



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Injekcinio liejimo būdu suformuoto plastiko gaminio apdirbimo kelės tobulinimas

Baigiamasis magistro projektas

Viltė Subačiūtė
Projekto autorė

prof. Regita Bendikienė
Vadovė

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Injekcinio liejimo būdu suformuoto plastiko gaminio apdirbimo kelės tobulinimas

Baigiamasis magistro projektas
Gamybos inžinerija (6211EX015)

Viltė Subačiūtė
Projekto autorė

prof. Regita Bendikienė
Vadovė

doc. Kristina Žukienė
Recenzentė

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Viltė Subačiūtė

Injekcinio liejimo būdu suformuoto plastiko gaminio apdirbimo celės tobulinimas

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 baigiamojo 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.

Viltė Subačiūtė

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kaunas technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Studentei – Viltėi Subačiūtei

1. Projekto tema –

Injekcinio liejimo būdu suformuoto plastiko gaminio apdirbimo celės tobulinimas

(Lietuviškai)

Improvement of Post-moulding Operations Workcentre for Plastic Injection Moulding Product

(Angliškai)

2. Hipotezė

Pilnai automatizuota celė – puikus apdirbimo centras plastiko gaminiui.

3. Projekto tikslas ir uždaviniai –

Tikslas – patobulinti esamą neefektyvų plastiko detalės liejimo ir apdirbimo procesą.

Uždaviniai:

1. apžvelgti neefektyvaus proceso žingsnius;
2. pristatyti reikalavimus, keliamus detalės kokybei;
3. pristatyti detalų proceso tobulinimo planą;
4. pateikti naujos celės darbo našumo ekonominį vertinimą.

4. Pradiniai projekto duomenys –

Netaikoma

5. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos –

Kokybės valdymo techninė specifikacija IATF 16949, kokybės valdymo standartas ISO 9001

| | | | |
|----------------------------------|---|------------------|-----------------------------|
| Projekto autorė | Viltė Subačiūtė <i>(Vardas, Pavardė)</i> | <i>(Parašas)</i> | 2022.09.26 <i>(Data)</i> |
| Vadovė | Regita Bendikienė <i>(Vardas, Pavardė)</i> | <i>(Parašas)</i> | 2022.09.26 <i>(Data)</i> |
| Krypties studijų programų vadovė | Regita Bendikienė <i>(Vardas, Pavardė)</i> | <i>(Parašas)</i> | 2022.09.26 <i>(Data)</i> |

Subačiūtė, Viltė. Injekcinio liejimo būdu suformuoto plastiko gaminio apdirbimo kelės tobulinimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė prof. 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: injekcinis plastiko liejimas, kelės tobulinimas.

Kaunas, 2023. 61 p.

Santrauka

Injekcinis plastiko liejimas – viena populiariausių plastiko granulių apdirbimo į gaminius technologija. Nors ši technologija leidžia pagaminti komplikotos geometrijos detales, tačiau nemažai apdirbimo operacijų turi būti atliktos po liejimo operacijos. Vykdomos operacijos gali būti labai skirtingos ir sudėtingos, priklausomai nuo detalės specifikos ir kliento keliamų reikalavimų. Neretai yra pakankamai sudėtinga vykdyti detalės gamybą efektyviai, kai jai pagaminti reikia daug skirtingų apdirbimo operacijų. Šiame tyrime aptartas konkretus injekcinio liejimo būdu gautos ir vėliau apdirbimo kelėje apdorojamos detalės atvejis. Tyrime buvo siekiama patobulinti esamą neefektyvų detalės apdirbimo procesą. Pirmiausia, išanalizuoti esamos detalės gamybos proceso žingsniai. Vėliau aptiktos tobulintinos gamybos proceso veiklos – švaistymas transportuojant detales tarp nutolusių darbo centrų, nepakankamas detalių kokybės stebėjimas, neužtikrintas švaros lygis, per didelis žmogaus poreikis gamybos procese. Nustačius tobulintinas proceso vietas, apsvarstyti ir pasirinkti kelės tobulinimo būdai investuojant į naują įrangą, kitaip išdėstant darbo centrus, siekiant pakelti detalių gamybos našumą. Investuota į plastiko detalių gręžimo įrenginį, drožlių nusiurbimo įrangą, kokybės kontrolės sistemą (detalių stebėjimo kamera ir programinė įranga), detalių atskyrimo sistemą (netinkamų detalių konvejeris, programinė įranga, esamo roboto kalibracija). Po modifikacijos eliminuotas detalių transportavimas į gręžimo cechą, gręžimą vykdant kelėje, eliminuotas transportavimas ir padidintas detalių kokybės tikrinimas, vykdant detalių stebėseną kelėje, o ne perrenkant rankiniu būdu. Taip pat pakeltas detalių švaros lygis. Po įvykdytos modifikacijos apskaičiuota, kad detalės gaminamos pigiau, nes atpigo detalių gamybos savikaina, taip pat detalės gaminamos greičiau, nes sumažėjo detalių gamybos ciklo laikas. Padidėjo detalių gamybos pajėgumas per metus. Nustatyta, kad įranga atsiperka per ateinančius du metus. Tad investicijos padėjo padaryti injekcinio plastiko liejimo gamybos procesą efektyvesnį.

Subačiūtė, Viltė. Improvement of Post-moulding Operations Workcentre for Plastic Injection Moulding Product / supervisor 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: injection moulding, modification of the workcentre.

Kaunas, 2023. 61 p.

Summary

Plastic injection moulding is one of the most popular technologies for processing plastic pellets into products. Although this technology allows the production of parts with complex geometries, a number of machining operations have to be carried out after the injection moulding operation. The operations involved can be very diverse and complex, depending on the specifics of the part and the requirements of the customer. It is often quite difficult to manufacture a part efficiently when many different machining operations are required to produce it. This study focuses on the specific case of a part produced by injection moulding and subsequently processed in a machining cell. The aim of the study was to improve an existing inefficient machining process for the part. Firstly, the steps of the existing part manufacturing process were analysed. Subsequently, the activities to be improved in the production process were identified, such as wasteful transport of parts between distant work centres, insufficient monitoring of part quality, insufficient cleanliness, and excessive human effort in the production process. Having identified the areas of process improvement, ways to improve the cell by investing in new equipment, repositioning work centres and improving the productivity of parts production were considered and selected. Investments were made in a drilling machine for plastic parts, a chip suction equipment, a quality control system (part monitoring camera and software), a part separation system (conveyor for unsuitable parts, software, calibration of existing robot). The modification eliminates the transport of parts to the drill shop by drilling in the cell, eliminates transport and increases the quality control of parts by monitoring the parts in the cell instead of manual check. The cleanliness of the parts is also increased. After the modification, it is estimated that parts are produced cheaper because the cost of producing parts has decreased, and parts are produced faster because the cycle time of parts has decreased. The annual production capacity of parts has increased. The payback period for the equipment is estimated to be within the next two years. The investment has therefore made the injection moulding production process more efficient.

Turinys

| | |
|---|-----------|
| Lentelių sąrašas | 8 |
| Paveikslų sąrašas | 9 |
| Santrumpų ir terminų sąrašas | 10 |
| Įvadas..... | 11 |
| 1. Literatūros apžvalga | 13 |
| 1.1. Lietų ir papildomai apdirbtų plastiko detalių poreikio augimas..... | 13 |
| 1.2. Liejimo pramonės pradžia ir dabartis | 14 |
| 1.3. Injekcinio liejimo technologija..... | 16 |
| 1.3.1. Tipiniai injekcinio liejimo defektai | 17 |
| 1.3.2. Technologijos privalumai, trūkumai, galimybės | 19 |
| 2. Eksperimentinė dalis | 21 |
| 2.1. Esamo proceso apžvalga..... | 21 |
| 2.1.1. Liejimo įrenginys..... | 21 |
| 2.1.2. Plastiko žaliava..... | 22 |
| 2.1.3. Esama proceso eiga | 23 |
| 2.2. Detalei keliami kokybės reikalavimai | 28 |
| 2.3. Proceso tobulinimo būdai | 30 |
| 2.3.1. Patobulinto proceso automatinės celės darbo aprašymas..... | 32 |
| 2.3.2. Operatoriaus veiksmai | 34 |
| 2.3.3. Darbo saugos reikalavimai automatizuotoje celėje | 37 |
| 2.4. Naujos celės darbo našumo ekonominis vertinimas..... | 38 |
| 2.4.1. Esamos detalės kainos vertinimas | 38 |
| 2.4.2. Modernizuotos detalės kainos vertinimas | 44 |
| Išvados | 49 |
| Literatūros sąrašas | 50 |
| Informacijos šaltinių sąrašas | 53 |
| Priedai..... | 54 |
| 1 priedas. GRIVORY HTV-35H1 BLACK 9205 medžiagos techninės specifikacijos lapas | 54 |
| 2 priedas. Dalyvavimo mokslinės konferencijos „Industrial Engineering 2022“ sertifikatas | 55 |
| 3 priedas. Detalės brėžinys (5 puslapiai)..... | 56 |

Lentelių sąrašas

| | |
|---|----|
| 1 lentelė. Injekcinio plastiko liejimo metu naudojami termoplastikai ir jų mišiniai..... | 16 |
| 2 lentelė. Informacija liejimo įrengimo parinkimui [8i] | 21 |
| 3 lentelė. Detalės gamybos veikslių seka | 23 |
| 4 lentelė. Detalės kokybės tikrinimas..... | 28 |
| 5 lentelė. Sukimo momento tikrinimas | 28 |
| 6 lentelė. Kritiniai matmenys, matuojami koordinatine matavimo mašina du kartus per pamainą .. | 30 |
| 7 lentelė. Detalės pakavimo ir tikrinimo kriterijai operatoriui..... | 35 |
| 8 lentelė. Asmens apsaugos priemonės | 38 |
| 9 lentelė. Fiksuotieji ir kintamieji įkainiai liejimo ceche (liejimo mašinos ir žmogaus darbui)..... | 39 |
| 10 lentelė. Fiksuotieji ir kintamieji įkainiai virinimo celėje | 41 |
| 11 lentelė. Fiksuotieji ir kintamieji įkainiai gręžimo staklėms | 42 |
| 12 lentelė. Fiksuotieji ir kintamieji įkainiai perrinkimo operacijai..... | 43 |
| 13 lentelė. Perkamų įrengimų ir paslaugų sąrašas | 44 |
| 14 lentelė. Fiksuotieji ir kintamieji įkainiai patobulintoje virinimo celėje..... | 45 |

Paveikslų sąrašas

| | | |
|----------------|--|----|
| 1 pav. | Buitinės elektronikos prietaisus gaminančio pramonės sektoriaus dalies pajamos | 14 |
| 2 pav. | „Lean“ ir „Pamonės 4.0“ filosofijos..... | 15 |
| 3 pav. | Išlajos: dvi detalės su išlajomis (kairėje) ir dvi be išlajų (dešinėje)[5i] | 17 |
| 4 pav. | Dviejų formos pusių nesutapimas, sudarantis atskyrimo liniją [6i] | 17 |
| 5 pav. | Atskyrimo linijos ant detalių [6i] | 18 |
| 6 pav. | Suslūgimai ant detalės [7i] | 18 |
| 7 pav. | Temperatūrinis gradientas detalės lydalo kanale..... | 19 |
| 8 pav. | Lydalo pasiskirstymas, esant skirtingiems įdėklams [19]..... | 19 |
| 9 pav. | Gaminama stabdžių sistemos detalė..... | 21 |
| 10 pav. | Grivory HTV-5H1 granulių aplinkos drėgmės absorbcijos diagrama | 23 |
| 11 pav. | Gamybos cecho planas su jame pažymėtais gaminamos detalės darbo centrais..... | 27 |
| 12 pav. | Pavaizduota esamo proceso surinkimo celė | 27 |
| 13 pav. | Sukimo momento tikrinimo įranga | 29 |
| 14 pav. | Vienas iš kritinių matmenų detalės 2D brėžinyje, matuojamas naudojant KMM | 29 |
| 15 pav. | Patobulintos celės vizualizacija..... | 32 |
| 16 pav. | Aktuatorių išdėstymas celėje..... | 33 |
| 17 pav. | SCADA sistemos ekrane vaizduojama automatizuotos celės aplinka | 34 |
| 18 pav. | Vizualiniai operatoriaus pakavimo ir tikrinimo instrukcijos paaiškinimai..... | 37 |
| 19 pav. | Detalės gamybos sąnaudų pokytis po modernizacijos, Eur | 47 |
| 20 pav. | Detalės gamybos ciklo laiko pokytis po modernizacijos, sekundėmis | 47 |

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

Gamybos pr./1 užpr. – vienu liejimo formos užpresavimu pagaminamų detalių tikrinimas gamybos plano pradžioje;

2k/pamainą/ 2 užpr. – dviem liejimo formos užpresavimais pagaminamų detalių tikrinimas du kartus per pamainą;

FIFO – „Pirmas į, pirmas iš“;

IATF 16949 – automobilių pramonės standartas;

PPM – liet. milijoninės dalys, vienetų skaičius iš milijono;

PPA – poliftalamidas (ASTM);

RAL 9205 – spalvos kodas RAL spalvų paletėje;

DN – pristatymo dokumentas;

KMM – koordinatinė matavimo mašina;

NOK – kokybės reikalavimų neatitinkančios detalės.

Įvadas

Injekcinis plastiko liejimas yra viena populiariausių plastiko granulių apdirbimo į gaminius technologija. Ši technologija yra paremta aukštos temperatūros ir slėgio plastiko granulių lydalo įpurškimu į inversija detalės geometrijai pasižyminčią plieno ir aliuminio lydalo liejimo formą. Šio proceso metu, tinkamai paruošus žaliavą, suregulius įrenginio veikimą ir detalių transportavimo bei pakavimo operacijas, galima gauti griežtus paviršiaus ir siauras matmenų tolerancijas atitinkančias detales. Ši technologija yra pritaikyta serijinei ir masinei gamybai dėl didelių specialios technologinės įrangos, t.y., liejimo formos, gamybos sąnaudų, ilgos pasirengimo gamybos planui trukmės ir trumpo vienos detalės gamybos ciklo laiko. Nors injekcinio plastiko liejimo technologija leidžia pagaminti komplikuotos geometrijos detales, tačiau nemažai apdirbimo operacijų turi būti atliktos po liejimo operacijos. Vykdomos operacijos gali būti labai skirtingos ir sudėtingos. Tai priklauso nuo detalės specifikos ir kliento keliamų reikalavimų. Neretai yra pakankamai sudėtinga vykdyti detalės gamybą efektyviai, kai jai pagaminti reikia daug ir įvairių apdirbimo operacijų. Operacijoms, tokioms kaip detalių dažymas, frezavimas, gręžimas, virinimas, chromavimas, padengimas folija, nupūtymas jonizuoto oro srove, sutepimas, graviravimas lazeriu, surinkimas su kitais komponentais, perrinkimas ir kitoms, reikia specialios gamybos įrangos, joms naudojamos specifinės medžiagos ir komponentai, o įrenginių priežiūrai ir gamybos operacijoms vykdyti reikalingi savo srities specialistai. Gamyba komplikuojasi, jei kiekvieną operaciją reikia atlikti su dideliu tikslumu – kuo daugiau operacijų, tuo didesnis kokybės neatitinkančių detalių kiekis, be to, svarbi ir detalių kokybės stebėseną ir atliktas kokybiškų detalių atskyrimas nuo nekokybiškų detalių tinkamu laiku. Ankstesnėje operacijoje pagaminus netinkamų detalių ir perdavus jas tolesniam apdirbimui, kyla rizika pagaminti kokybės reikalavimų neatitinkančių detalių. Šiame darbe nagrinėjama tema yra aktuali ir svarbi todėl, kad efektyvus gamybos procesas yra kertinis tikslas kiekvienai gamybos įmonei, kad jos veikla nebūtų nuostolinga. Jei detalės gamybos procesas yra lėtas, pagaminama daug nekokybiškų gaminių, eikvojami įrenginių ir žmogiškieji resursai, detalės gamyba yra neefektyvi, reikia peržvelgti detalės gamybos žingsnius ir inicijuoti gamybos eigos tobulinimą. Tobulinimas gali būti nesudėtingas – tik nedidelis liejimo proceso parametrų (išlaikymo arba šaldymo laiko) perreguliavimas, kad sutrumpėtų liejimo ciklo laikas, jei dėl to nekinta detalės matmenys ar išvaizda. Taip pat galimas detalių transportavimo patobulinimas. Kai norima efektyvinti kelių skirtingų gamybos operacijų eigą, siekiama vengti transportavimo sąnaudų tarp darbo centrų, perpakavimo, laukimo, sandėliavimo žingsnių, tačiau to nebūtinai užtenka, kad detalės gamybos kelias taptų efektyvesnis. Kiekviena detalė turi savo specifiką ir niansus. Prieš projekte aptariamą optimizaciją buvo žinoma, kad yra verta skirti resursų į kokybiškų ir nekokybiškų detalių atskyrimą pasitelkiant stebėjimo kamerą, kokybės vertinimo programinę įrangą ir du skirtingus konvejerius, taip pat celės operacijų lokalizaciją, eliminuojant transportavimo ir perpakavimo sąnaudas. Projekto metu susiduriama su švaros užtikrinimo iššūkiu, kuris sprendžiamas atsižvelgiant į detalės geometriją ir kliento reikalavimus. Šiame projekte aptartas celės optimizavimo metodas gali būti naudingas tiek plastiko liejimo įmonėms, kuriose atliekamos papildomos plastiko apdirbimo operacijos, tiek kitoms gamybos įmonėms, kur yra dirbama su automatizuotu detalės išėmimu iš liejimo formos, keliomis skirtingomis papildomų komponentų rūšimis, automatizuotu jų įdėjimu į detalę, gręžimo, virinimo operacija, kokybės patikra, pakavimu.

Tikslas – patobulinti esamą neefektyvų plastiko detalės liejimo ir apdirbimo procesą.

Uždaviniai:

1. apžvelgti neefektyvaus proceso žingsnius;

2. pristatyti reikalavimus, keliamus detalės kokybei;
3. pristatyti detalų proceso tobulinimo planą;
4. pateikti naujos celės darbo našumo ekonominį vertinimą.

1. Literatūros apžvalga

Plastikas – viena populiariausių kasdien naudojamų medžiagų. Dažniausiai jis matomas kaip pakavimo medžiaga, buitiniuose prietaisuose, induose, žaisluose, kituose vienkartinuose, neilgalaikiuose, prastos kokybės gaminiuose. Dėl to plastikas dažnai asocijuojasi su didelėmis taršos problemomis – šiukšlių sancaupomis sausumoje, atliekomis vandenynuose, žuvusiais gyvūnais, negrįžtamais visos ekosistemos pokyčiais. 9 milijonai tonų plastiko kiekvienais metais patenka ne ten, kur turi patekti – į aplinką, o ne į perdirbimo ciklą. Taip žalojama gamta [1]. Tačiau iš tiesų plastiko yra kur kas daugiau ir ne tik plastiko pakuotėse. Gaminių iš plastiko yra automobilių, baldų, medicinos, santechnikos pramonės sektoriuose. Detalės iš plastiko dalyvauja kaip svarbūs komponentai kituose gaminių mazguose. Jos turi pasižymėti ilgaamžiškėmis ir stabiliomis savybėmis, atitikti keliamus aukštus matmenų ir vizualinius reikalavimus, taip pat geromis mechaninėmis, izoelektrinėmis, atsparumo aplinkos poveikiui ypatybėmis. Atsirado ir atsiranda naujų plastiko rūšių (plastiko kompozitai, mišiniai, biopolimerai) bei apdirbimo sferų, pagrindinės – plastiko virinimas ultragarsu, tekinimas, frezavimas, dažymas, graviravimas ir kitų.

1.1. Lietų ir papildomai apdirbtų plastiko detalių poreikio augimas

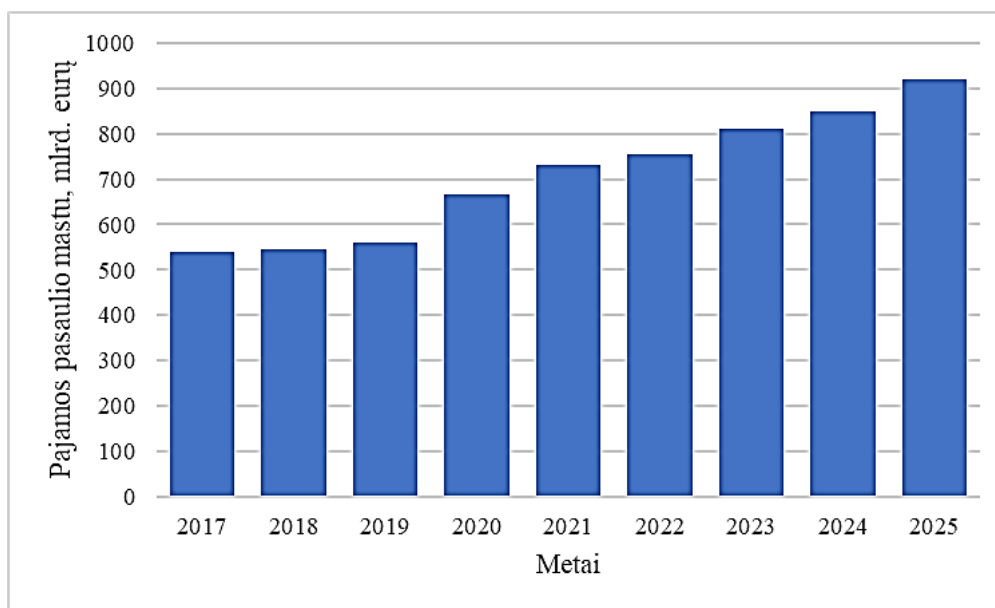
Automobilių pramonė yra labai didelė ir svarbi plastiko detalių gamintoja ir naudotoja. Įmonės, gaminančios detales automobilių pramonei, turi atitikti specialius saugos standartus, nes automobilių srityje itin svarbus patikimumas, stabilumas ir galutinio vartotojo saugumas. Automobilių pramonės gamintojai turi atitikti specialų IATF 16949 standartą, o vėliau reguliarias sertifikuotų auditorių patikras [2].

Plastikas automobiliuose naudojamas jau nuo 1900-ųjų. Seniau plastikas buvo naudotas tik interjero detalėms, o dabar jo panaudojimo laukas vis plečiasi. Plastiko yra automobilių ir sunkvežimių eksterjere, kėbulo konstrukcijose (pavyzdžiui, CFRP – anglies pluoštu sustiprinta plastikų grupė). Plastiką panaudojamas ir oro, kuro perdavimo, stabdžių sistemose, vamzdynuose, lakštinėms spyruoklėms automobilio pakaboje, smūgiams atsparioms kompozicinėms detalėms [3]. Didėjanti plastikų panaudojimą automobilių pramonėje lemia ne tik metalo ir plieno automobiliuose keitimas sustiprintais inžineriniais plastikais, kompozitais su anglies ar stiklo pluoštais. Plečiasi ir pats automobilių sektorius. 2021 metų spalį Dubline išleistoje apžvalgoje teigiama, kad ši pramonės šaka 2020 metais buvo susijusi su 85,32 mln. skirtingų įmonių, o 2030 metais įmonių skaičius turėtų siekti jau 122,83 mln. Globalios automobilių rinkos augimo prognozės, įvertinant COVID-19 pandemijos įtaką bei naujus technologinius pritaikymus, siekia net 3,71 % 10-ies metų laikotarpiu [1i].

