VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS FAKULTETAS
MECHATRONIKOS IR ROBOTIKOS KATEDRA

Paulius Bradauskas

LIEJAMŲ DETALIŲ GEOMETRIJOS PRIKLAUSOMYBĖS NUO LIEJIMO MAŠINOS PARAMETRŲ TYRIMAS
RESEARCH OF INFLUENCE OF GEOMETRIC PARAMETERS OF CASTED DETAILS FROM PARAMETERS OF CASTING MACHINE

Baigiamasis magistro darbas

Mechatroninių sistemų studijų programa, valstybinis kodas 621H73002
Gamybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2017

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Mechanikos fakultetas
Mechatronikos ir robotikos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. .....
Data 2017.05.17

Antrosios pakopos studijų **Mechatroninių sistemų** programos magistro baigiamasis darbas 4
Pavadinimas **Liejamų detalių geometrijos priklausomybės nuo liejimo mašinos parametrų tyrimas**
Autorius **Paulius Bradauskas**
Vadovas **Ernestas Šutinys**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe atliekamas detalių geometrijos priklausomybės nuo liejimo parametrų tyrimas. Atlikta mokslinė literatūros apžvalga, išnagrinėti moksliniai straipsniai, susiję su plastiko liejimo įpurškimo metodu, bei liejimo parametrų įtaka detalėms.

Teorinių tyrimų metu sudarytas trimatis liejimo formos modelis. Naudojant „SolidWorks" posistemę „Flow Simulation" tirta aplinkos temperatūros įtaka aušinimui.

Eksperimentinių tyrimų metu buvo liejamos plastikinės detalės ir keičiami pasirinkti liejimo parametrai, vėliau detalės buvo matuotos ir nustatoma, kaip kiekvienas parametras veikia detalės geometrinius parametrus. Gauti duomenys pateikti grafikuose. suformuluotos išvados ir pasiūlymai.

Baigiamąjį darbą sudaro 6 dalys: įvadas, literatūros apžvalga ir analizė, teoriniai tyrimai, eksperimentiniai tyrimai, išvados bei literatūros sąrašas. Darbo apimtis – 55 puslapiai teksto be priedų, 43 iliustr., 6 lent., 14 bibliografinių šaltinių. Priedai pateikiami atskirai.

Prasminiai žodžiai: aušinimas, geometrija, liejimas, liejimo forma, parametras, plastikas, temperatūra.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Mechanics
Department of Mechatronics and Robotics

ISBN ISSN
Copies No. .....
Date 2017.05.17

Master Degree Studies **Mechatronics Systems** study programme Master Graduation Thesis 4

Title **Research of Influence of Geometric Parameters of Casted Details from Parameters of Casting Machine**

Author **Paulius Bradauskas**

Academic supervisor **Ernestas Šutinys**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

The master thesis performed details geometry dependence on the casting parameters study. The scientific literature review, analyze scientific articles related to plastic injection molding method and molding parameters on the detail.

Theoretical studies consist of three-dimensional mold model. Using SolidWorks subsystem Flow Simulation investigated the environmental temperature influence to cooling.

Experimental studies were moulded plastic parts and changed molding parameters to select, then details were measured and determined how each parameter works detail geometrical parameters. The data obtained are presented in graphs. Formulated conclusions and recommendations was made.

The final work consists of 6 parts: introduction, literature review and analysis, theoretical studies, experimental research, conclusions and references. Thesis consists of - 55 pages of text without appendixes, 43 pictures., 6 tables., 14 bibliographic sources. Accessories are provided separately.

Keywords: cooling, geometry, injection mould, moulding, plastic, parameter, tempreture.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS 5
LENTELIŲ SĄRAŠAS 7
SANTRUMPŲ SARAŠAS 8
ĮVADAS 9
1 LITERATŪROS APŽVALGA IR ANALIZĖ 12
1.1 Liejimo mašinos 12
1.2 Mokslinės literatūros apžvalga 17
2 TEORINIAI TYRIMAI 25
2.1 Teorinių tyrimų atlikimo metodika 25
2.2 Teorinių tyrimų rezultatai 26
3 PRIKLAUSOMYBĖS NUO LIEJIMO PARAMETRŲ EKSPERIMENTINIS TYRIMAS 29
3.1 Eksperimentinių tyrimų metodika 29
3.2 Eksperimentinių tyrimų naudojama įranga 31
3.3 Eksperimentinio tyrimo rezultatai 34
IŠVADOS 50
LITERATŪROS SĄRAŠAS 51

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. AP SM liejimo mašinos įpurškimo sistema 12
1.2 pav. SM AP liejimo mašinos užrėmimo sistema 13
1.3 pav. "ARBURG" hidraulinė liejimo mašina 14
1.4 pav. „ARBURG“ energijos taupymo sistema (AES) 14
1.5 pav. „ARBURG“ servomechanizmo-hidraulinė sistema 15
1.6 pav. „Engel“ liejimo mašinos bekolonė užrėmimo sistema 15
1.7 pav. "ENGEL" liejimo mašina 16
1.8 pav. „ENGEL“ leijimo mašinos cilindro šildymo sistema 16
1.9 pav. Netiesiškų aušinimo kanalų sistema 17
1.10 pav. Aušinimo kanalų variantų įtaka detalės ataušinimo procesui 18
1.11 pav. Liejamas dubenėlis 19
1.12 pav. Aušinimo sistema su skirtingais kanalais 19
1.13 pav. Tiriamas plastikinis padėklas 20
1.14 pav. Susėdimo žymės tyrimui naudojamas ratas 22
1.15 pav. Priežasties ir pasekmės diagrama pavaizduota schematiškai liejamai įvorei 24
2.1 pav. Liejimo forma „Federfuhrung mini innen“. 25
2.2 pav. Liejimo formos aušinimas 26
2.3 pav. Liejimo formos aušinimas 27
2.4 pav. Liejimo formos aušinimas padidinus debitą 28
3.1 pav. „ENGEL Victory“ liejimo mašina ir jos valdymo kompiuteris. 30
3.2 pav. Liejama detalė ir jos matavimo vietos 31
3.3 pav. Matavimo stendas 31
3.4 pav. Eksperimentinio tyrimo įrenginys 32
3.5 pav. Detalių ilgiai, esant skirtingam įpurškimo slėgiui 34
3.6 pav. Detalių skersmenys 1.1 (a) ir 2.1 (b), esant skirtingam įpurškimo slėgiui 35
3.7 pav. Detalių skersmenys 1.2 (a) ir 2.2 (b), esant skirtingam įpurškimo slėgiui 36
3.8 pav. Detalių skersmenys 1.3 (a) ir 2.3 (b), esant skirtingam įpurškimo slėgiui 37
3.9 pav. Detalių ilgiai, esant skirtingam įpurškimo greičiui 38
3.10 pav. Detalių skersmenys 1.1 (a) ir 2.1 (b), esant skirtingam įpurškimo greičiui 38
3.11 pav. Detalių skersmenys 1.2 (a) ir 2.2 (b), esant skirtingam įpurškimo greičiui. 39
3.12 pav. Detalių skersmenys 1.3 (a) ir 2.3 (b), esant skirtingam įpurškimo greičiui. 40
3.13 pav. Detalių ilgiai, esant skirtingam išlaikymo slėgiui 41
3.14 pav. Detalių skersmenys 1.1 (a) ir 2.1 (b), esant skirtingam išlaikymo slėgiui 41

3.15 pav. Detalių skersmenys 1.2 (a) ir 2.2 (b), esant skirtingm išlaikymo slėgiui 42
3.16 pav. Detalių skersmenys 1.3 (a) ir 2.3 (b), esant skirtingam išlaikymo slėgiui..... 43
3.17 pav. Detalių ilgiai, esant skirtingam slėgio išlaikymo laikui..... 44
3.18 pav. Detalių skersmenys 1.1 (a) ir 2.1 (b) esant, skirtingam slėgio išlaikymo laikui..... 44
3.19 pav. Detalių skersmenys 1.2 (a) ir 2.2 (b), esant skirtingam slėgio išlaikymo laikui..... 45
3.20 pav. Detalių skersmenys 1.3 (a) ir 2.3 (b), esant skirtingam slėgio išlaikymo laikui..... 46
3.21 pav. Detalių ilgiai, esant skirtingam aušinimo laikui 47
3.22 pav. Detalių skersmenys 1.1 (a) ir 2.1 (b), esant skirtingam aušinimo laikui 47
3.23 pav. Detalių skersmenys 1.2 (a) ir 2.2 (b), esant skirtingam aušinimo laikui 48
3.24 pav. Detalių skersmenys 1.3 (a) ir 2.3 (b), esant skirtingam aušinimo laikui 49

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1. lentelė. Temperatūros skirtumas liejimo metu tarp taškų A ir B 18
1.3 lentelė. Žaliavos „Cycolac AR ABS“ parametrai 22
1.4 lentelė. Polipropileno savybės 23
3.1 lentelė. POM Kepital F20-03 charakteristikos 33
3.2 lentelė. Skaitmeninio slankmačio charakteristikos 33
3.3 lentelė. Geriausios liejimo parametrų reikšmės 49

SANTRUMPŲ SARAŠAS

ABS –akrilnitrilo butadienio stirenas;

PE-LD– žemo tankio polietilenas;

PE-HD – aukšto tankio polietilenas;

PP – polipropilenas;

PC –polikarbonatas;

PS – polistirolas;

PA – poliamidas;

POM –poliacetalis arba polioksimetilenas;

AES – energijos taupymo sistema;

TAK – tiesūs aušinimo kanalai;

NAK – netiesūs aušinimo kanalai;

ĮVADAS

Šiais laikais viskas sparčiai tobulėja ir žmonės nori viską gauti greit ir pigiai. Tuo tikslu pradedama automatizuoti gamybą, ją supaprastinti ir gaminti įvairius gaminius masiniais kiekiais. Todėl dažnai pasitelkiama kitokia gamybos technologija, kuri leidžia gaminį pagaminti greičiau, pigiau ir paprasčiau. Kai kurias medines ar metalines detales keičia plastiko gaminiai, nes jų gamyba liejimo metodu yra gana paprasta ir greita, o kaina priklauso nuo gaminamų gaminių kiekio.

Liejant plastiką naudojamos labai įvairios liejimo mašinos. Pagrindinis jų skirtumas yra užrėmimo galia (nuo dešimčių kilogramų iki tonų arba nuo šimtų iki dešimčių tūkstančių kilo Niutonų). Pagal tai žiūrima, kurią liejimo formą dėti ant mašinos ir kokių parametrų reikalauja ta forma (plytų matmenys, įpurškimo jėga, žaliavos kiekis, iš kurio bus gaminama detalė). Liejimo proceso metu specialiai paruošta žaliava patenka į liejimo mašinos sraigto zoną, kur išlydoma ir aukšto spaudimo veikiama įšvirkščiama į liejimo formą per liečių kanalus. Karšta plastiko masė, užpildžiusi liejimo formos darbinių dalių ertmes, ten yra atšaldoma suformuodama naują plastmasės gaminį (<http://www.pfabrikas.lt/straipsniai/item/96-plastmases-liejimas>).

Yra daugybė plastiko rūšių, kaip polietilenas (PE-LD, PE-HD), polipropilenas (PP), polikarbonatas (PC), polistirolas (PS), poliamidas (PA6, PA6.6), poliacetalis arba polioksimetilenas (POM), akrilnitrilo butadienio stirenas (ABS). Kartais norint išgauti dar tvirtesnį gaminį, į plastiką būna įmaišyta stiklo, dažniausiai stiklas naudojamas su poliamidu. Kiekvienas iš šių plastikų turi savo atskiras savybes, pradedant lydymosi temperatūra, takumu, lankstumu ir baigiant tvirtumu bei patikimumu. Liejant kiekvieną plastiką reikia atitinkamai nustatyti liejimo mašinos parametrus, nuo kurių priklauso liejamos detalės kokybė (sraigto kaitinimo temperatūrą, įpurškimo greitį bei slėgį, išlaikymo spaudimo sąlygomis slėgį, laiką, aušinimo laiką, formos užrėmimo jėgą, žaliavos užkrovimo greitį ir slėgį).

Plastikinis gaminys turi atitikti keliamus užsakovo reikalavimus, kurie būna labai įvairūs, priklausomai nuo gaminio paskirties. Nematomoms detalėms estetinė išvaizda nėra svarbi, tačiau joms gali būti svarbus stiprumas ar matmenų tikslumas. Matomi gaminiai, kaip buities įranga, mašinų apdailos detalės, netgi šiukšliadėžės, turi atitikti užsakovo keliamus išvaizdos reikalavimus, taip pat turi atitikti ir tvirtumo bei patikimumo kriterijus. Plastikas yra tokia medžiaga, kurią gana lengva formuoti, bet tuo pačiu sunku „suvaldyti“ prie aukštos temperatūros. Todėl liejamos detalės parametrai visiškai priklauso nuo liejimo mašinos parametrų ir pačios liejimo formos su kuria formuojama detalė.

Šiame darbe numatoma atlikti literatūros, aprašančios plastikinių detalių geometrijos priklausomybę nuo liejimo parametrų, plastikų priklausomybė nuo temperatūros, plastiko liejimo

ypatybes, analizę. Apžvelgti analogiškas sistemas. Pateikti tiriamos plastikinės detalės liejimo sistemos struktūrinę schemą, teorinių bei eksperimentinių tyrimų rezultatus.

Tyrimo objektas

Tyrimo objektas– liejama plastikinė detalė.

Darbo tikslai ir uždaviniai

Plastikinės detalės geometrijos priklausomybės nuo liejimo mašinos parametrų tyrimo tikslas – ištirti kaip skirtingi parametrai veikia tam tikro plastiko detalės geometriją. Norint pasiekti šį tikslą reikia įvykdyti šiuos uždavinius:

- išanalizuoti mokslinės literatūros šaltinius, kuriuose nagrinėjamos panašios temos ir jų aktualumas;
- atlikti teorinius tyrimus;
- atlikti eksperimentinius tyrimus;
- suformuluoti išvadas ir rekomendacijas.

Tyrimo metodai

Teoriniams tyrimams atlikti naudojama „SolidWorks“ „FlowSimulation“ programa, kuri leidžia, įvedus reikiamus duomenis, tirti liejimo formos aušinimą.

Eksperimentiniams tyrimams atlikti naudojama liejimo mašina „ENGEL Victory“. Nustatomi liejimo mašinos parametrai, liejamos detalės, kai detalės išlietos matuojami jų geometriniai parametrai ir apdorojami gauti rezultatai. Tyrimų rezultatai apdorojami naudojant „Microsoft Office Excell“ ir „Origin9“ programiniu paketu.

Temos naujumas

Darbo naujumą lemia pats tyrimo objektas, tai yra plastikinė detalė, liejama įpurškimo būdu. Šis būdas nėra naujas, tačiau jis vis tobulėja, taip pat tobulėja liejimo mašinos ir liejamos detalės. Liejant detales įpurškimo būdu galima gaminti labai plataus diapazono formos ir matmenų detales. Remiantis žurnalu „IACSIT International Journal of Engineering and Technology“ (Kamaruddin 2010), liejimas įpurškimo metodu yra labai svarbus ir reikalingas įvairioms sritims, jo metu granuliuota žaliava išlydoma ir įšvirkščiama į liejimo formą. Šiame straipsnyje tirta optimaliausi liejimo parametrų nustatymai (įpurškimo greitis ir slėgis, išlaikymo po spaudimu slėgis ir laikas, aušinimo laikas ir kt.), liejant plastikinį padėklą. Kituose straipsniuose tiriama aušinimo kanalų įtaka liejimo kokybei, taip liejamų detalių kokybės, bei kitų parametrų priklausomybė, nuo liejimo būdo, liejimo parametrų. Tačiau nėra tirta liejamos detalės konkrečių parametrų priklausomybės, nuo tam tikrų liejimo parametrų, liejant detales liejimo mašina „ENGEL Victory“. Taip pat

pasirinkta žaliava POM, nebuvo naudojama nagrinėtuose straipsniuose, o kiekviena žaliava turi skirtingas charakteristikas.

Darbo mokslinė vertė

Darbo metu buvo tiriama liejimo įpurškimo metodu parametrų įtaka plastikinėms detalėms. Atliekant darbą buvo išnagrinėti 14 literatūros šaltinių, iš kurių 6 – mokslinės literatūros šaltiniai. Tiriamojo darbo metu naudotos dvi tyrimo metodikos – teorinė ir eksperimentinė. Darbo apraše pateikti tyrimo duomenys ir analizė.

Darbo aprobacija

2017 metais buvo pristatytas straipsnis, baigiamojo darbo tema: „Liejamų detalių geometrijos priklausomybės nuo liejimo mašinos parametrų tyrimas“ (žr. B priedas), Lietuvos Jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“.

1 LITERATŪROS APŽVALGA IR ANALIZĖ

1.1 Liejimo mašinos

Kiekviena liejimo mašina turi savo charakteristikas, svarbiausios iš jų yra:

- užrėmimo jėga;
- plytų matmenys;
- žaliavos kiekis, kuris gali būti įpurškiamas į liejimo formą vieno užsikrovimo metu;
- liejimo mašinos struktūra (įpurškimo sistema, užrėmimo sistema, korpusas ir kt.)

Liejimo mašina „Asian Plastic Super Master“

Šios liejimo mašinos yra Taivano gamintojo kūrinys. Jų užrėmimo jėga svyruoja nuo 50 t iki 1400 t. Tai parodo didelį pasirinkimą tarp liejimo mašinų, o tai leidžia pasirinkti geriausią liejimo mašiną konkrečiai liejimo formai.

Jų naudojami dvigubo įpurškimo cilindrai sumažina atstumą tarp varomųjų mechanizmų, kas leidžia sumažinti liejimo mašinos matmenis ir padidinti naudingumą. Jonų nitridintas cilindras ir sraigtas užtikrina didelį medžiagos kietumą ir neleidžia greit nusidėvėti sraigtui bei cilindrui, taip užtikrinamas įpurškimo sistemos ilgaamžiškumas. 1.1. paveiksle pavaizduota „Asian Plast“ liejimo mašina (<http://km-system.pl/asian-plastic-machinery-super-master .php>).



1.1pav. AP SM liejimo mašinos įpurškimo sistema (<http://km-system.pl/asian-plastic-machinery-super-master.php>)

Įpurškimo sraigtas yra nupoliruotas labai tiksliai, kad prie jo nekibtų įvairūs plastikai ir jis išliktų visada švarus. Taip užtikrinama, kad kiekvieną kartą liejant skirtingas plastiko rūšis sraigtas išliktų švarus. Taip pat cilindras, kuriame yra sraigtas, apdirbtas precizine honingavimo mašina, kad užtikrintų grynos žaliavos įpurškimą į liejimo formą,t.y. be metalo dalelių. Sraigtą tiesiogiai suka aukštos klasės hidraulinis variklis, kuris leidžia pasiekti 99 greičio pozicijas (<http://km-system.pl/asian-plastic-machinery-super-master.php>).

Tvirtos kolonos, kuriomis važinėja plytos, padarytos su specialiais išpjovimais, kurie užtikrina, kad forma galėtų būti uždaroma tik uždarius apsaugines duris. Hidraulinis detalės

numetimo įrenginys, galintis važinėti pirmyn ir atgal. Automatinio tepimo sistema su perspėjimo garsu, kad užtikrintų pastovų plokščių tepimą, tolygų judėjimą ir ilgaamžiškumą. Metalinės įvorės, kurių kietumas HV800, leidžia sumažinti nusidėvėjimą. Diferencialo hidraulinis kontūras sutrumpina ciklo laiką ir taupo energiją. Ši užrėmimo sistema pavaizduota 1.2 paveiksle (<http://km-system.pl/asian-plastic-machinery-super-master.php>).



1.2pav. SM AP liejimo mašinos užrėmimo sistema(<http://km-system.pl/asian-plastic-machinery-super-master.php>)

Šios liejimo mašinos turi kelias formos uždarymo ir atidarymo, greičio ir slėgio kontrolės pozicijas su kodavimo sistemomis, jų lengvas valdymas. Mažos užrėmimo jėgos funkcija, kuri veikia kaip formos apsauga ir užtikrina, kad liejimo forma nebus pažeista jei joje liks detalė ar kt. (<http://km-system.pl/asian-plastic-machinery-super-master.php>)

Techniniai duomenys:

- maksimalus įpurškiamos žaliavos kiekis 59(SM 50)–6838(SM1400) g;
- sraigto diametras 25(SM50)–130(SM1400) mm;
- uždedamos formos aukštis (maksimalus / minimalus) nuo 100–320(SM50) iki 700–1400(SM1400) mm(<http://km-system.pl/asian-plastic-machinery-super-master.php>).

