



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Dirbtinio lieto akmens gaminių mechaninių ir sanitarinių savybių tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Paulius Nagys
Projekto autorius

Doc. Regita Bendikienė
Vadovė

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Dirbtinio lieto akmens gaminių mechaninių ir sanitarinių savybių tyrimas

Baigiamasis magistro projektas
Gamybos inžinerija (6211EX015)

Paulius Nagys
Projekto autorius

Doc. Regita Bendikienė
Vadovė

Doc. Tilmutė Pilkaitė
Recenzentė

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Paulius Nagys

Dirbtinio lieto akmens gaminių mechaninių ir sanitarinių savybių tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamąjo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Paulius Nagys

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kaunas technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Studentui – Pauliui Nagiui

1. Projekto tema –

Dirbtinio lieto akmens gaminių mechaninių ir sanitarinių savybių tyrimas

(Lietuviškai)

Investigation of Mechanical and Sanitary Properties of Artificial Cast Stone Products

(Angliškai)

2. Projekto tikslas ir uždaviniai –

Tikslas: nustatyti dirbtinio lieto akmens gaminių mechanines ir sanitarines savybes.

Uždaviniai:

1. Parinkti tinkamą terminio formavimo temperatūrą dirbtinio lieto akmens ruošinį lenkiant skirtingose temperatūrose.
2. Nustatyti dirbtinio lieto akmens klįjavimo būdų patikimumą.
3. Atlikti baldų pramonėje naudojamų paviršių mikrobiologinius tyrimus.
4. Įvertinti galimybę automatizuoti dirbtinio lieto akmens paviršių šlifavimo procesą.
5. Palyginti dirbtinio lieto akmens ir kitų rinkoje esančių paviršių savybes ir trūkumus.

3. Pradiniai projekto duomenys –

Netaikoma

4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos –

Temperatūros lenkiant: 140, 145, 150, 160, 170°C; tarpas tarp atramų 80 mm ir 100 mm; bandinių matmenys: ilgis 120 mm, plotis 30 mm, storis 12,5 mm. Bakterijos mikrobiologiniams tyrimams: Staphylococcus aureus ATCC25923 Salmonella typhimurium, ATCC14028 Escherichia coli ATCC25922.

Projekto autorius

Paulius Nagys

2021.10.04

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vadovė

Regita Bendikienė

2021.10.04

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Krypties studijų programų vadovė

Regita Bendikienė

2021.10.04

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Paulius Nagys. Dirbtinio lieto akmens gaminių mechaninių ir sanitarinių savybių tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. Regita Bendikienė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Gamybos inžinerija (E10), Inžinerijos mokslai (E).

Reikšminiai žodžiai: Lietas dirbtinis akmuo, terminis formavimas, lenkimo bandymas, tamprumo modulis, mikrobiologinis tyrimas.

Kaunas, 2022. 54 p.

Santrauka

Šiame projekte yra nagrinėjamos lieto dirbtinio akmens mechaninės ir sanitarinės savybės. Siekiant sukurti norimos formos ir dizaino gaminių iš lieto dirbtinio akmens, taikomas terminio formavimo procesas, kurio metu pasitelkus įvairius presus, formas ir lenkimo šablonus prie tam tikrų temperatūrų, detalės iš lieto dirbtinio akmens gali būti formuojamos. Remiantis eksperimentinių tyrimų rezultatais nustatyta, kad tinkamiausia temperatūra termiškai formuoti monochrominį ir raštuotą lietą dirbtinį akmenį yra 160 °C. Šioje temperatūroje medžiaga turi mažiausią pasipriešinimą lenkimui ir nepradedą stipriai reaguoti į karštį. Taip pat pakeitus atstumą tarp lenkimo atramų pastebėta, kad lietas dirbtinis akmuo lenkiasi lengviau atstumui didėjant. Šiuo tyrimu buvo siekiama patobulinti monochrominio ir raštuoto lieto dirbtinio akmens terminio formavimo procesą. Klijuotų dirbtinio lieto akmens bandinių lenkimo bandymas leido išsiaiškinti, kuris iš trijų skirtingų klijavimo metodų yra atspariausias lenkimo metu veikiamai jėgai. Šio tyrimo rezultatai suteikia galimybę parinkti tinkamą metodą siekiant pagaminti mechaniškai tvirtą gaminį. Mikrobiologiniame tyrime 200 cm² plote ant nerūdijančio plieno, laminuotos drožlių plokštės ir lieto dirbtinio akmens buvo paskleistos trijų skirtingų bakterijų suspensijos ir po 25 min paimti ploviniai nuo 100 cm². Likęs 100 cm² plotas buvo nuplaunamas su sterilia drėgna šluoste ir nuo jo taip pat buvo paimti ploviniai. Tyrimo metu ištyrus bandinius išvestas bakterijų kiekio logaritminis vidurkis ant kiekvienos medžiagos paviršiaus. Rezultatai parodė, kad mažiausią lg KSV/cm² po plovimo turėjo lietas dirbtinis akmuo. Šiame projekte įvertinta galimybė automatizuoti dirbtinio lieto akmens šlifavimo ir poliravimo procesą. Pateiktas pasiūlymas įdiegti paviršiaus šlifavimo stakles su programiniu valdymu. Šis įrenginys padidintų gamybos našumą ir sumažintų abrazyvinio popieriaus sunaudojimą. Taip pat nelikus kontakto su lieto dirbtinio akmens dulkėmis, kurios išsiskiria šveitimo metu, sumažėtų profesinių susirgimų skaičius. Šiame projekte taip pat buvo palygintos mikrobiologinio tyrimo metu naudotų medžiagų teigiamos ir neigiamos savybės kuriant virtuvės darbatalį. Atlikta SSGG analizė, kuri apibrėžia šių medžiagų silpnybes, stiprybes, galimybes ir grėsmes.

Paulius Nagys. Investigation of Mechanical and Sanitary Properties of Artificial Cast Stone Products. Master's Final Degree Project / supervisor assoc.prof. Regita Bendikienė; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Production and Manufacturing Engineering (E10), Engineering Sciences (E).

Keywords: Artificial cast stone, thermoforming, bending test, Flexural modulus, bending test, microbiological research.

Kaunas, 2022. Number of pages 54 p.

Summary

This project focuses on the mechanical and sanitary properties of cast artificial stone. To create an artificial cast stone product of the desired shape and design, a thermoforming process is applied in which artificial cast stone parts can be shaped by means of heavy presses, forms and bending templates at specific temperatures. Based on experimental studies, the most suitable temperature for thermoforming monochromatic and patterned cast stone is 160 C. At this temperature, the material has the lowest bending resistance and does not react strongly to heat. It was also observed, by varying the distance between the bending supports, that the cast stone bends more easily as the distance increases. The aim of this study was to improve the thermoforming process for monochromatic and patterned cast stone. The bending test of bonded artificial cast stone specimens allowed to find out which of the three different bonding methods is the most resistant to the forces applied during bending. The results of this study allow the selection of the appropriate method to produce a mechanically robust product. In the microbiological study, suspensions of three different bacteria were spread on 200 cm² of stainless steel, laminated particleboard and artificial cast stone and washes were taken from 100 cm² after 25 minutes. The remaining 100 cm² was washed with a sterile damp cloth and swabbed. The logarithmic mean of the bacterial content on the surface of each material was derived from the analysis of the samples. The results showed that the artificial stone had the lowest lg CFU/cm² after washing. This project evaluated the possibility of automating the grinding and polishing process of artificial cast stone. A proposal was made for the installation of a surface grinding machine with software control is presented. This machine would increase the production capacity and reduce the consumption of abrasive paper. It would also reduce the number of occupational diseases by eliminating the contact with artificial cast stone dust that is released during sanding. This project also compared the positive and negative properties of the materials used in the microbiological study for the design of the kitchen worktop. A SWOT analysis was carried out to define the weaknesses, strengths, opportunities, and threats of these materials.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Įvadas.....	11
1. Literatūros analizė.....	12
2. Metodologinė dalis.....	14
2.1. Medžiagos.....	14
2.2. Medžiagų paruošimas	19
2.3. Lenkimo bandymo parametrai.....	20
3. Eksperimentinė dalis	23
3.1. Lenkimo bandymas įvairiose temperatūrose	23
3.2. Klijuoto dirbtinio lieto akmens lenkimo bandymas	27
4. Mikrobiologinis tyrimas.....	32
4.1. Tyrimo eiga	33
5. Šlifavimo proceso automatizavimas.....	36
5.1. Automatizacija.....	36
5.2. Gamybos automatizavimas.....	37
5.3. Šlifavimo ir poliravimo procesas.....	41
5.4. Sprendimai ir rekomendacijos	43
6. Ekonominė dalis.....	46
6.1. Paviršiams formuoti naudojamų medžiagų palyginimas.....	46
Išvados	50
Literatūros sąrašas	51

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Dirbtinio lieto akmens sudėtis [15]	15
2 lentelė. Dirbtinio lieto akmens gamintojo pateiktos mechaninės ir fizikinės savybės [16]	15
3 lentelė. LMDP fizikinės, cheminės ir mechaninės savybės pateiktos gamintojo [18].....	16
4 lentelė. Plieno X5CrNi18-10 cheminė sudėtis procentais pagal EN 10088-2-2005 standartą [20]	17
5 lentelė. Lenkimo bandinių charakteristikos	19
6 lentelė. Klijuoto dirbtinio lieto akmens charakteristikos	19
7 lentelė. Bakteriologinio tyrimo rezultatai, lg KSV/cm ²	33
8 lentelė. Bendra visų trejų bakterijų kolonijas sudarančių vienetų skaičius kvadratiname centimetre vidurkis prieš ir po plovimo	34
9 lentelė. Blizgumo skalė %, naudojant „NOVO-GLOSS LITE“ blizgomatį	42
10 lentelė. Techniniai „Gottschild HBS“ parametrai [41]	44

Paveikslų sąrašas

1 pav. Dirbtinio lieto akmens panaudojimas modernaus vasarnamio interjere [7].....	12
2 pav. Medžiaga A <i>Glacier white</i> ir šios medžiagos gaminio vizualizacija interjere [11]	14
3 pav. Medžiaga B <i>Smoke Drift Prima</i> ir šios medžiagos gaminio vizualizacija interjere [11]	14
4 pav. Dirbtinio lieto akmens sandara: a) polimetilmetakrilato (PMMA) cheminė sandara [13]; b) aliuminio (III) oksido sandara [14].....	15
5 pav. Laminuotos medžio drožlių plokštės.....	16
6 pav. Nerūdijančio plieno praustuvas įmontuotas į dirbtinio lieto akmens stalviršį	17
7 pav. Auksinis stafilokokas (<i>Staphylococcus aureus</i>) [22]	17
8 pav. Salmonelės bakterija [24].....	18
9 pav. E.Coli bakterija [26].....	18
10 pav. Dirbtinio lieto akmens klijavimo atvejai	19
11 pav. Dirbtinio lieto akmens klijavimo proceso etapai: a) klijavimo vietos nulyginimas; b) klijavimas; c) klijų džiovinimas; d) šlifavimas ir poliravimas	20
12 pav. Bandinio apkrovos schema, kai viena koncentruota jėga veikia bandinio viduryje [27].....	20
13 pav. Tinius Olsen H10KT Universali lenkimo mašina su integruota konvencine šildymo kamera	22
14 pav. Monochrominės medžiagos A apkrovos ir poslinkio diagrama lenkiant skirtingose temperatūrose.....	23
15 pav. Lenkimo metu atsirandančios problemos iliustracija (problema pavaizduota raudonu apskritimu).....	23
16 pav. Raštuotos medžiagos B apkrovos ir poslinkio diagrama lenkiant skirtingose temperatūrose	24
17 pav. Monochrominės medžiagos A apkrovos ir poslinkio diagrama lenkiant skirtingose temperatūrose, kai tarpas tarp atramų 100 mm.....	24
18 pav. Raštuotos medžiagos B apkrovos ir poslinkio diagrama lenkiant skirtingose temperatūrose, kai tarpas tarp atramų 100 mm	25
19 pav. Monochrominės A ir raštuotos B medžiagų tamprumo modulio (MPa) pokytis keičiantis temperatūrai.....	25
20 pav. Monochrominės A ir raštuotos B medžiagų tamprumo modulio (MPa) pokytis keičiantis temperatūrai, kai atstumas tarp atramų 100 mm	26
21 pav. Raštuotas dirbtinis lietas akmuo po lenkimo bandymo 170 °C temperatūroje (skilimai pažymėti raudonai)	27
22 pav. Bandinio H – 12 (1,2) apkrovos ir poslinkio diagrama.....	27
23 pav. Bandinio H – 20 (1,2) apkrovos ir poslinkio diagrama.....	28
24 pav. Bandinio H – 24 (1,2) apkrovos ir poslinkio diagrama.....	29
25 pav. Bandinio H – 25 (1,2) apkrovos ir poslinkio diagrama.....	29
26 pav. Klijuotas dirbtinis akmuo po lenkimo bandymo	30
27 pav. Lenkiamojo stiprio pokyčio grafikas keičiantis medžiagos storiui	30
28 pav. Bakterijų skaičius ant kiekvieno medžiagos paviršiaus	34
29 pav. Apibendrinti bakteriologinio tyrimo rezultatai.....	35
30 pav. Pagrindinės kosmoso industrijos kompanijos naudojančio automatinį raketų nusileidimą [30]	36
31 pav. Uždaroji valdymo sistema, su grįžtamoju ryšiu [29]	37
32 pav. Universalių kombinuotų staklių iliustracija [32].....	37

33 pav. Laminavimo linija „BARBERAN“ įmonėje AB „Freda“ [33]	38
34 pav. Automatizuotas kompiuterizuoto frezavimo kompleksas [34]	39
35 pav. Masinės produkcijos pavyzdys automobilių giga-fabrike „Tesla“ [35]	40
36 pav. Automatinio poliravimo ir šlifavimo centro su PV struktūra [40]	43
37 pav. „Gottschild HBS“ automatinio šlifavimo ir poliravimo centras su PV [41]	44
38 pav. Raštuotos medžiagos klįjavimo atvejai	47
39 pav. Lieto dirbtinio akmens darbastalio SSGG analizė	47
40 pav. LMDP darbastalio SSGG analizė	48
41 pav. Nerūdijančio plieno darbastalio SSGG analizė	49

Įvadas

Atsižvelgdami į dabartines baldų ir statybos pramonės vystymosi tendencijas, gamintojai stengiasi sukurti kuo standesnį ir išoriniams veiksniams atsparų produktą, todėl renkasi tvirtesnes ir nešvarumams atsparesnes medžiagas, ypač tais atvejais kai produktas bus eksploatuojamas viešose vietose, kurioms keliami ypatingi higienos reikalavimai. XX amžiaus pabaigoje buvo sukurta mineralinė akrilo medžiaga, kuri atitinka visus minėtus reikalavimus [1]. Tai dirbtinis lietas akmuo – modernus ir inovatyvus sprendimas specialios paskirties paviršiams formuoti, kuris šiandien yra viena populiariausių alternatyvų tradicinėms paviršių medžiagoms pakeisti. Ši medžiaga naudojama ne tik privačiame, bet ir viešame sektoriuje – nuo buityje naudojamo individualaus kliento virtuvės komplekto stalviršio iki paviršių naudojamų oro uosto registratūroje bei medicinos įstaigų patalpose. Keletas šios medžiagos privalumų tai atsparumas išoriniams veiksniams, sterilumas ir draugiškumas aplinkai. Dirbtinio lieto akmens gaminių eksploatavimo laikas yra pakankamai ilgas, nes yra techninės galimybės jį renovuoti ir atnaujinti, todėl ši medžiaga yra ne tik ekonomiška, bet ir tvari. Tuo pačiu dirbtinis lietas akmuo yra atsparus cheminėms medžiagoms. Kambario temperatūroje jis neišskiria jokių dujų, nes ši medžiaga pagaminta iš 1/3 polimetilmetakrilato (PMMA) ir 2/3 gamtoje randamų mineralinių medžiagų, kurios nėra lakios ar toksiškos aplinkai [2]. Nepaisant visų šios medžiagos privalumų, gamintojai susiduria su gamybos pagal individualius užsakymus iššūkiais. Skirtingos sudėties, rašto ar net spalvos dirbtinis lietas akmuo skirtingai reaguoja į terminio formavimo procesą. Kiekvienam formuojamo dirbtinio lieto akmens gamintojui svarbu pagaminti gaminį atitinkantį kliento poreikius ir išsprendžiantį visas sukurto dizaino subtilybes. Vartotojas informuojamas apie dirbtinio lieto akmens mechaninių savybių ribas ir kaip tas savybes galima keisti keičiant stalviršio storį. Ši informacija nėra svarbi vartotojui, tačiau gamintojui svarbu žinoti, kad vartotojas buvo informuotas ir supažindintas, taip atsikratydamas dalies atsakomybės jei produktas sulūžtų ar įvyktų nelaimingas atsitikimas. Nepaisant mechaninių lieto dirbtinio akmens savybių siaučiant Covid-19 pandemijai, kai ne tik gydymo, viešo sektoriaus įmonėse, bet net ir namuose atsirado didesnis poreikis dezinfekuoti paviršius, siekiant išvengti viruso plitimo. Paviršių sanitarinės savybės tapo dar viena buitinių ir viešųjų patalpų paviršių eksploatavimo charakteristika [3].

Projekto tikslas – nustatyti dirbtinio lieto akmens gaminių mechanines ir sanitarines savybes.

Uždaviniai:

1. Parinkti tinkamą terminio formavimo temperatūrą dirbtinio lieto akmens ruošinį lenkiant skirtingose temperatūrose.
2. Nustatyti dirbtinio lieto akmens klijavimo būdų patikimumą.
3. Atlikti baldų pramonėje naudojamų paviršių mikrobiologinius tyrimus.
4. Įvertinti galimybę automatizuoti dirbtinio lieto akmens paviršių šlifavimo procesą.
5. Palyginti dirbtinio lieto akmens ir kitų rinkoje esančių paviršių savybes ir trūkumus.

1. Literatūros analizė

Baldams ir jų komponentų detalėms gaminti galima rinktis iš labai didelės medžiagų įvairovės. Kiekviena iš jų pasižymi skirtingomis eksploatacinėmis savybėmis, gamybos proceso subtilybėmis bei tarnavimo laiku. Vienos parenkamos dėl patrauklaus kainos ir kokybės santykio, kitos dėl galimybės išpildyti įmantraus dizaino sprendimus ar prabangos aspektų. Atliepiant žiedinės ekonomikos principus ir sekant žaliojo kurso tendencijas šiandieninė baldų ir medienos pramonė siekia naudoti medžiagas, kurios yra ekologiškos, ilgaamžės, netoksiškos aplinkai [5], o siaučiant Covid-19 pandemijai ypatingas dėmesys nukrypo į medžiagos sanitarinės savybės. Nors ir siekiama laikytis tvarios gamybos tendencijų, vis dar didžioji dalis baldų ir jų komponentų gaminami iš laminuotos medienos drožlių plokštės (LMDP) ir medienos plaušų plokštės (MDF) [3], kurios patrauklios vartotojui dėl kokybės ir kainos santykio. Brangiausias elementas visų korpusinių baldų konstrukcijoje yra stalviršis arba priekinis fasadas. Renkantis darbatalį ar stalviršį dažniausiai prioritetas teikiamas spalvų gamai ir raštams, dizaino sprendimo galimybėms ir konstrukcijos stiprumui bei patikimumui [6]. Daugelį šių išvardintų savybių atitinka dirbtinis lietas akmuo, kuris jau daugiau nei dešimtmetį užima reikšmingą vietą baldų gamybos rinkoje. 1 paveiksle pateiktas dirbtinio lieto akmens panaudojimo interjere sprendimas.



1 pav. Dirbtinio lieto akmens panaudojimas modernaus vasarnamio interjere [7]

Tačiau, kad ir kaip patraukliai ir nepriekaištingai atrodytų šios medžiagos gaminiai, dirbtinio lieto akmens formavimo procesai kelia nemažus iššūkius gamyboje. Šios medžiagos sudėtis diktuoja formavimo tam tikrose temperatūrose ($150\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $160\text{ }^{\circ}\text{C}$) sąlygas, ši savybė išnaudojama siekiant gaminiams suteikti įvairias formas [8]. Terminio formavimo procesą atliekant gamyboje pastebėta, kad dirbtinio lieto akmens maksimalus sulenkimo kampas (r) labai priklauso nuo medžiagos rašto ar spalvos. Nustatyta, kad kiekviena spalva ar raštas skirtingai reaguoja į terminio formavimo procesą, dėl medžiagoje esančių mineralinių medžiagų kiekio, kurios veikiamos temperatūros netampa lankstesnės.