Nenuostabu, kad plastikams keičiant tokius technologiškai sudėtingus mazgus kaip stabdžių bei kuro sistemos automobiliuose, jų panaudojimo galimybės pastebėtos ir statybų sferoje. Nors plastikai statybose nėra jokia naujiena, štai konstrukcinių elementų iš kompozitų taikymas daro nemenką pokytį šiam sektoriui. Padidėjusi plastikų reikšmė atsispindi prognozėse: 2019 metais pasaulinė pastatų ir konstrukcinių plastikų rinka siekė 60 mlrd. dolerių, 2027 metais ji turėtų būti padvigubėjusi (vertinant pajamas) [4].

Elektronikos komponentų naudojimo bumai pastebimas ne tik buitinyje, bet ir pačiose pramonės įmonėse. Per paskutinius 15-ka metų jis didėjo eksponentiškai. Iki 2025-ųjų taip pat yra

prognozuojamas stabilus elektronikos industrijos pajamų didėjimas (žr. 1 pav.). Dėl vienos



1 pav. Buitinės elektronikos prietaisus gaminančio pramonės sektoriaus dalies pajamos (prognozė 2017-2025 metams), mlrd. JAV dolerių [2i]

svarbesnių problemų elektronikoje – didelio šilumos išsiskyrimo sukeltamų aušinimo išlaidų ir mažėjančio pačių komponentų patvarumo – kilo poreikis gaminti elektronikos komponentus iš geresniu šiluminiu laidumu pasižyminčių medžiagų, o tam puikiai tiko ne kas kitas, o šilumai laidžių plastikų grupė [5]. Kadangi didėja elektronikos komponentų paklausa, lygiagrečiai didėja jų gaminimas iš plastiko ir plastiko apdirbimo technologijų svarba. Elektronikos komponentams neretai naudojama ultragarsinio suvirinimo technologija (angl. *ultrasonic welding*). Ji sujungia komponentus tvirtai, tiksliai ir greitai, nepalieka dulkių ar kitų produktų, nespinduliuoja šviesos ar šilumos, dėl to itin jautriems ir mažiems elektronikos komponentams labai tinka, nes negali jų užteršti ar išreguliuoti [6]. Ultragarsinis virinimas naudojamas komponentams prie korpusų privirinti (pavyzdžiui, garsiakalbis prie plastiko korpuso skylių garsui išeiti), ekrano stiklams iš skaidraus plastiko prie neskaidraus plastiko korpuso pritvirtinimui, papildomoms metalo įvorėms įvirinti į korpusą (jei negalima panaudoti metalo komponento apliejimo) ir kitur.

Plastiko naudojimas nevienkartiniams gaminiams – automobiliams, pastatams, elektronikai – ir šių pramonės sričių augimas – yra pozityvus ženklas pačiai injekcinio plastiko liejimo technologijai. Ji jau dabar yra plačiausiai taikoma iš visų plastiko apdirbimo būdų – net 32 % polimerinių junginių atsiduria injekcinio plastiko liejimo būdu gautuose produktuose [7].

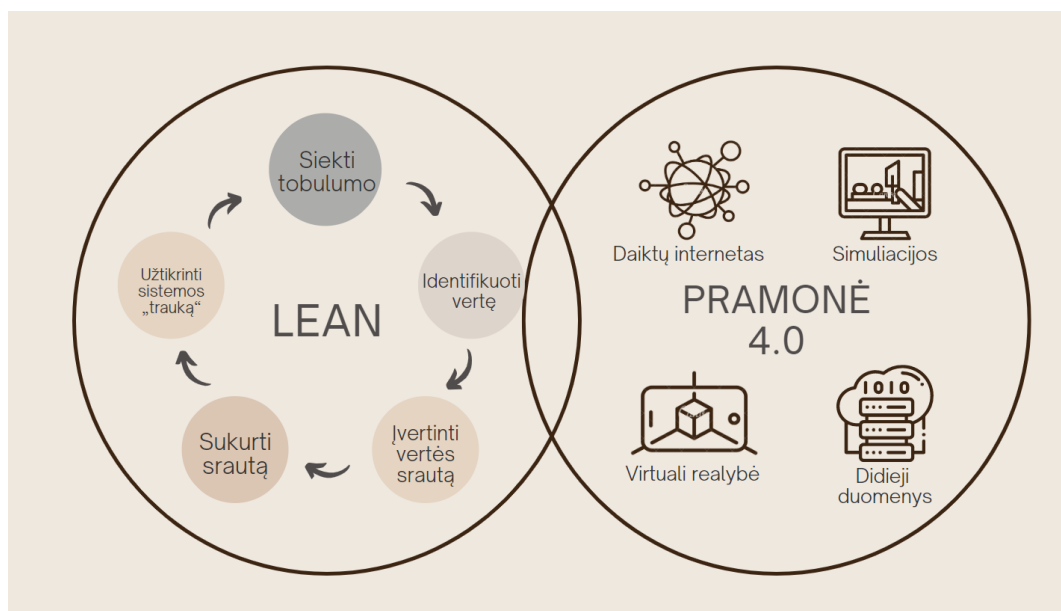
1.2. Liejimo pramonės pradžia ir dabartis

Injekcinio plastiko liejimo eros pradžia – 1872-ieji, kai Džonas Veslis Hajatas sukonstravo pirmąją injekcinio plastiko liejimo mašiną. Antrasis lūžis technologijoje – 1909-ieji, kai buvo atrastas bakelitas – pirmasis visiškai sintetinis plastikas [8].

Technologijos pradžioje ir didelę dalį XX-ojo amžiaus plastiko liejime buvo didelis žmogaus poreikis. Žmogus džioviną medžiagą, ją rankiniu būdu sumaišo su pigmentu, supila į medžiagos dozatorių, reguliuoja liejimo parametrus, rankomis išiminėja detales (nes nėra robotų, kurie galėtų jas išimti iš liejimo formos), apžiūri jas, išskirsto į tinkamas ir netinkamas detales, geras čia pat

surinkinėja su kitomis ar vykdo papildomas operacijas, o galiausiai pakuoja ir veža sandėliuoti. Turint mintyje neatitiktis, pasitaikančias dėl žmogiškojo faktoriaus, nesunku įsivaizduoti, kaip praeityje buvo sudėtinga išgauti tinkamą gaminių kokybę. Gamybos eigoje vienam žmogui aprėpiant daug skirtingų operacijų, neišvengiama ne tik klaidų, bet ir nėra užtikrinamas efektyvus proceso vykdymas, logiška veiksmų seka, darbo vieta nėra tvarkinga, ribota ir ergonomiška, nes ji aprėpia didelį gamybinių plotą. Netvarka, nereikalingi daiktai darbo vietoje užima neproporcingai daug vietos, sunku apskaityti medžiagas ir komponentus, dalintis darbo priemonėmis su kitais kolegomis – komponentų ir darbo priemonių arba visad trūksta, arba yra visad per daug. Sunku laikytis švaros.

„Lean“ sistema ir „Pramonė 4.0“ – du veiksniai, kurie jau keičia pramonės darbą (žr. 2 pav.). „Lean“ 5S principu sutvarkytos, ergonomiškos darbo vietos, apgalvoti ir eliminuoti nereikalingi, vertės klientui nekuriantys veiksmai – „Muda“ (iš jap. 無駄) [9], detalių transportavimas klientui FIFO – (liet. *Pirmas į, pirmas iš*, angl. *First In, First Out*) principu – visad apdorojamas ir transportuojamas anksčiau pagamintas komponentas ar produktas – tai tik keletas paprastų, bet ne taip lengvai įmonėse įdiegiamų minčių iš „Lean“ filosofijos, kurios žymiai efektyvina darbą. „Lean“ – tai darbo filosofija, kurios neįmanoma įdiegti per metus. Jos įmonės mokosi dešimtmečiais.



2 pav. „Lean“ ir „Pramonės 4.0“ filosofijos

„Pramonė 4.0“ turi kitą pagrindinę idėją – visišką automatizaciją, mašininį mokymąsi, daiktų internetą. Tai didžiulis technologinis ir finansinis iššūkis pramonės įmonėms, kurį įveikus, galima džiaugtis puikiais efektyvumo rodikliais, aukšta gaminių kokybe, mažu detalės ciklo laiku.

Kartu „Lean“ darbo filosofija ir „Pramonė 4.0“ automatizacija, atradus abiejų balansą, gali suteikti įmonei didžiausią įmanomą naudą – pilną potencialą iš abiejų pramonės vystymosi kryptių be nereikalingų automatizavimo nuostolių, bet aukščiausią įmanomą darbo ir gaminių kokybę per trumpiausią laiką.

Konkrečiu injekcinio plastiko liejimo celės modernizavimo atveju pats plastikas kaip apdirbamoji medžiaga yra nemenkas iššūkis. Tos pačios rūšies granulių sandaros ir savybių svyravimai tarp partijų, neidealus išsimaišymas su pigmentu, drėgmės absorbcija, dideli susitraukimo svyravimai, svyruojantys liejimo proceso parametrai [10], minimalus, tačiau stabilus formos dėvėjimasis kelia

labai daug išsūkių siekiant automatizuoti gamybos liniją. Plastiko gamyboje neretai pranašumą stebint detalių kokybę turi žmogus, kuris gali įvertinti naujai atsirandančių neatitikčių svarbą konkrečioms detalėms. Kol robotai negali vertinti atsirandančių naujų problemų, tenka pasikliauti tinkamu žmogaus darbu. Tačiau žmogus racionaliai gali įvertinti (tinkama ar netinkama detalė) tik tuos defektus, kuriuos jis pastebi. Pastabumu žmogus nusileidžia tinkamai sureguliuotų automatinio celių veikimui, kur naudojami detalių pozicionavimo mechanizmai, jutikliai, kameros ir kiti bendri detalių gamybai sureguliuoti mazgai. Suderinus automatinės celės ir žmogaus veikimą kartu – panaudojamas didžiausias abiejų potencialas.

1.3. Injekcinio liejimo technologija

Injekcinio plastiko liejimo technologija yra viena populiariausių pasaulyje tarp didelio matmenų tikslumo ar sudėtingų geometrinių formų gaminių [11]. Pagal neoficialius duomenis, tai yra plačiausiai pasaulyje naudojamas būdas nevienkartiniam gaminiams gaminti, nes 80 % rinkoje esančių gaminių yra pagaminti šiuo būdu [3i].

Bendrai, injekcinis liejimas – tai detalių gamybos technologija, kurios pagrindas yra plastiko granulių lydymas, lydalo masės išvirkštymas į plieno ir aliuminio formą dideliu greičiu ir slėgiu. Forma pasižymi inversija gaminamos detalės geometrijai. Lydalas įpurškiamas, slegiamas ir vėsina iki detalės sukietėjimo [4i]. Vyksta plastiko lydalo būsenų pokyčiai – plastiko granulės kaitinamos iki jų klampiatakės būsenos ($> t_{takumo}$), vėliau lydalo masė yra aušinama ($< t_{stiklėjimo}$). Iš esmės šis principas naudojamas ne tik plastikui, bet ir metalui, keramikos gaminiams apdirbti, gali būti naudojamos granulės ar milteliai.

Išskiriamos šios proceso stadijos [12, 13]:

1. Žaliavos granulės byra iš pakrovimo bunkerio ant cilindro kaitinamo sraigto;
2. Granulės lydamos, slegiamos, besisukdamos keliauja sraigto tolyn link sraigto antgalio;
3. Lydalas yra įpurškiamas į uždarytą liejimo formą;
4. Vyksta lydalo išlaikymas slegiant bei atvėsėjimas;
5. Forma atsidaro. Detalę ar detales išstumia iškalikliai. Forma uždaroma kitam ciklui.

Injekcinio plastiko liejimo procesui naudojami termoplastikai [14]. Apie 90 % injekcinio plastiko liejimo poreikio apima termoplastikai, o likusią dalį – reaktoplastikai (arba duroplastikai, angl. *thermoset plastics*). Taip pat naudojamos termoplastikų ir reaktoplastikų kombinacijos, armuoti plastikai, elastomerai, biologinės kilmės polimerai ir kitos variacijos [15]. Dažniausiai pramonėje sutinkamų plastiko rūšių sąrašas pateiktas 1-oje lentelėje.

1 lentelė. Injekcinio plastiko liejimo metu naudojami termoplastikai ir jų mišiniai

| Amorfiškos struktūros polimerai | Pusiaus kristališki polimerai |
|---|--|
| ASA | PA B30S, PA – 35GF |
| ABS, ABS/PC | PA6, PA6 – 15GF, PA6 – 30GF, PA6 – 40GF, PA6 – 50GF, PA6 - BG 30 X |
| PC (lexan), PC, PC 30GF, PC/ASA, PC/PBT | PA612 - GF35 |
| PES | PA66, PA66 - 15GF, PA66 - 30GF, PA66 - 50GF |
| PMMA | PA12 - 30GF |

tęsinys kitame puslapyje

1-os lentelės tęsinys

| Amorfios struktūros polimerai | Pusiau kristališki polimerai |
|-------------------------------|--|
| PPA | PA6T/6I - 35GF |
| PPE/PA | PA66/6, PA66/6 - GF30 |
| PS, PS/SB, PS – HI | PBT, PBT - 30GF |
| PSU | PE-HD, PE-LLD, PE-MD, PE-LD |
| PVC (kietasis ir minkštasis) | PET - 30GF |
| SAN | POM, POM - 20GF, POM - 25GF, POM - M90, POM+PTFE |
| TPU | PP, PP - 35T, PP - 20T, PP - 20T, PP - 15GF, PP - GF20, PP - GF30, PP - GP40, PP-H1022 |
| | PPS - 40GF |
| | TPE, TPE-U, TPE-A, TPE-E, TPE-O, TPE-S 30GF, TPE-S, TPE-V, TPE-Hytrel, TPE-Hytrel 4275 |
| | PBT, PBT+PET - 30GF |
| | HDPE - 20GF, HDPE-Total |

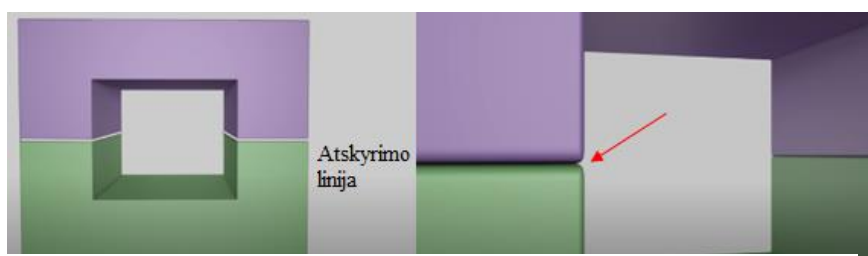
1.3.1. Tipiniai injekcinio liejimo defektai

Detalių išlajos yra vienas dažniausiai pasitaikančių kokybinių defektų, atsirandančių liejant plastiką. Išlajų pavyzdys pateiktas 3 pav. Išlajos yra nepagedautinos ant detalių dėl neigiamos įtakos detalių funkcionalumui, matmenims ir detalių išvaizdai.



3 pav. Išlajos: dvi detalės su išlajomis (kairėje) ir dvi be išlajų (dešinėje)[5i]

Išlajos ant detalių yra neišvengiama liejimo proceso dalis. Visos detalės, nepaisant jų formos, turi išlajas. Jas galima tik sumažinti, bet neišnaikinti. Detalės išlajas turi dėl to, kad liejimo forma yra



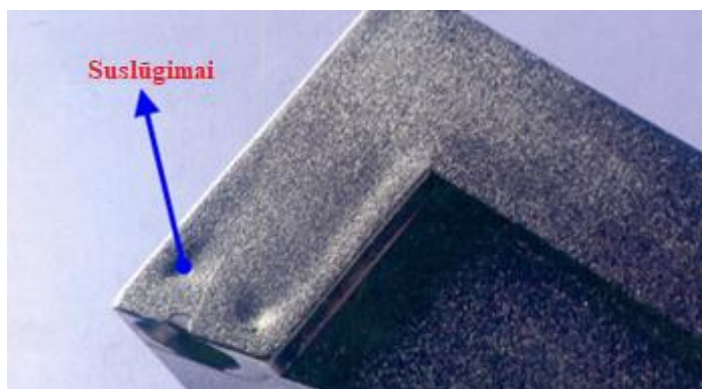
4 pav. Dviejų formos pusių nesutapimas, sudarantis atskyrimo liniją [6i]

sudaryta iš dviejų dalių dėl poreikio išimti detalę iš liejimo formos vidaus ją atveriant. Dėl netobulo dviejų formos pusių suėjimo, visada ant detalių yra matoma ši maža išlaja, dar vadinama atskyrimo linija (angl. *parting line*). Liejimo formos pusių suėjimo linija pateikta 4 pav., o atskyrimo linijos pavyzdys – 5 pav.



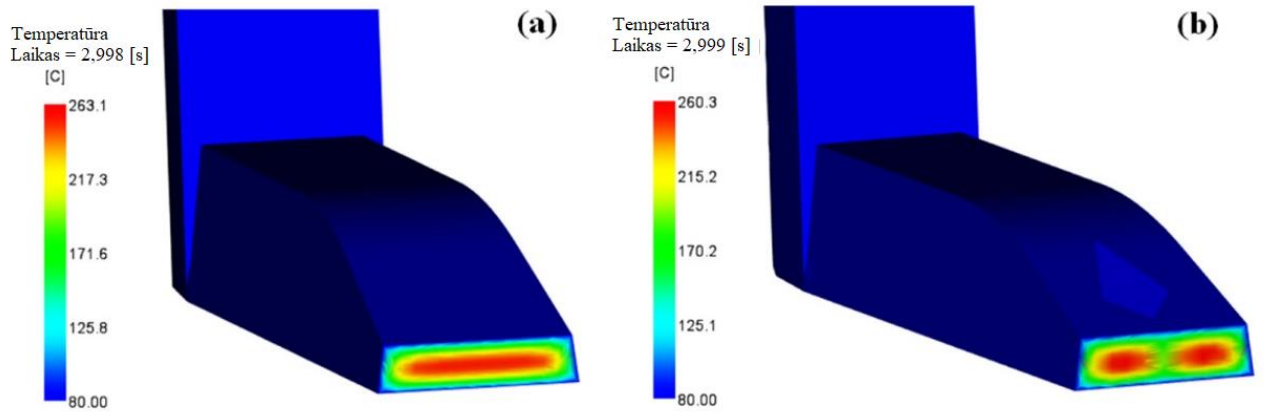
5 pav. Atskyrimo linijos ant detalių [6i]

Kita dažna kokybės neatitikties priežastis – liejimo metu atsirandančios suslūgimo žymės ant detalių paviršiaus. Suslūgimų defektų, priešingai, nei išlajų, nuskusti ar apipjaustyti nuo detalės nėra įmanoma, tad išliejus detales su suslūgimais, jų lengvai perdirbti nėra sąlygų. Suslūgimai itin nepageidaujami detalėms, kurioms keliami aukšti paviršiaus vizualumo reikalavimai. Detalė su suslūgimo žymėmis pavaizduota 6 pav. [16, 17].



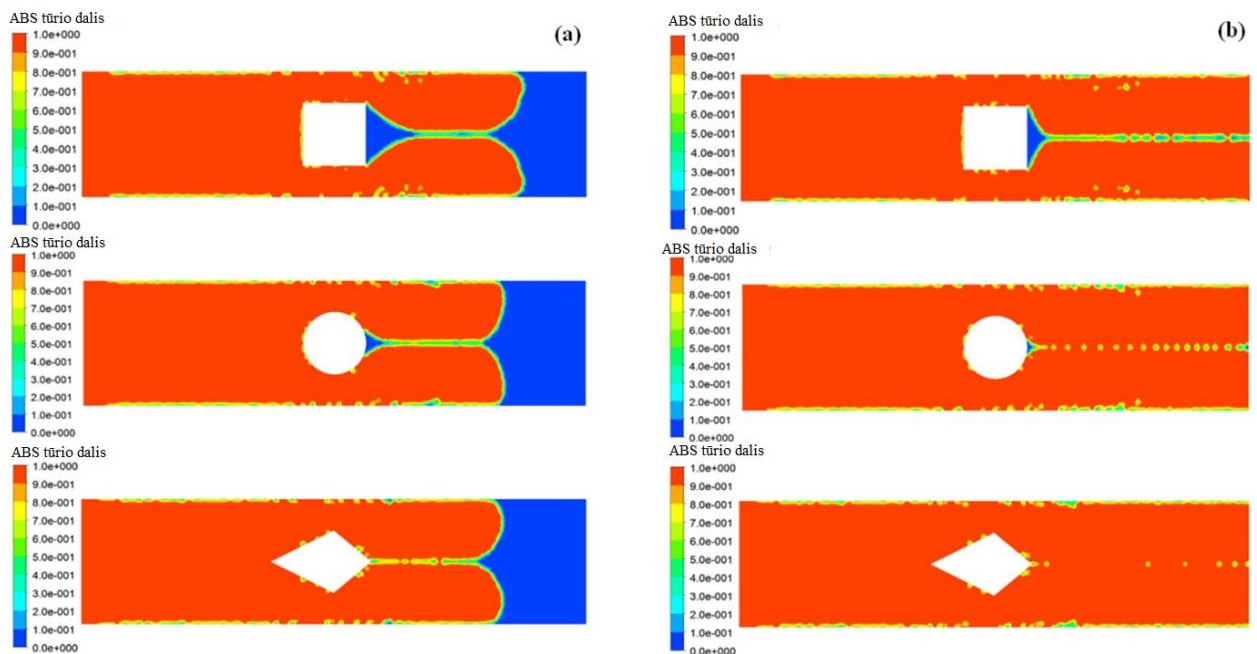
6 pav. Suslūgimai ant detalės [7i]

Suslūgimų atsiradimą tyrinėja ir mokslas. Dažnai tyrimų objektu tampa injekcijos taško dydis, jo vieta detalėje, liečio galiuko tipas, injekcijos slėgio poveikis žymių atsiradimui [18]. Pirminė priemonė, siekiant sumažinti suslūgimų žymes, yra krovimo laiko proceso parametro didinimas, tačiau pakeitus šį parametą, detalėje gali atsirasti vidinių įtempių bei pailgėti bendras detalės liejimo ciklo laikas. Be to, krovimo laiko padidinimo neužtenka, kad išnyktų suslūgimas prie įpurškimo taško. Zhengzhou universiteto (Kinija) mokslininkai tyrė šilumos balanso netolygumus, naudodami kompiuterinę simuliaciją [19], 7 pav. Eksperimentas buvo vykdomas su deimanto formos įdėklais (angl. *insert*) iš berilio-vario lydinio. Pastebėta, kad plastiko lydalo kanalams (angl. *runners*) panaudojus ne įprastas apvalias, ovalias formas, bet deimanto formą, galima ryškiai sumažinti suslūgimą įpuškimo taške ir garantuoti geriausią gaminių išvaizdos kokybę dėl užtikrinamo temperatūros tolygumo liejant visą gaminį, nes išvengiama karšto taško susidarymo ties įpuškimo zona.