Liejimo mašina „Atec HC series“

„Atec“ firma yra ne tik liejimo mašinų gamintoja. Jų liejimo mašinos yra sukurtos Europos rinkai, bet surinkimas vykdomas Azijoje. Gamykloje gaminamos liejimo mašinos nuo 80 iki 1680 tonų užrėmimo jėgos, o tai leidžia jas naudoti tiek mažoms, tiek ir didelėms formoms. Šių mašinų pagrindinės charakteristikos:

1. Įpurškimo maksimali masė 96–12246 g;
2. Sraigto diametras 28–150 mm;
3. Įpurškimo greitis svyruoja nuo 55,2 iki 1210,0 cm^3/s (<http://www.atecgroup.net /imm.html>).

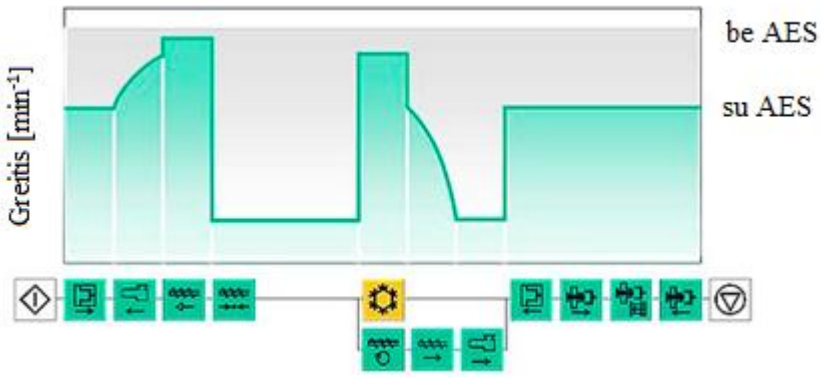
Liejimo mašina „Arburg“

Tai yra Vokietijos gamintojas, gaminamos liejimo mašinos yra išskirtinai surenkamos tik Vokietijoje, patentuotoje aukštos klasės gamykloje. Prisitaikančios liejimo mašinos tinkančios bet kokiam liejimui, galinčios pasiekti nuo 125 iki 5000 kN užrėmimo jėgą. „GOLDEN EDITION“ yra ekonominės klasės liejimo mašinos, viliojančios savo kainos ir kokybės santykiu. Šios liejimo mašinos turi prisitaikantį sraigtą, kuris leidžia pasiekti didelį tikslumą liejant detales. Dėka „ARBURG“ energijos taupymo sistemos, sunaudojama iki 30% mažiau energijos ir pasiekiamas didelis naudingumas su „GOLDEN EDITION“ paketu. Liejimo mašina „ARBURG“ pavaizduota 1.3 paveiksle (<https://www.arburg.com/us/us/company/>).



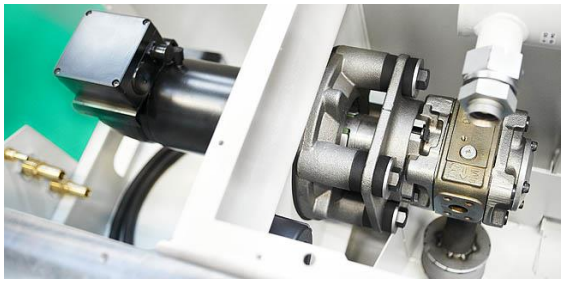
1.3pav. "ARBURG" hidraulinė liejimo mašina(<https://www.arburg.com/us/us/products-and-services/injection-molding/injection-molding-machines/>)

„ARBURG“ energijos taupymo sistema, kuri pavaizduota 1.4 paveiksle paverčia hidraulines liejimo mašinas, su dviem siurbliais, dar naudingesnias, nes siurblio variklio greitis reguliuojamas naudojant dažnio keitiklį. Privalumas tame, kad sunaudojama mažiau energijos, tylesnis darbas ir mažesnis nusidėvėjimas. Užuot variklis dirbęs užduotu nominaliu greičiu, kuris kartais reiškia mažesnį naudingumą, jis prisitaiko ir paverčia mašinos darbą naudingu (<https://www.arburg.com/us/us/products-and-services/injectionmolding/technology/energyefficiency/energy-saving-system-aes/>).



1.4pav. „ARBURG“energijos taupymo sistema (AES) (<https://www.arburg.com/us/us/products-and-services/injection-molding/technology/energy-efficiency/energy-saving-system-aes/>)

Servo mechanizmo hidraulinė sistema (1.5 pav.) leidžia itin energiją taupančių ir mažai teršalų operacijos metu išmetančių hidraulinių liejimo mašinų gamybą. Pavaros sistema, susidedanti iš servo variklių ir siurblio, leidžia nuolat prisitaikyti prie faktinio elektros energijos poreikio. Svarbu tai, kad mašinai sustojus, siurblys taip pat nustoja veikti. Taigi, servo-hidraulika nebesukelia nedirbančios mašinos nuostolių. Tai leidžia sutaupyti iki 50% energijos, ypač procesams su ilgais aušinimo laikotarpiais. Tuo pačiu metu sumažinamas aušinimo reikalavimas, ir triukšmo lygis (<https://www.arburg.com/us/us/products-and-services/injection-molding/technology/energy-efficiency/servo-hydraulic-system/>).



1.5pav.„ARBURG“servomechanizmo-hidraulinė sistema (<https://www.arburg.com/us/us/products-and-services/injection-molding/technology/energyefficiency/servo-hydraulic-system/>)

Šios liejimo mašinos yra modernesnės už prieš tai minėtas, nes jose įdiegtos jutiklių sistemos, kurios leidžia mašinai prisitaikyti prie liejimo ypatumų ir tai sutaupyti energijos, bei padidinti liejimo efektyvumą.

Liejimo mašina „ENGEL victory“

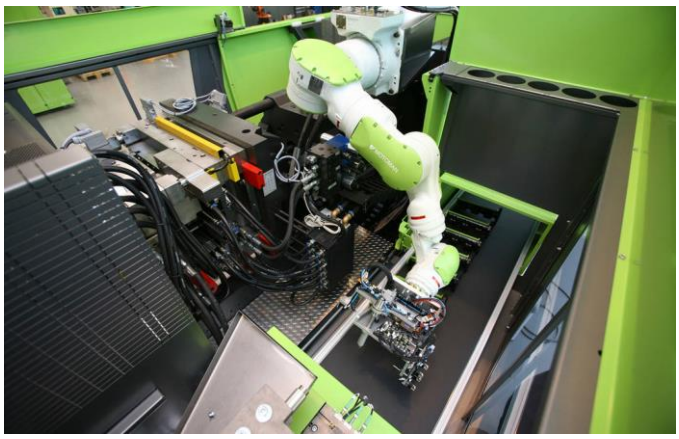
Lanksti, energiją taupanti ir patikima: universali „ENGEL victory“ liejimo mašina yra ideali modulinė sistema, liejant detales įvairiomis liejimo formomis. Turinti bekolonę technologiją (1.6pav.), leidžia naudoti šią nedidelę liejimo mašiną su didelėmis formomis.



1.6pav.„Engel“ liejimo mašinos bekolonė užrėmimo sistema(<http://www.engelglobal.com/en/at/solutions/injection-moulding-machines/victory.html>)

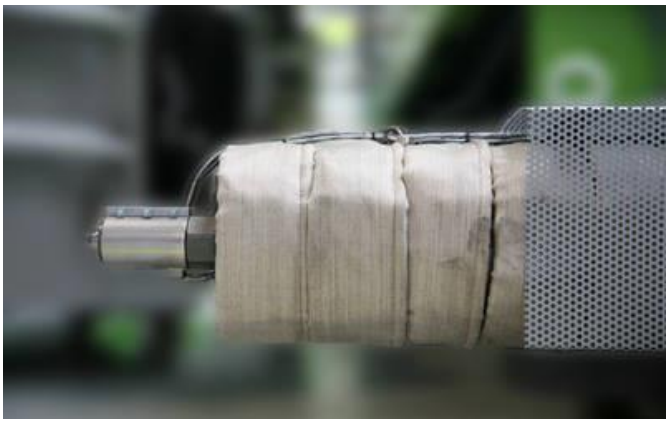
Tai reiškia, kad reiks naudoti tokią užrėmimo jėgą, kokios iš tikrųjų reikia(<http://www.engelglobal.com/en/at/solutions/injection-mouldingmachines/victory.html>)

Mažas energijos suvartojimas – dėl mažos trinties, tvirtinimo slėgio fiksavimo ir elektro-hidraulinės kontrolės siurblio. Absoliuti laisvė naudojant bekolonę sistemą, kuri leidžia uždėti įvairių dydžių liejimo formas ir netrugdomai judėti robotui, jei jis naudojamas nuimant išlietas detales. Liejimo formos apsauga, užtikrinanti, jog detalei likus formoje, ji nebus suspausta, kas gali įtakoti liejimo formos sugedimą. Užrėmimo jėga priklausomai nuo liejimo mašinos modelio yra nuo 280 iki 5000 kN (<http://www.engelglobal.com/en/at/solutions/injection-moulding-machines/victory.html>). 1.7 paveiksle pavaizduota „ENGEL“ liejimo mašina.



1.7pav.„Engel“ liejimo mašina (<http://www.engelglobal.com/en/at/solutions/injection-moulding-machines/victory.html>)

Mažos išlaidos, pagrindinis poreikis, todėl geros kokybės izoliaciniai kilimėliai sukurti pagal „Engel“ technologiją, padės lengvai ir efektyviai apšiltinti liejimo mašinos sraigto cilindrą (1.8pav.) (<http://www.engelglobal.com/en/at/engel-plus/efficiency.html>).



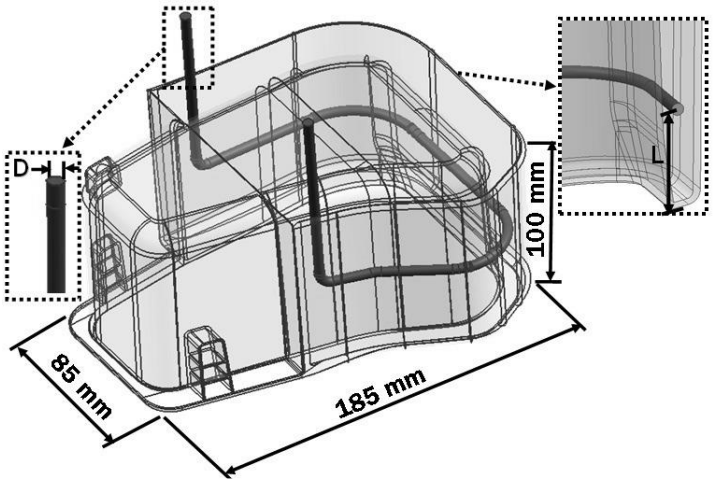
1.8pav.„ENGEL“leijimo mašinos cilindro šildymo sistema (<http://www.engelglobal.com/en/at/engel-plus/efficiency.html>)

Tai reiškia, kad galima sutaupyti iki 40% šildymo energijos tuo pačiu, padidinant šildytuvo tarnavimo laiką (<http://www.engelglobal.com/en/at/engel-plus/efficiency.html>).

1.2 Mokslinės literatūros apžvalga

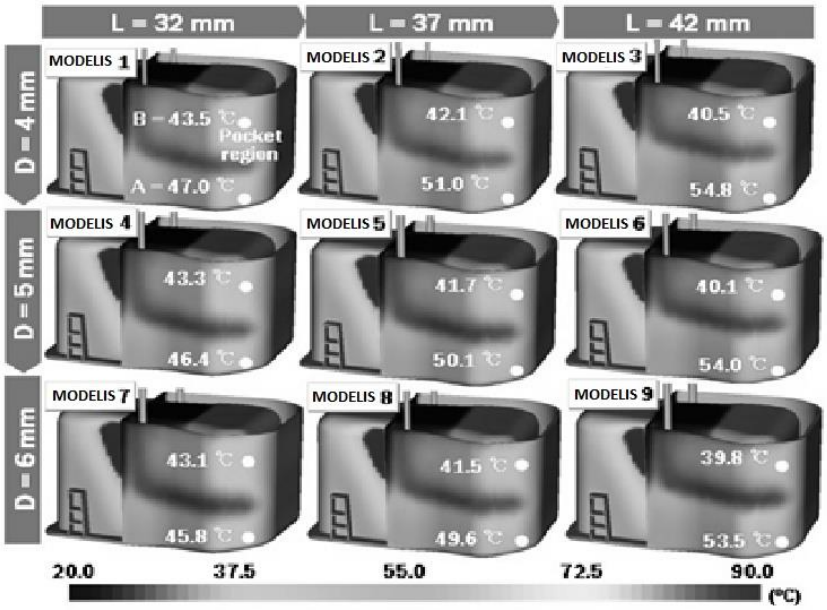
Liejamų detalių kokybės priklausomybė nuo liejimo formos aušinimo sistemų

Liejant detales, gana svarbus veiksnys, lemiantis detalės išliejimo ciklą ir pačią detalės kokybę, yra aušinimo sistema, autorius DongGyuAhn ir kiti (2010) atliko liejimo formos aušinimo kanalų struktūros įtaką liejamo plastikinio stalčiaus kokybei tyrimą. Autoriai nustatė, kad taisyklingais kampais ir atstumais tarp tų kampų išdėstyti aušinimo kanalai nedidelėje erdvėje ir tų kanalų skersmuo turi tiesioginę įtaką liejimo charakteristikoms ir liejamoms detalėms. Tyrimo metu buvo atrasta tinkamiausia aušinimo kanalų padėtis ir jų skersmuo, kas užtikrino vienodą aušinimą ir sumažino galimybę deformuotis liejamam stalčiui. Lyginant liejimą su paprastais aušinimo kanalais ir liejimą su patobulintais aušinimo kanalais, kurie pavaizduoti 1.9 paveiksle, atsižvelgiant į produkto kokybę bei aušinimo ir liejimo ciklo laiką, buvo nustatyta, jog patobulinti aušinimo kanalai gali tuo pačiu metu padidinti liejimo proceso produktyvumą ir liejamų detalių kokybę (DongGyuAhn 2010).



1.9pav. Netiesiškų aušinimo kanalų sistema:D – aušinimo kanalo skersmuo, L – aušinimo kanalo atstumas nuo spausdinamos detalės (DongGyuAhn 2010)

Nustatyta, kad geriausias aušinimo kanalo skersmuo yra 6 mm, o aušinimo kanalų atstumas nuo liejamos detalės turi būti apie 32 mm (1.10pav.). Tokia sistema leidžia ne tik greičiau išlieti detalę, nes sutrumpėja jos aušinimo laikas, bet tuo pačiu ir nesideformuoja detalė, nes iš liejimo formos ji iškrenta jau visiškai ataušus (DongGyuAhn 2010).



1.10pav. Aušinimo kanalų variantų įtaka detalės ataušinimo procesui, kai ciklo laikas – 30 sek (DongGyuAhn 2010)

1.10 paveiksle matyti, kad kai kanalo skersmuo D=6 mm, o atstumas nuo detalės L=32 mm (MODELIS 7), detalės temperatūra pasiskirsto tolygiausiai, o tai yra gerai, nes detalė aušta vienodai visose vietose, todėl išvengiama liejamos detalės perkrypimo ar kitokių nepageidaujamų deformacijų (DongGyuAhn 2010). Temperatūrų skirtumai liejimo metupateikiami 1.1 lentelėje.

1.1. lentelė. Temperatūros skirtumas liejimo metu tarp taškų A ir B (DongGyuAhn 2010)

Modelis	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Temperatūros nuokrypis (˚C)	3,5	8,9	14,3	3,1	8,4	13,9	2,7	8,1	13,7

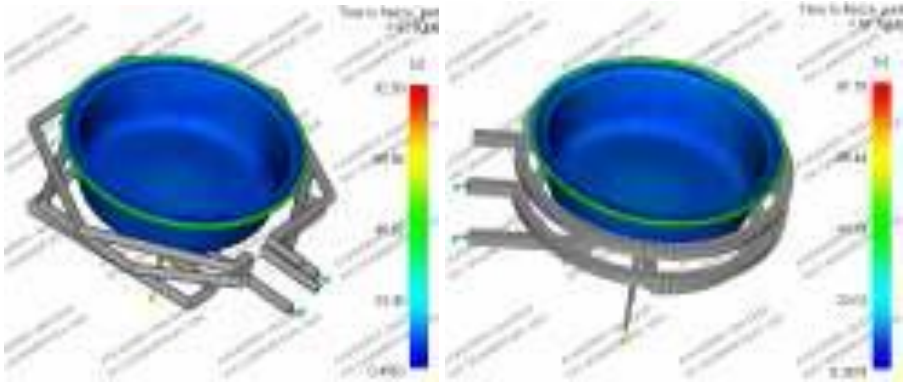
1.1 lentelėje matyti, kad didžiausias temperatūrų skirtumas yra 3 modelyje, kai D=4 mm, L=42 mm, o 7 modelyje, kai D=6 mm, o L=32 mm, temperatūrų skirtumas mažiausias, kas lemia geriausią tolygų detalės aušimą ir mažiausią aušinimo laiką. 7 Modelis yra geriausias aušinimo kanalų variantas, liejant plastikinį šaldytuvo stalčių įpurškimo metodu (DongGyuAhn 2010).

Tyrėjai A. B. M. Saifullah ir kiti atliko tyrimą, kuriame taip pat tyrė aušinimo sistemos įtaką liejimui įpurškimo metodu. Liejimas įpurškimo metodu yra vienas iš pagrindinių metodų masiškai gaminant plastikines detales. Šiam liejimo metodui aušinimo sistema turi labai daug įtakos, nes tai lemia liejimo ciklo laiką. Tinkama aušinimo sistema gali sutrumpinti ciklo laiką ir užtikrinti detalės matmenų stabilumą. Tyrime tirta nauja kvadratinio tipo netiesinių aušinimo kanalų sistema. Ši sistema buvo tirta liejant plastikinį dubenį, kuris pavaizduotas 1.8 paveiksle (Saifullah 2009).



1.11pav. Liejamas dubenėlis(Saifullah 2009)

Dubenėlis (1.11pav.) liejamas iš polipropileno, jo tūris 177,90cm^3 ir svoris 162,3 g. Taip pat šis dubenėlis buvo liejamas iš ABS (akrilnitrilo butadieno stireno polimeras) plastiko, kuris yra šiek tiek lengvesnis. Pirmiausia buvo atlikti tyrimai, naudojant „MouldFlow“ programą, kurioje matyti, kaip vėsta detalė su skirtingais aušinimo kanalų tipais, kurie pavaizduoti 1.12 paveiksle (Saifullah 2009).



a) b)

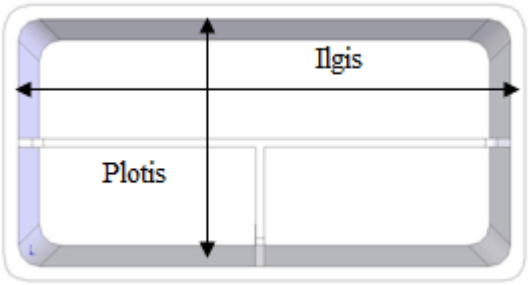
1.12pav. Aušinimo sistema su skirtingais kanalais: a)su tiesiais kanalais; b) su netiesiais kanalais. (Saifullah 2009)

Abiem atvejais detalei aušinti buvo naudojamas 25˚C temperatūros vanduo, Reinoldso skaičius 10000, plastiko lydymosi temperatūra 230˚C. Abiejų aušinimo sistemų palyginimas naudojant programą MPI (Mold flow Plastic Inside), pavaizduotas 1.9 paveiksle.Iš šio proceso rezultatų matyti, kad sistemoje su netiesiais aušinimo kanalais temperatūra pasiskirsto tolygiau nei su tiesiais, taip pat išvengiama detalės peršaldymo. Naudojant sistemą su tiesiais aušinimo kanalais (TAK), visa detalė atvėsta per 24 s., o naudojant naują netiesių aušinimo kanalų sistemą (NAK), detalė atvėsta per 20 s. Taigi naudojant NAK sistemą aušinimo laikas sumažėja 4 sekundėmis, o tai nulemia 35 % sumažėjusį aušinimo laiką (Saifullah 2009).

Aušinimo procesas yra vienas iš svarbiausių sudedamųjų procesų plastiko liejimo įpurškimo metodu procese, nes jis dažniausiai užtrunka pusę ciklo laiko ir tiesiogiai veikia detalės susitraukimą,susilenkimą ir kitas deformacijas. Todėl projektuoti gerą aušinimo sistemą liejimo formoje yra svarbu, kai tai lemia gamybos lygį ir kokybę. Šis tyrimas parodė, kad naudojant kvadratinio tipo netiesių aušinimo kanalų sistemą, pasiekiama iki 35 % trumpesnė aušinimo laiko trukmė ir 20 % ciklo laiko, vadinasi tai leidžia pagerinti liejamų detalių gamybos lygį ir produkcijos kokybę (Saifullah 2009).

