



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**Mindaugas Venckus**

**PRODUKTŲ IŠ KOMPOZICINIŲ MEDŽIAGŲ GAMYBOS**  
**LINIJOS VALDYMO IR KOKYBĖS KONTROLĖS**  
**SISTEMOS KŪRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Prof. habil. dr. V. Volkovas

**KAUNAS, 2016**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**PRODUKTŲ IŠ KOMPOZICINIŲ MEDŽIAGŲ GAMYBOS  
LINIJOS VALDYMO IR KOKYBĖS KONTROLĖS  
SISTEMOS KŪRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Mechatronika (kodas 621H73001)

**Vadovas**

Prof. habil. dr. Vitalijus Volkovas

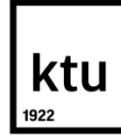
**Recenzentas**

Lekt. dr. Darius Mažeika

**Projektą atliko**

Mindaugas Venckus

**KAUNAS, 2016**



## KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Mindaugas Venckus

(Studento vardas, pavardė)

Mechatronika, 621H73001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Produktų iš kompozicinių medžiagų gamybos linijos valdymo ir kokybės kontrolės sistemos  
kūrimas“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 16 m.            gegužės            31 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Mindaugo Venckaus**, baigiamasis projektas tema „Produktų iš kompozicinių medžiagų gamybos linijos valdymo ir kokybės kontrolės sistemos kūrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_

(parašas)

Venckus, Mindaugas. Produktų iš kompozicinių medžiagų gamybos linijos valdymo ir kokybės kontrolės sistemos kūrimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas prof. habil dr. Vitalijus Volkovas; Kauno technologijos universitetas, mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis: technologijos mokslai, gamybos inžinerija.

Reikšminiai žodžiai: *kompozicinės medžiagos, gamybos linija, kokybės kontrolė, linijos valdymo algoritmai.*

Kaunas, 2016. 63 p.

## SANTRAUKA

Gaminiai iš kompozicinių medžiagų tampa vis populiariesni ir labiau pritaikomi daugelyje sričių. Todėl vis dažniau ieškoma būdų, kaip šiuos gaminius pagaminti kuo pigiau, efektyviau ir kokybiškiau. Darbe patobulinta produktų iš kompozicinių medžiagų gamybos linija. Linijai suprojektuotas konvejeris, aprašoma žaliavos išnaudojimo optimizacijos nauda ir panaudojimas, sukurta kokybės užtikrinimo sistema. Kokybei užtikrinti naudojamas inovatyvus hiperspektrinės vizualizacijos metodas. Taip pat sukurtas linijos valdymo algoritmas, leidžiantis kokybės patikros sistemą panaudoti gamybos efektyvumui didinti. Naudojant sukurtą algoritmą atlikta simuliacija linijos darbui įvertinti.

Venckus, Mindaugas. Development of Control and Quality System for Production Line of Composite Material Products. *Master's Final Project* / supervisor prof. dr. Vitalijus Volkovas; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study area and field: Technological Sciences, Production Engineering.

Keywords: *composite materials, production line, quality control, control algorithms for line.*

Kaunas, 2016. 63 p.

## SUMMARY

Products that are based on composite material are becoming more and more popular as well as more applicable in many fields. As a result, more research is being undertaken to examine how to produce such kind of products more qualitatively and in a cheaper and more efficient way. The production line of composite materials is developed in this thesis. The design process of conveyor for composite material and development of quality control system are covered as well as the optimization of material utilization is discussed in this research. Line control algorithm that helps to ensure higher efficiency by using quality control system is developed. Innovative hyperspectral visualization method is used to ensure quality. The simulation of algorithm is done to estimate how production line works.

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**Tvirtinu:**

Gamybos inžinerijos  
katedros vedėjas

\_\_\_\_\_  
(parašas, data)

Kazimieras Juzėnas

\_\_\_\_\_  
(vardas, pavardė)

**MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS  
Studijų programa MECHATRONIKA**

Magistrantūros studijų, kurias baigus įgyjamas magistro kvalifikacinis laipsnis, baigiamasis projektas yra mokslinio tiriamojo ar taikomojo pobūdžio darbas, kuriam atlikti ir apginti skiriama 30 kreditų. Šiuo projektu studentas turi parodyti, kad yra pagilinęs ir papildęs pagrindinėse studijose įgytas žinias, yra įgijęs pakankamai gebėjimų formuluoti ir spręsti aktualią problemą, turėdamas ribotą ir (arba) prieštaringą informaciją, savarankiškai atlikti mokslinius ar taikomuosius tyrimus ir tinkamai interpretuoti duomenis. Baigiamuoju projektu bei jo gynimu studentas turi parodyti savo kūrybingumą, gebėjimą taikyti fundamentines mokslo žinias, socialinės bei komercinės aplinkos, teisės aktų ir finansinių galimybių išmanymą, informacijos šaltinių paieškos ir kvalifikuotos jų analizės įgūdžius, skaičiuojamųjų metodų ir specializuotos programinės įrangos bei bendrosios paskirties informacinių technologijų naudojimo įgūdžius, taisyklingos kalbos vartosenos įgūdžius, gebėjimą tinkamai formuluoti išvadas.

1. Projekto tema: produktų iš kompozicinių medžiagų gamybos linijos valdymo ir kokybės kontrolės sistemos kūrimas

Patvirtinta 2016 m. gegužės mėn. 3 d. dekanų įsakymu Nr. V25-11-7

2. Projekto tikslas: sukurti valdymo sistemą, gebančią optimaliai naudoti žaliavą ir stebinčią produktų bei žaliavos kokybę taip užtikrinant efektyvų sistemos darbą

3. Projekto struktūra: gaminių gamybos iš kompozicinės medžiagos technologijos charakteristika; kompozicinės medžiagos tiekimo konvejerio kūrimas; kompozicinės medžiagos išėigos optimizavimas; valdymo algoritmai ir savikontrolė;

4. Reikalavimai ir sąlygos: linijos greitis priderintas prie ekstrudero kompozicinės medžiagos išspaudimo greičio. Maksimalus linijinis žaliavos judėjimo greitis – 0,5 m/s; pagaminti produktai turi atitikti kokybės reikalavimus: storio skirtumas turi būti nedidesnis, nei 10 proc. nuo nominalaus produkto storio, taip pat produkto forma turi atitikti presformos formą, t. y. negali būti tarpų, neužpildytų žaliava, skylių ir pan.; žaliava turi būti išnaudojama kiek įmanoma optimaliai; turi būti įmanoma gaminti tiek skirtingus, tiek vienodus gaminius abiem presais.

5. Projekto pateikimo terminas 2016 m. gegužės mėn. 20 d.

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis

Išduota studentui Mindaugui Venckui

Užduotį gavau Mindaugas Venckus  
(studento vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_  
(parašas, data)

Vadovas Prof. habil. dr. V. Volkovas  
(pareigos, vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_  
(parašas, data)

## Turinys

Įvadas.....	8
1. Gaminių gamybos iš kompozicinės medžiagos technologijos charakteristika.....	9
1.1. Gaminių įvairovė, technologijos elementai ir gamybos linija.....	9
1.2. Neišspręstos problemos gamybos linijoje .....	13
1.3. Linijos tobulinimo galimybės.....	15
1.4. Techniniai reikalavimai.....	15
1.5. Išvados.....	16
2. Kompozicinės medžiagos tiekimo konvejerio kūrimas.....	17
2.1. Konvejerio projektavimas .....	17
2.2. Tyrimas tinkamai konvejerio juostai parinkti pagal gaminio specifiką .....	19
2.3. Konvejerio pavaros skaičiavimas ir kūrimas .....	20
2.4. Išvados.....	28
3. Kompozicinės medžiagos išėigos optimizavimas .....	30
3.1. Optimizavimo modeliai.....	30
3.2. Modelių naudojimo linijoje metodika .....	40
3.3. Išvados.....	43
4. Valdymo algoritmai ir savikontrolė.....	44
4.1. Ruošinio žymėjimo ir žymių skaitymo sistema .....	44
4.2. Ruošinio defektų ir broko fiksavimo sistema.....	47
4.3. Galimi sistemos valdymo algoritmai.....	54
4.4. Išvados.....	60
Išvados ir pasiūlymai.....	61
Literatūra .....	62

## Ivadas

Pastaruoju metu vis plačiau naudojamos kompozicinės medžiagos, sukurtos plastiko pagrindu, pridedant kitų medžiagų, tokių kaip medienos pjūvenos ar metalo drožlės. Taip siekiama pagerinti plastiko savybes. Kadangi plastikas gana lengvai perdirbama medžiaga, tai ir iš tokios medžiagos pagaminti produktai būtų lengvai perdirbami, o tai labai aktualu turint galvoje žemės užterštumo problemas. Taip pat plastiko kompozitų gaminiai aktualūs todėl, kad iš plastiko gaminti daiktus yra paprasčiau, bet pačio plastiko kai kurios savybės kartais netenkina keliamų reikalavimų. Pavyzdžiui vienas iš plačiausiai naudojamų plastiko kompozicinės medžiagos pritaikymo pavyzdžių yra grindinys fasadams. Šiam gaminiui negalima naudoti įprasto plastiko, nes jis per minkštas, o naudoti kiečiausią plastiką – brangu. Kita vertus, brangsta ir mediena, kuri įprastai naudojama šiam grindiniui, tad buvo rastas pigesnis sprendimas – naudoti medžio plastiko kompozitą.

Po kurio laiko buvo susidomėta ir kitokių gaminių gamyba iš kompozicinių medžiagų. Darbe nagrinėjama gaminių iš kompozicinės medžiagos gamybos linija, kurioje atliekamas gaminių štapavimas. Tokio pobūdžio gamybos sistemos kol kas nėra plačiai paplitusios ir tebėra vystomos. Nuolat ieškoma, kaip patobulinti sistemą, ją automatizuoti.

**Darbo tikslas** - sukurti valdymo sistemą, gebančią optimaliai naudoti žaliavą ir stebinti produktų bei žaliavos kokybę taip užtikrinant efektyvų sistemos darbą.

Tam, kad būtų įgyvendintas iškeltas tikslas, reikia įvykdyti šiuos **uždavinius**:

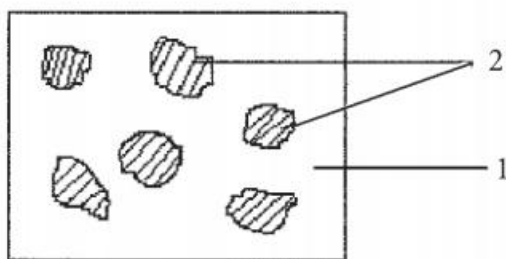
- sukonstruoti kompozicinės medžiagos transportavimo sistemą;
- optimizuoti ruošinio medžiagos išėigą kai naudojami du skirtingi presavimo įrankiai;
- sukurti valdymo sistemą maksimaliam greitaveikos užtikrinimui esant maksimaliai išėigai su galimybe stebėti gaminių ir žaliavos kokybę.



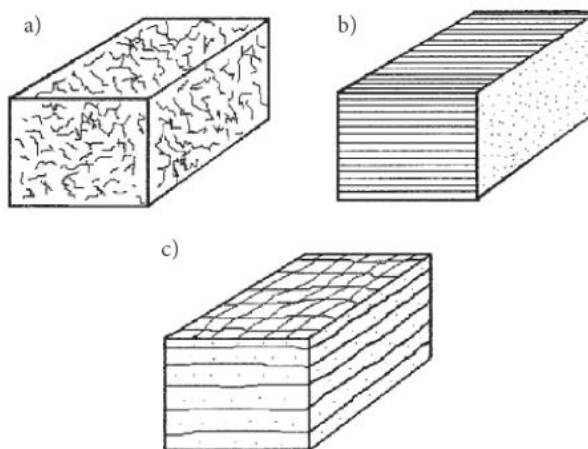
# 1. Gaminių gamybos iš kompozicinės medžiagos technologijos charakteristika

## 1.1. Gaminių įvairovė, technologijos elementai ir gamybos linija

Kompozicinė medžiaga – medžiaga, sudaryta iš dviejų ar daugiau skirtingos cheminės sudėties medžiagų, kurios atskirtos viena nuo kitos aiškia riba. Taip pat skirtingos turi būti ir abiejų medžiagų mechaninės savybės, kurios nėra panašios į gauto kompozito mechanines savybes. Dažniausiai viena iš medžiagų yra matrica, kita – intarpai [1]. Kompozicinės medžiagos buvo sukurtos pastebėjus, kad sudėjus ir sujungus skirtingas medžiagas, jos įgauna naujas savybes, kurios skiriasi nuo abiejų naudojamų medžiagų savybių, o kai kuriais atvejais šios savybės netgi lenkia kompozito sudėtinių medžiagų savybes.



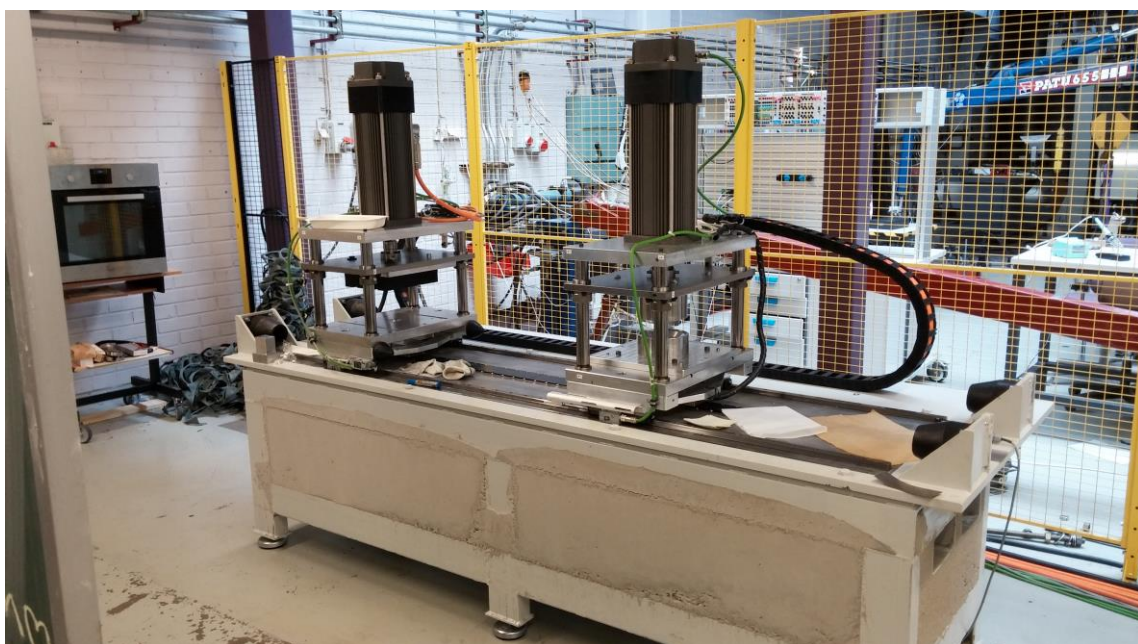
**1.1 pav.** Kompozitai su granuliuotaisiais (dispersiniais) intarpais. Kompozito schema: 1 – matrica; 2 – intarpai [1]



**1.2 pav.** Kompozitų su plaušiniaisiais intarpais tipų schemas: a – chaotiškai išdėstyti; b – orientuoti išdėstyti; c – sluoksniuotieji [1]

Pastaruoju metu vis plačiau naudojamos kompozicinės medžiagos, sukurtos plastiko pagrindu, pridedant kitų medžiagų, pagerinančių plastiko savybes. Štai viena iš labiausiai paplitusių tokių kompozicinių medžiagų – medžio–plastiko kompozitas, iš kurio jau kurį laiką gaminamos grindlentės fasadams. Per ilgą laiką jau iširta nemažai šios medžiagos savybių, jos palygintos su kitų medžiagų savybėmis, ir neretai lenkia jas [2]. Būtent todėl kompozicinės medžiagos yra labai perspektyvios.

Darbe nagrinėjama gamybos linija (1.3 pav.), kuri naudoja kompozicinę medžiagą kaip žaliavą tam tikriems produktams gaminti. Gamybos linija buvo sukurta ir tobulinama Lapenrantos technologijos universitete, Suomijoje. Nagrinėjamoje gamybos linijoje bus gaminami įvairūs gaminiai juos formuojant presais. Kadangi linijoje naudojami du presai, tai galimos įvairios gamybos kombinacijos, kai presais gaminami vienodi arba skirtingi gaminiai, taip pat galima abu presus naudoti dviem skirtingoms operacijoms tam pačiam gaminiui formuoti. Taigi galima teigti, kad gamybos linija yra labai lanksti ir plačiai pritaikoma, kas ypač naudinga šiuolaikinėje gamyboje, nes vyrauja serijinė, o ne masinė gamyba.

