryje. Rezultatai pateikti 3.1–3.5 pav., 3.1 lentelėje pateikti BR geometrinių parametrų matavimo rezultatai.



3.1 pav. Išpausto BR taškų aukščio h bandinio Nr. 1 (a), kartonas Alaska GC2 275 g/m² sklaidos rezultatai (b), bandinio Nr. 2 (c), kartonas Alaska GC2 275 g/m² rezultatai (d): H1A – pirmos eilutės BR taškų aukštis elemento viršutinėje dalyje; H1B – pirmos eilutės BR taškų aukštis elemento apatinėje dalyje; H2A – antros eilutės BR taškų aukštis elemento viršutinėje dalyje, H2B – antros eilutės BR taškų aukštis elemento apatinėje dalyje



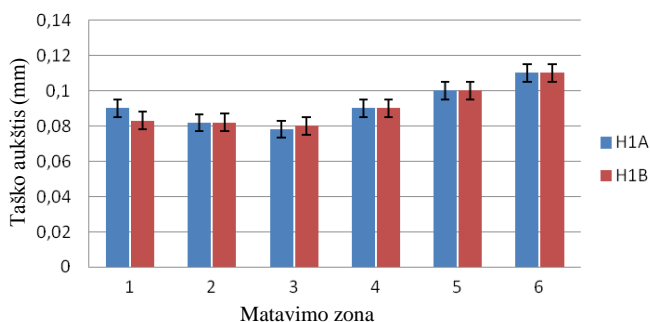
a



b



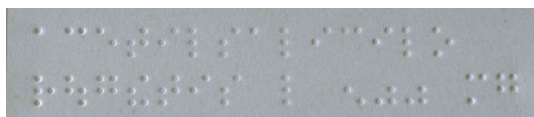
c



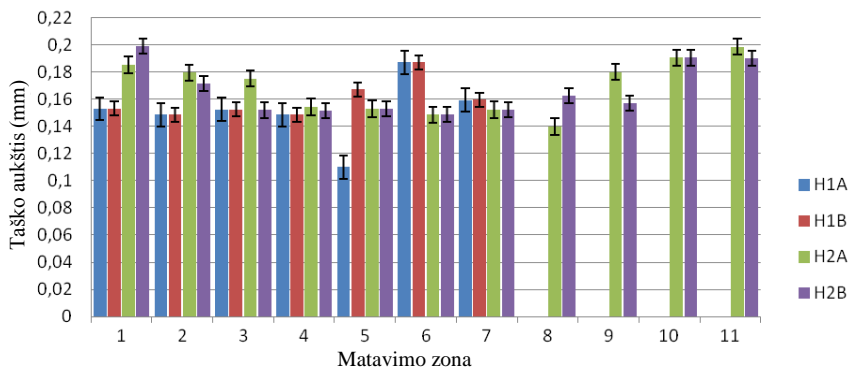
d

3.2 pav. Farmacinėse pakuotėse išspausito BR taškų aukščio h bandinio Nr. 3 (a), kartonas Alaska GC2 275 g/m², sklaidos rezultatai (b), bandinio Nr. 4 (c), kartonas Alaska GC2 275 g/m², rezultatai (d): H1A – pirmos eilutės BR taškų aukštis elemento viršutinėje dalyje; H1B – pirmos eilutės BR taškų aukštis elemento apatinėje dalyje; H2A – antros eilutės BR taškų aukštis elemento viršutinėje dalyje, H2B – antros eilutės BR taškų aukštis elemento apatinėje dalyje

Analizuojant tyrimų duomenis (žiūr. 3.1–3.5 pav.), galima pastebėti, jog išspaudimo būdu suformuoto Braillio rašto taškų aukščio vertė kinta priklausomai nuo jo taškų pozicijos elemente ir eilutėje. BR taškų aukštis elemento viršutinėse (A) ir apatinėse (B) dalyse, BR eilutės pradžioje ir gale bei BR skirtingose eilutėse (H1, H2, H3) skiriasi.



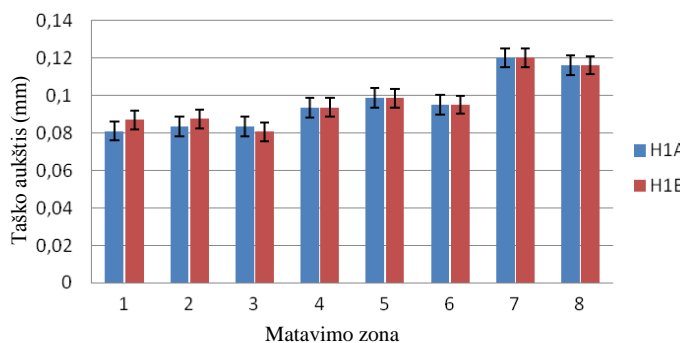
a



b



c



d

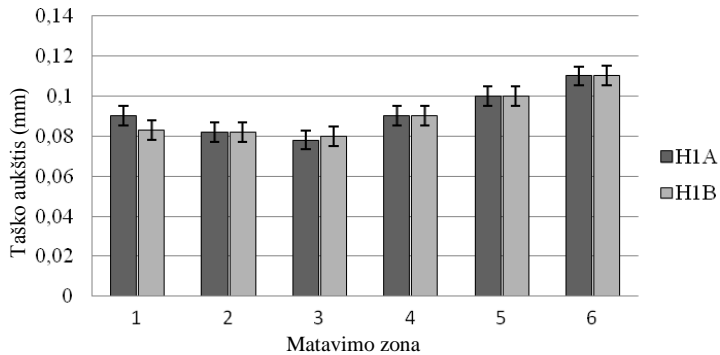
3.3 pav. Įspausito BR bandinio Nr. 5(a), kartonas Alaska GC2 275 g/m², taškų aukščio h sklaidos rezultatai (b); bandinio Nr. 6 (c), kartonas Alaska GC2 275 g/m², rezultatai (d) bandinio: H1A – pirmos eilutės BR taškų aukštis elemento viršutinėje dalyje; H1B – pirmos eilutės BR taškų aukštis elemento apatinėje dalyje; H2A – antros eilutės BR taškų aukštis elemento viršutinėje dalyje, H2B – antros eilutės BR taškų aukštis elemento apatinėje dalyje taškų aukštis elemento apatinėje dalyje

Skirtingų gamintojų pateiktuose bandiniuose (žiūr. 3.1–3.5 pav.) BR taškų aukščio sklaidoje pastebėti skirtumai. Tai galima paaiškinti tuo, jog įspaudimo būdu netolygiai pasiskirsto matricos prispaudimo jėga. Esant tokiam dideliam matavimo

duomenų sklaidos laukui (0,04–0,06 mm) BR užrašytas žodis ar tekstas gali būti sunkiai suprantamas dėl netinkamai suformuoto bent vieno elemento.



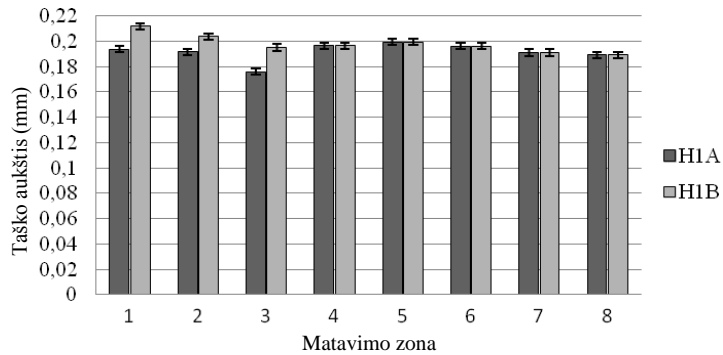
a



b



c

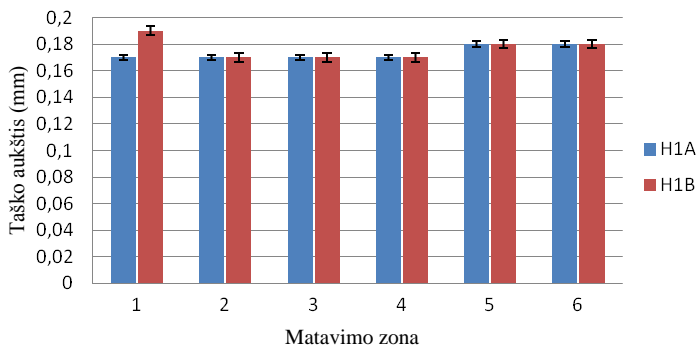


d

3.4 pav. Įspausito BR bandinio bandinio Nr. 7 (a), kartonas Alaska GC2 275 g/m², taškų aukščio h sklaidos rezultatai (b); bandinio Nr. 8, (c) kartonas Multicolor Mirabell GD2 320 g/m², rezultatai (d): H1A – pirmos eilutės BR taškų aukštis elemento viršutinėje dalyje; H1B – pirmos eilutės BR taškų aukštis elemento apatinėje dalyje



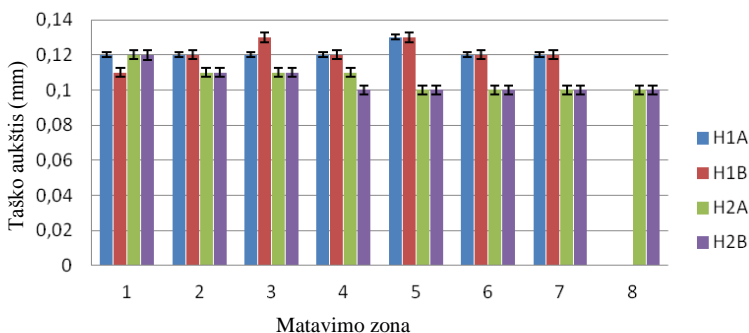
a



b



c



d

3.5 pav. Išspausito BR bandinio Nr.9 (a), kartonas Multicolor Mirabell GD2 320 g/m² taškų aukščio h sklaidos rezultatai (b); bandinio Nr. 10, (c) kartonas Alaska GC2 275 g/m²; rezultatai (d): H1A – pirmos eilutės BR taškų aukštis elemento viršutinėje dalyje; H1B – pirmos eilutės BR taškų aukštis elemento apatinėje dalyje; H2A – antros eilutės BR taškų aukštis elemento viršutinėje dalyje, H2B – antros eilutės BR taškų aukštis elemento apatinėje dalyje

Išmatavus BR taškų aukštį, apskaičiuotos BR taškų aukščio paklaidos vertės. Nustatyta, jog taško aukščio h nuokrypis nuo vidurkio reikšmės siekia nuo 0,006-0,020 mm. Nustatyta, jog Brailio taško skersmens dydis d turi tiesioginę įtaką

kitiems geometriniais parametru dydžiams b_1 , b_2 , b_3 , h_1 , h_2 (žr. 3.1 lent.). Kiekvienas bandymas y_{ijk} ($k = 1, 2, \dots, 20$) buvo pakartotas 6 kartus, tad lentelėje pateiktos vidutinės aritmetinės reikšmės. Dydžiai b_3 ir h_1 buvo išmatuoti ne visiems bandiniams, kadangi pastaruosiuose BR buvo sudarytas tik iš vienos eilutės arba vieno žodžio.

3.1 lentelė. Pakuotėse įspaudimo būdu suformuoto Brailio rašto geometrinių parametru matavimų reikšmės

Bandinio Nr. *	Gramatūra, g/m ²	Taško aukščio vidurkis, mm	Standartinis nuokrypis, mm	Taško skersmuo, mm	Horizontalus atstumas tarp taškų centrų, mm	Horizontalus atstumas tarp raidžių, mm	Atstumas tarp žodžių, mm	Atstumas tarp eilučių, mm	Vertikalus atstumas tarp dviejų taškų centrų, mm	Min. atstumas nuo pakuotės horizontalios kraštinės, mm	Min. atstumas nuo pakuotės vertikaliosios kraštinės, mm
		H	s	d	b_1	b_2	b_3	h_1	h_2	L_h	L_v
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	275	0,11	0,02	1,85	2,66	7,06	-	-	2,67	5,50	9,50
2.	275	0,09	0,008	1,80	2,59	6,78	-	10,00	2,48	10,00	9,00
3.	275	0,11	0,01	1,60	2,41	4,38	-	-	2,37	11,00	9,00
4.	275	0,11	0,02	1,61	2,50	5,96	-	-	2,49	5,00	21,00
5.	275	0,10	0,01	1,58	2,49	6,04	-	9,96	2,61	5,00	14,50
6.	275	0,10	0,01	1,61	2,31	6,13	9,70	-	2,31	6,50	5,00
7.	275	0,10	0,01	1,60	2,56	6,05	-	-	2,54	7,00	21,00
8.	320	0,16	0,01	1,63	2,29	6,12	-	-	2,13	9,00	5,00
9.	320	0,18	0,01	1,60	2,51	3,54	-	-	2,57	7,00	22,00
10.	275	0,11	0,006	2,17	3,27	8,74	-	13,16	3,24	9,00	8,50
11.	275	0,07	0,01	1,36	1,89	5,10	-	7,67	1,92	5,00	7,00

*Bandinio Nr. atitinka 3.2 lentelėje pateiktiesiems

Formuojant Brailio raštą ant pakuočių yra būtina palikti saugios erdvės tarp pakuotės krašto ir lankstymo linijos. Šis saugios erdvės dydis turėtų siekti 5–10 mm [8], tad kaip galima spręsti iš pateiktųjų rezultatų (žr. 3.1 lent.), bandiniuose BR pozicionavimas nuo pakuotės horizontaliosios kraštinės yra dalinai tenkinamas, tačiau nuo vertikaliosios pakuotės kraštinės 37 proc. bandinių viršija numatytąsias reikšmes. Šių bandinių BR nuskaitymo, dalyvaujant regėjimo negalių turintiems asmenims ($n_a = 36$) tyrimų rezultatai pateikti 3.2 lentelėje.

3.2 Lentelė. Pakuotėse įspaudimo būdu suformuoto Brailio rašto nuskaitymo testo, dalyvaujant akliems, rezultatai

Band Nr.	Kartonas (vaistų gamintojas/pavadinimas)	Gramatūra, g/m ²	Nuskaitymo rezultatas
1	2	3	4
1.	KartonasAlaska GC2 (Sanitas/Neocitramonas)	275	Nuskaityta, tačiau vyresnio amžiaus asmenys (virš 60 metų) ar mažiau patyrę skaitytojai sunkiai įskaitė paskutinius taškus, nes jų aukštis $h = 0,09$ mm, t.y. 0,06 mm BR aukščio pokytis nuo pirmųjų BR taškų eilutėje.
2.	KartonasAlaska GC2 (Sanitas/Ranitidas)	275	Raštas nuskaitymas per ilgesnį laiką, nes pirmoji raidė neapčiuopiama dėl pirmojo taško nepakankamo įspaudimo bei netinkamo aukščio $h = 0,07$ mm. Vyresnio amžiaus (virš 60 metų) skaitytojai nenuskaitytė tam tikrų raidžių, nes jos nepakankamai iškilę, vidutinis BR taškų aukštis siekia $h = 0,09$ mm.
3.	KartonasAlaska GC2 (Sanitas/Paracetamolis)	275	Nuskaitymas pakankamai gerai, vidutinis BR taškų aukštis siekia $h = 0,11$ mm, taško skersmuo $d = 1,6$ mm, atstumas tarp taškų 2,41 mm.
4.	KartonasAlaska GC2 (Liuks/Analginas 50)	275	Nuskaitymas pakankamai gerai, vidutinis BR taškų aukštis siekia $h = 0,11$ mm, taško skersmuo $d = 1,61$ mm, atstumas tarp taškų 2,50 mm.
5.	KartonasAlaska GC2 (Liuks/Acetilsalicilo rūgštis)	275	Labai aiškiai suformuotas raštas ir greitai nuskaitymas įvairaus amžiaus asmenų, vidutinis BR taškų aukštis siekia $h = 0,10$ mm, taško skersmuo $d = 1,58$ mm, atstumas tarp taškų 2,49 mm.
6.	KartonasAlaska GC2 (Liuks/Paracetamolis 20)	275	Nuskaitymas pakankamai gerai., vidutinis BR taškų aukštis siekia $h = 0,10$ mm, taško skersmuo $d = 1,61$ mm, atstumas tarp taškų 2,31 mm.
7.	KartonasAlaska GC2 (Liuks/Analginas 20)	275	Nuskaitymas raštas, tačiau vyresnio amžiaus asmenys (virš 60 metų) ar mažiau patyrę skaitytojai užtrunka nuskaitydami ilgiau nei įprastai, nes atstumas tarp BR taškų yra 2,56 mm.
8.	KartonasMulticolor Mirabel GD2 (Liuks/Paracetamolis 50)	320	Labai aiškiai suformuotas raštas, nuskaitymas įvairaus amžiaus skaitytojų, nes BR taškai yra labai tinkamo aukščio $h = 0,16$ mm.
9.	KartonasMulticolor Mirabel GD2 (Liuks/Analginas)	320	Labai aiškiai suformuotas raštas, nuskaitymas įvairaus amžiaus skaitytojų, nes BR taškai yra labai tinkamo aukščio $h = 0,18$ mm.
10.	KartonasAlaska GC2 (Valentis/Pertusinas)	275	Sunkiai nuskaityta, nes per dideli tarpai tarp taškų $b_1 = 3,27$ mm (išretintas raštas) arba sunkiai nuskaityta, nes taškai per mažo aukščio lyginant su esamais tarpais tarp jų.
11.	KartonasAlaska GC2 (Valentis/Valerijonų tinktura)	275	Nuskaityta, tačiau vyresnio amžiaus asmenys (virš 60 metų) ar mažiau patyrę skaitytojai sunkiai nuskaitytė, nes per maži tarpai tarp taškų $b_1 = 1,89$ mm ir mažo aukščio BR taškai, kurių vidutinė reikšmė siekia tik $h = 0,07$ mm.

Geriausiai nuskaitytas yra BR, suformuotas kartone Multicolor Mirabell GD2, nes esant minkštai ir puriai šiai poligrafinei medžiagai, įspausti BR taškai išgaunami net 0,15–0,19 mm aukščio. Kartone Alaska GC2 yra išgaunami mažesnio aukščio BR taškai ir kaip matyti, bandinių Nr. 1–3 (farmacinės pakuotės gamintojo „Sanitas“) BR taškų aukščio nuokrypis siekia 0,02–0,04 mm, kai bandinių Nr. 4–7 (farmacinės pakuotės gamintojo „Liuks“) BR taškų aukščio nuokrypis – 0,01-

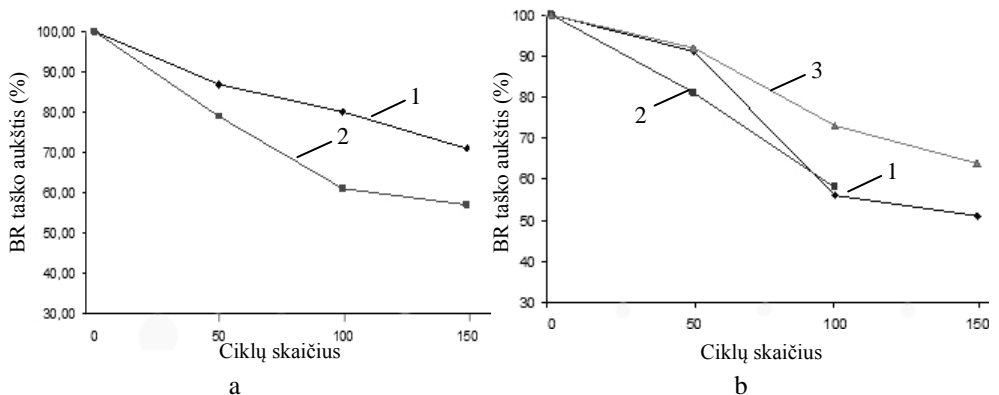
0,02 mm. Taip pat pastarasis BR buvo puikiai nuskaitytas, nes BR geometriniai parametrai yra tinkamų dydžių. Bandinių Nr. 10, 11 (farmacinės pakuotės gamintojo „Valentis“) BR buvo sunkiai nuskaitytas, nes suformuoti didesni, viršijantys 2,5 mm, ar mažesni nei 2,4 mm atstumai tarp BR taškų, kas apsunkino jų nuskaitymą. Vyresnio amžiaus žmonėms (virš 60 metų) nuskaitymo kokybę įtakoja BR taško aukštis (kurio vertė 0,09 mm) ir atstumas tarp BR taškų (ne didesnis nei 2,51 mm ir ne mažesnis nei 2,00 mm).

Tyrėjai [15] buvo teigę, jog taško aukščio netolygumai eilutėje neturi didelės įtakos nuskaitymui, tačiau atliktų tyrimų metu nustatyta, jog kiekvienas atskiras parametras ir bendrai jų visuma, turi svarbią reikšmę nereginiųjų rašto nuskaitymui, nes net vieno taško nebuvimas arba netinkamas suformavimas gali pakeisti žodžio prasmę. BR, suformuotą įspaudimo būdu, ne visada gali nuskaityti aklieji, nes šis spaudos būdas ne visada užtikrina stabilų BR taškų aukštį.

3.2. Brailio rašto, suformuoto ant skirtingų medžiagų tyrimo mechaniniam poveikiui rezultatai ir jų analizė

BR įspausto kartone tyrimo rezultatai

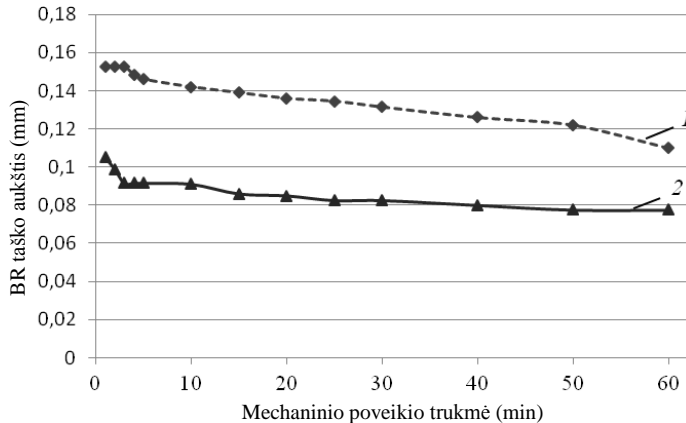
Naudojant Brailio rašto atsparumo mechaniniam poveikiui (trynimui) metodiką (žr. 2.2.2 poskyris), gauti tyrimų rezultatai pateikti 3.6–3.7 pav.



3.6 pav. Brailio rašto taško aukščio kitimas, esant skirtingam mechaninio poveikio ciklų skaičiui celiuliozinės masės kartone a - AlaskaGC2 tipo: 1– Alaska GC2 200 g/m²; 2 – Alaska GC2 250 g/m²; b – Arktika GC1 tipo: 1– Arktika GC1 200 g/m²; 2 – Arktika GC1 230 g/m²; 3 – Arktika GC1 250 g/m²

Nustatyta, jog labiausiai patvarūs yra Brailio rašto taškai, suformuoti įspaudimu ant celiuliozinės masės kartono su dvisluoksniu padengimu Alaska GC2 tipo (žr. 3.6 a pav.). BR taškų aukštis nuo pradinio BR taškų aukščio sumažėjo esant didesniai mechaninio veikimo ciklų skaičiui: po 50 ciklų kartono Alaska GC2 200 g/m² sumažėjo 13 %, Alaska GC2 250 g/m² – 21 %, po 100 ciklų Alaska GC2 200 g/m² – 20 %, Alaska GC2 250 g/m² iki 39 %. BR įspausto ant celiuliozinės masės kartono su dvisluoksniu padengimu GC1 (žr. 3.3 b pav.) tyrimų rezultatai yra šie: po 50 ciklų kartono Arktika GC1 200 g/m² Brailio rašto taškų aukštis sumažėjo 9 %, Arktika GC1 230 g/m² – 19 %, Arktika GC1 250 g/m² – 8 %

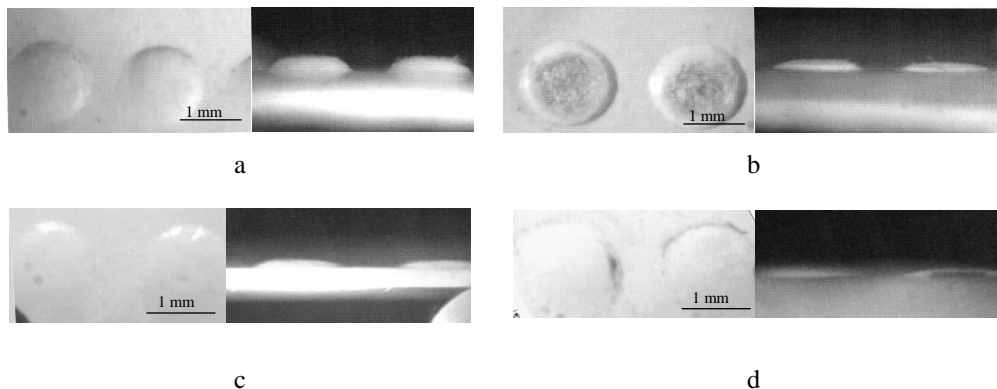
nuo pradinio taškų aukščio, o po 100 ciklų Arktika GC1 200 g/m² nuo pradinio aukščio sumažėjo – 44 %, Arktika GC1 230 g/m² – 42 %, o Arktika GC1 250 g/m² – 27 %. Vėlesnio proceso metu ant kartono paviršiaus prasidėjo plaušelių išpešiojimas, kas greičiausiai akliesiems gali trukdyti suvokti Brailio rašto tekstą, tad tolesni tyrimai buvo nevykdomi.



3.7 pav. Brailio rašto taško aukščio kaita esant skirtingam mechaninio poveikio trukmei:
 1 – makulatūrinis kartonas Multicolor Mirabell GD2, 2 – celiuliozinės masės kartonas Alaska GC2

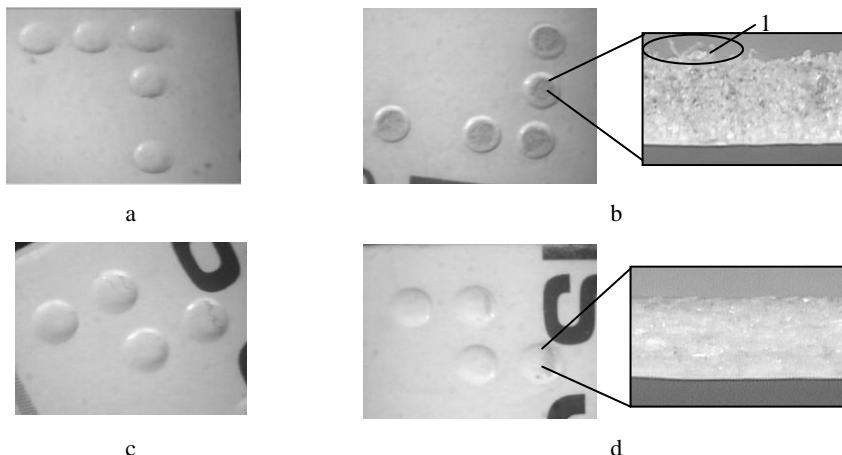
BR, įspauso ant celiuliozinės masės ir makulatūrinio kartono rūšių, taškų aukščio h pokyčio, veikiant cikliniam mechaniniam poveikiui, rezultatai pateikti 3.7 pav. Kaip galima pastebėti iš 3.7 pav. pateiktų kreivių, Brailio rašto taškų aukščio h pokytis po tam tikro mechaninio poveikio (poveikio trukmė – 60 min kai poveikio kelio ilgis – 1692 m) didesnis, esant BR ant makulatūrinio kartono (Multicolor Mirabell GD2) pakuočių. BR aukštis sumažėjo 31 % nuo pradinio BR taško aukščio, o celiuliozinės masės kartono (Alaska GC2) pakuotėse Brailio rašto taškų aukščio sumažėjimo pokytis 26 %.