Liejamų plastikinių detalių kokybės tyrimas naudojant „Taguchi“ metodą

„Taguchi“ metodas plačiai naudojamas tiriant liejamų plastikinių detalių parametrus, kokybę ir dizainą. Mokslininkai S. Kamaruddinas ir kiti atliko tyrimą, kuriame buvo tirtas plastikinis padėklas (1.13pav.) ir mėginama pagerinti jo kokybės savybę (mažinti susitraukimą). Padėklas gaminamas iš plastikų mišinio (75 % polipropileno (PP) ir 25 % žemo tankio polietileno (PE-LD)), optimizuojant liejimo parametrus, naudojant „Taguchi“ metodą. Šių autorių tikslas buvo atrasti sąsają tarp liejimo parametrų – plastiko lydymosi temperatūros ir įpurškimo slėgio, taip pat tarp įpurškimo slėgio ir išlaikymo spaudimo sąlygomis slėgio (Kamaruddin 2010).



1.13pav. Tiriamas plastikinis padėklas (Kamaruddin 2010)

Šis padėklas buvo liejamas naudojant „Battenfeld TM750/210“ liejimo mašiną. Buvo nustatytos liejimo parametrų ribos, kuriose bus atliekami bandymai. 1.2 lentelėje pateikiami įpurškimo greitis 80–90 aps./min.(%), išlaikymo spaudimo sąlygomis slėgis 80–96 bar, išlaikymo spaudimo sąlygomis laikas 5–10 s ir aušinimo laikas 5–10 s (Kamaruddin 2010).

1.2. lentelė. Liejimo parametrai ir jų lygiai (Kamaruddin 2010)

Koeficientas	Parametras	Mat. vnt.	1 lygis	2 lygis	3 lygis
A	Įpurškimo greitis	aps./min. (%)	80	90	-
B	Lydymosi temperatūra	˚C	220	230	240
C	Įpurškimo slėgis	bar	100	110	120
D	Išlaikymo slėgis	bar	80	88	96
E	Išlaikymo laikas	s	5	8	10
F	Aušinimo laikas	s	5	8	10

Visi šie parametrai buvo pasirinkti naudojant internete rastą literatūrą, mašinos techninių parametrų aprašymus bei plastiko liejimo įpurškimo metodu informacine literatūra. Parametrai pasirinkti kiekvienam lygiui taip, kaip parodyta 1.2 lentelėje (Kamaruddin 2010).

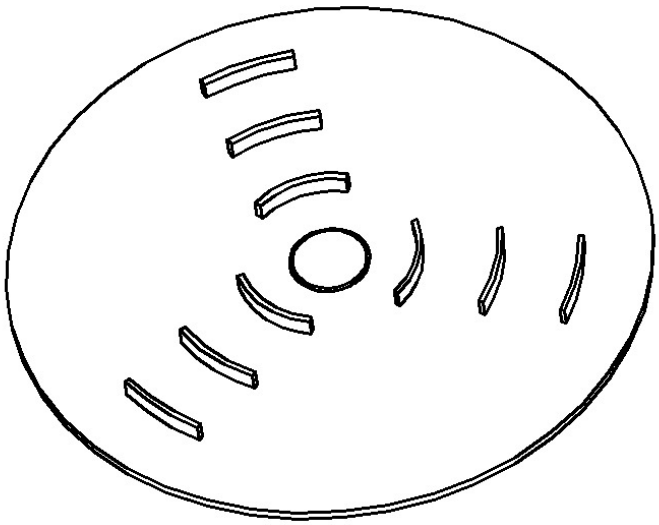
Atlikus bandymus, buvo padarytos išvados apie tai, kaip pasikeitė liejimo parametrai panaudojus „Taguchi“ metodą ir ištyrussąveikos tarp liejimo parametrų metodą. Liejimo parametrai nenaudojant sąveikos metodo:

- Įpurškimo greitis (90% aps./min.), lydymosi temperatūra (240 ˚C), įpurškimo slėgis (110 bar), išlaikymo spaudimo sąlygomis slėgis (96 bar), išlaikymo laikas (5 s), aušinimo laikas (10 s).
- Vidutinis padėklo susitraukimas per ilgį 0,1645 cm.
- Lydymosi temperatūra yra svarbiausias veiksnys, o įpurškimo greitis yra nereikšmingas parametras.
- Parametrų įtaka liejimui – lydymosi temperatūra (52,4 %), išlaikymo spaudimo sąlygomis slėgis (3,6 %), išlaikymo spaudimo sąlygomis laikas (0,9 %) ir aušinimo laikas (6,9 %).

Liejimo parametrai, naudojant sąsajos metodą:

- Lydymosi temperatūra (220 ˚C), įpurškimo slėgis (120 bar), išlaikymo spaudimo sąlygomis slėgis (80 bar), išlaikymo spaudimo sąlygomis laikas (10 s) ir aušinimo laikas (10 s).
- Vidutinis padėklo susitraukimas per ilgį 0,1521 cm.
- Sąsaja tarp lydymosi temperatūros ir įpurškimo slėgio yra didesnė, nei tarp išlaikymo veikiant spaudimui ir įpurškimo slėgio. Tai rodo, kad mažinant lydymosi temperatūrą ir tuo pačius metu didinant įpurškimo slėgį, gaunamas mažesnis detalės susitraukimas.
- Parametrų įtaka liejimo procesui– įpurškimo slėgis (10,49 %), išlaikymo veikiant spaudimui laikas (71,45 %) ir aušinimo laikas (9,77 %).

Tyrėjai D. Mathivananas ir kiti tyrė susėdimo žymės mažinimo būdus, taikant „Taguchi“ metodą. Optimalūs liejimo parametrai labai svarbūs liejimo kokybės veiksniai. Svarbiausia yra kontroliuoti produkto defektus (pvz.: susėdimo žymės). Susėdimo žymė dažnai būna problema, kuri atsiranda liejimo formos projektavimo etape. Liejimo formos projektavimo etape dažnai neatsižvelgiama į šią problemą ir tikimasi, jog liejimo specialistai bet kokiu atveju išlies kokybiškas detales. O ištaisyti klaidas padarytas projektavimo etape yra milžiniškas uždavinys ir kainuoja labai daug laiko, pastangų ir pinigų. Šiame tyrime atskleidžiamas paprastas ir efektyvus būdas, kaip ištirti liejimo parametrų kintamųjų įtaką susėdimo žymės atsiradimui, naudojant „Taguchi“ metodą (Mathivanan 2010). 1.14 paveiksle pavaizduota tiriamas ratas.



1.14pav. Susėdimo žymės tyrimui naudojamasratas (Mathivanan 2010)

Pagrindiniai defektai liejant detales įpurškimo būdu gali būti suskirstyti į dvi grupes:

- susiję su matmenimis;
- susiję su liejimo forma.

Defektai susiję su detalės geometrija gali būti panaikinti reguliuojant liejimo parametrus. Tačiau defektai atsiradę dėl liejimo formos defektų, atsiranda liejimo formos projektavimo etape. Defektai susiję su forma yra detalės kreivumai, susėdimo žymės, tuštumos, plytų susijungimo linijos, blogas detalės paviršius, oro burbuliukai, pridegimo žymės. Iš visų šių defektų, susėdimas laikomas defektu, kurį panaikinti sunkiausia. Jis gali būti apibūdinamas kaip nepageidaujama bangelė ant detalės paviršiaus, kuri atsiranda dėl vietinio susitraukimo.Susėdimas gali būti sumažintas koreguojant liejimo parametrus. Tai priklauso nuo operatoriaus patirties (Mathivanan 2010).

Tyrimui naudota ABS (akrilnitrilo butadienio stireno polimeras) žaliava, kurios savybės pateiktos 1.3 lentelėje.

1.2 lentelė. Žaliavos „Cycolac AR ABS“ parametrai (Mathivanan 2010)

Kietos žaliavos tankis (g/cm^3)	1,0541
Išlydytos žaliavos tankis (g/cm^3)	0,94383
Rekomenduojama liejimo formos temperatūra (˚C)	60
Rekomenduojama žaliavos lydymosi temperatūra (˚C)	240
Elastingumas (MPa)	2240
Poisono koeficientas	0,392
Medžiagos charakteristika	Amorfinė

„Taguchi“ metodas į projektavimą žvelgia kaip į trijų fazių programą:

1. Sistemos projektavimas;
2. Proceso projektavimas;
3. Tolerancijų nustatymas.

Todėl buvo atsižvelgta į pačios liejimo formos projektavimą, tuomet į liejimo parametrus ir jų nustatymą, nustatyta kad galima numatyti susėdimo žymės atsiradimą jau pirmame projektavimo etape, kas padidintų gaminių kokybę ir sutrumpintų gamybos laiką, kadangi nereiktų iš naujo taisyti formos ar mėginti ištaisyti defektus keičiant liejimo parametrus (Mathivanan 2010).

Tyrėjai Mohd. Muktaras Alamas ir kiti tyrė detalės pagamintos iš polipropileno (PP) susitraukimo priklausomybę nuo liejimo parametrų. Polipropilenas naudojamas kaip amorfinis, pusiau kristalinis polimeras, kurio savybės pavaizduotos 1.4lentelėje (Mathivanan, 2010).

1.3 lentelė. Polipropileno savybės (Mathivanan 2010)

Tankis (g/cm^3)	0,90–0,91
Lydymosi takumo indeksas (g/10min.)	10,78
Elastingumas (MPa)	4100
Šarpio smūgio kietumas (KJ/m^2)	1,4–1,8

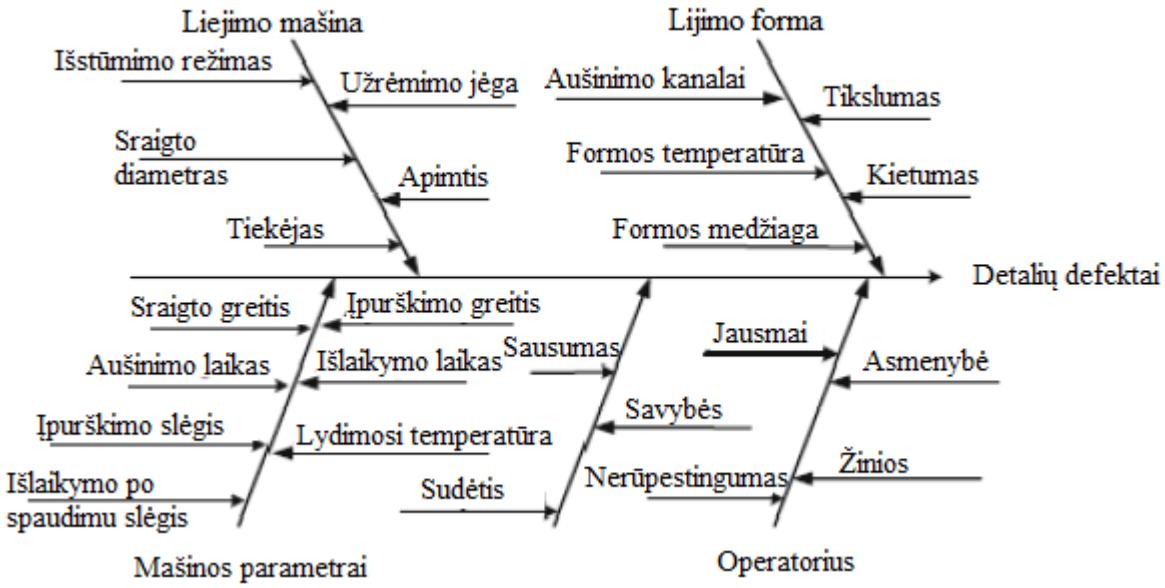
Susitraukimas yra matmens skirtumas tarp liejimo formos darbinės dalies ir išlietos detalės. „Taguchi“ filosofija yra veiksminga priemonė, kuriant aukštos kokybės gamybos sistemą, kuri buvo sukurta remiantis statmenos linijos eksperimentais, kurie pagreitina optimalių parametrų nustatymą tyrimo metu. Pagal nustatytus parametrus ir atliktą bandymą gauti rezultatai, kurie parodė, kad liejant detales iš polipropileno ir norint gauti mažiausią susitraukimą (1,134%), nustatymai turi būti:

1. Lydymosi temperatūra 280 ˚C;
2. Įpurškimo slėgis 55 MPa;
3. Išlaikymo po spaudimu slėgis 60 MPa;
4. Išlaikymo po spaudimu laikas 10 s (Mathivanan 2010).

6 sigma metodas kokybės valdymui plastiko liejimo procese

Šeši sigma yra procesų tobulinimo metodika, kuri naudoja duomenis ir statistinę analizę, nustatyti ir valdyti procesus, kurie panaikina defektus gamyboje. Šis metodas gali būti naudojamas bet kuriame darbo procese, pritaikant šiuos tikslus: padidinti klientų pasitenkinimą, didinti pelningumą ir padidinti produktyvumą. Tyrėjai P.K. Bhartis ir kiti tyrė kaip šis metodas įtakos iš nailono liejamos detalės (pvz.: įvorės) kokybę. Po šios sistemos įgyvendinimo įvorės gamintos iš nailono susitraukimo koeficientas padidėjo nuo 0,24 iki 1,225, vidutinis procesas nukrito nuo 0,1015 iki 0,0615. Ir standartas pakilo nuo 2,38σ iki 5,18σ. Šis darbas rodo, kad gamyba buvo patobulinta arčiau šeši sigma standarto, keičiant proceso sąlygas, bet nekeičiant detalės dizaino,

liejimo formos dizaino ar liejimo mašinos parametrų (Bharti 2011). Priežasties ir pasekmės diagrama pavaizduota 1.15 paveiksle.



1.15pav. Priežasties ir pasekmės diagrama pavaizduota schematiškai liejamai įvorei(Bharti 2011)

Yra daug faktorių įtakojančių liejamos įvorės kokybę, bet svarbiausi proceso parametrai yra lydymosi temperatūra, sraigto sukimosi greitis, įpurškimo slėgis, išlaikymo po spaudimu slėgis ir laikas, liejimo formos temperatūra ir aušinimo laikas. Šio tyrimo esmė buvo atskleisti svarbiausius įrankius, reikalingus pasiekti optimaliausią gamybą, būtent šioje srityje. Taip pat paskatinti kitų sričių įmones pasitelkti šeši sigma metodą (Bharti 2011).

Atliekamas tyrimas

Atlikus mokslinės literatūros apžvalgą, nustatyta, kad daugiausia mokslininkų tyrė aušinimo kanalų įtaka detalės kokybei, bei liejimo parametrų optimizavimas, tačiau tirtos detalės kurios gaminamos iš ABS ar PP žaliavų. Buvo vertinamas tik vienas detalės geometrinis parametras. Taip pat nebuvo naudojama liejimo mašina „Engel“, kuri turi savo unikalią formos užrėmimo sistemą, taip pat jutiklius, kurie užtikrina liejimo parametrų stabilumą, todėl galima tiksliai atrinkti koks parametras įtakoja kurį detalės parametrą. Šiuo atveju liejimo mašina stovi šalia vartų, todėl atsiranda temperatūros svyravimai. Šiame tyrime nustatoma aplinkos temperatūros svyravimų įtaka aušinimo procesui.

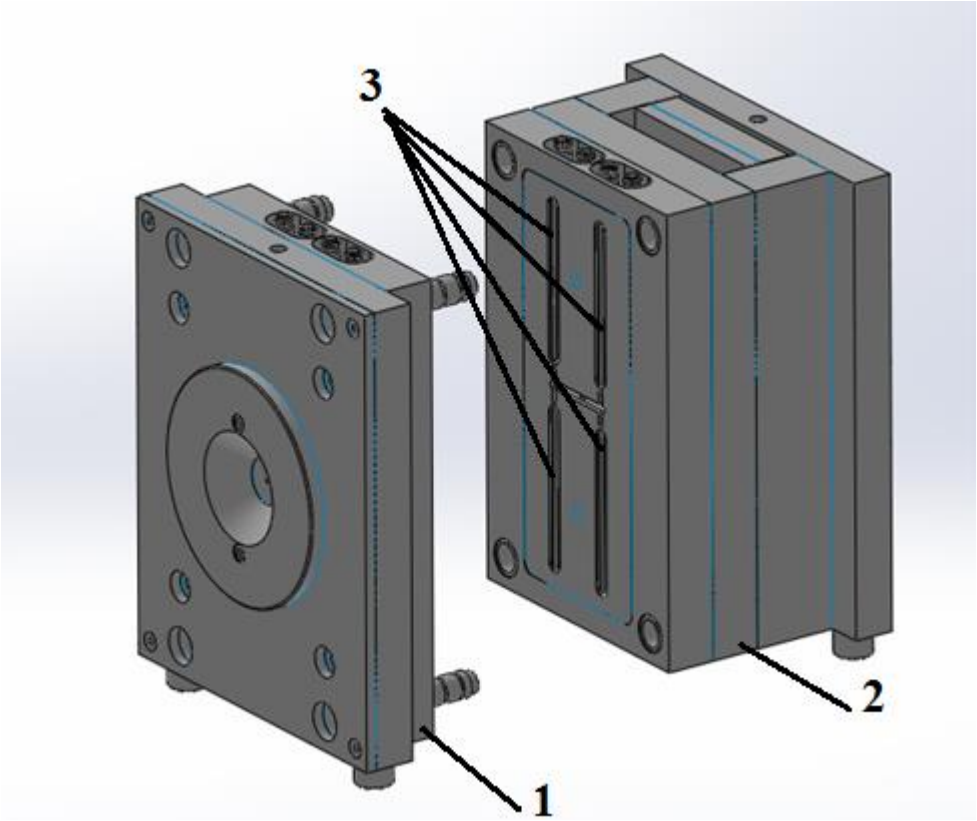
Šio darbo tikslas – nustatyti liejimo parametrų poveikį detalės geometrijai, naudojant liejimo mašiną „ENGEL Victory“, taip pat naudojant „SolidWorks“ „FlowSimulation“ programą nustatyti aplinkos įtaką aušinimui.

2 TEORINIAI TYRIMAI

Teorinių tyrimų tikslas – nustatyti aplinkos temperatūros įtaką aušinimui. Teoriniams tyrimams naudojamas, liejimo formos „Federfuhrung mini innen“, trimatis modelis (2.1 pav.) ir programa „SolidWorks“ „FlowSimulation“.

2.1 Teorinių tyrimų atlikimo metodika

Tyrimui atlikti nubraižytas liejimo formos trimatis modelis (2.1 pav.) naudojant „SolidWorks“ programinę įrangą. Šis modelis naudotas temperatūrinės analizės metu, siekiant nustatyti aplinkos temperatūros įtaką liejimo formos aušinimui.



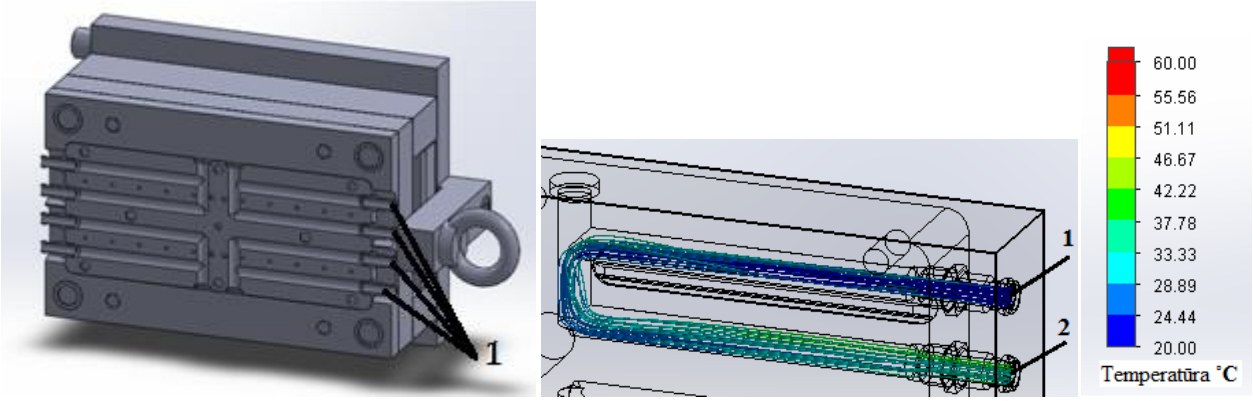
2.1pav. Liejimo forma „Federfuhrung mini innen“. 1 – matrica; 2 – puansonas; 3 – lizdai.

Pasinaudojus programos „SolidWorks“ posisteme „FlowSimulation“ pasirinktas liejimo formos metalas (grūdintas plienas), kurio kietumas 60 HRC. Pasirinkta liejimo formos temperatūra 60 ˚C, tokia temperatūra pasirinkta pagal praktikoje vyraujančias liejimo formos temperatūras darbo metu. Pasirinkta aušinimo skystis (vanduo) ir jo temperatūra 20 ˚C, tokia temperatūra palaikoma aušinimo sistemoje.