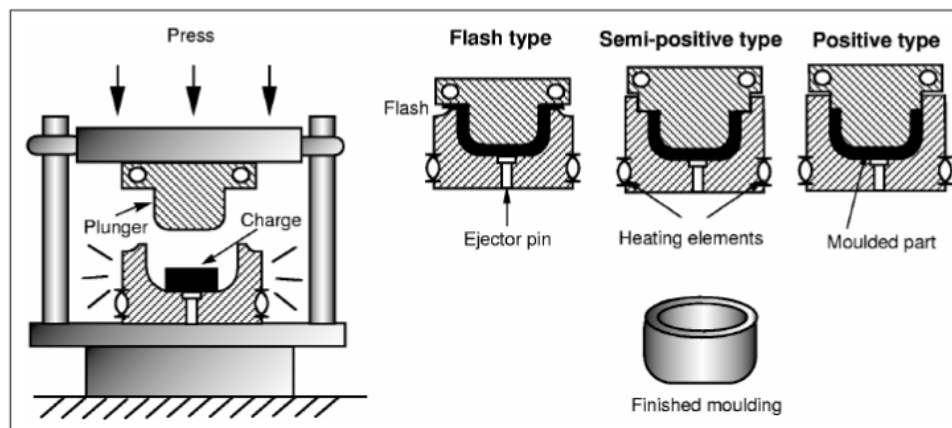


**1.3 pav.** Bendras įrenginio vaizdas prieš pradėdant tobulinimą

Pats procesas prasideda nuo to, kad ekstruderis pagamina tam tikrų matmenų kompozicinės medžiagos juostą, kuri dar karšta keliauja tiesiai ant konvejerio, ir keliauja presų link. Kompozito juosta tiekama į presavimo zoną nenutrūkstamai, nes tik taip galima užtikrinti sklandų žaliavos tiekimą su minimaliais defektais. Presavimo zonoje iš žaliavos pirmasis presas išpresuoja vieną gaminį, po to sekančiame etape, šiek tiek pasislinkus konvejeriui, presavimo veiksmą atlieka

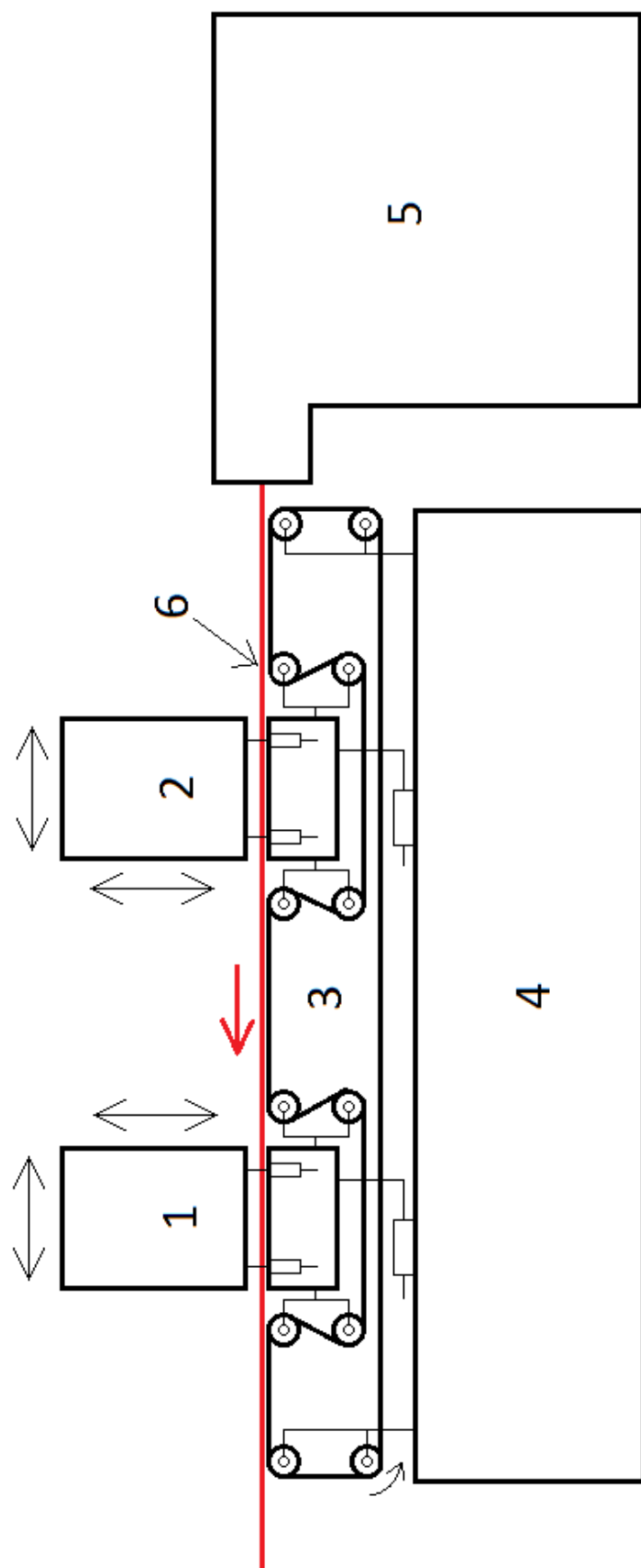
antrasis presas. Sistemoje naudojami du presai yra sumontuoti ant tiesinio judesio kreipiančiųjų tam, kad presavimo veiksmą atliktų judėdami kartu su konvejeriu, t. y. presavimas vyksta žaliavai judant. Taip padaryta todėl, kad ekstruderis žaliavą tiekia nesustodamas, dėl specifinės gamybos technologijos ir didesnio našumo. Be to, tokia gamybos schema reikalinga todėl, kad presus turi pasiekti dar įkaitusi žaliavinė juosta, o tai galima užtikrinti tik presuojanti ką tik iš ekstruderio gautą medžiagą.

Gamybos technologija, naudojama aprašomoje gamybos linijoje gana plačiai aprašoma [3] šaltinyje. Čia aprašoma ekstruzijos technologija, skirta tiek plastikinių, tiek iš kompozicinės medžiagos gaminių gamybai. Kadangi darbe nenagrinėjamas ekstruzijos procesas, apie jį galima plačiau sužinoti minėtame šaltinyje. Jame taip pat aprašomi ir plastikų bei kompozicinių medžiagų formavimo būdai. Vienas iš būdų ir naudojamas nagrinėjamoje linijoje. Tai – spaudžiamasis formavimas (1.4 pav.). Tokio formavimo metu iš storesnės medžiagos gaunamas plonesnis gaminys, kuris užima visą presformos tūrį ir įgauna reikiamą formą. Tiesa, tokio formavimo metodo trūkumas, kad gautų gaminių storis ir kiti parametrai nėra visiškai pastovūs, t. y. šiek tiek kinta storis ir sunaudojamos medžiagos kiekis [3], o į tai reikia atsižvelgti, jei reikalaujama pasiekti didesnę tikslumą. Šiai problemai spręsti galima pasitelkti kokybės kontrolės sistemą, apie kurią plačiau 4 skyriuje.



**1.4 pav.** Spaudžiamojo formavimo procesas [3]

Produktų gamybai iš kompozicinės medžiagos nagrinėjamoje sistemoje (1.5 pav.) naudojami du gamybos moduliai (schemoje pažymėti 1 ir 2). Į gamybos liniją taip pat įeina kompozicinės medžiagos transportavimo konvejeris (3), skirtas žaliavos atgabenimui į darbo zoną ir atliekų bei produktų pašalinimui iš jos. Gamybos moduliai ir konvejeris sumontuoti ant darbo stalo (4), kurio aukštis turi būti pritaikomas prie ekstruderio.



**1.5 pav.** Gamybos linijos principinė schema: 1, 2 – presai, 3 – konvejeris, 4 – stalias, 5 – ekstruderis

Kadangi gamybos moduliai turi judėti, tai prie stalo jie montuojami naudojant tiesinio judesio kreipiančiąsias, o judesį moduliams suteikia linijiniai varikliai. Linijoje naudojamas ekstruderis (5) yra paprastas plastiko ekstruderis, kadangi viena iš kompozito medžiagų įprastai yra kokios nors rūšies plastikas. Šių paminėtų elementų užtenka linijai gaminti gaminius, bet joje naudojama ir įvairių kitų elementų, skirtų minėtoms linijos posistemėms sujungti, kad jos veiktų visos kartu ir taip būtų užtikrinta kokybiškų gaminių gamyba.

Darbe nagrinėjamas atvejis, kai gamybos moduliai – presai, kurie iš kompozicinės medžiagos juostos gali gaminti tiek vienodus, tiek skirtingus produktus, atitinkamai naudojant vienodas arba skirtingas presformas. Naudojant vienodas presformas orientuojamasi į įrenginio greitaveiką, skirtingas – į žaliavos naudojimo optimizaciją ir gaminių įvairovę. Tiesa, galima ir situacija, kai gaminant vienodus gaminius žaliava išnaudojama maksimaliai naudingai, t. y. paliekant tik minimalias užlaidas, kurių reikalauja gamybos procesas.

Gamybos linija gali būti pritaikoma įvairių produktų gamybai. Gaminiai gali būti tiek iškirsti, tiek formuoti linijoje naudojamų šampų pagalba priklausomai nuo to, kokie darbo įrankiai naudojami.

Esminis naudojamos sistemos su dviem presais pranašumas prieš vieno preso sistemas yra tas, kad vienu metu galima šampuoti du skirtingus gaminius. Tai savo ruožtu leidžia žymiai geriau išnaudoti žaliavą, kas ir yra vienas iš darbo uždavinių. Kita vertus, jei nereikalingi du skirtingi gaminiai, galima naudoti ir vienodus įrankius abiem presams, taip gaunant didesnę greitaveiką nei sistemoje su vienu presu. Taigi sistema yra lanksti, nes ją galima pritaikyti tiek didesnei greitaveikai, tiek didesnei produktų įvairovei arba geresnei žaliavos išėigai išgauti.

## **1.2. Neišspręstos problemos gamybos linijoje**

Įgyvendinant projekto idėją ir kuriant dviejų šampų gamybos liniją buvo numatyta suprojektuoti ir pagaminti šampus, judančius ant tiesinio judesio kreipiančiųjų bei konvejerių, kuris gabentų kompozicinę medžiagą nuo ekstruderio iki presų ir po to išgabentų iš darbo zonos atliekas ir/arba produktus. Kadangi įrenginio dalis, ant kurios buvo sumontuoti presai jau buvo pagaminta, teko suprojektuoti konvejerinę sistemą žaliavos gabenimui tarp presų, prieš juos ir už jų. Pagrindinis konvejerio gamybos sudėtingumas buvo tas, kad konvejeris turi būti kintamo ilgio, mat presai gali judėti tiek priešingomis kryptimis, tiek ta pačia kryptimi.

Be to, kad gamybos linijai reikėjo suprojektuoti konvejerinę sistemą, buvo nuspręsta gilintis ir į kitas problemas, tokias kaip optimalus žaliavos panaudojimas. Taip yra svarbu norint užtikrinti, jog gaminiai būtų be defektų. Šiai problemai spręsti buvo apgalvoti keli variantai. Vienas iš variantų yra žymėti žaliavą konvejerio pradžioje ir po to šią žymę nuskaitant ant preso

sumontuotais jutikliais koreguoti presavimo vietą. Žymėjimas gali būti atliekamas tiek mechaniniu būdu, t. y. padarant skylės kompozicinėje medžiagoje aštriomis įrankių briaunomis, tiek kitais, kiek universalesniais, nors brangesniais būdais, pvz. naudojant lazerinio žymėjimo mašinas (1.6 pav.). Tokia sistema būtų pakankamai paprasta, nors ir nėra labai paprasta žymėti dar karštą kompozicinę medžiagą. Plačiau apie problemos sprendimo būdus 4 skyriuje.



**1.6 pav.** Lazerinė žymėjimo mašina [4]

Kadangi gaminių kokybė negali būti visiškai užtikrinta tik naudojant žaliavos žymėjimo ar kitus metodus, tai apgalvotos ir papildomos sistemos, skirtos produktų defektų aptikimui bei žaliavos defektų aptikimui. Čia galima panaudoti įvairius jutiklius, priklausomai nuo to, kokie parametrai yra svarbus gaminamiems produktams. Pavyzdžiui vienas iš svarbesnių parametrų yra gaminio storis. Kadangi žaliava, atkeliaujanti iš ekstruderio nėra visiškai vienodo storio, tai galima panaudoti tam tikrą posistemę, skirtą produktų storiui matuoti po presavimo operacijos. Vienas iš labiausiai paplitusių automatizuotose sistemose naudojamų storio matavimo būdų – panaudojant talpinius jutiklius (1.7 pav.). Šie jutikliai matuoja aplink jutiklį esančios aplinkos elektrinę talpą, o ši kinta priklausomai nuo to, kokio storio kompozicinė medžiaga yra šalia jutiklio. Tada naudojant atitinkamą funkciją, kompiuterio pagalba galima apskaičiuoti, kokio storio yra medžiaga. Tokiu būdu galima matuoti tiek gaminių, tiek ką tik iš ekstruderio ką tik išėjusią medžiagą, kad būtų galima praleisti medžiagą, kuri neatitinka reikalavimų jos nepanaudojant gamyboje. Taip būtų taupoma energija ir pinigai, nes nereiktų gaminti brokuotos produkcijos, kurią vėliau vis tiek tektų išmesti ar perdirbti.

Vietoje talpinių jutiklių galima naudoti ir kitus defektų aptikimo būdus, pvz. spektrinę analizę. Šis metodas vis plačiau taikomas įvairių produktų defektų paieškai neardant ir negadinant produkto.



**1.7 pav.** Talpinis jutiklis [5]

### **1.3. Linijos tobulinimo galimybės**

Sistema gali būti tobulinama įvairiais būdais. Norint pasiekti iškeltus uždavinius pakanka sukurti žaliavos transportavimo sistemą su žymėjimo bei broko atpažinimo posistemėmis. Būtent minėtos posistemės ir gali būti labiausiai tobulinamos. Plačiausiai minėtų sistemų tobulinimas apžvelgtas 4 skyriuje.

Taip pat tobulintina yra produktų atskyrimo nuo atliekų sistema. Ši projekto dalis nebuvo pakankamai išplėtotą, nes produktų atskyrimas yra priklausomas nuo konvejerio sistemos, o pastaroji buvo projektuota vėliau, nei pagrindinė sistemos dalis su presais. Be to, darbas yra orientuotas į gamybos linijos valdymo sistemos kūrimą, žaliavos panaudojimo optimizaciją ir gaminių kokybės užtikrinimą, o tam bene mažiausiai įtakos turi gaminių atskyrimo ir perkėlimo sistema, kuri gali padaryti gaminiams tik minimalią žalą, mat po presavimo gaminiai jau būna gerokai mažiau pažeidžiami, nei ką tik iš ekstruderio išėjusi žaliavinė medžiaga.

Konkrečios tobulinimui naudojamos technologijos yra apžvelgiamos kiekviename skyriuje, todėl šiame skyriuje jų neaptarinėsime.

### **1.4. Techniniai reikalavimai**

Pagrindiniai gamybos linijai keliami reikalavimai:

- linijos greitis priderintas prie ekstruderio kompozicinės medžiagos išspaudimo greičio.  
Maksimalus linijinis žaliavos judėjimo greitis – 0,5 m/s;

- pagaminti produktai turi atitikti kokybės reikalavimus: storio skirtumas turi būti nedidesnis, nei 10 proc. nuo nominalaus produkto storio, taip pat produkto forma turi atitikti presformos formą, t. y. negali būti tarpų, neužpildytų žaliava, skylių ir pan.;
- žaliava turi būti išnaudojama kiek įmanoma optimaliai;
- turi būti įmanoma gaminti tiek skirtingus, tiek vienodus gaminius abiem presais.

### **1.5. Išvados**

Pagal pateiktą gamybos linijos apžvalgą, galima suformuoti darbo tikslą bei uždavinius. Taigi darbo tikslas - sukurti valdymo sistemą, gebančią optimaliai naudoti žaliavą ir stebinčią produktų bei žaliavos kokybę taip užtikrinant efektyvų sistemos darbą.

Tam, kad būtų įgyvendintas iškeltas tikslas, reikia įvykdyti šiuos uždavinius:

- sukonstruoti kompozicinės medžiagos transportavimo sistemą;
- optimizuoti ruošinio medžiagos išeią kai naudojami du skirtingi presavimo įrankiai;
- sukurti valdymo sistemą maksimaliam greitaveikos užtikrinimui esant maksimaliai išeią su galimybe stebėti gaminių ir žaliavos kokybę.

Įvykdžius pateiktus uždavinius sistema galės ne tik gaminti gaminius iš kompozicinės medžiagos, ji taip pat optimizuos medžiagos išnaudojimą, kas labai svarbu, nes kiekvienas žaliavos milimetras, patekęs į atliekas didina gaminio savikainą. Taip pat sistema vykdys gaminių kontrolę, t. y. netinkamus gaminius atskirs kaip broką. Taip pat papildoma sistema tikrins žaliavą prieš jai patenkant ant konvejerio, o tai padės dar labiau optimizuoti žaliavos išeią, nes žaliavai esant netinkamų parametrų iš jos nebus gaminami gaminiai.