XXI amžiuje išpopuliarėjęs minimalistinis dizainas, labiau į klasicizmą linkęs stilius, baldų dizainą ir gamybą pasuko link vienspalvių moduliinių baldų ir plonų stalviršių atsiradimo[9]. Ši dizaino

tendencija atsipinti ir lieto dirbtinio akmens gamybos rinkoje, kadangi vis labiau pasirenkami originalaus 12 mm storio dirbtinio lieto akmens gaminiai. Toks pasirinkimas deri prie šiuo metu vyraujančiu dizaino tendencijų (1 pav.), tačiau norint išlaikyti 12 mm aukštį, stalviršio neįmanoma sustiprinti papildomomis medinėmis konstrukcijomis ar pastorinti klijuojant papildomą lieto dirbtinio akmens sluoksnį, o metaliniai profiliai stipriai pakelia gaminio kainą. Dėl šių priežasčių 12 mm stalviršio mechanikai parametrai sumažėja. Taip pat siaučiant Covid-19 pandemijai padidėjo stalviršiams keliami reikalavimai, tapo aktualu turėti lengvai nuvalomą ir atsparų įvairiems cheminiams valikliams paviršių [3].

Ši medžiaga rinkoje egzistuoja daugiau nei dešimtmetį. Biochemikas Donaldas Hillmanas Scolumas yra šios medžiagos išradėjas ir pradininkas. Šis mokslininkas-išradėjas, dirbdamas kompanijoje *EI Du Pont de Nemours and Co*, dabar žinomai kaip *Du pont*, pirmasis 1968 metais užpatentavo išgryninto polimetilmetakrilato gaminį ir jo gamybos procesą (US3405088A) [10].

Baldų pramonėje 53 metai yra palyginti trumpas laikotarpis, nes natūralios medienos ir stiklo gaminiai jau egzistuoja daugelį amžių ir per šį laikotarpį šios medžiagos keitė savo pavidalą, sudėtį, atsirado medienos pagrindu sukurtos medžiagos, vystantis mokslui atlikta nemažai mokslinių eksperimentinių tyrimų šių korpusinių baldų medžiagų elgsenai ir savybėms tirti. Tokių eksperimentų pasigendama dirbtinio lieto akmens formavimo ir eksploatavimo srityje: per pastaruosius 53 metus buvo atlikta tik nedidelis skaičius užsienio mokslininkų tyrimų. Didžioji dalis tyrimų atlikti dirbtinio lieto akmens panaudojimo statybų sektoriuje, sveikatingumo sferoje ar kosmoso pramonėje. Tokių publikuotų tyrimų baldų pramonėje (stalviršių ir plautuvių, vonios kambario komponentų ir korpusinių baldų fasadų gamyboje) neaptikta, todėl dėl vis augančios dirbtinio lieto akmens gaminių paklausos Lietuvoje atsirado poreikis plačiau ištirti šios medžiagos eksploatacines bei mechanines savybes [2].

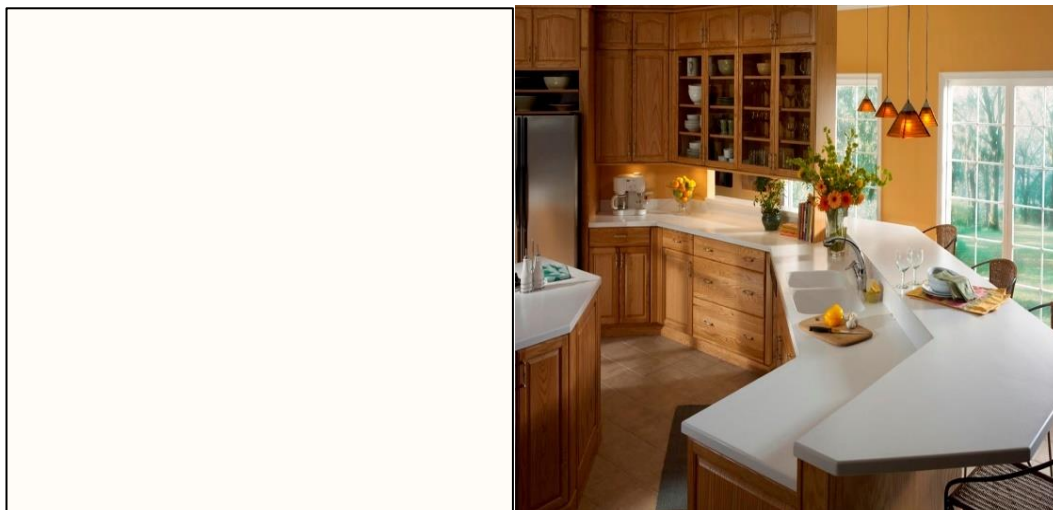
Akivaizdu, kad dirbtinio lieto akmens terminio formavimo tema yra mažai nagrinėta. Remiantis „Pasirinktų mineralinių-akrilinių kietųjų paviršių medžiagų, skirtų baldų gamybai, lenkiamosios savybės.“[1] ir „Akrilinio dirbtinio akmens savybių tyrimas“ [2] publikuotais moksliniais darbais. Atlikti tyrimai buvo labiau akcentuoti į statybos pramonės rinką ir ribojosi tik viena medžiagos spalva, buvo lyginamos skirtingų dirbtinio lieto akmens gamintojų kuriamos medžiagos. Todėl šiame projekte nagrinėjami klausimai skiriasi nuo anksčiau atliktų tyrimų, nes bus siekiama nustatyti ar dirbtinio lieto akmens sudėtyje esančios mineralinės medžiagos turi įtakos terminio formavimo procesui bei išsiaiškinti tinkamą temperatūrą skirtingos sudėties dirbtiniam lietai akmeniui formuoti. Taip pat nėra tyrimų, kurie palygintų skirtingo storio stalviršių tvirtumą. Stalviršių formavimo procese aktualus dirbtinio lieto akmens plokščių klijavimo būdo parinkimas, kuris nėra nurodomas gamintojų ir neaprašytas kitų mokslininkų publikuotuose darbuose.

Antibakterinės paviršių savybės yra svarbus kriterijus renkantis medžiagą baldo skydai, fasadui ir darbataliui gaminti. Prasidėjus Covid-19 pandemijai pradėta labiau rūpintis paviršių savybėmis. Užsienio šalių tyrėjai nustatė, kad šis virusas ant paviršių išlieka nuo 3 iki 16 valandų [3]. Šie skaičiai privertė ne tik baldų gamintojus, bet ir vartotojus susimąstyti apie baldų paviršių antibakterines savybes. Per pastaruosius pandemijos metus atliktas ne vienas bakteriologinis paviršių tyrimas, tačiau nepakanka, nes šiandieninė situacija verčia daugiau dėmesio skirti paviršių antibakterinėms savybėms.

2. Metodologinė dalis

2.1. Medžiagos

Tyrimams pasirinktos dviejų rūšių Du pont Corian® kompanijos xx cm storio dirbtinio lieto akmens plokštės (arba lakštai). Tai monochrominis baltos spalvos „Glacier white“ dirbtinis lietas akmuo (2 pav.), kuris žymimas A raide ir raštuotas dirbtinis lietas akmuo su dideliu mineralinių medžiagų pigmento kiekiu *Smoke drift prima*, kuris žymimas B raide (3 pav.).

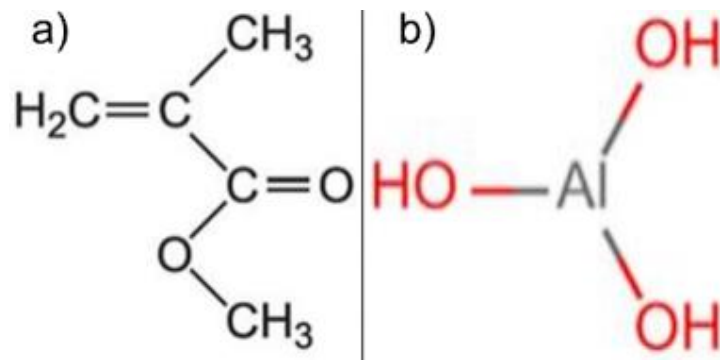


2 pav. Medžiaga A *Glacier white* ir šios medžiagos gaminio vizualizacija interjere [11]



3 pav. Medžiaga B *Smoke Drift Prima* ir šios medžiagos gaminio vizualizacija interjere [11]

Dirbtinio lieto akmens plokštės pagamintos iš 2/3 aliuminio (III) oksido ir 1/3 polimetilmetakrilato (PMMA) [1]. Dirbtinio lieto akmens cheminė sandara pateikta 4 paveiksle. PMMA – tai vienas iš polimerų, kuris išgaunamas polimerizuojant metilmetakrilato monomerus. Paprastai ši medžiaga yra vadinama organiniu stiklu [12], kuris dirbtinio lieto akmens gaminyje atlieka adhezijos funkciją [2]. Aliuminio (III) oksidas yra natūrali medžiaga, išgaunama iš boksito (aliuminio rūdos) mineralo. Jis yra bekvapis, netoksiškas, nekancerogeninis ir pasižymi atsparumu korozijai, be to aliuminio oksidas yra natūraliai baltas ir lengvai sugeria kitos spalvos pigmentus. Dirbtinio lieto akmens sudėtyje šis mineralas atlieka užpildo funkciją.



4 pav. Dirbtinio lieto akmens sandara: a) polimetilmetakrilato (PMMA) cheminė sandara [13]; b) aliuminio (III) oksido sandara [14]

Norint medžiagai suteikti įvairių spalvų bei raštų medžiagos sudėtis papildoma skirtingomis mineralinėmis medžiagomis – pigmentais [2].

1 lentelė. Dirbtinio lieto akmens sudėtis [15]

Kompozitinis ingredientas	CAS numeris	Procentai (%)
Aliuminio tryhidroksidas	216645-51-2	55-66
Polimetilmetakrilatas	9011-14-7	34-45
Geležies oksidas	12227-89-3	3
Mezoporinė anglis	1333-86-4	3
Titano dioksidas	13463-67-7	3
Metilmetakrilatas	80-62-6	1
Dažikliai	-	1

Bandyme naudojamo dirbtinio lieto akmens mechanines ir fizikines savybės, kurias pateikė šios medžiagos gamintojas pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. Dirbtinio lieto akmens gamintojo pateiktos mechaninės ir fizikinės savybės [16]

Fizikinės savybės		
Savybės	Standartas	Vertės
Tankis	ASTM D792	1700 kg/cm ³
Šiluminis plėtimasis	ASTM E228	3.9 x 10 ⁻⁵ m/m °C
Mechaninės savybės		
Lenkiamasis stipris	ASTM D790	68.95 MPa
Gniuždymo stipris	ASTM C365	110.32 MPa
Kietumas Rokvelo	ASM D785	>85

Mikrobiologiniame tyrime naudotos medžiagos 4 rūšių plokštės ir 3 rūšių bakterijos:

Laminuotos medžio drožlių plokštė (LMDP) – tai medžiaga, naudojama baldų pramonėje baldams gaminti arba kaip interjero apdailos elementas (5 pav.). LMDP yra gaminamas iš perdirbtos medienos atliekų, joms suteikiant įvairias paviršiaus spalvas naudojant laminatą. MDP presuojant aukštesnėje temperatūroje, abi plokštės pusės apkljuojamos laminatu – popieriumi suvilgytu melamino dervoje. Laminuotas paviršius pasižymi atsparumu drėgmei, aukštoms temperatūroms ir yra pakankamai kietas. Laminatai gali būti lygūs arba grublėti, dažnai būna išraižyti įvairiomis tekstūromis, natūralios medienos imitacijomis, naudojami ir monochrominiai laminatai, kurie gali būti matiniai arba blizgūs [17].



5 pav. Laminuotos medžio drožlių plokštės

Tyrimui naudojamos PFLEIDERER įmonės, kuri jau daugelį metų dirba laminuotų medžio drožlių plokščių gamyboje ir užtikrina aukščiausius standartus, plokštės.

3 lentelė. LMDP fizikinės, cheminės ir mechaninės savybės pateiktos gamintojo [18]

Fizikinės savybės	
Savybės pavadinimas	Vertės
Tankis (EN 323:1993)	750 kg/m ³
Drėgnumas (EN 317:1993)	5 – 7 %
Cheminės savybės	
Toksiškumas	DYN 120 : E-1
Mechaniniai savybės	
Tamprumo modulis, lenkiant išilgai detalės (EN 310:1993)	3400 N/mm ²
Tamprumo modulis, lenkiant skersai detalės (EN 310:1993)	1400 N/mm ²

Nerūdijantis plienas – tai aukštos kokybės konstrukcinė medžiaga, kuri yra netik mechaniškai stipri ir standi, bet ir dėl didelio kiekio chromo pasižymi dideliu atsparumu korozijai. Šios savybės lemia medžiagos kainą, todėl nerūdijantis plienas yra vienas iš brangesnių legiruotųjų metalų lydinių rinkoje [19]. Tyrimo metu naudojamas AISI 304 (X5CrNi18-10) nerūdijantis plienas, kuris yra populiarus austenitinės klasės nerūdijantis plienas. Šis plienas dažnai naudojamas chemijos, automobilių ir maisto pramonėje, profesionalios ir buitinės virtuvinės įrangos (6 pav.) bei elektros įrangos gamyboje. Nors ir pakankamai plačiai ištirtas, šios klasės plienas vis dar skatina mokslininkų susidomėjimą: atliekama nemažai tyrimų susijusių su plieno suvirinamumu, galimybe jungti su kitais metalų lydiniais, bei atsparumo agresyvioms aplinkoms tyrimais ir t.t. [20].



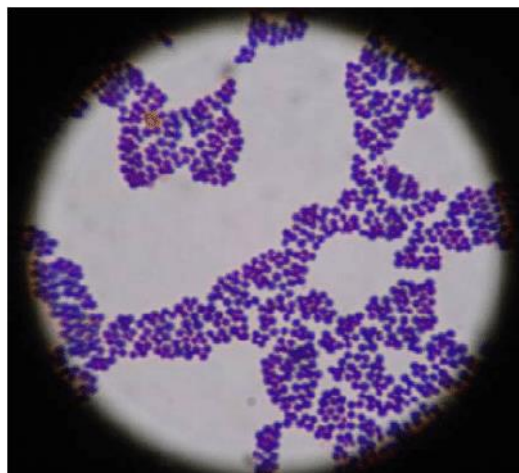
6 pav. Nerūdijančio plieno praustuvas įmontuotas į dirbtinio lieto akmens stalviršį

4 lentelė. Plieno X5CrNi18-10 cheminė sudėtis procentais pagal EN 10088-2-2005 standartą [20]

Plienas	Cheminė sudėtis, masės %							
	C	Si	Mn	Ni	P	S	Cr	N
X5CrNi18-10	0.7	≥ 1	≥ 2	8 – 10.5	≥ 0.045	≥ 0.015	17.5 – 19.5	≥ 0.11

Bakteriologiniam tyrimui atlikti naudotos trejos bakterijų suspensijų kultūros – *Staphylococcus aureus* ATCC25923, *Salmonella typhimurium* ATCC14028, *Escherichia coli* ATCC25922.

Staphylococcus aureus (Auksinis stafilokokas) – tai oportunistinis patogenas, kuris atsakingas už didelę dalį infekcijų viešose vietose ir ligoninėse (7 pav.).

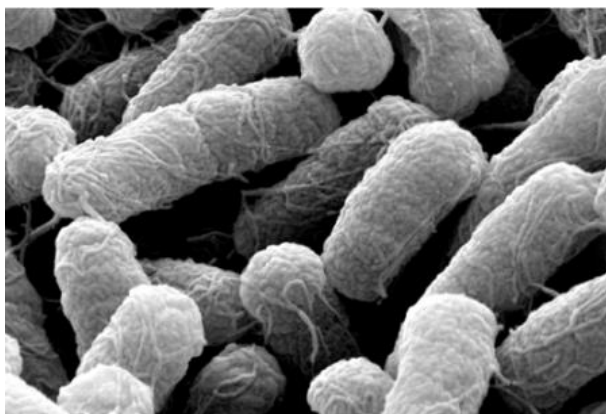


7 pav. Auksinis stafilokokas (*Staphylococcus aureus*) [22]

Viena iš priežasčių kodėl ši bakterija tokia paplitusi, tai jos patogeniškos ląstelės, kurios stipriai prikimba prie įvairių paviršių ir medžiagų įskaitant natūralias ir abiotines medžiagas. Nepaisant neprikaištingos adhezijos, ant paviršiaus nusėdusios *Staphylococcus aureus* bakterijos gali toliau daugintis ir formuotis dėl jos mechaniškai ir chemiškai tvirtos bioplėvelės. Dėl šios plėvelės ši bakterija sparčiai

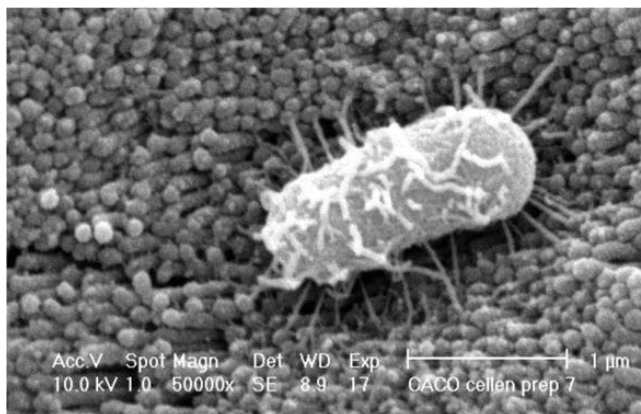
plinta viešose vietose: klinikose, autobusų, traukinių stotyse ir netgi namuose, todėl šios bakterijos plitimas tapo dideliu išbandymu sveikatos sistemai, korpusinių baldų bei medžiagų gamintojams [21].

Salmonella typhimurium (Salmonelė) – tai viena iš pagrindinių bakterijų, kurios sukelia apsinuodijimą maistu žmogui ir gyvūnams (8 pav.). Salmonelės bakterija dažniausiai plinta vartojant žalius termiškai neapdorotus ir neperdirbtus produktus: kiaušinius, mėsą, daržovės ir net vaisius. Ši bakterija gali plisti ir per paviršių, bet dėl silpnos apsaugos išorės veiksniams ji ilgai neišgyvena ir negali daugintis. Salmonelės poveikis labai žalingas, pvz. vien Kinijoje daugiau nei 80 % dėl maisto apsinuodijimo susijusių ligų sukelia būtent ši bakterija.[23].



8 pav. Salmonelės bakterija [24]

Escherichia coli (E. Coli) – tai dar viena, dažniausiai per maistą ir paviršius su maisto likučiais plinti bakterija (9 pav.).



9 pav. E.Coli bakterija [26]

Dažniausiai šios bakterijos yra nekenksmingos ir retai sukelia susirgimus sveikam žmogui. Tačiau jos gali būti pavojingos vaikams ir nusilpusią imuninę sistemą turintiems asmenims. Šis patogenas nepasižymi gera adhezija su paviršiumi, tačiau prie tam tikrų sąlygų, pvz. užstrigę maisto likučiai įvairiose paviršiaus plyšiuose, šis patogenas gali išlikti nemažą laiką ir taip kelti pavojų aplinkams [25].

2.2. Medžiagų paruošimas

Lenkimo bandymui skirtingose temperatūrose, buvo supjauti ir paruošti 36 vienodo dydžio dirbtinio lieto akmens bandiniai, naudojant formatinio pjovimo stakles, be programinio valdymo „Altendorf F45“.