Nustačius visus pastovius parametrus, keičiama aplinkos temperatūra nuo 15 iki 30 ˚C, žingniu 5 ˚C. Tyrimui atlikti, kaip kintantis parametras pasirinkta aplinkos temperatūra, dėl liejimo mašinos pozicijos ceche. Liejimo mašina stovi šalia vartų, dėl kurių atidarymo ir uždarymo aplinkos temperatūra gali svyruoti 5 ˚C ribose, priklausomai nuo metų laiko.

2.2 Teorinių tyrimų rezultatai

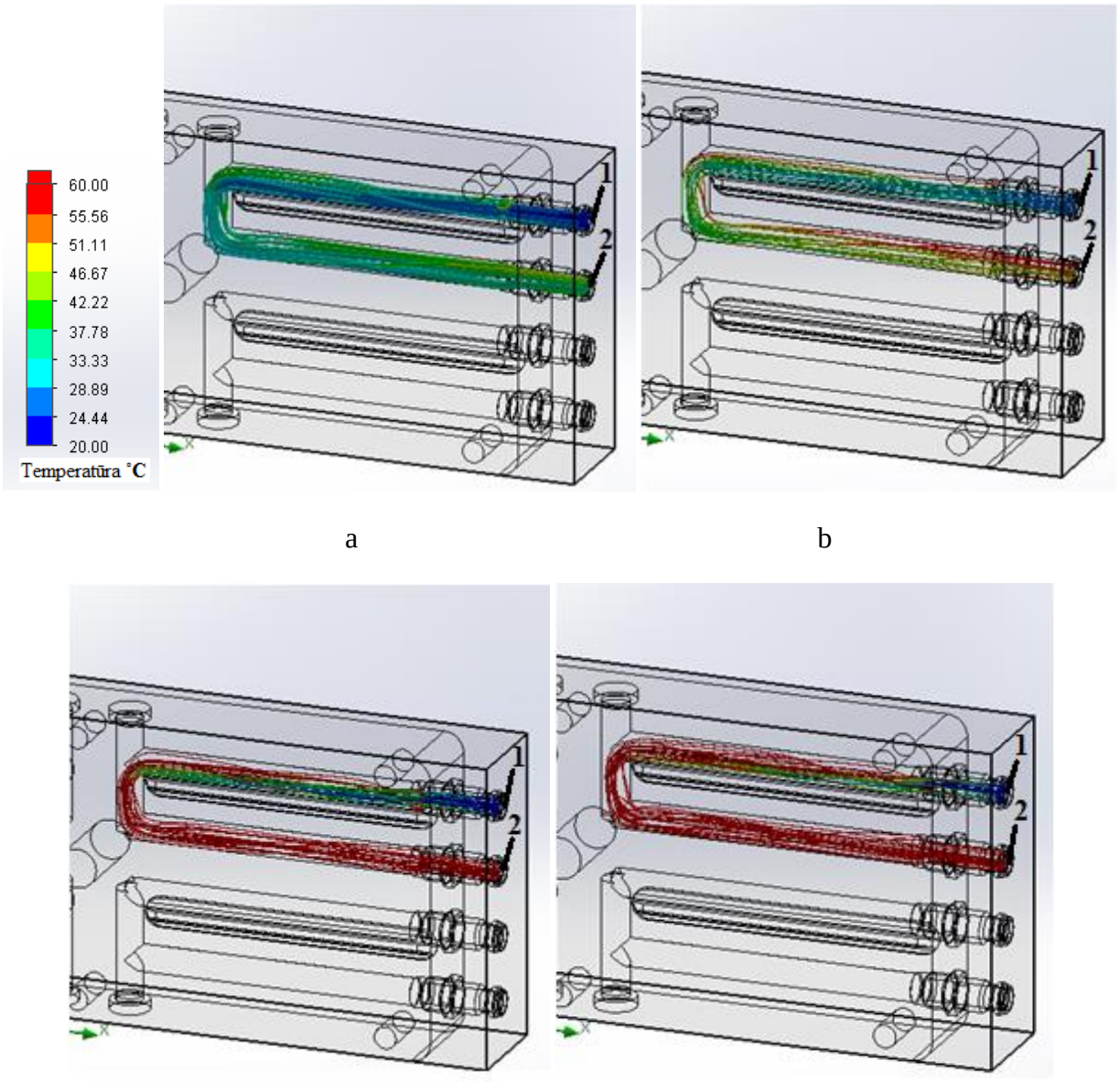
Atlikus teorinį tyrimą gauta, aušinimo kanalo temperatūrinė analizė, kuri parodo kaip kinta aušinimo skysčio tempratūra prie skirtingų aplinkos temperatūrų.



a b c

2.2pav. Liejimo formos aušinimas.a – liejimo formos aušinimo kanalų sistema, 1 – aušinimo kanalai; b – liejimo formos aušinimas, esant formos temperatūrai 60 ˚C, vandens temperatūrai 20 ˚C, aplinkos temperatūrai 15 ˚C, 1 – įėjimas; 2 – išėjimas; c – temperatūros skalė

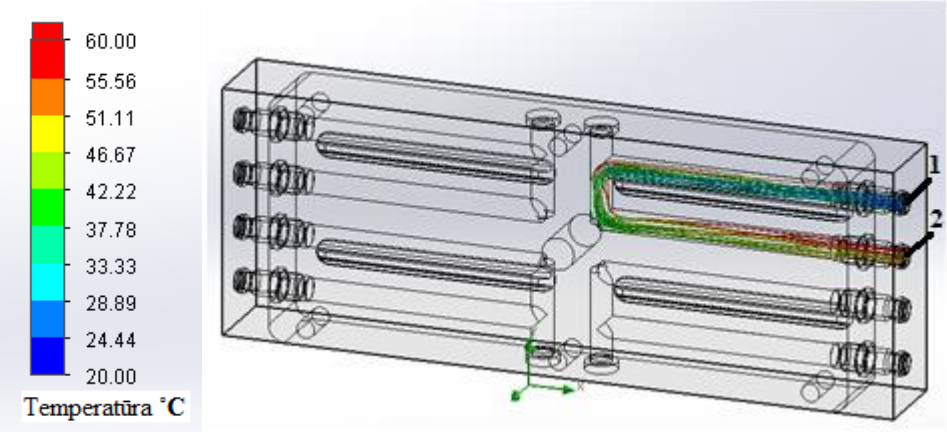
2.2 paveiksle a pateikta liejimo formos aušinimo kanalų sistema. Liejimo forma yra keturių lizdų (2.1 pav. 3), t. y. vienu metu liejamos keturios detalės. Matoma, kad aušinimo kanalai išdėstyti aplink kiekvieną lizdą atskirai, tai užtikrina kiekvienos detalės visų sienelių tolygų aušinimą. Aušinimo kanalo skersmuo yra lygus 8 mm. 2.2 paveiksle b pavaizduota aušinimo skysčio temperatūros kitimas nuo įėjimo 1 iki išėjimo 2 iš liejimo formos. Matyti, kad esant liejimo formos temperatūrai 60 ˚C, vandens temperatūrai 20 ˚C, o aplinkos temperatūrai 15 ˚C, o debitas lygus 0,02 m^3/min ir jis išlaikomas viso tyrimo metu. vandens temperatūra pakyla iki maždaug 35 ˚C. Tai reiškia kad detalė aušinama gerai ir aušinimo laikas gali būti trumpesnis.



2.3pav. Liejimo formos aušinimas, esant formos temperatūrai 60 ˚C, vandens temperatūrai 20 ˚C. 1 – įėjimas; 2 – išėjimas; a – kai aplinkos temperatūra 18˚C; b – kai aplinkos temperatūra 20 ˚C; c – kai aplinkos temperatūra 25 ˚C; d – kai aplinkos temperatūra 30 ˚C.

2.3 paveiksle pavaizduoti formos aušinimai, esant skitingoms aplinkos temperatūroms. 2.3 paveiksle a, pavaizduota aušinimo skysčio (vandens) temperatūros kitimas aplinkos temperatūrai esant 18 ˚C. Matyti, kad vanduo išėjime užkaista iki maždaug 40 ˚C, tai nėra kritinė riba, nes vanduo dar nepasiekė 60 ˚C tempratūros, kas reikštų, kad forma nebeataušinama. 2.3 paveiksle b, pavaizduota vandens temperatūros pokytis, aplinkos temperatūrai pasiekus 20 ˚C. Matyti, kad vanduo užkaista maždaug iki 48 ˚C, o prie detalės sienelių pasiekia ir 60 ˚C. Tai reiškia, kad reiks ilginti aušinimo laiką maždaug 1–2 s. 2.3 paveiksle c, pavaizduota vandens temperatūros kitimas, aplinkos temperatūrai pasiekus 25 ˚C. Matoma, kad vanduo pratekėjęs pusę aušinimo kanalo jau

pasiekia 60 ˚C temperatūrą, todėl prastėja detalės aušinimas ir detalė praranda užduotus geometrinius parametrus, t. y. susėda arba per daug susitraukia. 2.3 paveiksle d, pavaizduota aušinimo skysčio temperatūros kitimas, kai aplinkos temperatūra lygi 30 ˚C. Matoma, kad vanduo tik patekęs į aušinimo kanalą iškart užkaista iki kritinės ribos ir detalė nebeaušta esant nustatytam aušinimo laikui. Norint išvengti šios problemos, reikia didinti debitą arba ilginti aušinimo laiką.



2.4pav. Liejimo formos aušinimas padidinus debitą. 1 – įėjimas; 2 –išėjimas

2.4 paveikle pavaizduota vandens temperatūros kitimas padidinus debitą iki 0,03 m^3/min., kai aplinkos temperatūra lygi 30 ˚C. Matyti, kad vandens temperatūra pasidaro panaši kaip esant aplinkos temperatūrai 20 ˚C, tai sumažina rizika broko atsiradimui ir nereikia ilginti ciklo laiko didinant aušinimo laiką.

3 PRIKLAUSOMYBĖS NUO LIEJIMO PARAMETRŲ EKSPERIMENTINIS TYRIMAS

Eksperimentinio tyrimo tikslas – nustatyti liejamos detalės geometrinių parametrų priklausomybę nuo liejimo parametrų, rasti parametrą, kuris labiausiai lemia detalės matmenis, ir pateikti sprendimą, kuris padėtų išvengti to parametro klaidų.
Eksperimentiniams tyrimams atlikti naudojama „ENGEL Victory“ liejimo mašina.

3.1 Eksperimentinių tyrimų metodika

Eksperimentiniams tyrimams atlikti liejamos detalės iš POM plastiko. Liejamos detalės darbo brėžinys pateikiamas prieduose (C Priedas). Eksperimentams atlikti, liejama po 50 vnt. detalių, keičiant reikalingą parametrą, kurie išvardinti eksperimento atlikimo etapuose. Išliejus matuojami detalės parametrai (ilgis ir skersmenys dviem viena kitai statmenomis kryptimis), gauti duomenys surašomi į tyrimo lenteles (A Priedas). Tyrimai atliekami keliais etapais.

Eksperimentinių tyrimų etapai:

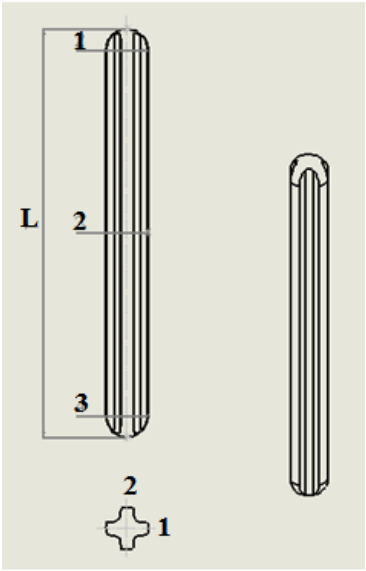
- Įpurškimo slėgis keičiamas nuo 650 iki 450 bar, žingsniu 50 bar. Tuo metu kiti liejimo parametrai (įpurškimo greitis 25 cm^3/s; išlaikymo slėgis 600 bar; slėgio išlaikymo laikas 3 s; aušinimo laikas 20 s) išlieka konstantos.
- Įpurškimo greitis keičiamas nuo 35 iki 15 cm^3/s, žingsniu 5 cm^3/s. Tuo metu kiti liejimo parametrai (įpurškimo slėgis 650 bar; išlaikymo slėgis 600 bar; slėgio išlaikymo laikas 3 s; aušinimo laikas 20 s) išlieka konstantos.
- Plastiko išlaikymo slėgis keičiamas nuo 600 iki 400 bar, žingsniu 50 bar. Tuo metu kiti liejimo parametrai (įpurškimo slėgis 650 bar;įpurškimo greitis 25 cm^3/s; slėgio išlaikymo laikas 3 s; aušinimo laikas 20 s) išlieka konstantos.
- Slėgio išlaikymo laikas keičiamas nuo 7 iki 0 s, žingsniu 2 s. Tuo metu kiti liejimo parametrai (įpurškimo slėgis 650 bar;įpurškimo greitis 25 cm^3/s; išlaikymo slėgis 600 bar; aušinimo laikas 20 s) išlieka konstantos.
- Aušinimo laikas keičiamas nuo 25 iki 5 s, žingsniu 5 s. Tuo metu kiti liejimo parametrai (įpurškimo slėgis 650 bar;įpurškimo greitis 25 cm^3/s; išlaikymo slėgis 600 bar; slėgio išlaikymo laikas 3 s) išlieka konstantos.



3.1pav.„ENGEL Victory“ liejimo mašina ir jos valdymo kompiuteris.

Detalių matavimas:

- Liejama detalė yra plastikinis strypelis, liejamas iš POM Kepital F20-03 žaliavos (kurios charakteristikos pavaizduotos 3.1 lentelėje), kuris naudojamas spyruoklės viduje ir neleidžia jai sulinkti ar sulūžti.
- Keičiant kiekvieną parametrą yra išliejama 50 vnt. detalių, kurios matuojamos po 30–45 min. po išmetimo iš liejimo formos (kai būna ataušusios iki aplinkos temperatūros). Vėsdamas plastikas traukiasi, todėl tik galutinai atvėsusios detalės matmenys bus tikslūs.
- Liejamos detalės matmenys ir tolerancijos nurodyti darbo brėžinyje (priedas..). Ilgis 88_{-1} mm, skersmuo $9{,}1_{-0{,}3}$.
- Tyrimo metu detalė matuojama septyniose vietose: ilgis L; skersmuo 1.1 nuo liejimo taško $l_1 = 5$ mm atstumu ir ties formos susidūrimo linija; 1.2 skersmuo nuo liejimo taško $l_2 = 44$ mm atstumu ir ties formos susidūrimo linija; 1.3 skersmuo nuo liejimo taško $l_3 = 83$ mm atstumu ir ties formos susidūrimo linija; 2.1 skersmuo nuo liejimo taško $l_1 = 5$ mm atstumu ir pasukus detalę 90 laipsnių kampu formos susidūrimo linijai; 2.2 skersmuo nuo liejimo taško $l_2 = 44$ mm atstumu ir pasukus detalę 90 laipsnių kampu formos susidūrimo linijai; 2.3 skersmuo nuo liejimo taško $l_3 = 83$ mm atstumu ir pasukus detalę 90 laipsnių kampu formos susidūrimo linijai (3.2 pav.).



3.2pav. Liejama detalė ir jos matavimo vietos

- Matavimui naudojamas skaitmeninis slankmatis, kurio charakteristikos pavaizduotos 3.2 lentelėje.
- Norint išlaikyti kiek galima mažesnes paklaidas, detalės buvo matuojamos įstatant jas į matavimo stendą (3.3 pav.)

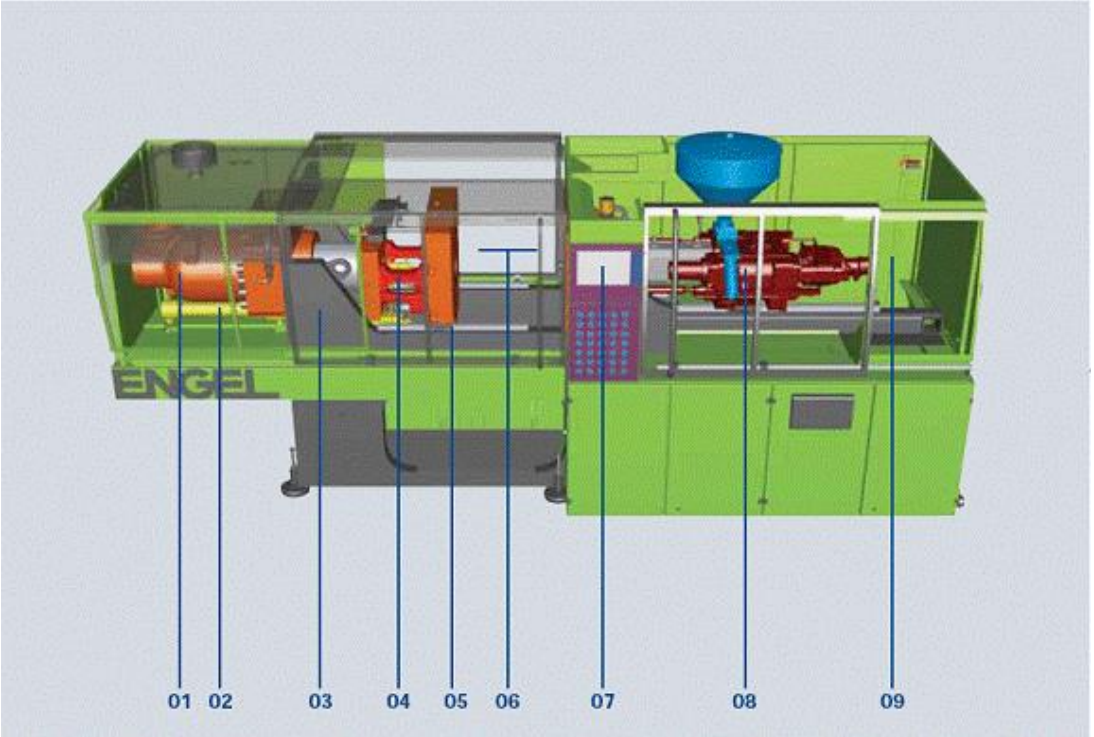


3.3pav. Matavimo stendas

- Išmatavus, gauti rezultatai suvedami į „Microsoft Office Excel 2007“ programą.
- Naudojant rezultatų duomenis ir programinį paketą „OriginPro 9.0“, sudaromi grafikai, kuriuose atsispindi detalės matmenų pokytis priklausomai nuo keičiamų parametrų.

3.2 Eksperimentinių tyrimų naudojama įranga

Eksperimentiniams tyrimams atlikti buvo naudojama liejimo mašina „EngelVictory 28“, kuri pavaizduota 3.4 paveiksle.



3.4pav. Eksperimentinio tyrimo įrenginys – liejimo mašina „EngelVictory 28“. 01 – užrėmimo jėgos cilindras; 02 – formos atidarymo ir uždarymo cilindras; 03 – "C" rėmas; 04 – lanksti konstrukcija tarp užrėmimo jėgos cilindro ir judančios plokštės; 05 – judanti plokštė; 06 – vieta liejimo formai; 07 – valdymo kompiuteris; 08 – hidraulinis plastiko padavimo įrenginys; 09 – apsauginė sienelė (<http://www.abcgroup3.com/principals /Engel/Tech.htm>)

Pradedant eksperimentinį tyrimą bunkeris, esantis virš hidraulinio plastiko padavimo įrenginio 08, pripildomas granuliuoto plastiko POM Kepital F20-03. Tuomet laukiama, kol kaitinimo cilindras pasieks reikiamą temperatūrą (200–220 ˚C). Per valdymo kompiuterį 07 nustatomi reikalingi parametrai (formos užrėmimo jėga (280 kN), plastiko įpurškimo slėgis (650 bar), plastiko įpurškimo greitis (25 cm^3/s), slėgio išlaikymo slėgis (600 bar); slėgio išlaikymo laikas (3 s), aušinimo laikas (20 s)), nustatomas liejimo formos aukštis,naudojant formos atidarymo ir uždarymo cildrą 02. Liejimo forma susidaro iš dviejų dalių t.y. matricos, kuri sukama prie nejudamos plokštės ir puansono, kuris tvirtinamas prie judančios plokštės 05.

Liejimo mašina šio eksperimentinio tyrimo atveju stovi 3 m atstumu nuo vartų ir 1,5 m nuo vidaus sienos. Aplinkos temperatūra dėl vartų darinėjimo gali svyruoti +/- 5 ˚C, tačiau vidutinė temperatūra, priklausomai nuo metų laiko, gali svyruoti apie +/- 10-12 ˚C, atliekamo eksperimento metu aplinkos temperatūra buvo 25 ˚C. Cecho plotas, kuriame stovi liejimo mašina yra, 150 m^2.