Tikslu, nustatyti BR taškų paviršiaus pokyčius, buvo suformuoti skaitmeniniai vaizdai. Analizuojant skaitmeninius vaizdus, pastebimas žymus BR taškų paviršiaus susidėvėjimo skirtumas tarp skirtingų kartono rūšių (3.8-3.9 pav). Tai akivaizdžiai matosi ir paviršiaus mikroskopinėse nuotraukose (3.10-3.11 pav.), atliktose mikroskopinės analizės, aprašytos 3.2.2. skyriuje, metu. Skaitmeniniuose vaizduose ryškiai matosi, kad įspaudimo būdu celiuliozės masės kartone Arktika GC1 suformuoti BR taškų paviršiai veikiami mechaniškai susispaudžia ir susidėvi tolygiai, pastebimi nežymūs aukščio sumažėjimo pokyčiai (žiūr. 3.9 pav. d, 3.11 pav. f), o makulatūrinio kartono Multicolor Mirabell GD2 paviršiuje susidaro išpešiojimai (3.9 pav. b, 3.10 pav. f), kas gali komplikuoti Brailio rašto elementų nuskaitomumą. Tai sąlygoja skirtingos kartono savybės. Kartono tipai skiriasi savo chemine sudėtimi ir mechaninėmis savybėmis. Šie parametrai įtakoja skirtingą atsparumą deformacijoms, liekamiesiems įtempiams ir mechaniniam atsparumui trinčiam.

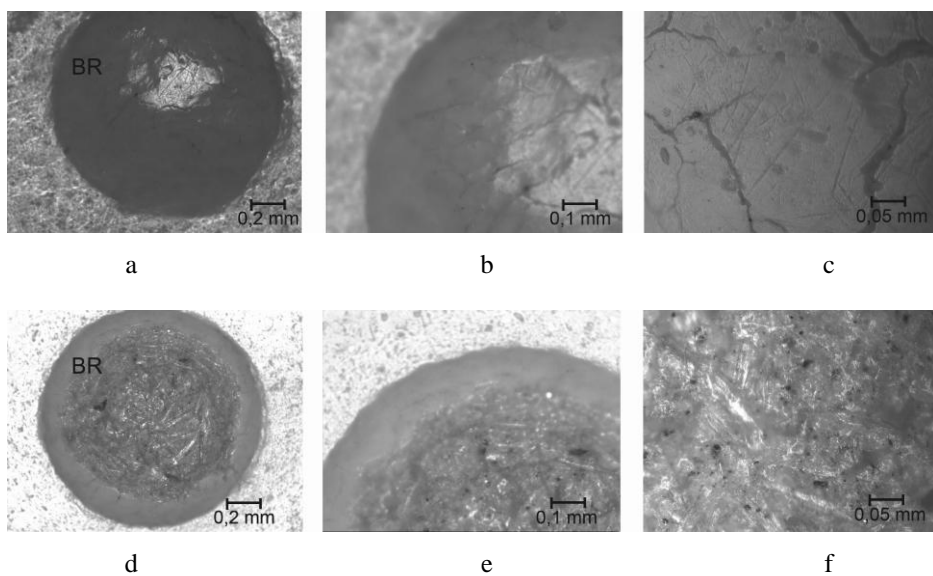


3.8 pav. Brailio rašto taškų skaitmeniniai vaizdai (iš viršaus ir iš šono) iki ir po mechaninio poveikio (kai Brailio taškų trynimo kelio ilgis – 1692 m): makulatūrinio kartono Multicolor Mirabell GD2 320 g/m² eksperimento pradžioje (a) ir po 60 min (b) ir celiuliozinės masės kartono Alaska GC2 275 g/m² eksperimento pradžioje (c) ir pabaigoje (d)

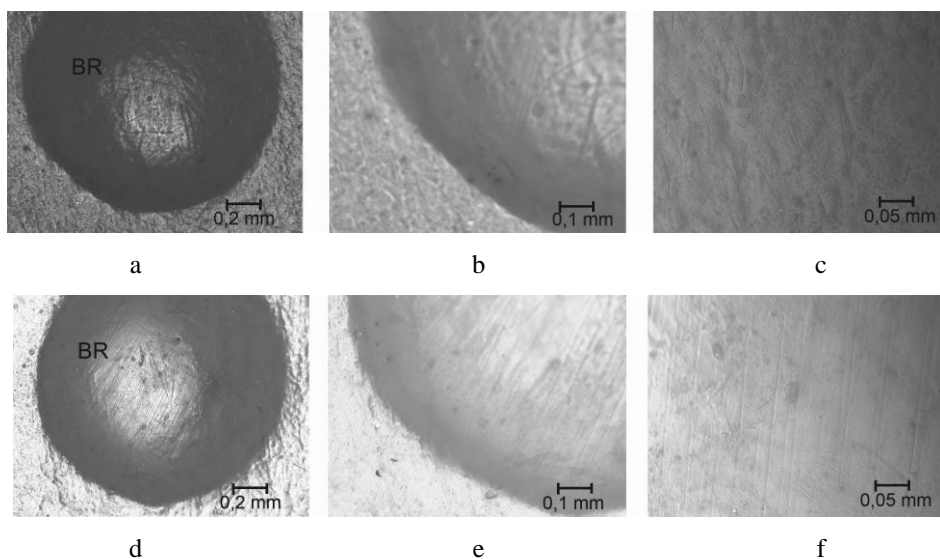
Atlikus mechaninio poveikio eksperimentinius tyrimus, nustatyta, jog priklausomai nuo kartono tipo, sudėties ir kartono paviršiaus savybių, pakuočių su Brailio raštu paviršius susidėvi skirtingai. Nustatyta, jog didesnis atsparumas mechaniniam poveikiui yra Brailio rašto, suformuoto įspaudimo būdu ant celiuliozinės masės kartono pakuočių, o ant makulatūrinio kartono pakuočių suformuoti Brailio rašto taškai yra mažiau patvarūs. Tad galima teigti, jog pakuotėms su Brailio raštu makulatūrinio kartono naudojimas negali būti rekomenduotinas. Esant didelei kartono įvairovei, labai svarbu yra parinkti tinkamą kartono rūšį suformuojant tinkamus Brailio rašto parametrus.



3.9 pav. BR, suformuoto įspaudimu, skaitmeniniai vaizdai mechaninio poveikio (trynimo) eksperimento pradžioje ir pabaigoje: makulatūrinio kartono Multicolor Mirabell GD2 eksperimento pradžioje (a) ir po 60 min (b) ir celiuliozinės masės kartono Arktika GC1 eksperimento pradžioje (c) ir pabaigoje (d), 1 – išplėšimai



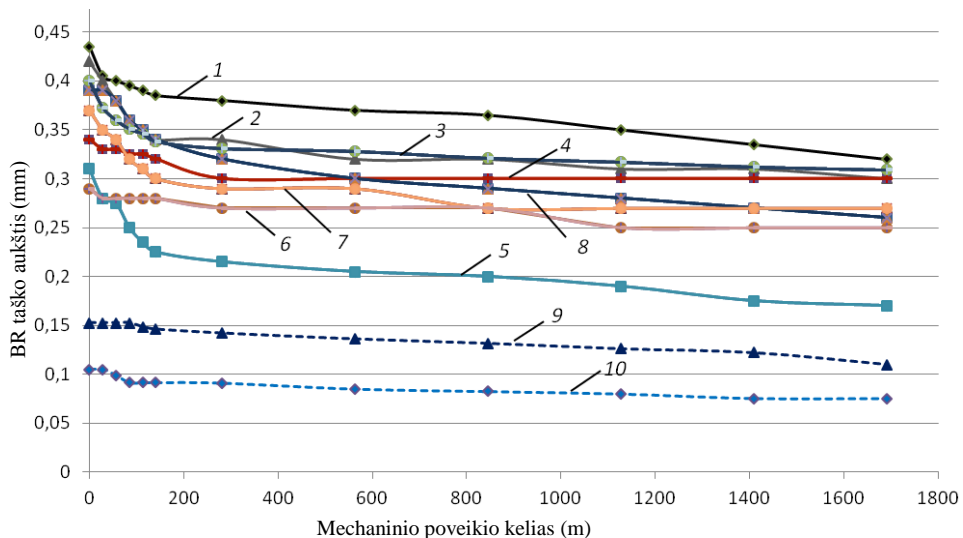
3.10 pav. Makulatūriniame kartone Multicolor Mirabell GD2 išspaudimo būdu suformuoto BR skaitmeniniai vaizdai tyrimo pradžioje, esant didinimui 75 (a), 150 (b), 300 (c) ir po mechaninio poveikio, esant didinimui 75 (d), 150 (e), 300 (f)



3.11 pav. Celiuliozinės masės kartone Arktika GC1 išspaudimo būdu suformuoto BR skaitmeniniai vaizdai tyrimo pradžioje, esant didinimui 75 (a), 150 (b), 300 (c) ir po mechaninio poveikio, esant didinimui 75 (d), 150 (e), 300 (f)

BR, atspausdinto trafaretine spauda ant skirtingų medžiagų, atsparumo mechaniniam poveikiui tyrimo rezultatai ir jų analizė

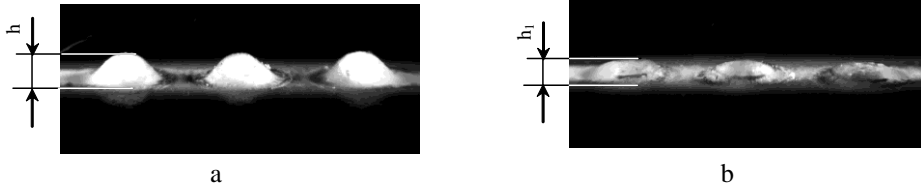
BR, atspausdinto trafaretiniu spaudos būdu ant skirtingų medžiagų paviršiaus atsparumo mechaniniam poveikiui tyrimų (metodika aprašyta 2.2.2. poskyryje) rezultatai pateikti 3.12 pav. Pateiktose priklausomybėse matyti BR taškų aukščio h vertės prieš eksperimentinį tyrimą ir po mechaninio poveikio nustatytais laiko tarpais (nuo 1 min iki 60 min). Didžiausia mechaninio poveikio įtaka pastebima per pirmąsias tyrimo 5 minutes, t.y. iki 141 m mechaninio poveikio kelio, nes tuo metu buvo veikiamos Brailio rašto taškų viršūnės, kurios mažiau atsparios mechaniniam poveikiui. Tokie rezultatai pastebimi, tiriant BR, atspausdintą trafaretine spauda (žr. 3.12 pav., pozicija 1–8), tiek palyginus su ankstesniais tyrimais, esant išpaustam BR (žr. 3.12 pav., pozicija 9–10). Grafikas parodo, jog Brailio taškų aukštis priklauso nuo mechaninio poveikio kelio ilgio. Nustatyta, jog, priklausomai nuo medžiagos tipo, ant kurios trafaretine spauda atspausdintas Brailio raštas, iškilūs taškai susidėvi skirtingai, nes plastizoliniai dažai spausdinimo metu dėl skirtingos medžiagų makromolekulių tarpusavio sąveikos, o tuo pačiu ir struktūrinių savybių (akytumų/poringumo) skirtingai prisitvirtina prie medžiagos paviršiaus.



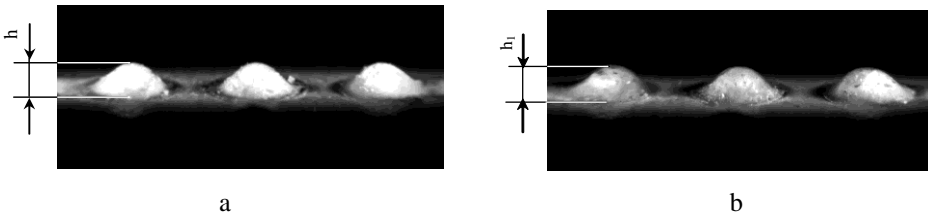
3.12 pav. BR taškų aukščio pokytis esant skirtingam mechaninio poveikio keliui (tyrimo laikas – 60 min), kai BR suformuotas trafaretine spauda ant skirtingų medžiagų: 1 – ant medvilninio audinio, 2 – sintetinio audinio, 3 – ant nekreidinio popieriaus Munken Pure, 4 – ant kreidinio popieriaus Polaris, 5 – ant kartono Arktika GC1, 6 – ant kartono Multicolor Mirabell GD2, 7 – ant Al folijos, 8 – ant polimero PP; kai BR išpaustas: 9 – ant kartono Multicolor Mirabell GD2, 10 – ant kartono Alaska GC1

Nustatyta, jog Brailio rašto taškų aukščio pokytis po 60 min, t.y. 1692 m mechaninio poveikio kelio ilgio gautas skirtingas: kartone Arktika GC1 suformuoto Brailio rašto taško aukštis sumažėjo – 45 %, kartone Multicolor Mirabell GD2 – 14 %, medvilniniame audinyje 27 %, sintetiniame audinyje 29 %, kreidiniame popieriuje Polaris – 23 %, nekreidiniame Munken Pure – 12 %, polimere PP – 33 %,

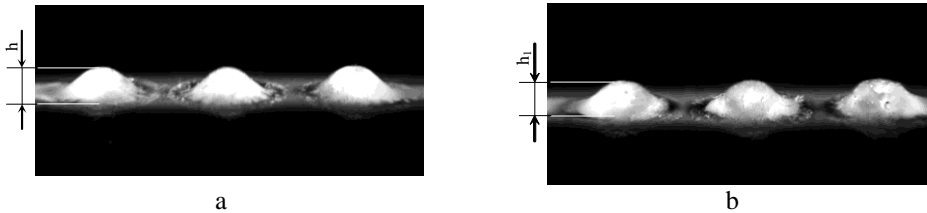
Al folijoje – 26 % nuo pradinio Brailio rašto taškų aukščio vertės. Skaitmeniniuose Brailio rašto taškų vaizduose (3.13–3.20 pav.), gautuose naudojant matavimo įrenginį FAG BRAI³ Braille Dot Checker, galima pastebėti, kad praėjus tam tikram mechaninio poveikio laikui (60 min) Brailio rašto taškų aukštis sumažėjo 12–45 % nuo pradinio aukščio. Pokytis yra skirtingas, priklausomai nuo medžiagų tipo, kuriose trafaretine spauda suformuotas Brailio raštas.



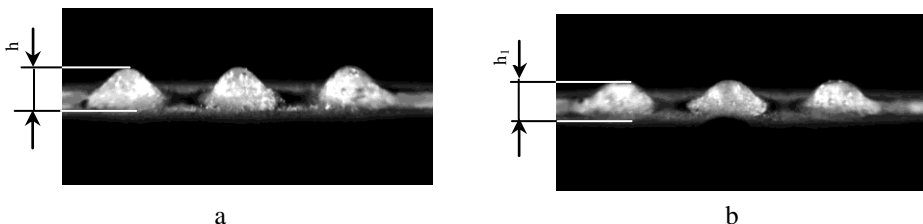
3.13 pav. Kartone (Arktika GC1 250 g/m²) atspausdinto Brailio rašto taškų profilio skaitmeniniai vaizdai: a – iki eksperimentinio tyrimo Brailio taško aukštis $h = 0,31$ mm; b – po 60 min mechaninio poveikio Brailio taško aukštis $h_1 = 0,17$ mm



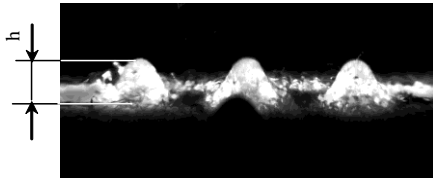
3.14 pav. Kartone (Multicolor Mirabell GD2 250 g/m²) atspausdinto Brailio rašto taškų profilio skaitmeniniai vaizdai: a – iki eksperimentinio tyrimo Brailio taško aukštis $h = 0,29$ mm; b – po 60 min mechaninio poveikio Brailio taško aukštis $h_1 = 0,25$ mm



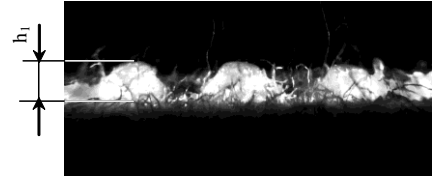
3.15 pav. Popieriuje (kreidinis Polaris, 115 g/m²) atspausdinto Brailio rašto taškų profilio skaitmeniniai vaizdai: a – iki eksperimentinio tyrimo Brailio taško aukštis $h = 0,34$ mm; b – po 60 min mechaninio poveikio Brailio taško aukštis $h_1 = 0,30$ mm



3.16 pav. Popieriuje (nekreidinis Munken Pure 90 g/m²) atspausdinto Brailio rašto taškų profilio skaitmeniniai vaizdai: a – iki eksperimentinio tyrimo Brailio taško aukštis $h = 0,40$ mm; b – po 60 min mechaninio poveikio Brailio taško aukštis $h_1 = 0,31$ mm

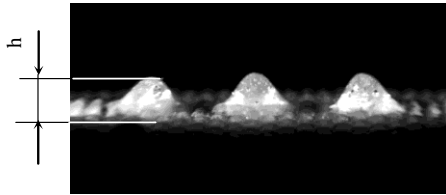


a

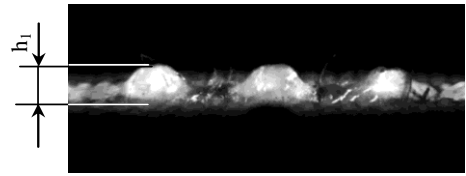


b

3.17 pav. Audinyje (100 proc. medvilnė) atspausdinto Brailio rašto taškų profilio skaitmeniniai vaizdai: a – iki eksperimentinio tyrimo Brailio taško aukštis $h = 0,44$ mm; b – po 60 min mechaninio poveikio Brailio taško aukštis $h_1 = 0,32$ mm

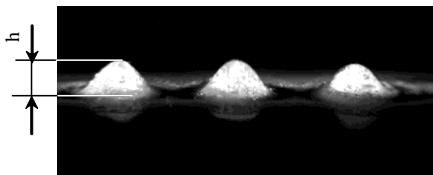


a

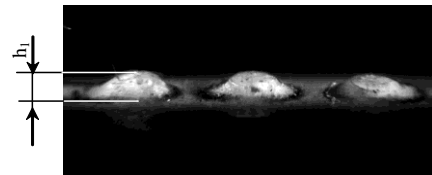


b

3.18 pav. Audinyje (100 proc. sintetika) atspausdinto Brailio rašto taškų profilio skaitmeniniai vaizdai: a – iki eksperimentinio tyrimo Brailio taško aukštis $h = 0,44$ mm; b – po 60 min mechaninio poveikio Brailio taško aukštis $h_1 = 0,32$ mm

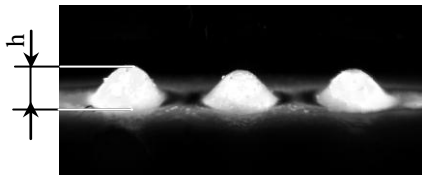


a

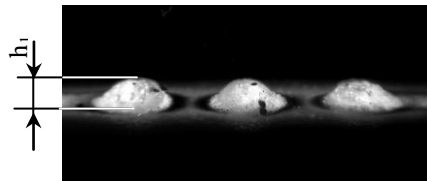


b

3.19 pav. Al folijoje atspausdinto Brailio rašto taškų profilio skaitmeniniai vaizdai: a – iki eksperimentinio tyrimo Brailio taško aukštis $h = 0,37$ mm; b – po 60 min mechaninio poveikio Brailio taško aukštis $h_1 = 0,27$ mm

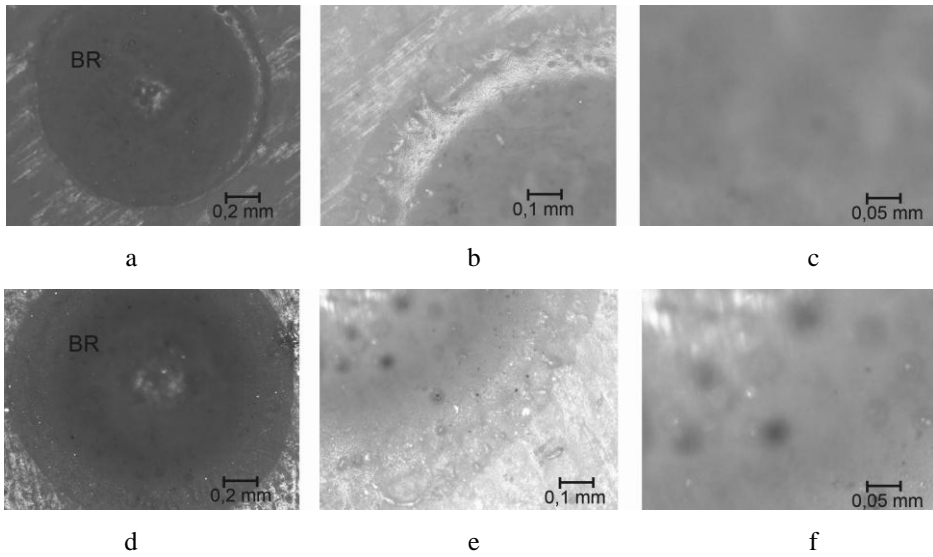


a

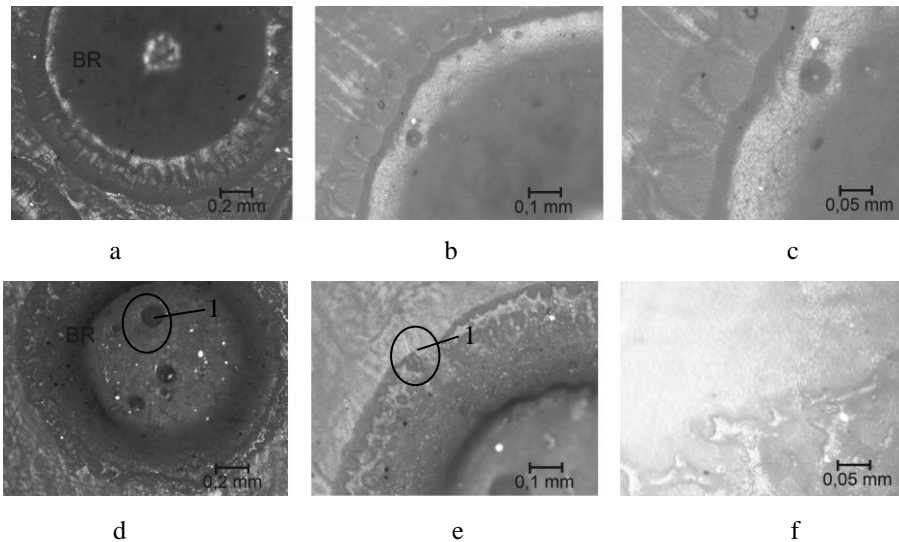


b

3.20 pav. Polimere PP atspausdinto Brailio rašto taškų profilio skaitmeniniai vaizdai: a – iki eksperimentinio tyrimo Brailio taško aukštis $h = 0,39$ mm; b – po 60 min mechaninio poveikio Brailio taško aukštis $h_1 = 0,26$ mm



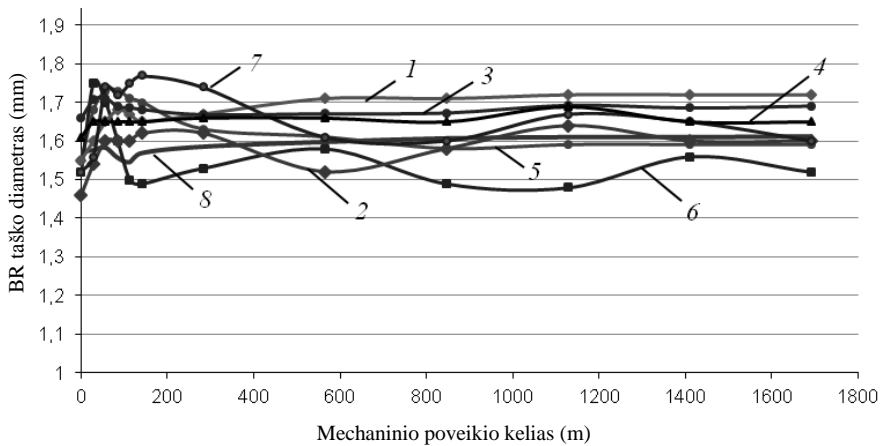
3.21 pav. Makulatūriniame kartone Multicolor Mirabell GD2 trafaretiniu būdu atspausdinto BR skaitmeniniai vaizdai tyrimo pradžioje, esant didinimui 75 (a), 150 (b), 300 (c) ir po mechaninio poveikio, esant didinimui 75 (d), 150 (e), 300 (f)



3.22 pav. Celiuliozinės masės kartone Arktika GC1 trafaretiniu būdu atspausdinto BR skaitmeniniai vaizdai tyrimo pradžioje, esant didinimui 75 (a), 150 (b), 300 (c) ir po mechaninio poveikio, esant didinimui 75 (d), 150 (e), 300 (f); *l* – lokaliniai išplėšimai

BR taškų paviršiaus pokytis po mechaninio poveikio pateiktas BR taškų paviršiaus mikroskopinėse nuotraukose (3.21, 3.22 pav.). Nustatyta, kad skirtinguose kartono tipoose suformuotų BR taškų geometriniai parametrai taip pat kinta skirtingai. Pastebėta, kad Arktika GC1 kartone (žiūr. 3.22 pav) BR taškuose atsirado plastizolinių dažų lokaliniai atsiskirimai. Tad šiuo būdu formuojant BR yra

tinkamesnis makulatūrinis kartonas Multicolor Mirabell GD2. Pagal eksperimentinių tyrimų rezultatus, BR, suformuoto trafaretine spauda popieriuje Polaris, po mechaninio poveikio, taškų aukščio sumažėjimas yra didžiausias (23 %), tačiau skaitmeniniuose vaizduose tai įžvelgti sudėtinga.