7 pav. Temperatūrinis gradientas detalės lydalo kanale: a – kanalas be deimanto formos įdėklo; b – kanalas su deimanto formos įdėklu [19]

Atkreiptas dėmesys, jog deimanto formos įdėklas ne tik užtrikrina temperatūrinį tolygumą (eliminuoja suslūgimus), bet ir suteikia lydalo srautui tolygumo. Tai naudinga vengiant kito kokybinio defekto – subėgimo linijų (8 pav.).



8 pav. Lydalo pasiskirstymas, esant skirtingiems įdėklams [19]

1.3.2. Technologijos privalumai, trūkumai, galimybės

Injekcinio plastiko liejimo technologijos privalumai:

1. Didelis efektyvumas dėl trumpo ciklo laiko. Nors ciklo laikas priklauso nuo detalės dydžio ir geometrijos, tačiau vienos detalės ciklo laikas svyruoja nuo 10-120 sekundžių;
2. Sudėtingos geometrijos detalių gamyba. Ekstruzijos, formavimo išpūtumu ir kitų rūšių technologijomis nėra įmanoma gauti daug kiaurymių ar ertmių turinčių detalių;
3. Didesnio mechaninio atsparumo detalės. Žinant tolimesnę detalės panaudojimą, jai galima pritaikyti tinkamiausią plastiko žaliavą, taip pat pagerinti detalės dizainą sustiprinant ją papildomais stipiniais;

4. Galimybė lengvai keisti medžiagą ir pigmentą. Nors liejimo forma gaminama žinant, iš kokios žaliavos bus gaminama detalė, kad projektuojant būtų galima atsižvelgti į suslūgimo dydį, vistiek pakeisti medžiagą ar pigmentą nėra sudėtinga. Pasirinkimas pakankamai platus. Tiesa, prieš serijinę gamybą reikalingas testavimas ir medžiagos patvirtinimas;
5. Galimas platus paviršiaus apdailos spektras. Liejimo forma gali turėti tekstūrą, kuri matysis ant galutinių detalių. Taip pat galimi vėlesni detalių apdailos veiksmai: dažymas, graviravimas, chromavimas ir kt.

Injekcinio plastiko liejimo technologijos trūkumai:

1. Aukšta kaina detalės projekto pradžioje. Be technologinės įrangos – liejimo formos – detalių su liejimo įrenginiu pagaminti nepavyktų, o formos gamyba iš plieno ir pats aukšto tikslumo apdirbimas kainuoja daugiausiai visame projekte.
2. Ilga trukmė nuo projekto pradžios iki detalės serijinės gamybos. Formos dizainas, gamyba, testavimas, tobulinimai ir pakartotinas testavimas gali užtrukti nuo 6 savaičių iki 1-erių metų.
3. Apribojimai didelėms detalėms. Kuo didesnės detalės, tuo didesnių įrenginių joms reikia. Tokiu atveju verta apžvelgti kitas technologijas, labiau pritaikytas didelės geometrijos ir masės detalėms.
4. Reikalingas apgalvotas detalės dizainas. Parengus formos dizainą neteisingai, kai kuriais atvejais yra nebeįmanoma pakoreguoti esamą formą, tad reikia siekti išvengti šių didelių nuostolių.

Pagaminamų detalių matmenų tikslumas priklauso nuo detalės geometrijos ir naudojamos medžiagos, tačiau apibendrinant tikslumas siekia 0,127 mm, o aukšto preciziškumo liejimo formomis pagamintų detalių tikslumas siekia ir 0,0508 mm [20, 21].

Po injekcinio liejimo operacijų, gali būti atliktos vėlesnio apdirbimo operacijos, kurių rūšis ar specifika priklauso nuo kliento reikalavimų detalės išvaizdai, paviršiui ar funkcionalumui. Populiariausios operacijos [22]:

- Spausdinimas ar etiketės uždėjimas;
- Dekoravimas formoje;
- Žymėjimas lazeriu;
- Dažymas;
- Chromavimas ar metalizavimas;
- Frezavimas, gręžimas;
- Plastiko virinimas;
- Padengimas folija;
- Nupūtymas jonizuoto oro srove;
- Sutepimas;
- Surinkimas su kitais komponentais.

2. Eksperimentinė dalis

Gaminama detalė skirta automobilių pramonės klientui, gaminančiam stabdžių sistemas. Šiam klientui detales tiekti gali tik IATF 16949 standartą atitinkantys tiekėjai, kurie puikiai išmano ir gali užtikrinti automobilių pramonėje aktualius produktų saugumo, tikslumo, žemo detalių su defektais kiekio PPM (liet. milijoninės dalys, vienetų skaičius iš milijono, angl. *Parts Per Million*,) ir kitus reikalavimus. 9 pav. pavaizduota tinkamai išlieta ir apdirbta stabdžių detalė, kuri atitinka visus kokybinius reikalavimus. Ji yra pilnai išlieta, be jokių plastiko liejimo metu galinčių atsirasti defektų – be išlajų, suslūgimų, tobulai atitinkanti keliamus aukštus matmenų tikslumo reikalavimus, išlieta iš patvirtintos ir tinkamai paruoštos medžiagos, su tinkamai įstatytais įvorėmis, neapdaužyta, nesubraižyta ir tinkamai supakuota.



9 pav. Gaminama stabdžių sistemos detalė

2.1. Esamo proceso apžvalga

Tolesniuose skyreliuose apžvelgiamas liejimo įrenginys, plastiko žaliava ir esamo proceso veiksmų eiliškumas.

2.1.1. Liejimo įrenginys

Pirmiausia plastiko detalė yra išliejama injekcinio plastiko liejimo mašinoje. Tinkama liejimo mašina yra parinkta pagal detalės liejimo formos matmenis, reikalingą užspaudimo jėgą bei sraigto skersmenį ir tipą. Liejimo forma yra suprojektuota pagal liejamos detalės geometriją. Ji turi tilpti ant formos tvirtinimo plokštės liejimo įrengime. Be to, turi būti įvertintas formos atsidarymo plotis. Tad į liejimo mašinos plokščių atstumą turi tilpti: liejimo forma, išstūmiklių ilgis su išstumta detale atsidarius formai, taip pat turi likti vietos roboto čiuptuvui, nusileidžiančiam į tarpą tarp atsidariusios formos, kai vyksta detalės paėmimo ciklo dalis. Apibendrinus visą informaciją, pasirenkama „Engel“ įmonės gaminama liejimo mašina, kurios charakteristikos pateiktos 2-oje lentelėje.

2 lentelė. Informacija liejimo įrengimo parinkimui [8i]

| Charakteristikos apibūdinimas | Charakteristikos vertė |
|-------------------------------|------------------------|
| Prekės ženklas | Engel |
| Modelis | Victory 860/200 tech |
| Serijinis nr. | 218310 |

tęsinys kitame puslapyje

2 lentelės tęsinys

| Charakteristikos apibūdinimas | Charakteristikos vertė |
|--|------------------------|
| Suspaudimo jėga (tonomis) | 200 |
| Atstumas tarp kolonų (mm): aukštis x plotis | Kolonų nėra |
| Didžiausias formos aukštis (mm) | Netaikoma |
| Plokščių dydis (mm): aukštis x plotis | 830 x 880 |
| Mašinos atidarymo plotis (mm) | 1050 |
| Centravimo anga judančioje formos plokštumoje (mm) | 160 |
| Centravimo anga fiksuotoje formos plokštumoje (mm) | 160 |
| Cilindro skersmuo (mm) | 50 |
| Cilindro tūris (cm ³) | 432 |
| Ežektorių tipas | Hidrauliniai |
| Hidraulinės šerdys (taip / ne) | Taip |
| Hidraulinių šerdžių kiekis | 4 |
| Roboto tipas | 3-ašis |
| Roboto prekės ženklas | Wittmann |

2.1.2. Plastiko žaliava

Liejimui pasirinkta plastiko žaliava yra poliftalamidas (ASTM: PPA, poliftalamidas), poliamido kopolimeras su 55 % molio dalių tereftalio ir izoftalio rūgšties polimero grandinėje. Taip pat medžiagos struktūroje yra 35 % stiklo pluošto. Medžiaga naudojama jau su galutine spalva (RAL spalvų paletėje – 9205), tad jos nereikia maišyti su spalvą suteikiančiu pigmentu.

Pasirinkta medžiaga yra pusiau kristališkasis, dalinai aromatinis termoplastikas. Ši struktūra ir pakeistos alifatinių dirūgščių jungtys į jungtis su aromatinėmis dirūgštimis išskiria poliftalamidą iš kitų poliamidų. Poliftalamidas gali atlaikyti aukštesnę aplinkos temperatūrą nekeisdamas savo savybių, detalės iš jo pasižymi didesniu stiprumu, stangrumu, šiluminio geometrijos iškraipymo stabilumu bei geru cheminiu atsparumu.

Automobilių pramonėje populiarus poliamido ir stiklo pluošto kompozitas. Stiklo pluoštas plastikui suteikia tvirtumo, ilgaamžiškumo, dielektrinių savybių, atsparumo aplinkos ir cheminiam poveikiui [23].

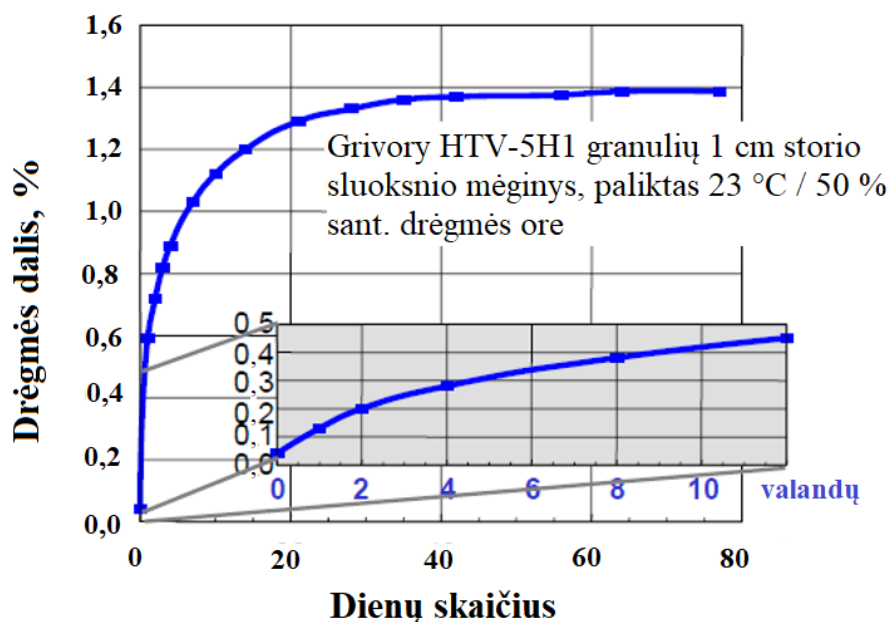
Konkrečiai detalei gaminti pasirinkta EMS-Grivory įmonės gaminama medžiaga Grivory HTV-35H1 BLACK 9205 tinka naudoti tiek automobilių pramonės detalėms, tiek elektros, elektronikos, saugos technologijų, mechanikos srityse, buitinio pritaikymo gaminiuose.

Medžiagos lydymosi temperatūra yra 325 °C (žr. 1 priedą), tuo tarpu įprasto poliamido PA6 – apie 222 °C, PA66 – 260 °C. Poliftalamido apdirbimo temperatūra irgi yra aukštesnė už kitus įprastus poliamidus, t.y. apdirbimo temperatūra 330 – 340 °C, maždaug 60-90 °C daugiau, nei PA6 ar PA66. Plastiko stiklėjimo temperatūra taip aukštesnė, 130 °C.

Dėl šių priežasčių, nors detalių liejimui iš poliftalamido galima naudoti įrengimus, naudojamus kitiems poliamidams su stiklo pluoštu, reikia atkreipti dėmesį, kad sraigto kaitinimo zonos turi būti

pajėgios pasiekti 350 °C temperatūrą, o pats sraigtas pagamintas iš giliai užgrūdinto, nuo didelio dilimo apsaugoto plieno.

Nors plastiko žaliavos granulės yra tiekiamos išdžiovintos iki $\leq 0,10$ % granulių masės dalies ir nuo aplinkos drėgmės izoliuotoje pakuotėje, granulės gali nesunkiai absorbuoti aplinkos drėgmę jas sandėliuojant ar netinkamai tiekiant į liejimo mašinos cilindrą proceso metu [24] (žr. 10 pav).




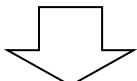
10 pav. Grivory HTV-5H1 granulių aplinkos drėgmės absorbcijos diagrama

Liejant granulės turi būti ne drėgesnės nei 0,10 % granulių masės dalies, tad jos yra džiovinamos 80°C temperatūroje 4-12 valandų.

2.1.3. Esama proceso eiga


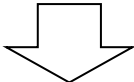


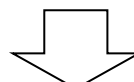








9 pav. pavaizduotos detalės gamybos veiksmų dalys prieš apdirbimo celės tobulinimą yra aptartos 3 lentelėje, kur naudojami penki skirtingi ženklai veiksmo rūšiai apibūdinti: koncentriški apskritimai – žymi tvarkymą; rodyklė – transportavimą, pervežimą; kvadratas – kokybės patikrinimą; apskritimas – veiksmą, apdirbimą; trikampis – saugojimą, sandėliavimą.

3 lentelė. Detalės gamybos veiksmų seka

| Proceso nr. | Simbolis | Proceso etapo aprašymas | Etapo atsekamumo dokumentai |
|-----------------------------------|---|------------------------------|---|
| Gaunamų medžiagų tvarkymas | | | |
| 100 |  | Gaunamų medžiagų išskrovimas | Medžiagos iškraunamos su pristatymo dokumentu (toliau – DN, iš angl. <i>Delivery Note</i>) |
| 101 |  | Transportavimas | Medžiagos pažymėtos tiekėjo etiketėmis |




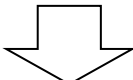



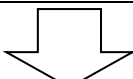


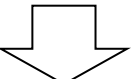

tęsinys kitame puslapyje

3 lentelės tęsinys

| Proceso nr. | Symbolis | Proceso etapo aprašymas | Etapo atsekamumo dokumentai |
|--|---|--|--|
| 102 |  | Gaunamos medžiagos tikrinimas | Jei medžiaga netinkama, rašomas skundas tiekėjui, medžiaga nurašoma. Tikrinimui naudojama kontrolės instrukcija, tiekėjo sertifikatas. Veiksmas atsekamas įrašais apskaitos sistemoje apie atliktą patikrinimą |
| 103 |  | Transportavimas į sandėlį | Paletė su barkodu, įrašai apskaitos sistemoje apie atliktą vidinį transportavimą |
| 104 |  | Saugojimas | Paletė su barkodu, įrašai apskaitos sistemoje apie atliktą vidinį transportavimą |
| Medžiagos iš sandėlio į gamybą | | | |
| 200 |  | Užsakyti žaliavas ir medžiagas iš atsargų sandėlio | Medžiagos užsakymas dėl gamybos plano. Paletė su barkodu |
| 201 |  | Transportavimas iš sandėlio | Medžiagos užsakymas dėl gamybos plano. Paletė su barkodu, įrašai apskaitos sistemoje apie atliktą vidinį transportavimą |
| 202 |  | Centrinės džiovyklos užpildymas medžiaga | Medžiagos užsakymas dėl gamybos plano. Paletė su barkodu |
| 203 |  | Medžiagos džiovinimas | Medžiagos užsakymas dėl gamybos plano. Džioviklių numeracija ir pažymėjimas planavimo lentoje, kur džiovinama medžiaga |
| 204 |  | Sausos medžiagos siurbimas į įkrovimo stotį | Medžiagos užsakymas dėl gamybos plano. Džioviklių numeracija ir pažymėjimas planavimo lentoje, kur džiovinama medžiaga. Proceso specifikacija |
| 205 |  | Aut. medžiagų užpildymas liejimo mašinoje | Medžiagos užsakymas dėl gamybos plano. Pažymėjimas planavimo lentoje, kur džiovinama medžiaga. Proceso specifikacija |
| Plastikinių dalių formavimas injekcinio liejimo būdu | | | |
| 300 |  | Injekcinis liejimas | Jeį atsiranda defektų – detalės nurašomos brokui arba apskaitomos papildomam perdirbimui. Procesą reguliuoja proceso specifikacija, kokybės instrukcija, gamybos užsakymas |
| 301 |  | Detalės išstūmimas iš formos | Jeį atsiranda defektų – detalės nurašomos brokui arba apskaitomos papildomam perdirbimui. Procesą reguliuoja proceso specifikacija |
| 302 |  | Roboto atliekamas detalės paėmimas | Jeį atsiranda defektų – detalės nurašomos brokui arba apskaitomos papildomam perdirbimui. Procesą reguliuoja proceso specifikacija |
| Operacijos po liejimo – plieno įvorių įspaudimas, ultragarsinis virinimas | | | |
| 400 |  | Slėgio ribotuvų įspaudimas (plieninės įvorės) | Jeį atsiranda defektų – detalės nurašomos brokui arba apskaitomos papildomam perdirbimui. Procesą apskaito gamybos užsakymas |


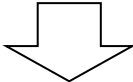
tęsinys kitame puslapyje


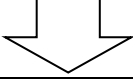
3 lentelės tęsinys

| Proceso nr. | Simbolis | Proceso etapo aprašymas | Etapo atsekamumo dokumentai |
|--|---|--|---|
| 401 |  | Aušinimas | Procesą apskaito gamybos užsakymas |
| 402 |  | Ultragarsinis įvorių suvirinimas | Jei atsiranda defektų – detalės nurašomos brokui arba apskaitomos papildomam perdirbimui. Procesą apskaito gamybos užsakymas |
| 403 |  | Detalių pakavimas (vidiniam transportavimui tarp darbo centrų) | Jei atsiranda defektų – detalės nurašomos brokui arba apskaitomos papildomam perdirbimui. Procesą aprašo darbo instrukcija. Pagaminta produkcija apskaitoma paletės barkodu |
| 404 |  | Transportavimas į gręžimo cechą | Paletė su barkodu, įrašai apskaitos sistemoje apie atliktą vidinį transportavimą |
| Detalių gręžimas | | | |
| 501 |  | Gręžimas (liečio likučių) | Jei atsiranda defektų – detalės nurašomos brokui arba apskaitomos papildomam perdirbimui. Procesą apskaito gamybos užsakymas |
| 502 |  | Gręžimo drožlių nusiurbimas | Procesą apskaito gamybos užsakymas |
| 503 |  | Detalių pakavimas (vidiniam transportavimui tarp darbo centrų) | Jei atsiranda defektų – detalės nurašomos brokui arba apskaitomos papildomam perdirbimui. Procesą aprašo darbo instrukcija. Pagaminta produkcija apskaitoma paletės barkodu |
| 504 |  | Transportavimas į perrinkimo zoną | Paletė su barkodu, įrašai apskaitos sistemoje apie atliktą vidinį transportavimą |
| Detalių perrinkimas ir gaminių kokybės kontrolė | | | |
| 601 |  | Kokybės kontrolė | Kokybės instrukcija, vizuali detalių patikra, papildomi matavimai (nes su kiekviena ankstesne gamybos operacija kokybė yra prižiūrima) |
| Detalės kelias į sandėlį | | | |
| 700 |  | Pakavimas | Jei atsiranda defektų – detalės nurašomos brokui arba apskaitomos papildomam perdirbimui. Procesą aprašo darbo instrukcija. Pagaminta produkcija apskaitoma paletės barkodu |
| 701 |  | Transportavimas į sandėlį | Paletė su barkodu, įrašai apskaitos sistemoje apie atliktą vidinį transportavimą |
| 702 |  | Saugojimas | Paletė su barkodu, įrašai apskaitos sistemoje apie atliktą vidinį transportavimą |

tęsinys kitame puslapyje

3 lentelės tęsinys

| Proceso nr. | Simbolis | Proceso etapo aprašymas | Etapo atsekamumo dokumentai |
|--------------------|---|---|---|
| Pristatymas | | | |
| 800 |  | Transportavimas iš sandėlio | Paletė su barkodu, įrašai apskaitos sistemoje apie atliktą vidinį transportavimą. Apskaitymas pakavimo sąrašu |
| 801 |  | Galutinis pakavimas ir apvyniojimas juostomis | Paletė su barkodu. Apskaitymas pakavimo sąrašu |

| | | | |
|-----|---|---------------------------------|---|
| 802 |  | Transportas pakrovimui | Paletė su barkodu. Produkcijai paruošiamas DN |
| 803 |  | Krovinių pakrovimas pristatymui | Paletė su barkodu. Produkcijai paruošiamas DN |

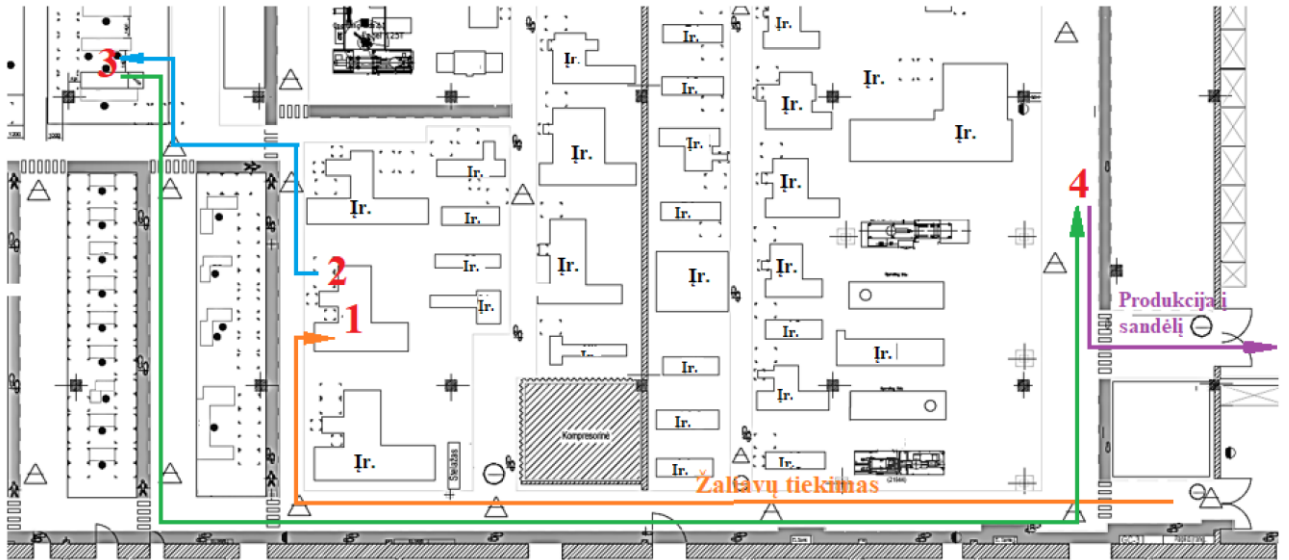
Kaip galima matyti, gaminama detalė patenka į kelis skirtingus darbo centrus, kuriuose vyksta jos apdirbimas – po liejimo, automatinėje celėje į detalę yra įstatomos plieninės įvorės, įstatomos ir įvirinamos bronzinės įvorės. Po įvorių virinimo neatliekami virinimo plastiko likučių siurbimo veiksmai, tad detalės pasiekia kitą darbo centrą – gręžimą – būdamos nevisai švarios. Ir nors vėlesnės gręžimo operacijos metu atsiranda gręžimo drožlių atliekų ir jos yra nusiurbiamos, visgi detalės, keliaudamos iš suvirinimo celės į gręžimo darbo centrą, užteršia pakuotę, kuri naudojama ir tolimesnėse operacijose. Be to, detalių virinimo metu visoms susidariusioms drožlėms ir dulkėms iškristi yra sudėtinga dėl siauro įvorės kanalo. Siurbimo operacija po įvorių virinimo nebuvo numatyta celės projektavimo metu.