Detalės liejamos iš POM Kepital F20-03 žaliavos, kurios charakteristikos pateiktos 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. POM Kepital F20-03 charakteristikos (<http://www.kepital.eu/KEPcms/res/PDFs/KEP_Product_240309.pdf>).

Savybės		Testavimo metodas	Matavimo vienetai	F20-03
Fizinės	Tankis	ISO 1183	g/cm^3	1,41
	Vandens sugėrimas	ISO 62	%	0,2
Mechaninės	Tempimo stipris	ISO 527	MPa	65
	Pailgėjimas išeigoje	ISO 527	%	10
	Tąsumas	ISO 527	%	35
	Lenkimo stipris	ISO 178	MPa	87
	Tamprumo modulis lenkiant	ISO 178	MPa	2550
	Smūginio tąsumas	ISO 179	KJ/m^2	6,5
Terminės	Lydymosi srautas	ISO 1133	g/10 min	9
	Lydymosi taškas	ISO 3146	˚C	165
	Šilumos nuokrypio temperatūra (1,8 MPa)	ISO 75	˚C	100
	Linijinio šiluminio plėtimosi koeficientas	ISO 11359	$x10^{-5}/˚C$	12
Kita	Formos susitraukimas	KEP (flowdirection)	%	2,0

Ši žaliava pasižymi atsparumu valkšnumui, stiprumu, standumu, kietumu, matmenų stabilumu, atsparumu nuovargiui, tirpikliams ir kurui, atsparumas dilimui, mažu nusidėvėjimu ir maža trintimi. Iš pateiktos lentelės galima iškart nustatyti lydymosi temperatūrą, bei matyti, kad žaliavos nereiks džiovinti dėl jos mažo vandens sugėrimo.

Detalės matuojamos su skaitmeniniu slankmačiu, kurio techninės charakteristikos pavaizduotos 3.2 lentelėje.

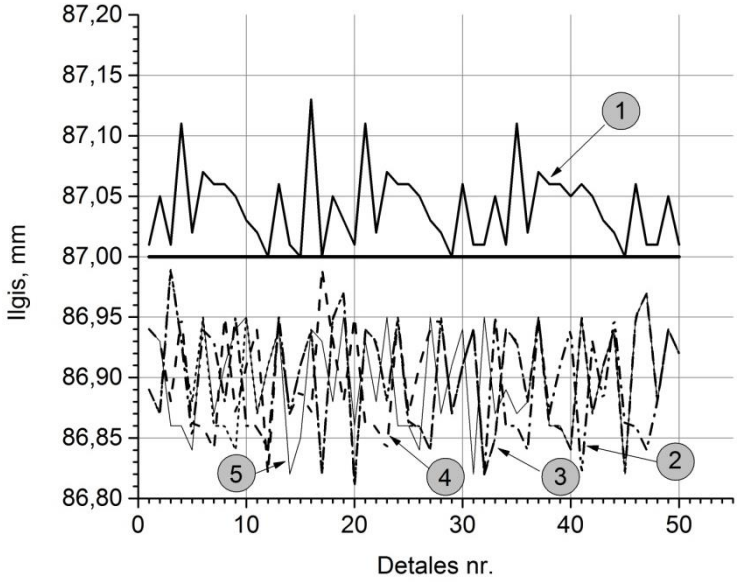
3.2 lentelė. Skaitmeninio slankmačio charakteristikos

	Gamintojas	Wurth
	Matavimo diapazonas	220 mm
	Baterijos tipas	CR2032
	Žingsnis	0,01 mm
	Svoris	160 g
	Matavimo sistema	Metrinė/Colinė

Detalėms matuoti naudojama metrinė matavimo sistema (mm), detalės matuojamos išoriniais matavimo ašmenimis, įstačius detalę į matavimo stendą (3.3 pav.).

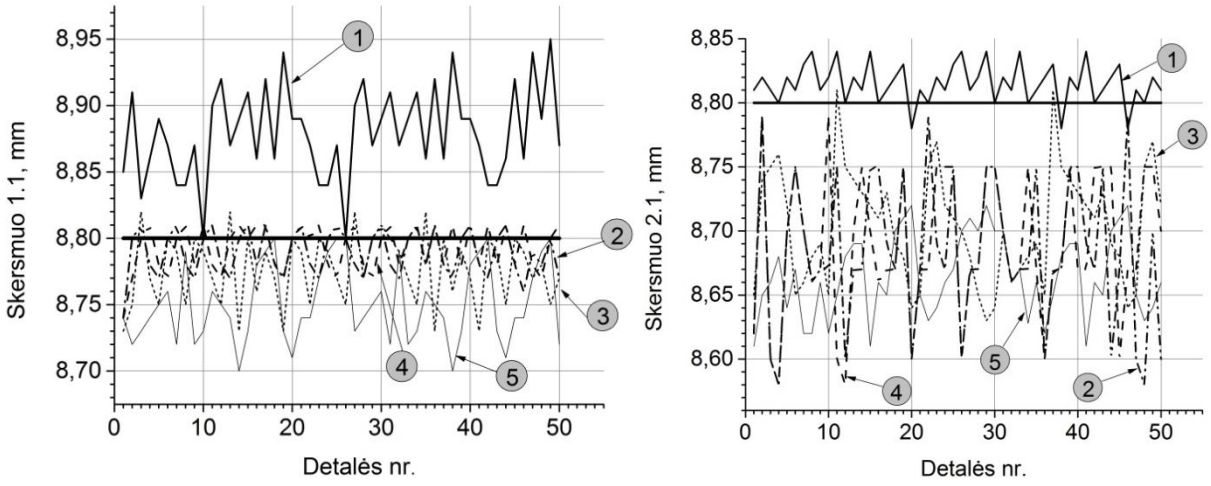
3.3 Eksperimentinio tyrimo rezultatai

Pirmame etape keičiamas įpurškimo slėgis nuo 450 iki 650 bar, žingniu 50 bar. Kiekviename žingsnyje yra liejama 50 vnt. detalių. Po liejimo kiekvienos lietos detalės parametrai (ilgis ir skersmenys 1.1; 1.2; 1.3 ir pasukus 90 laipsnių kampu skersmenys 2.1; 2.2; 2.3) išmatuojami, o gauti rezultatai pateikiami lentelėse (A. Priedas, A.1–4 lentelė) ir grafikuose.



3.5pav. Detalių ilgiai, esant skirtingam įpurškimo slėgiui: 1 – slėgis 650 bar; 2 – slėgis 600 bar; 3 – 550 bar; 4 – 500 bar; 5 – 450 bar.

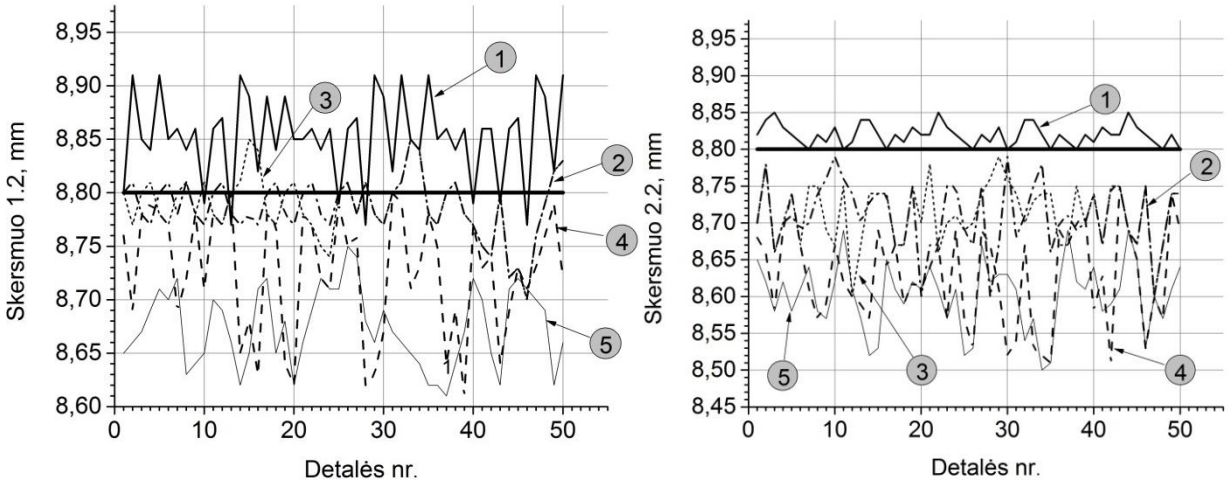
3.5 paveiksle pateikti detalių ilgiai, esant skirtingiems įpurškimo slėgiams. Matoma, kad esant 650 bar įpurškimo slėgiui detalės ilgis atitinka darbo brėžinyje nustatytą ilgį (88_{-1}). Mažinant slėgį nuo 600 bar iki 450 bar, žingsniu 50 bar, išliejus po 50 vnt. detalių, darbo brėžinyje pateikto detalės ilgio nebeatitinka (atvėsus per daug susitraukia). Jos yra brokuotos. 10 % išlietų detalių, esant 650 bar įpurškimo slėgiui yra artimos minimaliai reikšmei, tačiau jos neviršija. 8 % detalių, išlietų esant 650 bar įpurškimo slėgiui ilgis sumažėjo 95 % nuo leistinos tolerancijos (1mm).



a b

3.6pav. Detalių skersmenys 1.1 (a) ir 2.1 (b), esant skirtingam įpurškimo slėgiui: 1 – slėgis 650 bar; 2 – slėgis 600 bar; 3 – 550 bar; 4 – 500 bar; 5 – 450 bar.

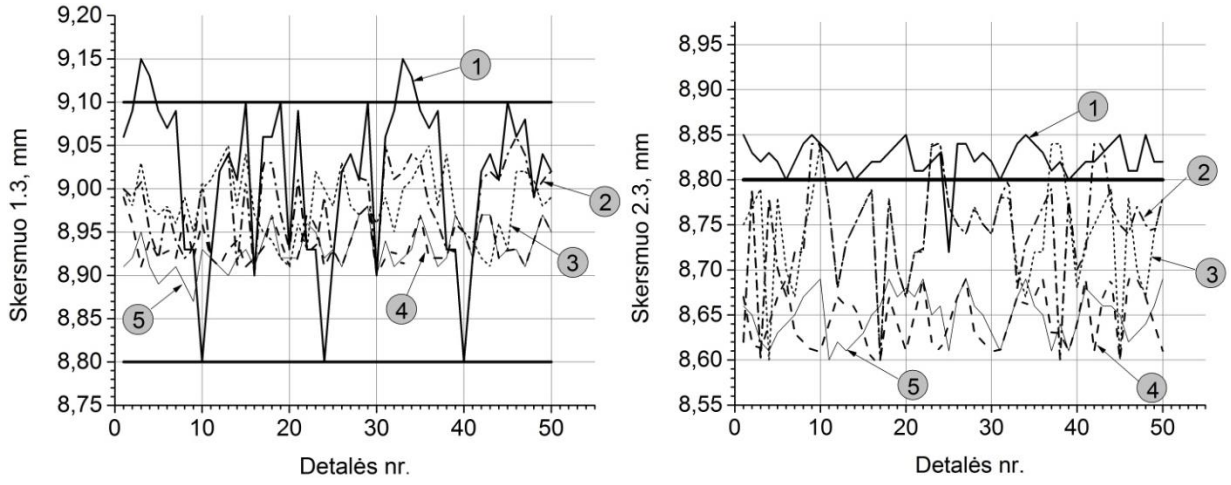
3.6 paveiksle pateikti detalių skersmenys, esant skirtingiems įpurškimo slėgiams. Matoma, kad esant 650 bar įpurškimo slėgiui detalės skersmuo 1.1 atitinka darbo brėžinyje nustatytą skersmenį ($9{,}1_{-0{,}3}$). Mažinant slėgį nuo 600 bar iki 450 bar, žingsniu 50 bar, išliejus po 50 vnt. detalių, darbo brėžinyje pateikto detalės ilgio nebeatitinka (atvėsusios per daug susitraukia). Jos yra brokuotos. Iš 1 numeriu pažymėtos kreivės matyti, kad 4 % išlietų detalių nebeatitinka užduotos tolerancijos, tačiau tai yra žymiai mažesnė reikšmė, nei esant kitoms slėgio sąlygoms. 3.6 paveiksle pavaizduotas grafikas, kuriame atsispindi skersmens 2.1 priklausomybė nuo įpurškimo slėgio. 2.1 skersmuo yra matuojamas tokiu pat atstumu nuo liejimo taško kaip ir 1.1 skersmuo, tik detalė pasukta 90˚ kampu. Matoma, kad esant 650 bar įpurškimo slėgiui detalės skersmuo 2.1 atitinka darbo brėžinyje nustatytą skersmenį ($9{,}1_{-0{,}3}$). Mažinant slėgį nuo 600 bar iki 450 bar, žingsniu 50 bar, išliejus po 50 vnt. detalių, darbo brėžinyje pateikto detalės ilgio nebeatitinka (atvėsusios per daug susitraukia). Jos yra brokuotos. Iš 1 numeriu pažymėtos kreivės matyti, kad 6 % išlietų detalių nebeatitinka užduotos tolerancijos, tačiau tai yra žymiai mažesnė reikšmė, nei kitomis slėgio sąlygomis. Liejant detales, esant 550 bar įpurškimo slėgiui, gaunama 4 % detalių, kurios atitinka nustatytą reikšmę. 16 % detalių lietų esant 650 bar slėgio sąlygoms atitinka minimalią leistiną reikšmę (8,8 mm).



a b

3.7pav. Detalių skersmenys 1.2(a) ir 2.2 (b), esant skirtingam įpurškimo slėgiui: 1 – slėgis 650 bar; 2 – slėgis 600 bar; 3 – 550 bar; 4 – 500 bar; 5 – 450 bar.

3.7 paveiksle pateikti detalių skersmenys, esant skirtingiems įpurškimo slėgiams. Matoma, kad esant 650 bar įpurškimo slėgiui detalės skersmuo 1.2 atitinka darbo brėžinyje nustatytą skersmenį ($9{,}1_{-0{,}3}$). Mažinant slėgį nuo 600 bar iki 450 bar, žingsniu 50 bar, išliejus po 50 vnt. detalių, darbo brėžinyje pateikto detalės ilgio nebeatitinka (atvėsusios per daug susitraukia). Jos yra brokuotos. Iš 1 numeriu pažymėtos kreivės matyti, kad 14 % išlietų detalių nebeatitinka užduotos tolerancijos, tačiau tai yra žymiai mažesnė reikšmė, nei prie kitų slėgio sąlygų. Esant 600 bar įpurškimo slėgiui 14 % gerų detalių. 4 % gerų detalių, gaunamos esant 550 bar įpurškimo slėgiui. 3.7 paveiksle pavaizduotas grafikas, kuriame atsispindi skersmens 2.2 priklausomybė nuo įpurškimo slėgio. 2.2 skersmuo yra matuojamas tokiu pat atstumu nuo liejimo taško kaip ir 1.2 skersmuo, tik detalė pasukta 90˚ kampu.Matoma, kad esant 650 bar įpurškimo slėgiui detalės skersmuo 2.2 atitinka darbo brėžinyje nustatytą skersmenį ($9{,}1_{-0{,}3}$). Mažinant slėgį nuo 600 bar iki 450 bar, žingsniu 50 bar, išliejus po 50 vnt. detalių, darbo brėžinyje pateikto detalės ilgio nebeatitinka (atvėsusios per daug susitraukia). Jos yra brokuotos. Iš kreivės sudarytos matuojant detales, esant 650 bar įpurškimo slėgiui matyti, kad 18 % išlietų detalių, yra lygios minimaliai skersmens reikšmei (8,8 mm), bet jos neperžengia. 6 % detalių lietų esant 650 bar įpurškimo slėgiui, skersmuo 2.2 sumažėjo 96% nuo maksimalios leistinos reikšmės.

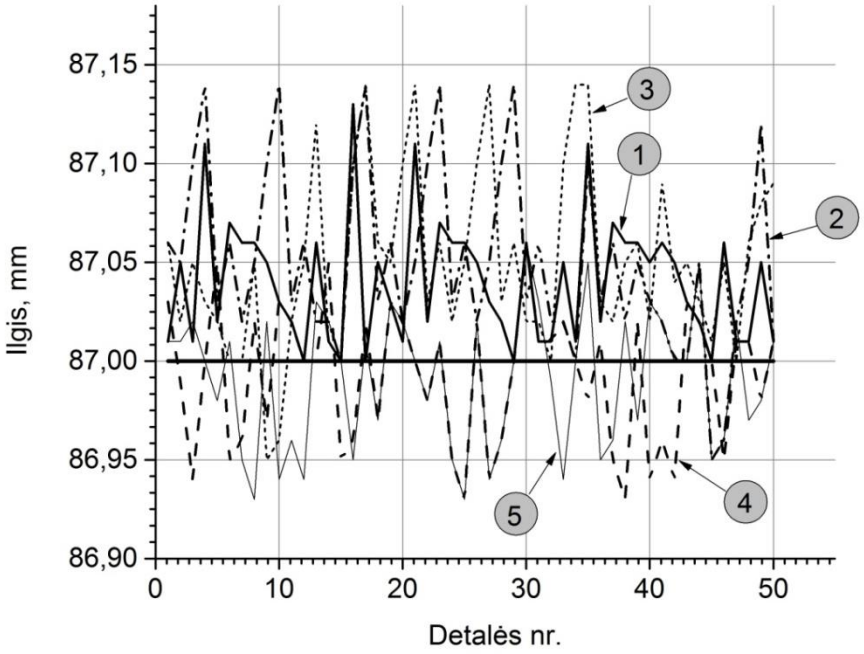


a b

3.8pav. Detalių skersmenys 1.3 (a) ir 2.3 (b), esant skirtingam įpurškimo slėgiui: 1 – slėgis 650 bar; 2 – slėgis 600 bar; 3 – 550 bar; 4 – 500 bar; 5 – 450 bar.

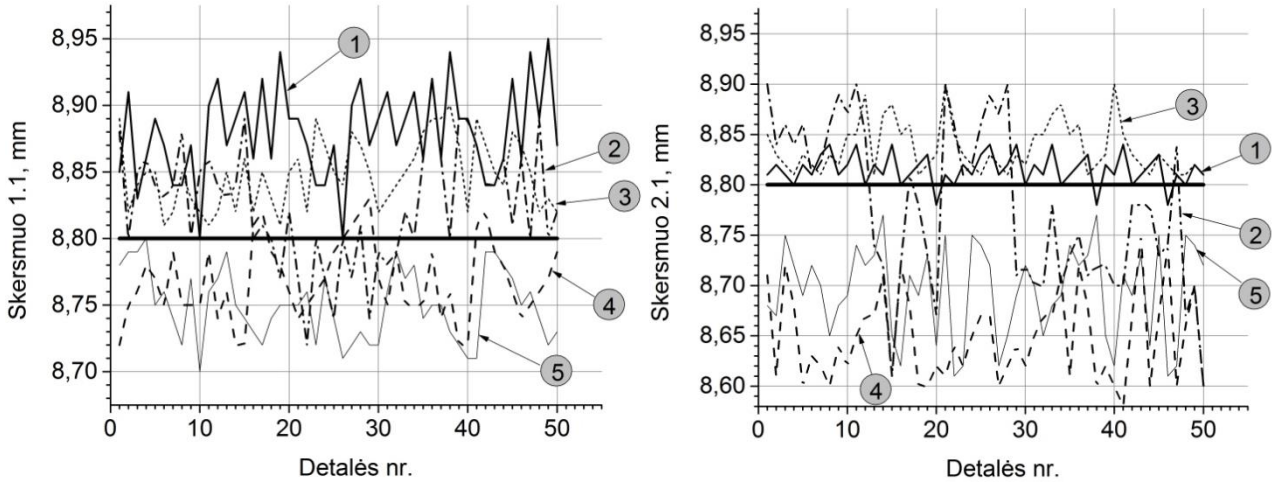
3.8 paveiksle pateikti detalių skersmenys, esant skirtingiems įpurškimo slėgiams. Matoma, kad esant visoms įpurškimo slėgio sąlygoms detalės skersmuo 1.3 atitinka darbo brėžinyje nustatytą diametrą ($9{,}1_{-0{,}3}$). Šis skersmuo nerodo brokuotų detalių, tačiau kadangi kituose skersmenyse geriausi rezultatai buvo prie 650 bar (1 kreivė), tai tendencija išlieka. Esant 650 bar įpurškimo slėgiui 6 % detalių siekia minimalią leistina normą (8,8 mm), o 4 % detalių viršija leistina reikšmę (9,1 mm). 8 % detalių, liejamų esant 650 bar įpurškimo slėgiui, skersmenys 1.3 lygūs maksimaliai leistinai reikšmei (9,1 mm). 3.8 paveiksle pavaizduotas grafikas, kuriame atsispindi skersmens 2.3 priklausomybė nuo įpurškimo slėgio. 2.3 skersmuo yra matuojamas tokiu pat atstumu nuo liejimo taško kaip ir 1.3 skersmuo, tik detalė pasukta 90˚ kampu.Matoma, kad esant 650 bar įpurškimo slėgiui detalės skersmuo 2.3 atitinka darbo brėžinyje nustatytą skersmenį ($9{,}1_{-0{,}3}$). Mažinant slėgį nuo 600 bar iki 450 bar, žingsniu 50 bar, išliejus po 50 vnt. detalių, darbo brėžinyje pateiktos detalės ilgio nebeatitinka (atvėsusios per daug susitraukia). Jos yra brokuotos. Iš 1 kreivės matyti, kad 8 % išlietų detalių yra lygios minimaliai skersmens reikšmei (8,8 mm), bet jos neperžengia. 12 % detalių, lietų esant 650 bar įpurškimo slėgio sąlygoms, skersmuo 2.3 sumažėjo 96% nuo maksimalios leistinos reikšmės. 2 % detalių, lietų esant 650 bar įpuškimo slėgiui neatitinka nustatytos skersmens tolerancijos (8,8 mm).