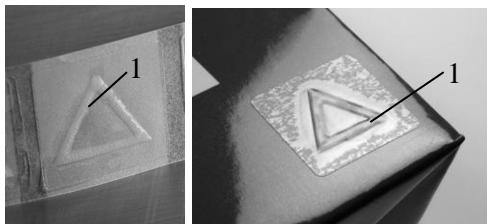
3.23 pav. BR taškų diametro pokytis esant skirtingam mechaninio poveikio keliui (trynimo laikas – 60 min), kai BR suformuotas trafaretine spauda ant skirtingų medžiagų:

- 1 – ant audinio/medvilnės, 2 – ant audinio /poliesterio, 3 – ant popieriaus/nekreidinio, 4 – ant popieriaus/kreidinio, 5 – ant kartono/Arktika, 6 – ant kartono/Mirabell, 7 – ant Al folijos, 8 – ant polimero PP

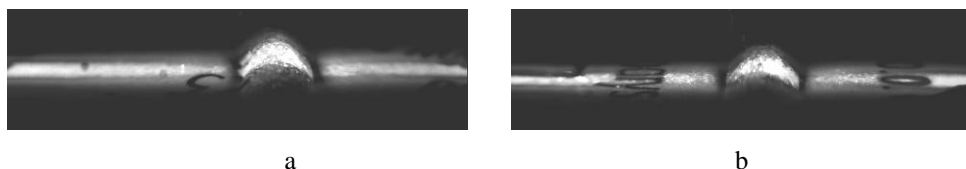
3.23 pav. galima pastebėti, jog kintant mechaninio poveikio laikui (60 min arba 1692 m mechaninio poveikio keliui), ne tik mažėja Brailio rašto iškilų taškų aukštis, bet ir atitinkamai nežymiai didėja taškų skersmuo, o tuo pačiu kinta ir atstumas tarp jų., t.y. kuo skersmuo didesnis, tuo atstumas mažesnis. Šiuos pokyčius sukelia mechaninio poveikio metu veikianti jėga, kuri plastizoliniais dažais suformuotus iškilus elementus suspaudžia, nes plastizoliniai dažai yra polimeras, tad jie veikiami išorinės mechaninės jėgos, didesnės už tarpmolekulinę, deformuojasi.

Naudojantis tokia pačia tyrimo metodika (Oser) ir klimatinėmis sąlygomis, atliktas mechaninio poveikio eksperimentas, kurio metu nustatyta kaip kinta BR, atspausdinto trafaretine spauda ant lipnių medžiagų, geometriniai parametrai. Šio tipo etiketės su Brailio raštu (žiūr. 3.24 pav.) yra klijuojamos ant cheminių medžiagų pakuočių, kurios kaip ir kitos paskirties pakuotės, eksploataavimo metu yra veikiamos trinties. Tyrimui naudoti PP White ir Coated Paper lipnių etikečių bandiniai su Brailio raštu, kuris atspausdintas rotaciniu trafaretiniu būdu Gallus sistema, integruota fleksografinėje mašinoje. Spaudai naudoti specialūs Brailio rašto dažai (lakas) Marabu UVLB1, naudojant tinklą BZ. Brailio rašto aukštis naudojant šią technologiją iškilų elementų formavimui, įprastai yra išgaunamas 0,25–0,28 mm. Pradžioje prieš mechaninio poveikio tyrimą, atlikus matavimus BRAI³ Braille Dot Checker prietaisu, nustatyta, jog iškilų elementų aukštis yra aukščiau nurodytojo dydžio.

Eksperimentiniu būdu nustatyta, jog Brailio rašto elemento aukštis, keičiant mechaninio trynimo poveikio trukmę nuo 1 min iki 60 min, nekito. Tai patvirtina gauti tyrimo rezultatai ir skaitmeniniai vaizdai (3.25 pav.), gauti BRAI³ Braille Dot Checker įrenginiu, prieš eksperimento pradžią ir atlikus 60 min. mechaninį poveikį (trynimą).



3.24 pav. Cheminėms medžiagoms žymėti skirtos etiketės su reljefiniu elementu akliams (*I*)



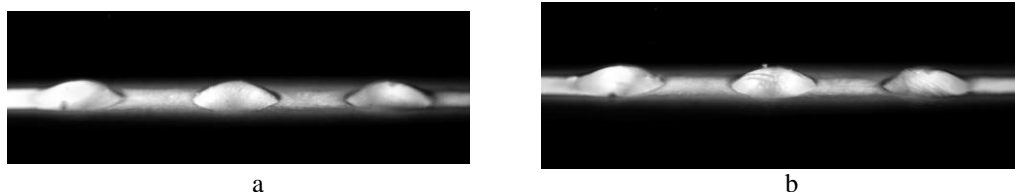
3.25 pav. Reljefinių elementų, atspausdintų trafaretine spauda ant lipnių medžiagų skaitmeniniai vaizdai mechaninio trynimo eksperimento pradžioje (a) ir pabaigoje (b)

Atlikus tyrimą galima teigti, jog trafaretine spauda suformuotas Brailio raštas yra ypač atsparus mechaniniams veiksniams (trynimui), tačiau, kaip žinia dėl brangios technologijos, nes tai yra netiesioginė spauda ir reikalinga spaudos formų gamyba, aukšta dažų (lako) kaina žymiai padidina pakuotės su BR savikainą.

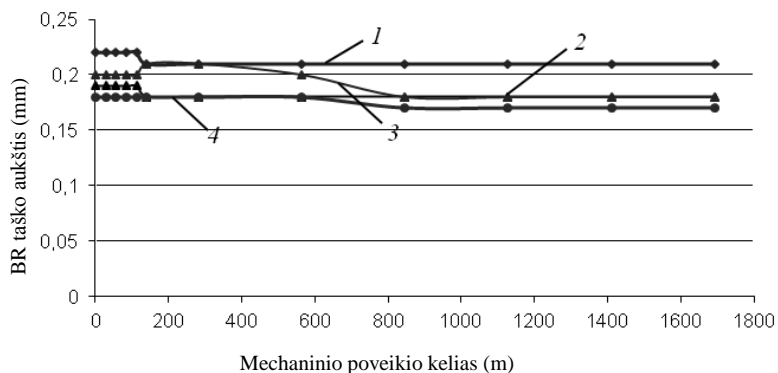
BR, atspausdinto termografija ir skaitmenine spauda ant skirtingų medžiagų, atsparumo mechaniniam poveikiui tyrimo rezultatai ir jų analizė

Tyrimui naudoti termografija ir skaitmenine spauda atspausdinti Brailio rašto taškai ant skirtingo tipo kartono (Arktika GC1 ir Multicolor Mirabell GD2) ir ant skirtingo tipo popieriaus (Polaris, kreidinio ir Munken Pure, nekreidinio).

Tyrimų metu nustatyta, jog termografija ir skaitmenine spauda suformuotas Brailio rašto taškų aukštis po mechaninio poveikio pakinta labai nežymiai, t.y. pasižymi patvarumu. Tai akivaizdžiai matosi skaitmeniniuose vaizduose (žr. 3.26 pav.) ir pateiktoje diagramoje (žr. 3.27 pav.).



3.26 pav. Brailio raštas, suformuotas termografine spauda kartone Arktika GC1 250 g/m² tyrimo pradžioje (a) ir po 60 min mechaninio poveikio (b)



3.27 pav. BR taškų aukščio pokytis po tam tikro mechaninio poveikio kelio, kai BR suformuotas termografinė spauda ant skirtingų medžiagų: 1 – ant celiuliozinės masės kartono Arktika GC1, 2 – ant makulatūrinio kartono Multicolor Mirabell GD2, 3 – ant nekreidinio popieriaus Munken Pure, 4 – ant kreidinio popieriaus Polaris

Nustatyta, kad BR, suformuotas skaitmenine spauda ir termografija, pasižymi patvarumu, tad šiuos BR formavimo būdus tikslinga naudoti ant visų medžiagų, naudojamų etiketėms ar pakuotėms.

Analizuojant šių atliktų tyrimų rezultatus, gali būti parinktas tinkamesnis BR ar reljefinių elementų formavimo būdas ant įvairių medžiagų.

Skirtingose medžiagose suformuoto Brailio rašto nuskaitymas

Nuskaitymo rezultatai pateikti 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. Skirtingose medžiagose suformuoto BR po mechaninio poveikio nuskaitymo rezultatai

Medžiagos Pavadinimas	BR formavimo būdas	Nuskaitymo rezultatas			
		Įspaudimas	Trafaretinė spauda	Termografija	Skaitmeninė spauda
Kartonas Arktika GC1		Sunkiai nuskaityta	Nenuskaityta	Nuskaityta	Nuskaityta
Kartonas Multicolor Mirabell GD2		Nenuskaityta	Nuskaityta	Nuskaityta	Nuskaityta
Popierius Polaris		-	Nuskaityta	Nuskaityta	Nuskaityta
Popierius Munken Pure		-	Nuskaityta	Nuskaityta	Nuskaityta
Audiny 100% medvilnė		-	Nuskaityta	-	Nuskaityta
Audiny 100% poliesteris		-	Nuskaityta	-	Nuskaityta
Polimeras PP		-	Sunkiai nuskaityta	-	Nuskaityta
Al folija		-	Sunkiai nuskaityta	-	Nuskaityta

Mechaninio poveikio tyrimų pradžioje visi bandiniai buvo nuskaityti dalyvaujant akliems. Po mechaninio poveikio regėjimo negalią turintys žmonės bandinius nuskaitė (pagal anksčiau aprašytą metodiką). BR po mechaninio poveikio buvo sunkiai nuskaitytas, esant iki 0,1 mm BR taškų aukščiui arba esant išpešiojimams, kai BR suformuotas įspaudimo būdu. Kai BR trafaretine spauda

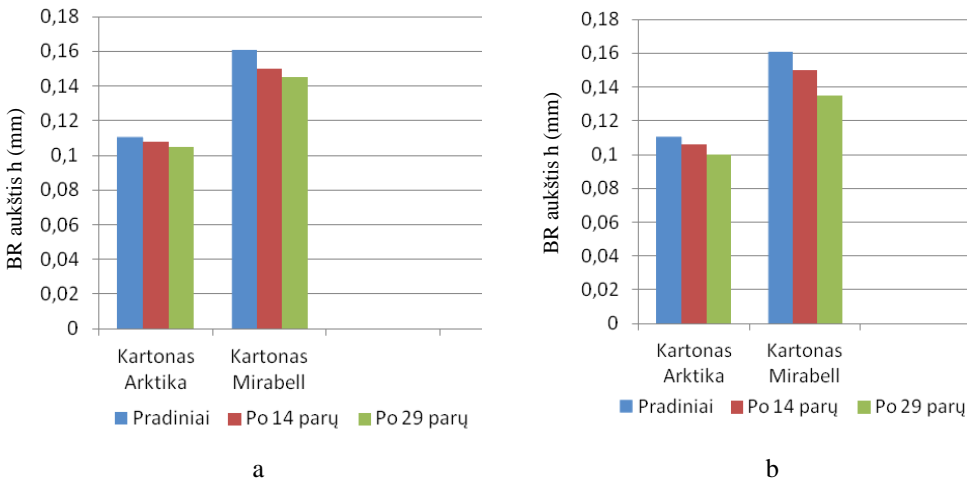
suformuotas ant kartono Arktika GC1 buvo nuskaitomas aklųjų. Šiuo atveju BR taškų aukštis siekia 0,17 mm.

3.3. Brailio rašto atspaudų, suformuotų ant skirtingų medžiagų, atsparumo temperatūriniais veiksniams ir senėjimui tyrimo rezultatai

Siekiant įvertinti kaip BR įtakoja temperatūros kitimas ir senėjimas, buvo atlikti BR aukščio h matavimai pagal 2.2.3 poskyriuje pateiktą metodiką. Rezultatai pateikti diagramose 3.28–3.30 pav.

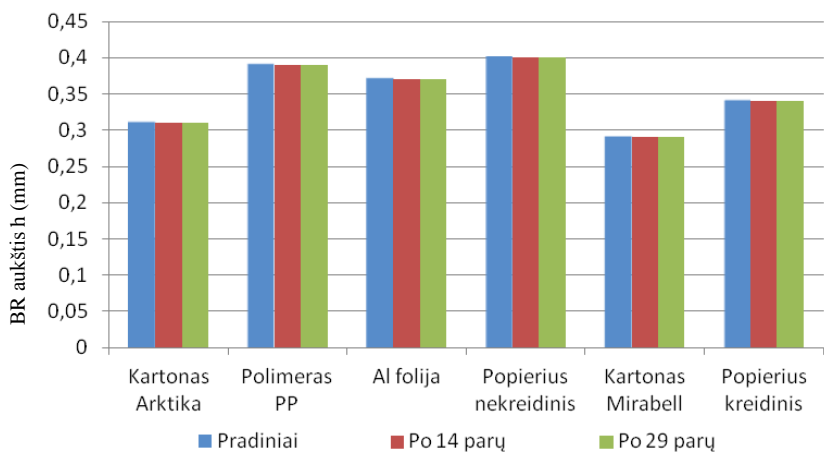
Senėjimo proceso įtaka BR geometriniams parametrams nustatyta skirtingo tipo kartone (Arktika GC1 250 g/m², Multicolor Mirabell GD2 250 g/m²) įspaudimo būdu suformuotam Brailio raštui (3.31 pav.).

Senėjimo įtaka BR nustatyta po 6 mėn ir 12 mėn, esant temperatūrai +21±1°C ir 50±2 % santykiniam oro drėgnumui.

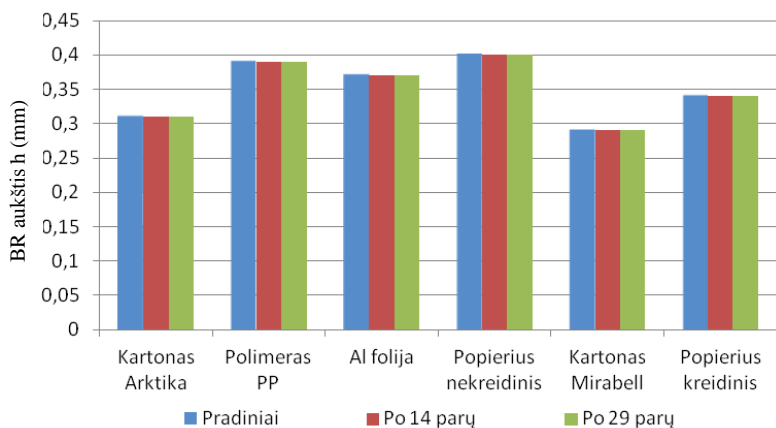


3.28 pav. Įspaudimo būdu ant skirtingo tipo kartono suformuoto BR taškų aukščio pokyčio rezultatai veikiant temperatūros perkirčiui +5 °C (a) ir -15 °C (b)

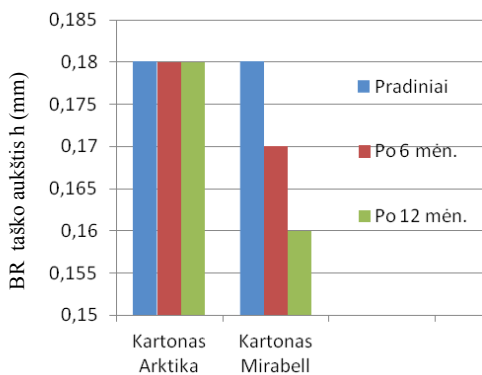
Tyrimų metu nustatyta, kad įspaudimo būdu suformuoti BR taškai jautresni temperatūros poveikiui ir senėjimui, tačiau i BR taškų aukščio pokyčiai nėra žymūs, kinta intervale 0,02–0,04 mm. (žr. 13 pav.), nes pasirinktas tyrimams laiko tarpas buvo 14 ir 29 paros. Temperatūrinių veiksnių tyrimui BR taškų aukštis buvo matuotas išlaikius bandinius 14 ir 29 paras, pasirinkus vidutinį vaistų ir maisto produktų laikymo šaldytuve ir šaldiklyje laiko tarpą. Senėjimo įtakos nustatymui bandiniai buvo matuoti po 6 mėn ir 12 mėn, esant temperatūrai +21±1 °C ir 50±2 % santykiniam oro drėgnumui. Didesnį laiko tarpą tyrimų metu nėra tikslinga naudoti, nes įprastai maisto produktai nėra laikomi ilgai. Trafaretiniu būdu suformuotų BR taškų aukščiui klimatiniai veiksniai įtakos neturi, nes plastizoliniai dažai pasižymi atsparumu aplinkos poveikiui.



3.29 pav. Trafaretine spauda atspausdinto ant skirtingų medžiagų BR taškų aukščio pokyčio rezultatai veikiant $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrai



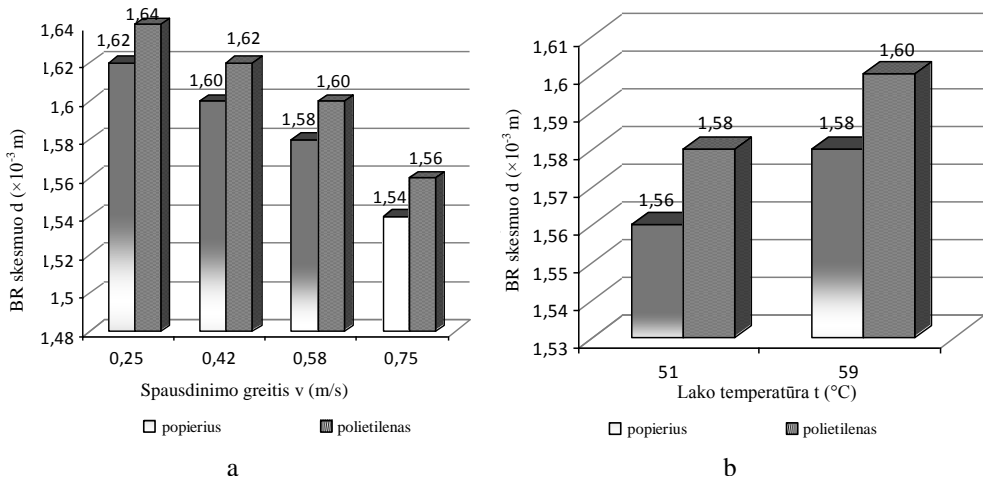
3.30 pav. Trafaretine spauda atspausdinto ant skirtingų medžiagų BR taškų aukščio pokyčio rezultatai veikiant $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrai



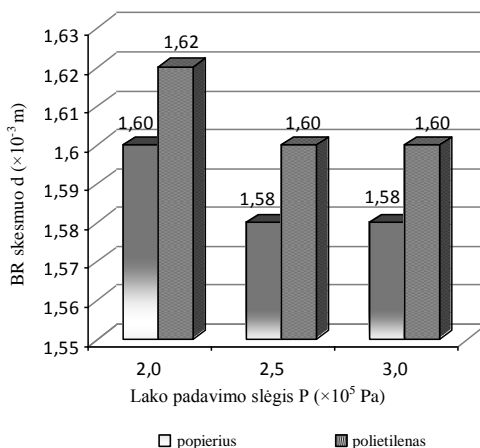
3.31 pav. Įspaudimo būdu ant skirtingo tipo kartono suformuoto BR taškų aukščio pokyčio rezultatai veikiant senėjimui, esant $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrai

3.4. Lipniosios etiketės skaitmeniniu būdu suformuoto BR technologinių parametrų optimizavimas

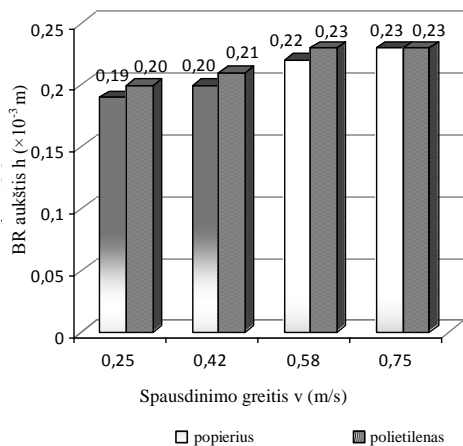
Siekiant nustatyti optimalias BR spausdinimo greičio ir lako temperatūros bei slėgio vertes buvo nustatyta technologinių faktorių įtaka BR geometriniams parametrams (aukščiui h ir diametriui d). BR taškai buvo suformuoti ant dviejų skirtingų lipnių etikečių medžiagų: popieriaus PrimeCoat MC S2000 ir polietileno plėvelės FASSON PE85 WHITE S692N-BG40WH (žr. 2 priedas 2 lentelė). Rezultatai pateikti diagramose 3.32–3.35 pav. ir skaitmeniniuose vaizduose 3.36 pav.



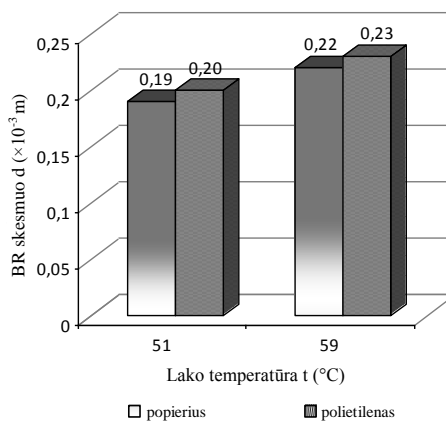
3.32 pav. BR taškų skersmuo d priklausomybė nuo technologinių režimų: a) – nuo spausdinimo greičio v , kai lako temperatūra $t = 59^{\circ}$ C, slėgis $P = 2,5 \times 10^5$ Pa; b) – nuo lako temperatūros t , kai spausdinimo greitis $v = 0,58$ m/s, slėgis $P = 2,5 \times 10^5$ Pa



3.33 pav. BR taškų skersmuo d priklausomybė nuo technologinių režimų: nuo slėgio P , kai lako temperatūra $t = 59^{\circ}$ C, spausdinimo greitis $v = 0,58$ m/s

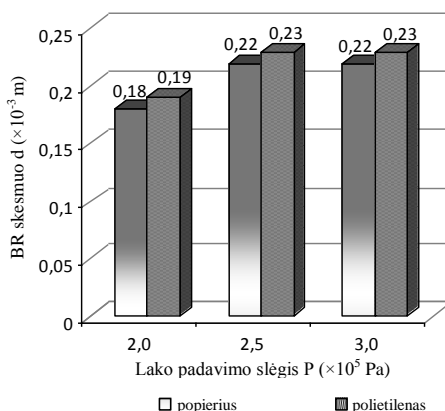


a



b

3.34 pav. BR taškų aukščio h priklausomybė nuo technologinių režimų: a) - nuo spausdinimo greičio V , kai lako temperatūra $t = 59$ °C, slėgis $P = 2,5 \times 10^5$ Pa; b) – nuo lako temperatūros t , kai spausdinimo greitis $v = 0,58$ m/s, slėgis $P = 2,5 \times 10^5$ Pa; c) – nuo slėgio P , kai lako temperatūra $t = 59$ °C, spausdinimo greitis $v = 0,58$ m/s



3.35 pav. BR taškų aukščio h priklausomybė nuo technologinių režimų: a) - nuo spausdinimo greičio V , kai lako temperatūra $t = 59$ °C, slėgis $P = 2,5 \times 10^5$ Pa; b) – nuo lako temperatūros t , kai spausdinimo greitis $V = 0,58$ m/s, slėgis $P = 2,5 \times 10^5$ Pa; c) – nuo slėgio P , kai lako temperatūra $t = 59$ °C, spausdinimo greitis $v = 0,58$ m/s

Nustatyta, kad didinant skaitmeninio spausdinimo greitį nuo 0,25 iki 0,75 m/s, spausdinamų BR taškų skersmuo mažėja (žr. 3.32 pav. a), o aukštis didėja (žr. 3.34 pav. a). Atitinkamai šių geometrinių dydžių pokytį įtakoja lako padavimo slėgio didėjimas (žr. 3.33 pav, 3.35 pav.). Padidinus lako temperatūrą, sumažėja jo klampumas ir šis pokytis iššaukia BR taško skersmens ir aukščio padidėjimą (žr. 3.32 pav. b, 3.34 pav. b).

Atlikus tyrimo rezultatų analizę buvo nustatyti optimalūs spausdinimo režimai (3.4 lent.). Nustatyti šie optimalūs spausdinimo režimai: spausdinimo greitis $v = 0,58$ m/s, lako temperatūra $t = 59$ °C, lako slėgis $P = 2,5 \times 10^5$ Pa (3.4 lentelė). Šie technologiniai režimai užtikrina norminius Brailio rašto geometrinius parametrus (BR taško skersmuo $1,60 \pm 0,10$ mm, BR taško aukštis $(0,16-0,20) \pm 0,10$ mm).

Analizuojant eksperimentų rezultatus, apskaičiuotas variacijos koeficientas (žr. 2.6 formulė) lygus 5 %, todėl skaitoma, jog eksperimentinių tyrimo rezultatų sklaida yra nedidelė.

3.4. lentelė BR geometrinių parametrų vertės, esant optimaliems spausdinimo technologiniams režimams

Technologiniai režimai		Popierius FASSON PrimeCoat MC S2000		Polietileno plėvelė FASSON PE85 WHITE S692N-BG40WH	
		BR taško diametras, d , mm	BR taško aukštis, h , mm	BR taško diametras, d , mm	BR taško aukštis, h , mm
Medžiagos spausdinimo greitis v , m/s	0,58	1,58	0,22	1,60	0,23
Lako slėgis P , MPa	$2,5 \times 10^5$				
Lako temperatūra t , °C	59				

3.5. Optimalaus BR taško aukščio suformavimas trafaretine spauda. Terminės analizės rezultatai

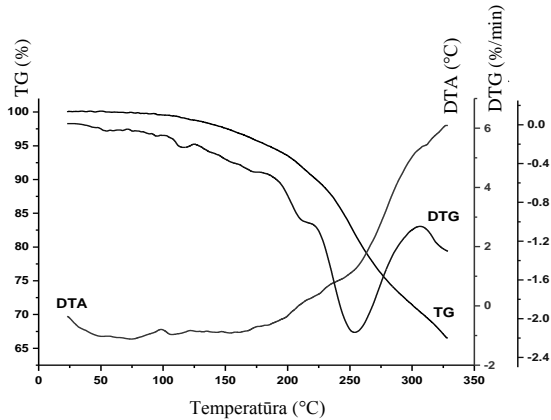
Siekiant parinkti tinkamas medžiagas BR spausdinimui, buvo atlikti eksperimentiniai tyrimai, kurių metu buvo nustatyta terminio poveikio įtaka BR dažų masės kitimui. Buvo vertinamas terminis stabilumas, analizuojant termogramas, gautas derivatografu Q-1500 D.