Gręžimo operacija vyksta ne celėje prie liejimo įrengimo, o atsirame cecho darbo bare. Taip yra todėl, kad projekto metu liečio gręžimo operacijai buvo numatytos, kaip paaikškėjo testavimų metu, netinkamo tikslumo ir galingumo gręžimo staklės. Laikinas sprendimas – gręžimo operacija perkelta į atskirą cecho dalį, kurioje kelios skirtingos gręžimo staklės, tačiau visos gamybinės operacijos nebėra vykdomos lokaliai, kaip buvo numatyta projekto plane.

Detalių kokybė yra stebima keliskart per pamainą: pradedant gamybos planą, kas keturias valandas (du kart per pamainą) gamybos metu bei gamybos plano pabaigoje, tikrinant 1-2 gaminius kiekvienąsyk pagal kokybės instrukcijas. Vykdomas nuodugnus detalių matmenų patikrinimas koordinatine matavimo mašina, šiurkštumo matavimai ir vizualinė detalių patikra. Tačiau, taip nuodugnai tikrinamos tik kelios detalės per pamainą. Visas kitas detales operatoriai apžiūri pakuodami (pakavimas po virinimo, po gręžimo) ir galutinio perrinkimo geltonojoje zonoje (trump. GZ – perrinkimo zona). Čia apžiūrima, ar detalė turi visas 8 įvoves, ar yra pilnai išlieta, ar neturi kitų matomų vizualių defektų ir panašiai. Išlieka rizika, kad operatoriai nepamatys visų galimų neatitikčių ant detalių, nes jų kiekis didelis, operatoriai po virinimo ir gręžimo apžiūri greit ir nenuodugnai, o geltonojoje zonoje išlieka tikimybė, kad operatorius gali nepastebėti defektų dėl žmogiškojo faktoriaus.

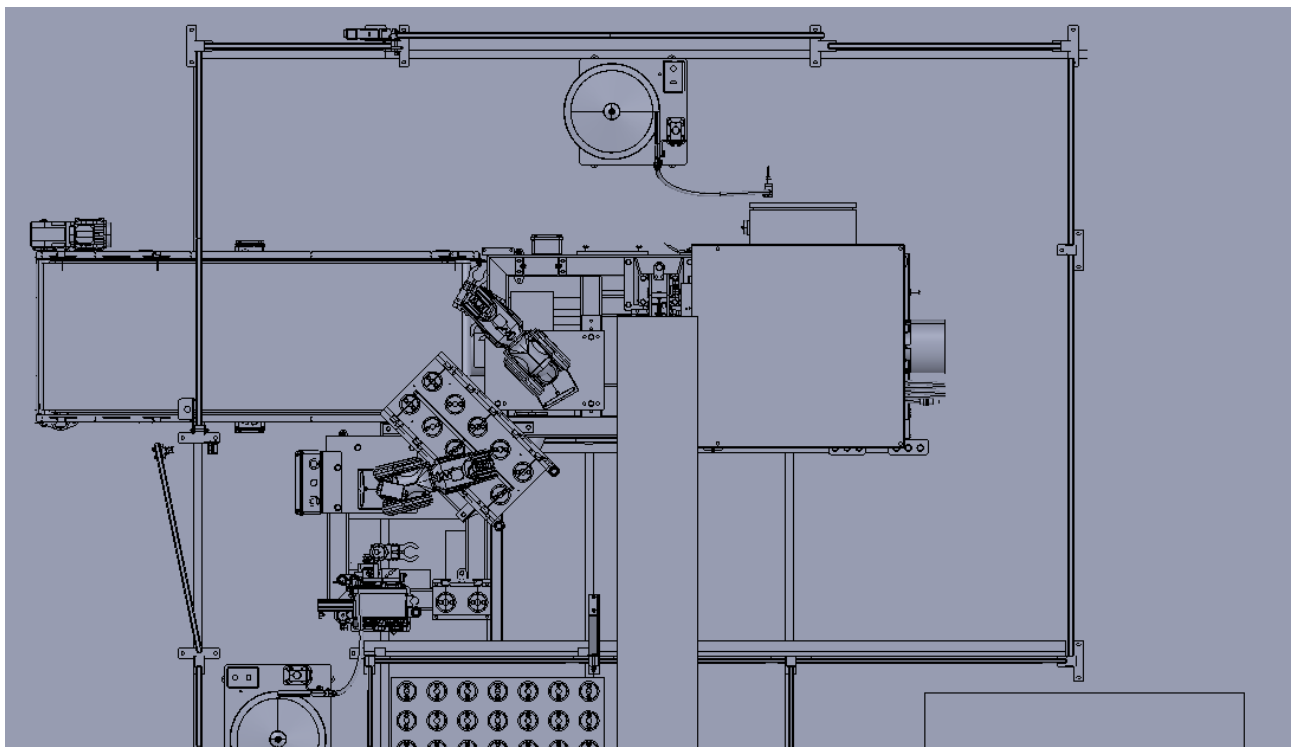
11 pav. pateiktame injekcinio plastiko liejimo gamybos ceche pavaizduota, koks yra detalės apdirbimo eiliškumas ir kelias tarp apdirbimo centrų. Kaip galima pastebėti, nemenką detalės gamybos dalį sudaro detalės transportavimas tarp darbo centrų. Žaliavų transportavimas bei galutinio

produkto išvežimas sandėliuoti yra neišvengiamos gamybos procesą supančios logistinės operacijos, tačiau transportavimas tarp darbo centrų ir perrinkimo yra neefektyvus.



11 pav. Gamybos cecho planas su jame pažymėtais gaminamos detalės darbo centrais ir logistiniais keliais tarp jų: 1 – detalės liejimas; 2 – detalės apdirbimas celėje; 3 – detalės grėžimas; 4 – detalės perrinkimas

12 pav. pavaizduota, kaip atrodo celė su įvorių išpaudimo ir įvirinimo staklėmis prieš patobulinimą.



12 pav. Pavaizduota esamo proceso surinkimo celė

Joje vyksta procesai, aprašyti 3-os lentelės 400-404 žingsniuose. Celė turi įrengimus, reikalingus plieninių ir bronzinių įvorių išpaudimo ir įvirinimo operacijoms – tai du vibro bunkeriai, įvorių

pozicionavimo mechanizmai, įstūmimo cilindrai, aušinimo plokštė, du 6-šiai robotai, ultragarsinio virinimo įranga ir konvejeris visoms detalėms. Detaliau įvorių įdėjimo mazgų veikimas ir dudedamosios dalys paaiškintos 2.3.1 skyriuje.

2.2. Detalei keliami kokybės reikalavimai

Gaminama stabdžių sistemos detalė turi nemažai aukštų jai keliamų reikalavimų. Procesas prieš patobulinimą yra stebimas kokybės kontrolierių, kurie matuoja detales po kelis kartus per pamainą, tačiau to neužtenka. Detalės turi turėti kuo aukštesnį sigma (σ) lygmenį, o ji sunku susekti nuodugniai nematuojant kiekvienos gaminamos detalės. Svarbus yra ir aukštas proceso stabilumo rodiklis detalių matmenims, kurie yra tiesiogiai susiję su saugumo charakteristikomis ($Ppk/Cpk \geq 1,67$) bei su kitais svarbiais matmenimis ($Ppk/Cpk \geq 1,67$ trumpalaikėje, $Ppk/Cpk \geq 1,33$ ilgalaikėje perspektyvoje). Detalės yra tikrinamos keliais skirtingais metodais, remiamasi kontrolės instrukcija, panaudojami skirtingi prietaisai, stengiantis užtikrinti šį aukštą detalių atitikties lygį bei užkirsti kelią galimiems nukrypimams, pastebint juos laiku (žr. 4 lentelę).

4 lentelė. Detalės kokybės tikrinimas

| Nr. | Matmuo | Reikalavimas | Matavimo būdas | Dažnumas |
|-----|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | Datos žymėjimas | Atitinka gamybos laiką | Vizualus | Gamybos pr./1 užpr. |
| 2 | Paviršius | Be suslūgimų, pilnai išlieta, 0 | Vizualus | 2k/pamainą/ 2 užpr. |
| 3 | Išlajos ties formos sujungimo linija | Max 0,1 | Matavimo plokštelės | 2k/pamainą/ 1 užpr. |
| 4 | Masė (surinktos) | 248,54 ±12,43 g | Svarstyklės | 2k/pamainą/ 1 užpr. |

Sukimo momento reikalavimui patikrinti (5 lentelė) reikalingas dinamometrinis raktas. Juo tikrinamos 4-ios bronzinės sriegtosios įvorės. Į kiekvieną jų yra įsukamas M6 varžtas, o dinamometriniu raktu su specialiu M6 varžtui tinkamu antgaliu patikrinama, ar veržimo reikšmė viršija 9 Nm (13 pav). Jei taip, detalės atitinka reikalavimą.

5 lentelė. Sukimo momento tikrinimas

| Nr. | Matmuo | Reikalavimas | Matavimo būdas | Dažnumas |
|-----|------------------------|--------------|----------------------------------|---------------------|
| 5 | Sukimo momento testas* | 9 Nm | Fikstūra su dinamometriniu raktu | 2k/pamainą/ 1 užpr. |



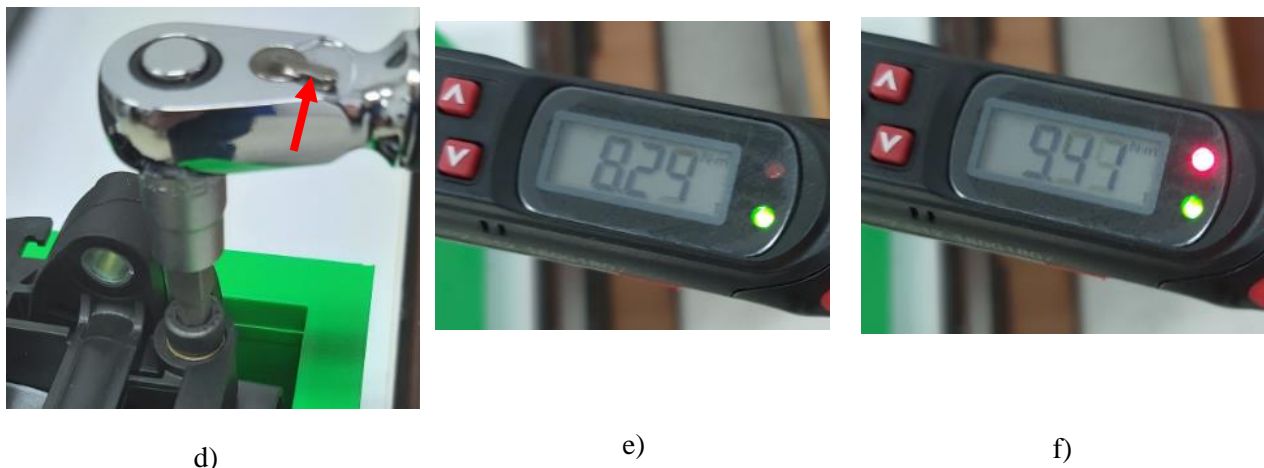
a)



b)

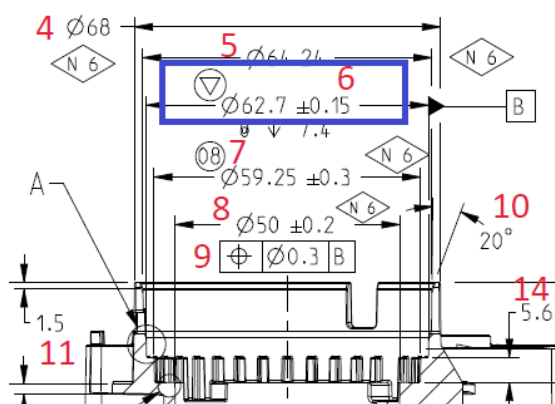


c)



13 pav. Sukimo momento tikrinimo įranga: a) detalė fikstūroje; b) įrankio nustatymai; c) įsuktas M6 varžtas; d) sukimo pradžia; e) sukimo momentas <9 Nm; f) sukimo momentas >9 Nm

Stabdžių detalė turi nemažai kritinių matmenų, kurie turi būti itin tikslūs (siauros tolerancijų ribos), be to, juos sudėtinga pamatuoti įprastais matuokliais, tad matavimams reikia pasitelkti koordinatinę matavimo mašiną (angl. *Coordinate measuring machine, KMM*). Pateiktame 14-ame paveikslėlyje pavaizduotas tik vienas iš penkiolikos kritinių matmenų detalės 2D brėžinyje. Visi gamybos metu sekami kritiniai matmenys, matuojami su KMM, pateikti 6-oje lentelėje. Visi brėžinyje nurodyti matmenys dėl jų gausos yra pateikti 3-iame priede.



14 pav. Vienas iš kritinių matmenų detalės 2D brėžinyje, matuojamas naudojant KMM

6 lentelė. Kritiniai matmenys, matuojami koordinatine matavimo mašina du kartus per pamainą

| Nr. | Matmuo | Reikalavimas | Dažnumas |
|-----|----------------------------|------------------------|---------------------|
| 6 | Vidinis skersmuo 6 | 62,70 ±0,15 () | 2k/pamainą/ 2 užpr. |
| 7 | Atstumas 16 | 36,70 ±0,08 (Cpk>1,67) | 2k/pamainą/ 2 užpr. |
| 8 | Atstumas 17 | 46,30 ±0,13 (Cpk>1,67) | 2k/pamainą/ 2 užpr. |
| 9 | Vidinis skersmuo 38 | 30 ±0,11 (Cpk>1,67) | 2k/pamainą/ 2 užpr. |
| 10 | Pirmos skylės skersmuo 53 | 19,70 ±0,11 (Cpk>1,67) | 2k/pamainą/ 2 užpr. |
| 11 | Antros skylės skersmuo 53 | 19,70 ±0,11 (Cpk>1,67) | 2k/pamainą/ 2 užpr. |
| 12 | Trečios skylės skersmuo 53 | 19,70 ±0,11 (Cpk>1,67) | 2k/pamainą/ 2 užpr. |
| 13 | Skylės skersmuo 57 | 11 ±0,14 (Cpk>1,67) | 2k/pamainą/ 2 užpr. |
| 14 | Slylės skersmuo 63 | 13 ±0,14 (Cpk>1,67) | 2k/pamainą/ 2 užpr. |
| 15 | Skylės skersmuo 73 | 6,60 ±0,10 (Cpk>1,67) | 2k/pamainą/ 2 užpr. |
| 16 | Griovelio gylis 87 | 1,50 ±0,05 (Cpk>1,67) | 2k/pamainą/ 2 užpr. |
| 17 | Skylės skersmuo 104 | 24,13 ±0,15 (Cpk>1,33) | 2k/pamainą/ 2 užpr. |
| 18 | Skylės skersmuo 110 | 14,91 ±0,10 (Cpk>1,33) | 2k/pamainą/ 2 užpr. |
| 19 | Skylės gylis 117 | 36 ±0,20 (Cpk>1,67) | 2k/pamainą/ 2 užpr. |
| 20 | Skylės gylis 125 | 1,50 ±0,07 (Cpk>1,67) | 2k/pamainą/ 2 užpr. |

2.3. Proceso tobulinimo būdai

Norint patobulinti esamą celą, keliami šie pagrindiniai tikslai:

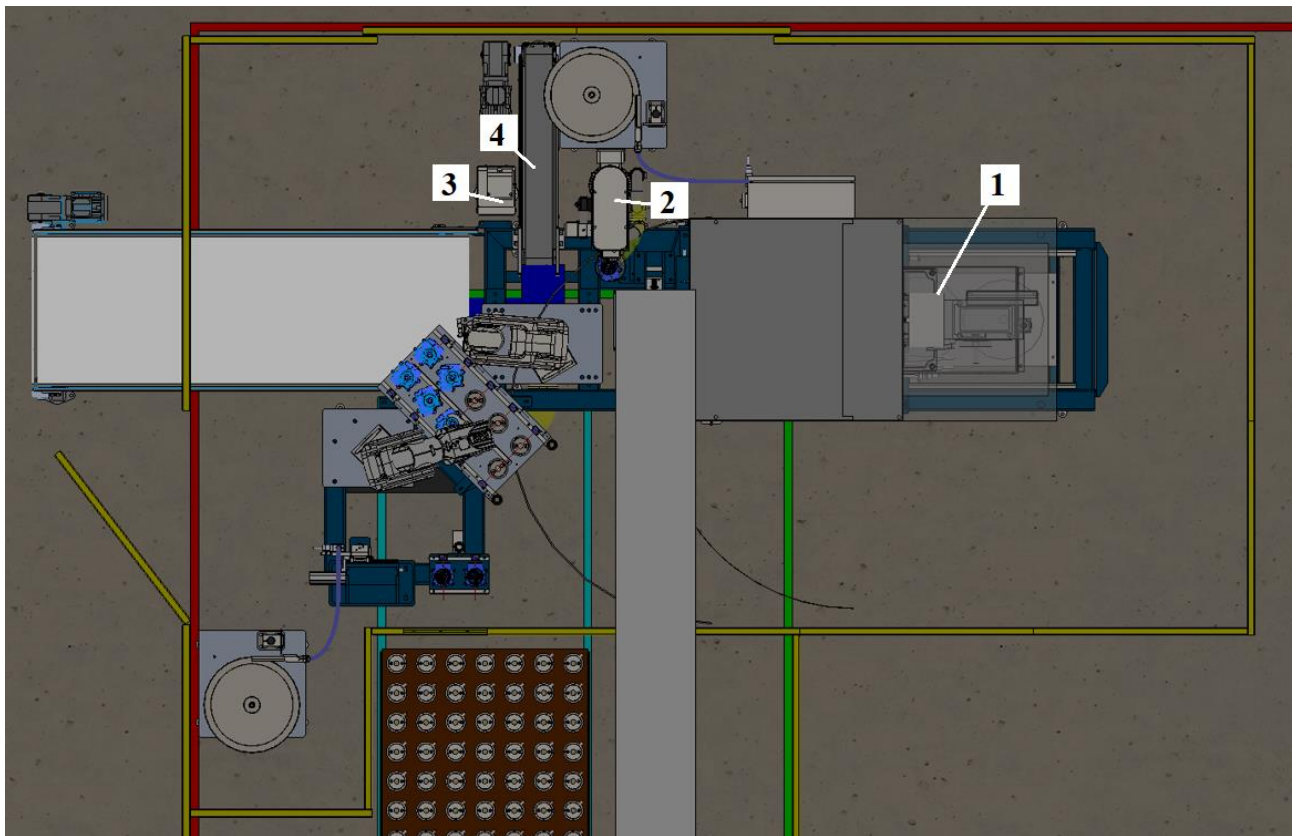
1. Logistinių operacijų tarp darbo centrų sumažinimas;
2. Didesnė visų gaminamų detalių stebėsena ir patikra;
3. Aukštesnis palaikomas gaminamų detalių švaros lygis;
4. Patogesnis netinkamų detalių atskyrimas ir eliminavimas iš gamybos proceso.

Šiems tikslams įgyvendinti yra keli sprendimo būdai:

1. Logistinėms operacijoms sumažinti:
 - Automatizuota transportavimo linija tarp gręžimo ir perrinkimo darbo centrų, kad nereiktų kelis sykius pakuoti detalių ir jas vežti šakiniu krautuvu ar palečių vežimėliu (būdas atmestas dėl didelių transportavimo linijai reikalingų išlaidų bei susidarančių trukdžių esamame gamyklos vidinio transporto plane);
 - Gręžimo staklių perkėlimas šalia liejimo įrengimo ir esamos celės bei perrinkimo stalo su geru apšvietimu darbo vietos sukūrimas (būdas atmestas dėl ribotos vietos šalia celės ir liejimo įrengimo, nes vietos reiktų dar dviems operatoriams, kuriems turi užtekti vietos dirbti ergonomiškose darbo vietose);
 - Liejimo formos modifikavimas, kad detalėje nebereiktų gręžti skylės (būdas atmestas dėl to, kad nebūtų įmanoma perdaryti formos. Dėl detalės geometrijos ji forma jau yra labai sudėtinga, o per vietą, kurią reikia gręžti, yra įpurškiamas plastikas);
 - Gręžimo staklių, tinkamų procesui, pirkimas ir integravimas į automatizuotą celą;

- Kokybės tikrinimo kameros pirkimas ir integracija į celės vidų.
2. Gaminių stebėsenai ir patikrai didinti:
- Kokybės tikrinimo kameros pirkimas ir integracija į celės vidų;
 - Didinti detalių tikrinimo perrenkant pajėgumą, tam skiriant papildomą operatorių (būdas atmestas dėl išliekančios žmogiškojo faktoriaus klaidų tikimybės ir mažo tikrinimo greičio);
 - Detalių siuntimas perrinkimui į mažesnę paslaugos įkainį turinčią įmonę (būdas atmestas dėl nedidelio efektyvumo bei išliekančios žmogiškojo faktoriaus klaidų tikimybės).
3. Švaros lygiui pakelti:
- Įterpti įvorių virinimo metu susidarančių drožlių siurbimo operaciją iškart po virinimo (atmesta po testavimo – siurbimas nepašalina visų drožlių);
 - Įterpti įvorių virinimo metu susidarančių drožlių išpūtimo siaurais suspausto oro purkštukais ir nusiurbimo operaciją iškart po virinimo.
4. Kokybės reikalavimų neatitinkančių detalių atskyrimui:
- Diegiant kokybę tikrinančią kamerą į automatizuotą celę (aukščiau minėti 1 ir 2 punktai), kokybės apžiūros metu rastas neatitinkančias detales dėti ant atskiro konvejerio. Nuo jo detalės kristų į tam skirtą atliekų konteinerį, pažymėtą sutartiniais neatitiktį žyminčiais ženklais. Tinkamos kokybės detalės būtų kruopščiai dėliojamos ant konvejerio ir pakuojamos kaip įprasta, kokybiška produkcija.