Antrame etape keičiamas įpurškimo greitis nuo 35 iki 15 cm^3/s, žingsniu 5 cm^3/s. Kiekviename žingsnyje yra liejama 50 vnt. detalių. Po liejimo kiekvienos lietos detalės parametrai (ilgis ir skersmenys 1.1; 1.2; 1.3 ir pasukus 90 laipsnių kampu skersmenys 2.1; 2.2; 2.3) išmatuojami, o gauti rezultatai pateikiami lentelėse (A Priedas, A.5–8 lentelė) ir grafikuose.



3.9pav. Detalių ilgiai, esant skirtingam įpurškimo greičiui: 1 – greitis 25 cm^3/s; 2 – greitis 35 cm^3/s; 3 – greitis 30 cm^3/s; 4 – greitis 20 cm^3/s; 5 – greitis 15 cm^3/s.

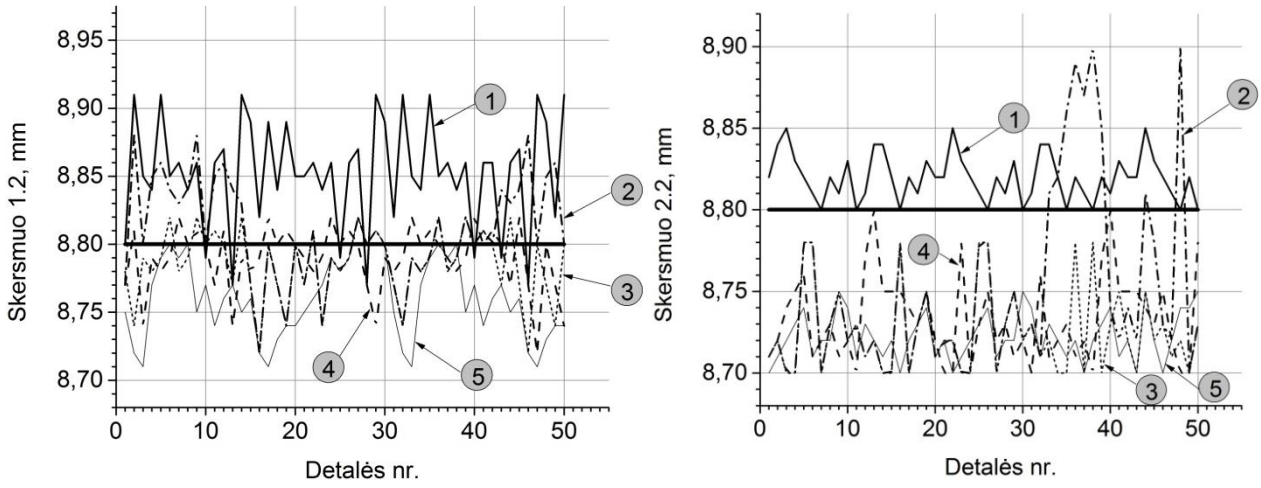
3.9 paveiksle pateikti detalių ilgiai, esant skirtingiems įpurškimo greičiams. Matoma, kad esant 25 cm^3/s įpurškimo greičiui detalės ilgis atitinka darbo brėžinyje nustatytą ilgį (88_{-1}). Didinant įpurškimo greitį nuo 30 cm^3/s iki 35 cm^3/s, žingsniu 5 cm^3/s, išliejus po 50 vnt. detalių, detalės ilgis nepakinta. Mažinant įpurškimo greitį nuo 20 cm^3/s iki 15 cm^3/s, žingsniu 5 cm^3/s, išliejus po 50 vnt. detalių, dauguma nebeatitinka darbo brėžinyje pateikto detalės ilgio (detalės yra nepilnai išlietos). Jos yra brokuotos. 10 % išlietų detalių, esant 25 cm^3/s įpurškimo greičiui yra artimos minimaliai reikšmei, tačiau jos neviršija. Didžiausi ilgiai gauti, esant 30 cm^3/s ir 35 cm^3/s įpurškimo greičiams, jis lygus 87,13 mm.



a b

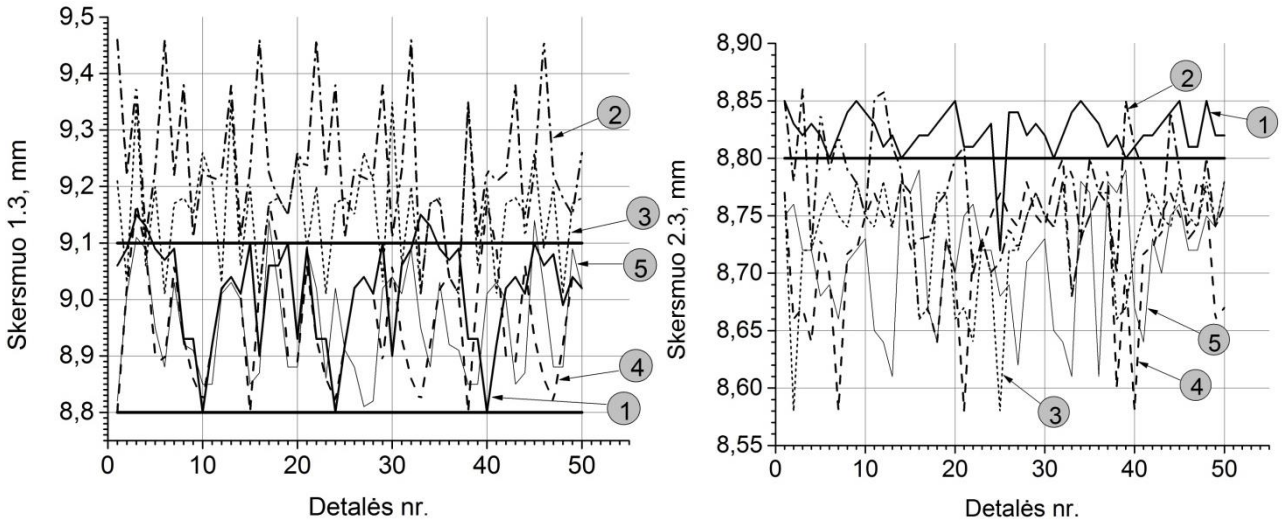
3.10pav. Detalių skersmenys 1.1 (a) ir 2.1 (b), esant skirtingam įpurškimo greičiui: 1 – greitis 25 cm^3/s; 2 – greitis 35 cm^3/s; 3 – greitis 30 cm^3/s; 4 – greitis 20 cm^3/s; 5 – greitis 15 cm^3/s.

3.10 paveiksle pavaizduoti detalių skersmenys 1.1 ir tame pačiame pjūvyje 90 laipsnių pasuktos detalės skersmenys 2.1, esant skirtingam įpurškimo greičiui. Matoma, kad esant 25 cm^3/s įpurškimo greičiui detalių skersmenys atitinka darbo brėžinyje nustatytą reikšmę (8,8 mm). 1.2 pjūvyje 4 % detalių, lietu esant 25 cm^3/s įpurškimo slėgiui, yra lygios mažiausiai leistinai reikšmei, bet jos neviršija. 2.1 pjūvyje 16 % detalių, lietų esant 25 cm^3/s įpurškimo slėgiui, yra lygios mažiausiai leistinai reikšmei, bet jos neviršija, tačiau yra 6 % detalių, kurios nebeatitinka nustatytos minimalios reikšmės. Didinant įpurškimo greitį nuo 30 cm^3/s iki 35 cm^3/s, žingsniu 5 cm^3/s, išliejus po 50 vnt. detalių, detalių skersmenys atitinka nustatytas leistinas reikšmes, tačiau broko procentas yra didesnis nei prie 25 cm^3/s įpurškimo greičio.Mažinant įpurškimo greitį nuo 20 cm^3/s iki 15 cm^3/s, žingsniu 5 cm^3/s, išliejus po 50 vnt. detalių, detalės nebeatitinka darbo brėžinyje pateikto detalės skersmens (detalės yra nepilnai išlietos). Jos yra brokuotos.



3.11pav. Detalių skersmenys 1.2 (a) ir 2.2 (b), esant skirtingam įpurškimo greičiui: 1 – greitis 25 cm^3/s; 2 – greitis 35 cm^3/s; 3 – greitis 30 cm^3/s; 4 – greitis 20 cm^3/s; 5 – greitis 15 cm^3/s.

3.11 paveiksle pavaizduoti detalių skersmenys 1.2 ir tame pačiame pjūvyje 90 laipsnių pasuktos detalės skersmenys 2.2, esant skirtingam įpurškimo greičiui. Matoma, kad esant 25 cm^3/s įpurškimo greičiui detalių skersmenys atitinka darbo brėžinyje nustatytą reikšmę (8,8 mm). 1.2 pjūvyje 14 % detalių, lietų prie 25 cm^3/s įpurškimo slėgio, nebeatitinka nustatytų darbo brėžinio tolerancijų. 2.2 pjūvyje 18 % detalių, lietų esant 25 cm^3/s įpurškimo slėgiui, yra lygios mažiausiai leistinai reikšmei, bet jos neviršija. Didinant įpurškimo greitį nuo 30 cm^3/s iki 35 cm^3/s, žingsniu 5 cm^3/s, išliejus po 50 vnt. detalių, 1.2 pjūvyje tik apie 30 % detalių skersmenų atitinka nustatytas leistinas reikšmes, broko procentas yra didesnis nei prie 25 cm^3/s įpurškimo greičio. 2.2 pjūvyje 16 % detalių, lietų prie 35 cm^3/s įpurškimo greičio, atitinka reikiamą skersmenį. Mažinant įpurškimo greitį nuo 20 cm^3/s iki 15 cm^3/s, žingsniu 5 cm^3/s, išliejus po 50 vnt. detalių, detalės nebeatitinka darbo brėžinyje pateikto detalės skersmens (detalės yra nepilnai išlietos). Jos yra brokuotos.

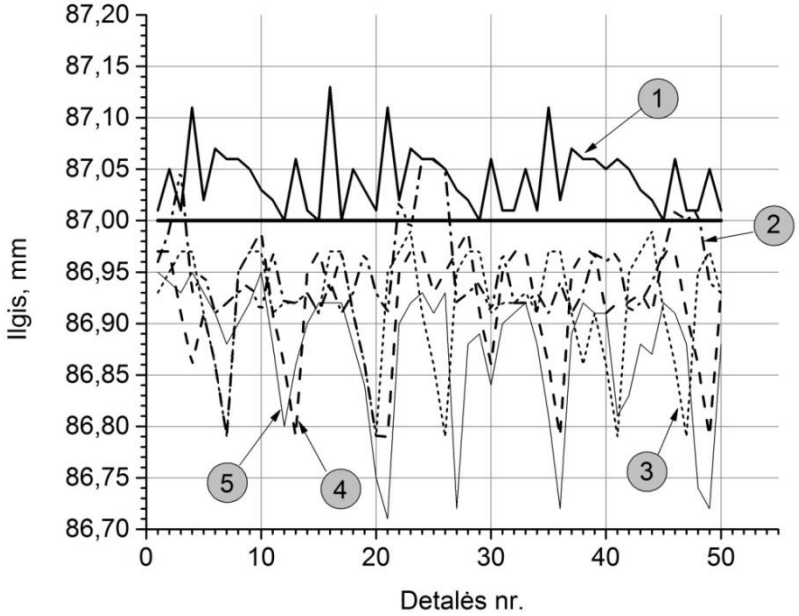


a b

3.12pav. Detalių skersmenys 1.3 (a) ir 2.3 (b), esant skirtingam įpurškimo greičiui: 1 – greitis 25 cm^3/s; 2 – greitis 35 cm^3/s; 3 – greitis 30 cm^3/s; 4 – greitis 20 cm^3/s; 5 – greitis 15 cm^3/s.

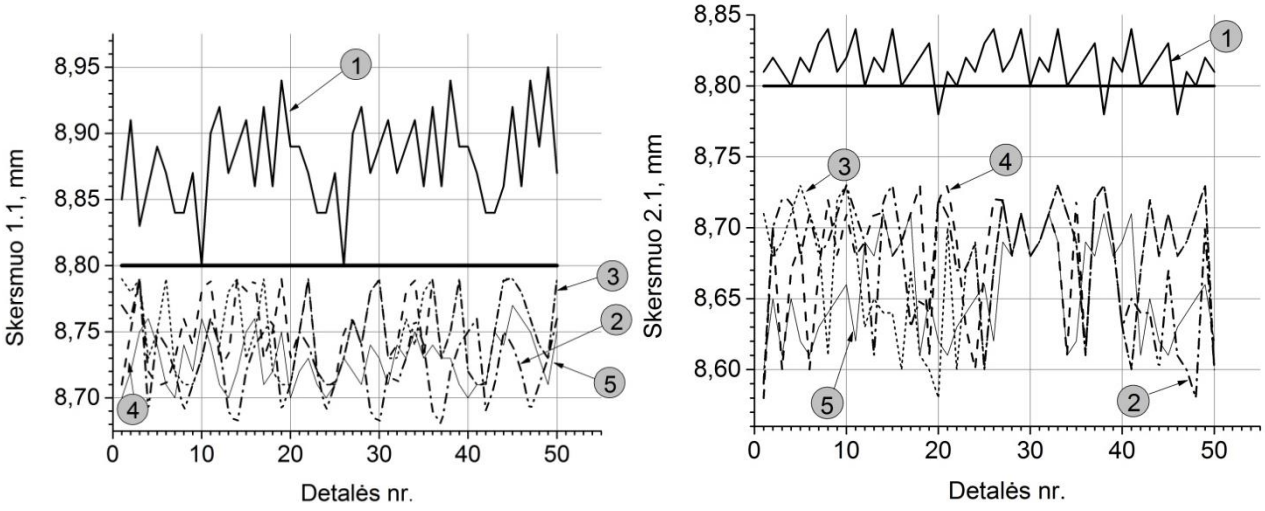
3.12 paveiksle pavaizduoti detalių skersmenys 1.3 ir tame pačiame pjūvyje 90 laipsnių pasuktos detalės skersmenys 2.3, esant skirtingam įpurškimo greičiui. Matoma, kad esant 25 cm^3/s įpurškimo greičiui detalių skersmenys atitinka darbo brėžinyje nustatytą reikšmę (8,8 mm). 1.3 pjūvyje 10 % detalių, lietų esant 25 cm^3/s įpurškimo slėgio sąlygoms, nebeatitinka nustatytų darbo brėžinio tolerancijų (detalės pabaigoje susidaro išlaja). Esant 35 cm^3/s įpurškimo greičio sąlygoms dauguma detalių yra perlietos ir yra brokuotos. Detalės lietos esant 20 ir 15 cm^3/s įpurškimo greičiui atitinka leistinas ribas, tačiau tik šiame pjūvyje. 2.1 pjūvyje 6 % detalių, lietų esant 25 cm^3/s įpurškimo slėgiui, yra lygios mažiausiai leistinai reikšmei, bet jos neviršija. Didinant įpurškimo greitį nuo 30 cm^3/s iki 35 cm^3/s, žingsniu 5 cm^3/s ir mažinant nuo 20 cm^3/s iki 15 cm^3/s, žingsniu 5 cm^3/s, išliejus po 50 vnt. detalių, 2.3 pjūvyje detalės neatitinka nustaytų reikšmių ir yra laikomos brokuotomis. 2.3 pjūvyje ant detalių nesusidaro išlajos, nes ta kryptimi pasukta detalė neturi formos pusių susijungijo linijos, vadinamos atskyrimo linija (angl. parting line).

Trečiame etape keičiamas slėgio išlaikymo slėgis nuo 600 iki 400 bar, žingsniu 50 bar. Kiekviename žingsnyje yra liejama 50 vnt. detalių. Po liejimo kiekvienos lietos detalės parametrai (ilgis ir skersmenys 1.1; 1.2; 1.3 ir pasukus 90 laipsnių kampu skersmenys 2.1; 2.2; 2.3) išmatuojami, o gauti rezultatai pateikiami lentelėse (A Priedas, A.9–12 lentelė) ir grafikuose.



3.13pav. Detalių ilgiai, esant skirtingam išlaikymo slėgiui: 1 – slėgis 600 bar; 2 – slėgis 550 bar; 3 – slėgis 500 bar; 4 – slėgis 450 bar; 5 – slėgis 400 bar.

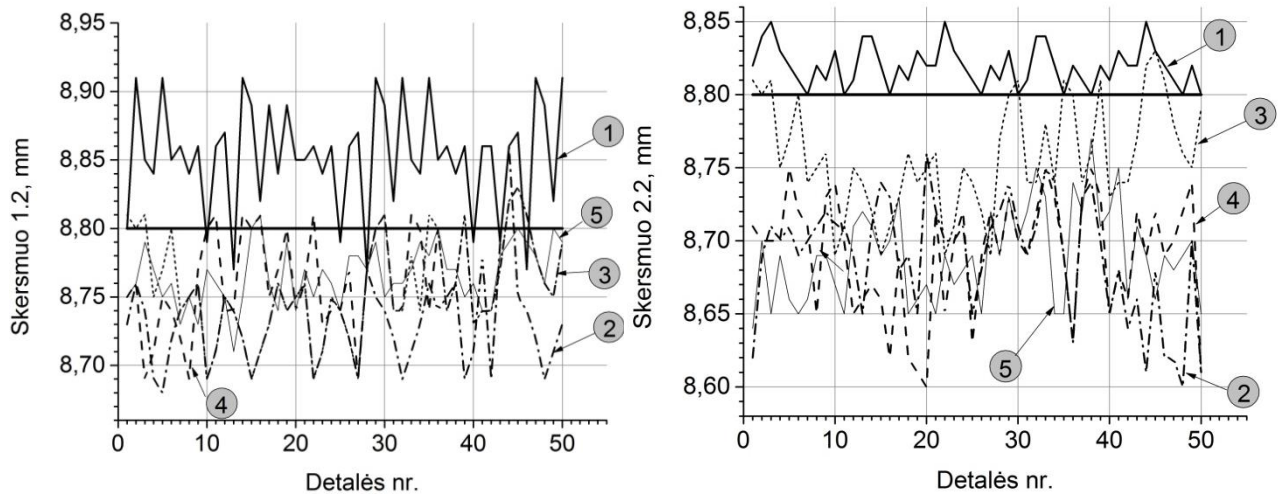
3.13 paveiksle pateikti detalių ilgiai, esant skirtingam išlaikymo slėgiui. Matoma, kad esant 600 bar įpurškimo slėgiui detalės ilgis atitinka darbo brėžinyje nustatytą ilgį (88_{-1}). Mažinant slėgį nuo 550 bar iki 400 bar, žingsniu 50 bar, išliejus po 50 vnt. detalių, darbo brėžinyje pateikto detalės ilgio nebeatitinka (atvėsusios per daug susitraukia). Jos yra brokuotos. 10 % išlietų detalių esant 600 bar įpurškimo slėgio yra artimos minimaliai reikšmei, tačiau jos neviršija. 8 % detalių, išlietų esant 600 bar įpurškimo slėgiui ilgis sumažėjo 95 % nuo leistinos tolerancijos (1mm). Apie 18 % detalių, esant 550 bar išlaikymo slėgiui, atitinka nustatytą ilgį (88_{-1}), tačiau tai yra per mažas skaičius, kad būtų galima naudoti šį išlaikymo slėgį serijinėje gamyboje.



a b

3.14pav. Detalių skersmenys 1.1 (a) ir 2.1 (b), esant skirtingam išlaikymo slėgiui: 1 – slėgis 600 bar; 2 – slėgis 550 bar; 3 – slėgis 500 bar; 4 – slėgis 450 bar; 5 – slėgis 400 bar.