3.5 lentelė. Bandinių terminės analizės rezultatai

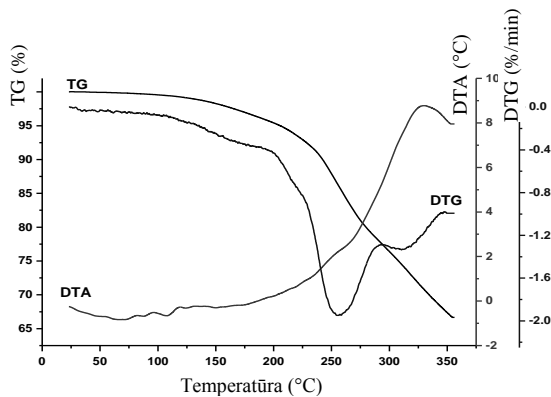
Nr.	Bandinys	Etapas	Temperatūros diapazonas, °C	Masės nuostoliai, %
1	Trafaretiniai dažai	1	20–179	4,1
		2	179–214	4,0
		3	214–307	21,5
2	Trafaretiniai dažai+termo milteliai	1	20–198	4,1
		2	198–227	2,8
		3	227–295	15,4
3	Trafaretiniai dažai+kartonas	1	20–197	4,8
		2	197–227	4,3
		3	227–306	30,9
4	Trafaretiniai dažai+termo milteliai+kartonas	1	20–205	4,8
		2	205–232	4,9
		3	232–309	29,9

Vadovaujantis 2.2.5 skyriuje aprašyta metodika, bandinių, t.y. BR spausdinimui naudojamų dažų (bandinys 1, bandinys 2) ir jų atspaudų ant kartono Plike (bandinys 3, bandinys 4) termogravimetrinės (TG), diferencinės termogravimetrinės (DTG) ir diferencinės terminės analizės (DTA) rezultatai yra pateikti 3.5 lentelėje.

Atlikus terminę analizę, gautos bandinių termogramos (žiūr. 3.36, 3.38 pav.). Diagramose 3.36 pav. pavaizduotos trafaretinių spaudos dažų (bandinys 1) ir trafaretinių spaudos dažų su priedais (bandinys 2) termogramos TG, DTA, DTG.



a



b

3.36 pav. Eksperimentinės trafaretinių spaudos dažų (bandinys 1) (a) ir trafaretinių spaudos dažų su priedais (bandinys 2) (b) termogramos (*DTA* – diferencinė terminių pokyčių kreivė, *TG* – masės kitimo kreivė, *DTG* – diferencinė masės pokyčių kreivė)

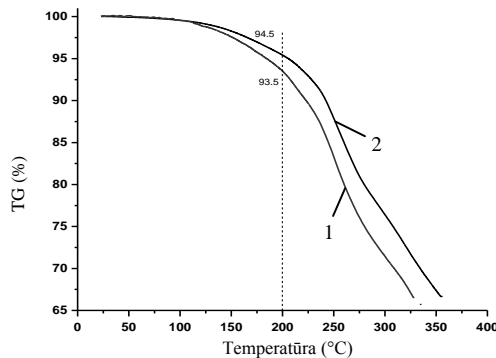
Diferencinės terminės analizės kreivė (*DTA*), gauta keičiant temperatūrą ir registruojant tiriamosios medžiagos ir etaloninės medžiagos temperatūrų skirtumą. *DTA* kreivėje pirmasis neigulus endoterminis efektas (šilumos sugėrimo) bandinys 1 (3.36 pav. a) pasireiškia temperatūrų intervale 20–179 °C, o bandinys 2 (3.36 pav. b) nuo 20 iki 198 °C. Šiam virsmui masės nuostoliai, matomi *TG* kreivėje, įtakos neturi. Tai sutampa su aukštos molekulinės masės junginių, esančių dažuose ir termo

milteliuose, minkštinimo procesu ir lakiųjų komponentų, įeinančių į bandinių sudėtį, išsiskyrimu.

Kitas endoterminis efektas pasireiškia temperatūrų intervale 96–198 °C. Iš TG kreivės (3.36 pav.) matyti, šiame intervale prasideda masės nuostoliai, kuriuos įtakoja lakieji komponentai, esantys abiejų bandinių masėje. Kadangi tiriamų bandinių skirtinga cheminė sudėtis, tad endoterminiai procesai vyksta skirtinguose temperatūros intervaluose. Termogravimetrinė analizė rodo, kad 1 ir 2 bandinių masės nuostoliai prasideda aukštesnėje nei 179 °C temperatūroje. Terminė destrukcija vyksta temperatūrų intervale 179–227 °C ir šiluma neišsiskiria, metu gaunamas bandinių nedidelis masės praradimas (pikas). DTG kreivės parodo tiriamos masės kitimo greitį (3.36 pav.).

Aukštesnėje nei 214 °C (3.36 pav.) vyksta organinio komponento termo-oksidacinė destrukcija. Trafaretiniuose dažuose (bandinys 1, 2) šis procesas vyksta temperatūrų intervale 214–307 °C , o dažuose su termomilteliais (bandinys 3.36 pav.) 227–306° C intervale. Šio proceso metu atsiranda žymus masės nuostolis (žiūr. TG kreivę), ir aukštos temperatūros srityje pastebimas ryškus masės praradimas (pikas) DTG kreivėje. Bandinių termooksidacinės destrukcijos pradžią atitinka egzoterminio efekto atsiradimas DTA kreivėje.

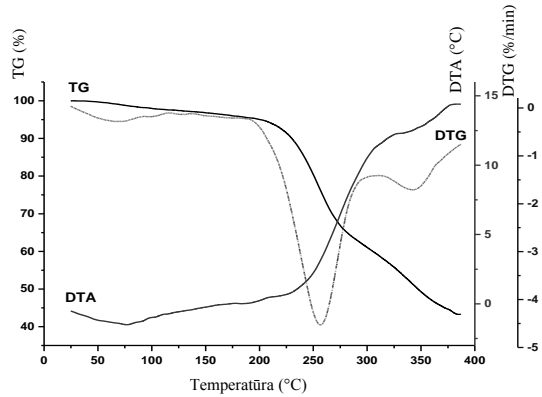
Pagal terminės analizės rezultatus (3.36, 3.37 pav.) galima pastebėti, kad trafaretiniai dažai su termomilteliais (bandinys 2) laidesni šilumai nei trafaretiniai dažai (bandinys 1). Šio bandinio terminės ir termo-oksidacinės destrukcijos temperatūros intervalai pasikeitė į aukštesnių temperatūrų (3.5 lentelė) sritį. Šildymo metu plečiantis, šis mėginys (bandinys 2) masę praranda mažiau intensyviai, priešingai nei bandinys 1, tai aiškiai matyti ties 200 °C riba (3.37 pav.).



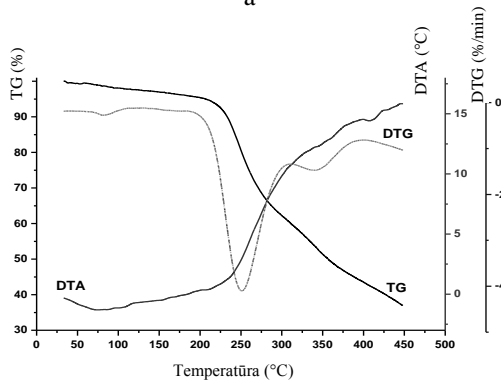
3.37 pav. Eksperimentinės dažų masės pokyčio priklausomybės nuo temperatūros kreivės (TG) bandinys 1 (1) ir bandinys 2 (2)

Diagramose 3.38 pav. pateiktos termogramos bandinių, atspausdintų ant kartono trafaretiniais dažais (bandinys 3, 3.38 pav. a) ir trafaretiniais dažais su termo milteliais (bandinys 4, 3.38 pav. b). TG kreivėse pastebimas nežymus masės pokytis, kuris atsiranda esant 20–197 °C, bandinys 3 (3.38 pav. a) ir 20–205 °C bandinys 4 (3.38 pav. b) temperatūros intervale. Abiejų bandinių DTA kreivėse matyti nežymus endoterminis efektas, kurį galima paaiškinti tuo, kad iš bandinių masės išsiskiria lakieji komponentai ir vyksta minkštinimo procesas aukštos molekulinės masės

junginių, esančių dažuose ir termo milteliuose. Bandiniuose 3 ir 4 yra didesnis kiekis lakiųjų junginių, priešingai nei bandinys 1 ir bandinys 2, nes kartono sudėtyje yra vandens.



a



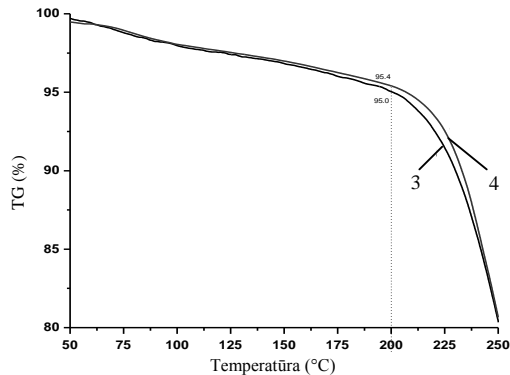
b

3.38 pav. Eksperimentinės ant kartono atspausdintų trafaretinių spaudos dažų (bandinys 3) (a) ir ant kartono atspausdintų trafaretinių spaudos dažų su termo milteliais (bandinys 4) (b) termogramos (*DTA* – diferencinė terminių pokyčių kreivė, *TG* – masės kitimo kreivė, *DTG* – diferencinė masės pokyčių kreivė)

Temperatūrų diapazone 197–232 °C matomi bandinys 3 (3.38 pav. a.) ir bandinys 4 (3.38 pav. b.) terminės destrukcijos procesai, kurie rodo lakiųjų skilimo produktų susidarymą. Reikėtų pažymėti, kad bandinys 3 ir bandinys 4 turi didesnę terminį stabilumą, palyginus su bandinys 1 ir bandinys 2. Šių mėginių terminė destrukcija pasireiškia aukštesnės temperatūros srityje ir kaip matyti termogramose, ji siekia aukštesnę nei 197 °C temperatūrą. Šį faktą galima paaiškinti adhezijos sąveika, kuri atsiranda bandinyje 3 (3.38 pav. a.) ir bandinyje 4 (3.38 pav. b.) skirtingi egzoterminiai procesai termo-oksidacinio skilimo įvyksta aukštesnėje nei 227 °C temperatūroje. Temperatūrų intervaluose 227–306 °C bandinys 3 (3.38 pav. a.) ir 232–309 °C bandinys 4 (3.38 pav. b.) atsiranda žymus masės nuostolis TG kreivėje ir DTG kreivėje aukštos temperatūros srityje matomas ryškus pikas. Matyti, jog bandinys 3 ir bandinys 4 šiame temperatūrų intervale intensyviau praranda masę

nei bandinys 1 ir bandinys 2, kas gali būti susiję su formavimu ir popieriaus dujinių produktų pirolize kaitinant aukštoje temperatūroje. Verta paminėti, kad mėginių 3 ir 4 yra daug didesnis terminis stabilumas nei 1 ir 2 mėginių.

3.39 paveiksle pateiktas bandinio 3 (trafaretiniai dažai atspausdinti ant kartono) ir bandinio 4 (trafaretiniai dažai su termo milteliais ant kartono) TG kreivių palyginimas. Matyti, jog bandinių masės praradimas prasideda nuo 200 °C temperatūros, panašiai kaip bandinio 1 ir bandinio 2 (3.37 pav.).

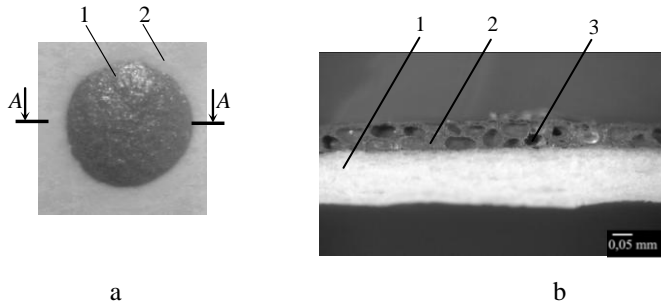


3.39 pav. Eksperimentinės dažų masės pokyčio priklausomybės nuo temperatūros kreivės (TG) bandinio 3 ir bandinio 4

Pagal terminės analizės rezultatus buvo nustatytas trafaretinių spaudos dažų ir dažų su termo milteliais darbinis temperatūros diapazonas. Pirmasis atitinka temperatūrų intervalą 96–179 °C (bandinys 1), o antras nuo 98 iki 198 °C temperatūrą (bandinys 2) (žr. 3.5 lent.). Apatinė darbinio diapazono riba rodo temperatūrą, kurioje baigiasi minkštėjimo procesas aukštų molekulinį junginių, kurie yra bandiniuose. Viršutinė riba atitinka temperatūrą, kurią viršijus, šildant atspausdintą kompoziciją, vyksta kompozicijos komponentų destrukcija. Trafaretinių dažų su termo milteliais kompozicija (bandinys 4) atsiranda prie plėtimosi temperatūros diapazono ribų ir pagerina efektyvumą. Bandinių liekamoji masė palyginus su jų terminiu stabilumu rodoma kreivėse TG (3.38 pav. b ir 3.39 pav.), atitinka susintetintos kompozicijos viršutinį darbinės temperatūros diapazoną. Taigi, iš terminės analizės matyti, kad BR elementus, atspausdintus trafaretiniais dažais su termo milteliais, tikslinga džiovinti prie darbinio temperatūrų diapazono 98–198 °C, nes, šiuo atveju, geriau išgaunamas BR taškų reljefas.

Atlikus bandinių vaizdų analizę pagal anksčiau aprašytą metodiką 2.2.5 skyriuje ir specialiai sukurtą testo skalę (2.8 pav.) bei optinį matavimo prietaisą FAG BRAI³ Braille Dot Checker buvo nustatyta, jog BR taškai yra nuskaitomi ir jie atitinka norminius Brailio rašto geometrinius parametrus (BR taško skersmuo – 1,60±0,10 mm, BR taško aukštis (0,16–0,20)±0,10 mm).

Trafaretiniu būdu spausdinant ant kartono trafaretiniais dažais su termo milteliais išgaunami kontrastingi ir pakankamo aukščio (0,20 mm) BR taškai (3.40 pav.). Šie dažai leidžia išgauti didesnio reljefo Brailio rašto taškus, palyginus su tradiciniais trafaretiniais dažais.



3.40 pav. BR taškai suformuoti kartone trafaretiniais dažais su termo milteliais (bandinys 4): a) vaizdas iš viršaus: 1 – BR taškas, 2 – kartonas, b) pjūvis A-A: 1 – kartonas, 2 – dažai, 3 – termomiltelių granulės.

3.6. Brailio rašto ir iliustracijų, suformuotų ant polimerinių plėvelių, įtempių pasiskirstymo analizė, naudojant fototamprumo metodą

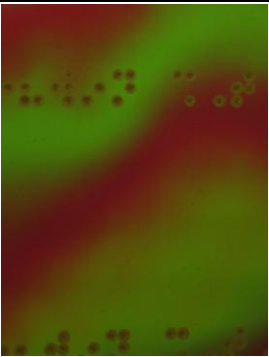
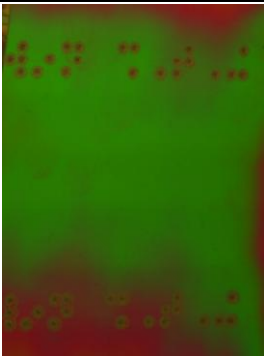
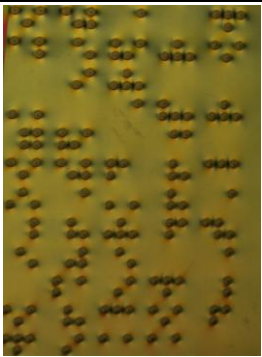
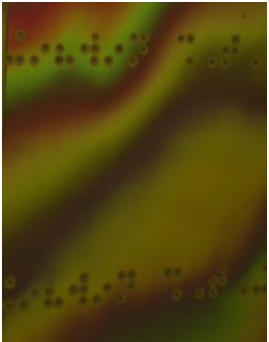

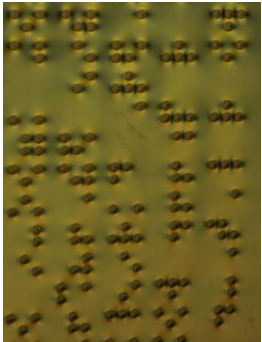
Formuojant BR ant polimerinių plėvelių, medžiagoje susidaro liekamieji įtempiai, kurie turi neigiamą įtaką informacijos nešėjo ilgaamžiškumui. Susidariusių įtempių pasiskirstymas buvo nustatytas naudojant fototamprumo metodą.

Bandinių įtempių pasiskirstymo spalvinių struktūrų vaizdai, gauti remiantis 2.2.6 skyriuje pateikta metodika yra pateikta 3.6–3.7 lent.

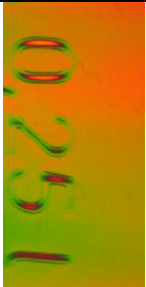
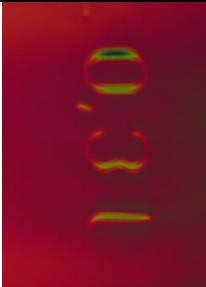
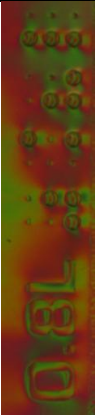
3.6 lentelė. Bandinių (Nr. 1, 2, 3), vartant knygos, su polimerinėmis plėvelėmis lapus skirtingais kampais α , polimerinėje plėvelėje su BR įtempių pasiskirstymas

	Bandinys Nr. 1	Bandinys Nr. 2	Bandinys Nr. 3
Pradinė būseną $\alpha = 0^\circ$			
Pasukimo kampas $\alpha = 15^\circ$			

3.6 lentelė (tęsinys)

	Bandinys Nr. 1	Bandinys Nr. 2	Bandinys Nr. 3
Pasukimo kampas $\alpha = 30^\circ$			
Kimo kampas $\alpha = 45^\circ$			

3.7 lentelė. Bandinių (Nr. 4, 5, 6) polimerinėje medžiagoje įtempių pasiskirstymas

Bandinys Nr. 4	Bandinys Nr. 5	Bandinys Nr. 6
		

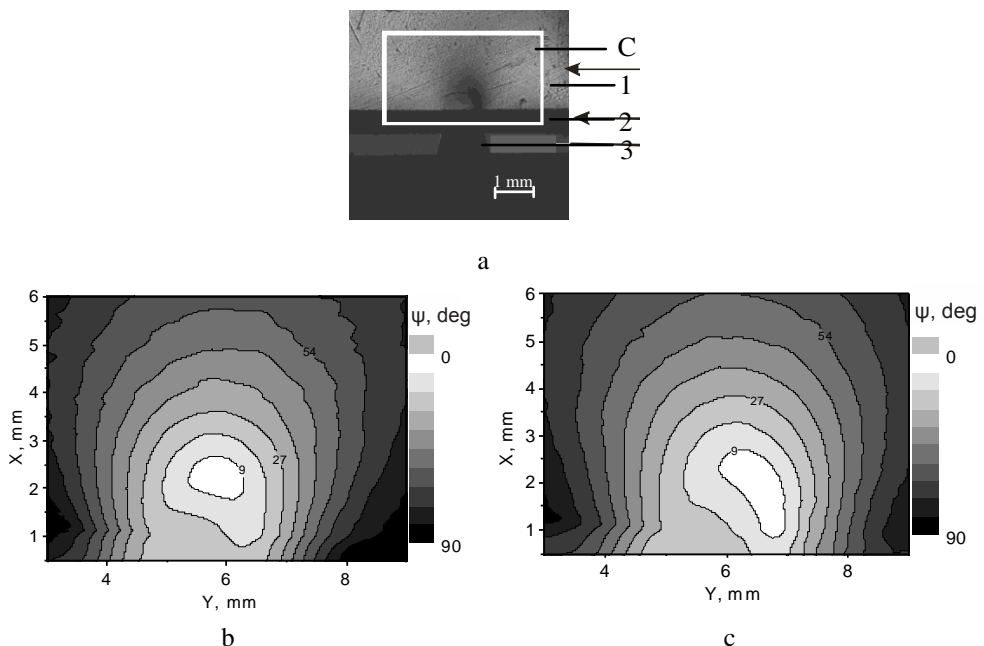
Kaip matyti (3.6 lent.), bandinių Nr. 1 ir Nr. 2 (BR suformuotas trafaretine spauda) įtempių pasiskirstymo spalvinė struktūra yra panaši. Pradinėje būsenoje ir bandinius lenkiant iki 30° kampo, esminių pokyčių įtempių pasiskirstymo spalvinėje struktūroje nepastebėta, vyrauja ketvirtosios eilės spalvinės sritys. Bandinius lenkiant 45° kampu, abiem atvejais pastebimos tos pačios 1 eilės spalvinės sritys.

Tuo tarpu bandinio Nr. 3 (BR suformuotas termoformavimo (įspaudimo) būdu) pradinėje būsenoje pastebimi žymūs liekamieji įtempimai BR aplinkoje (gelsva spalva), o lenkimo metu įtempimai žymiai nekinta, tad lenkimas įtakos turi nedaug. Iš atlikto tyrimo rezultatų, galima teigti, jog polimeriniai gaminiai su BR raštu, suformuotu termoformavimo (įspaudimo) būdu (bandinys Nr. 3), išlaikys ilgaamžiškumą ir bus patvaresni. Galima teigti, jog bandinį lenkiant, polimero grandinės patiria lenkiamąsias deformacijas, kurių dydis yra mažas, kad būtų galima užfiksuoti įtempių pokyčius ir detalesnę analizę atlikti būtų tikslinga naudoti skaitmeninius tyrimus.

Galima pastebėti (3.7 lent.), kad bandiniuose Nr. 4, 5, 6 (BR suformuotas termoformavimo (įspaudimo) būdu) įtempių spalvinė struktūra yra panaši, vyrauja ketvirtosios eilės spalvinės sritys (rožinė ir žalia spalvos), kuriose įtempių vertės didžiausios. Matome, kad Brailio rašto ir reljefinių elementų srityse, vyrauja įtempiai, tačiau jų pasiskirstymą sunku išvelgti, tad skaitmeniniai tyrimai praplės šių rezultatų interpretavimą.

3.7. Štampo, formuojančio BR taškus įspaudimo būdu, įtempių analizė

Naudojant poliarimetrinę metodiką, pateiktą 2.2.7 skyriuje, buvo nustatyti įtempių pasiskirstymai įspaudžiamos medžiagos kontakto su štampu zonoje. Skaitmeniniuose vaizduose (3.41 pav.) pateikti įtempių pasiskirstymo rezultatai.



3.41 pav. Įtempių pasiskirstymo vaizdas (a): 1 – skaidri, optiškai izotropinė medžiaga, 2 – kartono bandinys, 3 – štampas, C – įtempių pasiskirstymo zona; ir įtempių fazių skirtumo pasiskirstymas matricoje, kai įspaudas kartonas Alaska GC2 tipo (b) ir Arktika GC1 tipo (c)

Tyrimų rezultatai pateikti tiriant skirtingo tipo kartono bandinių (Alaska GC2 ir Arktika GC1) su BR pavyzdžius. Akivaizdus skirtumas matomas, nes tiriama

kartono medžiagų skirtingos savybės (žiūr. 2 priedas 1 lent.). Zona $\psi = 9$ (tai zona, kurioje atsižvelgiant į apskritiminės poliarizacijos zondo spinduliuotę, mechaninio poveikio sukeltas fazių skirtumas yra $90 - 9 = 81^0$) skirtingo tipo kartonams yra skirtinga. Kaip matyti, tyrimo metu kartonui Alaska GC2 ši zona yra akivaizdžiai mažesnė. Tai rodo, jog įspaudžiant šį kartoną įtempimai štampe yra mažesni nei įspaudžiant kartoną Arktika GC1. Tad remiantis tyrimų duomenimis, galima daryti išvadą, jog štamų tiražingumas didesnis, esant mažesniems įtempimams, t.y. Brailio raštą formuojant Alaska GC2 kartone.

Šios metodikos taikymas yra reikšmingas, atliekant štamų (arba matricų) įtempimų tyrimus, nes įtempimų pasiskirstymo informacija gali duoti prognozes projektuojant štamų tiražingumą.

3.8. Eksperimentinių tyrimų išvados

Atlikus farmacinių pakuočių BR taškų aukščio h matavimus, galima teigti, kad BR taškų aukščio dydis kinta priklausomai nuo jo taškų pozicijos elemente ir eilutėje. Nustatyta, kad BR taškų aukštis elemento viršutinėse ir apatinėse dalyse bei BR eilutės pradžioje ir gale skiriasi. BR taškų aukščio pokytis yra nežymus, nuokrypis nuo vidurkio reikšmės siekia 0,01–0,04 mm. Nustatyta, jog BR taško skersmens dydis d turi tiesioginę įtaką kitiems (atstumams tarp BR taškų, elementų, eilučių) geometriniais parametru dydžiams. 37 proc. farmacinių pakuočių bandinių, kur BR suformuotas įspaudimu, BR taškų nuo vertikaliosios pakuotės kraštinės pozicionavimas buvo netinkamas. Atlikus įspausto farmacinėse pakuotėse BR nuskaitymą, remiantis regėjimo negalią turinčių asmenų BR nuskaitymo rezultatais, galima teigti, kad kiekvienas atskiras BR geometrinis parametras ir bendrai jų visuma, turi svarbią reikšmę nereginiųjų rašto nuskaitymui, nes net vieno taško nebuvimas arba netinkamas suformavimas gali pakeisti žodžio prasmę. Tad labai svarbu yra tinkamai parinkti ir suformuoti Brailio rašto geometrinius matmenis. Nustatyta, kad BR dėl netinkamai suformuoto BR taškų, sunkiau nuskaitymas nereginių, vyresnių kaip 60 metų.

Nustatyta, kad BR taškų geometrinių parametru stabilumui mechaninis poveikis turi įtakos, kuomet naudojamos skirtingos medžiagos ir skirtingi BR formavimo būdais.

Atlikus įspausto kartone BR taškų mechaninio poveikio eksperimentinius tyrimus, nustatyta, jog priklausomai nuo kartono tipo, sudėties ir kartono paviršiaus savybių BR taškai susidėvi skirtingai. Įspaudimo būdu suformuoto BR taškų aukštis po tam tikro mechaninio poveikio (kai trynimo kelio ilgis 1692 m) perdirbtos masės kartono pakuotėms sumažėjo 31 % nuo pradinio taško aukščio, o celiuliozinės masės kartono Brailio rašto taškų aukščio pokytis – 26 proc. Pastebėta, jog perdirbtos masės kartono pakuotėse BR paviršiuje pasireiškė plaušelių išpešiojimas, kas apsunkina Brailio rašto skaitomumą. Tad galima teigti, jog pakuotėms su Brailio raštu kartono iš perdirbtos masės naudojimas turėtų būti ribojamas. BR, suformuotas įspaudimo būdu, po mechaninio poveikio geriausiai nuskaitymas yra Alaska kartone.