5 lentelė. Lenkimo bandinių charakteristikos

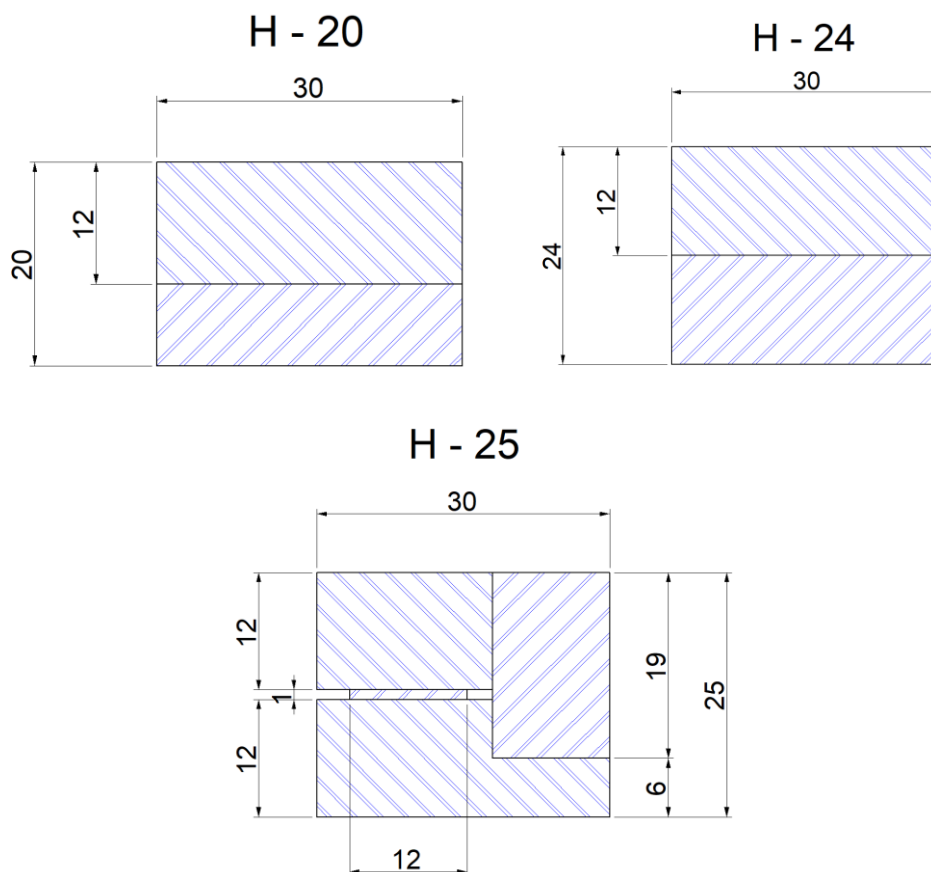
Medžiaga	Spalva	Tipas	Kiekis	Ilgis	Plotis	Aukštis
				mm		
A	Glacier white	Monochrominis	18	120	30	12
B	Smoke drift prima	Raštuotas	18	120	30	12

Klijuoto dirbtinio lieto akmens bandymui buvo pagaminti 8 bandiniai (žr. lentelę 6).

6 lentelė. Klijuoto dirbtinio lieto akmens charakteristikos

Bandinys	Spalva	Tipas	Kiekis	Ilgis	Plotis	Aukštis
				mm		
H – 12	Glacier white	Monochrominis	2	120	30	12,5
H – 20			2			20
H – 24			2			24
H – 25			2			25

Dirbtinio lieto akmens plokštėms klijuoti buvo naudojami 3 skirtingi klijavimo būdai (10 pav) naudojami dirbtinio lieto akmens paviršiams gaminti.



10 pav. Dirbtinio lieto akmens klijavimo atvejai

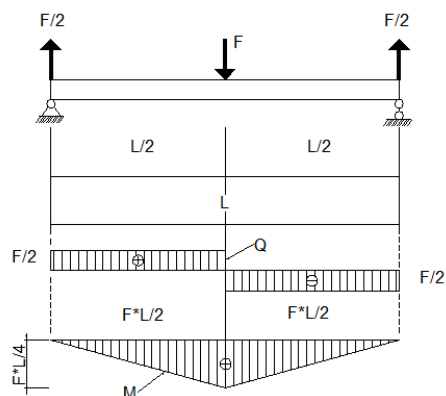
Bandiniai suklijuoti naudojant gamintojo nurodytus klijus ir technines rekomendacijas dirbtiniam lieta akmeniui klijuoti (11 pav.). Prieš operaciją, bandinio klijavimo vieta buvo šiek tiek pašveista, kad susidariusios tarpės klijams nusėsti pagerintų dirbtinio lieto akmens paviršių adheziją. Po to klijavimo zona buvo steriliai nuvalyta spiritu suvilgyta servetėle, kad nuo klijavimo paviršiaus būtų pašalinti visi nešvarumai, dulkės ir riebalai. Nuvalius medžiaga buvo suklijuota ir suspausta spaustuvais. Kai klijai išdžiūvo, bandiniai buvo sukalibruoti naudojant formatinio pjovimo stakles, be programinio valdymo „Altendorf F45“.



11 pav. Dirbtinio lieto akmens klijavimo proceso etapai: a) klijavimo vietos nulyginimas; b) klijavimas; c) klijų džiovinimas; d) šlifavimas ir poliravimas

2.3. Lenkimo bandymo parametrai

Lenkimo bandymui atlikti buvo naudojama trejų taškų lenkimo metodas, kai viena koncentruota jėga (F), veikia bandinio viduryje. Naudojant šią schemą, bandinio viduryje gaunamas grynasis lenkimo ruožas sudarydamas sąlygas bandiniui lūžti silpniausioje to ruožo vietoje (12 pav.) [27]. Šis bandymo metodas buvo taikomas dirbtinio lieto akmens bandiniams.



12 pav. Bandinio apkrovos schema, kai viena koncentruota jėga veikia bandinio viduryje [27]

Atliekant lenkimo bandymą siekiama nustatyti kaip kinta dirbtinio lieto akmens mechaninės savybės, lenkiant dirbtinį akmenį skirtingose temperatūrose ir naudojant skirtingus tarpus tarp atramų (L). Geriausias būdas palyginti, kokioje temperatūroje medžiaga geriausiai lenkiasi ir ar atstumas tarp atramų turi įtakos lenkimo procesui yra palyginti medžiagos tamprumo modulį skirtingose temperatūrose.

Trejų taškų lenkimo metodas buvo pritaikytas ir lenkimo bandymams su klijuotais bandiniais, tik buvo parinktas 100 mm tarpas tarp atramų (L) ir bandiniai lenkimo metu nebuvo veikiami temperatūros. Norint iširti kuris klijavimo metodas atspariausias lenkimui, pasirinktą palyginti lenkiamąjį stiprį σ bandinio lūžio metu.. kurio formulė [28]:

$$\sigma = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (1)$$

čia F – maksimali jėga lūžio metu (N), L – atstumas tarp atramų (mm), b – bandinio plotis (mm), h – bandinio aukštis, storis (mm).

Bandinių A ir B tamprumo modulis lenkimo metu buvo paskaičiuotas naudojant pateiktą formulę [28]:

$$E = \frac{FL^3}{4bh^3d} \quad (2)$$

čia E – tamprumo modulis (MPa), F – apkrovos deformacijos kreivės pradinės tiesios dalies liestinė (N), L – tarpas tarp atramų (mm), b – bandinio plotis (mm), h – bandinio aukštis, storis (mm), d – poslinkis (mm) atitinkantis (F) tašką liestinėje [28].

Bandymo, lenkiant dirbtinį lieta akmenį skirtingose temperatūrose sąlygos:

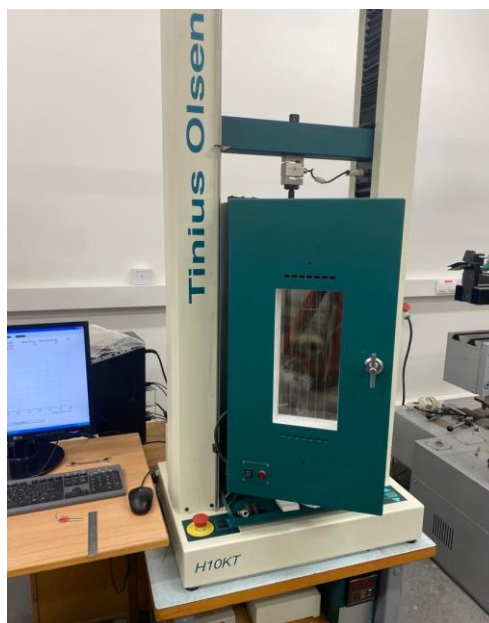
1. Tyrimui atlikti buvo parinktos 5 temperatūros – 140 °C, 145 °C, 150 °C, 160 °C, 170 °C.
2. Kiekvienoje iš nurodytų temperatūrų atskirai buvo lenkiama po keturis A ir B medžiagų bandinius, naudojant skirtingus atstumus tarp atramų.
3. Pasirinkti 80 ir 100 mm atstumai tarp atramų.
4. Lenkimo greitis 5 mm/min.
5. Atramų ir lenkimo prietaiso spindulys (R) 5 mm.
6. Pasirinktas maksimalus deformacijos dydis 16 m.
7. Prieš lenkimo bandymą bandiniai 6 min buvo laikomi numatytoje temperatūroje.

Bandymo, lenkiant klijuotą dirbtinį lieta akmenį sąlygos:

1. Tyrimui atlikti buvo naudojami 8 bandiniai, 4 skirtingų dydžių ir 3 klijavimo tipų – 12 (neklijuotas), 20, 24 ir 25 mm storio. Bandiniai buvo sužymėti pagal aukštį (žr. lentelę 6).
2. Pasirinktas 100 mm atstumas tarp atramų.
3. Lenkimo greitis 5 mm/min.
4. Atramų ir lenkimo prietaiso spindulys (R) 5 mm.
5. Maksimalus deformacijos dydis 16 mm.

Abiejų bandymu metu bandiniai buvo lenkami po vieną, naudojant universalią bandymo mašiną Tinius Olsen H10KT (13 pav.) (maksimali leistina apkrova yra 10 kN) KTU Mechanikos inžinerijos ir

dizaino fakultete, kuri turi integruotą konvencinę šildymo kamerą, leidžiančią bandymus atlikti pastovioje temperatūroje. Lenkimo metu jėga (N) ir poslinkis (mm) buvo gaunamas, naudojant universalios bandymo mašinos programinę įrangą Qmat 5.37. Atlikus bandymus, rezultatai buvo apdorjami ir analizuojami.



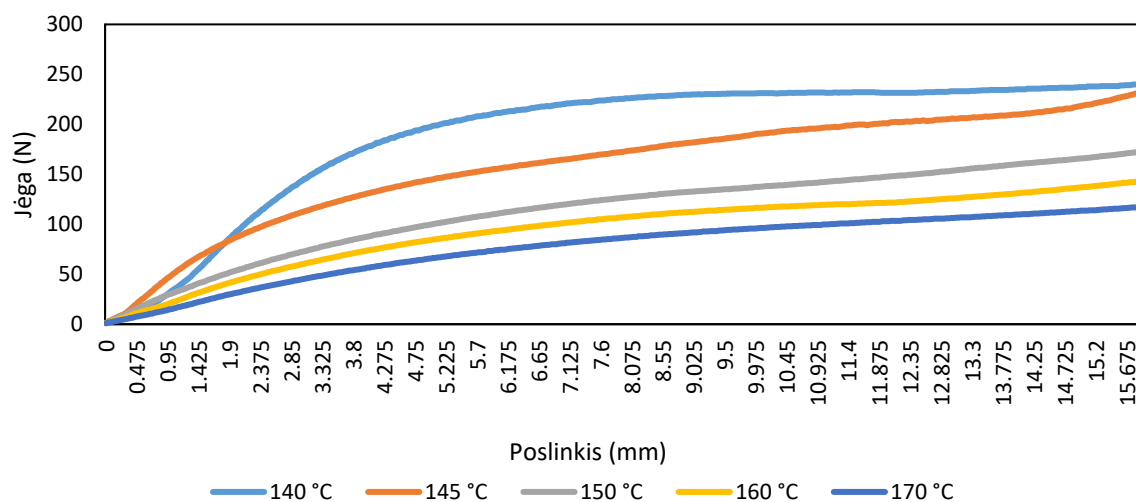
13 pav. Tinius Olsen H10KT Universalinė lenkimo mašina su integruota konvencine šildymo kamera

Prieš lenkimo bandymą, bandiniai buvo laikomi kambario temperatūroje bei tiksliai išmatuoti sukalibruotu slankmačiu. Verta paminėti, kad drėgnumas daro nedidelę įtaką dirbtiniam akmeniui, kadangi kaip ir minėta aukščiau medžiaga dėl savo sudėties yra be porų.

3. Eksperimentinė dalis

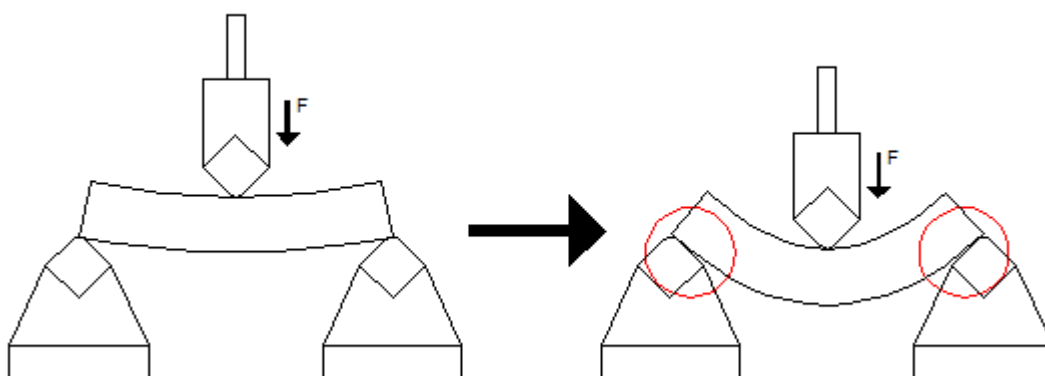
3.1. Lenkimo bandymas įvairiose temperatūrose

Visų pirma lenkimo bandymas buvo atliktas naudojant 80 mm atstumą tarp atramų (L), lenkiant A ir B bandinius visose numatytose temperatūrose: 140 °C, 145 °C, 150 °C, 160 °C ir 170 °C. Iš gautų duomenų buvo išvesti vidurkiai ir sudarytas deformacijų kreivių grafikas, kuriame y ašimi buvo žymima jėga (N), o x ašimi poslinkis (mm) (14 pav.)



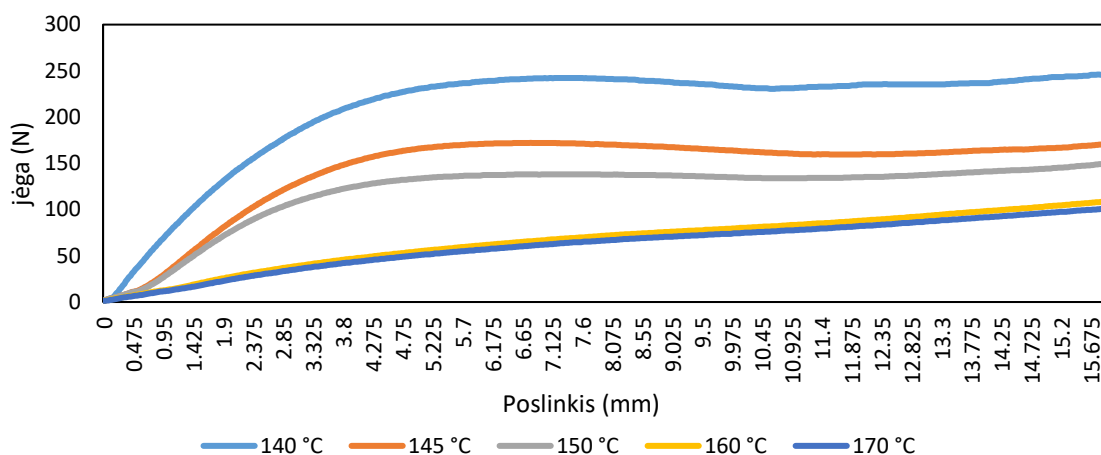
14 pav. Monochrominės medžiagos A apkrovos ir poslinkio diagrama lenkiant skirtingose temperatūrose

14 paveiksle matome, kad keliant bandymo temperatūrą mažėja medžiagos pasipriešinimas apkrovai (N). Tyrimo metu neatsitiktinai buvo pasirinktas maksimalus poslinkis (16 mm), nes kai medžiagos poslinkis pasiekia ≈ 18 mm – 20 mm ribą, medžiaga atsiremia į pasirinktų atramų kraštus, taip sumažindama faktinį atstumą tarp atramų ir iškraipydama gaunamus apkrovos ir poslinkio duomenis diagramoje (15 pav.).



15 pav. Lenkimo metu atsirandančios problemos iliustracija (problema pavaizduota raudonu apskritimu)

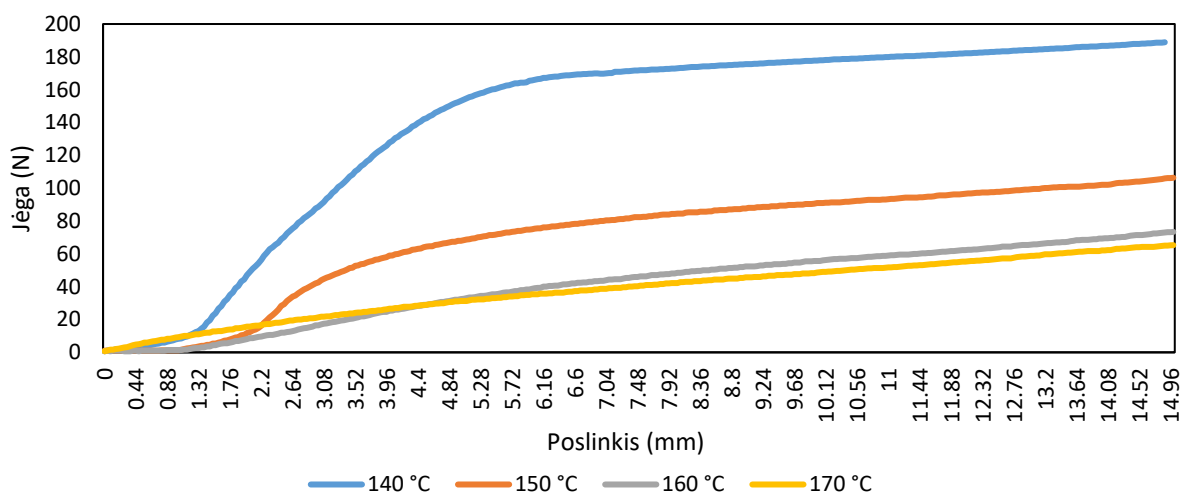
Atlikus bandymus su monochromine medžiaga A toliau buvo sudaryta raštuotos medžiagos B vidutinių apkrovos ir poslinkių kreivė, kai atstumas tarp atramų buvo 80 mm (16 pav.).



16 pav. Raštuotos medžiagos B apkrovos ir poslinkio diagrama lenkiant skirtingose temperatūrose

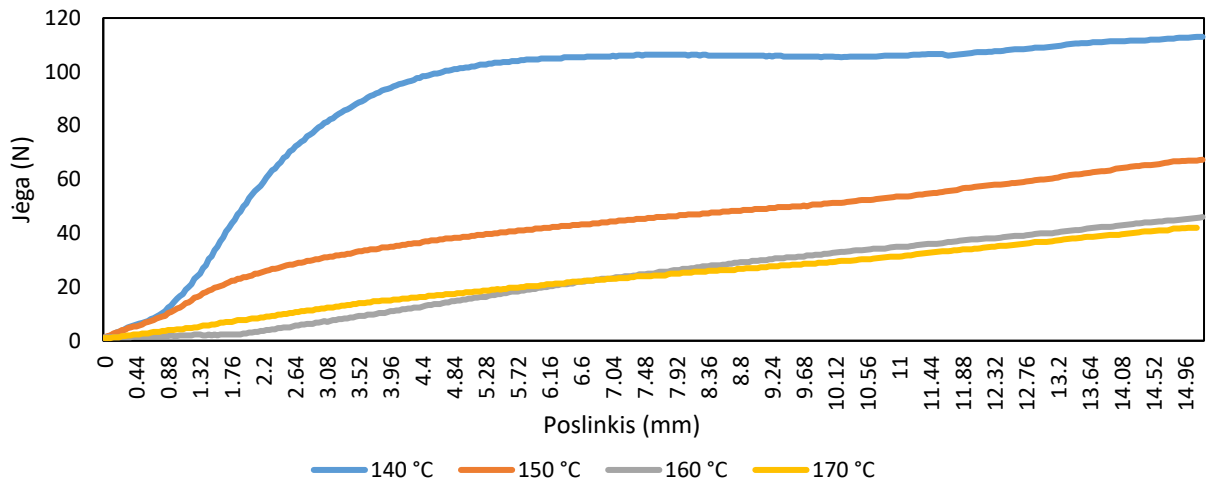
Atlikus tyrimus su raštuota medžiaga ir sudarius vidutinių apkrovos ir poslinkio diagramą, pastebėta ta pati tendencija kaip ir bandant monochrominę medžiagą: keliant temperatūrą medžiagos pasipriešinimas apkrovai (N) mažėja. Sudarant (16 pav.) pavaizduotą grafiką, buvo pastebėta, kad esant 140, 145, 150 °C temperatūroms raštuota medžiaga lenkiasi sunkiau nei monochrominė (didžiausias skirtumas 24 N).

Siekiant išsiaiškinti ar tarpas tarp atramų turi įtakos tamprumo moduliui (E) buvo sudaryta vidutinių apkrovos ir poslinkio diagrama su raštuota ir monochromine medžiaga, kai atstumas tarp atramų buvo 100 mm (17 pav).