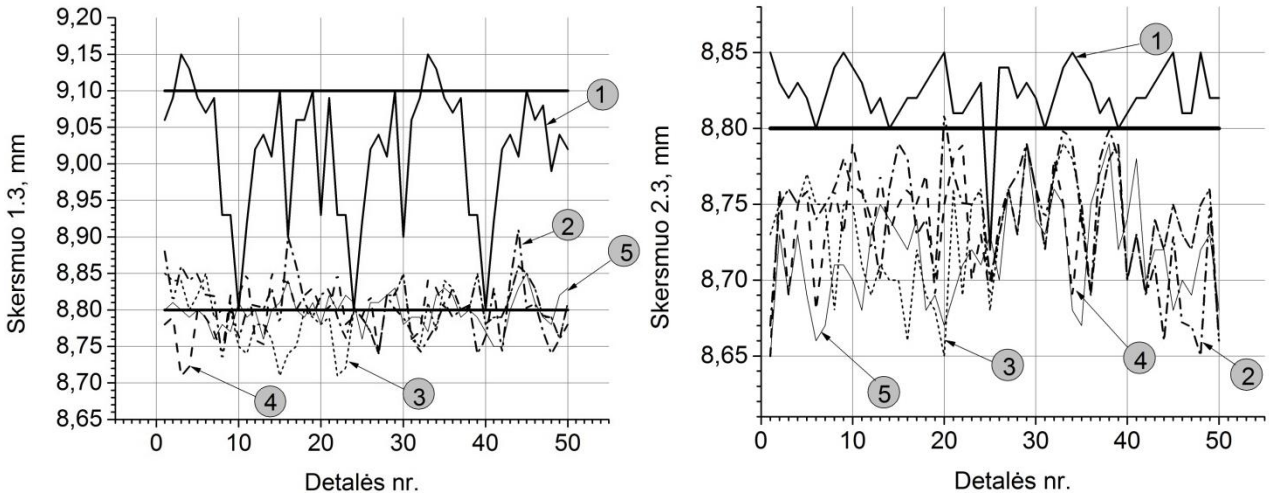
3.14 paveiksle pavaizduoti detalių skersmenys 1.1 ir tame pačiame pjūvyje 90 laipsnių pasuktos detalės skersmenys 2.1, esant skirtingam plastiko išlaikymo slėgiui. Matoma, kad esant 600 bar išlaikymo slėgio detalių skersmenys atitinka darbo brėžinyje nustatytą reikšmę (8,8 mm). 1.1 pjūvyje 4 % detalių, lietų esant 600 bar įpurškimo slėgiui, yra lygios mažiausiai leistinai reikšmei, bet jos neviršija. 2.1 pjūvyje 16 % detalių, lietų esant600 bar įpurškimo slėgiui, yra lygios mažiausiai leistinai reikšmei, bet jos neviršija, tačiau yra 12 % detalių, kurios nebeatitinka nustatytos minimalios reikšmės. Mažinant plastiko išlaikymo slėgį nuo 550 iki 400 bar, žingsniu 50 bar, išliejus po 50 vnt. detalių, detalės nebeatitinka darbo brėžinyje pateikto detalės skersmens (atvėsusios per daug susitraukia). Jos yra brokuotos.



a b

3.15pav. Detalių skersmenys 1.2 (a) ir 2.2 (b), esant skirtingm išlaikymo slėgiui: 1 – slėgis 600 bar; 2 – slėgis 550 bar; 3 – slėgis 500 bar; 4 – slėgis 450 bar; 5 – slėgis 400 bar.

3.15 paveiksle pavaizduoti detalių skersmenys 1.2 ir tame pačiame pjūvyje 90 laipsnių pasuktos detalės skersmenys 2.2, esant skirtingam plastiko išlaikymo slėgiui. Matoma, kad esant 600 bar išlaikymo slėgiui detalių skersmenys atitinka darbo brėžinyje nustatytą reikšmę (8,8 mm). 1.2 pjūvyje 2 % detalių, išlietų esant 600 bar įpurškimo slėgiui, yra lygios mažiausiai leistinai reikšmei, bet jos neviršija. 18 % detalių, neatitinka nustatytos reikšmės. 2.2 pjūvyje 16 % detalių, išlietų esant 600 bar išlaikymo slėgiui, yra lygios mažiausiai leistinai reikšmei, bet jos neviršija. Nustačius 550 bar išlaikymo slėgį 1.2 pjūvyje 4 % detalių atitinka nustatytas skersmens reikšmes ($9,1_{-0,3}$). 2.1 pjūvyje esant 500 bar slėgiui 20 % detalių atitinka nustatytas reikšmes ($9,1_{-03}$). Mažinant plastiko išlaikymo slėgį nuo 550 iki 400 bar, žingsniu 50 bar, išliejus po 50 vnt. detalių, detalės nebeatitinka darbo brėžinyje pateikto detalės skersmens (atvėsusios per daug susitraukia). Jos yra brokuotos.

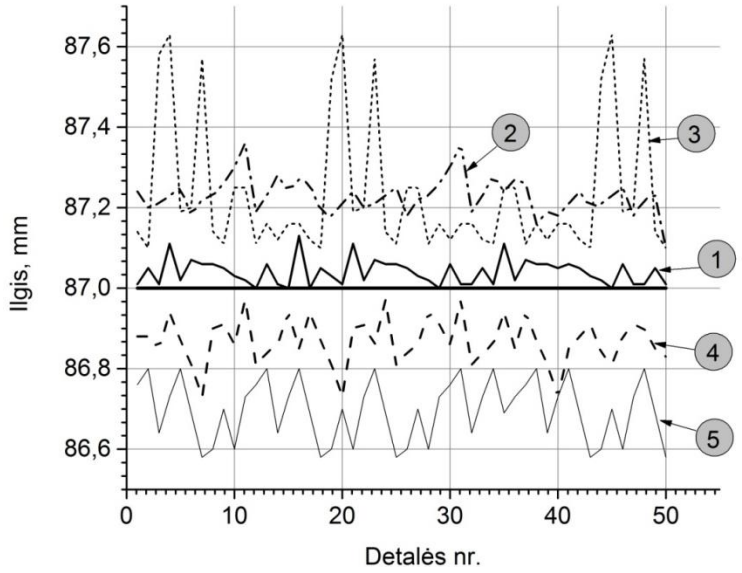


a b

3.16pav. Detalių skersmenys 1.3 (a) ir 2.3 (b), esant skirtingam išlaikymo slėgiui: 1 – slėgis 600 bar; 2 – slėgis 550 bar; 3 – slėgis 500 bar; 4 – slėgis 450 bar; 5 – slėgis 400 bar.

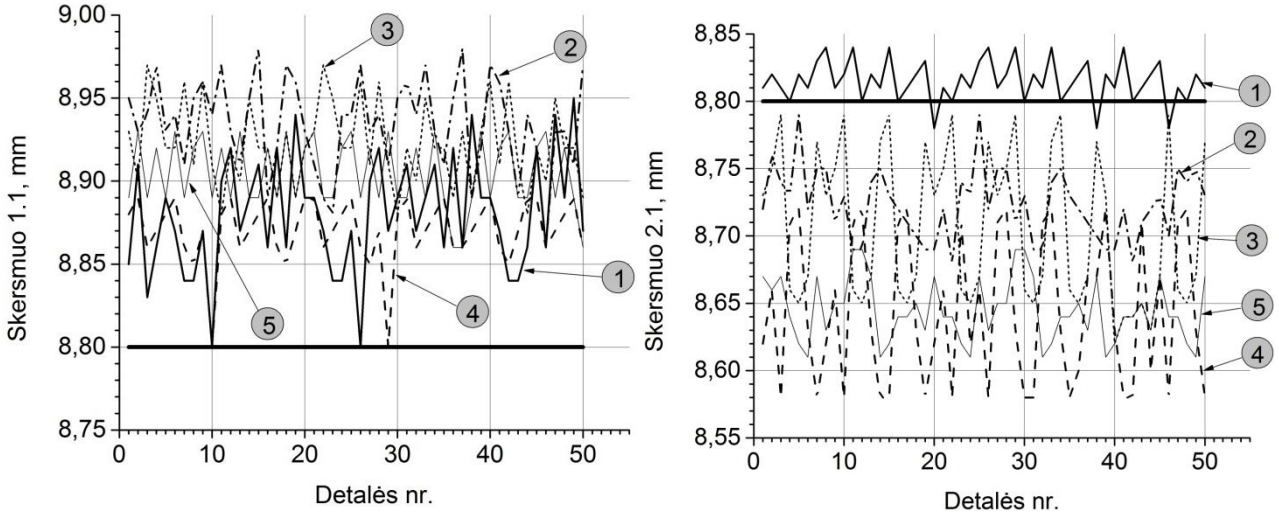
3.16 paveiksle pavaizduoti detalių skersmenys 1.3 ir tame pačiame pjūvyje 90 laipsnių pasuktos detalės skersmenys 2.3, esant skirtingam plastiko išlaikymo slėgiui. Matoma, kad esant 600 bar išlaikymo slėgiui detalių skersmenys atitinka darbo brėžinyje nustatytą reikšmę ($9{,}1_{-0{,}3}$ mm). 1.3 pjūvyje 6 % detalių, lietų esant 600 bar įpurškimo slėgiui, yra lygios mažiausiai leistinai reikšmei, bet jos neviršija, 12 % detalių neatitinka nustatytos reikšmės. 2.2 pjūvyje 8 % detalių, išlietu esant 600 bar išlaikymo slėgio slėgiui, yra lygios mažiausiai leistinai reikšmei, bet jos neviršija, reikšmė, kur skersmuo esant 600 bar išlaikymo slėgiui pasiekia 8,72 mm, atsirado dėl detalės susėdimo toje vietoje, kur buvo matuota. Mažinant plastiko išlaikymo slėgį nuo 550 iki 400 bar, žingsniu 50 bar, išliejus po 50 vnt. detalių, detalės nebeatitinka darbo brėžinyje pateikto detalės skersmens (atvėsusios per daug susitraukia). Jos yra brokuotos.

Ketvirtame etape keičiamas slėgio išlaikymo laikas nuo 7 iki 0 s, žingsniu 2 s. Kiekviename žingsnyje yra liejama 50 vnt. detalių. Po liejimo kiekvienos lietos detalės parametrai (ilgis ir skersmenys 1.1; 1.2; 1.3 ir pasukus 90 laipsnių kampu skersmenys 2.1; 2.2; 2.3) išmatuojami, o gauti rezultatai pateikiami lentelėse (A Priedas, A.13-16 lentelė) ir grafikuose.



3.17pav. Detalių ilgiai, esant skirtingam slėgio išlaikymo laikui: 1 – laikas 3 s; 2 – laikas 7 s; 3 – laikas 5 s; 4 – laikas 1 s; 5 – laikas 0 s.

3.17 paveiksle pateikti detalių ilgiai esant skirtingam slėgio išlaikymo laikui. Matoma, kad esant 3 s, 5 s ir 7 s slėgio išlaikymo laikui detalės ilgis atitinka darbo brėžinyje nustatytą ilgį (88_{-1}). Serijiniame detalių liejime labai svarbus bendras liejimo ciklas, todėl geriausiu variantu parenkamas slėgio išlaikymo laikas yra 3 s. Mažinant išlaikymo laiką nuo 1 s iki 0 s, išliejus po 50 vnt. detalių, detalės nebeatitinka darbo brėžinyje pateikto detalės ilgio (detalės per daug susitraukia). Jos yra brokuotos. 10 % išlietų detalių prie 3 s išlaikymo laiko yra artimos minimaliai reikšmei, tačiau jos neviršija. Didžiausi ilgiai gauti esant 5 s slėgio išlaikymo laikui, jis lygus 87,63 mm.

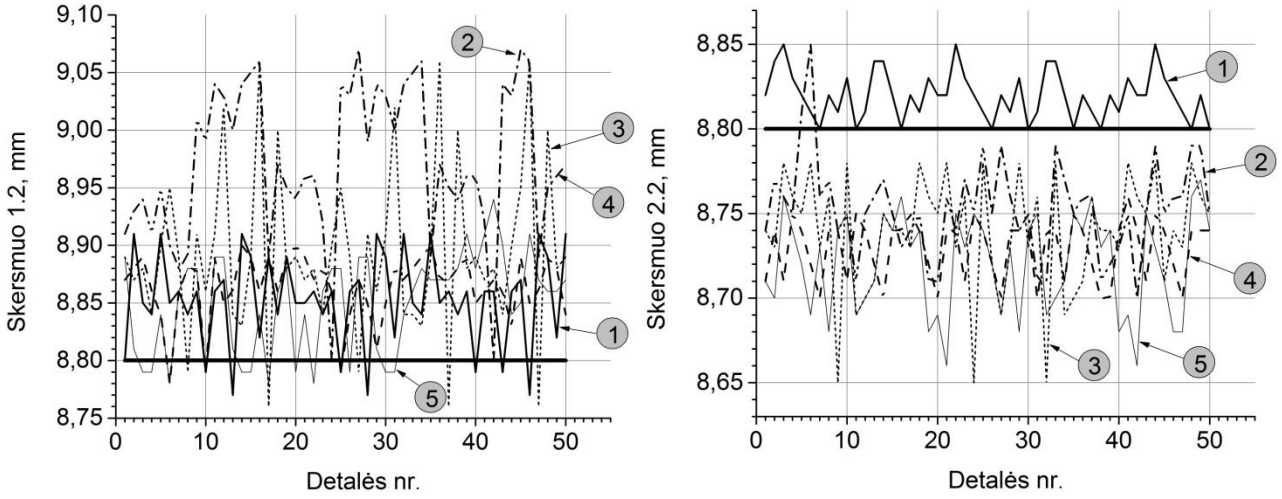


a b

3.18pav. Detalių skersmenys 1.1 (a) ir 2.1 (b) esant, skirtingam slėgio išlaikymo laikui: 1 – laikas 3 s; 2 – laikas 7 s; 3 – laikas 5 s; 4 – laikas 1 s; 5 – laikas 0 s.

3.18 paveiksle pavaizduoti detalių skersmenys 1.1 ir tame pačiame pjūvyje 90 laipsnių pasuktos detalės skersmenys 2.1, esant skirtingam slėgio išlaikymo laikui. Matoma, kad 1.1 pjūvyje esant visoms slėgio išlaikymo laiko reikšmėms, detalės skersmuo atitinka nustatytą matmenį ($9{,}1_{-0{,}3}$). 2.1

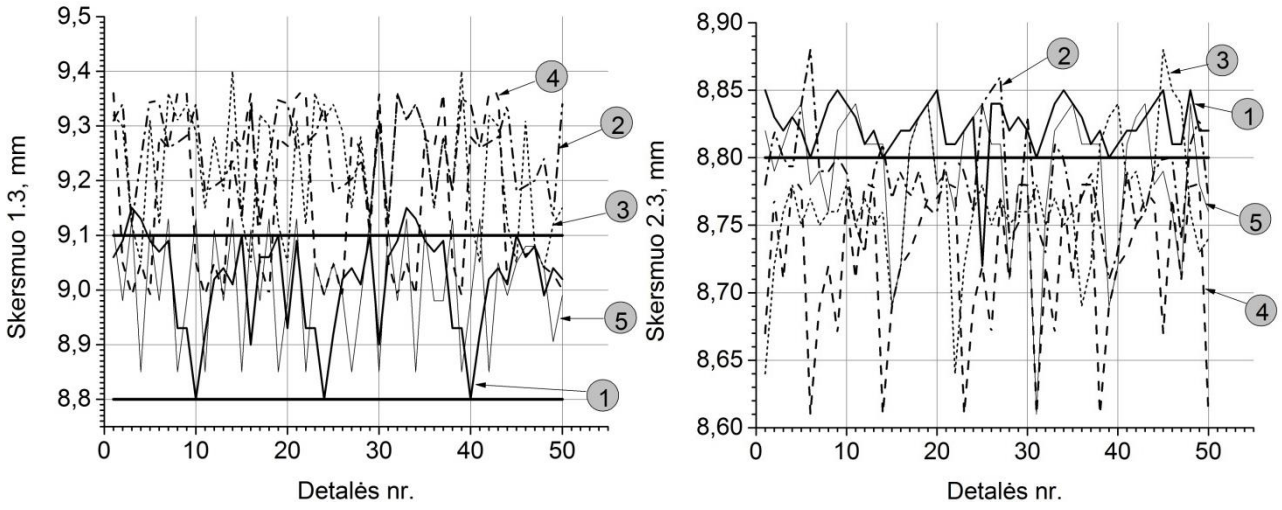
pjūvyje detalės matmenys atitinka tik esant išlaikymo laikui 3 s. 1.1 pjūvyje 4 % detalių, lietų esant3 s slėgio išlaikymo laikui, yra lygios mažiausiai leistinai reikšmei, bet jos neviršija. 2.1 pjūvyje 16 % detalių, lietų esant 3 s slėgio išlaikymo laikui, yra lygios mažiausiai leistinai reikšmei, bet jos neviršija, tačiau yra 12 % detalių nebeatitinka nustatytos minimalios reikšmės. Mažinant plastiko išlaikymo laiką nuo 7 iki 5 s ir nuo 1 iki 0 s, žingsniu 2 s, išliejus po 50 vnt. detalių, 2.1 pjūvyje detalės nebeatitinka darbo brėžinyje pateikto detalės skersmens (atvėsusios per daug susitraukia). Jos yra brokuotos.



a b

3.19pav. Detalių skersmenys 1.2 (a) ir 2.2 (b), esant skirtingam slėgio išlaikymo laikui: 1 – laikas 3 s; 2 – laikas 7 s; 3 – laikas 5 s; 4 – laikas 1 s; 5 – laikas 0 s.

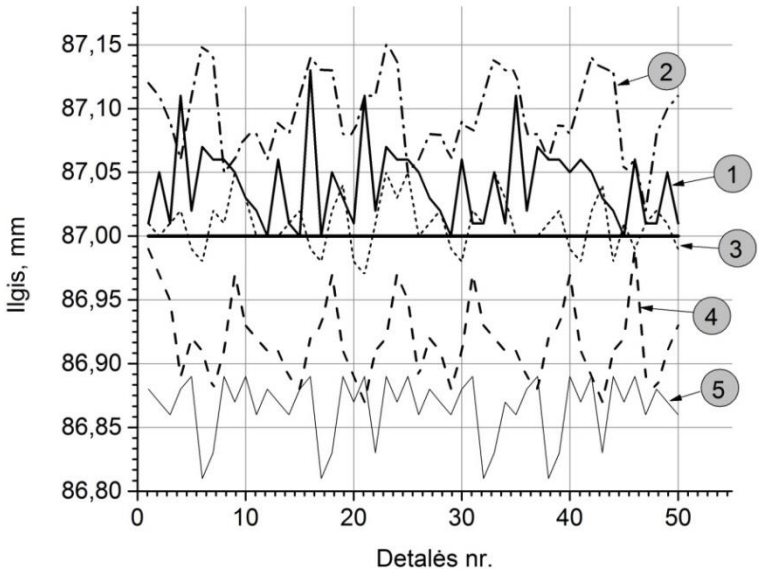
3.19 paveiksle pavaizduoti detalių skersmenys 1.2 ir tame pačiame pjūvyje 90 laipsnių pasuktos detalės skersmenys 2.2, esant skirtingam slėgio išlaikymo laikui. Matoma, kad 1.2 pjūvyje, esant visoms slėgio išlaikymo laiko reikšmėms, detalės skersmuo atitinka nustatytą matmenį ($9{,}1_{-0{,}3}$), tačiau 14 % detalių lietų esant 3 s išlaikymo laikui, nebeatitinka nustatytos skersmens reikšmės. 2.2 pjūvyje visų detalių matmenys atitinka nustatytą reikšmę, esant išlaikymo laikui 3 s ir 6 % detalių,išlietų esant 7 s laiko sąlygoms. 18 % detalių lietų esant 3 s slėgio išlaikymo laikui yra lygios mažiausiai nustatytai reikšmei, bet jos neviršija. Mažinant plastiko išlaikymo laiką nuo 7 iki 5 s ir nuo 1 iki 0 s, žingsniu 2 s, išliejus po 50 vnt. detalių, 2.2 pjūvyje detalės nebeatitinka darbo brėžinyje pateikto detalės skersmens (atvėsusios per daug susitraukia). Jos yra brokuotos. Detalių matmenys esantys 1.2 pjūvyje atitinka nustatytą skersmens reikšmę ($9{,}1_{-0{,}3}$), nes ties šia vieta yra liejimo formos plytų susijungimo linija.



3.20pav. Detalių skersmenys 1.3 (a) ir 2.3 (b), esant skirtingam slėgio išlaikymo laikui: 1 – laikas 3 s; 2 – laikas 7 s; 3 – laikas 5 s; 4 – laikas 1 s; 5 – laikas 0 s.