Atlikus BR taškų, suformuotų trafaretine spauda plastizoliniais dažais ant skirtingų medžiagų (popieriaus, kartono, polimero, audinio, aliuminio folijos),

paviršiaus atsparumo mechaniniam poveikiui tyrimus, nustatyta, jog ant skirtingų medžiagų trafaretine spauda suformuoto Brailio rašto aukščio pokytis po 60 min mechaninio poveikio gautas skirtingas: kartone Arktika sumažėjo – 45 %, kartone Mirabell – 14 %, medvilniniame audinyje 27 %, sintetiniame audinyje 29 %, kreidiniame popieriuje –23 %, nekreidiniame – 12 %, polimere – 33 %, Al folijoje – 26 % nuo pradinio Brailio rašto taško aukščio.

Nustatyta, jog trafaretine spauda plastizoliniais dažais tinkamiausia spausdinti ant porėtų/akytų medžiagų (audinio, nekreidinio popieriaus, perdirbtos masės kartono (Mirabell) ir pan.), nes esant mechaniniam poveikiui BR taškai išlieka mažiau pakitę. BR, šiuo būdu didėjant mechaninio poveikio trukmei, nežymiai didėja trafaretine spauda suformuotų Brailio rašto taškų skersmuo d , nes ant skirtingų medžiagų suformuotas Brailio raštas veikiamas mechaniškai susispaudžia ir plastizoliniais dažais suformuoti taškai išsiplečia. Plastizoliniais dažais suformuoti Brailio rašto taškai veikiami ilgalaikio mechaninio poveikio, nėra patvarūs, todėl knygų spausdinimui Brailio raštu, juos naudoti nederėtų.

Šiuo metu mūsų šalyje ir užsienyje plačiausiai yra naudojamas BR, suformuotas įspaudimu ir tik kartono pakuotėse. Kaip matyti iš tyrimų rezultatų, šiuo būdu suformuotas BR yra mažiausiai patvarus, nes iškilūs reljefiniai taškai po eksploatacinių veiksnių ar po mechaninio poveikio ir senėjimo, taip pat kintant aplinkos temperatūrai ir drėgmei, keičia savo geometrinius parametrus, dėl ko informacija ant pakuočių tampa akliams nenuskaitoma.

Nustatyta, jog skaitmenine spauda ir termografija suformuoto Brailio rašto geometriniai parametrai po mechaninio poveikio ryškiai nepakinta, t.y. šio rašto taškai pasižymi patvarumu.

Atlikta technologinių parametrų optimizacija. Nustatyta skaitmeninės rašalinės spaudos mašinos faktorių įtaka BR, suformuoto lipniose etiketėse, geometriniams parametrams. Nustatyta, kad skaitmeniniu rašaliniu būdu spausdinant Brailio raštą lipniose etiketėse, optimalūs spausdinimo technologiniai parametrai yra šie: spausdinimo greitis $v = 35$ m/min, lako temperatūra $t = 59$ °C, lako slėgis $P = 2,5$ MPa.

Naudojant trafaretinę spaudą galima išgauti stabilius BR taškų parametrus. Šiuo atveju turi būti naudojami trafaretiniai dažai su termo milteliais. Šie dažai leidžia išgauti didesnio reljefo Brailio rašto taškus, palyginus su tradiciniais trafaretiniais dažais. Nustatyta, kad atspausdintus BR elementus trafaretiniais dažais su termo milteliais, tikslinga džiovinti prie darbinio temperatūrų diapazono 98–198 °C, nes, šiuo atveju, išgaunami pakankamo aukščio (0,20 mm) BR taškai.

Nustatyta, kad polimeriniuose gaminiuose su BR, susiformuoja liekamieji įtempimai, kurie mažina tokio gaminio ilgaamžiškumą. Tokius gaminius ar leidinius eksploatuojant, vartant, veikiančios apkrovos sukelia polimerinėse medžiagose su BR ar taktilniais reljefiniais elementais įtempių padidėjimą ir medžiagų susidėvėjimą. Kad būtų galima užfiksuoti įtempių pasiskirstymą ir detalesnę analizę, tikslinga naudoti skaitmeninius tyrimus.

Taikant specializuotą poliarimetrinę aparatūrą, atlikta įtempimų, atsiradusių kartone Brailio rašto įspaudimo metu, kokybinė analizė. Nustatyti BR taškų įspaudimo metu kontakto zonoje atsirandančių įtempimų pasiskirstymai. Gauta, kad

įspaudžiant Alaska GC2 kartoną įtempimai štampe yra mažesni nei įspaudžiant kartoną Arktika GC1. Tad remiantis tyrimų duomenimis, galima daryti išvadą, jog šampų tiražingumas didesnis, esant mažesniems įtempimams, t.y. Brailio raštą formuojant Alaska GC2 kartone. Remiantis tyrimo rezultatais galima suprojektuoti padidinto tiražingumo šampus.

Sekančiame skyriuje atliksime polimerinėse medžiagose su BR taškais ir reljefiniais elementais įtempių skaitmeninį modeliavimą.

4. SKAITMENINIS ĮTEMPIŲ MODELIAVIMAS POLIMERINĖSE MEDŽIAGOSE SU BR TAŠKAIS IR RELJEFINIAIS ELEMENTAIS

Gaminius ar leidinius su BR nuskaitant, vartant ar saugant, juos veikia apkrovos, kurios sukelia polimerinėse medžiagose įtempių padidėjimą ir BR taškų paviršiaus susidėvėjimą. Šie veiksniai turi tiesioginės įtakos galutinei gaminių kokybei, tad svarbu polimerinėse skaidriose izotropinėse medžiagose suformuotuose BR ir reljefiniuose elementuose įvertinti įtempių pasiskirstymo pobūdį. Vienas iš būdų įtempiams nustatyti yra fototamprumo metodas. Eksperimentiniai fototamprumo tyrimų rezultatai, vadovaujantis 2.2.6 skyriuje suformuluota metodika, pateikti 3.6 skyriuje. Čia analizuojama polimerinė medžiaga, su suformuotu BR bei reljefiniais elementais. Tyrimai atlikti, kai medžiagos paviršius lankstomas, taip pat kai BR taškai bei reljefiniai elementai yra apkrautoje būsenoje.

Šiame skyriuje, pasinaudojant skaitmeniniais BEM modeliais, praplėstos skaitmeninės metodologijos, leidžiančios įvertinti polimerinių medžiagų su BR ir reljefiniais elementais įtempių pasiskirstymus. Gauti tyrimų rezultatai gali būti naudojami projektuojant gaminius su BR ir reljefiniais elementais. Fototamprumo eksperimentai ir skaitmeniniai tyrimai papildo vienas kitą ir įgalina išsamiai interpretuoti įtempių laukus polimerinėse medžiagose.

Šiame skyriuje skaičiavimai atlikti pagal pateiktas lygtis, naudojant programą Borland C++ Builder 6. C++Builder – tai objektiškai orientuotą programų kūrimo sistema, kurios priemonėmis galima paruošti įvairaus lygio ir paskirties programas. Komponento Canvas pagalba galima ekrane paišyti įvairius piešinius, schemas, brėžinius. Grafiniams vaizdams yra eilė standartinių funkcijų, o tekstui išvesti naudojamas metodas TextOut. Skaitmeniniai skaičiavimai, sprendžiant aprašomus uždavinius, realizuoti vadovaujantis struktūrinio programavimo principais ir panaudotos kai kurios Borland C++ Builder objektų savybės.

Atlikti skaitmeniniai tyrimai sudaryti iš keturių dalių:

- fototamprumo taikymas įtempių laukų polimerinėse plėvelėse tyrimams;
- įtempių lauko dviejų tipų reljefiniuose elementuose tyrimai;
- įtempių lauko dviejų tipų Brailio rašto taškuose tyrimai;
- BR elemento polimerinėje medžiagoje dėvėjimosi tyrimai.

Skaitmeniniams tyrimams atlikti buvo naudota PET medžiaga, kurios mechaninės charakteristikos yra šios: tamprumo modulis $E = 14,10 \cdot 10^8$ Pa, Puasono koeficientas $\nu = 0,44$, medžiagos tankis $\rho = 1335$ kg/m³.

4.1. Fototamprumo taikymas įtempių polimerinėje medžiagoje tyrimams

4.1.1. Virpančios polimerinės medžiagos įtempių matavimai

Spausdinimo proceso ar kitų technologinių operacijų metu polimerinėje medžiagoje veikia įvairūs veiksniai (virpesiai, temperatūros kitimas ir pan.), kurie polimerinėje medžiagoje gali sukelti įtempių padidėjimą. Šie veiksniai tiesiogiai paveikia galutinę spaudos, tame tarpe ir Brailio rašto, kokybę.

Šiame skyriuje tiriamas polimerinės plėvelės išilginių virpesių vienmatis modelis. Žemiau iširti laike vidurkinti fototamprumo vaizdai bei nagrinėjamas vaizdų skaičius.h

Polimerinės medžiagos virpesių analizės modelis

Šiame matematiname modelyje x žymi koordinacių sistemos ašį. Baigtinis elementas turi vieną laisvės laipsnį, poslinkį u x ašies kryptimi.

Masių matrica išreiškiama $[M] = \int [N]^T \rho h [N] dx$, kur ρ yra polimerinės medžiagos tankis, h polimerinės medžiagos storis ir $[N] = [N_1 \dots]$, čia N_1, \dots yra vienmačio baigtinio elemento formos funkcijos.

Standumo matrica išreiškiama:

$$[K] = \int [B]^T \frac{E}{1-\nu^2} h [B] dx, \quad (4.1)$$

čia E yra polimerinės medžiagos tamprumo modulis, ν yra Puasono koeficientas ir:

$$[B] = \left[\frac{dN_1}{dx} \dots \right]. \quad (4.2)$$

Kai medžiaga virpa pagal savą formą, fototampriuose tyrimuose galima registruoti vaizdą, fotografuojant medžiagą tuo momentu, kai ji yra ekstremaliai atsilenkusi pagal savą formą. Taip gaunamas stroboskopinis vaizdas, kurio interpretacija analogiška statinio vaizdo interpretacijai. Stroboskopinių fototamprumo vaizdų intensyvumas išreiškiamas $I = \sin^2 C \sigma_x$, kur C yra polimerinės medžiagos konstanta, priklausanti nuo jos storio ir medžiagos savybių, o σ_x yra polimerinės medžiagos didžiausių poslinkių pagal savą modą išilginiai įtempiai.

Laike vidurkintų fototamprumo vaizdų intensyvumas išreiškiamas:

$$\bar{I} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sin^2 \left(C \sigma_x \sin 2\pi \frac{i-1}{n} \right), \quad (4.3)$$

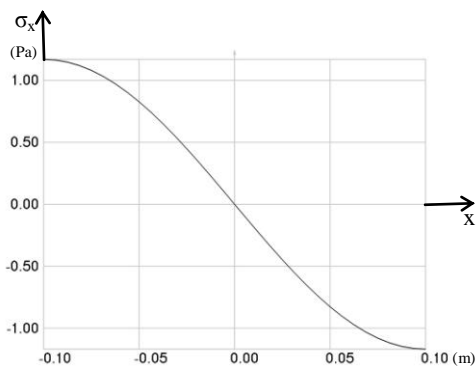
čia n yra sveikas skaičius.

Polimerinės medžiagos virpesių analizės rezultatai

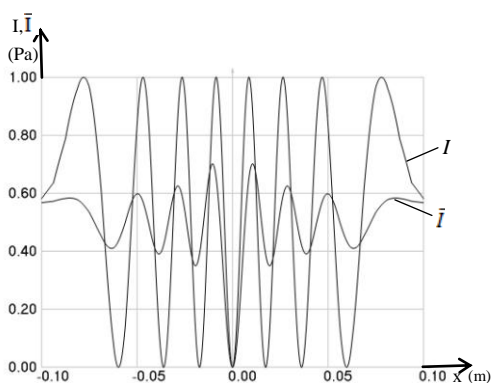
Analizuojamos sistemos ilgis yra 0.2 m. Poslinkiai kairiajame ir dešiniajame medžiagos gale yra priimami lygūs nuliui.

Pateikiami pirmos ir antros savųjų modų tyrimų rezultatai: savosios modos įtempiai bei stroboskopinio ir laike vidurkinto kai $n = 64$ fototamprumo vaizdų intensyvumai. Buvo analizuota ir esant kitoms n ($n = 32$, $n = 16$, $n = 8$) vėrtėms. Esant $n = 64$ ir $n = 32$ vaizdai atrodė identiškai ir rezultatai gali būti laikomi priimtinais, o esant $n = 16$ ir $n = 8$, laike vidurkintame vaizde aukštesnes juostas atitinkančios sritys buvo iškreiptos ir todėl vidurkinimo rezultatas laikomas nepriimtinas. Tad naudojant laiko vidurkinimą reikalingas pakankamai didelis vaizdų skaičius, nes priešingu atveju aukštesnes juostas atitinkančiose srityse fototampriuame vaizde gaunami neteisingi rezultatai.

Pirmosios savosios modos įtempiai pateikiami 4.1 pav. a, stroboskopinio ir laike vidurkinto kai $n = 64$ fototamprumo vaizdų intensyvumai pateikiami 4.1 pav. b.



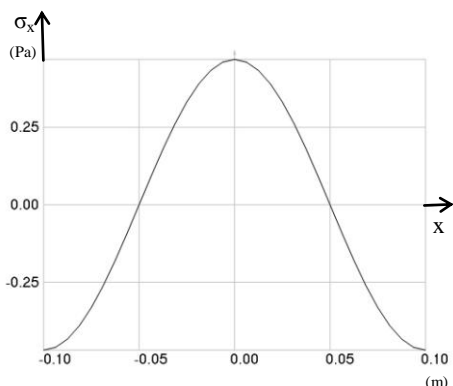
a



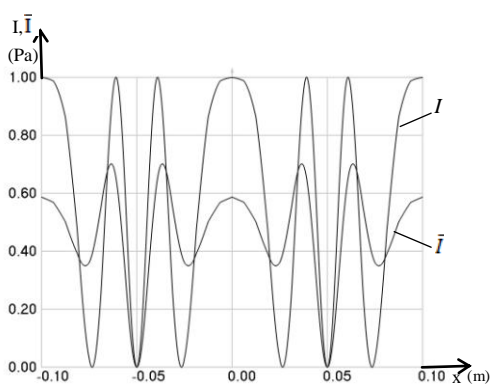
b

4.1 pav. Pirmos savosios modos įtempiai (a) bei stroboskopinio ir laike vidurkinto fototamprumo vaizdų intensyvumai kai $n = 64$ (b)

Antrosios savosios modos įtempiai pateikiami 4.2 pav. a, stroboskopinio ir vidurkinto laike kai $n = 64$ fototamprumo vaizdų intensyvumai pateikti 4.2 pav. b.



a



b

4.2 pav. Antros savosios modos įtempiai (a) bei stroboskopinio ir laike vidurkinto fototamprumo vaizdų intensyvumai kai $n = 64$ (b)

Rezultatai rodo, kad tiksliems įtempių matavimams yra naudinga turėti stroboskopinį ir laike suvidurkintą fototamprus vaizdus. Kaip matyti iš 4.1 b ir 4.2 b, stroboskopinis ir laike vidurkintas juostų intensyvumai sutampa ten, kur įtempiai yra lygūs nuliui.

Remiantis intensyvumo kitimu laike, vidurkintame vaizde galima sunumeruoti juostas stroboskopiniame vaizde. Tai palengvina įtempių lauko interpretavimą.

4.1.2. Fototamprumo taikymas polimerinėje medžiagoje lankstymo metu sukeltų įtempių tyrimams

Lankstymo metu polimerinėje medžiagoje atsiranda įtempiai, kurie gali sukelti defektų vystymąsi. Taigi, pradinėje stadijoje, naudojant polimerinės medžiagos modelį, neatsižvelgiant į atskirus BR ar reljefinius elementus, atliktas modeliavimas, kuris remiasi jungtinės aproksimacijos su glotninimu [93, 94, 95] metodika ir skirtas lankstomos polimerinės medžiagos įtempių analizei [96].

Atliekant matematinį modeliavimą, pasiūlyta įtempių lauko glotninimo metodika, naudojant kvadratinius dvimačius Lagranžo elementus, kuri yra pranašesnė už įprastinę glotninimo metodiką. Gauti sudėtiniai izoklinų vaizdai įvairioms poliarizacijos vektorių kryptims.

Patobulinta įtempių lauko glotninimo metodika

Šiame matematiniam modelyje x ir y žymi koordinačių sistemos ašis. ζ ir η žymi lokalias koordinates baigtiniame elemente ir jame kinta nuo -1 iki 1. Lokalios mazgų (ζ , η) koordinatės yra (-1, -1), (0, -1), (1, -1), (-1, 0), (0, 0), (1, 0), (-1, 1), (0, 1), (1, 1). N_1, N_2, \dots, N_9 yra dvimačio Lagranžo kvadratinio baigtinio elemento formos funkcijos. Formos funkcija N_i yra lygi 1 i -tajame elemento mazge ir 0 kituose elemento mazguose. Sprendžiamas polimerinės medžiagos lapo, kaip plokštelės lenkimo virpesių uždavinys. Šiuo atveju yra gaunamos savos virpesių formos. Kadangi uždavinys remiasi poslinkių formuluote (mazginiais parametrais todėl priimame, kad yra poslinkis z ašies kryptimi ir posūkiai apie x ir y ašis), norint kad įtempių laukas ties elementų kraštais būtų netrūkus, taikoma jungtinė aproksimacija, o kad išvengti per didelių įtempių išsikraipymų dėl aproksimacijos baigtiniais elementais, taikoma jungtinė aproksimacija su glotninimu. Šį skaičiavimų etapą toliau aprašome detaliau.

Paviršiaus įtempių reikšmės mazginiuose taškuose nustatomos sprendžiant tiesinių algebrinių lygčių sistemą:

$$[\hat{K}][\{\delta_x\} \ \{\delta_y\} \ \{\delta_{xy}\}] = [\hat{F}], \quad (4.4)$$

čia $\{\delta_x\}$, $\{\delta_y\}$, $\{\delta_{xy}\}$ yra paviršiaus įtempių σ_x , σ_y , τ_{xy} mazguose reikšmių vektoriai ir:

$$[\hat{K}] = \int \left([\hat{N}]^T [\hat{N}] + [\hat{B}]^T \lambda [\hat{B}] \right) dx dy, \quad (4.5)$$

$$[\hat{F}] = \int [\hat{N}]^T [\sigma_x \ \sigma_y \ \tau_{xy}] dx dy, \quad (4.6)$$

kai λ yra glotninimo parametras ir:

$$[\hat{N}] = [N_1 \ N_2 \ \dots \ N_9], \quad (4.7)$$

$$[\hat{B}] = [N_1 - \bar{N}_1 \ N_2 \ N_3 - \bar{N}_2 \ N_4 \ N_5 \ N_6 \ N_7 - \bar{N}_3 \ N_8 \ N_9 - \bar{N}_4], \quad (4.8)$$

čia $\bar{N}_1, \bar{N}_2, \bar{N}_3, \bar{N}_4$ yra dvimačio Lagranžo tiesinio baigtinio elemento su mazginiais taškais, turinčiais lokalias koordinates $(-1, -1), (1, -1), (-1, 1), (1, 1)$, formos funkcijos.

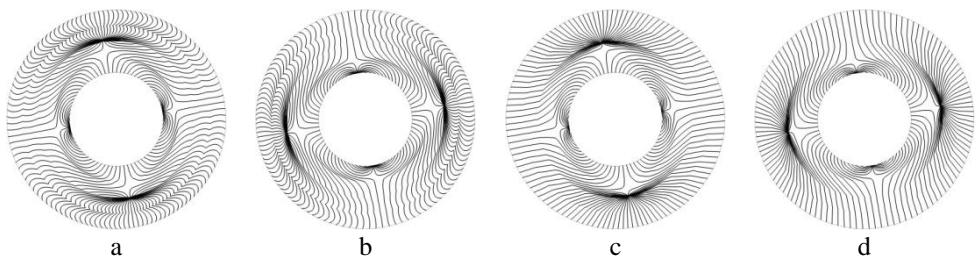
Kadangi apibendrinti poslinkiai kinta kvadratinio dėsnio, tai įtempiai (kurie yra gaunami deformacijas dauginant iš tamprių konstančių matricos, o į deformacijų išraiškas įeina pirmosios apibendrintų poslinkių išvestinės, kurios kinta tiesiniu dėsnio), priimant jų kitimą kvadratinio dėsnio per daug išsikraipo. Todėl formulėje (4.5) dėl skirtumo tarp kvadratinio ir tiesinio kitimų yra antrasis dėmuo su glotninimo parametru. Formulėje (4.8) vektorių eilutę padauginę iš įtempio komponentės mazginių reikšmių, gauname skirtumą tarp kvadratinio ir tiesinio tos įtempių komponentės kitimų.

Lenkiamos polimerinės medžiagos paviršiaus sudėtinio izoklinų vaizdo skaičiavimų rezultatai

Tyrimams parenkama apskrita polimerinė plokštelė nes tokia konstrukcija gerai iliustruoja glotninimo procedūros reikalingumą (toliau pateiktuose neglotnintuose vaizduose akivaizdžiai matosi apskritiminiai iškreipimai, susiję su diskretizacijos netobulumu).

Praktikoje svarbiausios pirmosios savos formos, nes aukštesnės savos formos sužadinamos prie aukštų dažnių, prie kurių dažnai žadinimo amplitudės nebūna labai didelės ir tuo pačiu nebūna sužadinami didelės amplitudės virpesiai. Nagrinėjamame uždavinyje pastebėta, kad iš pirmųjų savų formų antra ir trečia gerai iliustruoja pasiūlytos glotninimo procedūros reikalingumą. Medžiagos antrosios ir trečiosios savosios modos sudėtiniai izoklinų vaizdai, gauti naudojant jungtinės aproksimacijos metodiką, pateikti 4.3 pav. a, b. Tokie patys rezultatai gauti naudojant siūlomą jungtinio glotninimo metodiką pateiki 4.3 pav c, d.

Iš pateiktų rezultatų matyti, kad siūlomos jungtinio glotninimo metodikos pranašumas yra akivaizdus: tai yra glotnintuose vaizduose beveik nesimato dėl diskretizacijos baigtiniais elementais sukeltų izoklinų iškreipimų (neglotnintuose vaizduose matosi apskritiminių elementų eilių sukelti iškreipimai, t.y. izoklinų išsiraitymai, pagal kuriuos matosi kur yra apskritiminių elementų eilių kraštai).



4.3 pav. Sudėtinis izoklinų vaizdas gaunamas naudojant jungtinės aproksimacijos metodiką antrajai (a) ir trečiajai (b) savosioms modoms bei sudėtinis izoklinų vaizdas gaunamas naudojant jungtinio glotninimo metodiką antrajai (c) ir trečiajai (d) savosioms modoms

Atlikti tyrimai rodo, kad sudėtinis izoklinų vaizdas yra svarbus, paaiškinant fototampumo tyrimų metu gautus įtempius. Sudėtinis izoklinų vaizdas gaunamas iš fototampumo matavimo matavimų rezultate gaunamų vaizdų, eksperimentinio

tyrimo metu prie įvairių poliarizacijos vektoriaus krypčių, keičiant šio vektoriaus kampą su x ašimi pastoviu žingsniu. Jis reikalingas nustatant pagrindinių įtempių kryptis, analizuojant įtempių pasiskirstymą polimerinėje medžiagoje.

4.2. Įtempių pasiskirstymo atskiruose reljefiniuose polimerinės medžiagos elementuose tyrimai

Silpnaregiai informacijos nuskaitymo metu pirštais liečia reljefinius elementus, kas sukelia kaip statinę, taip ir dinaminę elementų elgseną. Nusidėvėjimas dažniausiai prasideda ten, kur yra didžiausi įtempiai, tad labai svarbus medžiagos nusidėvėjimo laike prognozavimas.

Mazginių taškų įtempiai skaičiuojami naudojant jungtinės aproksimacijos metodą. Ekvivalentiniai įtempiai atvaizduojami vaizdo intensyvumu.

Skaitmeniniai rezultatai

x , y ir z žymi koordinacių sistemos ašis. Įtempių reikšmės mazginiuose taškuose nustatomos pagal:

$$[\hat{K}][\{\delta_x\} \ \{\delta_y\} \ \{\delta_z\} \ \{\delta_{xy}\}] = [\hat{F}], \quad (4.9)$$

čia $\{\delta_x\}$, $\{\delta_y\}$, $\{\delta_z\}$, $\{\delta_{xy}\}$ yra įtempių σ_x , σ_y , σ_z , τ_{xy} mazginiuose taškuose reikšmių vektoriai ir:

$$[\hat{K}] = \int [\hat{N}]^T [\hat{N}] dx dy, \quad (4.10)$$

$$[\hat{F}] = \int [\hat{N}]^T [\sigma_x \ \sigma_y \ \sigma_z \ \tau_{xy}] dx dy, \quad (4.11)$$

čia:

$$[\hat{N}] = [N_1 \ N_2 \ \dots \ N_9], \quad (4.12)$$

čia N_1, N_2, \dots, N_9 yra dvimačio Lagranžo kvadratinio baigtinio elemento formos funkcijos. Įtempiai $[\hat{F}]$ išraiškoje apskaičiuojami:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = [D][B]\{\delta\}, \quad (4.13)$$

čia $\{\delta\}$ yra mazginių taškų poslinkių vektorius, $[B]$ yra formos funkcijų išvestinių matrica, o $[D]$ apskaičiuojama:

$$[D] = \begin{bmatrix} K + \frac{4}{3}G & K - \frac{2}{3}G & 0 \\ K - \frac{2}{3}G & K + \frac{4}{3}G & 0 \\ K - \frac{2}{3}G & K - \frac{2}{3}G & 0 \\ 0 & 0 & G \end{bmatrix}, \quad (4.14)$$

čia $K = \frac{E}{3(1-2\nu)}$ ir $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$. Pastarojoje išraiškoje E yra tamprumo modulis ir ν

Puasono koeficientas.

Ekvivalentiniai įtempiai apskaičiuojami:

$$I = \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6\tau_{xy}^2}. \quad (4.15)$$

4.2.1. Pusės apskritimo srities įtempių tyrimai

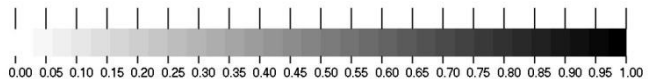
Priimame, kad mechaninę sistemą su BR sudaro viena eilė elementų, esančių pusėje apskritimo su vidurio linijos spinduliu 0,001 m ir pusė storio 0,0001 m. (žiūr. 4.4 pav.).