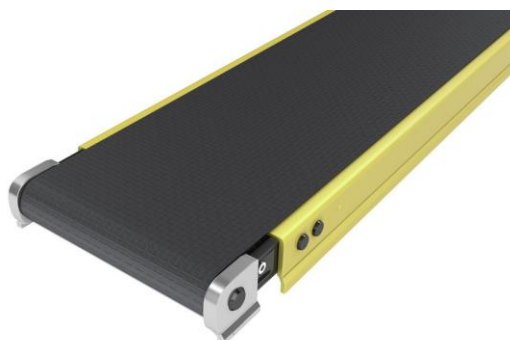
## 2. Kompozicinės medžiagos tiekimo konvejerio kūrimas

### 2.1. Konvejerio projektavimas

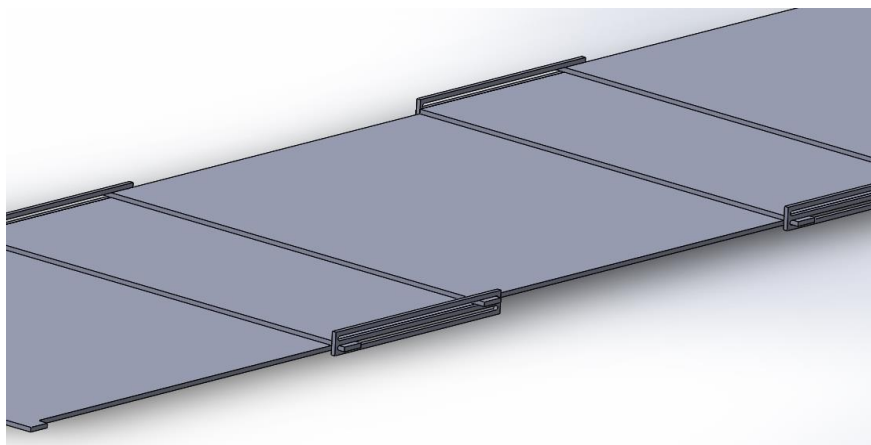
Pradedant tobulinti gamybos liniją pirmiausia teko spręsti problemą, susijusią su žaliavos tiekimu presams. Linijoje nebuvo suprojektuotas konvejeris, skirtas šiai užduočiai vykdyti, todėl teko tai atlikti. Buvo svarstomi keli žaliavos tiekimo konvejerio variantai. Tarp jų apgalvotas kintamo ilgio ritininis konvejeris (2.1 pav.), juostinis konvejeris (2.2 pav.) bei stalas su slydimo paviršiumi (panašu į žaliuzes). Pastarasis konvejerio variantas nėra labai paplitęs ir nestandartinis gaminys, todėl jo vaizdas pateikiamas suprojektavus prototipą programa „SolidWorks“ (2.3 pav.). Iš paveikslėlio matome, kad šis konvejeris savo ilgį gali keisti ne daugiau nei 2–3 kartus (galima daryti labiau persidengiantį variantą, bet tada susidarytų nemenkas aukščio skirtumas maksimaliai sutrumpėjus konvejeriui), dėl ko šis konvejeris nėra labai patrauklus šiam projektui.



2.1 pav. Ritininis kintamo ilgio konvejeris [6]



2.2 pav. Juostinis konvejeris [7]

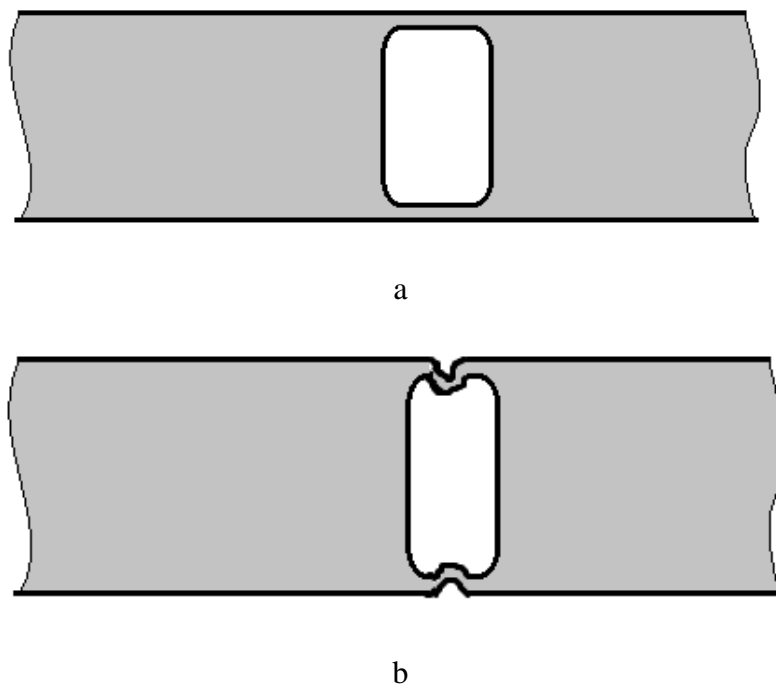


**2.3 pav.** Stalas su slydimo paviršiumi (žaliuzės)

Ritininis konvejeris gali būti naudojamas tik su pavara, nes laisvai besisukantys ritinėliai negalėtų užtikrinti pastovaus žaliavos judėjimo greičio, nes neužtektų ekstruderio stūmimo jėgos žaliavai stumti per visą konvejerio ilgį. Taip pat negalima užtikrinti, jog žaliavos medžiaga nebus sugadinta ją toliau stumiant po pirmosios detalės suformavimo, mat ruošinio medžiaga po to nebebūna vientisa (2.4 pav.). Kita problema, kuri gali atsirasti yra ta, kad medžiaga dėl tarpų, esančių tarp ritinėlių ir dėl ritinėlių spindulio deformuotųsi, todėl būtų netinkama gaminiams gaminti. Todėl ritininio konvejerio idėjos atsisakyta, nes sudėtingas sukimo momento perdavimo mechanizmas tokio tipo konvejeriuose, o be jo tokio tipo konvejeris šiuo atveju netinkamas. Be to, situaciją stipriai komplikuoja tai, kad konvejeris turi būti adaptyvus pagal presų buvimo vietą, kadangi presai gali judėti nepriklausomomis vienas nuo kito priešingomis kryptimis.

Juostinis konvejeris neturėtų minėtų trūkumų, todėl jis žymiai tinkamesnis. Tiesa, prie juostinio konvejerio gali lipti karšta kompozicinė medžiaga, todėl būtina atlikti tyrimą, ar tinkama kokios nors medžiagos konvejerio juosta konkrečiai, šiuo atveju naudojamai kompozicinei medžiagai transportuoti iš karto po ekstruderio. Apie šį tyrimą plačiau 2.2. skyrelyje.

Stalas su slydimo paviršiumi yra gana komplikotas variantas šiuo atveju, nes nėra galimybės tokio tipo konvejeriams keisti ilgį tiek, kad pakaktų, taip pat šio tipo konvejeris labai stipriai stabdytų žaliavą, tad ji greičiausiai pradėtų deformuotis, ypač situacijose, kaip pavaizduota 2.4 pav. Čia matome, kad iškirtus gaminį, žaliavos juostos šonuose lieka labai siauros juostelės, kurios esant didesnei trinčiai akivaizdžiai deformuotųsi stumiant žaliavą ir taip būtų neįmanoma išpresuoti antro gaminio. Būtent todėl ir netinkamas stalas su slydimo paviršiumi.



**2.4 pav.** Žaliavos juosta po atliktos formavimo operacijos (a) ir galimi defektai dėl juostos stūmimo iš vienos pusės (b)

## 2.2. Tyrimas tinkamai konvejerio juostai parinkti pagal gaminio specifiką

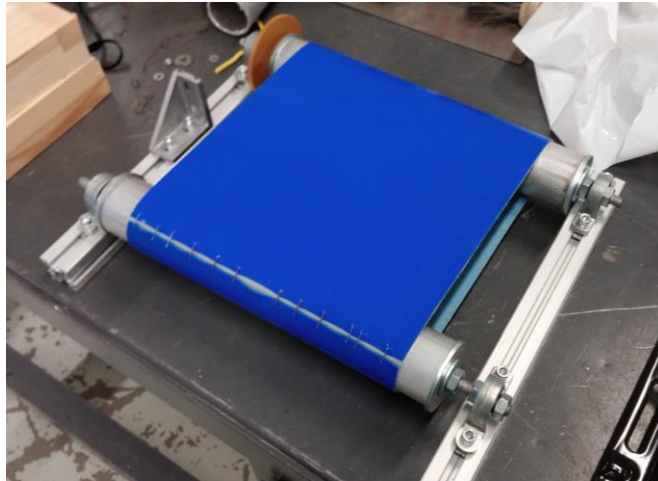
Siekiant sukurti konvejerį, kuris darytų mažiausią įtaką žaliavos ir gaminių kokybei, buvo atliktas tyrimas, kurio metu buvo siekiama nustatyti, iš kokios medžiagos turi būti pagaminta konvejerio juosta, norint pasiekti užsibrėžtą tikslą. Tyrimo atlikimui buvo sukonstruotas supaprastintas konvejerio modelis (2.5 pav.). Naudojant modelį buvo tikrinamas iš trijų skirtingų medžiagų pagamintų konvejerio juostų tinkamumas. Kadangi pagrindinis parametras, dėl kurio gali kilti problemų yra aukšta temperatūra (žaliava išėjusi iš ekstruderio yra apie 150–190 °C), tai testavimas vyko aukštos temperatūros aplinkoje, ant konvejerio modelio uždėjus žaliavos medžiagos ir kaitinant sistemą tol, kol visi elementai bus įkaitę iki darbinės temperatūros. Po to konvejeris būdavo paleidžiamas ir stebima, kokia bus žaliavos medžiagos elgsena.

Testuotos šios juostos (2.6 pav.):

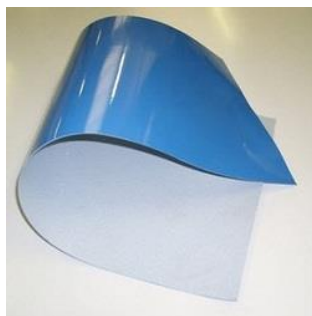
- pagaminta iš PVC;
- tefloninė;
- maistinė tefloninė.

Testavimas buvo atliekamas 2 skirtingais būdais: pirmuoju atveju kaitinamas buvo visas modelis su ant jo uždėtu žaliavos medžiagos bandiniu, antruoju atveju kaitintas tik bandinys ir

metalinė plokštė, kuri buvo naudojama konvejerio diržui pakaitinti iki temperatūros, artimos darbinei. Pastebėta, kad abiem atvejais rezultatai gaunami labai panašūs. Abiem minėtais būdais buvo testuotos visos trys konvejerinės juostos. Vizualinės apžiūros metodu nustatyta, kad žaliava mažiausiai limpa prie PVC konvejerinės juostos, todėl pastaroji pasirinkta kaip tinkamiausia. Dar viena priežastis, kodėl pasirinkta pastaroji juosta buvo ta, kad šios medžiagos juostos yra pigesnės lyginant su tefloninėmis. Be to, jos yra standesnės, kai naudojamas ilgesnis juostos tarpas be papildomų ritinėlių, nes PVC juostos būna storesnės.



**2.5 pav.** Konvejerio juostų testavimui sukurtas supaprastintas konvejerio modelis



a



b



c

**2.6 pav.** Konvejerinės juostos: a – PVC, b – tefloninė, c – maistinė tefloninė (tinklelis)

### 2.3. Konvejerio pavaros skaičiavimas ir kūrimas

Parinkus konvejeriui tinkamą juostą ir išsiaiškinus, kokio tipo turi būti konvejeris, reikia suprojektuoti konvejerį varančią pavarą. Tam, kad tai būtų atlikta pakankamai gerai, reikia įvertinti

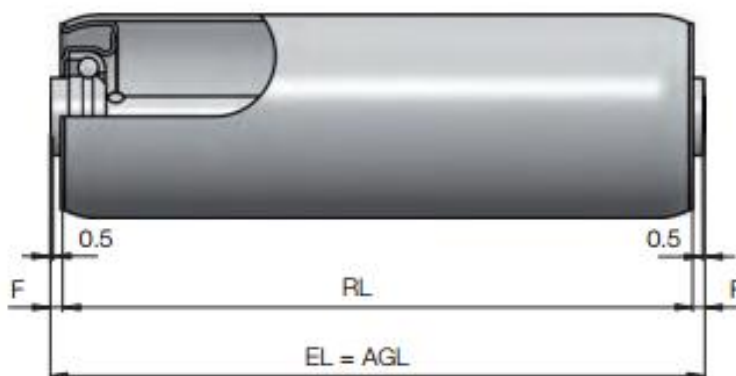
nuostolius, patiriamus ritinėliuose, tiksliau jų guoliuose. Taip pat reikia atsižvelgti į nuostolius, atsirandančius dėl konvejerio juostos lenkimo ir daiktų, esančių ant konvejerio, svorio.

Įvertinus visus minėtus nuostolius, variklis turi būti parenkamas toks, kad galėtų užtikrinti konvejerio sukimąsi su pakankama sukimo momento atsarga. Taip pat reikia atsižvelgti į konvejerio sukimosi greitį, kuris yra pastovus ir atitinka ekstrudero išstumiamos žaliavos judėjimo greitį. Kadangi pagal techninius reikalavimus šis greitis yra 0,5 m/s, tai konvejerio linijinis greitis ir turi būti lygus šiam greičiui.

### Konvejerio ritinėliai

Tam, kad konvejeris būtų patvarus, jam turi būti parinkti optimalūs ritinėliai. Per maži ritinėliai yra netinkami dėl to, kad esant mažam konvejerio juostos lenkimo spinduliui, juosta ne tik greičiau dėvisi, bet ir susidaro didesni energijos nuostoliai dėl didesnio lenkimo kampo. Kita vertus, dėl per didelių ritinėlių galimas atvejis, kai produktai nebus tinkamai perimami po šampavimo operacijos dėl atsiradusio tarpo tarp preso puansono ir konvejerio plokštumos, kuria keliauja gaminiai ir žaliava.

Taigi nuspręsta pasirinkti 50 mm skersmens „Interroll“ gaminamus S1200 serijos [8] ritinėlius (2.7 pav.). Įmonė pasirinkta kaip viena iš žinomiausių pasaulyje, turinti palaikymą visuose žemynuose ir tiekianti aukštą kokybės standartų gaminius. Įmonės siūlomų konvejerių ritinėlių skersmuo siekia nuo 20 mm iki 89 mm [9]. 50 mm skersmens ritinėliai pasirinkti kaip tinkamiausi dėl jau minėtų priežasčių, be to, šio skersmens ritinėliai yra vieni einamiausių, todėl jų kaina mažesnė.

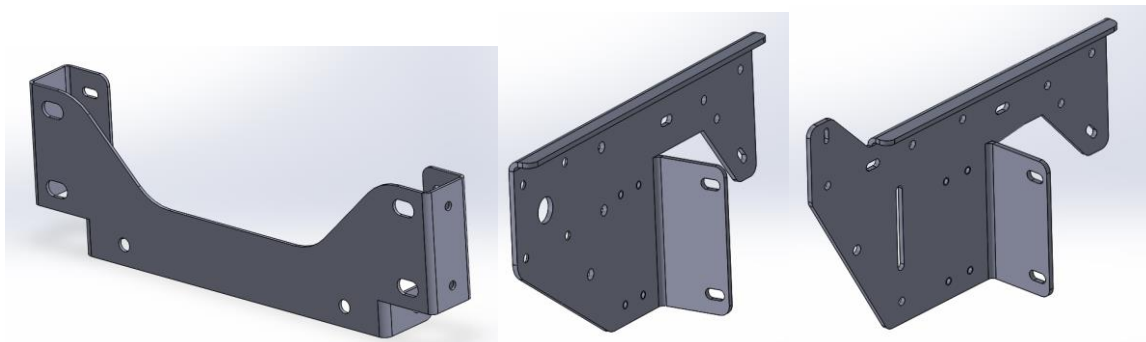


2.7 pav. S1200 serijos Interroll ritinėlio schema [8]

### Ritinėlių montavimas

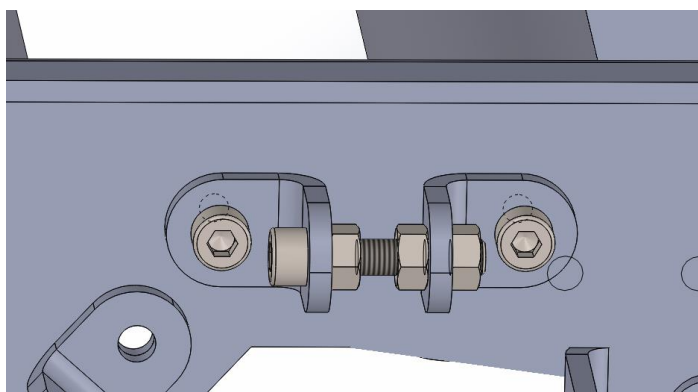
Akivaizdu, kad konvejerio veikimui reikalingi ne tik ritinėliai, bet ir tam tikros detalės, ant kurių jie turi būti sumontuoti. Šiam reikalui buvo specialiai projektuojamos plokštės, kurias būtų galima sumontuoti ant jau pagamintos sistemos dalies, ir ritinėliai būtų tvirtinami prie šių plokščių. Plokštės buvo pasirinkta daryti lazerinio pjovimo metodu, todėl, kad tai yra labai greitas ir tikslus

šiuolaikinis gamybos būdas. Kadangi ne visi reikalingi paviršiai yra vienoje plokštumoje, teko papildomai kai kuriose vietose naudoti lenkimo operaciją, kad būtų patogų jas montuoti. Suprojektuotų plokščių vaizdus galite matyti 2.8 pav.



**2.8 pav.** Ritinėlių ir konvejerio pavaros tvirtinimo plokštės

Kaip matyti iš 2.8 pav. kai kurios tvirtinimo plokštės turi standumo briaunas. Jos padarytos siekiant išlaikyti kuo didesnę standumą ir sumažinti vibracijų atsiradimą konvejeriui dirbant. Taip pat galima pastebėti, kad ritinėlių tvirtinimo skylės yra pailgos. Tai padaryta dėl to, kad būtų galima kiekvieną ritinėlį reguliuoti, kad konvejerio juosta nesislinktų į vieną ar kitą kraštą. Ritinėlio padėtis reguliuojama naudojant papildomus kampus ir varžtus (2.9 pav.).