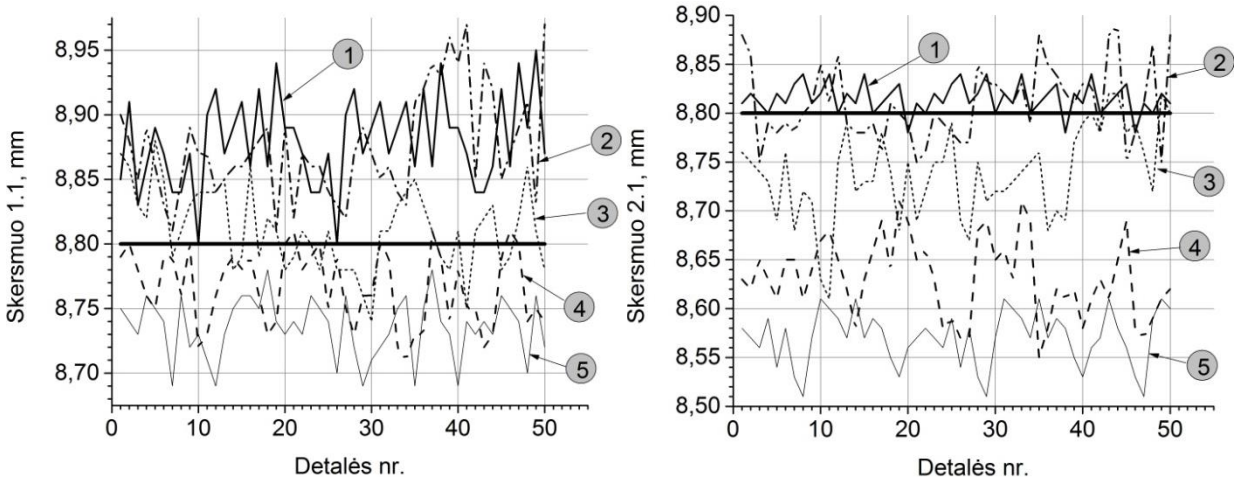
3.20 paveiksle pavaizduoti detalių skersmenys 1.3 ir tame pačiame pjūvyje 90 laipsnių pasuktos detalės skersmenys 2.3, esant skirtingam slėgio išlaikymo laikui. Matoma, kad 1.3 pjūvyje esant 3 s išlaikymo laikui, detalių skersmenys atitinka nustytą matmenį ($9{,}1_{-0{,}3}$), bet 12 % detalių viršija nustatytą reikšmę. 72 % detalių lietų esant 0 s slėgio išlaikymo laikui, taip pat atitinka nustatytą skersmenį, bet tai yra per mažai, kad būtų galima laikyti tinkamu išlaikymo laiku. 2.2 pjūvyje detalės matmenys atitinka esant išlaikymo laikui 3 s. 8 % detalių, lietų esant 3 s slėgio išlaikymo laikui yra lygios mažiausiai nustatytai reikšmei, bet jos neviršija, 4 % detalių nebeatitinka nustatytos reikšmės. Didinant plastiko išlaikymo laiką nuo 7 iki 5 s, žingsniu 2 s, išliejus po 50 vnt. detalių, 1.3 pjūvyje detalės matmenys viršija leistiną ribą, taip atsitinka dėl nedidelės išlajos kuri susidaro plytų susijungimo vietoje. Jos yra brokuotos. Mažinant plastiko išlaikymo laiką nuo 7 iki 5 s ir nuo 1 iki 0 s, žingsniu 2 s, išliejus po 50 vnt. detalių, 2.1 pjūvyje detalės nebeatitinka darbo brėžinyje pateikto detalės skersmens (atvėsusios per daug susitraukia). Jos yra brokuotos.

Penktame etape keičiamas aušinimo laikas nuo 25 iki 5 s, žingsniu 5 s. Kiekviename žingsnyje yra liejama 50 vnt. detalių. Po liejimo kiekvienos lietos detalės parametrai (ilgis ir skersmenys 1.1; 1.2; 1.3 ir pasukus 90 laipsnių kampu skersmenys 2.1; 2.2; 2.3) išmatuojami, o gauti rezultatai pateikiami lentelėse (A Priedas, A.17–20 lentelė) ir grafikuose.



3.21pav. Detalių ilgiai, esant skirtingam aušinimo laikui: 1 – laikas 20 s; 2 – laikas 25 s; 3 – laikas 15 s; 4 – laikas 10 s; 5 – laikas 5 s.

3.21 paveiksle pateikti detalių ilgiai, esant skirtingam aušinimo laikui. Matoma, kad esant 20 s, 25 s ir dalies 15 s aušinimo laikui, detalių ilgiai atitinka darbo brėžinyje nustatytą ilgį (88_{-1}). Serijinio detalių liejimo procese labai svarbus bendras liejimo ciklas ir kokybė, todėl geriausiu variantu parenkamas aušinimo laikas yra 20 s. Mažinant aušinimo laiką nuo 10 s iki 5 s, žingsniu 5 s, išliejus po 50 vnt. detalių, detalės nebeatitinka darbo brėžinyje pateikto detalės ilgio (detalės per daug susitraukia). Jos yra brokuotos. 10 % išlietų detalių, esant 20 s aušinimo laiko sąlygoms yra artimos minimaliai reikšmei, tačiau jos neviršija. Didžiausi ilgiai gauti esant 25 aušinimo laikui, jis lygus 87,15 mm.

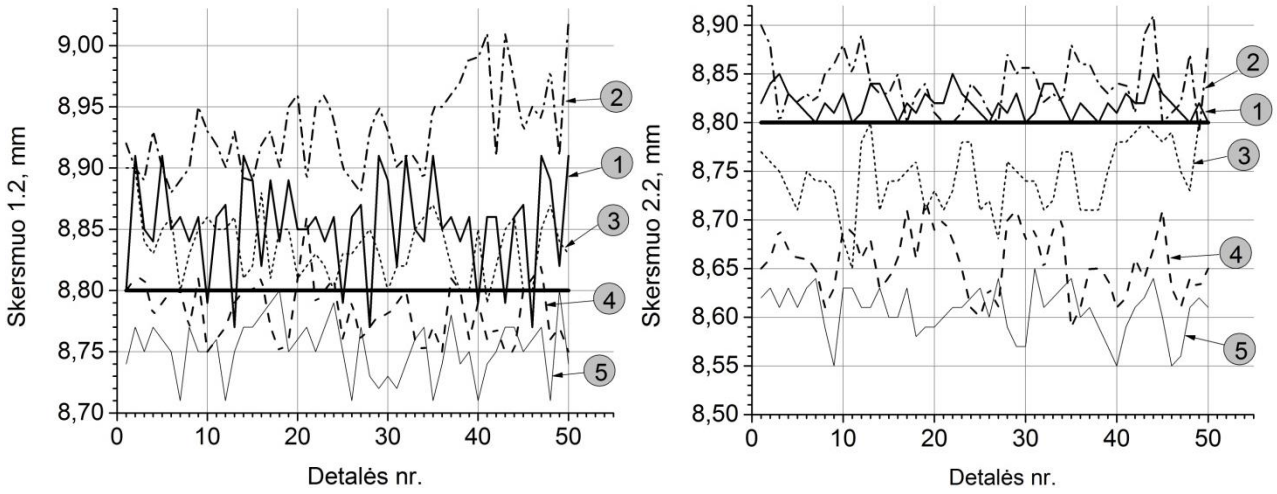


a b

3.22pav. Detalių skersmenys 1.1 (a) ir 2.1 (b), esant skirtingam aušinimo laikui: 1 – laikas 20 s; 2 – laikas 25 s; 3 – laikas 15 s; 4 – laikas 10 s; 5 – laikas 5 s.

3.22 paveiksle pavaizduoti detalių skersmenys 1.1 ir tame pačiame pjūvyje 90 laipsnių pasuktos detalės skersmenys 2.1, esant skirtingam aušinimo laikui. Matoma, kad 1.1 pjūvyje 20 s, 25 s ir

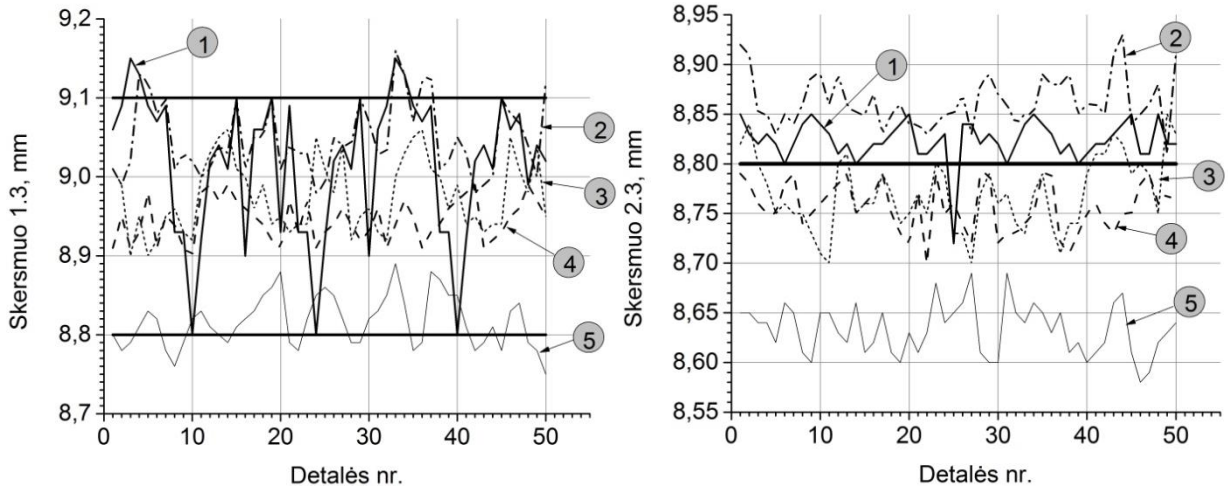
dalies 15 s aušinimo laiko sąlygų, detalių ilgiai atitinka darbo brėžinyje nustatytą skersmenį ($9{,}1_{-0{,}3}$). Serijinio detalių liejimo procesui labai svarbus bendras liejimo ciklas ir kokybė, todėl geriausiu variantu parenkamas aušinimo laikas yra 20 s. 2.1 pjūvyje detalės matmenys atitinka esant aušinimo laikui 20 s ir dalies detalių esant aušinimo laikui 25 s. 1.1 pjūvyje 4 % detalių, lietų prie 20 s aušinimo laiko, yra lygios mažiausiai leistinai reikšmei, bet jos neviršija. 2.1 pjūvyje 16 % detalių, lietų esant 20 s aušinimo laikui, yra lygios mažiausiai leistinai reikšmei, bet jos neviršija, tačiau yra 12 % detalių, kurios nebeatitinka nustatytos minimalios reikšmės. Mažinant plastiko aušinimo laiką nuo 15 iki 5 s ,žingsniu 5 s, išliejus po 50 vnt. detalių, 2.1 pjūvyje detalės nebeatitinka darbo brėžinyje pateikto detalės skersmens (atvėsusios per daug susitraukia). Jos yra brokuotos.



a b

3.23pav. Detalių skersmenys 1.2 (a) ir 2.2 (b), esant skirtingam aušinimo laikui: 1 – laikas 20 s; 2 – laikas 25 s; 3 – laikas 15 s; 4 – laikas 10 s; 5 – laikas 5 s.

3.23 paveiksle pavaizduoti detalių skersmenys 1.2 ir tame pačiame pjūvyje 90 laipsnių pasuktos detalės skersmenys 2.2, esant skirtingam aušinimo laikui. Matoma, kad 1.2 pjūvyje esant 20 s, 25 s ir dalies 15 s aušinimo laikui, detalių ilgiai atitinka darbo brėžinyje nustatytą skersmenį ($9{,}1_{-0{,}3}$). Serijinio detalių liejimo procesui labai svarbus bendras liejimo ciklas ir kokybė, todėl geriausiu variantu parenkamas aušinimo laikas yra 20 s. Tačiau 14 % detalių, lietų esant 20 s aušinimo laikui, nebeatitinka nustatytos skersmens reikšmės. 2.2 pjūvyje detalės matmenys atitinka esant aušinimo laikui 20 s ir 25 s. 18 % detalių, lietų esant 20 s aušinimo laiko sąlygoms yra lygios mažiausiai nustatytai reikšmei, bet jos neviršija. Mažinant plastiko aušinimo laiką nuo 15 iki 5 s, žingsniu 5 s, išliejus po 50 vnt. detalių, 2.2 pjūvyje detalės nebeatitinka darbo brėžinyje pateikto detalės skersmens (atvėsusios per daug susitraukia). Jos yra brokuotos. Detalių matmenys esantys 1.2 pjūvyje neatitinka nustatytos skersmens reikšmės ($9{,}1_{-0{,}3}$), esant 10 s ir 5 s aušinimo laikui.



a b

3.24pav. Detalių skersmenys 1.3 (a) ir 2.3 (b), esant skirtingam aušinimo laikui: 1 – laikas 20 s; 2 – laikas 25 s; 3 – laikas 15 s; 4 – laikas 10 s; 5 – laikas 5 s.

3.24 paveiksle pavaizduoti detalių skersmenys 1.3 ir tame pačiame pjūvyje 90 laipsnių pasuktos detalės skersmenys 2.3, esant skirtingam aušinimo laikui. Matoma, kad 1.3 pjūvyje esant visoms aušinimo laiko reikšmėms, detalės skersmuo atitinka nustatytą matmenį ($9{,}1_{-0{,}3}$), šiuo atveju geriausias aušinimo laikas yra 15–10 s, bet atsižvelgus į kitų pjūvių gautus rezultatus, 20 s išlieka geriausias variantas. Esant 20 s aušinimo laikui, 6 % detalių yra lygios mažiausiai nustatytai reikšmei, bet jos neviršija. Pjūvyje 2.3, aušinimo laikui esant 25 s ir 20 s, atitinka nustatytą skersmens reikšmę, nors 4 % detalių, lietų esant 20 s aušinimo laikui, yra brokuotos, bet atsižvelgus į kitus gautus rezultatus, geriausias aušinimo laikas yra 20 s.Esant 20 s aušinimo laikui 8 % detalių yra lygios mažiausiai nustatytai reikšmei, bet jo neviršija. Mažinant plastiko aušinimo laiką nuo 15 iki 5 s, žingsniu 5 s, išliejus po 50 vnt. detalių, 2.3 pjūvyje detalės matmenys nesiekia minimalios matmens ribos (8,8 mm). Taip atsitinka dėl per didelio detalės susitraukimo. Jos yra brokuotos.

Iš eksperimentinio tyrimo rezultatų matyti, kad svarbus kiekvienas liejimo parametras, norint gauti kokybiškas detales ir kuo trumpesnį liejimo ciklą. Geriausios liejimo parametrų reikšmės pateiktos 3.3 lentelėje. Gautų matmenų rezultatai pateikti prieduose (A Priedas, A.21 lentelė).

3.3 lentelė. Geriausios liejimo parametrų reikšmės

Liejimo parametras				
Plastiko įpurškimo slėgis (bar)	Plastiko įpurškimo greitis (cm^3/s)	Plastiko išlaikymo slėgis (bar)	Plastiko išlaikymo laikas (s)	Aušinimo laikas (s)
650	25	600	3	20

IŠVADOS

1. Atlikus literatūros apžvalgą, nustatyta, kad daugiausia mokslininkų tyrė aušinimo kanalų įtaka detalės kokybei ir liejimo parametrų optimizavimą, jų darbuose tirtos detalės kurios gaminamos iš ABS ar PP žaliavų. Buvo vertinamas tik vienas detalės geometrinis parametras. Šiame darbe buvo naudojama liejimo mašina „Engel“, kuri turi savo unikalią formos užrėmimo sistemą, taip pat jutiklius, kurie užtikrina liejimo parametrų stabilumą, todėl galima tiksliai atrinkti koks parametras veikia kurį detalės parametrą. Tyrimo metu liejimo mašina stovėjo prie vartų, todėl atsiranda temperatūros svyravimai. Šiame tyrime nustatyta teorinė, aplinkos temperatūros svyravimų, įtaka aušinimo procesui. Atliktas eksperimentinis tyrimas, kurio metu tirta liejimo parametrų poveikis detalės geometriniams parametrams.
2. Atlikus teorinius tyrimus, nustatyta, kad aplinkos temperatūrai pasiekus 25–30 ˚C liejimo forma nustatytomis sąlygomis nepakankamai aušinama. Dėl šios priežasties reikia ilginti aušinimo laiką, bet tuo pačiu ilgėja ir liejimo cilko laikas, o jis serijiniame liejime turi būti kuo trumpesnis arba didinti aušinimo skysčio debitą, kas leidžia greičiau ataušinti liejimo formą. Padidinus aušinimo skysčio debitą nuo 0,02 iki 0,03 m^3/min., kai aplinkos temperatūra lygi 30 ˚C, liejimo formos aušinimas pasidaro panašus, kaip aplinkos temperatūrai esant 20 ˚C.
3. Gavus eksperimentinio tyrimo rezultatus, nustatyti geriausi liejimo parametrai: plastiko įpurškimo slėgis – 650 bar; plastiko įpurškimo greitis – 25 cm^3/s; plastiko išlaikymo slėgis – 600 bar; plastiko išlaikymo laikas – 3 s; aušinimo laikas – 20 s. Tolygiausiai matmenys keičiasi, keičiant aušinimo laiką ir aušinimo laikas yra didžiąją dalį liejimo ciklo sudaranti grandis. Aušinimas labiausiai veikia šios detalės geometriją ir dėl liejimo mašinos pozicijos ceche turi būti išlaikoma kuo stabilesnė formos temperatūra, kad būtų galima išlaikyti pastovų aušinimo laiką.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

Bharti,P.K.;Khan, M.I.;Singh, H. 2011. Six Sigma Approach for Quality Management in Plastic Injection Molding Process: A Case Study and Review. *International Journal of Applied Engineering Research* 6(3): 303–314.

DongGyuAhn, Min WooPark, Seung H wa Park and Hyung Su Kim 2010. Design of Conformal Cooling Channels for the Mould of a Plastic Drawer of a Refrigerator by Analysis of Three-Dimensional Injection Moulding.1226–4873p. 1487–1492.

Eksperimentinio tyrimo įrenginys – liejimo mašina „EngelVictory 28“[interaktyvus], [žiūrėta 2017.04.18]. Prieiga per internetą: <http://www.abcgroup3.com/principals /Engel/Tech.htm>.

Kamaruddin, S.;Zahid, A.; Khan; Foong, S. H. 2010. Application of Taguchi Method in the Optimization of Injection Moulding Parameters for Manufacturing Products from Plastic Blend. *IACSIT InternationalJournalofEngineeringandTechnology*6: 1793-8236.

Liejimas įpurškimo metodu [interaktyvus], [žiūrėta 2015.12.14]. Prieiga per internetą: <http://www.ansc.ntu.edu.tw/ALUMNI/photo/pic.php?CID=3&Album_ID=4&Photo_ID=45>

Liejimo mašina „AsianPlasticSuperMaster“[interaktyvus], [žiūrėta 2015.11.24]. Prieiga per internetą: <http://km-system.pl/asian-plastic-machinery-super-master.php>

Liejimo mašina „Atec HC series“[interaktyvus], [žiūrėta 2015.11.25]. Prieiga per internetą: <httphttp://www.atecgroup.net/imm.html>

Liejimo mašina „Arburg“[interaktyvus], [žiūrėta 2015.11.25]. Prieiga per internetą: <https://www.arburg.com/us/us/company/>

Liejimo mašina „ENGEL victory“[interaktyvus], [žiūrėta 2015.12.10]. Prieiga per internetą: <http://www.engelglobal.com/en/at/solutions/injection-moulding-machines/victory.html>

Liejimo procesas [interaktyvus], [žiūrėta 2015.11.20]. Prieiga per internetą: <http://www.pfabrikas.lt/straipsniai/item/96-plastmases-liejimas>

Muktar, A.M.;Kumar,D. 2013. Reducing Shrinkage in Plastic Injection Moulding using Taguchi Method in Tata Magic Head Light .*International Journal of Science and Research (IJSR)*, India Online ISSN: 2319-7064.

Mathivanan,D.;Nouby, M.;Vidhya, R.2010. Minimization of sink mark defects in injection molding process – Taguchi approach. *International Journal of Engineering, Science and Technology* (No. 2): 13–22.

POM Kepital F20-03 charakteristikos[interaktyvus], [žiūrėta 2016.06.13]. Prieiga per internetą: <http://www.kepital.eu/KEPcms/res/PDFs/ KEP_Product_240309.pdf>

Saifullah, A. B. M.;Masood, S.H.;Sbarski, I. 2009. New Cooling Channel Design for Injection Moulding. *Proceedings of the World Congresson Engineering* (No. 1).