Apžvelgus visas siūlomas opcijas, įvertinta, kad verta investuoti į celės tobulinimą su papildoma virinimo drožlių išpūtimo operacija, naujo, specialiai šiai celei skirto gręžimo įrenginio įdiegimą, detalių stebėjimo kameros įrengimą bei antrąjį, neatitikties detalėms (toliau – NOK, nuo angl. – *Not Okay Parts*) skirtą konvejerį.



15 pav. Patobulintos celės vizualizacija: 1 – pneumatikos įranga drožlių išpūtimui po įvorių virinimo; 2 – gręžimo įrenginys; 3 – kokybės kontrolės kamera; 4 – NOK detalėms skirtas konvejeris

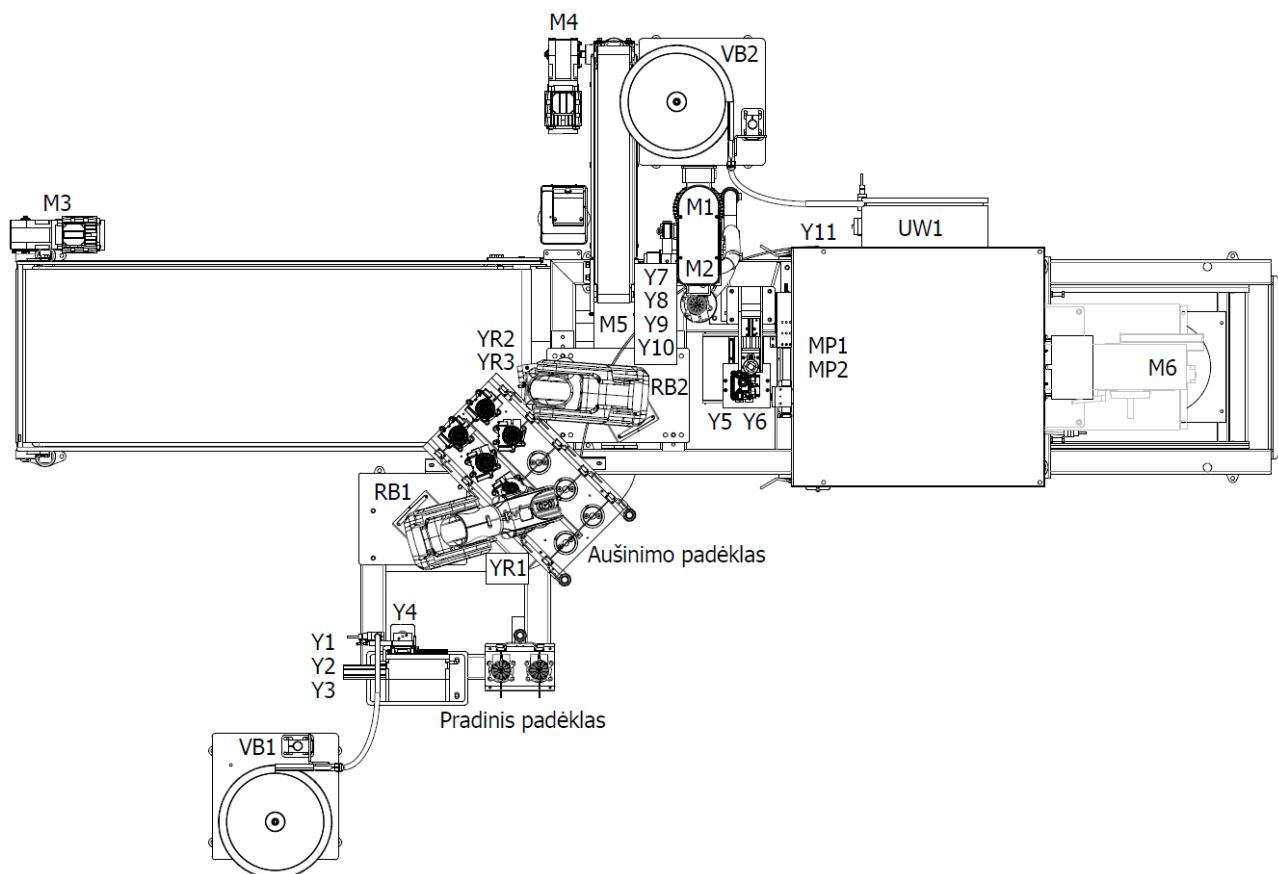
Naujų celės įrengimų galimas išdėstymas pateiktas 15 pav.

2.3.1. Patobulinto proceso automatinės celės darbo aprašymas

Apdirbimo ciklas prasideda, kai yra išliejama bent viena detalė injekcinio plastiko liejimo mašinoje. Ją robotas padeda ant pradinio padėklo (žr. 16 pav.). Lygiagrečiai plieno įvorių vibrobunkeris VB1 ir bronzos įvorių vibrobunkeris VB2 paruošia įvorių eiles (tvarkingai supozicionuoti komponentai). Jutikliams aptikus, kad ant pradinio padėklo padėta išlieta ir neapdirbta plastiko detalė, robotas RB1 pusgaminį sugriebia ir perkelia į pirmąjį įvorės įstatymo modulį. Šiame modulyje vyksta įvorės padavimo mechanizmo atitraukimas pneumatiniu cilindru Y1, o cilindrais Y2 ir Y3 vyksta plieninės įvorės uždėjimas ant įvorės įstūmimo cilindro Y4 antgalio. Robotas lokaliai perkelia pusgaminį į reikiamą poziciją. Cilindras Y1 sugrąžina įvorės padavimo mechanizmą į pradinę būseną, o cilindras Y4 įpresuoja pateiktą plieninę įvorę į gaminamos detalės korpusą. Tai yra pirmasis iš 4-ių ciklo pakartojimų 4-ioms plieno įvorėms įpresuoti.

Po keturių plieno įvorių įpresavimo, robotas perkelia detalę ant aušinimo padėklo. Ten aušinimo variklio M5 kuriamas oro srautas vėsina gaminius.

Pusgaminiui pasiekus aušinimo padėklą, suveikia jutikliai ir antrasis robotas RB2 jį pagriebia. Kadangi tolesnis veiksmas – bronzos įvorių įstatymas, gaminys padedamas ant ultragarsinio suvirinimo staklių UW1 pozicionuojančiosios platformos, jei ant jos yra laisva vieta detalei. Jei nėra – esantis nenuimtas gaminys yra paimamas, perkeliamas ir tik tada ant platformos dedamas nesuvirintas gaminys. Ankstesnis gaminys yra nešamas į drožlių išsiurbimo operaciją (drožlės susidaro įvirintose įvorėse).



16 pav. Aktuatorių išdėstymas celėje

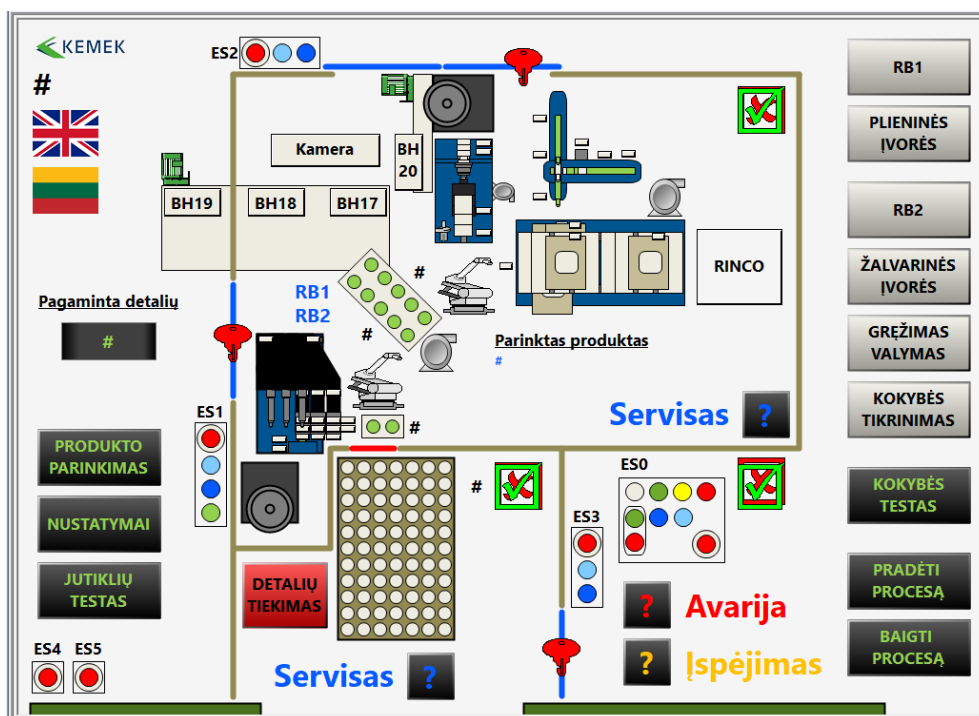
Pusgaminiui pasiekus pozicionavimo platformą, suveikia jutiklis ir yra inicijuojama bronzinių įvorių įpresavimo operacija. Pirmiausia vyksta įvorių įstatymas į 4-ias skyles. Platformoje esančios žingsninės pavaros MP1 ir MP2 pakreipia pusgaminį į įvorės įstatymo poziciją, po to cilindras Y6 įspaudžia įvorę į gaminio ertmę. Ciklas kartojamas dar 3 kartus, kol pusgaminis turi 4 įspaustas, bet neįvirintas bronzines įvoves. Po įspaudimo detalė perkeliama į įvirinimo poziciją, ten ultragarsinio suvirinimo įrenginys atlieka gaminio apdorojimo ciklą. Po paskutinės įvorės suvirinimo detalė vežama į išorę ir yra paimama antrojo roboto, kur toliau yra perkeliama į drožlių išsiurbimo modulį. Esant galimybei, jau atnešamas ir padedamas nesuvirintas pusgaminis.

Drožlių išsiurbimo modulio darbo principas – siauri suspausto oro purkštukai, kurie yra kišami į bronzinių įvorių skyles keletą kartų. Taip iš skylių yra išpučiamos jose esančios bronzinės drožlės. Siurblys drožles apskritai eliminuoja iš darbo zonos.

Pusgaminis yra pernešamas iš drožlių išsiurbimo į gręžimo modulį. Prispaudimo cilindras Y7 pusgaminį prispaudžia, o variklis M1 pradeda sukstis. Y8 – gręžimo gylio reguliavimo cilindras – nuleidžia grąžtą, kuris atlieka gręžimo operaciją. Lygiagrečiai yra įjungiamas gręžimo atliekų nusiurbimas (variklis M6) ir grąžto gilinimo variklis M2. Baigus gręžti, grąžtas atitraukiamas, prispaudimo cilindras Y7 atitraukiamas. Ant gilinimo variklio M2 roboto manipulatorius padeda

pusgaminį, taip pašalinamos plastiko atplaišos, likusios po gręžimo. Baigus gilinimo ciklą, įsijungia Y9 – dulkių nupūtymo skirstytuvai ir Y10 – oro srauto jonizatorius. Roboto ranka perneša detalę virš antgalio dulkėms nusiurbti, kartu pakreipdama detalę įvairiais kampais, kad dulkės pasišalintų nuo visų plastiko korpuso paviršių. Baigus šią dulkių šalinimo operaciją, roboto manipulatorius pusgaminį perneša ir padeda prieš kokybės patikros kamerą.

Kamera pradeda kokybės patikrą ir įvertina gaminio tinkamumą. Patikrinus rasti kokybiški gaminiai yra pernešami roboto griebtuvo ant produkcijos išvežimo konvejerio M3, o neatitinkantys reikalavimų gaminiai yra padedami ant atmetimo konvejerio M4. Ant konvejerio M3 kokybiškos detalės yra kaupiamos ir pamažu juda link išorinio konvejerio galo. Darbuotojas (operatorius), norėdamas išimti kokybiškas detales iš linijos, gali pasinaudoti įrengtu žaliu mygtuku „Išvežimas“, esančiu ant valdymo pulto ES1 – paspaudus jį, visi kokybiški gaminiai pervežami į konvejerio galą. Kai konvejeris yra beveik persipildęs kokybiškomis detalėmis, darbuotojas yra įspėjamas garsiniais ir šviesos signalais. Jei konvejeris pilnai persipildo kokybiškais gaminiais, operatorius įspėjamas garsiniais ir šviesos signalais ir linija susistabdo gamybos veiksmus iki tol, kol neprieis darbuotojas.



17 pav. SCADA sistemos ekrane vaizduojama automatizuotos celės aplinka

Viso šio proceso eiga yra atvaizduojama valdymo skydo CC1 ekrane. Šiame lietimui jautriame SCADA sistemos ekrane operatorius gali nustatyti sistemos parametrus. Ekraną vaizdas pateiktas 17 pav.

2.3.2. Operatoriaus veiksmai

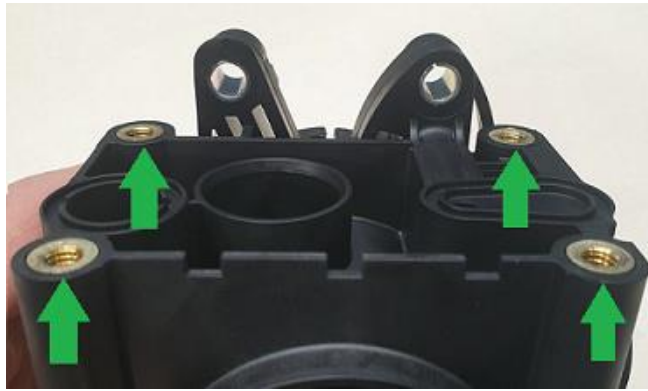
Operatorius turi į darbo vietą atsinešti pakavimui reikalingas darbo priemones (kartono dėžes, maišus, perdangas, pasirūpinti, kad būtų atvežta paletė), patogiai pasiruošti darbo vietą pagal darbo instrukciją ir pradėti dirbti. Taip pat operatorius turi prižiūrėti, kad automatinėje celėje nepristigtų komponentų (plieninių ir bronzinių įvorių), retkarčiais juos papildydamas. Plastiko žaliavos operatoriumi prižiūrėti

nereikia – ji į dozavimo bunkerį yra patiekama tiesiai iš džiovyklos, tačiau jei staiga plastiko žaliavos pritrūktų, prie dozavimo įtaisyta įranga operatorių įspėtų šviesiniais ir garsiniais signalais.

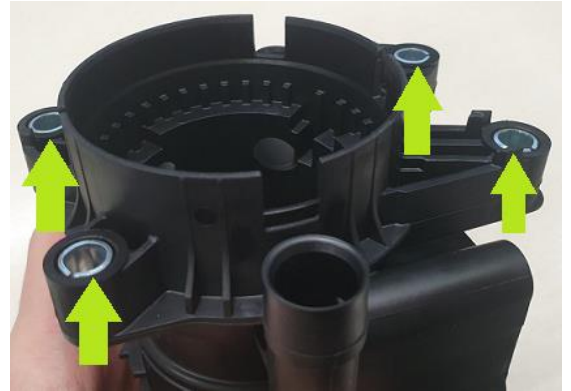
Darbuotojas, atėjęs prie M3 konvejerio, ima detales, patikrina darbo instrukcijoje pažymėtas galimas detalės neatitikties vietas ir pakuoja pagal darbo instrukcijoje pateiktus nurodymus (7 lentelė, 18 pav).

7 lentelė. Detalės pakavimo ir tikrinimo kriterijai operatoriui

| Op. | Aprašymas |
|------------|---|
| 0. | Dėl taikomų reikalavimų šios detalės negali būti užterštos kartono dalelėmis – būtina kiek įmanoma riboti detalių tiesioginį sąlytį su kartonu. Tai ypatingai svarbu pakuojant detales. |
| 1. | Pakuotės pasiruošimas |
| 1.1 | Į kartono dėžės dugną įdedama kartoninė perdanga. |
| 1.2 | Į dėžę įtiesiamas plastikinis maišas. |
| 2. | Detalės tikrinimas |
| 2.0 | Imant detalę nuo konvejerio, prieš pakuojant ją į dėžę turi būti atlikti visi žemiau nurodyti žingsniai. |
| 2.1 | Patikrinama, ar į detalę įleisti visos 4 srieginės įvorės (bronzinės įvorės) ir 4 paprastosios įvorės (plieno įvorės). (žr. 12 pav, a), b). Įsitikinama, kad jie visi įleisti iki galo, t.y. nėra išlindę (žr. 12 pav, c) |
| 2.2 | Patikrinama, ar nėra kreivai įleistų srieginių įvorių, kurios sugadintų detalę (žr. 12 pav, d) |
| 2.3 | Patikrinama, ar detalės ertmės dugne nėra išlajų (žr. 12 pav, e). Detales su tokiomis išlajomis reikia padėti į šalį, bet neišmesti. Informuoti pamainos arba gamybos vadovą pastebėjus bent vieną tokią detalę. |
| 2.4 | Patikrinama, ar toje pačioje ertmėje nėra užsilikusių drožlių (žr. 12 pav, f). Drožlės išimamos arba nupučiamos suslėgto oro pistoletu. |
| 2.5 | Norint pašalinti išlajas (žr. 12 pav, g), naudojamas pavaizduotas įrankis (žr. 12 pav, h). Iš viršaus į apačią perkiamas plonesnis jo galas per paveikslėlyje pavaizduotą skylę. Pavyzdyje apibrauktų smulkių išlajų turėtų nebelikti. |
| 3. | Pakavimas |
| 3.1 | Atlikus visus detalės tikrinimo žingsnius, detalė dedama į dėžę. Į sluoksnį dedamos 3 eilės po 4 detales – viso 12 vnt. (žr. 12 pav, i). |
| 3.2 | Sudėjus detalių sluoksnį, kartono perdanga įmaunama į plastiko maišą, užlenkiami jo kraštai ir įmanuta perdanga uždedama ant detalių. Užlenkti maišo kraštai turi būti apačioje, kad vėlesnis detalių sluoksnis būtų dedamas ant lygaus paviršiaus. |
| 3.3 | Tokiu principu dedami 3 sluoksniai detalių. Sudėjus paskutinįjį sluoksnį, ant viršaus taip pat uždedama perdanga, įmauta į maišą. |
| 3.4 | Užpildomas gamybos lapelis su detalių skaičiumi dėžėje, detalių modeliu, supakavimo laiku ir įdedamas į paruoštą dėžę, dėžė uždaroma ir supakuojama su lipnia juosta. |
| 3.5 | Dėžė dedama ant EUR paletės. 3 sluoksniai po 5 dėžes – viso 15 dėžių / 540 detalių ant paletės. |



a)



b)



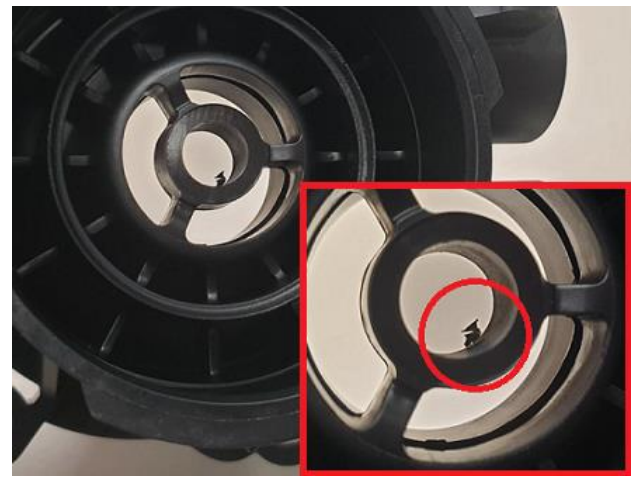
c)



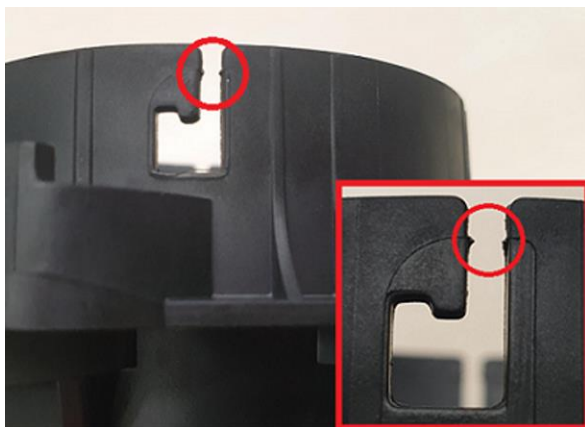
d)



e)



f)



g)



h)



i)

18 pav. Vizualiniai operatoriaus pakavimo ir tikrinimo instrukcijos paaiškinimai: a) srieginių (bronzinių) įvorių patikrinimas; b) paprastųjų plieninių įvorių patikrinimas; c) išlindusios srieginės įvorės – kokybės neatitiktis; d) neteisingai įleistos srieginės įvorės – kokybės neatitiktis; e) išlaja skylės šone – atidedama į šalį; f) kokybės neatitiktis. Drožlę ertmės dugne reikia išimti ar nupūsti; g) išlajos – kokybinė neatitiktis; h) išlajų šalinimo įrankis ir šalinimo procesas; i) detalių pakavimo viename sluoksnyje pavyzdys







2.3.3. Darbo saugos reikalavimai automatizuotoje celėje

Veikiant automatizuotai įvorių presavimo, virinimo ir patikros linijai, operatoriui draudžiama:

- Laikytis už linijos judančių dalių, bandyti jas sustabdyti;
- Bandyti pataisyti, pareguliuoti, įkišti pusgaminius;
- Kišti rankas, kitas kūno dalis ar daiktus į mechanizmo judėjimo zoną;
- Pilnai neišjungus įrenginio ar neatjungus jo nuo oro padavimo ar elektros tinklo, laikytis už įrenginio rėmo, lįsti po įrenginiu, bandyti jį valyti ar atlikti kitus priežiūros veiksmus;
- Paleisti įrenginį be jo konstrukcijos plane numatytų judančių dalių apsaugos;
- Jutiklius uždengti pašaliniais daiktais.

Dirbant su automatine cele, operatorius turi dėvėti apsaugos priemones, apbūdintas 8-oje lentelėje.

8 lentelė. Asmens apsaugos priemonės

| Žymėjimas | Žymėjimo paaiškinimas |
|--|--|
|  | Klausos apsauga. Skirta apsaugai nuo klausos pažeidimo. |
|  | Tinkami apsauginiai darbo drabužiai. Drabužiai turi būti prigludę ir atsparūs plyšimui su siauromis rankovėmis ir be palaidų dalių. Jų pirminė paskirtis yra apsaugoti operatorių nuo įtraukimo tarp judančių mašinų dalių. Tuo pačiu yra reikalaujama nenešioti žiedų, grandinėlių ar kitų papuošalų. |
|  | Respiratorius. Skirtas kvėpavimo takų apsaugai nuo dulkių ir kitų kietųjų dalelių. |
|  | Neslystantys batai. Skirti apsaugai nuo paslydimo. |
|  | Apsauginės pirštinės. Skirtos rankų apsaugai nuo trynimo, įbrėžimų, sužeidimų, taip pat ir apsaugai nuo karštų objektų. |
|  | Apsauginiai akiniai. Skirti apsaugoti akis nuo smulkių lekiančių objektų. |

2.4. Naujos celės darbo našumo ekonominis vertinimas

Siekiant įvertinti modernizacijos naudą, skaičiavimai pradedami nuo esamos detalės kainos skaičiavimų ir vėliau palyginami su detalės kaina, kai detalė pagaminta modernizuotoje celėje.