**2.9 pav.** Ritinėlio padėties reguliavimas

### **Galios nuostoliai pavaroje**

Galios nuostoliai, kurie turi būti įvertinti konstruojant konvejerio pavarą:

- Ritinėlių guolių trinties momento nuostoliai;
- Konvejerio juostos lenkimo nuostoliai;
- Reduktoriaus nuostoliai.

Guolių trinties momento nuostolius galima apskaičiuoti ne vienu būdu, t. y. skirtingų guolių gamintojai pateikia skirtingas formules šiems nuostoliams skaičiuoti. Pasinaudosime vienos garsiausių pasaulyje guolių gamintojos SKF pateikiama formule, skirta šiems nuostoliams skaičiuoti. Pagal SKF trinties momento nuostoliai  $M_G$  yra proporcingi guolio trinties koeficientui  $\mu$ , ekvivalentinei dinaminei guolio apkrovai  $P$  ir guolio vidiniam skersmeniui  $d$  [10]:

$$M_G = 0,5 \cdot \mu P d. \quad (1)$$

Pagal [10] guolio trinties koeficientas vienaeiliams rutuliniams guoliams, kurie ir naudojami pasirinktuose ritinėliuose  $\mu = 0,0015$ . Pagal [8] ritinėlio ašies išorinis skersmuo, kuris atitinka naudojamų guolių vidinį skersmenį  $d = 12 \text{ mm}$ . Taigi lieka apskaičiuoti tik guolio ekvivalentinę dinaminę apkrovą. SKF pateikia ir formulę pastarajai apkrovai skaičiuoti. Pagal šią formulę [11] guolio ekvivalentinė dinaminė apkrova  $P$  yra proporcinga spindulinės  $F_R$  ir ašinės  $F_A$  apkrovos bei ašinės jėgos faktoriaus sandaugos sumai:

$$P = F_R + Y_1 F_A. \quad (2)$$

Ši formulė tinkama, kai  $\frac{F_A}{F_R} \leq e$ , kur  $e$  – ribinis jėgų santykis. Kadangi ašinės jėgos  $F_A$  šiuo atveju nėra, t. y.  $F_A = 0$ , tai galima teigti, kad minėta sąlyga visada tenkinama, taigi galima naudoti (2) formulę. Pagal įvardytas sąlygas (2) formulę galima perrašyti taip:

$$P = F_R. \quad (3)$$

Taigi vienintelis dalykas, kurį reikia apskaičiuoti yra spindulinė jėga  $F_R$ . Skaičiuojant šią jėgą reikia atsižvelgti į konvejerio juostos svorį ir žaliavos svorį. Pradėsime skaičiuoti nuo juostos. Kadangi bus naudojama PVC juosta, tai pagal jos parametrus galima apskaičiuoti jos svorį. Pagal [12, 13] vidutinis PVC tankis  $\rho = 1400 \text{ kg/m}^3$ . Juostos ilgis  $L = 7,5 \text{ m}$ , plotis  $W = 0,4 \text{ m}$ , o storis  $t = 0,004 \text{ m}$ . Iš minėtų parametrų juostos svoris apskaičiuojama pagal formulę:

$$F = \rho L W t g. \quad (4)$$

Pateiktoje formulėje  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ . Tada iš svorio galime išreikšti spindulinę jėgą, tenkančią vienam guoliui. Ji gaunama padalinus svorį iš apkrautų guolių skaičiaus. Iš modelio matyti, kad iš viso yra 6 ritinėliai, kurie apkraunami juostos svorio, taigi iš viso 16-ikai guolių tenka

tas svoris. Tada iš formulių (3), (4) ir pastarosios informacijos galime apskaičiuoti guolio ekvivalentinę dinaminę apkrovą  $P$ :

$$P = F_R = \frac{\rho LWtg}{16} + \frac{F_{rit}}{2} + \frac{F_{\text{žal}}}{16}. \quad (5)$$

Taip pat reikia įvertinti ir ritinėlio svorį. Ritinėlio parametrai: ilgis  $L = 0,5 \text{ m}$ , išorinis skersmuo  $D = 0,05 \text{ m}$ , vidinis  $d = 0,05 \text{ m}$ , plieno tankis  $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$ , taigi ritinėlio svoris:

$$F_{rit} = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \cdot Lg; \quad (6)$$

$$F_{rit} = \frac{3,14 \cdot (0,05^2 - 0,047^2)}{4} \cdot 0,5 \cdot 7800 \cdot 9,81 = 8,740 \text{ N}.$$

Žaliavos svoris. Žaliavos, esančios ant konvejerio ilgis  $L = 2,5 \text{ m}$ , plotis  $W = 0,4 \text{ m}$ , o storis  $t = 0,004 \text{ m}$ . Tankis bus naudojamas vieno iš tankiausių plastikų – ABS, kad atitiktų ribinę galimą žaliavos tankio vertę, kuri pagal [11] yra  $\rho = 1100 \text{ kg/m}^3$ .

Tada šis svoris pagal (4):

$$F_{\text{žal}} = \rho LWtg; \quad (7)$$

$$F_{\text{žal}} = 1100 \cdot 2,5 \cdot 0,4 \cdot 0,004 \cdot 9,81 = 43,164 \text{ N}.$$

Tada guolio ekvivalentinė dinaminė apkrova:

$$P = \frac{1400 \cdot 7,5 \cdot 0,4 \cdot 0,004 \cdot 9,81}{16} + \frac{8,740}{2} + \frac{43,164}{16} = 17,368 \text{ N}.$$

Turėdami guolio ekvivalentinę dinaminę apkrovą jau galime apskaičiuoti ir guolio trinties momento nuostolius pagal (1) formulę:

$$M_g = 0,5 \cdot 0,0015 \cdot 17,368 \cdot 0,012 = 0,000156 \text{ Nm}.$$

Visų sistemoje naudojamų guolių bendri trinties momento nuostoliai:



$$M_{bendr} = M_g n_g; \quad (8)$$

$$M_{bendr} = 0,000156 \cdot 34 = 0,005304 \text{ Nm}.$$

Kad gautume nuostolių galią, kuri šiuo atveju gerokai naudingesnė, turime žinoti kampinį dažnį. Jis apskaičiuojamas iš linijinio konvejerio judėjimo greičio ir ritinėlio spindulio:

$$\varphi = \frac{v}{R}. \quad (9)$$

Nuostolių galia skaičiuojama pagal formulę:

$$N_{guolių} = M_{bendr} \cdot \varphi. \quad (10)$$

Sudėjus (9) ir (10) formules ir įstačius reikšmes gauname:

$$N_{guolių} = M_{bendr} \cdot \frac{v}{R} = 0,005304 \cdot \frac{0,5}{0,025} = 0,106 \text{ W}. \quad (11)$$

Toliau skaičiuojami energijos nuostoliai, susidarantys dėl konvejerio juostos lenkimo. Šiai energijai  $U$  apskaičiuoti pasinaudosime formule [14]:

$$U = \frac{M^2 L}{2EI}; \quad (12)$$

čia  $M$  – lenkimo momentas, reikalingas sulenkimui,  $L$  – lenkiamo lanko ilgis,  $E$  – Jungo modulis,  $I$  skerspjūvio inercijos momentas.

Lenkimo momentas pagal [14] taip pat gali būti apskaičiuotas taip:

$$M = \frac{EI}{R}; \quad (13)$$

čia  $R$  – lenkimo spindulys. Pagal (12) ir (13) gauname:

$$U = \frac{\left(\frac{EI}{R}\right)^2 L}{2EI} = \frac{EIL}{2R}. \quad (14)$$

Jungo modulis naudojamai medžiagai (PVC) yra [12, 15]:  $E = 3 \text{ GPa} = 3 \cdot 10^9 \text{ Pa}$ , lenkimo spindulys  $R = 25 \text{ mm} = 0,025 \text{ m}$ , skerspjūvio inercijos momentas pagal [16] pateiktą formulę  $I = \frac{bh^3}{12} = \frac{0,4 \cdot 0,002^3}{12} = 0,267 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$ .

Skačiuosime vieno ritinėlio sunaudojamą galią juostos lenkimui. Pasirinkto ritinėlio apgaubtos juostos ilgis  $L = 47,29 \text{ mm} = 0,04729 \text{ m}$ .

Sustatę reikšmes į (14) formulę gauname:

$$U = \frac{3 \cdot 10^9 \cdot 0,267 \cdot 10^{-9} \cdot 0,04729}{2 \cdot 0,025} = 0,7576 \text{ J}.$$

Kadangi žinome juostos judėjimo greitį  $v = 0,5 \text{ m/s}$ , o jos nueinamas kelias yra lygus sulenkto lanko (ritinėlio, apgaubto juostos) ilgiui  $L$ , tai laikas, kuris reikalingas norint apskaičiuoti lenkimui reikalingą galią, gaunamas taip:

$$t = \frac{L}{v} = \frac{0,04729}{0,5} = 0,09458 \text{ s}. \quad (15)$$

Tada galia gaunama reikalingą energiją padalijus iš laiko, per kurį įvyksta lenkimas:

$$N_{rit} = \frac{U}{t} = \frac{0,7576}{0,09458} = 8,01 \text{ W} \quad (16)$$

Bendra visų ritinėlių sunaudojama galia lygi visų ritinėlių lenkimui sunaudojamos galios sumai:

$$N = N_{rit} \cdot n_{rit} = 8,01 \cdot 17 = 136,17 \text{ W}$$

Kadangi gauta galia daug kartų didesnė už prieš tai skaičiuotą guolių nuostolių galią, tai variklio parinkime užtenka atsižvelgti į pastarąją galią.

### **Reduktoriaus parinkimas**

Pirmiausia, norint parinkti reduktorių reikia žinoti, koks turi būti jo išėjimo sukimosi greitis ir sukimo momentas. Kadangi žinoma, kad reikalingas konvejerio linijinis sukimosi greitis  $v = 0,5 \text{ m/s}$ , tai galime apskaičiuoti varančiojo veleno kampinį dažnį bei apsisukimų per minutę skaičių. Pastarasis apskaičiuojamas taip:

$$n = \frac{60v}{2\pi R}. \quad (17)$$

Įstatę reikšmes į (17) gauname:

$$n = \frac{60 \cdot 0,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,05715} = 83,588 \text{ aps./min.}$$

Toliau skaičiuojame reikalingą sukimo momentą, kuris apskaičiuojamas pagal formulę:

$$M = \frac{N \cdot k_{atsarg}}{\varphi} = \frac{NRk_{atsarg}}{v}. \quad (18)$$

Skaičiuodami šį momentą atsižvelgėme į atsargos koeficientą, kurio reikšmė pasirenkama  $k_{atsarg} = 2$ . Tada į (18) įstatę reikšmes gauname:

$$M = \frac{136,17 \cdot 0,05715 \cdot 2}{0,5} = 31,12 \text{ Nm.}$$

Pagal katalogą [17] parenkant reduktorių taip pat reikalinga ir variklio galia, todėl iškart apskaičiuojame ir reikalingą galią su atsarga:

$$N_{reik} = N \cdot k_{atsarg} = 136,17 \cdot 2 = 272,34 \text{ W.} \quad (19)$$

Arčiausiai reikiamų parametrų yra reduktorius su 370 W varikliu, kurio išėjimo veleno sukimo momentas yra 37 Nm, o sukimosi greitis 70 aps./min. Nors šis sukimosi greitis ir kiek mažesnis, nei reikalingas, daroma prielaida, kad reikiamas greitis bus pasiektas naudojant dažnių keitiklį. Pastarasis reikalingas bet kuriuo atveju, nes reikia konvejerio greitį labai tiksliai suderinti su ekstruderio išstumiamos medžiagos judėjimo greičiu. Kiti pasirinkto reduktoriaus parametrai, reikalingi varikliui parinkti: dydis – 71, jungiamojo flanšo tipas – B14. Variklio tipas – dvipolis, 2800 aps./min.

#### **Variklio parinkimas ir varantysis velenas**

Konvejeriui bus naudojamas asinchroninis trifazis variklis, nes šie varikliai yra vieni iš dažniausiai naudojamų pramonėje, lengvai aptarnaujami, taip pat retai genda [18]. Variklio galia turi būti didesnė už konvejerio nuostolių ir pavaros nuostolių galių sumą. Konvejerio nuostoliai jau

apskaičiuoti, tad lieka atsižvelgti į pavaros nuostolius. Kadangi bus naudojamas sliekinis reduktorius, dėl reikalingo sąlyginai nedidelio konvejerio judėjimo greičio, tai reikia atsižvelgti į šios rūšies reduktorių naudingumo koeficientą. Tai šiuo atveju atliekama pasirenkant didesnę nei įprasta atsargos koeficientą  $k_{atsarg} = 2$ . Taigi pagal visus žinomus parametrus pasirenkamas dvipolis, 370 W galios variklis su B14 jungiamuoju flanšu. Jį galima rasti įmonės BEVI kataloge [19].

Varantysis variklio velenas projektuojamas jau parinkus kitus pavaros elementus, nes pagal juos galima orientuotis, kokių matmenų turėtų būti velenas. Kadangi pasirinkto reduktoriaus išėjime galima montuoti tik 18 mm veleną, tai veleno galas turi būti 18 mm. Guoliai, kuriuose tvirtinamas velenas, turi būti didesnio vidinio skersmens, nes kitaip nebus įmanoma jų sumontuoti. Taigi pasirenkame artimiausią guolių vidinį skersmenį 18 mm, o jis yra 20 mm [20]. Tuo pačiu su guoliais turi būti parinktos ir guoliavietės. Kadangi šis velenas bus tvirtinamas prie lazeriniu pjovimu apdirbtų plokščių, tinkamiausios yra UFC tipo flanšinės guoliavietės, kurios įprastai tiekiamos kartu su guoliais kaip guolio mazgai. Konkretus pasirinktos guoliavietės kodas yra MSF 1025-20K (SKF).

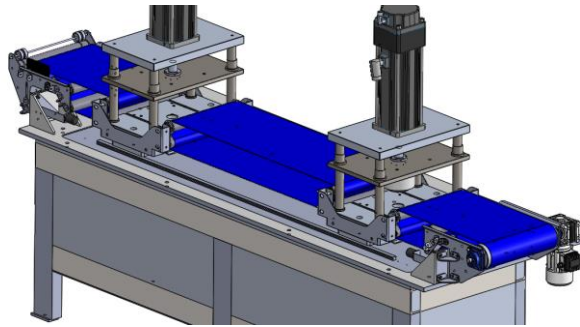
Tam, kad velenas būtų tinkamas konvejeriui varyti, ant jo turi būti sumontuotas ritinio tipo elementas. Šiuo atveju nuspręsta maksimalų veleno skersmenį palikti tokį, koks jis reikalingas guoliams (20 mm). Kadangi akivaizdu, kad šis skersmuo per mažas konvejerio juostai varyti, nuspręsta prie veleno pritvirtinti didelio skersmens vamzdį. Jis būtų privirinamas naudojant lazeriu išpjautus diskus, kurių skylės skersmuo atitiktų veleno skersmenį, o išorinis skersmuo sutaptų su vamzdžio vidiniu skersmeniu. Pasirinktas vamzdžio išorinis skersmuo 114,3 mm (4,5 colio vamzdis). Šis skersmuo apie 2 kartus didesnis už kitus naudojamus ritinėlius. Taip padaryta todėl, kad reikia pakankamai didelio sukibimo ploto tarp varomojo ritinėlio ir konvejerio juostos, kad jie nepraslystų vienas kito atžvilgiu [21]. Tam pasitarnauja ir papildomas ritinėlis apačioje, kurio dėka varantysis ritinėlis apgaubiamas didesniu kampu.

Tam, kad varomasis ritinėlis būtų visiškai tinkamas naudojimui, būtina jį po suvirinimo operacijos nutekinti, kad iki minimumo būtų sumažintas spindulinis mušimas, esantis ant vamzdžio paviršiaus, lyginant jį su guoliavietėmis. Pastarasis mušimas tikėtina atsiras dėl gamybos netikslumų ir šiluminių iškraipymų, atsirandančių virinimo metu. Atlikus tekinimo operaciją, galimas pavaros mazgo surinkimas.

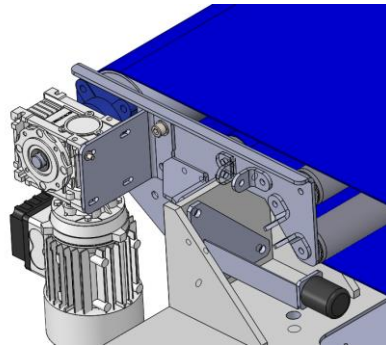
## 2.4. Išvados

Suprojektuotas konvejeris buvo pagamintas ir sumontuotas ant įrenginio Lapenrantos technologijos universitete, Suomijoje. Apskaičiuota pavara veikia taip kaip tikėtasi. Konvejerio

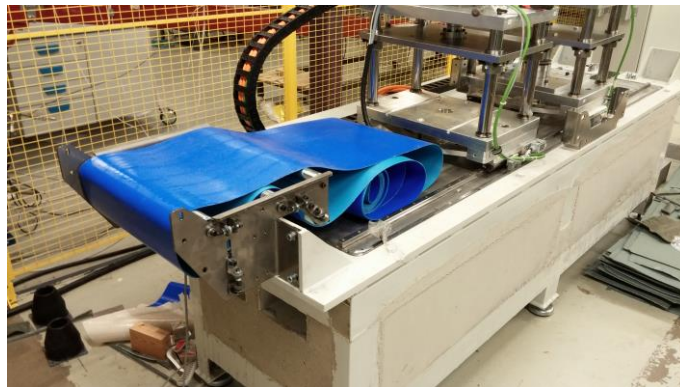
vaizdas programoje „SolidWorks“ pateikiamas 2.8 pav., pavaros vaizdas matomas 2.9 pav., o 2.10 pav. galima pamatyti tikrąjį konvejerį surinkimo metu.