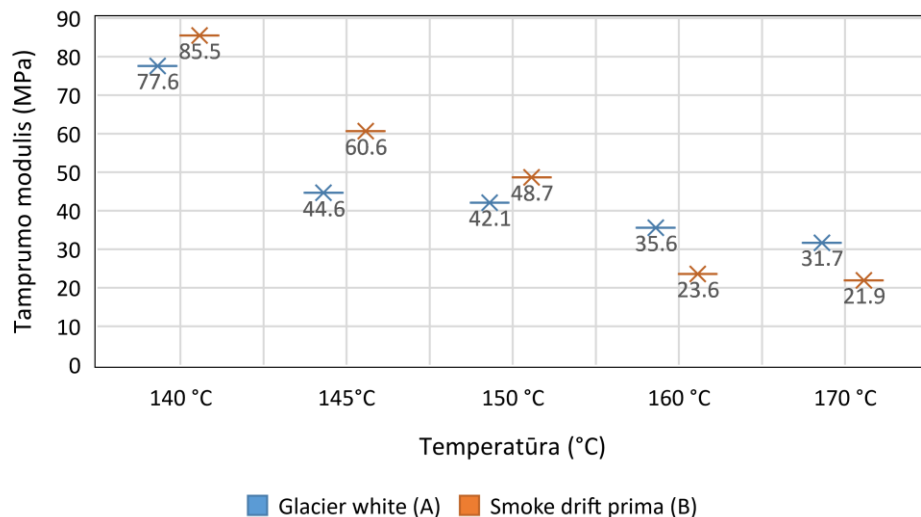
17 pav. Monochrominės medžiagos A apkrovos ir poslinkio diagrama lenkiant skirtingose temperatūrose, kai tarpas tarp atramų 100 mm

Atlikus bandymus su monochromine dirbtinio lieto akmens medžiaga pastebėta, kad didėjant medžiagos ilgiui mažėja ir medžiagos atsparumas lenkimo metu veikiamai jėgai. Bandymuose, kai atstumas tarp atramų buvo 100 mm, nebuvo naudota 145 °C temperatūra. Todėl iš karto matoma didelis jėgos ir poslinkio skirtumas temperatūrų lyginant 140 °C ir 150 °C lenkiamas medžiagas. Po monochrominio dirbtinio lieto akmens bandymų sekė raštuoto dirbtinio lieto akmens bandymas kai tarpas tarp atramų 100 mm (18 pav.).



18 pav. Raštuotos medžiagos B apkrovos ir poslinkio diagrama lenkiant skirtingose temperatūrose, kai tarpas tarp atramų 100 mm

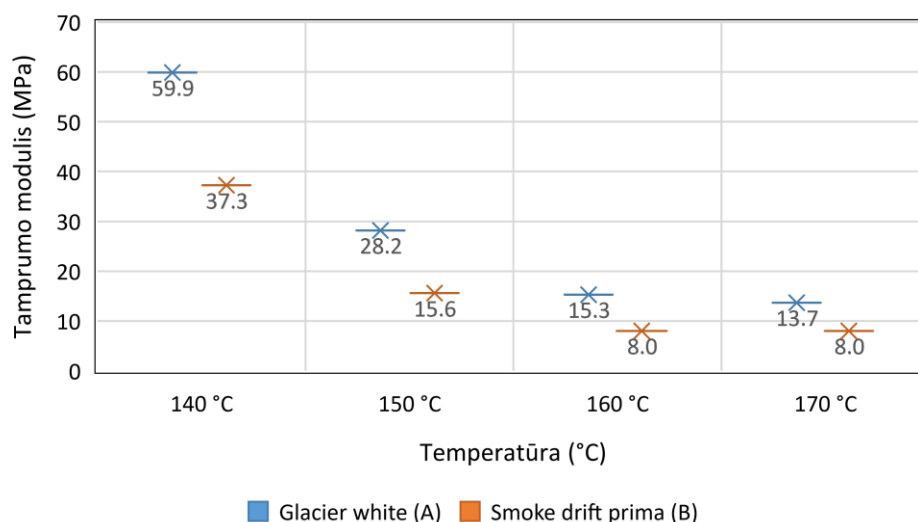
Kaip ir bandymuose su monochromine medžiaga, esant 100 mm atstumas tarp atramų pastebimas didelis jėgos ir poslinkio skirtumas tarp 140 °C ir 150 °C temperatūrų. Pastebėta, kad lyginant (17 pav.) ir (18 pav.) su grafikais kai, atstumas tarp atramų buvo 80 mm, (17 pav.) ir (18 pav.) monochrominė medžiaga buvo ženkliai atsparesnė lenkimui nei raštuota. Tai reiškia, kad pakeistas atstumas tarp lenkimo atramų labiau įtakojo raštuotos medžiagos atsparumą lenkimui. Buvo nuspręsta sudaryti grafiką ir palyginti, kaip kinta tamprumo modulis visose temperatūrose ir palyginti raštuotą dirbtinį lieta akmenį su monochrominiu.



19 pav. Monochrominės A ir raštuotos B medžiagų tamprumo modulio (MPa) pokytis keičiantis temperatūrai

19 pav. stebime, kad didėjant proceso temperatūrai mažėja medžiagos tamprumo modulis, tai reiškia, kad medžiaga darosi vis mažiau atsparesnė ją veikiančiai lenkimo jėgai. Taip pat pavaizduotame grafike pastebime, kad iki 150 °C temperatūros monochrominis dirbtinis lietas akmuo buvo lankstesnis už raštuotą dirbtinį akmenį, tačiau pasiekus gamintojo nurodytą temperatūrą (160 °C) ir bandymo metu pasirinktą 170 °C temperatūrą raštuota medžiaga lengviau pasiduoda lenkimo procesui.

Tamprumo modulio skirtumas lenkiant raštuotą medžiagą temperatūrose 140 °C, 145 °C, 150 °C vidutiniškai yra lygus 18.7 MPa, o 160 °C ir 170 °C temperatūrose tik 4.1 MPa. Tai reiškia, kad lenkti raštuotą medžiagą 140 – 150 °C temperatūrų intervale nėra rekomenduojama. To negalima teigti ir vertinant monochrominės medžiagos rezultatus, tamprumo modulis 140 °C ir 145 °C temperatūrose skiriasi 33 MPa, o 150 °C ir 160 °C – 6.5 MPa. Tai reiškia, kad monochrominė medžiaga gali būti termiškai formuojama ir 150 °C temperatūroje, jei nėra galimybės pasiekti 160 °C.



20 pav. Monochrominės A ir raštuotos B medžiagų tamprumo modulio (MPa) pokytis keičiantis temperatūrai, kai atstumas tarp atramų 100 mm

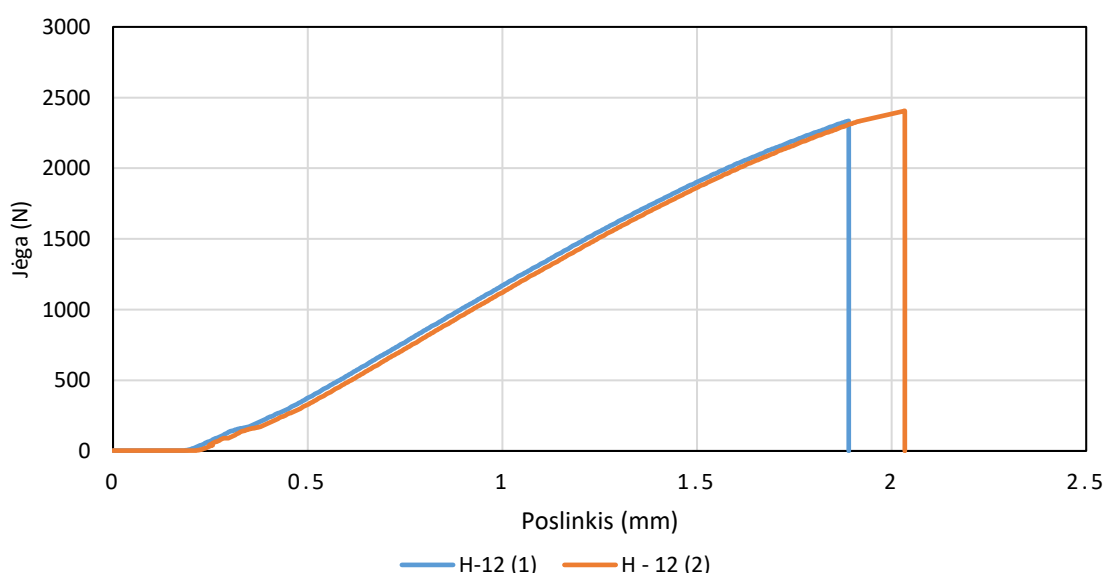
Bandymo rezultatai (20 pav.) parodė, kad kitaip nei esant 80 mm atstumui tarp atramų (19 pav.), visose temperatūrose monochrominė medžiaga beveik 50 % buvo atsparesnė lenkimo metu veikiamai jėgai. Tai reiškia, kad didėjant atstumui tarp atramų, raštuotos medžiagos atsparumas lenkimui mažėja labiau, nei monochrominės. taip pat pastebėta, kad atstumas tarp atramų turėjo didelės įtakos tamprumo moduliui ir abi medžiagos buvo daug tampresnės kai tarpas tarp lenkimo atramų buvo 100 mm, lyginant su 80 mm. Tai reiškia, kad atliekant terminį formavimą reikia atkreipti dėmesį į lenkimos vietos ilgį. Palyginus abu grafikus matoma, kad geriausia temperatūra terminiam formavimui yra intervale tarp 160 °C ir 170 °C, nes šiose temperatūrose skirtumas tarp tamprumo modulių yra mažiausias. Tačiau prie 170 °C pastebėta, kad tiek monochrominiai tiek raštuoti dirbtinio lieto akmenys gaminiai pradeda skleisti aitresnę kvapą, pradeda šiek tiek rūkti ir minimaliai keičia atspalvį iš šviesesnio į tamsesnį. Taip pat raštuotas dirbtinis lietas akmuo pradeda skilinėti vietose tarp polimetakrilato (PMMA) ir mineralinių medžiagų (21 pav.).



21 pav. Raštuotas dirbtinis lietas akmuo po lenkimo bandymo 170 °C temperatūroje (skilimai pažymėti raudonai)

3.2. Klijuoto dirbtinio lieto akmens lenkimo bandymas

Klijuoto dirbtinio lieto akmens bandymai pradėti tiriant mažiausio storio (12 mm) neklijuotus bandinius ir baigiant didžiausiu (25 mm). Iš gautų duomenų buvo sudarytas deformacijų kreivių grafikas, kuriame y ašimi buvo žymima jėga (N), o x ašimi poslinkis (mm). Pirmoji tokia kreivė buvo sudaryta naudojant standartinį (neklijuotą) 12 mm storio dirbtinį akmenį (22 pav.).

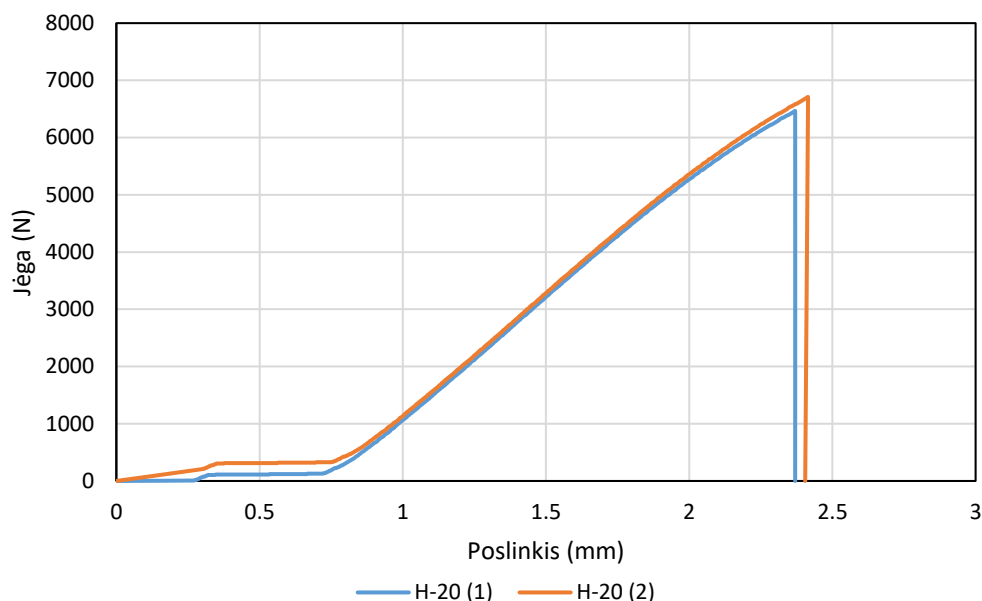


22 pav. Bandinio H – 12 (1,2) apkrovos ir poslinkio diagrama

22 pav. stebime, kad abiejų kreivių kilimo tendencijos yra labai panašios. Tai reiškia, kad lenkiant H – 12 seriją abu bandiniai parodė panašius rezultatus. Skirtumas tarp H – 12 (1) ir H – 12 (2) yra nežymus, poslinkio ir jėgos skirtumas lūžio taške buvo 71 N ir 0.14 mm. Šį grafiką galima palyginti

su 14 pav. ir 17 pav., matomas didelis jėgos ir poslinkio skirtumas lenkiant 12 mm dirbtinį akmenį, kai jis nėra veikiamas temperatūros. Tai reiškia, kad dirbtinis akmuo, jau prie 140 °C pasiekia daug didesnį poslinkį ir reikalauja tik iki 300 N jėgos, lyginant su standartinio storio 12 mm dirbtiniu akmeniu lenkiamu kambario temperatūroje.

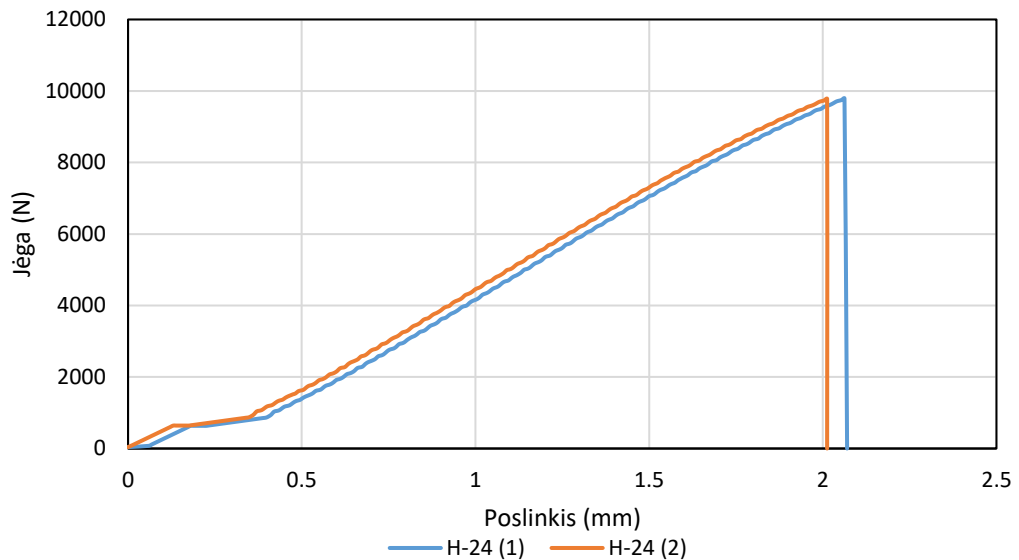
Atlikus bandymus su standartinio storio dirbtiniu akmeniu sekė bandymas su klijuotu dirbtiniu akmeniu, kurio storis buvo 20 mm (23 pav.). Toks bandinio aukštis buvo pasiektas suklijavus du dirbtinio akmens ruošinius vienas ant kito, kai vienas klijuojamas ruošinys buvo originalaus 12 mm, o kitas naudojant CNC stakles buvo nulygintas iki 8 mm aukščio.



23 pav. Bandinio H – 20 (1,2) apkrovos ir poslinkio diagrama

Sudarius 23 pav. pavaizduotą apkrovų ir poslinkio diagramą pastebėta, kad didinant bandinio aukštį didėja ir jos atsparumas lenkimo metu veikiamai jėgai. Lyginant 23 pav. pavaizduotą grafiką su 22 pav. matoma, kad detalės lūžio taške poslinkis išliko labai panašus kaip ir su 12 mm bandiniais (skirtumas tik 0.3 mm), tačiau jėga lūžio taške 2.7 karto didesnė. Galima teikti, kad šis klijavimo būdas yra daug efektyvesnis tvirtumo atžvilgiu, tačiau būtina pabrėžti, kad šiam bandiniui buvo su naudota dvigubai daugiau medžiagos.

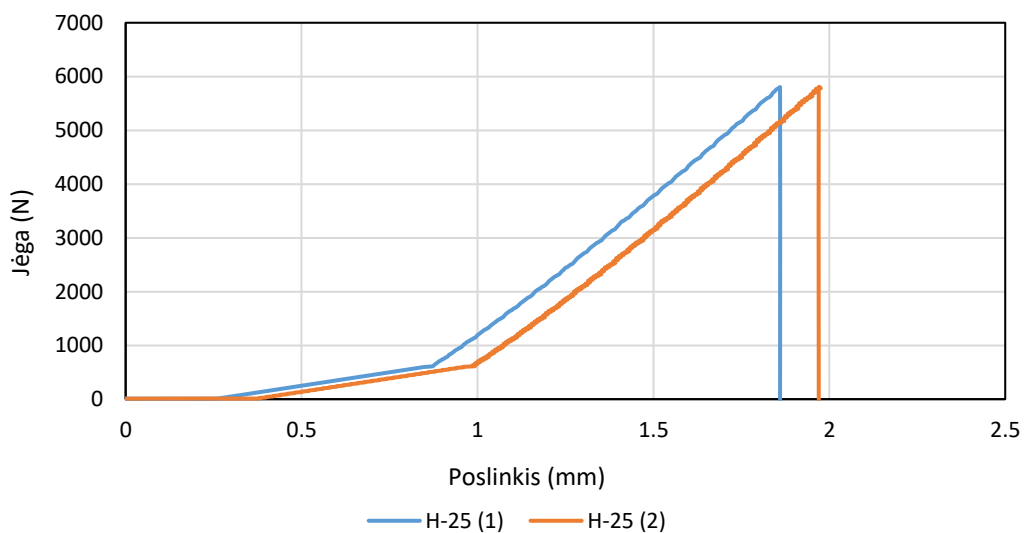
Toliau sekė bandiniai, kurių aukštis buvo 24 mm. Toks aukštis buvo pasiektas suklijavus du vienodo dydžio dirbtinio akmens ruošinius tarpusavyje. Šis stalviršio aukščio suteikimo būdas yra populiariausias gamyboje, kadangi jis nereikalauja didelio pasiruošimo ar papildomo frezavimo prieš klijuojant.



24 pav. Bandinio H – 24 (1,2) apkrovos ir poslinkio diagrama

Atlikus bandymus su 24 mm storio dirbtiniu akmeniu, apkrovos ir poslinkio kreivėje pastebima, kad 24 mm storio dirbtinis akmuo yra atsparesnis lenkimui, lyginant su 12 ir 24 mm storio bandiniais. Abu H – 24 bandiniai lūžo prie vidutiniškai 9790 N apkrovos, tai reiškia, kad apkrova buvo netoli Tinius Olsen H10KT (13 pav.) leistinos apkrovos, kuri yra 10 Kn. Lyginant H – 24 klijavimo metoda su H – 20 mm, klijuoti 24 mm gaminius gamyboje yra daug paprasčiau ir pigiau.

Po bandymo su bandiniais H – 24, sekė bandymas su 25 mm storio klijuotu dirbtiniu akmeniu (25 pav.). Šis klijavimo būdas yra unikalesnis, lyginant su prieš tai nurodytais klijavimo būdais, nes konstrukcijoje vienas detalės komponentas pjūvyje stovi vertikaliai.

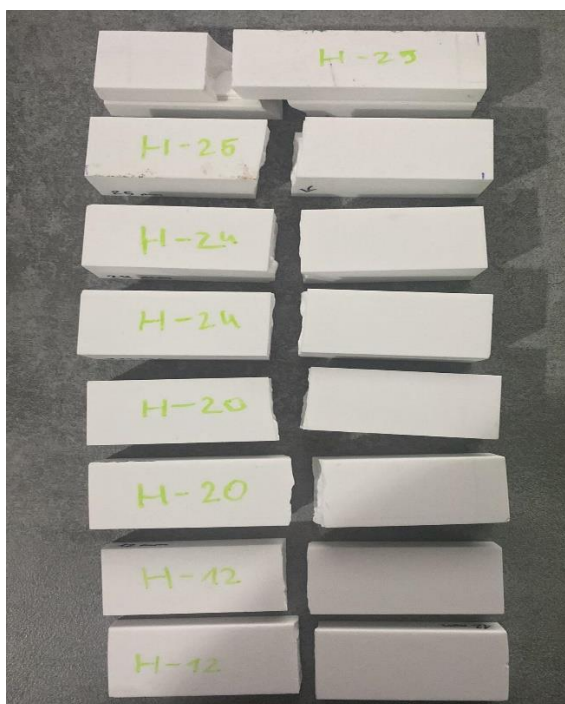


25 pav. Bandinio H – 25 (1,2) apkrovos ir poslinkio diagrama

Išanalizavus 25 pav. pavaizduotą grafiką pastebima, kad iš visų klijavimo būdų H-25 klijavimo būdas pasižymėjo mažiausiu atsparumu lenkimo metu veikiamai jėgai. Tai nutiko dėl to, kad konstrukcijoje yra detalė stovinti vertikaliai, kuri sumažino klijuotos detalės galimybę pasiekti didesnę poslinkį

lenkimo bandymo metu. Dėl šios priežasties bandinys lenkimo metu neturėjo kur plėstis ir lūžo greičiau nei bandiniai H-24 ir H-20.