2.4.1. Esamos detalės kainos vertinimas

Žaliavų skaičiavimai

Medžiagos kiekis 100-tui detalių (1):

$$m_{100det} = (m_{det} + m_{liečio}) \cdot 100 = (223,70 + 3,00) \cdot 100 = 22670 \text{ g} = 22,67 \text{ kg} \quad (1)$$

čia m_{det} – 1-os detalės masė, g;

m_{det} – liečio masė, g.

Medžiagos kaina detalėms vertinama žinant, kad GRIVORY HTV-35H1 BLACK 9205 medžiagos kilogramo kaina iš tiekėjo yra 5,74 Eur (2):

$$K_{detpl} = m_{100det} \cdot k_{1kg} = 22,67 \cdot 5,74 = 130,13 \text{ Eur} \quad (2)$$

čia K_{detpl} – plastiko medžiagos kaina 100-ui detalių, Eur.

Komponentų, reikalingų 100-ui detalių pagaminti, kainos vertinimas (3):

$$K_{detkomp} = (k_{plienoiv} \cdot K_{plienoiv} + k_{bronziv} \cdot K_{bronziv}) \cdot 100 = (0,0202 \cdot 4 + 0,0466 \cdot 4) \cdot 100 = 26,72 \text{ Eur} \quad (3)$$

čia $K_{detkomp}$ – 100-ui detalių reikalingų komponentų kaina, Eur;

$k_{plienoiv}$ – 1-os plieno įvorės kaina, Eur;

$K_{plienoiv}$ – plieno įvorių kiekis vienai detalei, vnt;

$k_{bronziv}$ – 1-os bronzinės įvorės kaina, Eur;

$K_{bronziv}$ – bronzinių įvorių kiekis vienai detalei, vnt.

Medžiagų, komponentų kainos gali svyruoti. Tam tikslui įmonė, skaičiuodama detalės kainą, kurią ketina siūlyti klientui parduodama projektą, įsivertina, kad medžiagų kaina gali kilti 7,4-9,6 %. Pasirinktas procentinis dydis priklauso nuo to, ar įmonė jau dirba su detalei parinktomis medžiagomis ir tiekėju. Šiuo konkrečiu atveju naudojamas 7,4 % dydis (4):

$$K_{detpl+komp} = (K_{detpl} + K_{detkomp}) \cdot 1,074 = (130,13 + 26,72) \cdot 1,074 = 168,46 \text{ Eur} \quad (4)$$

čia $K_{detpl+komp}$ – 100-ui detalių reikalingo plastiko ir komponentų kaina su įvertintu galimu žaliavų kainų kilimu 7,4 %.

Liejimo proceso kaštų skaičiavimas

Įmonė yra apskaičiavusi kiekvieno liejimo įrengimo fiksuotą ir kintamą valandinį įkainį. Jis priklauso nuo kiekvieno įrengimo dydžio, valdymo, suvartojamos elektros energijos, vandens sąnaudų ir kt. Taip pat įmonė turi nustačiusi žmogaus darbo kintamus bei pastoviuosius valandinius įkainius (žr. 9 lentelę):

9 lentelė. Fiksuotieji ir kintamieji įkainiai liejimo ceche (liejimo mašinos ir žmogaus darbui)

| | |
|--|-------|
| Liejimo mašinos „Engel Victory“, (200 tonų užspaudimo jėga), valandinis fiksuotas įkainis, $K_{L\text{fiks}}$, Eur/val: | 20,90 |
| Tos pačios liejimo mašinos kintamas įkainis, $K_{L\text{kint}}$ Eur/val: | 9,50 |
| Operatoriaus darbo fiksuotas įkainis, $K_{Z\text{fiks}}$ Eur/val: | 2,85 |
| Operatoriaus darbo kintamas įkainis, $K_{Z\text{kint}}$ Eur/val: | 6,83 |

Imant, kad detalės liejimo ciklas yra 61 sekundė, skaičiuojami fiksuoti liejimo kaštai (5):

$$K_{FiksuotiL} = \frac{K_{L\text{fiks}}}{3600} \cdot t_{L\text{ciklo}} \cdot n_{tuštumų} \cdot 100 = \frac{20,90}{3600} \cdot 61 \cdot 1 \cdot 100 = 35,41 \text{ Eur} \quad (5)$$

čia $K_{FiksuotiL}$ – fiksuoti liejimo mašinos kaštai, tenkantys 100-to detalių gamybai, Eur;

$t_{L\text{ciklo}}$ – ciklo laikas, s;

$n_{tuštumų}$ – vienu metu išliejamų detalių skaičius iš formos.

Apskaičiuojamas operatoriaus darbo fiksuotas įkainis vienai detalei. Įmonės viduje, apžvelgus nagrinėjamos detalės gamybos specifiką, priimta, kad detalės liejimo procesui yra reikalingas 33 % žmogaus poreikis (6):

$$K_{Fiksuoti\check{z}} = \frac{K_{\check{z}fiks}}{3600} \cdot t_{Lciklo} \cdot n_{\check{z}poreikis} \cdot 100 = \frac{2,85}{3600} \cdot 61 \cdot 0,33 \cdot 100 = 1,59 \text{ Eur} \quad (6)$$

čia $K_{Fiksuoti\check{z}}$ – fiksuotas operatoriaus įkainis, tenkantis 100-to detalių gamybai, Eur;
 $n_{\check{z}poreikis}$ – žmogaus poreikio koeficientas.

Panašiai suskaičiuojami liejimo mašinos ir žmogaus poreikio kintamieji kaštai (7), (8):

$$K_{KintamiL} = \frac{K_{Lkint}}{3600} \cdot t_{Lciklo} \cdot 100 = \frac{9,50}{3600} \cdot 61 \cdot 100 = 16,10 \text{ Eur} \quad (7)$$

čia $K_{KintamiL}$ – kintami liejimo mašinos kaštai, tenkantys 100-to detalių gamybai, Eur.

$$K_{Kintami\check{z}} = \frac{K_{\check{z}kint}}{3600} \cdot t_{Lciklo} \cdot n_{\check{z}poreikis} \cdot 100 = \frac{6,83}{3600} \cdot 61 \cdot 0,33 \cdot 100 = 3,82 \text{ Eur} \quad (8)$$

čia $K_{Kintami\check{z}}$ – kintamas operatoriaus įkainis, tenkantis 100-to detalių gamybai, Eur.

Gaminio liejimui svarbu įvertinti ir pasiruošimo laiką – tai formos ant įrengimo atvežimas, uždėjimas, pakuotės, žaliavos paruošimas, įrengimo kaitinimas prieš liejimą ir panašiai. Tolimesniems skaičiavimams žinoma, kad gaminamos detalės metinis kiekis siekia 150 000 vnt., o vieno užsakymo dydis – 15 000 vnt. Liejimo įrengimo paruošimo laikas – 2 val., operatoriaus pasiruošimas liejimo planui – 2 val (9):

$$K_{L+\check{z}pasiruo\check{s}} = \frac{t_{L\check{z}pasiruo\check{s}} \cdot K_{L\check{z}pasiruo\check{s}} + t_{Lpasiruo\check{s}} \cdot (K_{Lfiks} + K_{Lkint}) \cdot \frac{k_{metinis}}{k_{u\check{z}sakymo}}}{k_{metinis}} \cdot 100 =$$

$$= \frac{2 \cdot 10,45 + 2 \cdot (20,90 + 9,50) \cdot \frac{150000}{15000}}{150000} \cdot 100 = 0,42 \text{ Eur} \quad (9)$$

čia $K_{L+\check{z}pasiruo\check{s}}$ – liejimo pasiruošimo kaštai 100-tui detalių, Eur;

$t_{L\check{z}pasiruo\check{s}}$ – operatoriaus pasiruošimas liejimo planui, val.;

$K_{L\check{z}pasiruo\check{s}}$ – įmonės apskaičiuotas įkainis, skirtas operatorių pasiruošimui liejimui. Konkrečiu atveju tai 10,45 Eur/val.;

$t_{Lpasiruo\check{s}}$ – liejimo įrengimo pasiruošimas liejimo planui, val.;

$k_{metinis}$ – gaminamos detalės metinis kiekis, vnt.;

$k_{u\check{z}sakymo}$ – gaminamos detalės vieno užsakymo minimalusis kiekis, vnt.

Susumuojami liejimo proceso kaštai:

$$K_{Liejimo} = K_{FiksuotiL} + K_{Fiksuoti\check{z}} + K_{KintamiL} + K_{Kintami\check{z}} + K_{L+\check{z}pasiruo\check{s}} = 35,41 + 1,59 + 16,10 + 3,82 + 0,42 = 57,34 \text{ Eur} \quad (10)$$

Celės operacijos

Celėje prieš automatizaciją vykdomos įvorių išspaudimo ir įvirinimo operacijos. Šios operacijos taip pat vertinamos celės darbo įkainiais, pateiktais 10 lentelėje:

10 lentelė. Fiksuotieji ir kintamieji įkainiai virinimo celėje

| | |
|--|-------|
| Fiksuotas celės veikimo įkainis, K_{Cfiks1} , Eur/val: | 10,70 |
| Celės veikimo kintamas įkainis, K_{Ckint1} , Eur/val: | 1,10 |

Detalės apdirbimas celėje yra 25 sekundės. Žmogaus poreikis celėje prieš tobulinimą yra 77 %. Apskaičiuojami fiksuotieji kaštai (11):

$$\begin{aligned}
 K_{FiksuotiC1+Ž} &= \left(\frac{K_{Cfiks1}}{3600} \cdot t_{Cciklo1} + \frac{K_{Žfiks}}{3600} \cdot t_{Cciklo1} \cdot n_{C1žporeikis} \right) \cdot 100 = \\
 &= \left(\frac{10,70}{3600} \cdot 25 + \frac{2,85}{3600} \cdot 25 \cdot 0,77 \right) \cdot 100 = 8,95 \text{ Eur}
 \end{aligned} \tag{11}$$

čia $K_{FiksuotiC1+Ž}$ – fiksuotieji celės veikimo ir žmogaus darbo kaštai 100-tui detalių, Eur;

$t_{Cciklo1}$ – celėje apdirbamos detalės ciklo laikas, s;

$n_{C1žporeikis}$ – žmogaus poreikio koeficientas nemodifikuotos celės atveju.

Apskaičiuojami kintami kaštai (12):

$$\begin{aligned}
 K_{KintamiC1+Ž} &= \left(\frac{K_{Ckint1}}{3600} \cdot t_{Cciklo1} + \frac{K_{Žkint}}{3600} \cdot t_{Cciklo1} \cdot n_{C1žporeikis} \right) \cdot 100 = \\
 &= \left(\frac{1,10}{3600} \cdot 25 + \frac{6,83}{3600} \cdot 25 \cdot 0,77 \right) \cdot 100 = 4,42 \text{ Eur}
 \end{aligned} \tag{12}$$

čia $K_{KintamiC1+Ž}$ – kintamieji celės veikimo ir žmogaus darbo kaštai, Eur.

Operatoriaus pasiruošimo laikas – 1 valanda, celės paruošimo laikas – 1 valanda. Apskaičiuojamas celės ir operatoriaus paruošimo įkainis (13):

$$\begin{aligned}
 K_{C1+Žpasiruoš} &= \left(\frac{t_{Cžpasiruoš} \cdot K_{Cžpasiruoš} + t_{Cpasiruoš} \cdot (K_{Cfiks1} + K_{Ckint1}) \cdot \frac{k_{metinis}}{k_{užsakymo}}}{k_{metinis}} \right) \\
 &\cdot 100 = \left(\frac{1 \cdot 7,60 + 1 \cdot (10,70 + 1,10) \cdot \frac{150000}{15000}}{150000} \right) \cdot 100 = 0,08 \text{ Eur}
 \end{aligned} \tag{13}$$

čia $K_{C1+Žpasiruoš}$ – celės pasiruošimo kaštai 100-tui detalių, Eur;

$t_{Cžpasiruoš}$ – operatoriaus pasiruošimas darbui celėje, val.;

$K_{Cžpasiruoš}$ – įmonės apskaičiuotas įkainis, skirtas operatorių pasiruošimui celės darbui. Konkrečiu atveju tai 7,60 Eur/val;

$t_{Cžpasiruoš}$ – celės paruošimas darbui, val.

Susumuojami celės operacijų (prieš modernizaciją) kaštai $K_{Celės1}$ (14):

$$K_{Celės1} = K_{FiksuotiC1+ž} + K_{KintamiC1+ž} + K_{C1+žpasiruoš} = 8,95 + 4,42 + 0,08 = 13,45 \text{ Eur} \quad (14)$$

Gręžimo operacijos kaštai

Gręžimo operacija – ne išmtis, jai reikia fikstūros, gręžimo staklių, oro nusiurbimo sistemos sureguliuavimo, darbo vietos pasiruošimo, komponentų atsivežimo. Gręžimo staklių darbo įkainiai pateikti 11 lentelėje:

11 lentelė. Fiksuotieji ir kintamieji įkainiai gręžimo staklėms

| | |
|---|------|
| Fiksuotas gręžimo staklių veikimo įkainis, K_{Gfiks} , Eur/val: | 6,20 |
| Gręžimo staklių veikimo kintamas įkainis, K_{Gkint} , Eur/val: | 1,10 |

Detalės apdirbimas gręžimo staklėse yra 21-a sekundė. Žmogaus poreikis gręžime prieš tobulinimą yra 100 %. Apskaičiuojami fiksuotieji kaštai (15):

$$K_{FiksuotiG+ž} = \left(\frac{K_{Gfiks}}{3600} \cdot t_{Gciklo} + \frac{K_{žfiks}}{3600} \cdot t_{Gciklo} \cdot n_{Gžporeikis} \right) \cdot 100 = \left(\frac{6,20}{3600} \cdot 21 + \frac{2,85}{3600} \cdot 21 \cdot 1 \right) \cdot 100 = 5,28 \text{ Eur} \quad (15)$$

čia $K_{FiksuotiG+ž}$ – fiksuotieji gręžimo staklių veikimo ir žmogaus darbo kaštai 100-tui detalių, Eur;

t_{Gciklo} – gręžimo metu apdirbamos detalės ciklo laikas, s;

$n_{Gžporeikis}$ – žmogaus poreikio koeficientas gręžimo operacijai.

Apskaičiuojami kintami kaštai (16):

$$K_{KintamiG+ž} = \left(\frac{K_{Gkint}}{3600} \cdot t_{Gciklo} + \frac{K_{žkint}}{3600} \cdot t_{Gciklo} \cdot n_{Gžporeikis} \right) \cdot 100 = \left(\frac{1,10}{3600} \cdot 21 + \frac{6,83}{3600} \cdot 21 \cdot 1 \right) \cdot 100 = 4,63 \text{ Eur} \quad (16)$$

čia $K_{KintamiG+ž}$ – kintamieji gręžimo staklių ir žmogaus darbo kaštai, Eur.

Operatoriaus pasiruošimo laikas – 0,5 valandos, celės paruošimo laikas – 0,5 valandos. Apskaičiuojamas gręžimo staklių ir operatoriaus paruošimo įkainis (17):

$$K_{G+žpasiruoš} = \left(\frac{t_{Gžpasiruoš} \cdot K_{Gžpasiruoš} + t_{Gpasiruoš} \cdot (K_{Gfiks} + K_{Gkint}) \cdot \frac{k_{metinis}}{k_{užsakymo}}}{k_{metinis}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{0,5 \cdot 7,60 + 0,5 \cdot (6,20 + 1,10) \cdot \frac{150000}{15000}}{150000} \right) \cdot 100 = 0,03 \text{ Eur} \quad (17)$$

čia $K_{G+Žpasiruoš}$ – gręžimo staklių pasiruošimo kaštai 100-tui detalių, Eur;

$t_{GŽpasiruoš}$ – operatoriaus pasiruošimas gręžimui, val.;

$K_{GŽpasiruoš}$ – įmonės apskaičiuotas įkainis, skirtas operatorių pasiruošimui darbui su gręžimo staklėmis. Konkrečiu atveju tai 7,60 Eur/val;

$t_{GŽpasiruoš}$ – gręžimo staklių paruošimas darbui, val.

Susumuojami gręžimo proceso kaštai (18):

$$K_{Gręžimo} = K_{FiksuotiG+Ž} + K_{KintamiG+Ž} + K_{G+Žpasiruoš} = 5,28 + 4,63 + 0,03 = 9,94 \text{ Eur} \quad (18)$$

Perrinkimo operacijos kaštai

Perrinkimas – tai paskutinė operacija detalės gamybos procese. 12-oje lentelėje pateikiami perrinkimo fiksuoti ir kintamieji įkainiai:

12 lentelė. Fiksuotieji ir kintamieji įkainiai perrinkimo operacijai

| | |
|--|------|
| Operatoriaus darbo fiksuotas įkainis, $K_{Žfiks}$ Eur/val: | 2,85 |
| Operatoriaus darbo kintamas įkainis, $K_{Žkint}$ Eur/val: | 6,83 |

Detalė paimama, apžiūrima ir supakuojama per 16-ka sekundžių. Žmogaus poreikis perrinkime prieš tobulinimą yra 100 %. Apskaičiuojami fiksuotieji kaštai (19):

$$K_{FiksuotiP} = \left(\frac{K_{Žfiks}}{3600} \cdot t_{Pciklo} \cdot n_{Pžporeikis} \right) \cdot 100 = \left(\frac{2,85}{3600} \cdot 16 \cdot 1 \right) \cdot 100 = 1,27 \text{ Eur} \quad (19)$$

čia $K_{FiksuotiP}$ – fiksuotieji žmogaus darbo kaštai perrenkant 100-tą detalių, Eur;

t_{Pciklo} – 1-os detalės peržiūrai reikalingas laikas, s;

$n_{Pžporeikis}$ – žmogaus poreikio koeficientas perrinkimo operacijai.

Apskaičiuojami kintami kaštai (20):

$$K_{KintamiP} = \left(\frac{K_{Žkint}}{3600} \cdot t_{Pciklo} \cdot n_{Pžporeikis} \right) \cdot 100 = \left(\frac{6,83}{3600} \cdot 16 \cdot 1 \right) \cdot 100 = 3,04 \text{ Eur} \quad (20)$$

čia $K_{KintamiP}$ – kintamieji gręžimo staklių ir žmogaus darbo kaštai, Eur.

Operatoriaus pasiruošimo laikas – 0,25 valandos. Apskaičiuojamas paruošimo perrinkimo operacijai įkainis (21):

$$K_{Ppasiruoš} = t_{Pžpasiruoš} \cdot K_{Pžpasiruoš} = 0,25 \cdot 7,60 = 1,90 \text{ Eur} \quad (21)$$

čia $K_{Ppasiruoš}$ – pasiruošimo kaštai, Eur;

$t_{P\text{pasiruoš}}$ – operatoriaus pasiruošimas perrinkimui, val.;

$K_{P\text{žpasiruoš}}$ – įmonės apskaičiuotas įkainis, skirtas operatorių pasiruošimui darbui perrinkime. Konkrečiu atveju tai 7,60 Eur/val.

Susumuojami perrinkimo proceso kaštai (22):

$$K_{\text{Perrinkimo}} = K_{\text{FiksuotiP}} + K_{\text{KintamiP}} + K_{\text{Ppasiruoš}} = 1,27 + 3,04 + 1,90 = 6,21 \text{ Eur} \quad (22)$$

Visų gamybos proceso etapų prieš tobulinimą ir žaliavų kaštų suma 100-tui detalių (23):

$$\begin{aligned} K_{\text{Prieš}} &= K_{\text{detpl+komp}} + K_{\text{Liejimo}} + K_{\text{Cielės1}} + K_{\text{Gręžimo}} + K_{\text{Perrinkimo}} = \\ &= 168,46 + 57,34 + 13,45 + 9,94 + 6,21 = 255,40 \text{ Eur}. \end{aligned} \quad (23)$$

Įvertinamas neatitikties procentas. Imama, kad gamybos proceso metu bus pagaminti 3 % nekokybiškų detalių (24):

$$K_{\text{Prieš+neat}} = K_{\text{Prieš}} \cdot n_{\text{neatitikties}} = 255,40 \cdot 1,03 = 263,06 \text{ Eur} \quad (24)$$

čia $n_{\text{neatitikties}}$ – daugiklis, panaudotas įvertinti 3 % nekokybiškų detalių įtaką kainai;

$K_{\text{Prieš+neat}}$ – gamybiniai ir žaliavų kaštai 100-ai vienetų detalių, įvertinant pagaminamas nekokybiškas detales, kurių kiekis – 3 %.

Vienos detalės kaina (25):

$$K_{1\text{detPrieš+neat}} = \frac{K_{\text{Prieš+neat}}}{100} = \frac{263,06}{100} = 2,63 \text{ Eur} \quad (25)$$

Įvertinamas ciklo laikas, reikalingas pagaminti 1-ai detalei, prieš jų tobulinimą (be pasiruošimo laikų) (26):

$$t_{\text{Prieš}} = t_{L\text{ciklo}} + t_{C\text{ciklo1}} + t_{G\text{ciklo}} + t_{P\text{ciklo}} = 61 + 25 + 21 + 16 = 123 \text{ s} \quad (26)$$

2.4.2. Modernizuotos detalės kainos vertinimas

Plastiko liejimo įmonė pateikė užklausą automatizavimo įmonei dėl gręžimo modulio pirkimo ir įtaisymo celėje, plastiko drožlių po virinimo pašalinimo sprendimo bei dėl detalių kokybės stebėjimo ir atskyrimo sistemos. Tiekėjas pateikė pasiūlymą, kurio kaina detalizuojama 13-oje lentelėje:

13 lentelė. Perkamų įrengimų ir paslaugų sąrašas

| Eil. nr. | Įranga | Kaina, Eur |
|----------|---|------------|
| 1. | Gręžimo modulis | 6800 |
| 2. | Virinimo drožlių šalinimo įranga (suspausto oro purkštukai, oro jonizatorius) | 2033 |
| 3. | Vaizdo sistema kokybės kontrolei (išgręžtos skylės, bronzinių ir plieninių įvorių patikrinimui) | 6934 |
| 4. | Konvejeris nekokybiškoms detalėms | 2153 |

| | | |
|----|--|-------|
| 5. | Įrangos montavimo, programavimo, kalibracijos paslauga | 7500 |
| | Viso (K_{investicijos}): | 25420 |

Po modernizacijos, detalės gamybos kelyje nebelieka gręžimo ir perrinkimo darbo centrų, tad 100-to detalių gamybos ir žaliavų kaštai bus skaičiuojami pagal formulę (27):

$$K_{Po} = K_{detpl+komp} + K_{Liejimo} + K_{Celės2} \quad (27)$$

čia K_{Po} – detalės gamybos ir žaliavų kaštų suma po celės tobulinimo, Eur;

$K_{Celės2}$ – detalės gamybos celėje kaštai po modernizacijos, Eur.