**2.8 pav.** Bendras sumontuoto konvejerio vaizdas programoje „SolidWorks“



**2.9 pav.** Konvejerio pavara ir jos montavimas



**2.10 pav.** Konvejerio montavimo darbai

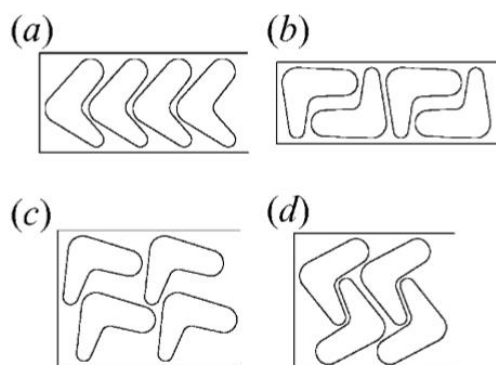
### 3. Kompozicinės medžiagos išeigos optimizavimas

#### 3.1. Optimizavimo modeliai

Ruošinių išdėstymas yra bene svarbiausias dalykas šampavimo proceso organizavime. Taip yra todėl, kad didžiąją dalį kainos šampavimo procese sudaro žaliavos kaina, tad kiekvienas nepanaudotas žaliavos milimetras kainuoja labai brangiai [22, 23]. Tai nėra vienintelė priežastis, dėl kurios būtina optimizuoti ruošinių išdėstymą. Svarbu tai ir todėl, kad šiuo metu visiems svarbi tema yra gamtosauga. O mažinant atliekų kiekius galima reikšmingai prisidėti prie gamtos užterštumo mažinimo. Pirmiausia, presavimo atliekos žemę teršia savo užimama vieta. Tiesa, tai nėra didžiausia problema, nes įprastai po kurio laiko atliekos yra perdirbamos, nepriklausomai nuo to, ar šampavimui naudojami metalai, ar plastikai, ar kompozicinės medžiagos, kaip šiuo atveju. Pačiam perdirbimui, net jeigu jis yra pakankamai paprastas, kaip šiame darbe nagrinėjamu atveju, t. y. tereikia atliekas grąžinti į ekstruderį. Taip pat perdirbimui reikalinga energija. Būtent todėl, kuo mažiau atliekų lieka, tuo mažiau energijos jų perdirbimui reikia panaudoti, o taip pat ir mažiau teršiama gamta.

Neretai reikalinga optimizacija ir proceso stabilumui užtikrinti. Atliekant šio pobūdžio optimizaciją atsižvelgiama į presuojamos medžiagos parametrus, tokius kaip medžiagos savybės, trinties sąlygas tarp įrankių ir medžiagos, preso nustatymus ir pan. Pati optimizacija įgyvendinama naudojant baigtinių elementų metodą ir jo modelius. Patyrę inžinieriai sudarinėja įvairius baigtinių elementų modelius ir atlieka daug testų. Lyginant gautus rezultatus ieškoma, kuris variantas geriausiai tenkina stabilumo kriterijus nesigilinant į tai, dėl kokių priežasčių taip yra [24]. Būtent todėl, kad šio tipo optimizacija iš esmės remiasi simuliacijomis ir nesigilinama į proceso priežastis, šios optimizacijos nenaudosime.

Per daugelį metų buvo sugalvota nemažai algoritmų, skirtų ruošinių išdėstymo optimizavimui. Štai [22] šaltinyje nurodoma, kad siūloma daug įvairių algoritmų, tarp jų tiesiog įprastas ruošinių formos išdėliojimas ant žaliavos juostos, dviejų etapų algoritmas, kai netipinės formos iš pradžių paverčiamos keliomis paprastesnėmis (pvz. stačiakampiais ar kitais daugiakampiais), o tada jos sudedamos kartu. Taip pat siūlomas ir euristinis metodas, kuriame remiamasi prioritetinėmis taisyklėmis, kurios nurodo ruošinio vietą priklausomai nuo jo išdėliojimo formos. Dar vienas algoritmas susijęs su vertinimo funkcijomis. Šio algoritmo pagrindas yra tai, kad ruošinių formos yra poruojamos ir sukamos  $180^\circ$  tol, kol užima mažiausiai vietos kartu su kitomis poromis. Dar įvardijama nemažai kitų variantų, tačiau dažniausiai naudojamus galima pamatyti 3.1 pav.



**3.1 pav.** Keturi dažniausiai naudojami ruošinių išdėstymo variantai [22]

Ruošinių išdėstymo algoritmas yra svarbiausia sistemos dalis. Renkantis algoritmą reikėtų atsižvelgti į gamybos proceso parametrus. Toliau pateikiami sąlygos, kurias reikia tenkinti parenkant algoritmą metalo gaminiams, bet iš esmės tas pats tinka ir naudojami kompozicinei medžiagai [22]:

1. Pasiikiama didesnė medžiagos išeięa. Tai yra bene svarbiausias faktorius, kurio siekiama, ypač kai reikalinga aukšta gaminių kokybė arba žaliavinė medžiaga brangi.
2. Lenkiamoms detalėms ar gaminiams, lenkimo linija turėtų būti suprojektuota pagal medžiagos anizotropiškumo kryptį.
3. Turi būti atsižvelgiama į žaliavos juostos plotį ir padavimo žingsnį (greitį), kurie nustatomi užsakovo.
4. Reikia atsižvelgti į štampos dizainą.
5. Reikia apskaičiuoti žaliavos parametrus atsižvelgiant į reikiamas tolerancijas ir gamybos efektyvumą.
6. Turi būti atsižvelgiama į tai, kad tarp detalių turi būti paliktas tam tikras minimalus tarpelis, kad būtų išvengta medžiagos nukirpimo atvejų ant gaminių.

Atsižvelgiant į nurodytus kriterijus žymiai lengviau numatyti ir pritaikyti tam tikrą ruošinių išdėstymą. Žinoma bet kuriuo atveju svarbiausias tikslas yra pasiekti kuo didesnę žaliavinės medžiagos išeięą. Tam tikslui greičiau ir paprasčiau pasiekti dažniausiai naudojamas perrinkimo metodas (angl. enumerating method). Naudojant šį metodą, sudaromos visos įmanomos kombinacijos palaipsniui keičiant dėstomų šablonų kampus ir tarpusavio atstumus. Po to lyginamas visų gautų variantų žaliavos išnaudojimo santykį, ir pasirenkamas variantas su geriausiu santykiu. Šiuo metodu naudojasi nemaža dalis ruošinių išdėstymo algoritmų, tiesa, skirtingi algoritmai turi skirtingus plusus ir minusus. Bet pagrindinės perrinkimo metodo tobulinimo problemos lieka šios [22]:

1. Ar reikia išskaidyti ruošinio kontūrą į linijas?
2. Kaip surasti optimalų ruošinių dėliojimo variantą tarp tikslumo ir naudingumo?
3. Kaip susidoroti su apribojimais, kylančiais dėl realios gamybos sistemos?

Taigi galiausiai galime daryti išvadą, kad ruošinių išdėliojimas yra sudėtingas procesas, kuriam įgyvendinti reikia turėti nemažai praktinių žinių, kurios padeda nustatyti, kokie parametrai geriausiai tinka.

Vykdam ruošinių išdėstymo optimizavimo procesą, reikia atlikti šiuos žingsnius [22]:

1. Išankstinis apdorojimas (angl. pre-treating);
2. Išdėliojimo parametrų skaičiavimas;
3. Plano parinkimas;
4. Parametrinis modifikavimas.

Kiekvienas iš šių žingsnių labai svarbus, ir jie turi būti atliekami pateikta tvarka.

Išankstinio apdorojimo metu surenkami pradiniai parametrai ir ruošinių formos ruošinių išdėstymo optimizavimui. Šiam apdorojimui taip pat priskiriamas išankstinis išdėliojimo būdas. Parenkamas vienas iš 3.2 pav. vaizduojamų būdų. Toliau nustatomas ruošinių pasukimo kampo žingsnis. Įprastai jis būna  $5^\circ$ , bet gali būti pasirinktos ir kitokios reikšmės. Toliau įprastai seka juostos krypties nustatymas ir lenkimo linijų kampo pasirinktos juostos atžvilgiu nustatymas. Bet kadangi naudojama kompozicinė medžiaga neturi apdirbimo krypties apribojimų, šie žingsniai gali būti praleisti. Po to atliekamas tarpelių, tarp štampuojamų detalių nustatymas, į kurį taip pat įeina ir tarpeliai tarp žaliavos krašto ir detalės. Šiuo žingsniu užbaigiamas pradinių parametrų nustatymas išankstinio apdorojimo stadijoje, taigi toliau galima vykdyti kitą žingsnį.

Layout mode	Illustration	
	Normal	Opposite
1-row		
2-row		
3-row		
Multi-row		

**3.2 pav.** Išankstiniai išdėliojimo būdai [22]



Sekantis žingsnis atliekant išankstinį apdorojimą yra ruošinio formos apdorojimas. Jis sudarytas iš ruošinio formos sudarymo, patikrinimo, ar forma uždara, ir saugos atstumo (angl. offset) pridėjimo. Kartais norint štampuoti sudėtingesnio kontūro detales gaunami atvejai, kai uždėjus saugos atstumą, jis persidengia pats su savimi (3.3 pav.). Tokiais atvejais naudojami algoritmai, padedantys aptikti linijų susikirtimą ir jį panaikinti, apie kuriuos plačiau nebus kalbama, nes šiuolaikinės kompiuterinės CAD programos šią problemą išsprendžia nedalyvaujant vartotojui. Po šio žingsnio baigiama pirmoji optimizavimo dalis ir pereinama prie kitos.

Antrojoje optimizavimo proceso dalyje, vadinamoje išdėliojimo parametrų skaičiavimu vyksta skaičiavimai, kurių metu ruošiniai dėliojami visais skirtingais būdais ir ieškoma optimalaus varianto. Tam, kad jis būtų rastas, sudaroma savotiška duomenų bazė, su išdėliojimo parametrais, tokiais kaip ruošinių pasukimo kampas ir atstumai tarp skirtingų ruošinių. Tada apskaičiuojamas žaliavos išnaudojimo santykis, kuris ir tampa pagrindiniu parametru, pagal kurį pasirenkamas kažkoks konkretus išdėstymas.



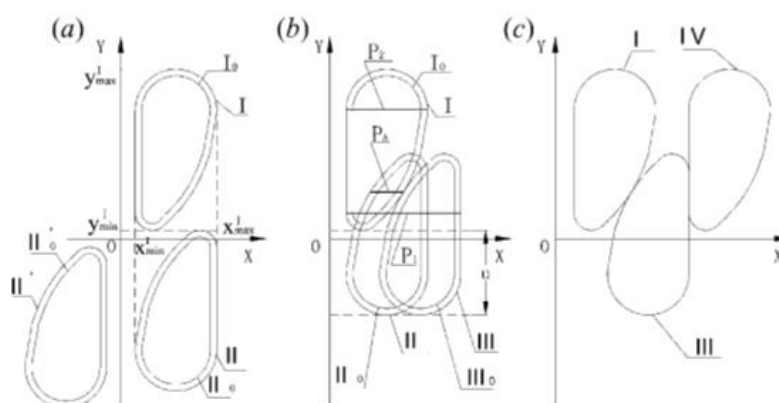
**3.3 pav.** Saugos atstumo persidengimas [22]

Šaltinyje [22] pateikiamas patobulintas „vieno žingsnio slenkamojo algoritmo“ variantas, kurį naudojant išdėliojimo parametrų skaičiavimas atliekamas taip (3.4 pav.):

1. Apibrėžiama, kad  $I_0$  yra originali šablono forma,  $I$  – šablono forma su saugos atstumu. Tada atliekamas  $I$  kopijavimas, apsukimas  $180^\circ$  apie centrą  $O$  ir slinkimas  $Ox$  kryptimi kol pasiekiamas  $I$  šablono kraštas. Gautas naujasis šablonas –  $II$  (originalas –  $II_0$ ).
2. Šablonas  $II$  slenkamas  $Oy$  kryptimi fiksuotu atstumu  $\Delta u$ , kuris apibrėžiamas kaip slinkimo žingsnis, ir slinkimas atliekamas tol, kol susikirtus  $II$  ir  $I$  gaunamas skersinio atstumo ekstremumas  $P_A$ .
3. Šablonas  $II$  slenkamas  $Ox$  kryptimi, kol pasiekiami padėtis kai  $I$  ir  $II$  kontūrai liečiasi. Taip gaunamas šablonas  $III$ , kuris yra antrasis šablonas gamybai paruoštame išdėstyme.
4. Susikabinimo tarp  $I$  ir  $III$  plote  $Oy$  kryptimi taip pat apskaičiuojamas skersinio atstumo ekstremumas  $P_1$ . Tada apskaičiuojamas šablono I skersinis atstumas  $P_2$  bei iš šių dviejų atstumų didesnis pasirenkamas kaip žaliavos pastūmos žingsnis ir priskiriamas  $P$ .

5. Šablonas I nukopijuojamas ir padedamas iš karto už III šablono atstumu P, taip gaunant šabloną IV, kuris yra 3 šablonas išdėstyme. Apskaičiuojamas žaliavos išnaudojimo santykis  $\eta$  su pasirinktu  $u$ .

Toliau vykdomas kitas ruošinių išdėstymo optimizavimo proceso žingsnis – plano parinkimas. Šis žingsnis iš esmės yra anksčiau gautų rezultatų susisteminimas ir patogus pateikimas vartotojui, kuris turi nuspręsti, kuris iš programos siūlomų variantų yra priimtinausias. Įprastai vaizdumo dėlei pateikiamas žaliavos išnaudojimo santykio ir ruošinių pasukimo kampo grafikas. Gali būti atsižvelgiama į kitus parametrus, pvz. juostos plotį ir pan., kad dalis netinkamų rezultatų nebūtų rodoma.

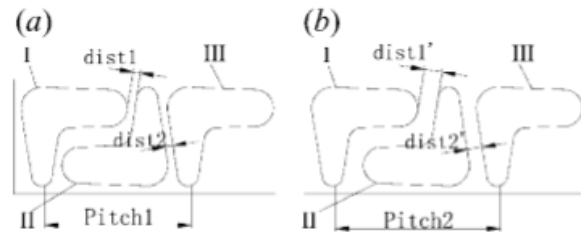


**3.4 pav.** Šablonų dëljojimo procedūra: (a) – 1 dëljojimo žingsnis, (b) – 2–4 dëljojimo žingsniai, (c) – 5 dëljojimo žingsnis [22]

Paskutinis žingsnis optimizavimo procese – parametrinis modifikavimas. Šio žingsnio metu atsižvelgiama į naudotojo modifikacijų reikalavimus, kurie keliami jau po išdëljojimo. Pagal užduotus naujus reikalavimus, programa perskaičiuoja visus reikalingus išdëljojimo parametrus ir nubraižo naują išdëljojimą. Tobulinant išdëljojimą yra svarbu nurodyti modifikavimo metodus, kurie lengvai realizuojami programuotojo ir priimtini vartotojui. Šis modulis turi tokias funkcijas:

1. Kito plano pasirinkimas;
2. Pastūmos žingsnio keitimas. Keičiamas atstumas tarp greta esančių ruošinių toje pačioje eilėje. Keičiamas atstumas pavaizduotas 3.5 pav. Šio veiksmo esmė yra rasti tokią II ruošinio poziciją, kad tarpai tarp jo ir I bei III šablonų būtų minimalūs, kad ir koks būtų naujas pasirinktas pastūmos žingsnis;
3. Juostos pločio keitimas. Ši funkcija keičia atstumus nuo žaliavos juostos kraštų iki arčiausiai esančių ruošinių;

4. Tinklo keitimas. Ši funkcija keičia atstumus tarp ruošinių, taip pat jos dėka apskaičiuojami ir atstumai iki žaliavos juostos kraštų;
5. Santykinio atstumo keitimas. Tai atstumo tarp greta esančių ruošinių centrų vektorius, kuris gali ne tik ilginamas ar trumpinamas, bet ir pasukamas reikalinga kryptimi;



**3.5 pav.** Pastūmos žingsnio keitimas vienos eilės priešpriešiniame išdėstyme. (a) – prieš modifikaciją, (b) – po modifikacijos [22]

Šaltinyje [22] aptariamas ruošinių dėliojimo metodas yra geras ir turi geras darbo charakteristikas, kurios paaiškėjo šaltinio autoriams atlikus bandymus. Jis puikiai susitvarko su ruošinių dėliojimo optimizacijos problema. Bet tam, kad būtų patvirtintas šio metodo naudingumas, bus apžvelgtas dar vienas metodas.