Statinis uždavinys

Visi trijų mazginių taškų kairiajame gale poslinkiai priimami lygūs nuliui. Trijų mazginių taškų poslinkiai x ašies kryptimi dešiniajame gale yra priimami lygūs nuliui ir y ašies kryptimi yra priimami lygūs vienetui. Ekvivalentinių įtempių pasiskirstymas pateikiamas 4.4 pav. a. Juoda spalva atitinka ekvivalentinių įtempių aukščiausią vertę. Balta spalva atitinka ekvivalentinių įtempių mažiausią vertę. Pilkos reikšmės atitinka tarpines ekvivalentinių įtempių reikšmes. Pilkumo skalė yra pateikta 4.4 pav. b.



a

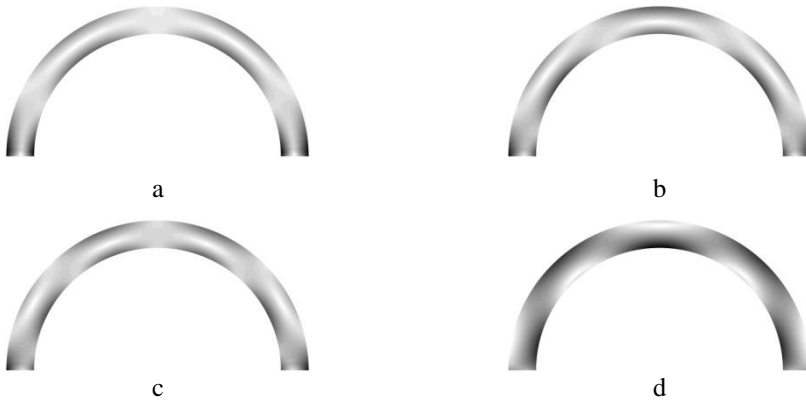


b

4.4 pav. Ekvivalentiniai įtempiai (a) ir jų intensyvumo pilkumo skalė (b)

Ekspluatuojant leidinius su Brailio elementais, išpaustais polimerinėse medžiagose, dažnai sužadinami aukšto dažnio virpesiai. Kai žadinančių virpesių dažnis sutampa su konstrukcijos savuoju dažniu, išauga virpesių amplitudės ir pasireiškia rezonansas. Todėl svarbu tirti Brailio elementų virpesius pagal pirmąsias savas formas.

Visi trijų mazginių taškų poslinkiai kairiajame gale ir trijų mazginių taškų poslinkiai dešiniajame gale priimami lygūs nuliui. Pirmųjų keturių savųjų modų ekvivalentiniai įtempiai pateikiami 4.5 pav.



4.5 pav. Ekvivalentiniai įtempiai a) pirmos, b) antros, ..., d) ketvirtos savosios modos

Iš keturių savųjų modų rezultatų gauname, kad iš esmės įtempių pasiskirstymo sudėtingumas didėja, didėjant savosios modos eilės numeriui (matome, kad pirmoje formoje išilgai BR elemento yra 3 mazgai, antroje 4, trečioje 5). Taip pat matyti, kad ekvivalentūs įtempiai paprastai yra didžiausi medžiagos paviršiuje, tai yra tamsiausios vietos yra ties paviršiais.

Sekančiame skyrelyje ištirsime BR reljefinį elementą su plokščia elemento viršutine dalimi.

4.2.2. BR reljefinio elemento paviršiaus su plokščia dalimi įtempių tyrimai

Sistemą su BR sudaro viena eilė elementų, esančių ketvirtyje apskritimo, vidinėje tiesioje dalyje ir kitame apskritimo ketvirtyje (žiūr. 4.6 pav.). Priimame, kad vidurio linijos spindulys 0,001 m ir paviršiaus pusinis storis 0,0001 m.

Statinis uždavinys

Visi trijų mazginių taškų kairiajame gale poslinkiai priimami lygūs nuliui. Trijų mazginių taškų poslinkiai x ašies kryptimi dešiniajame gale yra priimami lygūs nuliui ir y ašies kryptimi yra priimami lygūs vienetui. Ekvivalentiniai įtempiai pateikiami 4.6 pav.

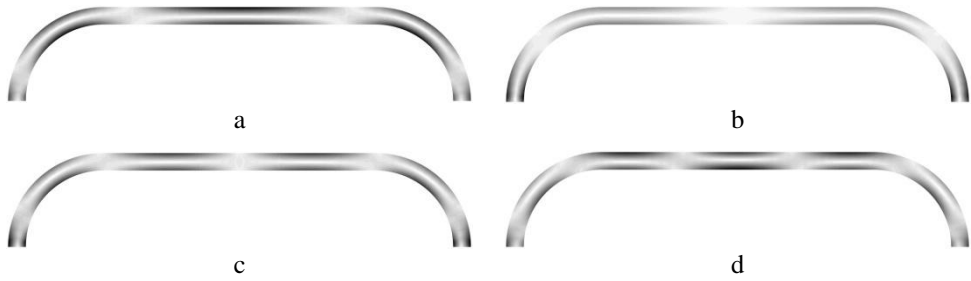


4.6 pav. Reljefinio elemento ekvivalentiniai įtempiai

Savosios modos

Visi trijų mazginių taškų kairiajame gale poslinkiai ir trijų mazginių taškų dešiniajame gale poslinkiai priimami lygūs nuliui. Pirmųjų keturių savųjų modų ekvivalentiniai įtempiai pateikiami 4.7 pav.

Iš keturių savųjų modų rezultatų gauta, kad iš esmės įtempių pasiskirstymo sudėtingumas didėja didėjant savosios modos eilės numeriui (pirmoje formoje išilgai reljefinio elemento yra 4 mazgai, antroje 3, trečioje 5, ketvirtoje 6). Ekvivalentūs įtempiai paprastai yra didžiausi medžiagos paviršiuje, t.y. tamsiausios vietos piešiniuose yra ties paviršiais.



4.7 pav. Ekvivalentiniai įtempiai a) pirmos, b) antros, ..., d) ketvirtos savosios modos

Eksperimentiniai tyrimai parodė, kad dėl dažno kontakto su pirštais ar kitomis medžiagomis, reljefinio elemento taškai patiria susidėvėjimą bei stiprumo sumažėjimą jų viršutinėse dalyse, todėl atsparumo požiūriu pranašesni reljefiniai elementai su plokščia viršutine paviršiaus dalimi.

4.3. Brailio rašto taškų, suformuotų polimerinėse medžiagose, įtempių analizė

4.3.1. Tyrimai, remiantis ašiasimetriniu modeliu

Brailio rašto taškų ekvivalentiniai įtempiai analizuojami skaitmeniniu būdu, naudojant ašiasimetrinį modelį. Mazginių taškų įtempiai skaičiuojami naudojant jungtinės aproksimacijos metodiką. Ekvivalentiniai įtempiai iliustracijose atvaizduojami pilkumo intensyvumu.

Skaitmeninė metodika

Matematiniam modelyje x reiškia radialinę koordinatę, y – ašinę koordinatę, z – kampinės krypties koordinatę. Įtempių eikšmės mazginiuose taškuose nustatomos:

$$[\hat{K}][\{\delta_x\} \ \{\delta_y\} \ \{\delta_z\} \ \{\delta_{xy}\}] = [\hat{F}], \quad (4.16)$$

čia $\{\delta_x\}$, $\{\delta_y\}$, $\{\delta_z\}$, $\{\delta_{xy}\}$ yra įtempių σ_x , σ_y , σ_z , τ_{xy} mazginiuose taškuose verčių vektoriai ir:

$$[\hat{K}] = \int [\hat{N}]^T [\hat{N}] 2\pi x dx dy, \quad (4.17)$$

$$[\hat{F}] = \int [\hat{N}]^T [\sigma_x \ \sigma_y \ \sigma_z \ \tau_{xy}] 2\pi x dx dy, \quad (4.18)$$

čia $[\hat{N}]$ yra dvimačio Lagranžo kvadratinio baigtinio elemento formos funkcijų N_1 , N_2 , ..., N_9 eilutė.

Įtempiai $[\hat{F}]$ išraiškoje apskaičiuojami:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = [D][B]\{\delta\}, \quad (4.19)$$

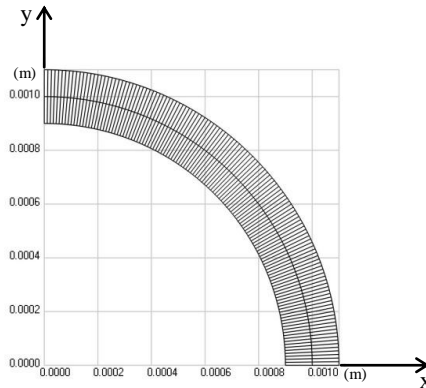
čia $\{\delta\}$ yra mazginių taškų poslinkių vektorius, $[D]$ yra tamprių konstančių matrica, o $[B]$ apskaičiuojamas sekančiai:

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial x} & 0 & \dots \\ 0 & \frac{\partial N_1}{\partial y} & \dots \\ \frac{N_1}{x} & 0 & \dots \\ \frac{\partial N_1}{\partial y} & \frac{\partial N_1}{\partial x} & \dots \end{bmatrix} \quad (4.20)$$

Ekvivalentiniai įtempiai apskaičiuojami taip pat kaip ir plokščios deformuotos būsenos uždavinio atveju (žiūr. formulę (4.15)).

Brailio rašto apskritiminių taškų įtempių lauko tyrimai

Laikome, kad BR sudaro viena eilė elementų, esančių ketvirtyje apskritimo su vidurio linijos spinduliu 0,001 m ir pusės storio 0,0001 m.



4.8 pav. BR taško baigtiniai elementai

BR taško kairysis kraštas sutampa su simetrijos ašimi. Sprendžiant uždavinį naudojame 64 Lagranžo kvadratinius baigtinius elementus, vieną elementų eilę storio kryptimi. Baigtinių elementų tinkelis parodytas 4.8 pav., kuriame aiškiai matosi koordinatinių ašys ir matmenys.

Statinis uždavinys

Trijų mazginių taškų poslinkiai x ašies kryptimi kairiame BR taško gale yra priimami lygūs nuliui, tai seka iš uždavinio ašinės simetrijos. Trijų mazginių taškų poslinkiai x ašies kryptimi dešiniajame struktūros gale yra priimami lygūs vienetui. Trijų mazginių taškų poslinkiai y ašies kryptimi dešiniajame BR taško gale yra priimami lygūs nuliui. Įvertinant kraštines sąlygas, tai yra tik ką aprašytus įtvirtinimus, BR taškas turi 765 laisvės laipsnius. BR taško elementas diskretizuota

viena Lagranžo kvadratinų elementų eile per jos storį. Elementas turi 9 mazgus ir kiekviename jų po 2 laisvės laipsnius, tai yra poslinkius koordinačių ašių kryptimis. Elementai nuosekliai sujungti vienas su kitu. Todėl 6 vieno elemento galo laisvės laipsniai (3 mazgai po 2 laisvės laipsnius) susijungia su sekančio elemento 6 laisvės laipsniais. Taigi per konstrukcijos storį turime 64 elementai dauginta iš 2 plus 1 eilių po tris mazgus, kurių kiekviename po 2 laisvės laipsnius. Tai 129 eilės po 3 mazgus dauginta iš 6 laisvės laipsnių duoda 774 laisvės laipsnius. Bet trijuose mazguose konstrukcijos pradžioje duoti poslinkiai x ašies kryptimi ir trijuose mazguose konstrukcijos gale duoti poslinkiai abiejų koordinačių ašių kryptimis. Taigi iš viso duoti 9 laisvės laipsniai. Iš 774 atėmę duotų laisvės laipsnių skaičių gauname BR taško elemento laisvės laipsnių skaičių po kraštinių sąlygų įvertinimo. Ekvivalentiniai įtempiai pateikiami 4.9 pav.

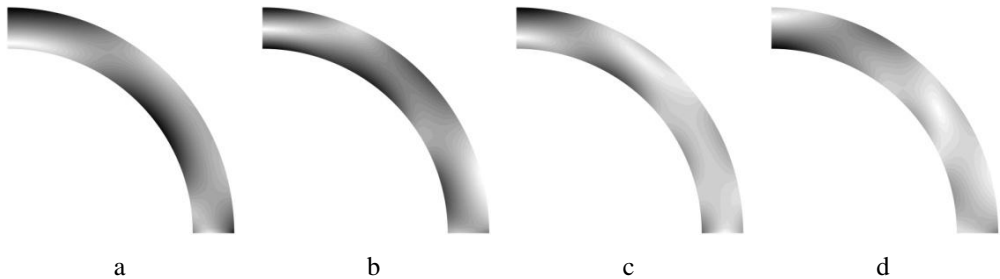


4.9 pav. Ekvivalentiniai įtempiai

Sekančiame skyrelyje pereinama prie savųjų modų tyrimo.

Savosios modos

Analizuojant savąsias modas, trijų mazginių taškų poslinkiai x ašies kryptimi kairiajame BR taško elemento gale yra priimami lygūs nuliui.



4.10 pav. Ekvivalentiniai įtempiai a) pirmos, b) antros, ..., d) ketvirtos savosios modos

Trijų mazginių taškų visi poslinkiai dešiniajame BR taško gale yra priimami lygūs nuliui. Ekvivalentiniai keturių savųjų modų įtempiai pateikiami 4.10 pav.

Iš gautų rezultatų galima matyti, kad iš esmės įtempių pasiskirstymo sudėtingumas didėja didėjant savosios modos numeriui ir kad ekvivalentūs įtempiai paprastai yra didžiausi BR taško paviršiuje, t.y. tamsiausios vietos piešiniuose yra ties paviršiais.

Brailio rašto taškų su plokščia paviršiaus dalimi įtempių lauko tyrimai

Laikome, kad BR sudaro viena eilė elementų (taškų), esančių vidurinėje tiesioje dalyje ir apskritimo ketvirtadaliu. Priimame, kad apskritimo dalies vidurio linijos spindulys 0,001 m ir paviršiaus pusė storio 0,0001 m.

Statinis uždavinys

Trijų mazginių taškų poslinkiai x ašies kryptimi kairiame BR taško gale yra priimami lygūs nuliui. Trijų mazginių taškų poslinkiai x ašies kryptimi dešiniajame taško gale yra priimami lygūs vienetui. Trijų mazginių taškų poslinkiai y ašies kryptimi dešiniajame taško gale yra priimami lygūs nuliui. Ekvivalentiniai įtempiai pateikiami 4.11 pav. a. Brailio rašto taškai su plokščia paviršiaus dalimi gali būti rekomenduojami praktiniam pritaikymui, todėl yra analizuojami detaliau. Maksimalus ekvivalentinis įtempis paprastai susidaro Brailio rašto taškų paviršiuje. Siekiant tiksliau interpretuoti ekvivalentinio įtempio reikšmes Brailio rašto taško paviršiuose, ekvivalentiniai įtempiai apatiniam ir viršutiniam paviršiuose atvaizduoti paviršiaus normaline kryptimi, kurie pateikti grafiškai 4.11 pav. b.



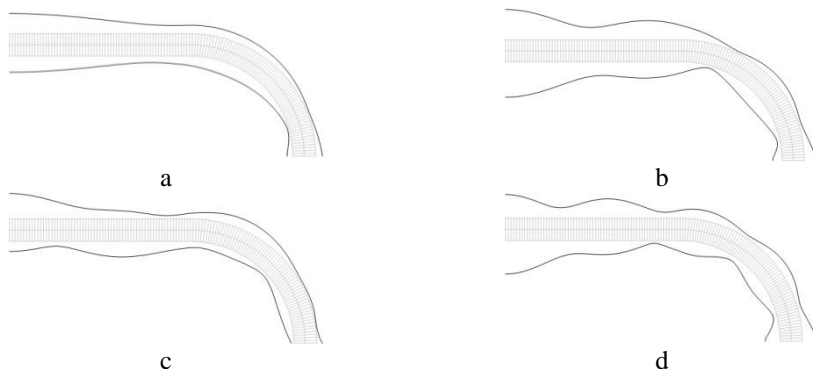
4.11 pav. Ekvivalentiniai įtempiai (a) ir ekvivalentiniai įtempiai apatiniam ir viršutiniam paviršiuje normaline kryptimi (b)

Savosios modos

Tiriant savąsias modas trijų mazginių taškų poslinkiai x ašies kryptimi kairiame BR taško gale yra priimami lygūs nuliui. Trijų mazginių taškų visi poslinkiai dešiniajame BR taško gale yra priimami lygūs nuliui. BR taškas kaip ir ankstesniuose tyrimuose turi 765 laisvės laipsnius. Pirmųjų keturių savųjų modų ekvivalentiniai įtempiai pateikiami 4.12 pav. Ekvivalentiniai įtempiai apatiniam ir viršutiniam paviršiuose atvaizduoti paviršiaus normaline kryptimi pateikti 4.13 pav.



4.12 pav. Ekvivalentiniai įtempiai a) pirmos, b) antros, ..., d) ketvirtos savosios modos



4.13 pav. Apatinio ir viršutinio paviršiaus ekvivalentiniai įtempiai normaline kryptimi a) pirmos, b) antros, ..., d) ketvirtos savosios modos

Iš gautų rezultatų galima matyti, kad iš esmės įtempių pasiskirstymo sudėtingumas didėja didėjant savosios modos eilės numeriui (tai nėra griežta išvada, bet matome, kad pirmoje formoje išilgai BR taško yra 2 mazgai, antroje 3, ketvirtoje 4). Taip pat matome kad ekvivalentūs įtempiai paprastai yra didžiausi BR taško paviršiuje, tai yra tamsiausios vietos piešiniuose yra ties paviršiais.

Eksperimentiniai tyrimai parodė, kad dėl dažno kontakto su pirštais ar kitomis besiliečiančiomis medžiagomis (pavyzdžiui, kai lapai su BR įrišti), BR taškai patiria stiprumo sumažėjimą jų viršutinėse dalyse, todėl atsparumo požiūriu pranašesni yra BR taškai ar reljefiniai elementai su plokščia viršutine paviršiaus dalimi.

4.3.2. Įtempių BR taškuose tyrimas, remiantis ašiasimetriniu modeliu pirmai harmonikai

Analizuojamas atskiras Brailio rašto taškas ir tiriamas ašiasimetrinis uždavinys pirmai harmonikai apskritimine kryptimi. Tirtos pirmosios savosios modos, gauti didžiausi apskritimuose ekvivalentiniai įtempiai BR taško kraštuose. Tikėtina, jog didžiausių ekvivalentinių įtempių vietose pablogėja polimerinės medžiagos kokybė.

Skaitmeninio įtempių skaičiavimo matematinis modelis

x reiškia radialinę koordinatę, y – ašinę koordinatę ir z – kampinės krypties koordinatę, kai θ reiškia koordinatinių sistemų kampą. Žymima:

$$\begin{bmatrix} [N_u] \\ [N_v] \\ [N_w] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & N_1 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & N_1 & \dots \end{bmatrix}, \quad (4.21)$$

čia $N_1(x, y)$, $N_2(x, y)$, ... yra dvimačio baigtinio elemento formos funkcijos.

Poslinkiai u , v ir w išreiškiami,

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = [N_c] \{\delta\} \cos \theta + [N_s] \{\delta\} \sin \theta, \quad (4.22)$$

čia $\{\delta\}$ yra poslinkių pirmos harmonikos mazginių taškų amplitudžių vektorius ir:

$$[N_c] = \begin{bmatrix} [N_u] \\ [N_v] \\ [0] \end{bmatrix}, [N_s] = \begin{bmatrix} [0] \\ [0] \\ [N_w] \end{bmatrix}. \quad (4.23)$$

Masių matrica išreiškiama, kur ρ yra polimerinės medžiagos tankis:

$$[M] = \int \left([N_c]^T \rho [N_c] + [N_s]^T \rho [N_s] \right) x dx dy, \quad (4.24)$$

Žymima:

$$\begin{bmatrix} [N_{ux}] \\ [N_{vx}] \\ [N_{wx}] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial x} & 0 & 0 & \dots \\ 0 & \frac{\partial N_1}{\partial x} & 0 & \dots \\ 0 & 0 & \frac{\partial N_1}{\partial x} & \dots \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} [N_{uy}] \\ [N_{vy}] \\ [N_{wy}] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial y} & 0 & 0 & \dots \\ 0 & \frac{\partial N_1}{\partial y} & 0 & \dots \\ 0 & 0 & \frac{\partial N_1}{\partial y} & \dots \end{bmatrix}. \quad (4.25)$$

Deformacijos išreiškiamos:

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{u}{x} + \frac{1}{x} \frac{\partial w}{\partial \theta} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{1}{x} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\partial w}{\partial y} \\ \frac{1}{x} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{w}{x} \end{Bmatrix} = [B_c] \{\delta\} \cos \theta + [B_s] \{\delta\} \sin \theta, \quad (4.26)$$

čia:

$$[B_c] = \begin{bmatrix} [N_{ux}] \\ [N_{vy}] \\ \frac{1}{x}[N_u] + \frac{1}{x}[N_w] \\ [N_{uy}] + [N_{vx}] \\ [0] \\ [0] \end{bmatrix}, [B_s] = \begin{bmatrix} [0] \\ [0] \\ [0] \\ [0] \\ -\frac{1}{x}[N_v] + [N_{wy}] \\ -\frac{1}{x}[N_u] + [N_{wx}] - \frac{1}{x}[N_w] \end{bmatrix}. \quad (4.27)$$

Standumo matrica išreiškiama:

$$[K] = \int \left([B_c]^T [D] [B_c] + [B_s]^T [D] [B_s] \right) x dx dy, \quad (4.28)$$

čia $[D]$ yra tamprių konstančių matrica .

Ekvivalentiniai įtempiai apskaičiuojami:

$$I = \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6\tau_{xy}^2 + 6\tau_{yz}^2 + 6\tau_{zx}^2}, \quad (4.29)$$

čia $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ yra įtempiai.

Įvertinant (4.26), (4.27) ir tamprių konstančių matricos $[D]$ išraišką, apskaičiuojama:

$$I = \sqrt{A \cos^2 \theta + B \sin^2 \theta} = \sqrt{A + (B - A) \sin^2 \theta}, \quad (4.30)$$

čia:

$$A = (\sigma_x^c - \sigma_y^c)^2 + (\sigma_y^c - \sigma_z^c)^2 + (\sigma_z^c - \sigma_x^c)^2 + 6\tau_{xy}^c{}^2, \quad B = 6\tau_{yz}^s{}^2 + 6\tau_{zx}^s{}^2, \quad (4.31)$$

čia c ir s reiškia įtempių \cos ir \sin amplitudes.

Taigi didžiausi apskritimo srities ekvivalentiniai įtempiai apskaičiuojami:

$$I_{\max} = \sqrt{\max(A, B)}. \quad (4.32)$$

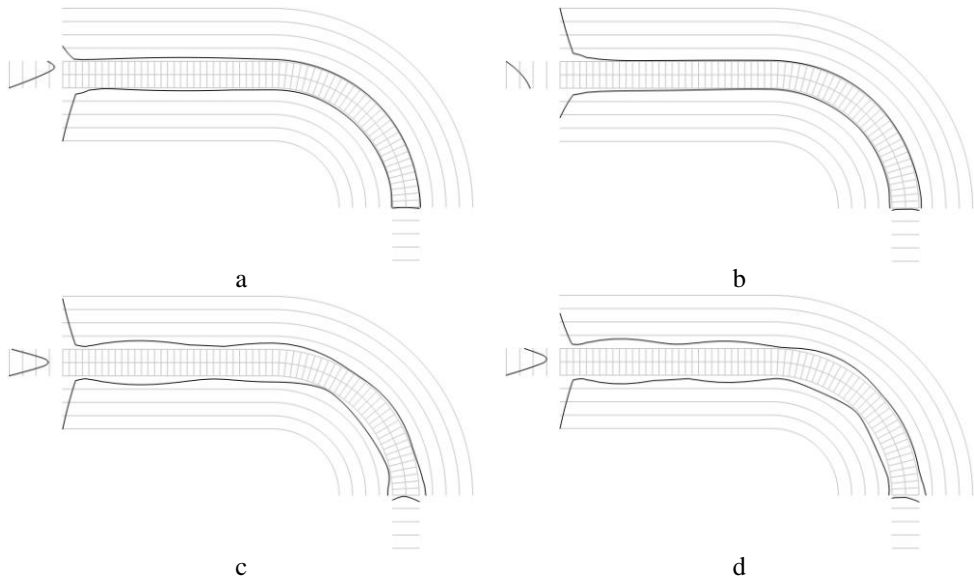
BR apskritinės srities įtempių laukų tyrimai

Laikome, kad BR taškus sudaro viena eilė elementų, esančių vidurinėje tiesioje dalyje ir apskritimo ketvirtadalyje. Priimame, kad apskritimo dalies vidurio linijos spindulys 0,001 m ir paviršiaus pusė storio 0,0001 m. BR taško kairys kraštas sutampa su simetrijos ašimi.

Trijų mazginių taškų visos poslinkių amplitudės abiejuose BR taško galuose yra priimamos lygios nuliui. Pirmųjų keturių savųjų modų BR taškų didžiausi apskritimuose ekvivalentiniai įtempiai pateikiami 4.14 pav. Paviršiaus ekvivalentiniai įtempiai vaizduojami grafiškai normaline BR taško paviršiui kryptimi.

Iš gautų rezultatų galima matyti, kad iš esmės įtempių pasiskirstymo sudėtingumas didėja didėjant savosios modos numeriui (trečioje formoje išilgai BR taško yra 4 ekvivalentaus įtempimo minimumai, ketvirtoje 5).

Iš eksperimentinių tyrimų rezultatų galima pastebėti, kad polimerinės medžiagos kokybės pablogėjimas paprastai prasideda nuo tiriamo bandinio paviršiaus. Tai rodo, kad polimerinės medžiagos paviršiaus ekvivalentinių įtempių rezultatai yra ypač svarbūs. Didžiausių ekvivalentinių įtempių vietose medžiaga paprastai įgauna defektus po tam tikro apkrovos ciklų skaičiaus, todėl sekančiame skyrelyje ištirsime polimerinės medžiagos žadinimo apkrovos ciklų įtaką BR taško susidėvimui.