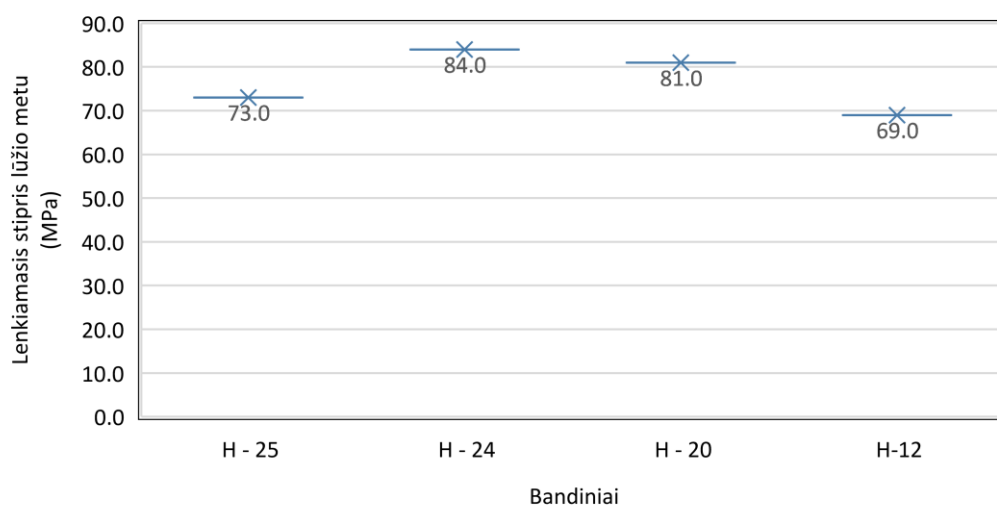
Tyrimo metu visi bandymai buvo atlikti be jokių problemų ar papildomų trukdžių, visos lenkiamos detalės sulūžo į dvi atskiras dalis (26 pav.).



26 pav. Klijuotas dirbtinis akmuo po lenkimo bandymo

Dirbtinis akmuo prie tinkamų lenkimo sąlygų ir paveiktas temperatūrų paminėtų poskyryje 3.1 lūžta elastingai, kaip plastikas, netgi palikdamas baltas žymes lūžio vietoje. Tačiau šio tyrimo metu dirbtinis akmuo nebuvo veikiamas temperatūros, todėl bandiniai skilo kaip standartinės trapios medžiagos. Todėl atliekant lenkimo bandymus su šia medžiaga patartina imtis saugumo priemonių, kaip akiniai ar veidą apsauganti kaukė.

Paskutinis šio eksperimento žingsnis yra paskaičiuoti bandinių H – 12, H – 20, H – 24 ir H – 25 vidutinį lenkiamąjį stiprį bandinio lūžio metu ir palyginti tarpusavyje (27 pav).



27 pav. Lenkiamojo stiprio pokyčio grafikas keičiantis medžiagos storiui

Išanalizavus 27 pav. pavaizduotą grafiką pastebima, kad H-25 klijavimo metodas pasižymi mažiausia lenkiamojo stiprio verte lūžio metu, lyginant su kitais klijavimo metodais. Tai nutiko dėl gaminio konstrukcinių sumetimų. Šio klijavimo metodo mazge yra vertikaliai lenkimo taško stovinti detalė, kuri neleidžia gaminiui lenktis, dėl to bandinys lūžta greičiau. Taip šio bandinio klijavimo plotas yra pats mažiausias lyginant su kitais bandiniais. Atliekant eksperimentinius tyrimus ir sudarinėjant apkrovos ir poslinkio kreives buvo pastebėta, kad H-24 ir H-20 bandiniai pasižymėjo dideliu atsparumu lenkimui, tai atsispindi lenkiamojo stiprio pokyčio grafike, H – 24 lenkiamasis stipris lūžio metu buvo 84 MPa, o H – 20 81 MPa. Lyginant šių dviejų klijavimo būdų rezultatus pastebima, kad skirtumas tarp jų tik 3 MPa, tai patvirtina faktą, kad abiejų bandinių H-24 ir H-20 konstrukcijos yra giminingos ir pasižymi panašiu lenkiamuoju stipriu lūžio metu.

Remiantis atliktais tyrimais, pasiektų rezultatų ir analizės pagalba, galime daryti išvadą, kad H-24 ir H-20 bandiniai pasižymi didžiausiu pasipriešinimu lenkimo metu veikiamai jėgai. Klijavimo metodas H-25 nepaisant sudėtingos konstrukcijos ir bandinio aukščio, lenkimo bandymo metu skilo prie mažesnių apkrovų ir rezultatų lentelėje pasižymėjo per 11 MPa mažesniu lenkiamuoju stipriu. Taip pat pastebėta, kad H-12 lenkiamasis stipris atitiko 27 paveikslėlyje pavaizduotą gamintojo nurodytą 68.95 Mpa lenkiamąjį stiprį.

4. Mikrobiologinis tyrimas

Dažniausiai parenkant paviršiaus medžiagas baldų ir statybų pramonėje, didžiausi reikalavimai keliami medžiagos mechaninėms savybėms, kainai ir ilgaamžiškumui. Tačiau šiandieninė situacija pasaulyje privertė gamintojus vis labiau atkreipti dėmesį ir į medžiagos sanitarines savybes. Šiaučiant Covid-19 pandemijai, ne tik gydymo, viešo sektoriaus įmonėse, bet net ir namuose atsirado didelis poreikis dezinfekuoti paviršius, siekiant išvengti viruso plitimo. Pasaulio sveikatos organizacija nurodo, kad ore Covid-19 virusas išbūna nuo 3 iki 16 valandų, o nusėdęs ant paviršių vidutiniškai 3 – 4 paras. Todėl paviršių valymas ir dezinfekcija tapo labai svarbia procedūra užtikrinančia viruso plitimo sustabdymą. Bakterijos nenuvalius stalviršių ir kitų paviršių pradeda daugintis jau po 20 min, tai vyksta ne tik ant horizontalaus stalviršio paviršiaus, bet ir stalviršio ir staljuostės, praustuvės ir stalviršio sujungimuose [3].

Populiariausios paviršių medžiagos tai – laminuota medžio drožlių plokštė (LMDP), nerūdijantis plienas arba natūralus medis. Tačiau LMDP paviršiai dažnai yra dengiami akrilnitrilbutadienstiroline (ABS) kraštų danga ir klijuojami tarpusavyje poliuretano klizais (PUR). Šis medžiagų jungimas negarantuoja efektyvių sanitarinių savybių, dažnai vanduo prasiskverbia pro klizavimo siūlę ir pradeda plokštės brinkimo procesą. Tokie LMDP paviršiaus pažeidimai lemia grybelio ir bakterijų dauginimąsi pažeistoje terpėje. Kita vertus natūralus medis ar akmuo nesusiduria su anksčiau aptarta problema, tačiau šios medžiagos yra porėtos ir reikalauja sandarinimo, kad būtų užkirstas kelias bakterijoms daugintis terpėse. Akmens gaminių ir medienos pramonė ne vienerius metus kuria antibakterines sandarinimo medžiagas, tačiau užtikrinti ar paviršiaus gamintojas kiekvieną gaminį impregnavo tinkamai yra labai sudėtinga. Taip pat reikia atkreipti dėmesį į tai, kad dažnai stalviršiuose reikia įmontuoti plautuvę. Plautuvės dažnai būna pritvirtintos glaistu ar kitomis silikoninėmis sandarinimo medžiagomis, kurių efektyvumas sanitariniu atžvilgiu yra abejotinas.

Viena iš rinkoje esančių medžiagų, kuri nesusiduria su minėtomis problemomis yra dirbtinis lietas akmuo. Šio gaminio paviršius, sudarytas iš aliuminio ir akrilo polimerų, pasižymi ypatingu tvirtumu, yra bekvapis, beporis, vienalytis ir nereikalaujantis pagrindo tvirtinimui. Lieto akmens paviršiai sujungiami į vienalytį gaminį, todėl nebelieka palankios vietos virusui, bakterijoms, mikroorganizmams išlikti ir daugintis. Neporėtas lietas akmuo dėl savo struktūros ir savybių pasižymi antibakteriniu savybėmis ir yra plačiai naudojamas laboratorijose, gydymo įstaigose, maitinimo įstaigose, maisto gamybos pramonėje, kur būtina užtikrinti paviršių sterilumą, o šiuo metu sustabdyti viruso plitimą. Tokia medžiaga užtikrina didesnę sterilumą net ir tuo atveju jei paviršius yra ne pilnai dezinfekuotas. Kadangi dirbtinio lieto akmens klizai yra pagaminti iš tos pačios medžiagos kaip ir pati medžiaga, jie nereikalauja sandarinimui skirtų silikoninių ar akrilinių medžiagų [4].

Todėl šio tyrimo tikslas yra ištirti B monochrominio ir A raštuoto dirbtinio lieto akmens, dviejų skirtingų laminuotos drožlių plokščių ir nerūdijančio plieno sanitarines savybes. Trijų tipų bakterijos buvo naudojamos tyrimui siekiant nustatyti ir palyginti bakterijų kiekį esantį ant paviršiaus prieš ir po plovimo.

4.1. Tyrimo eiga

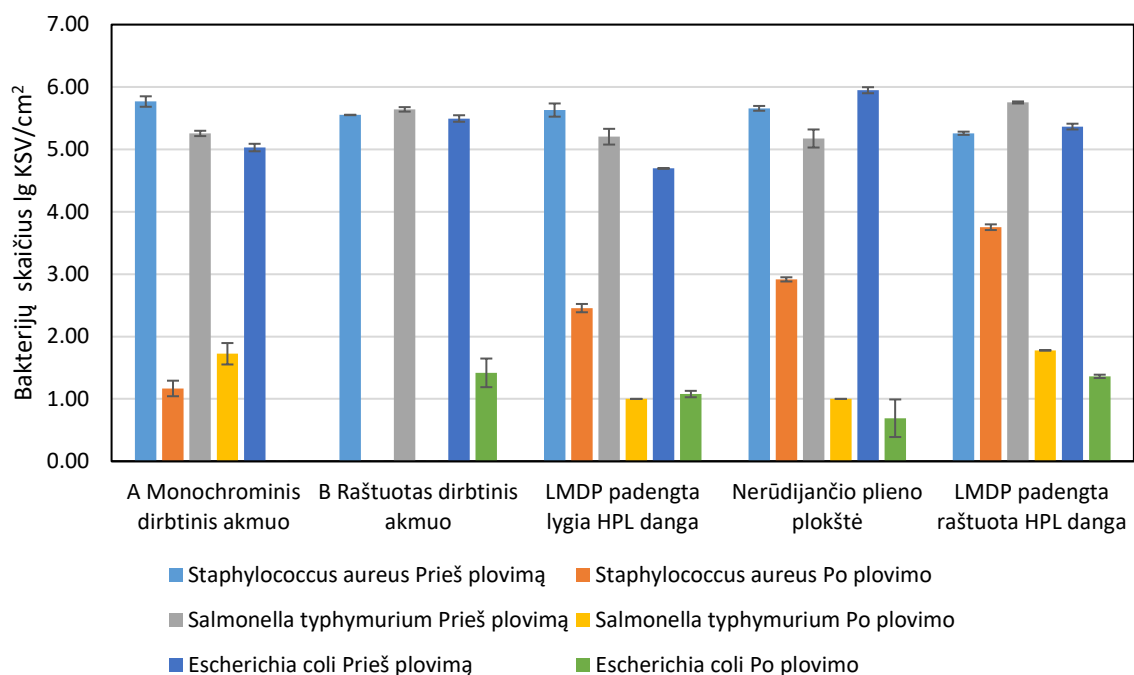
Tyrimams naudotos bakterijos: *Staphylococcus aureus* ATCC25923, *Salmonella typhimurium* ATCC14028, *Escherichia coli* ATCC25922.

Bakterijų ląstelių suspensijai paruošti bakterijų kultūros 18 h augintos 37 °C temperatūroje ant nuožulnios mitybos terpės (Plate count agar, Liofilhelm). Nuplauta bakterijų suspensija praskiesta pagal Mc Farland standartą Nr. 0,5. Pagamintos suspensijos 1 ml tolygiai paskleistas 200 cm² plote ir paliktas 25 min, kad bakterijos prisitvirtintų prie paviršiaus. Tuomet su steriliu vatos tamponėliu imami ploviniai nuo 100 cm² ir sėjami paviršiniu būdu ant atitinkamos terpės: *Staphylococcus aureus* bakterijos – Baird–Parker Agar Base terpės, *Salmonella typhimurium* – XLD terpės ir *Escherichia coli* – Eosin methylene base agar terpės. Likęs 100 cm² plotas nuplaunamas su sterilia drėgna šluoste ir nuo jo taip pat paaimami ploviniai ir sėjami ant aukščiau nurodytų terpių. Užsėtos lėkštelės inkubuotos 37 °C temperatūroje 24 val (*Staphylococcus aureus* ir *Salmonella typhimurium*) ir 72 val (*Escherichia coli*). Tyrimo metu ištyrus bandinius išvestas bakterijų kiekio logaritminis vidurkis ant kiekvienos medžiagos paviršiaus, prieš ir po plovimo, gauti rezultatai pateikti 3 lentelėje.

7 lentelė. Bakteriologinio tyrimo rezultatai, lg KSV/cm²

Medžiagos tipas	<i>Staphylococcus aureus</i>		<i>Salmonella typhimurium</i>		<i>Escherichia coli</i>	
	Prieš plovimą	Po plovimo	Prieš plovimą	Po plovimo	Prieš plovimą	Po plovimo
A Monochrominis dirbtinis akmuo	5.77	1.17	5.26	1.72	5.03	0.00
B Raštuotas dirbtinis akmuo	5.55	0.00	5.64	0.00	5.49	0.00
LMDP padengta lygia HPL danga	5.63	2.46	5.20	1.00	4.69	1.08
Nerūdijančio plieno plokštė	5.66	2.92	5.17	1.00	5.95	0.69
LMDP padengta raštuota HPL danga	5.26	3.75	5.75	1.78	5.37	1.36

Išsamūs palyginamieji rezultatai pateikti 28 paveiksle. A raštuotas ir B monochrominis dirbtinis lietas akmuo, kuris prieš plovimą turėjo 5.77/5.55 lg KSV/cm² (kolonijas sudarančių vienetų skaičius kvadratiniam centimetre), o po plovimo šis skaičius sumažėjo net iki 1.17/0 lg KSV/cm². Pastebėta, kad dirbtinis lietas monochrominis akmuo po plovimo neturėjo nei vienos bakterijos kvadratiniam centimetre. Po dirbtinio lieto akmens bandymo, sekė lmdp padengta lygia HPL danga, kuri prieš plovimą turėjo 5.63 lg KSV/cm², o po plovimo turėjo 2.46 lg KSV/cm². Atliekant bandymus su nerūdijančio plieno plokšte pastebėta, kad *Staphylococcus aureus* bakterijų kolonija puikiai išsilaikė po plovimo (2.92 lg KSV/cm²), nors ir turėjo mažiau bakterijų nei dirbtinis lietas akmuo prieš plovimą (5.66 lg KSV/cm²). Blogiausių rezultatus tyrime su šia bakterija parodė LMDP padengta banguota HPL plokštė, kuri prieš plovimą turėjo 5.26 lg KSV/cm², o po plovimo liko 3.75 lg KSV/cm².



28 pav. Bakterijų skaičius ant kiekvieno medžiagos paviršiaus

Antra bakterijų kolonija naudota šiam tyrimui *Salmonella typhymurium*. Taip pat kaip ir tyrime su *Staphylococcus aureus* bakterijų kolonija čia geriausias rezultatus parodė raštuotas dirbtinis lietas akmuo, kuris po plovimo neturėjo nei vienos bakterijos. Lmdp padengta lygia HPL danga ir nerūdijančio plieno plokštė prieš plovimą turėjo apie 5.30 lg KSV/cm², o po plovimo apie 1.73 lg KSV/cm². Su šia bakterija blogiausiai susidorojo monochrominis dirbtinis lietas akmuo ir LMDP padengta banguota HPL danga, kurios prieš plovimą turėjo apie 5.4 lg KSV/cm² o po plovimo liko 1.75 4 lg KSV/cm².

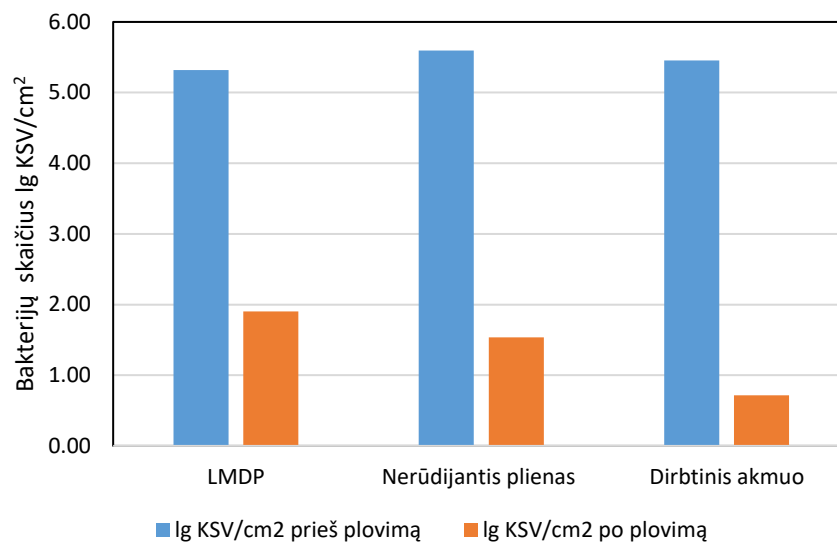
Paskutinė bakterijų kolonija naudota šiame tyrime buvo *Escherichia coli*, su kuria geriausias sanitarines savybes parodė monochrominis dirbtinis lietas akmuo, kuris prieš plovimą turėjo 5.03 lg KSV/cm², o po plovimo ant nuvalyto paviršiaus neliko nei vienos bakterijos. Nuo monochrominio dirbtinio lieto akmens sanitarinėmis savybėmis neatsiliko nerūdijančio plieno plokštė, kuri prieš plovimą turėjo 5.95 lg KSV/cm², o po plovimo liko tik 0.69 KSV/cm². Kitaip nei prieš tai naudotuose bakterijų kolonijose prastesnes sanitarines savybes parodė raštuotas dirbtinis lietas akmuo, kuris prieš plovimą turėjo 5.49 lg KSV/cm², o po plovimo 1.42 lg KSV/cm². Abi LMDP parodė apytiksliai vienodus rezultatus - 5.0 lg KSV/cm² prieš plovimą ir 1.22 lg KSV/cm² po plovimo.

Gavus aukščiau aptartus duomenis buvo išvesta bendra visų trejų bakterijų kolonijas sudarančių vienetų skaičius kvadratiname centimetre vidurkis prieš ir po plovimo, skaičiuojant bendrą dirbtinio lieto akmens, LMDP ir nerūdijančio plieno vidurkį.

8 lentelė. Bendra visų trejų bakterijų kolonijas sudarančių vienetų skaičius kvadratiname centimetre vidurkis prieš ir po plovimo

Medžiagos tipas	lg KSV/cm ² prieš plovimą	lg KSV/cm ² po plovimą
LMDP	5.32	1.90
Nerūdijantis plienas	5.59	1.54
Dirbtinis lietas akmuo	5.46	0.72

Gavus šiuos duomenis nustatyta, kad dirbtinis lietas akmuo šiame mikrobiologiniame tyrime naudojant bakterijas *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli* pasiekė geriausias sanitarinius rodiklius. Po dirbtinio lieto akmens sekė nerūdijantis plienas. Tuo tarpu šiame tyrime su visomis trejomis bakterijomis prasčiausiai susidorojo LMDP. Apibendrinti bakteriologinio tyrimo rezultatai pateikti 29 paveiksle.