Pagal [23] svarbiausias parametras, pagal kurį parenkamas tam tikras ruošinių išdėstymas yra žaliavos medžiagos išnaudojimas. Būtent todėl nemažai mokslininkų ir inžinierių ilgą laiką ieškojo vis geresnių sprendimų, kad būtų rastas optimalus ruošinių išdėliojimo variantas. Pradėta buvo nuo paprasčiausio algoritmo, kai ruošinys buvo apibrėžiamas stačiakampiu, ir sudėjus daug tokių stačiakampių vienas už kito buvo nubraižomas išdėliojimo žemėlapis. Kadangi šis algoritmas buvo labai nepatogus sudėtingesnių formų ruošiniams, mat likdavo daug nepanaudotos žaliavinės medžiagos, buvo apgalvoti tobulinimo variantai. Iš pradžių ruošiniai buvo pradėti apibrėžinėti labiau jų formą atitinkančiais daugiakampiais, taip pat buvo naudojamas ir dalijimo į kelis nepersidengiančius stačiakampius. Deja nei vienas iš šių metodų nebuvo žymiai naudingesnis, nei tiesiog naudojant vieną stačiakampį, mat taip pat lieka gana daug atliekų. Todėl po kurio laiko buvo pasitelkti euristiniai metodai šiai problemai spręsti. Buvo išbandytos genetinių algoritmų galimybės. Šie metodai parodė pakankamai gerus rezultatus, lyginant su prieš tai aptartais metodais, netgi tokiais atvejais, kai buvo naudojama daug skirtingų detalių ruošinių. Tiesa, šie metodai nėra tokie tinkami vienodiems ruošiniams dėlioti, nes kyla problemų dėl optimalaus orientavimo kampo nustatymo, taip pat reikalingas gerokai didesnis kompiuterinių skaičiavimų pajėgumas.

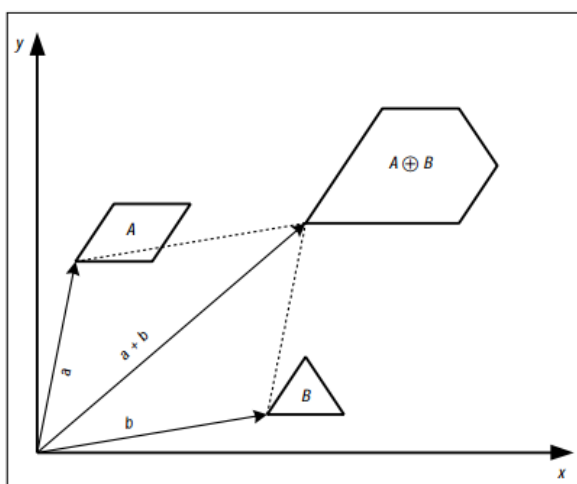
Keletas mokslininkų pasiūlė žingsninio sukimo (angl. incremental rotation) algoritmus. Šie algoritmai apibūdinami taip pat tiek šaltinyje [22], tiek [23], t. y. jų esmę sudaro daugelio variantų sudarymas ir optimalaus varianto parinkimas pagal žaliavos geriausią išnaudojimo santykį. Tiesa,

[23] taip pat minimas ir šio metodo tobulinimas, mat žingsninis sukimas įprastai vyksta vieno ar kelių laipsnių žingsniais, o optimalus variantas įprastai būna tarp dviejų žingsnių, o turint galvoje, kad reikia tikslingai išnaudoti kiekvieną žaliavos milimetrą, naudinga tikslinti šį metodą. Šiuo tikslu į pagalbą buvo pasitelktas kliūtis erdvės (angl. obstacle space) metodas, kuris labai panašus į dažniau naudojamą Minkovskio sumos metodą.

Minkovskio suma yra idėja, susijusi su skaičiuojamąja geometrija, ir puikiai randanti pritaikymą robotų judėjimo planavime ir pjovimo ruošinių išdėstymo optimizavime. Metodo esmė susijusi su skaičiavimų supaprastinimu nuo dviejų daugiakampių persidengimo skaičiavimo iki taško radimo daugiakampyje suradimo. Tai labai stipriai pagreitina skaičiavimą, kas svarbu netgi ir turint labai galingą skaičiavimo techniką, t. y. šiuolaikinius kompiuterius. Matematiškai Minkovskio sumą galima apibrėžti taip [23]:

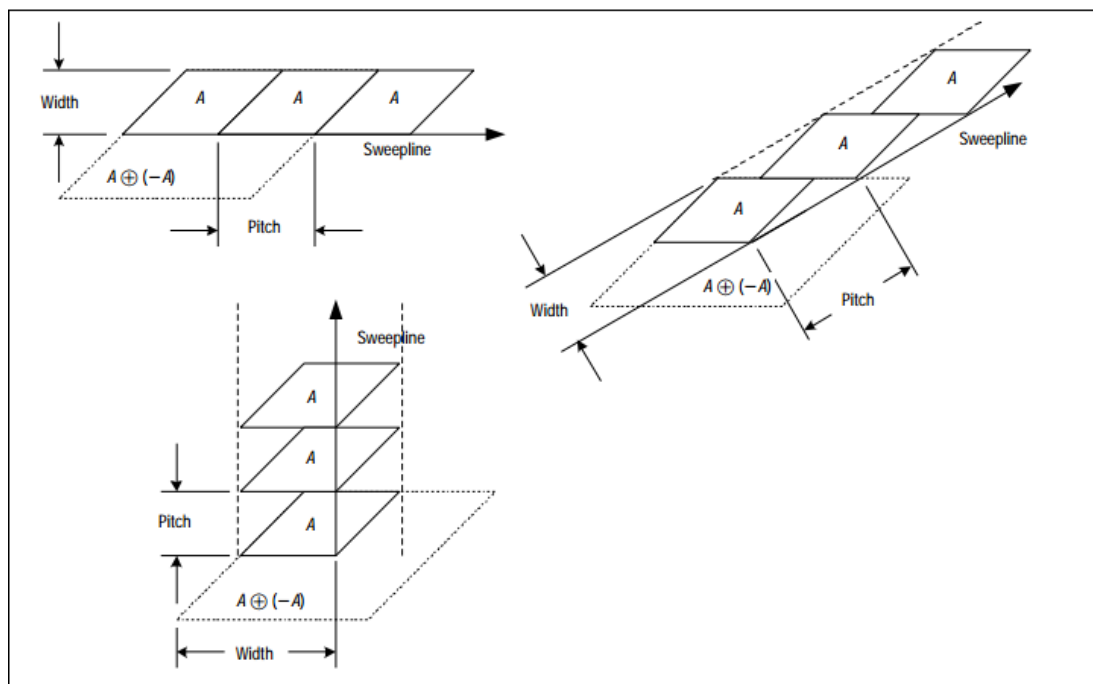
$$A \oplus B = \{a + b | a \in A, b \in B\} \quad (20)$$

Ta pati suma grafiškai vaizduojama 3.6 pav. Čia A ir B yra daugiakampiai, kurių viršūnės apibrėžiamos kaip vektoriai koordinatinių plokštumoje.



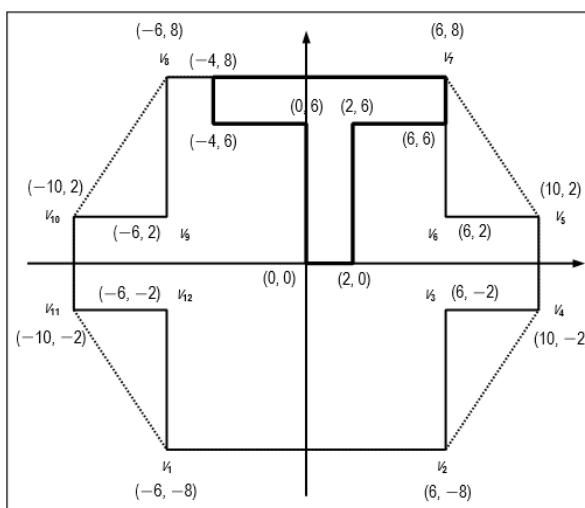
**3.6 pav.** Dviejų daugiakampių Minkovskio suma [23]

Pasinaudojant Minkovskio sumos metodu buvo sudarytas algoritmas vienodų ruošinių išdėliojimui paprasčiau apskaičiuoti. Metodo esmė matoma 3.7 pav. Čia prie vieno už kito išdėliotų ruošinių pridedamas žaliavos krypties vektorius (angl. sweepline), kurį sukant koordinatinių plokštumoje sudaromas vis kitoks ruošinių išdėliojimas, kur pasinaudojant Minkovskio suma galima lengvai apskaičiuoti žaliavinės medžiagos išnaudojimo santykį, kas ir yra pagrindinis tikslas.



**3.7 pav.** Minkovskio sumos panaudojimas randant juostos žingsnį ir plotį [23]

Plačiau apie Minkovskio sumos naudojimą algoritmo įgyvendinimui galima paskaityti [23]. Kadangi labiausiai reikalingas šiame darbe yra praktinis algoritmo aspektas, t. y. kiek jis gali būti naudingas, toliau pateikiami keli pavyzdžiai, kaip pateiktas algoritmas optimizuoja ruošinių išdėstymą.



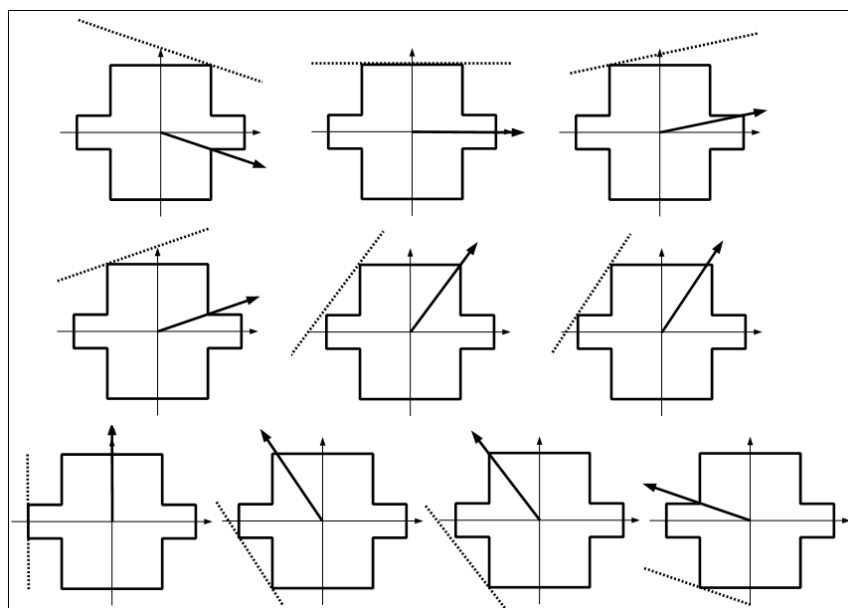
**3.8 pav.** Pavyzdinis T formos ruošinys (pastorinta linija), jo Minkovskio suma ir iškilasis daugiakampis (taškinė linija) [23]

Pirmas pavyzdys matomas 3.8 pav., kur pavaizduota T formos ruošinys ir jo Minkovskio suma. Krypties vektorius prasideda taške  $v_4$  ir sukamas prieš laikrodžio rodyklę, kol pasiekia  $v_{10}$ , kad būtų apeiti  $180^\circ$ .

Pagal 3.8 pav. sudarytos Minkovskio sumos daugiakampį sudaromi įvykių taškai (angl. event points). Jie atsiranda tose vietose, kai krypties vektorius eina per daugiakampio viršūnes. Šie taškai svarbūs, nes ties jais labiausiai keičiasi pastūmos žingsnis, kai tuo tarpu krypties vektoriui judant kraštine, jis keičiasi tik šiek tiek ir nesudaro esminių pokyčių. Visi įvykių taškai su nubrėžtais krypties vektoriais pavaizduoti 3.9 pav., o 3.1 lentelėje pateikiami apskaičiuoti parametrai visuose įvykių taškuose.

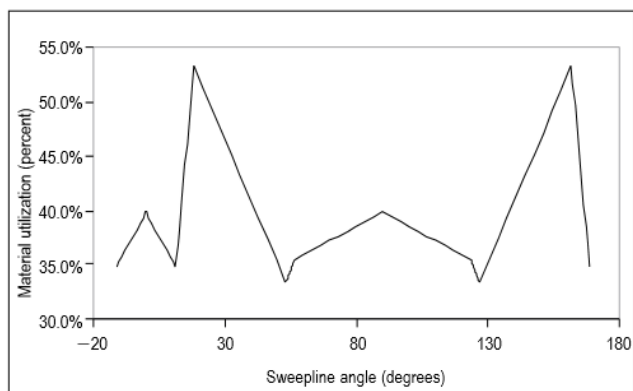
**3.1 lentelė.** Įvykių taškai T formos ruošinio pavyzdžiui [23]

Įvykio taškas	Kampas ( $^\circ$ )	Įvykis	Žingsnis	Plotis	Išnaudojimas
1	-11.31	$v_S \leftarrow 4, v_F \leftarrow 5,$ $v_T \leftarrow 7$	10.198	9.022	34.8%
2	0.00	$v_T \leftarrow 8$	10	8	40.0%
3	11.31	$v_S \leftarrow 5, v_F \leftarrow 6$	10.198	9.022	34.8%
4	18.43	$v_S \leftarrow 6, v_F \leftarrow 7$	6.324	9.486	53.3%
5	53.13	$v_S \leftarrow 7, v_F \leftarrow 8$	10	9.600	33.3%
6	56.31	$v_T \leftarrow 10$	9.614	9.430	35.3%
7	90.00	$v_T \leftarrow 11$	8	10	40.0%
8	123.69	$v_T \leftarrow 1$	9.614	9.430	35.3%
9	126.87	$v_S \leftarrow 8, v_F \leftarrow 9$	10	9.600	33.3%
10	161.56	$v_S \leftarrow 9, v_F \leftarrow 10$	6.324	9.486	53.3%
11	168.69	$v_S \leftarrow 10, v_F \leftarrow 11$	10.198	9.022	34.8%



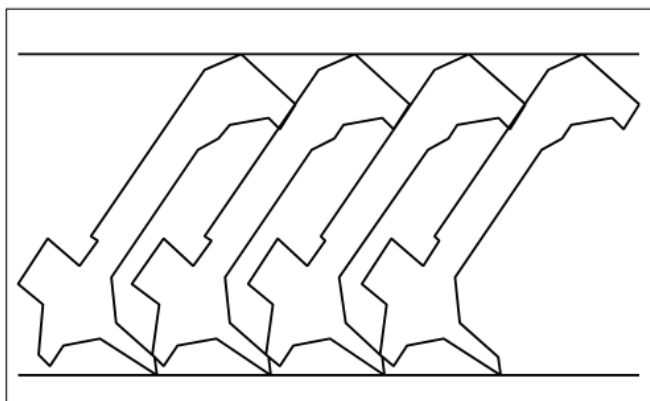
**3.9 pav.** Krypties vektoriaus įvykių taškai. Taškine linija pažymėtas tolimiausias statmenas atstumas nuo krypties vektoriaus iki Minkovskio sumos krašto [23]

Pagal 3.1 lentelę galima nesunkiai sudaryti grafiką, iš kurio matyti medžiagos išnaudojimo priklausomybė nuo krypties vektoriaus kampo. Iš tokio grafiko puikiai matyti, koks kampas leidžia geriausiai išnaudoti žaliavinę medžiagą. Grafikas pateikiamas 3.10 pav.



**3.10 pav.** Medžiagos išnaudojimo (grafike – material utilization) priklausomybė nuo krypties vektoriaus kampo (grafike – sweepline angle) [23]

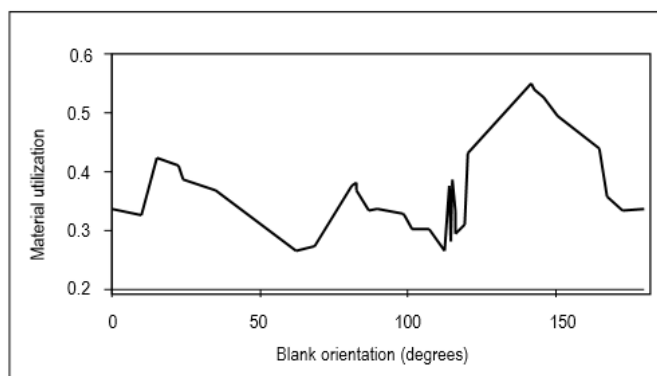
Pasitelkiant 3.1 lentelę ir grafiką, pateiktą 3.10 pav. matome, kad geriausiai žaliava išnaudojama tada, kai krypties vektoriaus kampas yra  $18,43^\circ$ , o medžiagos išnaudojimas tada siekia 53,3%. Turint galvoje, kad žaliavos išnaudojimas svyruoja nuo 33,3% iki jau minėtų 53,3%, galima daryti išvadą, kad optimalus ruošinių išdėliojimo parinkimas yra tikrai svarbus ir leidžia sutaupyti tikrai daug.



**3.11 pav.** Optimaliai orientuota sudėtingesnė detalė [23]

Nagrinėjamame šaltinyje [23] taip pat pateikiamas ir sudėtingesnės detalės išdėliojimo pavyzdys, kurį galima trumpai apžvelgti. 3.11 pav. pateikiamas optimalus sudėtingos detalės išdėstymas, o 3.12 pav. – grafikas, kuriame matome jau minėtą medžiagos išnaudojimo

priklausomybę nuo krypties vektoriaus kampo. Kaip ir anksčiau nagrinėtame pavyzdyje matome, kad išnaudojimas varijuoja nuo mažiau nei 30 procentų iki daugiau nei 50 procentų, o tai reiškia, kad naudojamas algoritmas akivaizdžiai padeda taupyti žaliavinę medžiagą.