4.14 pav. BR taško apskritiminės srities didžiausi ekvivalentiniai įtempiai:
a) pirmos, b) antros, ..., d) ketvirtos savosios modos

4.4. Virpančios polimerinės plėvelės ciklų iki susidėvėjimo pradžios nustatymas

Baigtinis elementas mazge turi vieną laisvės laipsnį: poslinkį koordinačių sistemos x ašies kryptimi. Skaičiuojamos savosios modos ir tada nustatomas išilginis įtempių σ_x pasiskirstymas polimerinėje medžiagoje, esant didžiausiam poslinkiui pagal kiekvieną savąją modą. Ciklų skaičius iki susidėvėjimo pradžios apskaičiuojamas:

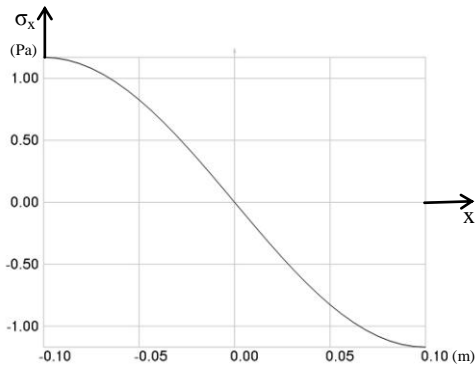
$$N = \frac{C}{|\sigma_x|^m}. \quad (4.33)$$

Ciklų iki susidėvėjimo pradžios analizės rezultatai

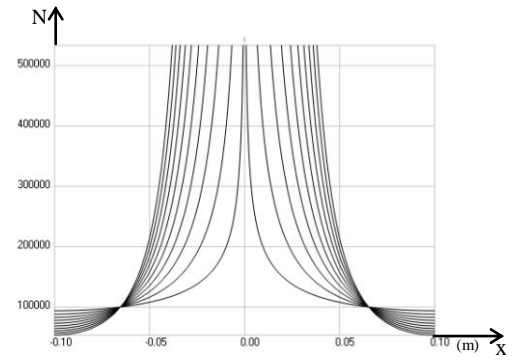
Analizuojamos sistemos ilgis 0,2 m. Poslinkiai kairiajame ir dešiniajame struktūros gale yra priimami lygūs nuliui. BR taško kairys kraštas sutampa su simetrijos ašimi.

Priimama, kad reikšmė parametro $C = 10^5$. Reikšmė parametro m priimama nuo $m = 0,4$ iki $m = 4$. Rezultatai pateikiami eilei m reikšmių, nes turėdami eksperimentinius rezultatus ir grafikus pateiktoms m reikšmėms, pagal jų tarpusavio atitikimą galime nustatyti tikrąją parametro m reikšmę.

Tirtos keturios savosios modos ir pateikti grafikuose įtempiai ir ciklų iki susidėvėjimo pradžios skaičius (4.15-4.18 pav.).

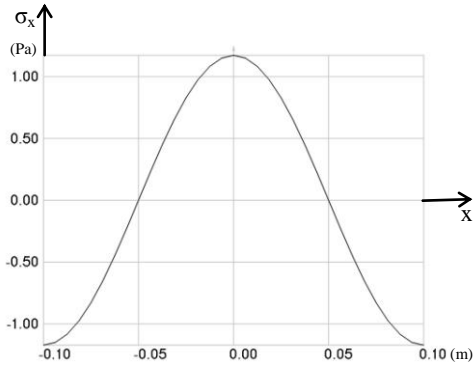


a

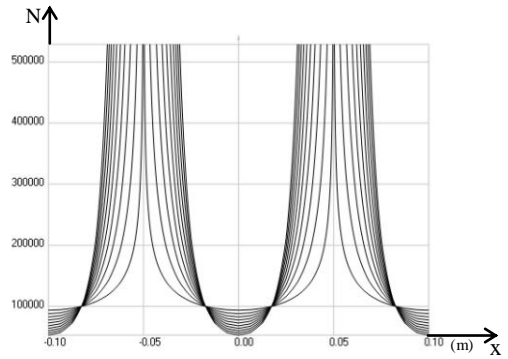


b

4.15 pav. Pirmos savosios modos a) įtempiai, b) ciklų iki susidėvėjimo pradžios skaičius

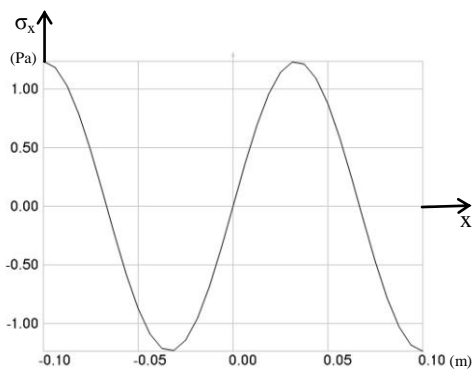


a

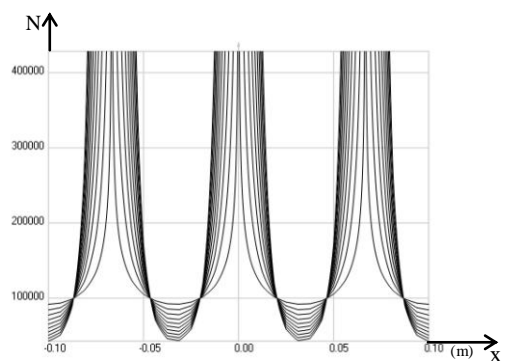


b

4.16 pav. Antros savosios modos a) įtempiai, b) ciklų iki susidėvėjimo pradžios skaičius

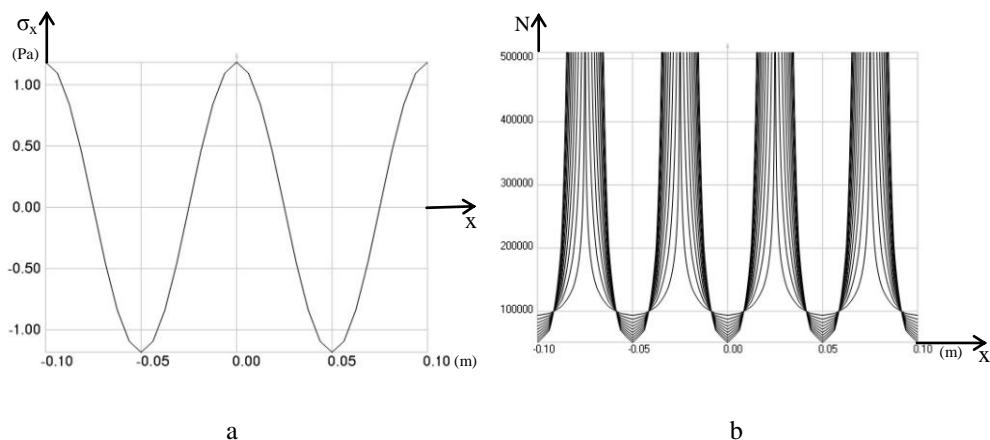


a



b

4.17 pav. Trečios savosios modos a) įtempiai, b) ciklų iki susidėvėjimo pradžios skaičius



4.18 pav. Ketvirtos savosios modos a) įtempiai, b) ciklų iki susidėvėjimo pradžios skaičius

Iš pateiktų ciklų iki susidėvėjimo pradžios skaičiaus rezultatų aišku, kad gauti grafikai gali būti taikomi, norint nustatyti parametrus eksperimentams. Tai išplaukia iš to, kad C vertės pasikeitimai grafinėse priklausomybėse keičia tik y ašies mastelį, o priklausomybės prie įvairių parametro m reikšmių yra pateiktos grafikuose. Todėl gautos grafinės priklausomybės įgalina remiantis eksperimentinių tyrimų rezultatais identifikuoti modelio parametrus.

4.5. Skaitmeninių tyrimų išvados

Tirtas intensyvumo kitimas laike vidurkintame fototampriame vaizde naudojant vienmatį modelį. Iš pateiktų rezultatų matyti, kad naudojant laiko vidurkinimą reikalingas pakankamai didelis vaizdų skaičius, nes priešingu atveju aukštesnes juostas atitinkančiose srityse fototampriame vaizde gaunami neteisingi rezultatai. Pateikti rezultatai rodo, kad tiksliems įtempimų matavimams yra naudinga turėti stroboskopinį ir laike suvidurkintą fototamprius vaizdus. Stroboskopinis ir laike vidurkintas juostų intensyvumai sutampa ten, kur įtempiai yra lygūs nuliui.

Tiriant polimerinės medžiagos paviršiaus įtempius pasiūlyta skaitmeninė metodika įtempimų lauko skaičiavimui, kuri remiasi jungtinės aproksimacijos su glotninimu procedūra ir naudoja dvimačius Lagranžo kvadratinis elementus. Buvo gauti medžiagos sudėtiniai izoklinų vaizdai, kurie svarbūs tiriant įtempimų laukus fototampriumo metodu. Iš gautų rezultatų seka bendra rekomendacija: atliekant fototampriumo eksperimentinius tyrimus, tiksliam įtempimų lauko polimerinėje plėvelėje interpretavimui turi būti naudojamas plokščias poliariskopas ir gaunami fototampriumo vaizdai prie skirtingų poliarizacijos vektoriaus kryptių.

Reljefinių elementų mazginių taškų įtempiai buvo apskaičiuoti naudojant jungtinės aproksimacijos procedūrą. Tirti plokščios deformuotos būsenos modeliu aprašomi uždaviniai: pusė apskritimo ir reljefinis elementas su plokščia viršutine dalimi. Analizuoti ekvivalentiniai įtempiai. Ekvivalentiniai įtempiai atvaizduojami skirtingu vaizdų intensyvumu: tamsiausios dalys atitinka didžiausias ekvivalentinio įtempio reikšmes ir laikome, kad tose vietose pasireiškia BR taškų dėvėjimasis.

Atskiri Brailio rašto taškai buvo analizuojami skaitmeniškai, taikant ašiasimetrinį modelį ir tiriant ekvivalentinius įtempius. Buvo tiriami dviejų tipų Brailio rašto taškai: apskritiminiai ir su plokščia paviršiaus dalimi.

Tyrimų rezultatai parodė, kad apskritiminiai BR taškai ir reljefiniai elementai dėl dažno kontakto su pirštais patiria dėvėjimąsi ir medžiagos paviršiaus stiprumo mažėjimą. Brailio rašto taškai ir reljefiniai elementai, turintys plokščią paviršių, yra pranašesni polimerinės medžiagos dėvėjimosi ir stiprumo sumažėjimo atžvilgiu.

Turint omenyje, kad turintys plokščią paviršių Brailio rašto taškai turi pranašumą taikant juos praktiškai, jie buvo iširti detaliau. Buvo gauti ekvivalentinio įtempio apatiniame ir viršutiniame paviršiuose grafiniai vaizdai, iš kurių galima lengvai nustatyti vietas su didžiausiomis ekvivalentinio įtempio reikšmėmis.

Tyrimų metu pastebėta, kad įtempių pasiskirstymo sudėtingumas didėja didėjant savosios modos numeriui. Taip pat iš gautų rezultatų nustatyta, jog didesni ekvivalentiniai įtempiai yra Brailio rašto ir taktilinių reljefinių elementų paviršiuose.

Tirtas ašiasimetrinis uždavinys pirmai harmonikai apskritimine kryptimi. Tirtos pirmosios savosios modos. Gauti didžiausi ekvivalentiniai įtempiai BR taškų kraštuose. Didžiausių ekvivalentinių įtempių vietose prasideda polimerinės medžiagos kokybės blogėjimas.

Atliktas vienmačio modelio ciklą iki susidėvėjimo pradžios skaičiaus tyrimas. Gauti grafikai taikytini parametrų nustatyti eksperimentinėse procedūrose, grafinės priklausomybės įgalina remiantis eksperimentinių tyrimų rezultatais identifikuoti modelio parametrus.

Gautieji rezultatai gali būti panaudoti tobulinant BR formavimą ant polimerinių medžiagų, o taip pat ir taktilinių reljefinių elementų projektavimą.

APIBENDRINTOSIOS IŠVADOS

1. Literatūros šaltinių apžvalga parodė, kad nepakanka darbų, kuriuose būtų nagrinėjama BR, suformuoto ant skirtingų medžiagų skirtingais spaudos būdais, svarbiausių BR taškų parametrų stabilumo eksperimentiniai ir skaitmeniniai tyrimai, veikiant BR atspaudus klimatiniams ir eksploataciniams veiksniams.
2. Nustatyta, kad kiekvienas atskiras Brailio rašto geometrinis parametras (BR taško aukštis, skersmuo ir atstumas tarp šių taškų), o taip pat ir jų visuma, turi svarbią reikšmę nereginiųjų rašto nuskaitymui. Be to, didėjant respondentų amžiui (60 m. ir vyresni), dėl netinkamai suformuotos taškų geometrijos, BR sunkiai nuskaitymas esant 0,1 mm ir mažesniai aukščiui.
3. Tyrimų metu buvo naudota mikroskopinė analizė, dažų terminės analizės metodas, įtempių nustatymo fototamprumo metodas, duomenų statistinė analizė, o taip pat ir BEM. Mikroskopinės analizės metodas leido atlikti BR taškų paviršiaus kokybinę analizę, veikiant mechaniniam poveikiui (trynimui), temperatūriniais veiksniams, senėjimui. Terminės analizės metodu buvo nustatytas trafaretinėje spaudoje naudojamų dažų kompozicijos tinkamumas. Fototamprumo metodu nustatytas atspauduose su BR ir reljefiniais elementais įtempių pasiskirstymas.
4. Nustatyta, kad BR taškus veikiant mechaniniam poveikiui, temperatūriniais veiksniams ir senėjimui, BR taškų sumažėjimo vertė gauta skirtinga, priklausomai nuo BR formavimo būdo ir naudojamų medžiagų. Įspaudimo būdu suformuotas BR yra mažiausiai patvarus, nes iškilūs reljefiniai taškai, keičia savo geometrinis parametrus, dėl ko informacija ant pakuočių tampa akliems nenuskaitoma. Mechaniniam poveikiui mažiausiai atsparūs yra kartone Multicolor Mirabel įspaudimo būdu suformuoti BR taškai (sumažėjimas 31%). Trafaretine spauda plastizoliniais dažais tinkamiausia spausdinti BR ant audinio, Munken Pure popieriaus, Multicolor Mirabel kartono nes, esant mechaniniam poveikiui, BR taškai išlieka mažiau pakitę.
5. Nustatyti optimalūs spausdinimo režimai, leidžiantys skaitmenine spauda suformuoti tinkamo aukščio BR taškus (spausdinimo greitis $v = 0,58$ m/s, lako temperatūra $t = 59$ °C, lako slėgis $P = 2,5 \times 10^5$ Pa). Terminės analizės metodu nustatytas dažų tinkamumas BR spausdinimui trafaretine spauda. Pakankamo 0,20 mm aukščio BR taškus galima išgauti spaudos procese naudojant trafaretinius dažus su termo milteliais, džiovinant prie optimalaus darbinio temperatūrų diapazono 98-198 °C.
6. Gauta, kad polimeriniuose gaminiuose su įspaustais BR taškais, susiformuoja liekamieji įtempiai, kurie mažina tokių gaminių ilgaamžiškumą. Nustatyta, kad didžiausi įtempiai susidaro BR ir reljefinių elementų suformavimo vietose.
7. Įtempių pasiskirstymo rezultatai susieti skaitmeninio modelio pagalba. Gauti modeliavimo rezultatai parodo, jog įtempiai paprastai yra didžiausi BR taško paviršiuje. Turint omenyje, kad turintys plokščią paviršių Brailio rašto taškai turi pranašumą taikant juos praktiškai, jie buvo ištirti detaliau. Buvo gauti ekvivalentinio įtempio apatiniame ir viršutiniame paviršiuose grafiniai vaizdai, iš kurių galima lengvai nustatyti vietas su didžiausiomis ekvivalentinio įtempio

reikšmėmis. Pastebėta, kad įtempimų pasiskirstymo sudėtingumas didėja didėjant savosios modos eilės numeriui.

8. Skaitmeniniai tyrimai ir fototamprumo eksperimentai papildo vienas kitą ir įgalina išsamiai interpretuoti įtempimų laukus polimerinėse medžiagose. Gautieji rezultatai gali būti naudojami tobulinant pakuočių, etikečių su Brailio raštu ir reljefiniais elementais projektavimą. Panaudojant BEM modelius, praplėsta metodologija, leidžianti įvertinti polimerinių medžiagų su BR ir reljefiniais elementais įtempimų pasiskirstymus.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. **Silvio, P. Marioti.** *Global data on visual impairments 2010* [interaktyvus][žiūrėta 2011-01-20]. Prieiga per internetą: <http://www.who.int/blindness/GLOBALDATAFINALforweb.pdf?ua=1>.
2. **WHO.** *Visual impairment and blindness* [interaktyvus][žiūrėta 2014-05-20]. Prieiga per internetą: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/>.
3. **LASS.** *2011 m. Centro tarybos veiklos ataskaita.* [interaktyvus][žiūrėta 2011-10-01]. Prieiga per internetą: <http://www.lass.lt/lit/Veiklos-ataskaitos/308/14/46/102>.
4. **Toločka, V.** Skaitantys pirštai: aklujų rašto istorijos apybraiža. 3 -asis leidimas, pataisytas, papildytas.-Vilnius: Lietuvos aklujų biblioteka, 2009.- 144 p.
5. **The Braille alphabet.** [interaktyvus][žiūrėta 2011-01-05]. Prieiga per internetą: <http://english.fakoo.de/braille.html>.
6. **Direktyva 2004/27/EC** of the European Parliament and of the Council of 31 March.
7. **Standartas LST EN 15823:2010.** Pakuotės. Brailis ant vaistų pakuočių.
8. **BS EN 15823:2010.** Packaging. Braille on packaging for medicinal products.
9. **Kamei-Hannan, Cheryl.** Innovative solutions for words with emphasis: alternative methods for braille transcription. *Journal of Visual Impairment and Blindness.* 2009, Vol. 103, No 10, Oct-Nov, p. 709-721.
10. **DAT.** Braille Cell Dimensions [interaktyvus][žiūrėta 2012-04-10]. Prieiga per internetą: http://www.tiresias.org/research/reports/braille_cell.htm.
11. **Digrytė, E.** Skaitantieji pirštai. [interaktyvus][žiūrėta 2013-01-10]. Prieiga per internetą: <http://www.delfi.lt/pramogos/kultura/skaitantieji-pirstais.d?id=16171497>.
12. **ECMA.** Braille on folding cartons.-European Carton Manufacturers Association, 2008.-16 p. [interaktyvus][žiūrėta 2012-02-20]. Prieiga per internetą: <http://www.ecma.org>.
13. **EBU.** Chart of braille signs used on Pharmaceutical packaging [interaktyvus][žiūrėta 2012-02-20]. Prieiga per internetą: <http://www.mhra.gov.uk/home/groups/pla/documents/websiteresources/con2023828.pdf>.
14. Braille dimensions [interaktyvus] [žiūrėta 2011-10-15]. Prieiga per internetą: <http://www.blista.de/download/druckerei/braille-dimensions.pdf>.
15. **Douglas, G., Weston, A., Whittaker, J. ir kt.** Braille dot height research: Investigation of Braille Dot Elevation on Pharmaceutical Products. *Final Report 2008*, University of Birmingham, UK.
16. **Aldrich, F., Sheppard, L., Hindle, Y.** First steps towards a model of tactile graphicacy. *British Journal of Visual Impairment*, 2002, t. 20, Nr. 2, p. 62-67.
17. **APHB.** American Printing House for the Blind. **Educational research guidelines for design of tactile graphics.** [interaktyvus][žiūrėta 2011-01-05]. Prieiga per internetą: <http://www.aph.org/edresearch/guides.htm>.
18. **Raudonienė, D.** Grafinis atvaizdas, skirtas aklam suvokėjui: vizualumo ir taktilikos santykis. *Disertacijos santrauka*, LABT, 2012-11-16. Vilnius.
19. **Gailienė, I.** Aklujų sugebėjimas suvokti reljefines iliustracijas. *Tifloginiai aklujų ir silpnaregių tyrimai: mokslo darbų rinkinys*, Vilnius, 1986, p. 44-59.
20. **Arnheim, R.** Perceptual Aspects of Art for the Blind. *Journal of Aesthetic Education*, 1990, Nr. 3 (24), p. 57-65.

21. **Pring, L., Walker, J.** Degree of accuracy in perceiving graphic and pictorial information by touch. *International Journal of Rehabilitation Research*, 1993, 16, p. 221-233.
22. **Lopes Dominic, M. M.** Vision, Touch, and the Value of Pictures. *British Journal of Aesthetics*, 2002, Nr. 2 (42), p. 191-201.
23. **Juricevic, I.** Translating visual art into tactile art to produce equivalent aesthetic experiences. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*. 2009, t. 3, Nr. 1, p. 22-27.
24. **Graf, C.** What the Quest for Tactile Maps Can Teach Us about Making Interactive Maps. *GeoViz 2013 Conference*. Hafen City University, Hamburg, Germany, March 09, 2013.
25. **Graf, C.** From Visual Schematic to Tactile Schematic Maps. *Proceedings YAH2 Workshop, Spatial Cognition 2010*, Mt. Hood/Portland, OR, USA, August 15-19, 2010.
26. **Graf, C.** (2010). Verbally Annotated Tactile Maps - Challenges and Approaches (2010). In: Hölscher et al., *Spatial Cognition VII, Proceedings International Conference*, Spatial Cognition 2010, Mt. Hood/Portland, OR, USA, August 15-19, 2010.
27. **McCallum, D., Ahmed, K., Jehoel, A., Dinar, S., Sheldon, D.** The design and manufacture of tactile maps using an inkjet process. *Journal of Engineering Design* Vol. 16, No. 6, December 2005, 525-544.
28. **Jehoel, S., McCallum, D., Rowel, J., Ungar, S.** An empirical approach on the design of tactile maps and diagrams: the cognitive actualisation approach. *British Journal of Visual Impairment*, 24, p. 67-75, 2006.
29. **Jamali, N., Sammut, G.** Majority Voting: Material Classification by tactile sensing using surface texture. *Transactions on Robotics*, vol. 27, No. 3, June 2011, p. 508-521.
30. **Praprovienė, I., Ramanauskienė, G., Valentukevičius, J., Oleškevič, L.** Spalvų kontrastai signaregiams Straipsnių rinkinys, 2004, Vilnius, 84 p.
31. **Sheppard, L., Aldrich, F. K.** Tactile graphics: A beginner's guide to graphics for visually impaired children. *Primary Science Review*, Vol. 65, 29 - 30, Nov-Dec 2000.
32. **Barczyk, R., Buczynski, L., Jasinska-Choromanska, D.** Development of Braille's Printers. *Recent Advances in Mechatronics*, 2007, No. 01, Jan. p. 406-410.
33. **Kipphan, H. 2002.** Handbook of Print Media. Heidelberg.
34. **Motyka, M.** Research of Influence of Technological Factors on Height of Elements of Braille's Font. *Printing Future days 2009*, November 2-5, Chemnitz University of Technology, Germany, pp. 147-151.
35. **Motyka, M.** Screen printing as a technology of tactile books *Technology and technique of printing* 2(32) 2011: pp. 39-46 (in Ukrainian).
36. **Levi, F.** Using silk screen printing for relief drawings: Examples from guides to Turin and Venice *New Technologies in the education of the visually handicapped* 237 1996: pp. 89-94.
37. **Childs, T. H. C., Henson, B.** Human tactile perception of screen-printed surfaces: Self-report and contact mechanics experiments. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*. March 1, 2007. Vol. 221, No. 3, p. 427-441.

38. **Sericol IPS Ltd.** A guide to screen printing halftones. Sericol International Limited, 2000: 72 p. (in Russian).
39. **Watanabe, T., Oouchi, S.** A study on legible Braille pattern on capsule paper: Diameters of Braille dots and their interspaces on the original ink-printed paper. *Nise Bulletin Education*, 2007, Vol. 8, pp. 3-11.
40. **Childs, T. H. C, Henson, B.** Human tactile perception of screen-printed surfaces: Self-report and contact mechanics experiments. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: *Journal of Engineering Tribology*. March 1, 2007. Vol. 221, No. 3, p. 427-441.
41. **Willis, M., Hudd, A. and Keene, A.,** *Inkjet Academy: Theory of Inkjet Technology*, 2001 (IMI: Kingsfield, Maine).
42. **McCallum, D., Rowell, J. and Ungar, S.,** The use of ink-jet to produce tactile maps, in *NIP 19: International Conference on Digital Printing Technologies*, 2003a (IS&T: New Orleans, LA).
43. **McCallum, D. and Ungar, S.,** An introduction to the use of inkjet for tactile diagram production. *Br. J. Visual Impairment*, 2003b, 21(2), 73–77.
44. **US Patent 5627578 A.** Desk top printing of raised text, graphics and braille.
45. **US Patent 20120107580 A1.** Digital thermographic methods, systems, and products.
46. **Veispak, A., Boets, B., Ghesquiere, P.** Differential cognitive and perceptual correlates of print reading versus braille reading. *Research in Developmental Disabilities* Volume 34, Issue 1, January 2013, p. 372–385.
47. **Cryer, H., Jones, C., Gunn, D.** Producing braille on swell paper. A study of braille legibility. *Centre for Accessible Information (CAI) Research report*. 2011, p. 22.
48. **Peters, R.M., Hackeman, E., Goldreich, D.** Diminutive digits discern delicate details: fingertip size and the sex difference in tactile spatial acuity. *J Neurosci*. 2009 Dec 16; 29 (50): p. 15756–15761. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3684-09.2009
49. **Hollins, M., Bensmaia, S., Karlof, K., & Young, F.** (2000). Individual differences in perceptual space for tactile textures: Evidence from multidimensional scaling. *Perception & Psychophysics*, 62(8), 1534-1544.
50. **Hollins, M., & Bensmaia, S. J.,** (2007). The coding of roughness. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 61(3), 184-195.
51. **Hollins, M., Faldowski, R., Rao, S., & Young, F.** (1993). Perceptual dimensions of tactile surface texture- A multidimensional-scaling analysis. *Perception & Psychophysics*, 54(6), 697-705.
52. **Doi, K., Fujimoto, H., Wada, T.** Influence of Base Material of TRUCT Braille on Readability of TRUCT Braille *WC 2009, IFMBE Proceedings 25/IX*, 2009: pp. 235-238.
53. **Enomae, T.; Yamaguchi, N.; Onabe, F.** 2006. Influence of coating properties on paper-to-paper friction of coated paper. *Journal of Wood Science*, Volume 52, Issue 6. 509–510 p.
54. **Kim, M. S., YoungKim, I., KyuPark, Y., ZeLee, Y.** The friction measurement between finger skin and material surfaces *Wear* 301 2013: pp. 338-342.
55. **Garoff, N.** 2002. The Friction between Paper surfaces, Doctoral Thesis. Stokholm. 13–15 p [interaktyvus][žiūrėta 2013-06-10]. Prieiga per internetą: <http://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:9212>.