29 pav. Apibendrinti bakteriologinio tyrimo rezultatai

Remiantis atliktais tyrimais, galima padaryti išvadą, kad lyginant dirbtinio lieto akmens, LMDP ir nerūdijančio plieno sanitarines savybes. Po paviršiaus valymo mažiausią bakterijų skaičių turėjo dirbtinis lietas akmuo.

5. Šlifavimo proceso automatizavimas

5.1. Automatizacija

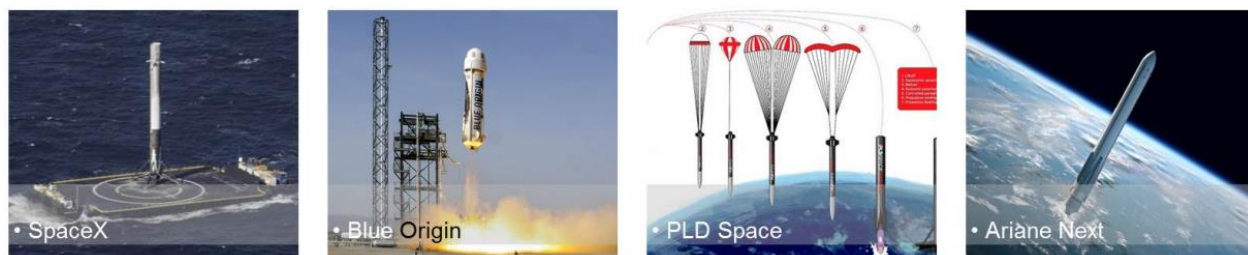
Vienas iš pagrindinių aspektų, norint patobulinti gamybos procesą yra gamybos technologinis progresas. Norint pagerinti gamybos apimtį, greitį ir sumažinti gamybos kaštus, reikia tobulinti gamyboje vykstančius procesus. Efektyviausias būdas tai padaryti yra spartinti techninę pažangą, pasitelkus į pagalbą automatizavimo procesą. Lietuviški žodžiai „automatizacija“ ir „automatika“ prasidėjo iš graikiško žodžio „automatos“, kuris reiškia savaveikis, savaeigis. Tačiau per laiką šie žodžiai įgavo kitą prasmę. Automatika, tai technikos ir mokslo šaka apie valdymo sistemas, kurios veikia žmogui nedalyvaujant procese. Automatizacija – tai organizacinių, techninių ir įvairiausių priemonių kompleksas, šio komplekso dėka, žmogui nereikia tiesiogiai dalyvauti jo valdyme.

Kai gamybos procesai tampa automatizuoti, technologiniai objektai ir įrenginiai eksploatuojami ekonomiškiau, sumažėja nelaimingų atsitikimų ir profesinių susirgimų skaičius, pagerėja darbo sąlygos, darbo našumas tampa didesnis, sumažėja energijos medžiagų ir darbo sąnaudos, pagerėja gaminamos produkcijos kokybė.

Prietaisai, kurie valdo arba kontroliuoja įvairius gamybos procesus pagal nustatytus parametrus, sąlygas, visiškai arba dalinai išlaisvina gamybos darbuotoją nuo gamybos proceso valdymo funkcijų. Visi automatiniai prietaisai pagal funkciją gali būti suskirstyti į 3 rūšis – automatinės kontrolės, reguliavimo ir signalizavimo.

Automatinė kontrolė – tai plati priemonių ir metodų sfera, kuri palengvina gamybos proceso ar įrengimo stebėjimą, ar net visiškai pakeičia žmogų šiame darbe [29].

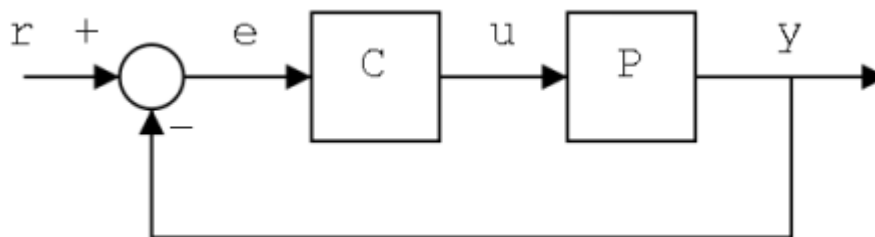
Vieną iš automatinės kontrolės pavyzdžių galima rasti, šiuo metu dideliais žingsniais technologiškai į priekį žengiančioje kosmoso pramonėje. Kai raketos nutupdymo ant paviršiaus sistemos dalinai išlaisvina žmogų nuo sunkaus ir patirties reikalaujančio proceso (30 pav). Šis nusileidimo metodas padeda raketas panaudoti iš naujo [30].



30 pav. Pagrindinės kosmoso industrijos kompanijos naudojančio automatinį raketų nusileidimą [30]

Automatizavime reguliavimo sistema yra vienas iš svarbiausių elementų. Automatinio reguliavimo pagrindinis uždavinys – be žmogaus pagalbos užtikrinti pačias optimaliausias technologinio proceso sąlygas.

Automatinio reguliavimo sistema (ARS) – tai valdymo sistema, kurioje egzistuoja grįžtamasis signalas, ryšys ir ji yra uždara (standartas DIN 19226).



31 pav. Uždaroji valdymo sistema, su grįžtamoju ryšiu [29]

ARS dažniausiai yra atsakinga už tris uždavinius:

1. Stabilizuoja parametrus, kurie yra reguliuojami. Parametrai gali būti medžiagų kiekis, apskukų dydis, vandens slėgis ir pan.
2. Reguliuoja vienas kitam priklausomus ir nepriklausomus dydžių santykius, tokius kaip variklio apskukas ir pastumą, vandens ir garo santykį katile ir pan.
3. Palaiko parametro vertę, pagal anksčiau nustatytą sąlygą ar dėsnį. Toks ARS sistemos ypatumas gali būti panaudotas temperatūrai reguliuoti, atliekant terminį dirbtinio akmens formavimą.

Automatinis signalizavimas - tai sistema, kuri nustato įrengimo kritines ribas arba tam tikrų verčių kontrolę [29].

5.2. Gamybos automatizavimas

Automatizuotos kokybės kontrolės, technologinio paruošimo, projektavimo ir kitos panašios sistemos plačiai diegiamos į gamybos procesą jau kurį laiką ir sujungiamos į bendrą gamybinį kompleksą. Dėl šios priežasties dažnai gamybos automatizavimas yra nagrinėjamas kaip viena kompleksinė sistema, apimant gamybos procesą, nuo gaminio technologijos sudarymo ir projektavimo iki kokybės kontrolės ir pateikimo galutiniam vartotojui.

Tačiau automatizuojant gamybos procesą reikia nustatyti gamybos automatizavimo lygį pagal gamybos apimtį ir naudojamas technines priemones. Gamybos priemonės galima suskirstyti į dvi grupes. Pirmą grupę – lengvai pritaikomi įvairioms gamybos sąlygoms, universalūs rankomis valdomi įrenginiai. Pavyzdžiui, formatinio pjovimo ar kitas universalias apdirbimo stakles galima panaudoti įvairiems produktams gaminti, tačiau šias stakles nuolat turi valdyti operatorius, kuris kontroliuoja staklių darbą (32 pav) [31].



32 pav. Universalių kombinuotų staklių iliustracija [32]

Antra grupė – „standžios“ automatizuotos linijos, dirbančios pastoviu tempu pagal tą pačią programą, kurių paskirtis gaminti vienos rūšies detales ar gaminius. „Standžios“ linijos dažniausiai pasižymi dideliu našumu ir užtikrina stabilumą gaminio kokybės atžvilgiu, nereikalaudamos didelio kiekio aptarnaujančio personalo (33 pav). Tokias gamybos linijas yra sunku suderinti, pasikeitus gaminamos produkcijos konstrukcijai [31].



33 pav. Laminavimo linija „BARBERAN“ įmonėje AB „Freda“ [33]

Visos kitos gamyboje naudojamos priemonės patenka į tarpinę vietą tarp šių dviejų grupių. Pagal tai, kaip gamybos darbuotojas buvo atleistas nuo valdymo ar kontrolės funkcijų, automatizavimą galima sąlyginai išskirti į penkis gamybos automatizavimo lygius [31].

Pirmas lygis – paruošimo ar apdirbimo ciklo automatizacija. Norint pagaminti kokybiškus gaminius pagal nustatytus matmenis, formas ir paviršiaus kokybės parametrus, automatizuotas apdirbimo linijos įrengimas automatiškai valdo įrengimo judesius ir nustato jo poslinkio nuoseklumą. Šitokio automatizavimo lygio pavyzdys – staklės su programiniu valdymu (PV). Šitokias stakles lengva perprogramuoti pasikeitus gaminamos produkcijos parametrams, taip pat jos pagreitina darbo našumą 2 ar netgi 4 kartus, lyginant jų našumą su rankinio valdymo staklėmis. Taip pat PV staklės sumažina etatų skaičių, medžiagos išėigą ir pagerina gaminamos produkcijos kokybę [31].

Antras lygis – detalių tiekimo ir išėmimo į stakles automatizavimas. Ši automatizavimo sritis yra labai efektyvi gamybos proceso greitinimo atžvilgiu, nes ji leidžia vienam operatoriui aptarnauti daugiau nei vieną įrengimą gamyboje, leidžia organizuoti ir modeliuoti kelių staklių aptarnavimo procesą. Pramoniniai robotizuoti įrengimai – tai tiekimo įrengimai, kurie yra universalūs ir greitai suderinami, jei įvyktų gaminamos produkcijos parametru pokyčiai ar pasikeistų gamybos tvarka. Apdirbant didelį kiekį detalių, kai nėra būtinybės dažnai perprogramuoti tiekimo įrenginių, galima rinktis iš paprasčiau detalių įkrovimo ir išėmimo įrengimų. Tipinis pavyzdys būtų Autooperatorius. Antro lygio automatizavimo procesui priskiriami ir robotizuoti technologiniai kompleksai (RTK), kai robotas geba aptarnauti keletą įrengimų gamyboje [31]. 34 paveikslėlyje pavaizduota CNC (PV) staklių „Homag“ ir (RTK) roboto komplekso vizualizacija.



34 pav. Automatizuotas kompiuterizuoto frezavimo kompleksas [34]

Trečias lygis – gamybos įrengimų ir pačio gamybos proceso diagnostinių priemonių automatizavimas. Šiame automatizavimo lygyje jutikliais nustatoma gaminamos produkcijos komponentų kokybė, gamybos įrengimų būseną ir vykdomas technologinio proceso derinimas. Kai pasiektas trečias automatizavimo lygis, jis suteikia galimybę vienam gamybos darbuotojui aptarnauti didesnę įrenginių kiekį. Šiame lygyje įrengimai gali dirbti vieną ar daugiau pamainų iš eilės, minimaliai prižiūrint operatoriui arba iš viso be žmogaus pagalbos, tačiau svarbu užtikrinti reikiamą detalių kiekį įrenginyje. LGM – lankstūs gamybiniai moduliai, taip pat priskiriami prie trečiojo automatizavimo lygio. Prie šių modulių priskiriami daugiaoperaciniai apdirbimo centrai su programiniu valdymu, įrengimai detalėms transportuoti ir diagnostikos įtaisai. Visus šiuos įrengimus valdo centralizuotas valdymo blokas [31].

Ketvirtas lygis – įrengimų derinimas pasitelkiant automatizuotas sistemas. Kai pradedamas gaminti naujas gaminys ar detalė, būtina perreguliuoti įvairius mechanizmus ar net pakeisti įtaisus gamyboje. Tai atliekant rankiniu būdu šis procesas gali užtrukti kelias valandas, pamainas ir daugiau laiko. Kai dažnai derinami įrengimai, laiko nuostoliai tampa didesni ir sumažėja operatoriaus aptarnaujamų įrengimų skaičius. Todėl svarbu tobulinti gamybos įrengimų, tiekimo mašinų, įrankių ir kontrolės prietaisų, režimų ir apdirbimo ciklų nustatymų metodus. Pasitelkus automatizavimo procesą, suderinti gamybos kompleksą kitoms detalėms ar kitai gaminamai produkcijai galima, kai kompleksas yra sudarytas iš įrengimų, kurių komponentai gali būti keičiami. Pavyzdžiui roboto griebtai, ar įrankiai apdirbimo staklių dėtuovėje. Pasiekus ketvirtą automatizavimo lygį gaminyje esančios detalės ir mazgai gali būti gaminami pagal nustatytą nuoseklumą ir kiekį. Šio patobulinimo dėka sumažėja neužbaigtos gaminti produkcijos apimtys, sutrumpėja produkcijos gamybos ciklas, padidėja įrengimų darbo apkrovos koeficientas [31].

Penktas lygis – lanksti gamybos sistema (LGS). Tai programiškai valdomų technologinių įrengimų, LGM, RTK (robotizuoti tiekimo kompleksai) derinių kompleksas, galintis automatiškai prisitaikyti prie įvairių gaminio charakteristikų, pokyčių gamyboje. Penktajame automatizavimo lygyje dirba programinio valdymo staklės, kurios nepriklauso viena nuo kitos, detalės be jokių trikdžių transportuojamos tiekimo sistemomis, gamybos įrenginių funkcijos koordinuojamos kompiuterizuotomis informacinėmis ir valdymo sistemomis. Lankščios gamybos sistemos (LGS) komplekse vienu metu gali sinchroniškai veikti kelios ar keliolika gręžimo, tekinimo ar frezavimo apdirbimo centrų su PV. Taip pat eksploatuojami daugiafunkciniai įrengimai, aprūpinti palydovinio tipo kaupikliais

ruošiniams, kurie yra aprūpinti adaptyviojo valdymo ir kompiuterizuotos diagnostikos sistemomis. Tokie technologiniai kompleksiniai moduliai gali dirbti ilgą laiką be žmonių pagalbos [31].

Norint automatizuoti gamybą įmonėje, reikia atkreipti dėmesį, kad gamybos procesų ir įrengimų automatizavimo lygis labai susijęs su organizavimo lygiu įmonėje. Kartais įdiegtos staklės su PV ar izoliuoti lankstūs gamybiniai moduliai būna neefektingi, dėl netinkamų techninių reikalavimų gamybos organizacinėje sistemoje [31].

Dažniausiai minimi pagrindiniai automatizuotos gamybos efektyvumo rodikliai:

1. Padidėjęs darbo našumas [31].
2. Sumažėjusi gaminamos produkcijos savikaina [31].
3. Ekologiškumas [31].
4. Sutrumpėjęs gamybos darbo ciklas [31].
5. Pagerėjusios darbo sąlygos [31].
6. Pagerėjusi detalių ar produkcijos kokybė [31].

Tačiau kiekvienas iš aukščiau išvardytų automatizavimo rodiklių glaudžiai priklauso nuo sąlygų gamyboje. Būna, kad gamyba automatizuojama tik dėl vieno iš šių išvardytų rodiklių. Tačiau pagrindinis dalykas, kurį norima pasiekti automatizuojant gamybą yra pelnas. Norint, kad įmonė pasiektų aukštą ekonominę efektyvumą, automatizavimo procesas turi sutapti su įmonės gamybos mastais. Yra trys gamybos tipai pagal gaminamos produkcijos mastą – vienetinė, masinė ir serijinė [31].

Masinei gamybai yra būdinga naudoti našius ir specializuotus įrengimus, kurie dažnai atlieką vieną ar kelis veiksmus ir yra sunkiai perderinami pasikeitus detalės parametrams ar net gaminamai produkcijai. Tačiau masinės produkcijos linijos yra labai našios ir dirbą sinchronizuotai, perduodamos produkciją transporteriais iš vienu ar kitų staklių. Sugedus nors vienam šios linijos įrengimui, linija stoja ir produkcijos gamyba sustoja. Masinės gamybos tipas labai paplitęs automobilių (35 pav), korpusinių baldų ir guolių pramonėje. Pakeitus gaminamą produkciją įmonėje, dažnai masinei gamybai sukurtos linijos tampa nebepanaudojamos, todėl jos privalo atsipirkti per visą jų eksploatacijos laiką. Masinės produkcijos linijoms keliami reikalavimai – ilgas eksploataavimo laikas, įrengimų patikimumas ir didelis našumas [31].



35 pav. Masinės produkcijos pavyzdys automobilių giga-fabriko „Tesla“ [35]

Serijinė gamyba yra skirstoma į smulkiaserijinę ir stambiaserijinę. Stambiaserijinė gamyba gamina produktus turinčius ribotą laiką, kurį nulemia produkcijos moralinis pasenimas. Tokios produkcijos paruošimui yra skiriama mažai laiko. Pagalbiniai ir technologiniai įrengimai turi pasižymėti patikimumu, našumu ir universalumu. Nuo šių parametrų priklauso gamybos išlaidos ir pagamintos produkcijos savikaina. Aukščiau paminėtas savybes turi pusiau automatiniai ir automatiniai įrengimai su programiniu valdymu [31].

Smulkiaserijinėje gamyboje atvirkščiai nei masinėje ar stambiaserijinėje gamyboje įrengimai dažnai perreguliuojami kiekvieną pamainą. Dėl šios priežasties smulkiaserijinio tipo gamyklose dominuoja įrengimai su programiniu valdymu, kurie formuojami į barus pagal įrengimo atliekamas funkcijas arba įrenginio technologinius sugebėjimus, formuojant gamybos kelią. Tokio tipo gamyklose dažnai galima išvysti universalius centrus su PV. Universalūs centrai su PV pasižymi gebėjimu automatiškai keisti darbo įrankius pagal paskirtį ir gali atlikti didelį kiekį skirtingų operacijų iš įvairių detalės pusių. Automatizuoti vienetinę ar smulkiaserijinę gamybą yra efektyvu tik tada, kai turi būti atliekamos daug darbo reikalaujančio ir sudėtingos operacijos [31].

5.3. Šlifavimo ir poliravimo procesas

Gamybos pramonėje mechaninis gaminių poliravimas ir šlifavimas vis dar užima svarbų vaidmenį norint pasiekti norimą paviršiaus kokybę ir galutinius geometrinius parametrus. Nepaisant dabartinio automatizavimo ir inovacinių technologijų gamyboje, daugelyje įmonių, ypač smulkiaserijinėse ir vienetinėse, šlifavimas atliekamas rankiniu būdu. Rankinis šlifavimas dažnai reikalauja aukštos kvalifikacijos ir gerai apmokyto personalo, nes ši gamybos operacija glaudžiai susijusi su kruopštumu ir kokybe. Taip pat rankinis šlifavimas dažnu atveju padidina profesinių susirgimų skaičių, nes personalas dirba sveikatai pavojingoje sferoje dėl didelio kiekio dulkių, įrankių sukeliamų vibracijų ir triukšmo [36]. Dėl įrankių sukeliamų vibracijų gali išsivystyti raumenų ir kaulų sistemų ligos, tokios kaip galūnių pabalimas, nekontroliuojamas galūnių drebinimas ir kitos [37].

Gaminių iš lieto dirbtinio akmens gamybos pramonėje didelis dėmesys skiriamas paviršiaus kokybei ir gaminio geometrijai. Įmonių dirbančių su dirbtiniu lietu akmeniu produkcija dažnu atveju yra vienetinė ar smulkiaserijinė, todėl šiose įmonėse dažnai galima pamatyti CNC ar formatinio pjovimo centrų su PV, kurie būna suskirstyti į barus pagal organizacinę gamybos maršrutą. Tačiau nepaisant to, kad įmonės gaminančios gaminius iš lieto dirbtinio akmens neatsilieka nuo technologinių tendencijų, šlifavimo ir poliravimo procesai vis dar dažnai yra atliekami ranka. Įmonėje pasiekus pirmąjį automatizavimo lygį ir automatizavus šlifavimo procesą įdiegiant šlifavimo, poliravimo stakles su PV galimai našumas padidėtų 2 arba 4 kartus, lyginant su šlifavimu rankiniu būdu [31].

2020 metais atlikto tyrimo „Corian® šlifavimo metu išmetamų teršalų sudėtis naudojant skirtingus švitrinis popierius“ [38] rezultatai parodė, kad iš rinkoje dominuojančio „Corian®“ įmonės gaminto dirbtinio akmens 0.6%, 2.5%, 3.3%, ir 2.0% pašalintos masės, pjovimo ir šlifavimo įvairiomis abrazyvinėmis medžiagomis metu, yra įkvepiamos dulkės. Pjovimo metu išskirtos dulkės, savo dydžiu labai skyrėsi nuo šlifavimo metu išskiriamų dulkių, tai parodo, kad išskiriamų dulkių dalelių kiekis labai priklauso nuo medžiagos apdirbimo proceso. Pastebėta, kad dulkių konsistencijoje esantis aliuminis nėra švitrinio popieriaus problema, tai reiškia, kad šveitimo metu į orą patenkančios aliuminio dalelės pasklinda iš lieto dirbtinio akmens. Švitriniam popieriui esantis aliuminio oksidas prisideda nežymiai prie aliuminio kiekio, kurį išskiria lietas dirbtinis akmuo šlifavimo procese. Aliuminio (III) oksido (ATH) kiekis, šlifavimo ir pjovimo proceso metu, įkvėptose dulkėse svyruoja nuo

72,8% iki 84,2%, tai patvirtina, kad lieto dirbtinio akmens sudėtyje dominuoja ATH. PMMA yra pagrindinis lakusis organinis junginys, kuris išsiskiria šlifuojant ar pjaunant lieta dirbtinį akmenį, tačiau pjovimo metu išsiskiria daug didesnis kiekis PMMA [38].