**3.12 pav.** Medžiagos išnaudojimo priklausomybė nuo krypties vektoriaus kampo 3.11 pav. pavaizduotai detalei [23]

Pagal pateiktus optimizacijos metodus galima daryti išvadą, kad svarbiausia yra atsižvelgti į ruošinių sudėtingumą, nes itin sudėtingiems šablonams gali būti sudėtinga sudaryti saugos atstumo kreivę. Taip pat svarbus dalykas yra numatyti kampus, kuriais negali būti pasukti šablonai. Šiuos kampus gali riboti gamybos technika, nes ji ne visada numatyta visiškai nepriklausomam įrankių įtvirtinimui. Be to, šiuos apribojimus yra nesunku pritaikyti praktikoje, kai naudojamas antrasis iš apžvelgtų optimizavimo metodas. Taigi taikant optimizavimo modelius praktikoje šie aspektai ir yra svarbiausi.

### 3.2. Modelių naudojimo linijoje metodika

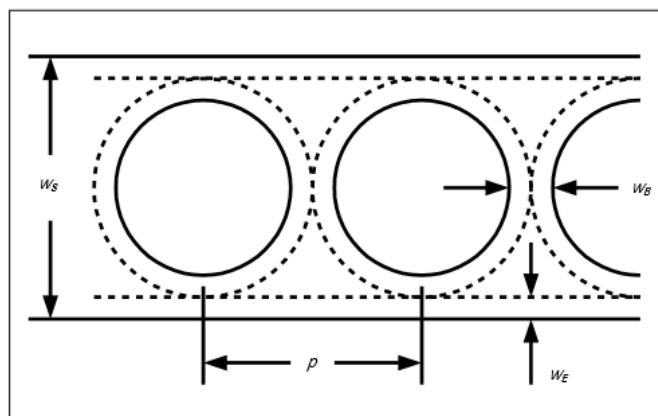
Norint sėkmingai panaudoti aprašytus išeigos optimizavimo modelius, reikia atsižvelgti į keletą aspektų, kurie gali įtakoti sėkmingą modelių panaudojimą. Pirmiausia, reikia išvardyti skirtumus tarp žaliavos, naudojamos aptartuose modeliuose ir tos, kuri bus naudojama aprašomoje gamybos linijoje. Taigi pagrindiniai skirtumai:

1. Įprastai štapavime kaip žaliava naudojami kokio nors metalo lakštai, o nagrinėjamoje sistemoje naudojama kompozicinė medžiaga, kurios pagrindas – plastikas;
2. Būtent nagrinėjamoje gamybos linijoje štapavimas vyksta žaliavai dar esant karštai, tiksliau kol ji dar tebėra minkšta, kai tuo tarpu įprastinis metalų štapavimas vykdomas jiems esant kambario temperatūros. Metalai štapuojami ir karšti, bet retai kada pasiekiami riba, kad metalas pasidarytų visiškai minkštas;



3. Nuo minėtų optimizavimo algoritmų ši gamybos linija skiriasi tuo, kad gali šampuoti tiek vienodus, tiek du skirtingus gaminius, o dauguma optimizavimo algoritmų sudaromi vienodomis detalėms. Nors presuojant vienodus gaminius abiem linijoje esančiais presais galima naudoti aptartus algoritmus be apribojimų;
4. Gamybos procese taip pat reiktų atsižvelgti ir į tai, kad šampavimo operacija vyks tiek šampui, tiek žaliavai judant, nes tik taip galima užtikrinti presavimo kokybę kalbant apie žaliavos temperatūrą presavimo metu;

Į kiekvieną iš įvardytų skirtumų reikia atsižvelgti ir pagal tai koreguoti parinktą optimizavimo algoritmą pasirenkant tinkamus parametrus. Štai problemą dėl šampavimo dar medžiagai esant karštai galima išspręsti parenkant didesnę saugos atstumą  $w_B$  nuo kiekvieno ruošinio (3.13 pav.). Jis turėtų priklausyti nuo to, kokių atstumu medžiaga aplink iššampuotą gaminį yra neleistinai deformuojama. Taip pat turėtų būti paliekama daugiau papildomos vietos pagal žaliavos kraštus (atstumas  $w_E$  3.13 pav.). Taigi testų atlikimas ir pakankamų saugos atstumų nustatymas iš esmės išsprendžia tiek pirmąją, tiek antrąją problemą, nes žaliavos likučių deformacija būtų ir priklauso nuo to, kokia konkrečiai medžiaga šampuojama.



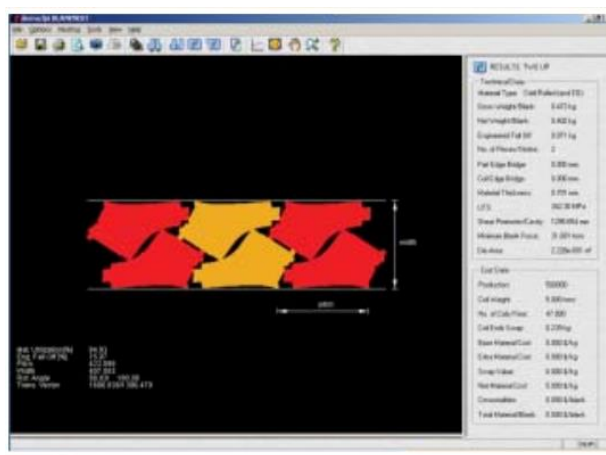
**3.13 pav.** Saugos atstumai aplink ruošinius ir žaliavos juostos kraštuose [23]

Kaip jau ir minėta, naudojant sistemą vienodiems gaminiams gaminti abiem presais, galima nesunkiai naudoti praeitame skyriuje aptartus algoritmus, bet norint naudoti skirtingus šampus, algoritmų pasirinkimas šiek tiek sumažėja. Galima naudoti optimizavimo algoritmus, pagrįstus genetinėmis algoritmais (plačiau [23]), mat šie gerokai naudingesni, kai reikia sudaryti daugiau nei vienos formos ruošinių išdėliojimo planą. Todėl galima teigti, kad algoritmą reikia rinktis pagal tai, kokio tikslo siekiama: gaminti abiem presais vienodas ar skirtingas detales.

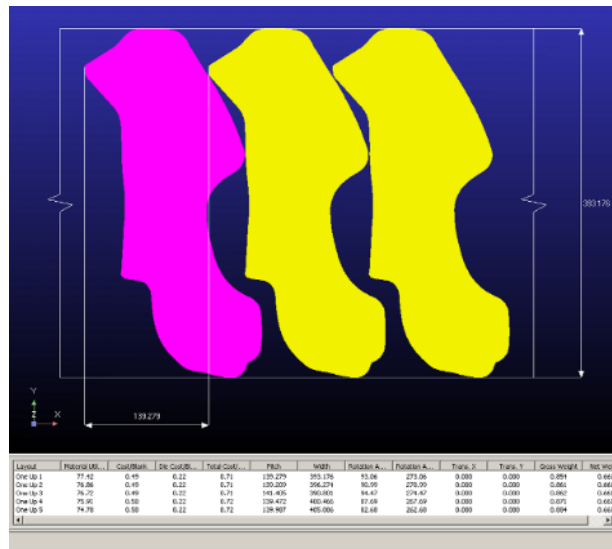
Faktas, kad šampavimo operacija vyksta šampams judant iš esmės nekeičia situacijos, kadangi pats šampų judėjimas neįtakoja šampavimo proceso, kol šampo greitis sutampa su

žaliavos judėjimo greičiu. Vis dėlto kyla šiek tiek kita problema: kaip aptikti, kur konkrečiai reikia atlikti šampavimo operaciją? Tam tenka panaudoti vienokias ar kitokias žaliavos juostos žymėjimo priemones. Galima viską atlikti ir be žymėjimo sistemos, bet tokiu atveju tektų padidinti saugos atstumus aplink kiekvieną ruošinį, mat šampui būtų žymiai sunkiau pataikyti tiksliai į numatytą vietą, nes reikia įvertinti tokius dalykus kaip juostos deformavimas jai judant konvejeriu, jos slinkimasis į šonus ir pan. Būtent todėl žymiai parankiau būtų naudoti tam tikrą žymėjimo ir žymių nuskaitymo sistemą, kurios dėka judėdami presai galėtų atpažinti, kuri konkrečiai žaliavos juostos vieta yra tarp šampų ir ar galima atlikti šampavimo operaciją, ar reikalinga koreguoti šampo buvimo vietą žaliavos atžvilgiu. Kokią konkrečiai žymėjimo sistemą galima būtų taikyti plačiau bus apžvelgta kitame skyriuje. Kol kas galima apsiriboti tuo, kad norint padaryti, kad ši sistema tiksliai ir kokybiškai šampuotų, reikia sukurti gana sudėtingą visos linijos valdymo sistemą. Apie tai taip pat daugiau kitame skyriuje.

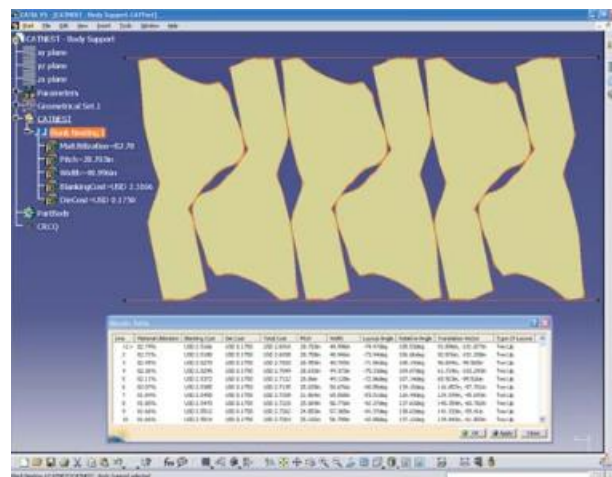
Yra nemažai kompanijų, kurios gamina specialias kompiuterines programas, skirtas būtent šiame skyriuje aptariamai užduočiai atlikti. Vienos iš programų naudotinos atskirai, kitos – kaip projektavimo ar modeliavimo programų paprogramės. Štai keletas populiariesnių tokios rūšies programų pavyzdžių: „Javelin BlankNest“ (3.14 pav.), „FTI BLANKNEST“ (3.15 pav.) ir „FTI CATNEST“ (3.16 pav.), skirta naudoti su programų paketu „CATIA“.



3.14 pav. „Javelin BlankNest“ programos langas [25]



3.15 pav. „FTI BLANKNEST“ programos langas [26]



3.16 pav. „FTI CATNEST“ programos langas [27]

Visos paminėtos programos leidžia vartotojui keisti reikalingus parametrus, tokius kaip išdėstymo žingsnis, žaliavos juostos plotis, taip pat galima nustatyti įvairius šampų pastatymo kampų apribojimus, kurie gali atsirasti dėl presų sistemos įpatybių. Visų šių parametrų visiškai pakanka tam, kad būtų galima sudėti ruošinius taip, kad išdėstymas būtų tinkamas ir kompozicinės medžiagos gaminių gamybai.

### 3.3. Išvados

Skyriuje aptarti populiariausi ruošinių išdėstymo optimizavimo metodai ir jų taikymo galimybės. Trumpai pristatyta programinė įranga, kuria pasinaudojant galima nesunkiai atlikti ruošinių išdėstymo optimizavimą tiek atskiroje programoje, tiek jau naudojant kitas CAD sistemas. Kadangi minėta programinė įranga yra mokama, tai platesnės apžvalgos pateikti nėra galimybės.

## 4. Valdymo algoritmai ir savikontrolė

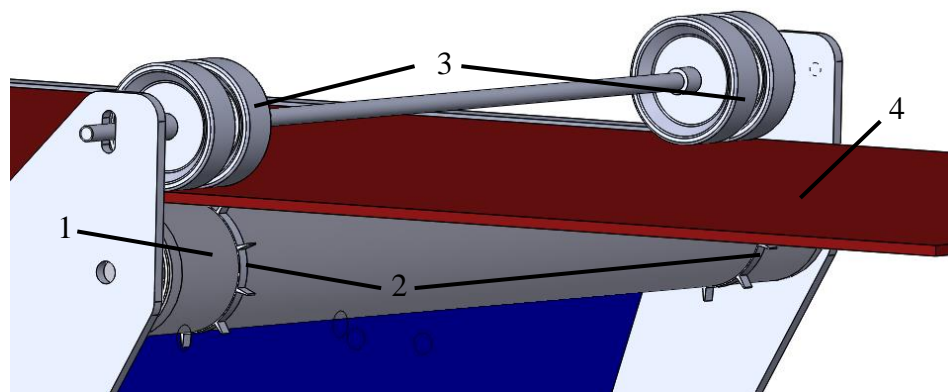
Kaip jau ir minėta ankstesniame skyriuje, viena iš esminių ir sudėtingiausių užduočių – sukurti valdymo sistemą gamybos linijai. Svarbiausia sudaryti tinkamą valdymo algoritmą, kurį po to būtų galima įgyvendinti.

### 4.1. Ruošinio žymėjimo ir žymių skaitymo sistema

Pats svarbiausias parametras šioje gamybos linijoje yra žaliavos judėjimo greitis. Tai iš esmės pastovus dydis, kurį apsprendžia ekstruderio veikimas. Kadangi vienas iš reikalavimų linijai yra gaminių kokybės užtikrinimas, visos kitos posistemės turi būti kuo tiksliau priderintos prie žaliavos judėjimo greičio, nes neįmanoma kokybiškai šampuoti gaminio, jei, tarkime, žaliavos ir šampo greitis bent kažkiek skirsis. Kadangi dėl įvairių priežasčių gali atsirasti žaliavos juostos judėjimo netolygumas, geriausia naudoti tam tikrą žaliavos žymėjimo sistemą, pagal kurią šampas galėtų individualiai pritaikyti savo judėjimo greitį ir taip būtų pasiekta aukštesnė gaminių kokybė. Žymėjimas naudingas dar ir tuo, kad galima palikti mažesnius saugos atstumus apie ruošinius, kas leistų sutaupyti nemažai žaliavos, o tai svarbu, nes taip būtų taupoma energija, reikalinga atliekoms iš naujo panaudoti gamybos cikle.

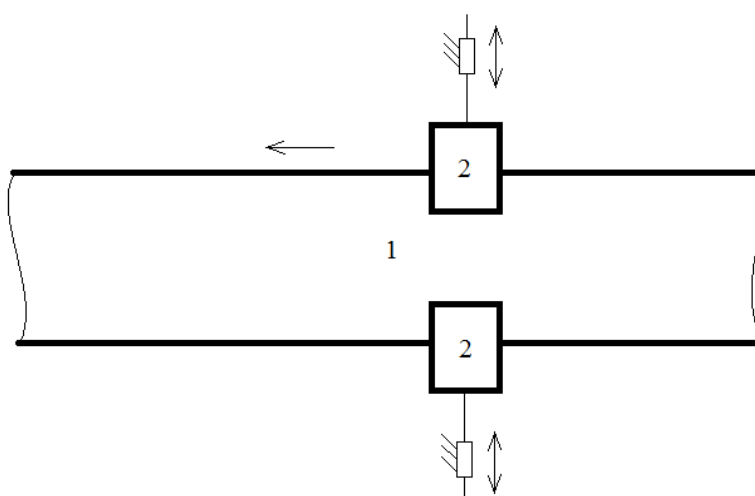
Žymėjimo sistema gali būti sukurta remiantis dviem skirtingomis technologijomis. Žymės žaliavos juostos šonuose gali būti padaromos mechaniniu būdu arba naudojant lazerinį žymėjimą ar netgi lazerinį pjovimą, kad būtų lengviau atpažinti žymes. Mechaninė žymų darymo sistema pagaminama labai paprastai ir yra labai pigi lyginant su lazerine žymėjimo sistema. Tereikia ant ritinėlio sumontuoti žvaigždes, kurios, prie jų prispaudus žaliavos lakštą, padarytų skylės žaliavoje. Tokios žymėjimo sistemos modelį, sudarytą programa „SolidWorks“ matome 4.1 pav. Pavaizduotame modelyje matomas žymėjimo ritinėlis 1, sumontuotas prieš konvejerį, ant jo sumontuotos žaliavos žymėjimo žvaigždės 2, iš viršaus sumontuotas velenėlis su prispaudimo ritinėliais 3 ir tarpe tarp žymėjimo ir prispaudimo ritinėlių esanti žaliavos juosta 4. Žymėjimas naudojamas abiejose žaliavos juostos pusėse tam, kad būtų galima identifikuoti įvairius juostos formos pakitimus, pvz. jos susitraukimą skersine kryptimi, taip pat galima aptikti, jei viena juostos pusė yra pasislinkusi į priekį arba atgal kitos atžvilgiu. Nors ši sistema ir yra itin paprasta bei pigiai įgyvendinama, ji turi ir trūkumų. Tokioje sistemoje galima naudoti tik vieno tipo žymėjimo seką, kuri būtų tiesiog tam tikrais atstumais esančios skylės žaliavoje, arba geriausiu atveju galima gauti kelių skirtingų atstumų seką, kurios ilgį riboja ritinėlio apskritimo ilgis. Bet tokiu atveju nebūtų įmanoma padaryti skirtingo žymėjimo tarkime tokiems atvejams, jei dėl kokių nors priežasčių būtų

poreikis štampuoti tik vienu iš dviejų štampu. Taip pat nebūtų galimybės kitaip pažymėti arba visai nežymėti žaliavos, jei ji staiga neatitiktų kokybės reikalavimų patikroje, vykstančioje po ekstrudiero. Būtent todėl reikia pagalvoti apie kitus žymėjimo būdus, o vienas jų – lazerinis žymėjimas.