Detalei reikalingų žaliavų kiekis bei liejimo ciklas nesikeičia, todėl $K_{det+komp}$ ir $K_{Liejimo}$ nėra perskaičiuojami. Perskaičiuojami tik $K_{Celės2}$, nes esama celė keičiama į celę su daugiau operacijų. Naujeji celės darbo įkainiai pateikiami 14-oje lentelėje:

14 lentelė. Fiksuotieji ir kintamieji įkainiai patobulintoje virinimo celėje

| | |
|--|-------|
| Fiksuotas celės veikimo įkainis, K_{Cfiks2} , Eur/val: | 12,70 |
| Celės veikimo kintamas įkainis, K_{Ckint2} , Eur/val: | 1,30 |

Detalės apdirbimas celėje pailgėja iki 40 sekundžių. Žmogaus poreikis celėje po tobulinimo yra 60%. Apskaičiuojami fiksuotieji kaštai (28):

$$\begin{aligned} K_{FiksuotiC2+ž} &= \left(\frac{K_{Cfiks2}}{3600} \cdot t_{Cciklo2} + \frac{K_{žfiks}}{3600} \cdot t_{Cciklo2} \cdot n_{C2žporeikis} \right) \cdot 100 = \\ &= \left(\frac{12,70}{3600} \cdot 40 + \frac{2,85}{3600} \cdot 40 \cdot 0,60 \right) \cdot 100 = 16,01 \text{ Eur} \end{aligned} \quad (28)$$

čia $K_{FiksuotiC2+ž}$ – fiksuotieji celės veikimo ir žmogaus darbo kaštai 100-tui detalių po modernizacijos, Eur;

$t_{Cciklo2}$ – celėje apdirbamos detalės ciklo laikas po modernizacijos, s;

$n_{C2žporeikis}$ – žmogaus poreikio koeficientas modifikuotos celės atveju.

Apskaičiuojami kintami kaštai:

$$\begin{aligned} K_{KintamiC2+ž} &= \left(\frac{K_{Ckint2}}{3600} \cdot t_{Cciklo2} + \frac{K_{žkint}}{3600} \cdot t_{Cciklo2} \cdot n_{C2žporeikis} \right) \cdot 100 = \\ &= \left(\frac{1,30}{3600} \cdot 40 + \frac{6,83}{3600} \cdot 40 \cdot 0,60 \right) \cdot 100 = 6,00 \text{ Eur} \end{aligned} \quad (29)$$

čia $K_{KintamiC2+ž}$ – kintamieji celės veikimo ir žmogaus darbo kaštai po modernizacijos, Eur.

Operatoriaus pasiruošimo laikas – 1 valanda, celės paruošimo laikas – 1 valanda. Apskaičiuojamas celės ir operatoriaus paruošimo įkainis (30):

$$K_{C2+\check{z}pasiruo\check{s}} = \left(\frac{t_{C\check{z}pasiruo\check{s}} \cdot K_{C\check{z}pasiruo\check{s}} + t_{Cpasiruo\check{s}} \cdot (K_{Cfiks2} + K_{Ckint2}) \cdot \frac{k_{metinis}}{k_{u\check{s}akymo}}}{k_{metinis}} \right) \quad (30)$$

$$\cdot 100 = \left(\frac{1 \cdot 7,60 + 1 \cdot (12,70 + 1,30) \cdot \frac{150000}{15000}}{150000} \right) \cdot 100 = 0,10 \text{ Eur}$$

čia $K_{C2+\check{z}pasiruo\check{s}}$ – celės pasiruošimo kaštai 100-tui detalių, Eur;

$t_{C\check{z}pasiruo\check{s}}$ – operatoriaus pasiruošimas darbui celėje, val.;

$K_{C\check{z}pasiruo\check{s}}$ – įmonės apskaičiuotas įkainis, skirtas operatorių pasiruošimui celės darbui. Konkrečiu atveju tai 7,60 Eur/val.;

$t_{Cpasiruo\check{s}}$ – celės paruošimas darbui, val.

Susumuojami atnaujintos celės operacijų kaštai (31):

$$K_{Celės2} = K_{FiksuotiC2+\check{z}} + K_{KintamiC2+\check{z}} + K_{C2+\check{z}pasiruo\check{s}} = 16,01 + 6,00 + 0,10 = 22,11 \text{ Eur} \quad (31)$$

Visų gamybos proceso etapų po tobulinimo ir žaliavų kaštų suma 100-tui detalių (32):

$$K_{Po} = K_{detpl+komp} + K_{Liejimo} + K_{Celės2} = 168,46 + 57,34 + 22,11 = 247,91 \text{ Eur} \quad (32)$$

Įvertinamas neatitikties procentas. Imama, kad gamybos proceso metu bus pagaminti 3 % nekokybiškų detalių (33):

$$K_{Po+neat} = K_{Po} \cdot n_{neatitikties} = 247,91 \cdot 1,03 = 255,35 \text{ Eur} \quad (33)$$

čia $K_{Po+neat}$ – gamybiniai ir žaliavų kaštai 100-ai vienetų detalių, įvertinant pagaminamas nekokybiškas detales, kurių kiekis – 3 %.

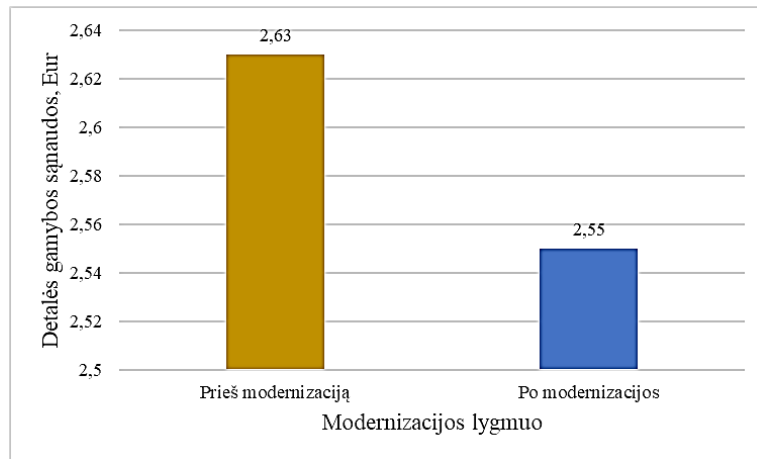
Vienos detalės kaina (34):

$$K_{1detPo+neat} = \frac{K_{Po+neat}}{100} = \frac{255,35}{100} = 2,55 \text{ Eur} \quad (34)$$

Įvertinamas ciklo laikas, reikalingas pagaminti 1-ai detalei, po patobulinimo (be pasiruošimo laikų) (35):

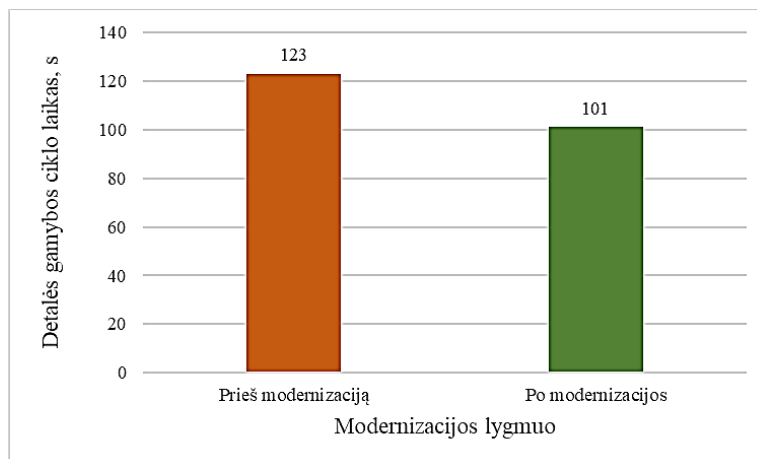
$$t_{Po} = t_{Lciklo} + t_{Cciklo2} = 61 + 40 = 101 \text{ s} \quad (35)$$

Taigi, vienos detalės gamybos sąnaudos atpinga nuo 2,63 eur iki 2,55 eur (arba nuo 263,06 Eur/100 vnt. iki 255,35 Eur/100 vnt.) (žr. 19 pav). Tai sudaro apie 3 % pradinio detalės gamybos kaštų kiekio. Tad 150 000 vienetų pradinio planuoto metinio kiekio gamybos sąnaudos kinta nuo planuotų 394 590 Eur iki 383 025 Eur. Skirtumas siekia 11 565 Eur per metus.



19 pav. Detalės gamybos sąnaudų pokytis po modernizacijos, Eur

Ciklo laikas taip pat sutrumpėjo nuo 123 sekundžių iki 101 sekundės (žr. 20 pav). Tai siekia net ~18 % buvusio ciklo laiko. Perskaičiavus gauname, kad metinis gamybos laikas, skirtas 150 000 vienetų pagaminti, sutrumpėja nuo planuotų 5125 valandų iki 4208 valandų. Dėl šios priežasties didėja gamybos pajėgumas – nuo 150 000 vienetų per metus iki 182 673 vienetų per metus.



20 pav. Detalės gamybos ciklo laiko pokytis po modernizacijos, sekundėmis

Atsipirkimo laiko vertinimas

Įmonė įsigijo įrangos už 25 420 Eur (žr. 14 lentelę). Įmonė dabar yra pajėgi pagaminti 182 673 vnt produkcijos. Šiam produkcijos kiekiui pagaminti, skiriasi kaštų prieš ir po modernizacijos, dydis (36):

$$\begin{aligned}
 K_{\text{pokyti}} &= \frac{k_{\text{metinis2}} \cdot K_{\text{Prieš+neat}}}{100} - \frac{k_{\text{metinis2}} \cdot K_{\text{Po+neat}}}{100} = \\
 &= \frac{182673 \cdot 263,06}{100} - \frac{182673 \cdot 255,35}{100} = \mathbf{14084 \text{ Eur}}
 \end{aligned}
 \tag{36}$$

čia K_{pokyti} – sutaupytų gamybos kaštų dydis per metus, Eur;

k_{metinis2} – gaminamos detalės metinis kiekis, galimas po modernizacijos, vnt.

Tad įsigyta įranga atsipirks per (37):

$$t_{\text{atsipirkimo}} = \frac{K_{\text{investicijos}}}{K_{\text{pokytis}}} = \frac{25420}{14084} = 1,80 \text{ metų} \approx \mathbf{1 \text{ metai } 10 \text{ mėnesių}} \quad (37)$$

Išvados

1. Tyrime apžvelgti neefektyvaus proceso žingsniai. Juose pastebėti didžiausi resursus švaistantys veiksniai – tai nereikalingos logistinės operacijos tarp darbo centrų, didelis operatoriaus poreikis stebėti detalių kokybę, neužtikrintas reikiamas švaros lygmuo. Nepilnai išnaudota celė prie liejimo įrengimo;
2. Detalių kokybė, siekiant, kad ji tenkintų kliento reikalavimus, turi būti aukštesnė – jose neleidžiamos net 70 μm išlajos, suslūgimai, kiti liejimo metu atsirandantys defektai, skirtingi matmenys turi tilpti į $\pm 0,08-0,20$ mm dydžio tolerancijas, o procesas turi būti stabilus ($C_{pk} > 1,67$);
3. Nuspręsta, kad detalių gamyba bus tobulinama įsigyjant ir celei pritaikant gręžimo stakles, specialią drožlių išpūtimo įrangą, detalių kokybės tikrinimo sistemą (kamerą, programinę įrangą, konvejerį NOK detalėms);
4. Įvertinus naujos celės darbo našumo ekonominį vertinimą, apskaičiuota, jog vienos detalės gamybinė savikaina sumažėja 3 % – nuo 2,63 Eur iki 2,55 Eur, ciklo laikas sutrumpėja ~18 % (nuo 123 sekundžių iki 101 sekundės), o nusipirkta įranga atsiperka po 1 metų ir 10-ies mėnesių.

Literatūros sąrašas

1. CHARITOU, Anastasia, Roxani Naasan AGA-SPYRIDOPOULOU, Zoi MYLONA, et. al. Investigating the knowledge and attitude of the Greek public towards marine plastic pollution and the EU Single-Use Plastics Directive. *Marine Pollution Bulletin*. [interaktyvus] Elsevier, May 2021, vol. 166 [žiūrėta 2022 m. rugsėjo 25 d.]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112182>
2. CEPEDA, T.A. ir I.S. LOPES. Support methodology for product quality assurance: a case study in a company of the automotive industry. *Procedia Manufacturing*. [interaktyvus] Elsevier, 2019, vol. 38, (957-964) [žiūrėta 2022 m. rugsėjo 25 d.]. Prieiga per: 10.1016/j.promfg.2020.01.179
3. PRADEEP, Sai Aditya ir Rakesh K. IYER. Automotive Applications of Plastics: Past, Present, and Future. *Applied Plastics Engineering Handbook (Second Edition)*. [interaktyvus] Plastics Design Library, 2017, (651-673) [žiūrėta 2022 m. rugsėjo 25 d.]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39040-8.00031-6>
4. Alexis HUGHES. Building and Constructions Plastic Market – An Analysis. *Reinforced Plastics*. [interaktyvus] Elsevier, July–August 2021, vol. 65, (194-198) [žiūrėta 2022 m. rugsėjo 25 d.]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.repl.2020.10.001>
5. MUTHAMILSELVAN, T. ir Titash MONDAL. Thermally Conductive Plastics for Electronic Applications. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. [interaktyvus] Elsevier, 2021 [žiūrėta 2022 m. rugsėjo 25 d.]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820352-1.00099-7>
6. QUANYUE, Zhao, Wu HANTAI, Chen XINYU, et al. Insights into the structural design strategies of multi-spot ultrasonic welded joints in thermoplastic composites: A finite element analysis. *Composite Structures* [interaktyvus] ScienceDirect, 2022 [žiūrėta 2022 m. rugsėjo 25 d.]. Prieiga per: 10.1016/j.compstruct.2022.115996
7. TRANTER, Jack B., Paul REFALO ir Arif ROCHMAN. Towards sustainable injection molding of ABS plastic products. *Journal of Manufacturing Processes*. [interaktyvus] Elsevier, October 2017, vol. 29, (399-406) [žiūrėta 2022 m. rugsėjo 25 d.]. Prieiga per: doi: /10.1016/j.jmapro.2017.08.01
8. EVODE Niyitanga, Sarmad Ahmad QUAMAR, Muhammad BILAL, et. al. Plastic waste and its management strategies for environmental sustainability. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. [interaktyvus] Elsevier, December 2021, vol. 4 [žiūrėta 2022 m. rugsėjo 25 d.]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100142>
9. JIMENEZ, Genett, Gilberto SANTOS, José Carlos SÁ, et al. Improvement of Productivity and Quality in the Value Chain through Lean Manufacturing – a case study. *Procedia Manufacturing*. [interaktyvus] ScienceDirect, 2019-01-01, vol. 41 [žiūrėta 2022 m. rugsėjo 25 d.]. Prieiga per: 10.1016/j.promfg.2019.10.011
10. DAHAL, Raj Kumar, Bishnu ACHARYA, Gobinda SAHA, et. al. Biochar as a filler in glassfiber reinforced composites: Experimental study of thermal and mechanical properties. *Composites Part B: Engineering*. [interaktyvus] Elsevier, October 2019, vol. 175 [žiūrėta 2022 m. rugsėjo 25 d.]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107169>
11. GAO, Huang. Intelligent methods for the process parameter determination of plastic injection molding. *Frontiers of Mechanical Engineering* [interaktyvus]. 2018, 13(1): 85–95 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 14 d.]. Prieiga per: doi: 10.1007/s11465-018-0491-0

12. FU, Junyu, Jikai LIU ir Long QUAN. Partial Solidification Ejection Criteria for Injection Molding Production to Reduce Cycle Time. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* [interaktyvus]. 2022, vol 74. [žiūrėta 2022 m. gruodžio 14 d.]. Prieiga per: doi: 10.1016/j.rcim.2021.102263
13. KHOSRAVANI, Mohammad Reza ir Sara NASIRI. Injection molding manufacturing process: review of case-based reasoning applications. *Journal of Intelligent Manufacturing* [interaktyvus]. 2020, vol 31, (847–864) [žiūrėta 2022 m. gruodžio 14 d.]. Prieiga per: doi: 10.1007/s10845-019-01481-0
14. José R. Lerma VALERO. Plastics Injection Molding. Scientific Molding, Recommendations, and Best Practices. *Plastics Injection Molding*. [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 14 d.]. Prieiga per: doi: 10.3139/9781569906903.fm
15. GONZÁLEZ-BALDERAS, R.M., M. FELIX, C. BENGOCHEA, et. al. Influence of mold temperature on the properties of wastewater-grown microalgae-based plastics processed by injection molding. *Algal Research*. [interaktyvus]. 2020, vol. 51 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 14 d.]. Prieiga per: doi.org/10.1016/j.algal.2020.102055
16. SREEDHARAN, J. and A.K JEEVANANTHAM. Optimization of Injection Molding Process to Minimize Weld-line and Sink-mark Defects Using Taguchi based Grey Relational Analysis. *Materials Today: Proceedings*. 2018, vol. 5 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 14]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.02.244>
17. YANG Binxin, Jie OUYANG, Spei ZHENG, et. al. Simulation of polymer molding filling process with an adaptive weld line capturing algorithm. *International Journal of Material Forming*. 2012, vol 5 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 14]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/s12289-010-1011-x>
18. MOAYYEDIAN, M., K. ABHARYA, ir R. MARIANA. Improved gate system for scrap reduction in injection molding processes. *Procedia Manufacturing*. 2015, vol. 2 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 14 d.]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.043>
19. MA, Zhiguo, Wei WEI, Yunqiu ZU, Ming HUANG, et. al. A novel and simple method to improve thermal imbalance and sink mark of gate region in injection molding. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. October 2021, vol. 127 2 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 14 d.]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2021.105498>
20. BARUFFI, Federico, Mert GÜLÇÜR, Matteo CALAON, et. al. Correlating nano-scale surface replication accuracy and cavity temperature in micro-injection moulding using in-line process control and high-speed thermal imaging. *Journal of Manufacturing Processes*. November 2019, vol. 47 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 14 d.]. Prieiga per: 10.1016/j.jmapro.2019.08.017
21. LA, Moonwoo, Jea Gu LEE ir Sung Jea PARK. Numerical and experimental investigation of plastic injection molding of micro-engineered surfaces. *Wiley online library*. June 2017 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 14 d.]. Prieiga per: 10.1002/pen.24652
22. Ulf BRUDER. Post-molding Operations. User's Guide to Plastic. User's Guide to Plastic (Second Edition). 2019, (117-122). [žiūrėta 2022 m. gruodžio 20 d.]. Prieiga per: 10.3139/9781569907351.013
23. CEVAHIR, Aref, M. Özgür SEYDIBEYOĞLU, Amar K. MOHANTY, et. al. Fiber Technology for Fiber-Reinforced Composites. *Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering*. [interaktyvus] ScienceDirect, 2017-01-01, (99-121) [žiūrėta 2022 m. lapkričio 20 d.]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101871-2.00005-9>
24. SIVA, R., et al. Comparison of Mechanical Properties and Water Absorption Test on Injection Molding and Extrusion - Injection Molding Thermoplastic Hemp Fiber Composite. *Materials*

Today: Proceedings. 2021, vol. 47 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 15]. Prieiga per:
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.189>

Informacijos šaltinių sąrašas

1. RENUB RESEARCH. Global Automotive Market Analysis and Outlook to 2030: Electric, Hybrid Electric, Plug-In Hybrid Electric, Mild Hybrid, Natural Gas, Fuel Cell Electric, Diesel, Petrol. *Global Automotive Market, Growth & Forecast, Impact of Coronavirus, Industry Trends, By Region, Opportunity Company Analysis*. [interaktyvus] Global Automotive Market Report, 2021 [žiūrėta 2022 m. rugsėjo 25 d.]. Prieiga per: https://www.researchandmarkets.com/reports/5447681/global-automotive-market-growth-and-forecast?utm_source=GNOM&utm_medium=PressRelease&utm_code=rrh6xr&utm_campaign=1603408+-+Global+Automotive+Market+Analysis+and+Outlook+to+2030%3a+Electric%2c+Hybrid+Electric%2c+Plug-In+Hybrid+Electric%2c+Mild+Hybrid%2c+Natural+Gas%2c+Fuel+Cell+Electric%2c+Diesel%2c+Petrol&utm_exec=joca220prd
2. OBERLO. Consumer electronics industry size (2017-2025). *Statista*. [interaktyvus] [žiūrėta 2022 m. rugsėjo 25 d.]. Prieiga per: <https://www.oberlo.com/statistics/consumer-electronics-industry>
3. WILLIAMS, Chris. The Plastic Forming & Manufacturing Process: Top 7 Techniques. *Star Rapid* [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2022 m. gruodžio 14 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.starrapid.com/blog/the-top-7-ways-of-forming-plastics/>
4. YASKAWA ELECTRIC AMERICA, INC. Application Overview: Injection Molding. The Wayback Machine [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2022 m. gruodžio 14 d.]. Prieiga per internetą: <https://web.archive.org/web/20060412020436/http://www.yaskawa.com/site/Industries.nsf/applicationDoc/appinj mold.html>
5. GUAXIN PLASTIC MACHINERY. Injection Molding Flash Trouble Shooting and the Remedies [interaktyvus] N. d. [žiūrėta 2022 m. gruodžio 14 d.]. Prieiga per: <https://guanxin-machinery.com/injection-molding-flash-trouble-shooting-and-the-remedies/>
6. ENGINEERGUY. Plastic injection moulding [interaktyvus] N. d. [žiūrėta 2022 m. gruodžio 14 d.]. Prieiga per: <https://youtu.be/RMjtmsr3CqA>
7. RICHFIELDS PLASTICS. Sink Marks: Find Out Their Causes and How to Avoid Them with the Help of a Plastic Injection Molding in China. [interaktyvus] N. d. [žiūrėta 2022 m. gruodžio 14 d.]. Prieiga per: <https://richfieldsplastics.com/blog/sink-marks/>
8. Harald PICHLER. Engel Victory. Engel VC 860/200 TECH. Service Manual – Machine. ENGEL AUSTRIA GmbH, Versija: G/11/30/30/10. Spausdinimo data: 2017-09-08. Originali naudojimo instrukcija

Priedai

1 priedas. GRIVORY HTV-35H1 BLACK 9205 medžiagos techninės specifikacijos lapas

PROPERTIES

Mechanical Properties

| | | Standard | Unit | State | Grivory HTV-35H1 black 9205 |
|---------------------------|---------------|---------------|-------------------|--------------|--------------------------------|
| Tensile E-Modulus | 1 mm/min | ISO 527 | MPa | dry cond. | 13000 |
| | | | | | 12500 |
| Tensile strength at break | 5 mm/min | ISO 527 | MPa | dry cond. | 200 |
| | | | | | 190 |
| Elongation at break | 5 mm/min | ISO 527 | % | dry cond. | 2 |
| | | | | | 2 |
| Impact strength | Charpy, 23°C | ISO 179/2-1eU | kJ/m ² | dry cond. | 60 |
| | | | | | 60 |
| Impact strength | Charpy, -30°C | ISO 179/2-1eU | kJ/m ² | dry cond. | 60 |
| | | | | | 60 |
| Notched impact strength | Charpy, 23°C | ISO 179/2-1eA | kJ/m ² | dry cond. | 7 |
| | | | | | 7 |
| Notched impact strength | Charpy, -30°C | ISO 179/2-1eA | kJ/m ² | dry cond. | 7 |
| | | | | | 7 |
| Ball indentation hardness | | ISO 2039-1 | MPa | dry cond. | 295 |
| | | | | | 285 |