Lieto akmens šlifavimo ir poliravimo specialistas gamybos procese privalo gerai išmanyti šlifavimui skirtus įrankius ir abrazyvinius popierius. Lieto dirbtinio akmens apdirbimas abrazyvinėmis medžiagomis turi vieną pagrindinį tikslą – pagerinti gaminio išvaizdą pagal užsakovo pasirinktą poliravimo tipą, nes lieto dirbtinio akmens paviršius yra viena iš pagrindinių vietų, kurią pastebi vartotojas.

Įrankiai ir priemonės naudojami dirbtinio akmens poliravimo ir šlifavimo procesui:

1. Ekscentrinis šlifuoklis [39].
2. Poliravimo diskų rinkinys: 100 μ , 60 μ , 30 μ , 15 μ (μ - mikronai) [39].
3. Šlifavimo popierių rinkinys: P 150, P240, P400, P600 ir P1000 [39].
4. Vanduo ir šluostė [39].
5. Poliravimo pasta, avies kailio poliravimo diskai (naudojami tik tada kai norima pasiekti didelį blizgumą laipsnį) [39].

Pagal „Corian®“ gaminamo lieto dirbtinio akmens nurodymus „Poliravimas ir užbaigimas“ [39] lieto dirbtinio akmens gaminiai gali būti užbaigti šiais keturiais būdais – matinis, pusiau blizgus, blizgus arba labai blizgus [39]. Blizgumą galima nustatyti panaudojus blizgomatį, kuris blizgumą matuoja procentais nuo 1 iki 100 (žr. lentelę 9).

9 lentelė. Blizgumo skalė %, naudojant „NOVO-GLOSS LITE“ blizgomatį

Paviršiaus užbaigimo tipai	Blizgumas (%)
Labai blizgus	99-100
Blizgus	60-98
Pusiau blizgus	36-59
Pusiau matinis	11-35
Visiškai matinis	0-10

Matinis užbaigimas – didžioji dalis šviesios spalvos lieto dirbtinio akmens stalviršių yra poliruojami matiškai, kad stalviršis būtų lengvai eksploatuojamas. Nepatartina matiškai poliruoti tamsaus atspalvio dirbtinio akmens, nes eksploatavimo metu, ant stalviršio po kontakto su ranka lieka riebalų žymės, kurios tampa ryškiai matomos. Tačiau jei norima tamsios spalvos lieta dirbtinį akmenį užbaigti matiškai, poliravimo procesas yra toks pat kaip ir šviesios spalvos. Jeigu paviršius yra nesubraižytas ir be jokių defektų, po transportavimo matinį lieto dirbtinio akmens užbaigimą galima pasiekti paviršių nušlifavus naudojant P240 ir P400 abrazyvinį popierių, šlifavimo metu ekscentrinį šlifuoklį išlėto sukamaisiais judesiais judinant nuo apačios į viršų ir atgal.

Pusiau blizgus užbaigimas – su šviesiomis dirbtinio akmens spalvomis, pusiau blizgus užbaigimas pasiekiamas panašiai kaip ir matinis, tik po šlifavimo su P400 abrazyviniu popieriumi papildomai paviršius yra blizginamas 100 μ poliravimo disku, o jei lieto dirbtinio akmens spalva yra tamsi poliravimas užbaigiamas 80 μ poliravimo disku.

Blizgus užbaigimas – tai pats blizgiausias užbaigimo būdas, kuris atrodo estetiškiausiai iš visų užbaigimo būdų. Tačiau eksploatacinės šio užbaigimo savybės yra labai prastos, įbrėžimai matosi žymiai labiau lyginant su prieš tai išvardytais užbaigimo būdais, taip pat kontakto vietos su ranka matosi tiek ant tamsaus tiek ant šviesaus lieto dirbtinio akmens paviršiaus. Dėl šių priežasčių nerekomenduojama

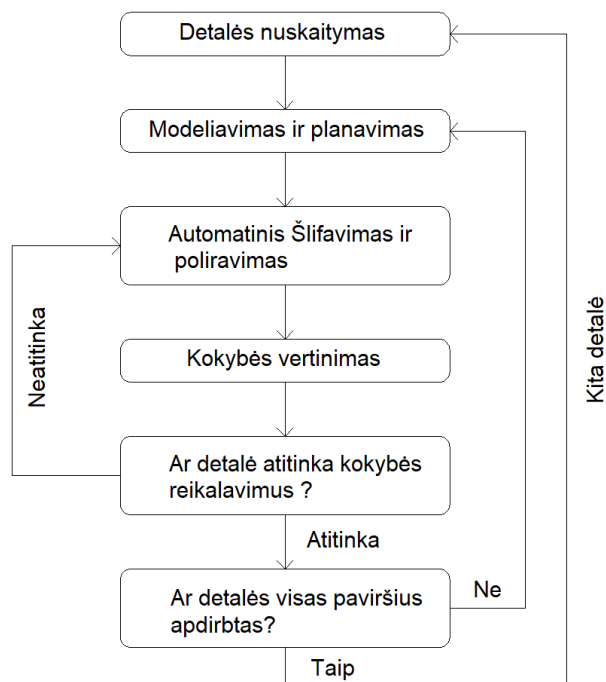
šio užbaigimo būdu apdirbto dirbtinio akmens naudoti viešose vietose, kur gaminys bus eksploatuojamas dažnai ir be priežiūros. Blizgus užbaigimas su šviesia dirbtinio akmens mase užbaigiamas P600 abrazyviniu popieriumi ir 15 μ poliravimo disku. Tamsios medžiagos užbaigimas panašus, tik pabaigai paviršius nupoliruojamas avies kailio poliravimo disku, pasitelkus vandenį ir poliravimo pastą į pagalbą [39]. Taip pat poliravimo ir šlifavimo procese visada svarbu valyti arba keisti abrazyvines medžiagas, nes šveičiant dirbtinį akmenį jos apsineša labai greitai.

Dėl aukščiau išvardytų našumo ir saugios darbo aplinkos sumetimų ir sudėtingai ilgo šlifavimo ir poliravimo proceso, dėl ekonominių ir socialinių sumetimų yra efektyvu dalinai arba visiškai automatizuoti šį procesą. Sumažinant lieto akmens pramonės specialistams profesinių ligų ir susirgimų skaičių, tuo pačiu pagerinant gaminamų detalių kokybę ir našumą.

5.4. Sprendimai ir rekomendacijos

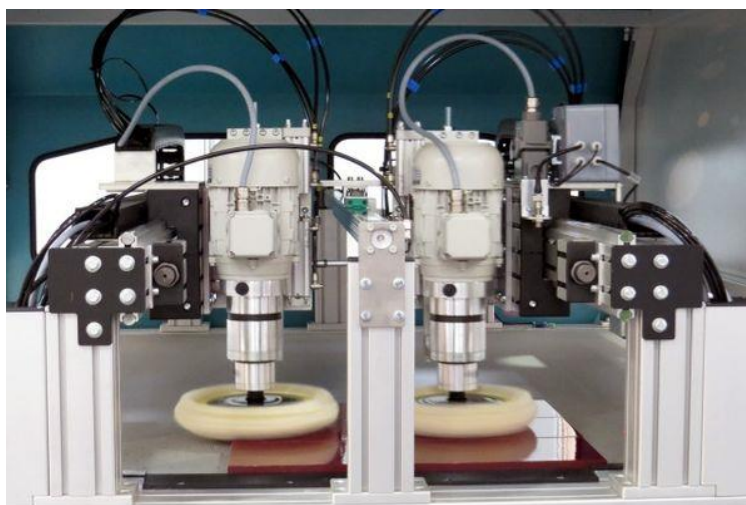
Išsikėlus tikslą automatizuoti šlifavimo procesą, siūloma dalinai automatizuoti rankinį šlifavimo procesą, panaudojus paviršinio šlifavimo ir poliravimo stakles „Gottschild HBS“ su PV. Kaip ir minėta anksčiau, įmonės gaminančios produkciją iš lieto dirbtinio akmens dažniausiai yra smulkiaserijinės arba vienetinės. Dėl dažnai besikeičiančios gaminamos produkcijos charakteristikos robotizuoti įrenginiai ar robotai manipulatoriai gali būti neefektingi, nes perreguliuojami procesai truktų per ilgai. Kadangi automatinio pjovimo ir frezavimo centrai su PV yra pasiteisinę lieto dirbtinio akmens gamyboje, daroma išvada, kad universalus poliravimo ir šlifavimo centras taip pat padidintų gamybos automatizacijos lygį.

Paviršiaus šlifavimo staklės jau kurį laiką naudojamos baldų ir medienos dirbinių gamyboje. Tačiau lietas dirbtinis akmuo turi būti šlifuojamas sukamaisiais judesiais, dėl šios priežasties baldų gamyboje naudojami juostiniai šlifavimo įrenginiai netinkami. Lieto dirbtinio akmens paviršiaus šlifavimui įrengimas turi gebėti sukamaisiais judesiais judėti trejomis X, Y ir Z ašimis, nustatyti paviršiaus defektus ir nelygumus, sumodeliuoti šlifavimo proceso eigą ir įvertinti apdirbtos detalės kokybę (36 pav.).



36 pav. Automatinio poliravimo ir šlifavimo centro su PV struktūra [40]

Kadangi lietas dirbtinis akmuo gali būti apdirbamas naudojant universalius ar medienos pramonėje skirtus įrankius, rinkoje retai atsiranda dirbtiniam akmeniui specializuotų įrengimų. „Gottschild HBS“ (37 pav.) - tai universali šlifavimo ir poliravimo mašina su PV, kuri yra specializuota lieto dirbtinio akmens poliravimui.



37 pav. „Gottschild HBS“ automatinio šlifavimo ir poliravimo centras su PV [41]

„Gottschild HBS“ apdirbimo centro privalumai:

1. Apdirbimo metu sinchroniškai judantys 2 sukimosi velenai su keičiamomis galvomis, suteikia galimybę greičiau nei rankiniu būdu apdirbti detalės paviršių. Taip pat automatinis abrazyvinio disko nupurtymas prailgina abrazyvinio popieriaus tarnavimo ciklą.
2. Įrengimo korpuse įrengti jutikliai ir davikliai, automatiškai atpažįsta detalės spalvą, dydį ir formą, kurie sumažina darbo krūvį operatoriui, dėl žmogiškojo faktoriaus padarytų klaidų skaičių ir padidina našumą.
3. Vakuuminis stalas. su guminiu paviršiumi, neleidžia detalei judėti nuo sukimosi veleno sukeliamų ekscentrinių jėgų.

10 lentelė. Techniniai „Gottschild HBS“ parametrai [41]

Įrengimo darbinis gabaritas mm	4000x1300x100
Veleno apsisukimų skaičius per minutę	6000-12000
Variklio galingumas kW	1.2
Įrengimo svoris kg	100
Valdymo blokas	„Graphic 7“
Įrengimo užimamas plotas m ²	6.3

Tačiau paviršiaus šlifavimo staklės turi kelis trūkumus – vienu metu galima apdirbti tik vieną medžiagos pusę ir neįmanoma apdirbti detalės kraštų. Todėl lieto dirbtinio akmens šlifavimo ir poliravimo procesas tampa tik iš dalies optimizuotas. Tačiau lieto dirbtinio akmens gaminiuose kraštai užima labai nedidelį plotą lyginant su paviršiumi, pavyzdžiui apdirbant 12 mm storio ir 1.2 m² pločio stalviršį, kraštų šlifavimas sudaro tik 25 % viso stalviršio šlifuojamos dalies ploto, vadinasi šios staklės atliktų 3/4 likusio šlifavimo proceso. Kadangi šlifavimo ir poliravimo proceso greitis labai priklauso nuo specialisto kvalifikacinio lygio ir nuo gaminio formų ir geometrijos, sunku nustatyti kokį

šlifavimo plotą gali apdirbti vienas darbuotojas per vieną pamainą. Tačiau galima preliminariai palyginti našumo padidėjimą prieš ir po šlifavimo automatizavimo. Jeigu specialistas per pamainą gali apdirbti 6 m² paviršiaus ploto, tada staklės dirbančios tokiu pat našumu kaip ir darbininkas, per pamainą padarytų daugiau, dėl gebėjimo vienu metu šlifuoti dvejais skirtingais abrazyviniais popieriais. Taip pat jos sumažintų abrazyvinio popieriaus sunaudojimą ir profesinių susirgimų skaičių dėl dulkių, garso ir vibracijų sukeltų ligų.

6. Ekonominė dalis

6.1. Paviršiams formuoti naudojamų medžiagų palyginimas

Šiuolaikinėje baldų ir jų komponentų gamyboje egzistuoja didelė variacija medžiagų: medienos plaušų plokštės (MDF), medienos drožlių plokštės (MDP), klijuotos beržinės ar fenolio plėvele dengtos faneros, plastikų, akmens masės, lieto dirbtinio akmens ir kitos. Baldo eksploatacinio periodo metu pastebima, kad darbatalis yra vienas labiausiai naudojamų baldo dalių. Darbatalis – tai plokščias paviršius, dažniausiai naudojamas virtuvėse, ofisuose, baruose ar klientų priėmimo skyriuose kur yra reikalingas plotas konkrečioms funkcijoms atlikti. Kuriant saugų, ergonomišką ir išmanų busto ar namo interjero dizainą, labai didelis dėmesys yra skiriamas virtuvės baldams. Virtuvė nėra tik patalpa maisto ruošimui, virtuvė dažnai naudojama kaip šeimos kambarys, sandėliukas ir valgomasis, todėl ši patalpa dažnu atveju namuose tampa pagrindinis veiklos centras. Didžioji dalis namų šeiminių virtuvėje gamindamos maistą ar užsiimdamos kitomis veiklomis, virtuvėje praleidžia nuo keturių iki penkių valandų per parą [42]. Šiame projekte atliktame mikrobiologiniame tyrime buvo tirtos trys populiarios virtuvės baldams gaminti naudojamos medžiagos – lietas dirbtinis akmuo, nerūdijantis plienas ir LMDP. Šios medžiagos pasižymi skirtingomis kainomis ir sudėtimi. Todėl buvo nuspręsta palyginti šių medžiagų teigiamas ir neigiamas savybes, formavimo galimybes, pabrėžti sanitarinių savybių svarbą ir sudaryti SSGG analizę.

Norint išanalizuoti kokiomis savybėmis pasižymi šios medžiagos ir kokius pranašumus jos gali pasiūlyti kuriant virtuvės baldą, buvo nuspręsta atlikti šių medžiagų eksploatacinę analizę, kurioje analizuojama virtuvės stalviršio vartotojui aktualūs parametrai, kaip atsparumas karščiui ir vandeniui, formavimo ir dizaino galimybės, sanitarinės savybės, stalviršio atnaujinimo ir jungimo tarpusavyje galimybės.

Lietas dirbtinis akmuo – šis kompozitas pasižymi didele spalvų ir raštų gama, kuri varijuoja nuo monochrominių spalvų iki betono ar medžio imitacijos. Terminio formavimo metu naudojant įvairias formas ir presą, galima išgauti įvairias formas. Šis procesas dažnai naudojamas praustuvės, vonios, dušo padėklų ir įvairių formų stalviršių gamybai. Lietas dirbtinis akmuo neturi porų, dėl to į paviršius, neišgeria vanduo ar kiti skysčiai [2]. Tačiau ant raštuotų medžiagų siūloma vengti naudoti stiprius chemikalus, balinimo medžiagas ar dažų skiediklius, nes šie skysčiai gali sureaguoti su sudėtyje esančiomis pigmentinėmis medžiagomis. Ši medžiaga nepasižymi dideliu atsparumu karščiui (iki 100°C), todėl siūloma vengti ant šio paviršiaus dėti karštus daiktus, kaip puodus, keptuves ar virdulius [43]. Nepaisant mažo atsparumo karščiui šią medžiagą labai lengva remontuoti, net po ilgo eksploatacinio periodo ir stalviršio nenuėmus nuo baldo. Subraižymus galima lengvai perpoliruoti, o įvykus stalviršio lūžiui galima lengvai jį suremontuoti dedant tos pačios medžiagos pleištą. Kalbant apie jungimo tarpusavyje galimybes, šios medžiagos klėjai yra sudaryti iš tų pačių medžiagų kaip ir stalviršis, todėl jungimo vietos yra visiškai nematomos.[2] Tačiau siūloma vengti tarpusavyje klijuoti raštuotas medžiagas, nes dažnu atveju klėjavimo vietoje raštai gali nesueiti (38 pav.).



38 pav. Raštuotos medžiagos kljavimo atvejai

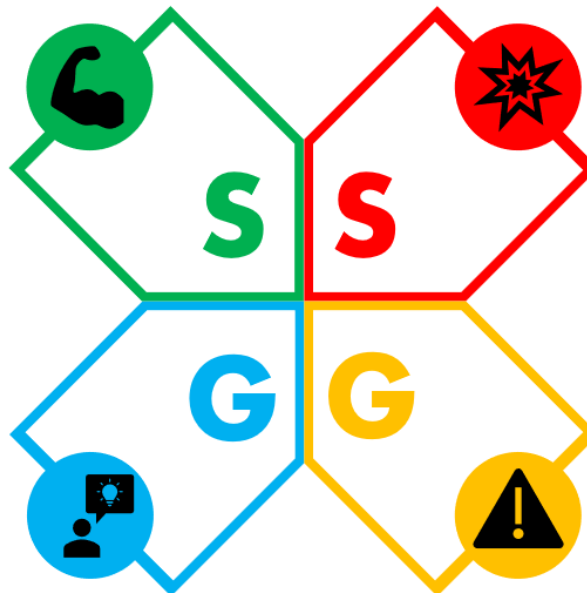
Atsižvelgus į aprašytas savybes, buvo sudaryta lieto dirbtinio akmens SSGG analizė, kurioje trumpai sakiniiais įvardytos kompozito stiprybės, silpnybės, galimybės ir grėsmės. (39 pav.).

Stiprybės

- Didelės spalvų ir raštų variacijos.
- Neturi porų.
- Atsparus skysčiams.

Galimybės

- Dėl didelės spalvų ir raštų variacijos galimos neribotos dizaino galimybės.
- Medžiagos pažeidimus galima suremontuoti net po ilgo eksploatacinio periodo.



Silpnybės

- Mažas atsparumas karščiui.
- Raštuotos medžiagos neatsparios kai kurioms cheminėms valymo priemonėms.

Grėsmės

- Raštuotų medžiagų kljavimo metu, medžiagos raštai gali nesueiti tarpusavyje.
- Abrazyvinės valymo priemonės gali subraižyti medžiagos paviršius.

39 pav. Lieto dirbtinio akmens darbatalio SSGG analizė

Laminuota medžio drožlių plokštė (LMDP) – ši medžiaga yra vienas ekonomiškiausių sprendimų renkantis virtuvės stalviršį. Taip pat šios medžiagos dizaino galimybės yra labai plačios, kuriant dizainą galima rinktis iš plačios paletės monochrominių spalvų gamos, medžio, metalo, betono imitacijų su įvairiausiais raštais ir išraižymais. LMDP negalima pritaikyti jokio lenkimo proceso norint išgauti įvairias formas, nes ši medžiaga nėra lanksti. Šios medžiagos paviršius atsparus vandeniui ir kitiems skysčiams, dėl drožlių plokštę saugančio laminato. Tačiau vanduo gali prasiskverbti per paviršiaus pažeidimus ar nesandarius kraštus ir deformuoti medžiagą. Ši medžiaga kaip ir lietas dirbtinis akmuo nėra labai atspari karščiui (iki 160 °C), tačiau galima rinktis iš karščiui atsparių LMDP, taip pagerinant šią savybę. Vienas iš svarbių aspektų yra medžiagos remonto galimybės eksploatacinio periodo metu, LMDP pažeidimo ar subraižymo metu neįmanoma remontuoti, jei ši medžiaga susigadina ją reikia keisti nauja. LMDP kljavimo galimybės ribotos, šios medžiagos kljavimo siūlės yra lengvai pastebimos ir turi būti užsandarintos specialiomis sandarinimo medžiagomis, norint išvengti

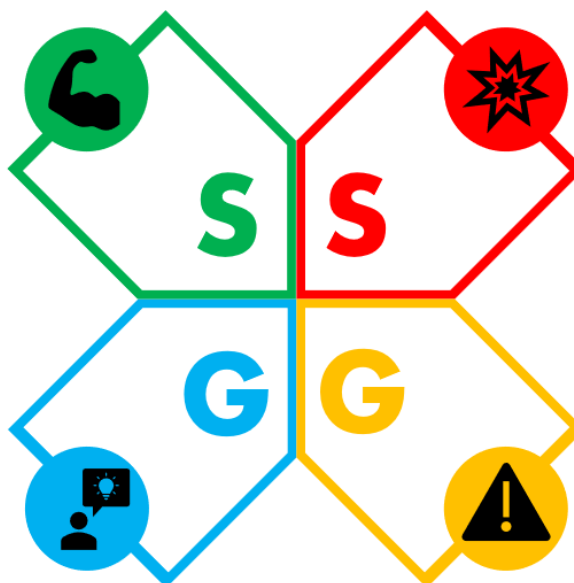
vandens daromos žalos paviršiui [44]. Aptarus šios medžiagos savybes ir trūkumus buvo sudaryta LMDP SSGG analizė (40 pav.).