56. Singleton, M. C., Allan, R. J. 1997. *Factors influencing paper friction and its reproducibility: is third test best?* -Appita, 50:6. 481–485 p.
57. Johansson, A., Fellers, C., Gundersson, D., Haugen, U. Paper Friction-influence of measurement conditions. *Tappi Journal*, 1998, 81:5, p. 175-183.
58. Smith, A.M., Chapman, C.E., Deslandes, M., Langlais, J.-S. and Thibodeau, M.-P., Role of friction and tangential force variation in the subjective scaling of tactile roughness. *Exp. Brain Res.*, 2002, **144**, 211–223.
59. Johnson, Kenneth O, Hsiao, Steven S, Yoshioka, Takashi (2002). The Neuroscientist: A Review JournalL Bringing Neurobiology, *Neurology and Psychiatry* 8 (2). pp. 111–121.
60. Bergmann, M. Tactual perception of materials properties. *Vision Research*. Vol. 50, 2010, p. 2775-2782.
61. Skedung, L., Danerlöv, K., Olofsson, U., Johannesson, C. M., Aikala, M., Kettle, J., Arvidsson, M., Berglund, B., Rutland, M. Tactile perception: Finger friction, surface roughness and perceived coarseness *Tribology International* 01/2011; 44(5): p. 505-512.
62. Zigler, M.J. An experimental study of the perception of stickiness *American Journal of Psychology*, 34 (1923), pp. 73–84.
63. Hollins, M., Bensmaia, S., & Washburn, S. (2001). Vibrotactile adaptation impairs discrimination of fine, but not coarse, textures, *Somatosensory and Motor Research*, 18, 253-262.
64. Fagiani, R., Massi, F., Chatelet, E., Berthier, Y. Sestieri, A. Experimental analysis of friction-induced vibrations at the finger contact surface. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: *Journal of Engineering Tribology* September 1, 2010, Vol. 224, No. 9 , pp. 1027- 1035.
65. Heller, M.A. Texture perception in sighted and blind observers *Perception & Psychophysics*, 45 (1989), pp. 49–54.
66. Harper, T. Touch to communicate. Chartered Quality Institute; 2008.
67. Vakulich, D., Maik, V., Motyka, M. Дослідження впливу технологічних факторів на висоту елементів шрифту Брайля// *Технология и техника друкарство. Збірник наукових праць. – Київ, 2009. -Випуск 3(25). – С.48-51.*
68. Graeme, D., Robinson, D., Weston, A., Whitakker, J., Wilkins, S. M. An investigation of the height of embossed Braille dots for labels on pharmaceutical products// *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 2009, Vol. 103, No. 10, Oct-Nov, pp. 662-667.
69. MM Karton. *Technical specifications Multicolor Mirabell – MCM / GD2*] [žiūrėta - 2011-12-10]. Prieiga per internetą: http://www.cartonette.com/cartonette/pdf-3/4/2/127/datenblatt_3-42127_MCM.pdf.
70. International Paper. *Coated Paperboard. User Manual, 2013* [interaktyvus] [žiūrėta - 2011-12-10]. Prieiga per internetą: <http://www.internationalpaper.com/documents-EN/EMEA%20Products/EMEACPBUUserManEN.pdf>.
71. Vasylykiv, Yu., Kvasnyuk, O., Krupych, O., Mys, O., Maksymuk, O., Vlokh, R. Reconstruction of 3D Stress Fields Basing on Piezo optic Experiment *Ukrainian Journal of Physical Optics* 10 (1) 2009: pp. 22–37.

72. **Maksymuk, O.** Calculation Stresses in the Halfplane of Stamps under the Action of Various Forms *Mathematical Methods and Physico Mechanical Fields* 43 (2) 2000: pp. 155 – 162 (in Russian).
73. **Hecht, E.** Optics. 3rd ed. Addison-Wesley, 1998.
74. **Skab, I., Smaga, I., Savaryn, V., Vasylykiv, Yu., Vlokh, R.** Torsion Method for Measuring Piezooptic Coefficients *Crystal Research and Technology* 46 (1) 2011: pp. 23 – 36.
75. **Mousty, P., Bertelson, P.** A study of Braille reading: 1. Reading speed as a function of hand usage and context. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A: Human Experimental Psychology*, Vol. 37, Issue 2, 1985, p. 217 – 233.
76. **Legge, G., Madison, C., Mansfield, S.** Measuring Braille reading speed with the MNREAD test. *Visual Impairment Research*, 1999, Vol. 1, No. 3, p. 131-145.
77. **Foulke, E.** Reading Braille. Tactual Perception: A Source Book. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1982; p. 168-208.
78. **Lorimer, J, Tobin, MJ.** Experiments with modified Grade 2 Braille codes to determine their effect on reading speed. *J Visual Impair Blindness* 1979;73: p. 324-328.
79. **Stocker, C.** Braille: What is it? What does it mean to the blind ? *The World Under My Fingers: Personal Reflections on Braille*. Baltimore: National Federation of the Blind, 1995.
80. **Knowlton, M, Wetzel, R.** Braille reading rates as a function of reading tasks. *J Visual Impair Blindness* 1996;90:227-235.
81. **Carver, RP.** Reading Rate: A Review of Research and Theory. San Diego: Academic Press, 1990.
82. **Watanabe, T., Oouchi, S., Yamaguchi, T., Shimojo, M. and Shimada, S.** Development of a Measuring System of Contact Force during Braille Reading Using an Optical 6-Axis Force Sensor. *Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference*, 2006, vol. 1, p. 4936–4940.
83. **Saaddeh, M, Trabia, M.** Development of a Measuring System of Contact Force for Braille Reading Using a Six-Axis Force Sensor. *Proceedings of the 2010 International Mechanical Engineering Congress & Exposition IMECE 2010*, 2010, no. 39976, p. 157-165.
84. Troika. [žiūrėta -2014-05-10]. Prieiga per internetą: http://www.troika-systems.com/English/frames_FlexoCAM.html 10 December 2012).
85. **Havenko S.F., Labetska M.T.** Method of application Braille. *Utility model patent number 77373*. Appl. 06.08.2012. Publ. 11.02.2013, Bull. № 3, 2013.
86. ISO 12647-5:2001 Graphic technology -- Process control for the manufacture of half-tone colour separations, proof and production prints -- Part 5: Screen printing 2001.
87. **NIIR Board.** Screen Printing Technology Hand Book. Asia Pacific Business Press Inc, 106-E, Kamla Nagar, New Delhi-110007, India, 2003: 672 p
88. **Havenko, S.F., Labetska, M.T., Havenko, M.M.** Test scale to control the Braille characters. *Utility model patent number 80437*. Appl. 18/12/2012. Publ. 27.05.2013, Bull. № 10, 2013.
89. **Beswick, R., Dunn, D.** Plastics in Packaging. Western Europe and North America. Rapra Technology Limited, 2002, 141 p.

90. Sharples Stress Engineers Ltd. Manual for General Purpose Strain Viewer, www.sharplesstress.com.
91. Skedung, L., Danerlöv, K., Olofsson, U., Johannesson, C. M., Aikala, M., Kettle, J., Arvidsson, Rutland, M. Finger Friction Measurements on Coated and Uncoated Printing *Tribology Letters*, 37(2), 2010, p. 389-399.
92. Warman, P. H. and Ennos, A. R. (2009). Fingerprints are unlikely to increase the friction of primate fingerpads. *The Journal of Experimental Biology*, Published by The Company of Biologists 2009, p. p. 2016-2022.
93. Long Yu-Qiu, Cen Song, Long Zhi-Fei Advanced Finite Element Method in Structural Engineering. Springer Science and Business Media, Mathematics, 2009, p. 720.
94. Zienkiewicz, Olek C., Taylor Robert L., Zhu, J. Z. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals. Butterworth-Heinemann, Technology and Engineering, 2013, p. 756.
95. Huebner, K. H., et al. The Finite Element Method in Engineers. Wiley, New York, Chichester, 2001.
96. Houwink, R. Decker, H. K. Elasticity, plasticity and structure of matter. Cambridge: Cambridge University Press, 2009, 470 p.
97. Čekanavičius, V., Murauskas, M. Statistika ir jos taikymai, II knyga TEV, 2002, 272 p.
98. Narasimhamurty, T. S. Photoelastic and Electrooptic Properties of Crystals. Plenum Press, 1981.

MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS

STRAIPSNIAI

Tarptautinėse duomenų bazėse esančiuose mokslo leidiniuose paskelbti straipsniai

Mokslinės informacijos instituto duomenų bazės „ISI Web of Science“ leidiniuose, turinčiuose citavimo indeksą

1. Havenko, Svetlana; Labetska, Marta; Stępień, Krzysztof; Kibirkštis, Edmundas; Venytė, Ingrida. Research of influencing factors on the change of geometric parameters of Braille elements on self-adhesive labels // *Mechanika / Kauno technologijos universitetas, Lietuvos mokslų akademija, Vilniaus Gedimino technikos universitetas*. Kaunas : KTU. ISSN 1392-1207. 2013, T. 19, nr. 6, p. 716-721. DOI: 10.5755/j01.mech.19.6.6016. [Science Citation Index Expanded (Web of Science); INSPEC; Compendex; Academic Search Complete; FLUIDEX; Scopus]. [IF: 0,336, AIF: 1,740 (E, 2013)].
2. Venytė, Ingrida; Kibirkštis, Edmundas; Voloshin, A.; Ragulskis, Kazimieras; Paškevičius, Petras; Sudintas, Antanas Rimantas; Ragulskis, Liutauras. Investigation of stresses during dynamic behavior of polymeric films used for Braille // *Journal of Vibroengineering / Vibromechanika, Lithuanian Academy of Sciences, Kaunas University of Technology, Vilnius Gediminas Technical University*. Kaunas : Vibroengineering. ISSN 1392-8716. 2014, Vol. 16, no. 3, p. 1248-1257. [Science Citation Index Expanded (Web of Science); INSPEC; Academic Search Complete; Central & Eastern European Academic Source (CEEAS); Computers & Applied Sciences Complete; Current Abstracts; TOC Premier]. [IF: 0,660, AIF: 2,218 (E, 2013)].
3. Venytė, Ingrida; Kibirkštis, Edmundas; Mayik, Volodymyr; Dudok, Taras; Vasylykiv, Yuriy. Investigation of resistance to mechanical effect of Braille formed on different materials // *Materials science = Medžiagotyra / Kaunas University of Technology, Academy of Sciences of Lithuania*. Kaunas : KTU. ISSN 1392-1320. 2014, Vol. 20, no. 2, p. 183-188. DOI: 10.5755/j01.ms.20.2.3039. [Science Citation Index Expanded (Web of Science); INSPEC; Scopus]. [IF: 0,336, AIF: 3,530 (E, 2013)].
4. Venytė, Ingrida; Kibirkštis, Edmundas; Voloshin, A.; Ragulskis, Kazimieras; Ragulskis, Liutauras. Measurement of stresses in polymeric films with Braille and tactile elements // *Journal of Vibroengineering / Vibromechanika, Lithuanian Academy of Sciences, Kaunas University of Technology, Vilnius Gediminas Technical University*. Kaunas : Vibroengineering. ISSN 1392-8716. 2014, Vol. 16, no. 7, p. 3489-3497. [Science Citation Index Expanded (Web of Science); INSPEC; Academic Search Complete; Central & Eastern European Academic Source (CEEAS); Computers & Applied Sciences Complete; Current Abstracts; TOC Premier]. [IF: 0,660, AIF: 2,218 (E, 2013)].

Mokslinės informacijos instituto duomenų bazės „ISI Web of Science“ leidiniuose, neturinčiuose citavimo indeksą

1. Kibirkštis, Edmundas; Venytė, Ingrida; Mayik, Volodymyr; Vakulich, Diana. Investigation of geometrical and physical – mechanical parameters of Braille by assessing the different types of cardboard materials // *Mechanika / Kauno*

technologijos universitetas, Lietuvos mokslų akademija, Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Kaunas : Technologija. ISSN 1392-1207. 2011, T. 17, nr. 6, p. 656-660. [Science Citation Index Expanded (Web of Science); INSPEC; Compendex; Academic Search Complete; FLUIDEX; Scopus].

Kituose recenzuojamuose mokslo leidiniuose paskelbti straipsniai

Periodiniuose leidiniuose ir vienkartinuose straipsnių rinkiniuose ir kt. paskelbti straipsniai

1. Miliūnas, Valdas; Kibirškis, Edmundas; Ragulskis, Kazimieras; Paškevičius, Petras; Ragulskis, Liutauras; Voloshin, A.; Venytė, Ingrida. Measurement of stresses in a vibrating polymeric film // Journal of measurements in engineering (JME) / Lithuanian Academy of Sciences, Kaunas University of Technology, Vilnius Gediminas Technical University. Kaunas : Vibroengineering. ISSN 2335-2124. 2014, Vol. 2, no. 2, p. 122-129.

KITOS PUBLIKACIJOS

1. Havenko, Svitlana; Kochubei, Victoriia; Labetska, Marta; Khadzhyanova, Svitlana; Kibirškis, Edmundas; Venytė, Ingrida. Brailio rašto, suformuoto tradicine trafaretine spauda ir dažais su termo milteliais, terminė analizė // Medžiagų inžinerija 2013 : respublikinė konferencija : konferencijos pranešimų santraukos, 2013 m. lapkričio 15 d, Kaunas / Kauno technologijos universitetas, Lietuvos medžiagų tyrinėtojų asociacija. Kaunas : Technologija. ISSN 2345-0886. 2013, p. 71.
2. Kibirškis, Edmundas; Venytė, Ingrida; Lydekaitytė, Justina. Resistance to mechanical effect of Braille dot surface, formed on different materials // Квалілогія книги : VII міжнародна науково-практична конференція, 6-8 червня 2012 року : матеріали конференції. Львів : УАД, 2012. p. 144-150.
3. Venytė, Ingrida; Kibirškis, Edmundas; Vaitasius, Kęstutis. Investigation of braille parameters // Пакувальна індустрія : сучасні тенденції розвитку та підготовка кадрів : I міжнародна науково-практична конференція, 8-9 листопада 2012, Львів [Україна] : матеріали конференції. Львів : МОНМСУ, 2012. p. 72-74.
4. Venytė, Ingrida; Kibirškis, Edmundas. Brailio rašto, suformuoto ant skirtingų medžiagų, kokybinių parametru tyrimai // Medžiagų inžinerija 2012 : respublikinė konferencija : konferencijos pranešimų santraukos, 2012 m. lapkričio 16 d, Kaunas / Kauno technologijos universitetas, Lietuvos medžiagų tyrinėtojų asociacija. Kaunas : Technologija, 2012. ISBN 9786090207505. p. 49.
5. Kibirškis, Edmundas; Venytė, Ingrida; Mayik, Volodymyr; Vakulich, Diana. Investigation of geometrical and physical-mechanical parameters of Braille by assessing materials // Mechatronic Systems and Materials : abstracts of the 7th international conference MSM 2011, 7-9 July 2011, Kaunas University of Technology, Kaunas (Lithuania) / editors: I. Skiedraitė, J. Baskutienė, E. Dragašius ; Kaunas University of Technology, Vilnius Gediminas Technical University, Opole University of Technology, Bialystok Technical University. Kaunas : Technologija. ISSN 1822-8283. 2011, p. 82-83.
6. Venytė, Ingrida; Miliūnas, Valdas; Kibirškis, Edmundas. Research of theoefficient of friction of the varnished paperboard // Квалілогія книги : III міжнародна

науково-практична конференція студентів, магістрантів та аспрантів : матеріали конференції / Міністерство освіти і науки України, Українська академія друкарства, Студентське наукове товариство. Львів : Українська академія друкарства, 2014. р. 70-75.

PRIEDAI


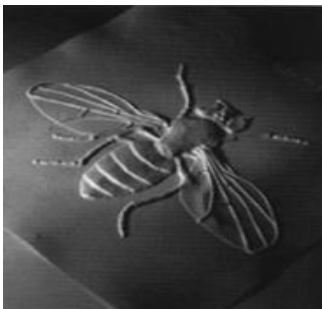

1 PRIEDAS

1 lentelė. Skirtingų šalių reikalavimai pagrindiniams Brailio rašto parametrams [10]





Matmuo Standarto pavadinimas	Horizontalus atstumas tarp BR taškų, mm b_1	Vertikalus atstumas tarp BR taškų, mm h_2	Atstumas tarp BR raidžių, mm b_2	Atstumas tarp BR eilučių, mm h_1	BR taško diametras, mm d	BR taško aukštis, mm h
1	2	3	4	5	6	7
Amerikos kongreso bibliotekos	2,5	2,5	6,25	10,0		0,5
Amerikos aklųjų nacionalinės bibliotekos	2,28	2,28	6,09	10,16		0,5
Standartinis Amerikos žymėjimas (SAYC)	2,3–2,5	2,3–2,5	6,1–7,6	10,0–10,1	1,5–1,6	0,6–0,9
Australijos	2,29–2,50	2,29–2,54	6,0–6,1	10,16–10,41	1,4–1,5	0,46–0,53
Kalifornijos	2,54	2,54	5,08			0,64
ECMA Euro Brailis	2,5	2,5	6,0	10,0	1,3	0,5
Elektroninis Brailis	2,4	2,4	6,4			0,8
Anglų interlinija	2,29	2,54	6,0	12,70	1,4–1,5	0,46
Anglų Interpoint *	2,29	2,54	6,0	10,41	1,4–1,5	0,46
Anglų didysis taškas	3,25	3,25	9,78	17,02	1,9	0,81
Išplėstas Amerikos	2,54	2,54	7,24	12,70		
Glaudaus tarpo tarp eilučių	2,29	2,29	6,1	15,24		
Prancūzų	2,5–2,6	2,5–2,6		>10	1,2	0,8–1,0
Vokiečių	2,5	2,5	6,0	10,0	1,3–1,6	≥0,5
Tarptautinis statybos standartas	2,5	2,5	6,1–7,6	10,0–10,1	1,5–1,6	0,6–0,9
Italų	2,2–2,5	2,2–2,5			1,0	0,5
Japonų	2,13	2,37	5,4	13,91	1,43	0,5
Amerikos didysis	2,92	2,92	8,76	12,7	1,7	0,53
Korėjos	2,0	2,0	5,0	6,0	1,5	0,6
Latvijos	2,5	2,5	5,0	10,0	1,6	0,45
Marburgo vidutinis	2,5	2,5	6,0	10,0	1,3–1,6	
Marburgo didysis	2,7	2,7	6,6	10,8	1,5–1,8	
Portugalijos	2,29	2,54	6,0	10,41	1,4	
Mažasis anglų	2,03	2,03	5,38	8,46	1,4–1,5	0,33
Ispanų	2,5	2,5	6,0	10,0	1,2	
Standartinis Amerikos	2,34	2,34	6,22	10,16	1,45	0,48
Švedų	2,5	2,5	6,0	10,0	1,0	0,25
Lietuvos	2,5	2,5	6,0	10,0	1,6	0,2

*BR abiejose popieriaus lapo pusėse

2 lentelė. Reljefinių vaizdų, skirtų akliems, įvairovė

Aprašymas	Reljefinių vaizdų pavyzdžiai
<p>Taktiliniams žemėlapiams ir modeliams yra taikomi tam tikri reikalavimai: neturi būti išdėstyti ant vertikalios paviršiaus (lengviausia skaityti tuomet, kai paviršius pasviręs į skaitančio žmogaus pusę 45–60 laipsnių kampu), turi būti tvarkingi, o jų pavieniai elementai, aiškiai atskirti. Pagrindinė taktilinių žemėlapių ir modelių funkcija – padėti juos čiuošančiam žmogui susidaryti bendrą vietos vaizdą. Reljefiniai vaizdai gali būti suformuoti įvairiomis technologijomis: pradedant objektų išpjaujimu iš plastiko ar kt. medžiagos ir pritvirtinimo prie plokštumos bei baigiant 3D vaizdų spausdinimu spausdintuvais. Taktiliniams žemėlapiams gali būti naudojamos įvairios medžiagos: popierius, aliuminis, plastikas, žalvaris ir t.t.) [http://www.universaliarchitektura.lt/objektas/taktiliniai-zenklai-ir-brailio-rastas/, http://www.terrainmodels.com/urban.htm].</p>	
<p>Reljefiniai vaizdai (ilustracijos) plastike sukuriama termoformavimo būdu specialiu įrenginiu. Šiuo būdu galima išgauti iki 2 cm aukštį [31].</p>	
<p>Reljefiniai vaizdai sukuriama mikrokapsuliniame popieriuje. Juodos spalvos reljefinis vaizdas suformuojamas apie 0,5–0,7 mm aukščio [32].</p>	

2 lentelė (tęsinys)

Aprašymas	Reljefinių vaizdų pavyzdžiai
<p>Reljefiniai vaizdai įspaudimo būdu popieriuje ir kartone sudaryti ištaškelių [http://www.brandmybook.com/veredelungdetail.html]. .</p>	
<p>Reljefiniai vaizdai suformuoti įspaudimo būdu kartone [http://www.brandmybook.com/veredelungdetail.html].</p>	
<p>Spausdinimo technologijomis (trafaretine, skaitmenine rašaline, termografija) atspausdinti reljefiniai vaizdai. Gali būti spausdinami skirtingais dažais (įklijuotu pūku, laku).</p>	
<p>Naudojant skirtingų faktūrų skirtingas medžiagas sukurti reljefiniai vaizdai.</p>	

2 PRIEDAS

1 lentelė. Pagrindinės kartono Multicolor Mirabell GD2, Alaska GC2 ir Arktika GC1 charakteristikos

Charakteristika	Dydžiai, skirtingiems kartono tipams								
	Alaska GC2			Arktika GC1			Multicolor Mirabell GD2		
Ypatybė	Celiuliozinis daugiasluoksnis kartonas yra tvirtas, standus, pagamintas iš balintos celiuliozės ir balintos cheminės termomechaninės masės celiuliozės, kurio viena pusė kreiduota du kartus.			Celiuliozinis daugiasluoksnis kartonas, dvigubo dengimo paviršiumi ir viengubo dengimo apatine balta puse. Pagamintas iš balintos celiuliozės ir balintos cheminės termomechaninės masės, pasižymintis tvirtumu, stabilumu, standumu			Makulatūrinis kreiduotas kartonas, minkštas vidutinio purumo, kurio viršutiniai sluoksniai pagaminti iš atrinktos bei balintos makulatūros masės, o vidurinis iš perdirbtų antrinių žaliavų ir makulatūrinės masės		
Gramatūra, g/m ²	250 (±4%)	275 (±4%)	325 (±4%)	250 (±4%)	275 (±4%)	325 (±4%)	250 (±2%)	280 (±2%)	320 (±2%)
Storis, μm	410 (±4%)	456 (±4%)	550 (±4%)	378 (±4%)	428 (±4%)	520 (±4%)	340 (±5%)	380 (±5%)	435 (±5%)
Standumas DIN 53 121 (5°) MD, (mNm)	29,6 (±15%)	39,2 (±15%)	63,9 (±15%)	26,1 (±15%)	35,7 (±15%)	58,3 (±15%)	15,4 (±15%)	20,9 (±15%)	31,8 (±15%)
Standumas DIN 53 121 (5°) CD, mNm	14,4 (±15%)	18,7 (±15%)	29,1 (±15%)	12,6 (±15%)	17,4 (±15%)	27,4 (±15%)	7 (±15%)	9,5 (±15%)	13,3 (±15%)
Standumas, pagal Taber 15°, MD, mNm	21,7	21,7	21,7	14,5	14,5	14,5	16,2	16,2	16,2
Standumas, pagal Taber 15°, CD, mNm	10,4	10,4	10,4	7	7	7	6,4	6,4	6,4
Šiurkštumas PPS S10, μm	<1,3			<1,3			4		
Baltumas, D65, kreiduota pusė, % (pagal ISO 2470-2) %	91			92			82		

2 lentelė. Bandiniams naudotų lipnių etikečių medžiagų charakteristikos

Charakteristika	Popierius FASSON PrimeCoat MC S2000	Polietileno plėvelė FASSON PE85 WHITE S692N-BG40WH
Viršutinė medžiaga	Balta, viena pusė kreiduota, pusiau blizgi. Tinkama spausdinti ofsetine, fleksografinė, trafaretinė, skaitmenine ir karšto išspaudimo folija. Gali būti papildomai lakuojama.	Balta polietileno plėvelė su spausdinimui skirtu viršutiniu sluoksniu.
Gramatūra	80 g/m ²	82 g/m ²
Storis	0,069 mm	0,082 mm
Klijai	Permanentiniai, akrilo pagrindo	Permanentiniai, akrilo pagrindo
Pagrindo medžiaga	Superkalendruotas, blizgus, pergamentinis popierius	Baltas, superkalendruotas blizgus, popierius
Gramatūra	59 g/m ²	62 g/m ²
Storis	0,053 mm	0,055 mm
Skaidrumas	50 %	47 %
Kompozicinė medžiaga		
Bendras storis	0,135 mm±10%	0,155 mm±10%
Savybės		
Adhezijos jėga	700 N/m	420 N/m
Atplėšimo jėga	300 N/m	250 N/m
Naudojimas	Esant geroms klijų adhezinėms savybėms galima klijuoti ant plokščių ir kreivų paviršių, pavyzdžiui pakavimo medžiagų, kaip kartono, plastiko, plėvelių, HDPE, PP ir PET.	Dėl savo lankstumo ypač tinka klijuoti ant paviršių, pavyzdžiui, plastikinių maišelių, suspaudžiamų butelių ir kitų lanksčių pakuočių. Taip pat gali būti naudojama ten, kur PVC lipdukų negalimas naudojamas dėl aplinkosaugos priežasčių.

3 PRIEDAS

1 lentelė. Brailio rašto taškų nuskaitymo įrenginio FAG BRAI³ Braille Dot Checker techninės charakteristikos

Funkcijos	Specifikacija
Taško aukščio matavimas	mm
Taško diametras	mm
Tarpai tarp taškų	mm
Matavimo paklaidos: įspaudimo būdu suformuotam kitais būdais	±0,025 mm ±0,01 mm
Įrenginys	Specifikacija
Kamera	1,3 MPixel BW 0 USB2.0
Raiška	1,7 μm/Pixel
Matymo laukas	2,2 mm×1,8 mm stačiakampio forma
Apšvietimas	Balta LED
Operacinė sistema	Windows XP SP3, Windows 7
Matmenys (A × P × I), mm	380×210×150

2 lentelė. Pagrindinės Braillemaker One (Convertec) techninės charakteristikos

Spausdinimo būdas	skaitmeninis
Spausdinimo greitis	35 m/min
Džiovinimas	UV 200 w/cm
Spausdinamoji medžiaga	etiketės su viršutiniu padengimu PA, PET, aliuminis, popierius, kartonas, silikoninės nelakuotos medžiagos
Medžiagos plotis	150–335 mm
Sausdinamas BR tipas	Marburg Medium, Marburg Large, Marburg Medium 80 % (Small)
Išgaunami BR parametrai	aukštis <i>h</i> : 0,2–0,4 mm diametras <i>d</i> : 1,4–2,0 mm
BR eilučių skaičius	2 ir daugiau
Tolerancijos	tarp BR taškų ±0,10 mm, tarp BR blokų ±0,15 mm

4 PRIEDAS

1 lentelē. Lako Braille Maker varnish 1.0 A savybēs

Bendra informacija	
Būsena	skystis
Spalva	geltona
Kvapas	būdingas
Specifikācijas	
Užšalīmas	nenurodyta
Virimo temperatūra / intervalas	>100 °C
Degimo temperatūra	101 °C
Sprogimo pavojus	nēra
Tankis, esant 20 °C	1,08 g/cm ³
Lipnumas, esant 23 °C	600÷800 MPa·s
Tirpumas vandenī	Netirpus arba mažai tirpus
Stabilitātas	Normaliomis sąlygomis stabilus