Thermal Properties

| | | | | | |
|--------------------------------------|------------|-----------|---------------------|-----|-----|
| Melting point | DSC | ISO 11357 | °C | dry | 325 |
| Heat deflection temperature HDT/A | 1.8 MPa | ISO 75 | °C | dry | 280 |
| Heat deflection temperature HDT/C | 8.0 MPa | ISO 75 | °C | dry | 175 |
| Thermal expansion coefficient long. | 23-55°C | ISO 11359 | 10 ⁻⁴ /K | dry | 0.2 |
| Thermal expansion coefficient trans. | 23-55°C | ISO 11359 | 10 ⁻⁴ /K | dry | 0.5 |
| Maximum usage temperature | long term | ISO 2578 | °C | dry | 150 |
| Maximum usage temperature | short term | ISO 2578 | °C | dry | 250 |

Electrical Properties

| | | | | | |
|------------------------------|-----|-------------|-------|--------------|------------------|
| Dielectric strength | | IEC 60243-1 | kV/mm | dry cond. | 35 |
| | | | | | 35 |
| Comparative tracking index | CTI | IEC 60112 | - | cond. | 575 |
| Specific volume resistivity | | IEC 60093 | Ω · m | dry cond. | 10 ¹¹ |
| | | | | | 10 ¹¹ |
| Specific surface resistivity | | IEC 60093 | Ω | cond. | 10 ¹² |

General Properties

| | | | | | |
|------------------------|---------------|----------|-------------------|-----|------|
| Density | | ISO 1183 | g/cm ³ | dry | 1.48 |
| Flammability (UL94) | 0.8 mm | ISO 1210 | rating | - | HB |
| Water absorption | 23°C/sat. | ISO 62 | % | - | 3.5 |
| Moisture absorption | 23°C/50% r.h. | ISO 62 | % | - | 1.7 |
| Linear mould shrinkage | long. | ISO 294 | % | dry | 0.2 |
| Linear mould shrinkage | trans. | ISO 294 | % | dry | 0.6 |

| |
|---|
| Product-nomenclature acc. ISO 1874: PA6T/6I, MH, 12-120, GF35 |
|---|

International Young Researchers Conference

V24-11-12

INDUSTRIAL engineering 2022



Certificate

This certificate confirms that

Viltė Subačiūtė

attended in International Young Researchers Conference
"Industrial Engineering 2022" and published the paper

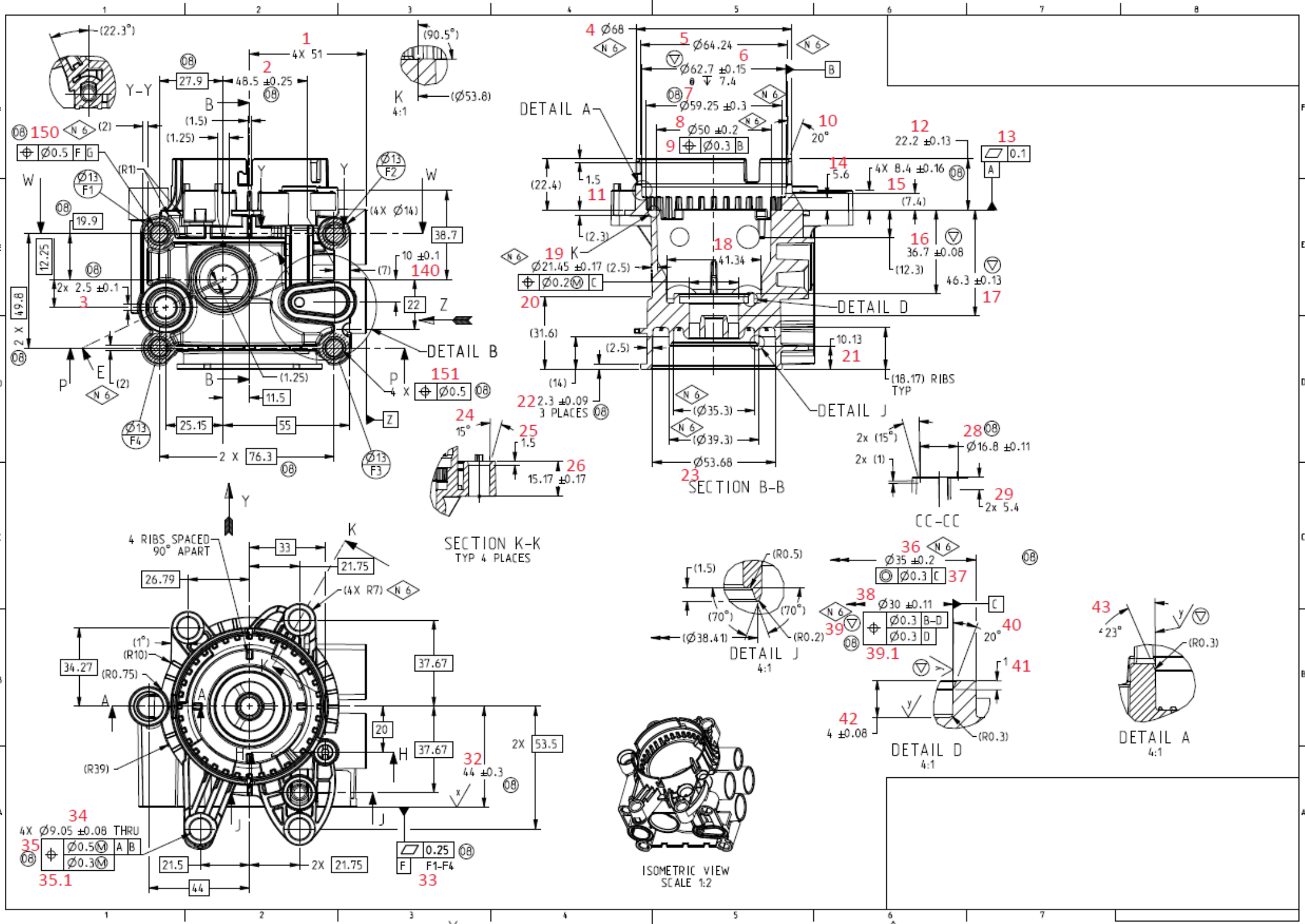
**Investigation of the Emergence of Quality Defects
during Plastic Injection Moulding**

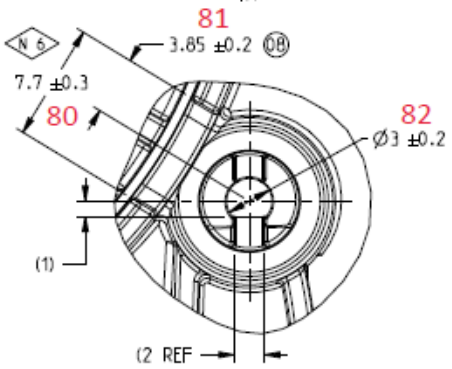
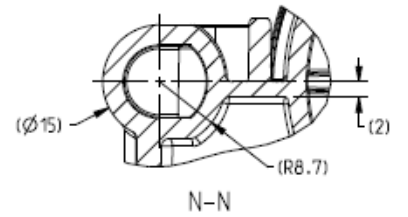
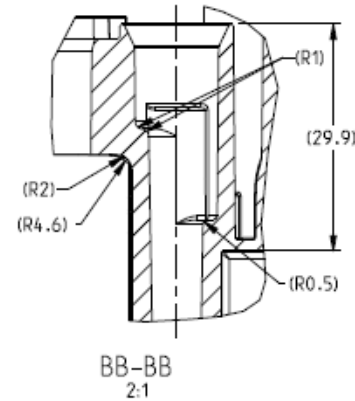
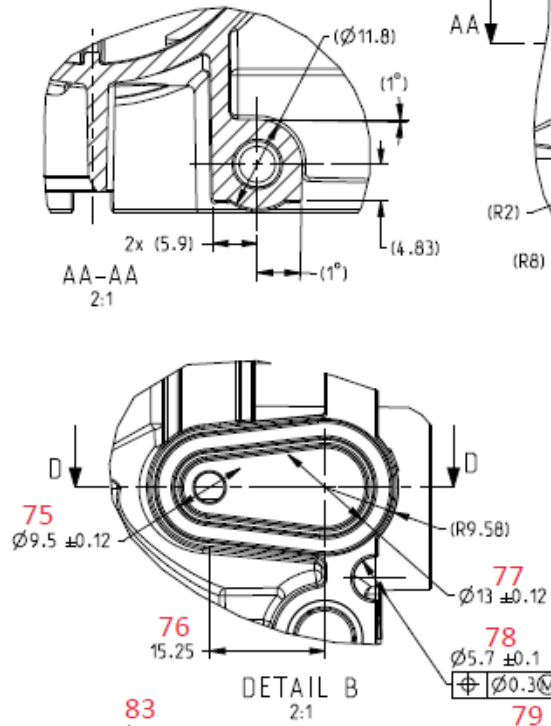
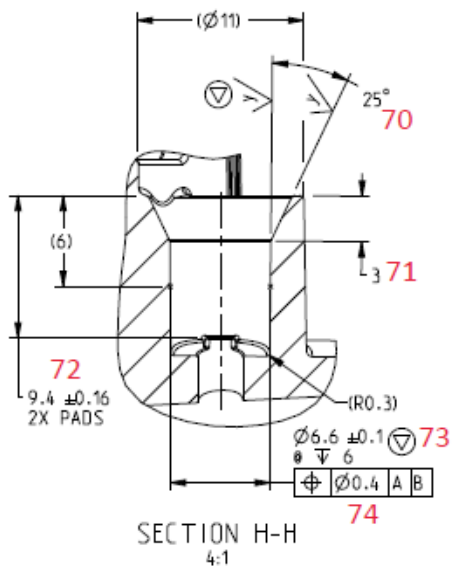
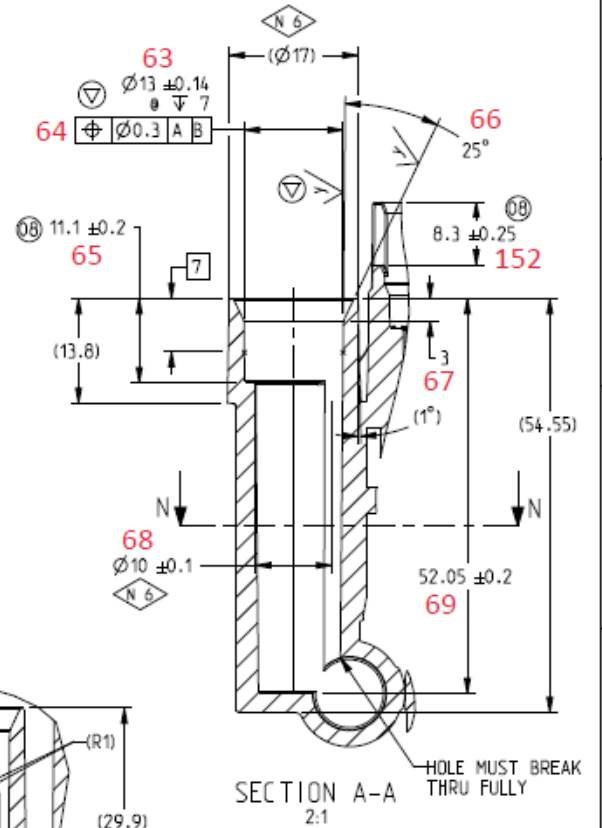
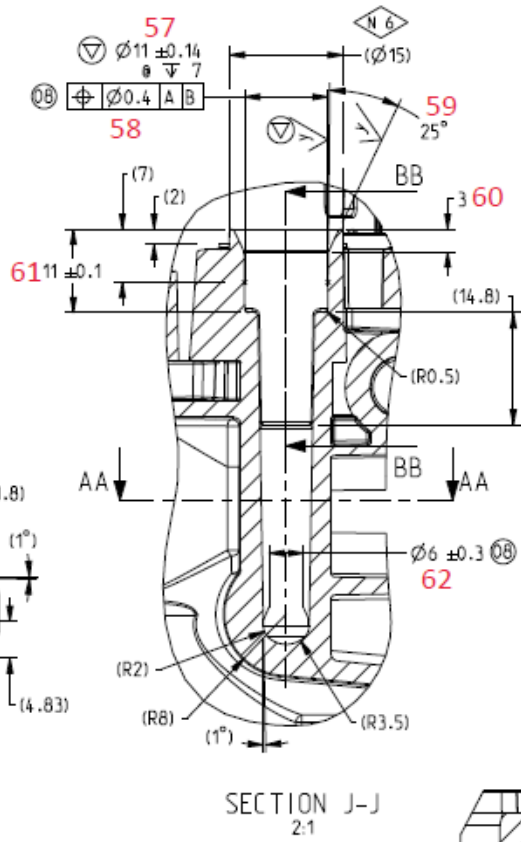
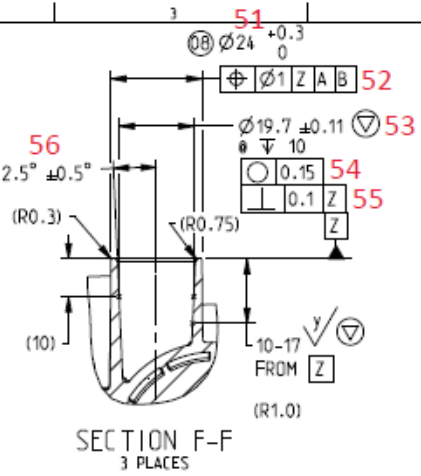
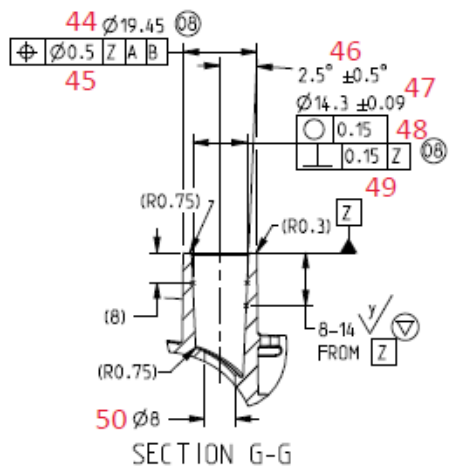
in the conference notification material

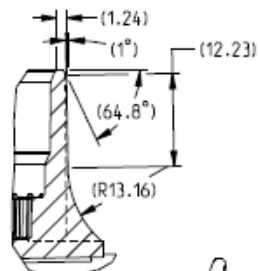
Dean of the Faculty of
Mechanical Engineering
and Design
dr. Andrius Vilkauskas



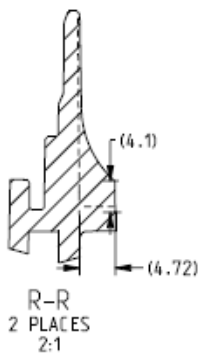
3 priedas. Detalės brėžinys (konfidenciali informacija paslėpta) (5 puslapiai)



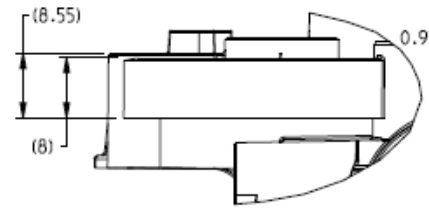
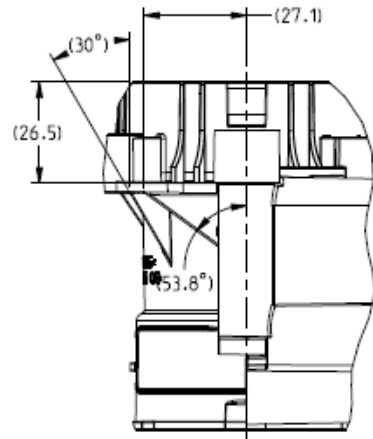




Q-Q
11 PLACES
2:1

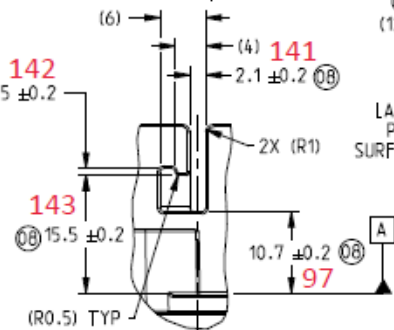


R-R
2 PLACES
2:1

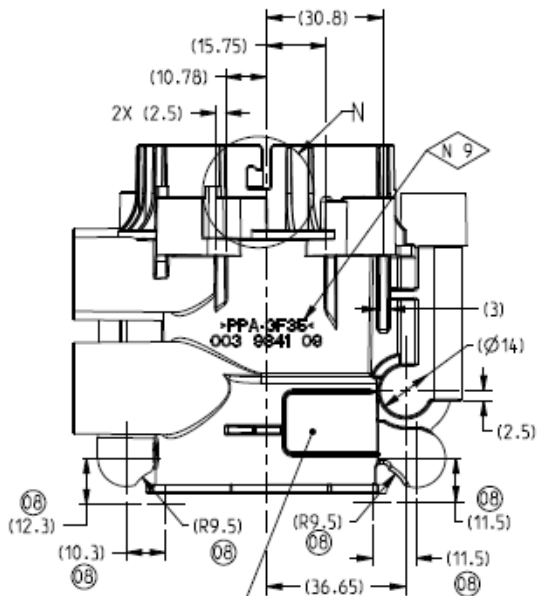


142

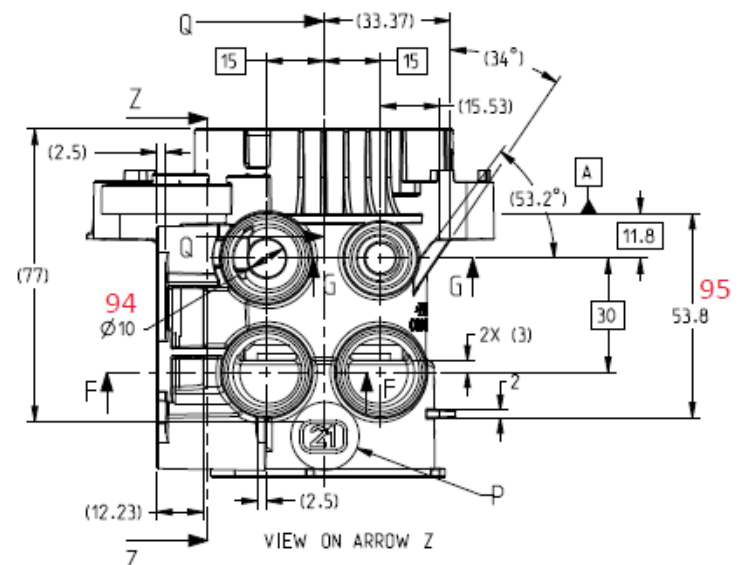
143



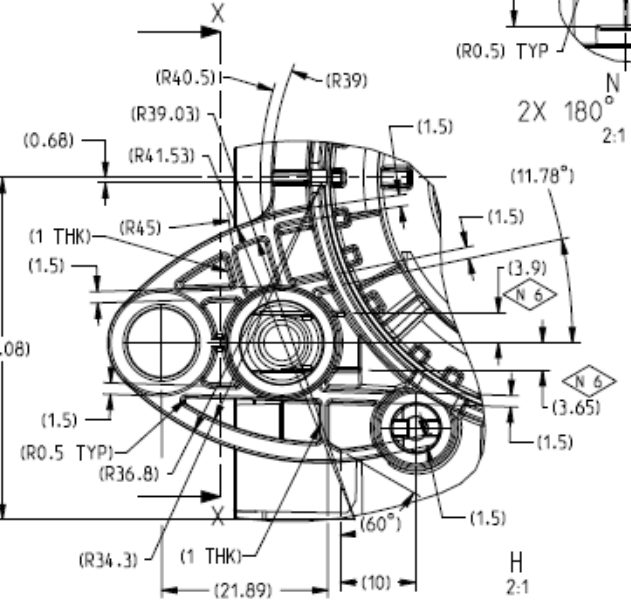
LABEL SURFACE (36 X 16)
POSITIONED AS SHOWN.
SURFACE FINISH TO SPI-A2



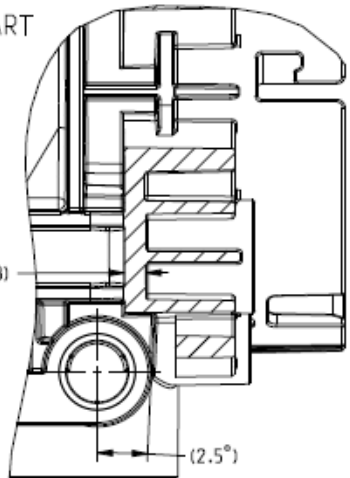
PPA-3F35-003 9841 08



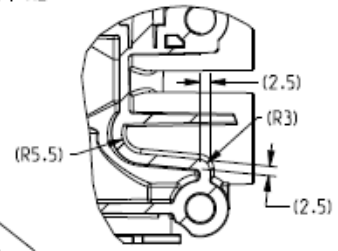
VIEW ON ARROW Z



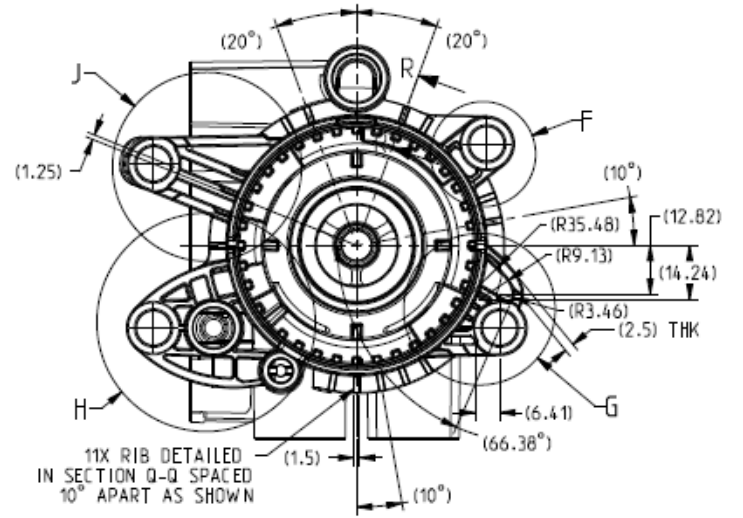
2X 180° APART
2:1



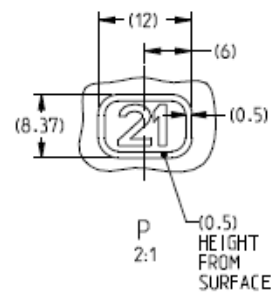
X-X
2:1



Z-Z
2:1



11X RIB DETAILED
IN SECTION Q-Q SPACED
10° APART AS SHOWN



P
2:1