Stiprybės

- Didelė spalvų ir raštų variacija.
- Ekonomiškas.
- Atsparus skysčiams.

Galimybės

- Dėl didelės spalvų ir raštų variacijos galimos neribotos dizaino galimybės.
- Galima rinktis iš drėgmei, karščiui atsparių LMDP.



Silpnybės

- LMDP negalima termiškai formuoti.
- Neremontuojamas.
- Klijavimo vietos visada matomos.

Grėsmės

- Atsiradus kraštų dangos pažeidimams, padidėja vandens daromos žalos grėsmė.
- Tarpas tarp sienos, stalviršio ir jungimo vietose turi būti užsandarintas specialiomis sandarinimo priemonėmis, norint išvengti vandens daromos žalos.

40 pav. LMDP darbatalio SSGG analizė

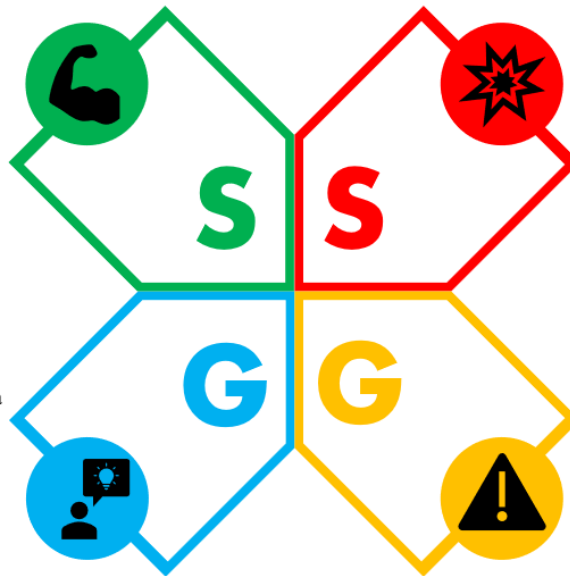
Nerūdijantis plienas – ši paviršiams formuoti skirta medžiaga yra labai plačiai naudojama viešo maitinimo įstaigų virtuvėse, retai šią medžiagą renkamasi kaip namų virtuvės stalviršį. Namuose gaminti stalviršį iš nerūdijančio plieno yra nepopuliaru dėl mažo spalvų pasirinkimo, galimi tik keli paviršiaus išvaizdą keičiantys šlifavimo būdai. Tačiau lyginant šią medžiagą su lietu dirbtiniu akmeniu ar LMDP ši medžiaga atlaiko daug didesnę karštį, nerūdijančio plieno plautuvės, stalviršiai ir sienos gali atlaikyti iki 870 °C temperatūros (temperatūra gali nežymiai varijuoti dėl nerūdijančio plieno skirtingų sudėčių). Nerūdijantis plienas jau ilgą laiką naudojamas virtuvėje naudojamų plautuvių gamyboje, dėl šios medžiagos lankstumo galimybių. Pasinaudojus presais ir lenkimo formomis, kambario temperatūroje su šios medžiagos lakštais, prie tam tikrų veikiamų jėgų, gali būti formuojami į įvairias geometrines formas. Taip pat ši medžiaga yra atspari virtuvėje naudojamiems skysčiams ir stiprioms valymo priemonėms. Kaip ir lieta dirbtinį akmenį taip ir nerūdijantį plieną norint išlaikyti nesubrūžytu paviršiumi nerekomenduojama šveisti virtuvėje naudojamomis abrazyvinėmis kempinėmis. Tačiau dėl šios medžiagos išvaizdos įbrėžimai matosi žymiai mažiau. Šios medžiagos klijavimo siūlės fasadinėje pusėje virinimo ir šlifavimo pagalba yra sunkiai matomos plika akimi. Įlenkimai ir įtrūkimai šioje medžiagoje gali būti remontuojami, tačiau dažnu atveju nerūdijančio plieno stalviršius ar plautuves yra būtina gabenti iš eksploatacinės vietos į dirbtuves remontui, dažniausiai pigiau yra įsigyti naują gaminį nei jį remontuoti.[44]

Stiprybės

- Didelis atsparumas karščiui.
- Atsparus skysčiams.
- Lengvai prižiūrimas.

Galimybės

- Prie tam tikrų sąlygų medžiaga lengvai formuojasi, ši medžiaga gali įgauti įvairias geometrines formas.
- Dėl medžiagos eksploatacinių savybių ji tinkama naudoti pramonėje.



Silpnybės

- Mažas spalvų pasirinkimas.
- Dideli remonto kaštai.

Grėsmės

- Abrazyvinės valymo priemonės gali subraižyti medžiagos paviršių.
- Medžiagos defektus sunku remontuoti, kai stalviršis jau yra sumontuotas.

41 pav. Nerūdijančio plieno darbatalio SSGG analizė

Kalbant apie šių trejų paviršių sanitarines savybes, šiame projekte atliktame mikrobiologiniame tyrime, ant šių medžiagų paviršiaus buvo nusėtos trys bakterijos - Staphylococcus aureus ATCC25923, Salmonella typhymurium ATCC14028, Escherichia coli ATCC25922. Kai šios bakterijos nusėdo ant medžiagos paviršiaus buvo nustatytas jų logaritminis vidurkis \lg KSV/cm². Tada šie bandiniai buvo nuplauti ir dar kartą pamatavus \lg KSV/cm², buvo palygintas bakterijų skaičius prieš ir po plovimo. Remiantis (29 pav.) pavaizduotu grafiku matomi gauti šio tyrimo rezultatai, kuriuose lietas dirbtinis akmuo po medžiagos nuvalymo turėjo mažiausiai bakterijų kolonijų kvadratiniam centimetre. Lietas dirbtinis akmuo po nuvalymo turėjo 2 kartus mažesnę \lg KSV/cm² nei nerūdijantis plienas, o lyginant su LMDP netgi 3 kartus mažesni \lg KSV/cm. Remiantis tyrimu „Tyrimas apie per maistą plintančias ligas ir namų virtuvės prižiūrėtojų higienos praktiką“ [45], išanalizuota, kad stalviršio sanitarinės savybės yra labai svarbus aspektas renkantis virtuvės stalviršį. Šiame tyrime pabrėžiama, kad virtuvės įrankiai ir paviršiai turi būti gerai nuvalomi prieš ir po naudojimo norint išvengti bakterijų sukeltamų ligų. Todėl norint gerai nuvalyti ir pašalinti bakterijas nuo naudojamo paviršiaus, pats paviršius turi pasižymėti geromis sanitarinėmis savybėmis [45]. Projekte atliktu mikrobiologiniu tyrimu galima teigti, kad geriausiomis sanitarinėmis savybėmis pasižymi lietas dirbtinis akmuo, lyginant su nerūdijančiu plieniu ir LMDP.

Remiantis šioje dalyje padarytomis išvalgomis galima teigti, kad renkantis virtuvės stalviršį reikia atkreipti į šių trejų paviršiams formuoti skirtų medžiagų teigiamas ir neigiamas savybes. Įvertinti kokias dizaino galimybes gali pasiūlyti kiekviena medžiaga, atsparumą karščiui ir vandeniui, remonto subtilybes, jungimo būdus ir sanitarines savybes. Pagal šiuos parametrus galima spręsti kokiose vietose geriausia rinktis vieną iš šių trejų medžiagų.

Išvados

1. Atlikus lieto dirbtinio akmens bandiniais lenkimo bandymus 140 °C, 145 °C, 150 °C, 160 °C ir 170 °C temperatūrose bei palyginus kiekvieno bandinio tamprumo modulį lenkimo skirtingose temperatūrose metu nustatyta, kad tiek raštuotas tiek monochrominis lietas dirbtinis akmuo 160 – 170 °C temperatūrose turėjo mažiausias tamprumo modulio vertes (vidutiniškai 22 MPa kai atstumas tarp atramų 80 mm, 8 MPa kai atstumas tarp atramų), tai reiškia, kad šiose temperatūrose medžiaga mažiausiai atspari lenkimo metu veikiančioms jėgoms. Rekomenduojama vengti 170 °C ar aukštesnių temperatūrų, nes medžiaga pastebimai reaguoja į temperatūrą: keičia spalvą, skleidžia aitrų kvapą ir rūksta. Pakeitus atstumą tarp atramų lenkiant nustatyta, kad lenkiamos detalės darbinis ilgis daro įtaką tamprumo moduliu. Tamprumo modulio reikšmės buvo 3 kartus didesnės 160 – 170 °C temperatūrose, kai atstumas tarp atramų buvo 80 mm. Todėl galima daryti išvadą, kad gaminant lieto dirbtinio akmens plautuves, stalviršius ir kitus gaminius naudojant lenkimo formas, reikia atkreipti dėmesį į lenkiamos detalės darbinį ilgį.
2. Atlikus klijuoto lieto dirbtinio akmens lenkimo bandymus nustatyta, kad lenkimo metu veikiančioms jėgoms labiausiai atsparūs H – 20 ir H – 24 bandiniai, kurių lenkiamasis stipris bandinio lūžio metu buvo vidutiniškai 83 MPa, o H – 25 bandinių lenkiamasis stipris buvo tik 73 MPa. Gauti rezultatai padėjo nustatyti, kad H – 20 ir H – 24 metodus reikėtų rinktis siekiant pagaminti mechaniškai tvirtus lieto dirbtinio akmens gaminius.
3. Mikrobiologinio tyrimo rezultatai ir atlikti skaičiavimai parodė, kad geriausiomis sanitarinėmis savybėmis pasižymėjo lietas dirbtinis akmuo, kuris po bakterijomis nusėto paviršiaus nuvalymo turėjo 2 kartus mažesnę kolonijas sudarančių vienetų skaičių kvadratiniam centimetrui (0.79 lg KSV/cm²) už nerūdijantį plieną (1.54 lg KSV/cm²) ir 3 kartus mažesnę už LMDP (1.9 lg KSV/cm²).
4. Projekte įvertinus lieto dirbtinio akmens šlifavimo ir poliravimo proceso automatizavimo galimybes, buvo nustatyta, kad įdiegus paviršiaus šlifavimo ir poliravimo stakles su PV sumažėtų gamybos sąnaudos ir padidėtų našumas. Taip pat nelikus tiesioginio kontakto su dirbtinio lieto akmens išmetamomis dulkėmis šlifavimo metu, sumažėtų profesinių susirgimų skaičius dėl PMMA ir ATH teršalų daromos žalos.
5. Atlikus paviršiams gaminti naudojamų medžiagų analizę nustatyta, kad LMDP, nerūdijantis plienas ir lietas dirbtinis akmuo pasižymi skirtingomis eksploatacinėmis savybėmis. Todėl renkantis virtuvės stalviršį būtina atsižvelgti į paviršių stiprybes, silpnyles, trūkumus ir galimybes, kad pasirinktas paviršius atitiktų vartotojo keliamus kriterijus ir reikalavimus. Remiantis atliktu mikrobiologiniu tyrimu, akivaizdu, kad būtina atsižvelgti į paviršiaus sanitarines savybes, renkantis stalviršius maistui gaminti skirtiems paviršiams.

Literatūros sąrašas

1. WRONKA, ANITA; KOWALUK, GRZEGORZ. Selected bending properties of mineral-acrylic solid surface material for furniture construction purposes. *Ann. WULS, For. Wood Technol*, 2020, 110: 54-60.
2. ANDRIIEVSKA, Ludmila; MARCHUK, Natalia. investigation of the acrylic artificial stone properties. *Technology transfer: fundamental principles and innovative technical solutions*, 2017, 21-23.
3. FIORILLO, Luca, et al. COVID-19 surface persistence: a recent data summary and its importance for medical and dental settings. *International journal of environmental research and public health*, 2020, 17.9: 3132.
4. SCHOLLA, MICHAEL H. *DuPont Infection Control*. 2015, 107545
5. XU, Xiaoping, et al. Determinants of consumer's intention to purchase authentic green furniture. *Resources, Conservation and Recycling*, 2020, 156: 104721.
6. LÖVSTRAND, Christoffer; NILSSON, Daniel. *Kitchen Worktop Expectations*. 2013.
7. BUTLER, Katelin. *Coogee House by Chenchow Little*. *Houses*, 2017, 115: 100-106.
8. HUSSEIN, Mayyadah Fahmi. The ideal usage of sustainable materials and local resources of the interior space design in Jordan. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 2012, 6.8: 1047.
9. BRAILEANU, Patricia Isabela. Design of a modular kitchen furniture. *Journal of Industrial Design and Engineering Graphics*, 2017, 12.2: 13-20.
10. Process of making acrylic - filled thermoformable acrylic sheet patern [žiūrėta 2021 – 10 – 24]. Prieiga per: <https://patents.google.com/patent/US5530041?q=Thick%2c+cured+poly-methyl+methac+rylate+article+and+process+for+its+preparation>
11. Colors of Corian® [žiūrėta 2021 – 10 – 24]. Prieiga per: <https://www.corian.com/-colors-of-corian-r->
12. BUINEVIČIŪTĖ, Marija. Plokštelių protezų gamyboje naudojamų bazinių medžiagų ir priedų, keičiančių šiluminį laidį, tyrimas. 2015
13. TETZ, Manfred; JORGENSEN, Matthew R. New hydrophobic IOL materials and understanding the science of glistening. *Current eye research*, 2015, 40.10: 969-981.
14. CHENG, Kuo-Chung, et al. Thermal properties and flammability of polylactide nanocomposites with aluminum trihydrate and organoclay. *Carbohydrate polymers*, 2012, 87.2: 1119-1123.
15. Corian® solid surface material composition [žiūrėta 2021 – 10 – 25]. Prieiga per: https://www.corian.com/IMG/pdf/k-30025-corian-solid-surface-material-composition-bulletin_sec.pdf
16. BRAILEANU, Patricia Isabela. Kitchen island furniture design for residential houses. *Journal of Industrial Design and Engineering Graphics*, 2017, 12.1: 169-172.
17. PRANIAUSKAS, Vladas. Antipirenų poveikis medienos ir jos gaminių degumui. 2012.
18. Ulmas, LMDP plokščių parametrai [žiūrėta 2021 – 10 – 25]. Prieiga per: <https://www.ulmas.lt/lt/plokstines-medziagos/medienos-drozliu-plokste/laminuota-medienos-drozliu-plokste-lmdp>
19. GARDNER, Leroy. Stability and design of stainless steel structures—Review and outlook. *Thin-Walled Structures*, 2019, 141: 208-216.
20. PAŃCIKIEWICZ, Krzysztof, et al. Laser dissimilar welding of AISI 430F and AISI 304 stainless steels. *Materials*, 2020, 13.20: 4540.

21. MAIKRANZ, Erik, et al. Different binding mechanisms of *Staphylococcus aureus* to hydrophobic and hydrophilic surfaces. *Nanoscale*, 2020, 12.37: 19267-19275.
22. SHRESTHA, Asmita, et al. Prevalence of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and pattern of antimicrobial resistance in mastitis milk of cattle in Chitwan, Nepal. *BMC Veterinary Research*, 2021, 17.1: 1-7.
23. DUAN, Nuo, et al. *Salmonella typhimurium* detection using a surface-enhanced Raman scattering-based aptasensor. *International journal of food microbiology*, 2016, 218: 38-43.
24. AMINE, Aloui, et al. The absence of the “GATC-binding protein SeqA” affects DNA replication in *Salmonella enterica* serovar Typhimurium. *DNA replication and related cellular processes*, 2011, 283-300.
25. GOMES, Tânia AT, et al. Diarrheogenic *Escherichia coli*. *Brazilian journal of microbiology*, 2016, 47: 3-30.
26. ERJAVEC, Marjanca Starčič. Introductory Chapter: The Versatile *Escherichia coli*. *The Universe of Escherichia coli*, 2019, 3.
27. MIKUCKIS, Feliksas. Medžiagų atsparumas: metodiniai patarimai. 2008.
28. AL-DWAIRI, Ziad N., et al. A comparison of the flexural and impact strengths and flexural modulus of CAD/CAM and conventional heat-cured polymethyl methacrylate (PMMA). *Journal of Prosthodontics*, 2020, 29.4: 341-349.
29. ALEKSA, Vytautas; GALVANAUSKAS, Vytautas. Technologinių procesų automatizavimas ir valdymas. Kaunas: Technologija, 2008.
30. PÉREZ-ROCA, Sergio, et al. A survey of automatic control methods for liquid-propellant rocket engines. *Progress in Aerospace Sciences*, 2019, 107: 63-84.
31. DAUKŠEVIČIUS, Rolanas. Technologinių procesų automatizavimas. Kaunas: Technologija, 2020.
32. Mtools.lt [žiūrėta 2021 – 11 – 28]. Prieiga per:
<https://mtools.lt/elektriniai-irankiai/medzio-apdirbimo-irankiai/universalios-daugiafunkcines-stakles/universalios-kombinuotos-stakles-bernardo-cwm-310-f-2000>
33. AB „Freda“ [žiūrėta 2021 – 11 – 28]. Prieiga per:
<http://www.freda.eu/lt/>
34. Live HOMAG: CNC high-performance centers [žiūrėta 2021 – 11 – 28]. Prieiga per:
<https://www.homag.com/en/news-events/news/article/cnc-high-performance-centers>
35. XIN, Jianbin, et al. A Time-Space Network Model for Collision-Free Routing of Planar Motions in a Multirobot Station. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2020, 16.10: 6413-6422
36. KALT, Eugene; MONFARED, Radmehr; JACKSON, Michael. Development of an intelligent automated polishing system. 2016.
37. JOHANNING, Eckardt; STILLO, Marco; LANDSBERGIS, Paul. Powered-hand tools and vibration-related disorders in US-railway maintenance-of-way workers. *Industrial health*, 2020.
38. KANG, Seungkoo, et al. The Composition of Emissions from Sanding Corian® with Different Sandpapers. *Aerosol and Air Quality Research*, 2021, 20.
39. Corian® Finishing and polishing [žiūrėta 2021 – 11 – 28]. Prieiga per: <https://www.corian.com/IMG/pdf/k-25298-finishing-and-polishing.pdf>
40. HUO, Yingxin, et al. Development of an Autonomous Sanding Robot with Structured-Light Technology. In: 2019 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2019. p. 2855-2860.

41. Polishing and sanding machines for various materials [žiūrēta 2021 – 11 – 29]. Prieiga per:
https://www.gottschild.de/e_hbs.htm
42. PROMILAKRISHNA, Chahal; MEHTA, Manju. Ergonomic Assessment of storage shelves of standing kitchen in rural Haryana. 2021
43. Corian® Solid surface care and maintenance [žiūrēta 2021 – 12 – 02]. Prieiga per:
<https://www.corian.com/IMG/pdf/k-26840-corian-solid-surface-care-and-maintenance.pdf>
44. GIBSON, Scot. Choosing Kitchen Countertops. 2002:44-51.
45. PREETI, Priya Mishra. A Study on the Knowledge of Food Borne Diseases and Hygiene Practice in Home Kitchen Handlers.

Publikacija

Nagys, Paulius; Bendikienė, Regita. Marble cast stone products to form surfaces for specific applications // Industrial engineering 2021 : international young researchers conference notification material, May 13, 2021, Kaunas, Lithuania / Antanas Čiuplys (ats. redaktorius). Kaunas : Kaunas University of Technology. ISSN 2538-6727. 2021, p. 192-198. [M.kr.: T 008] [Indėlis: 0,500]

Dalyvavimas konferencijoje

Tarptautinė jaunųjų mokslininkų konferencija Pramonės inžinerija 2021, Kauno technologijos universitetas, Lietuva, 2021-05-13.