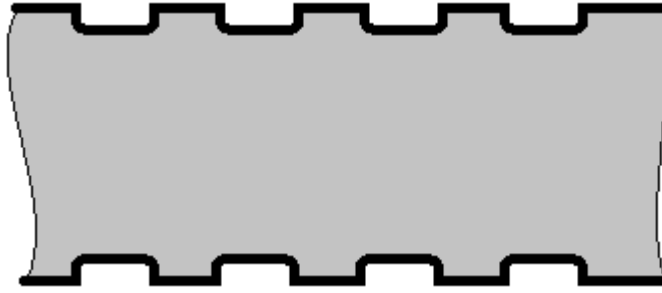


**4.1 pav.** Mechaninės žymėjimo sistemos modelis. 1 – žymėjimo ritinėlis, 2 – žymėjimo žvaigždės, 3 – prispaudimo ritinėliai, 4 – žaliavos juosta

Norint naudoti lazerinį žymėjimą galima įtaisyti lazerinio žymėjimo galvutę tiesiai virš žaliavos tiekimo tako, jos netgi nejudinant. Žinoma tokia konstrukcija būtų galima tik tuo atveju, jei žymima būtų ne kiaurai įpjauant žaliavos juostą, o tiesiog suploninant jos sluoksnį. Žymiai geresnis variantas būtų naudoti pavarą lazeriui viena ašimi judinti, kad būtų galima išpjauti iš žaliavinės juostos šono nedidelius žaliavos gabalėlius taip pažymint tam tikrą vietą. Tokio proceso eskizas pavaizduotas 4.2 pav., tokia sistema gautas rezultatas – 4.3 pav.



**4.2 pav.** Lazerinio žymėjimo eskizas. 1 – žaliavos juosta, 2 – lazerinės galvutės

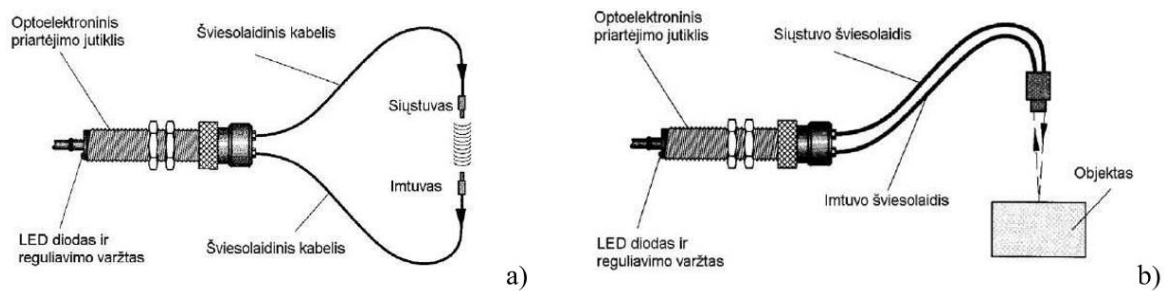


**4.3 pav.** Lazerinio žymėjimo metodu pažymėta žaliavos juosta

Kaip matome iš pateiktų žymėjimo variantų, kiekvienas turi savo teigiamus ir neigiamus aspektus, t. y. vienas (mechaninio žymėjimo) metodas pigesnis ir paprastesnis, kitas – gerokai lankstesnis ir padedantis užtikrinti kokybę. Taigi priklausomai nuo poreikių ir galimybių, galima rinktis tiek vieną, tiek kitą žymėjimo būdą. Bet turint galvoje, kad visa gamybos linija yra pakankamai brangi, rekomenduojama rinktis lazerinę žymėjimo sistemą, kuri užtikrintų geresnę gaminių kokybę ir sistemos lankstumą.

Nepriklausomai nuo to, kokią žymėjimo sistemą naudosime, reikalinga ir žymių nuskaitymo sistema. Nuskaitymo moduliai turi būti sumontuoti ant kiekvieno preso, abiejose pusėse, kad būtų galima tiksliai nustatyti, kurioje žaliavos juostos vietoje reikia atlikti šampavimo operaciją. Žymių nuskaitymui galima naudoti netgi kelių rūšių jutiklius, tokius kaip talpiniai jutikliai arba optiniai jutikliai. Vis tik pastarieji labiau tinkami šiuo atveju, nes įprastai vietos nustatymo sistemose naudojami būtent optiniai objektų judėjimo aptikimo metodai. Pavyzdžiui, dauguma enkoderių veikia naudodami optinius jutiklius. Pagal [28] optiniai jutikliai sudaryti iš šviesai jautraus komponento (fotoimtuvo), šviesos šaltinio ir optinės sistemos. Veikimo principas pagrįstas šviesos srauto jutiklio optinėje sistemoje pokyčiu dėl kontroliuojamo objekto mechaninio poslinkio [28]. Tai yra konkrečiai šiuo atveju jutiklis reaguotų į žaliavos juostos mechaninį poslinkį, dėl kurio jutiklis būtų uždengtas, arba po tam tikro laiko atidengtas, dėl anksčiau žymėjimo sistemos padarytų išpjovų ar skylių.

Kai kurie optiniai jutikliai būna naudojami kartu su šviesolaidžiais [28]. Tokie jutikliai naudingi, kai trūksta vietos, taip pat tokiais atvejais, kai jutiklio tvirtinimo vietą reikia nesunkiai keisti dėl galimų matuojamo objekto dydžio pasikeitimų. Tokio jutiklio pavyzdys pateiktas 4.4 pav. Pateikti du jutiklio variantai, kurių vienas (a) – su objekto matavimu tarp jutiklio siūstovo ir imtuvo, dar vadinamas šviesos barjero jutikliu, kitas (b) – kai tiek siūstovas, tiek imtuvas yra toje pačioje matuojamo objekto pusėje (difuzinis jutiklis).



**4.4 pav.** Optiniai jutikliai su šviesolaidžiais: a) šviesos barjero, b) difuzinis [28]

Būtent 4.4 pav. a) pavaizduotas jutiklis labiausiai tinka užduočiai įgyvendinti. Sumontavus po du tokius jutiklius ant kiekvieno preso ir surinkus iš jų gautus duomenis galima nesunkiai nuspręsti, kurioje žaliavos juostos vietoje yra presas, ir ar galima atlikti štampos operaciją.

## 4.2. Ruošinio defektų ir broko fiksavimo sistema

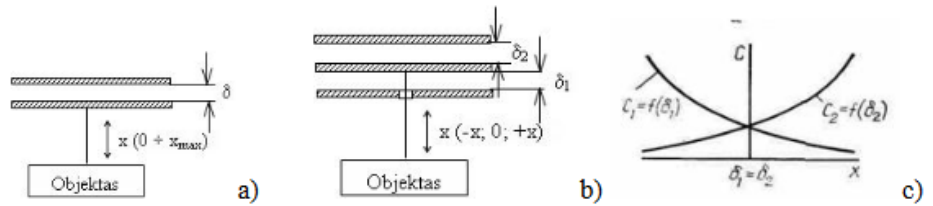
Pagal techninius reikalavimus gaminiai turi atitikti keliamus kokybės reikalavimus. Pagrindiniai reikalavimai susiję su gaminių storio tolygumu, neužpildytų tarpų nebuvimu ir pan. Kaip ir minėta ankstesniuose skyriuose, kokybės užtikrinimui naudojama žaliavos žymėjimo ir žymų nuskaitymo sistema, o tuo tarpu kokybės užtikrinimui galima naudoti talpinius jutiklius.

### Talpiniai jutikliai

„Talpinis jutiklis – tai kondensatorius, kurio talpa kinta, priklausomai nuo kontroliuojamo dydžio“ [28]. Šie jutikliai naudingi tuo, kad jais galima nesunkiai nustatyti virš jutiklio esančio daikto storį. Pats storis nustatomas pasitelkiant talpos matavimo metodą, kai matuojama aplink jutiklį esančios aplinkos elektrinė talpa. Ji priklauso nuo greta esančios medžiagos storio, o taip pat ir nuo pačios medžiagos rūšies, nes kiekviena medžiaga turi skirtingą elektrinę skvarbą, kuri ir yra pagrindinis parametras, leidžiantis nustatyti medžiagos tipą arba storį [18]. Pagal [28] talpiniai jutikliai gali būti:

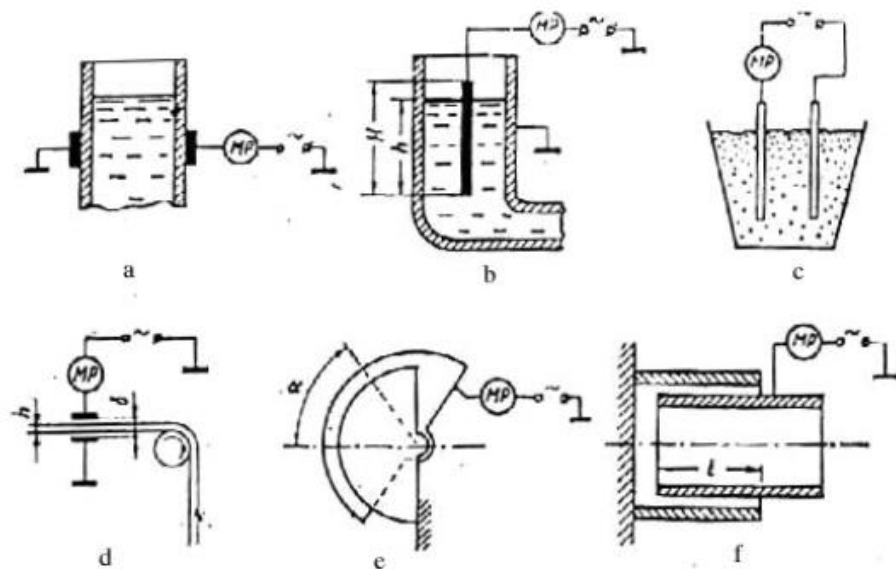
- su kintamu atstumu tarp plokštelių;
- su kintamu aktyviuoju plotu;
- su kintama dielektrine skvarba.

Kaip matyti iš 4.5 pav. a), nereversinis talpinis jutiklis sudarytas iš plokščio kondensatoriaus, kurio viena plokštelė sujungta matavimo strypu su objektu. Kintant matuojamam dydžiui, kinta kondensatoriaus plokštelių atstumo skirtumas  $\delta$ , nuo kurio kondensatoriaus talpa priklauso netiesiškai (4.5 pav., c). Tokiais jutikliais galima matuoti iki 1 mm poslinkius [28]. Reversinio jutiklio atveju matuojamas talpų, susidariusių dėl atstumų  $\delta_1$  ir  $\delta_2$  skirtumas.



**4.5 pav.** Talpinis jutiklis: a) nereversinis, b) reversinis (diferencialinis), c) jutiklio talpumo kitimo grafikas [28]

Talpiniais jutikliais su besikeičiančia dielektrine skvarba gali būti matuojamas nelaidžių elektros srovei skysčių lygis, izoliacinių medžiagų storis, birių medžiagų drėgnumas [28]. Kaip konkrečiai talpiniai jutikliai pritaikomi įvairiems matavimams pavaizduota 4.6 pav.



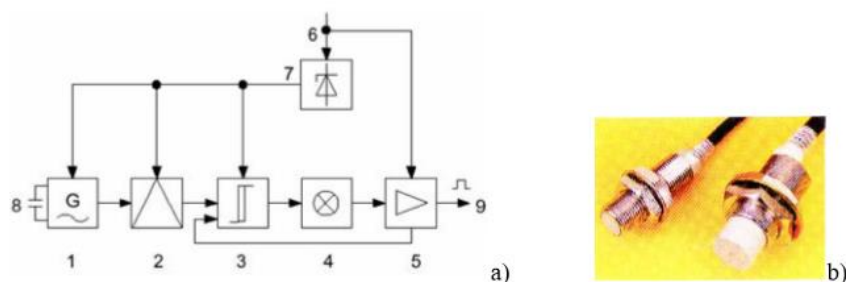
**4.6 pav.** Talpinių jutiklių panaudojimo pavyzdžiai: a – tirpalo koncentracijos matavimo schema, b – skysčių aukščio matavimo schema, c – medžiagų drėgnumo matavimo schema, d – izoliacinės juostos storio matavimo schema, e – posūkio kampo matavimo schema, f – tiesinio poslinkio matavimo schema [28]

Kaip matyti iš 4.6 pav. d pavaizduotos izoliacinės medžiagos matavimo schemas, toks matavimas gana gerai tiktų žaliavinės medžiagos defektų aptikimui, mat naudojama žaliava ir yra izoliacinė medžiaga elektrinio laidumo požiūriu. Bet tokio pobūdžio schema yra labiau teorinė, nes tokio tipo jutiklius gana sunku realizuoti, mat jie nėra labai dažnai reikalingi pramonėje, todėl ir



nėra labai paplitę. Todėl norint sistemą pagaminti iš standartinių elementų, reikia naudoti standartinius, prekyboje esančius diskretinius talpinius jutiklius (4.7 pav.).

Diskretinis talpinis jutiklis (4.7 pav.) kaip ir induktyvinis diskretinis jutiklis turi jautrų elementą, kuris įjungiamas į aukšto dažnio generatoriaus virpamąjį kontūrą. Keičiantis jautraus elemento 8 talpai, keičiasi ir generatoriaus signalo dažnis. Pasikeitus dažniui per demoduliatorių 2 sustiprintas signalas perduodamas į išėjimą 9 [28].



**4.7 pav.** Talpinis jutiklis: a – sandaros schema: 1 – aukšto dažnio generatorius, 2 – demoduliatorius, 3 – kompresorius, 4 – šviesos indikatorius, 5 – galios stiprintuvas su apsauga, 8 – jautrus elementas, 9 – išėjimo signalas, b – bendras vaizdas [28]

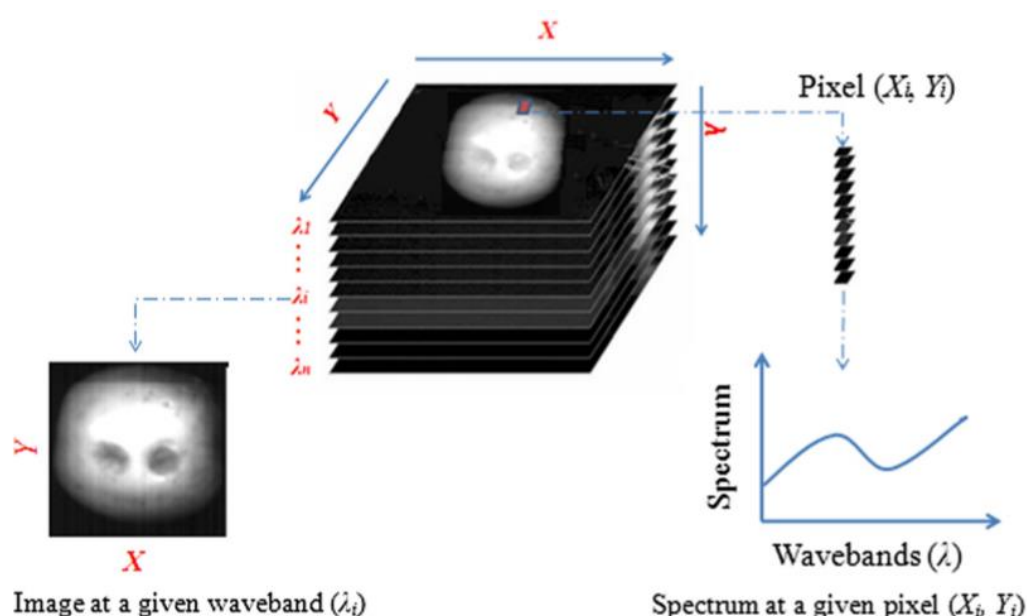
Talpiniai jutikliai pasižymi dideliu jautrumu ir mažais matmenimis bei mase, o tai dauguma atvejų yra privalumas. Taip pat šie jutikliai neturi judančių ar besitrinančių dalių. Kadangi šie jutikliai neinertiški, jais galima matuoti greitai besikeičiančius dydžius, pvz. vibracijas, pagreičius ir pan. Pagrindinis jutiklių trūkumas – maža talpa (10 – 100 pF). Todėl talpinė varža artima izoliacijos varžai, tad jutiklio išėjimo galia nedidelė. Šiems trūkumams kompensuoti naudojamas aukšto dažnio įtampos generatorius [28].

Prijungus prie sistemos talpinius jutiklius, iš jų gautą informaciją turi apdoroti valdymo sistema, priimdama sprendimą, ar gaminys kokybiškas, ar ne. Toliau praleidžiami turi būti tik kokybiški gaminiai, o neatitinkantys reikalavimų turi būti brokuojami.

Talpinius jutiklius taip pat nesunkiai galima panaudoti ir formos neatitikimų diagnozavimui. Čia puikiai pasitarnauja ta pati talpos matavimo funkcija. Tiesiog reikia valdymo sistemą apmokyti, koks gaminys yra tinkamos formos, o aptikus didesnę nukrypimą nuo išmoktų parametrų galima detalę brokuoti arba bent jau pažymėti kaip tokią, kurią turėtų apžiūrėti žmogus. Papildoma žmogaus apžiūra reikalinga todėl, kad automatinės sistemos nevisada šimtų procentų teisingai identifikuoja brokuotus gaminius, taip pat tikėtina, kad žmogus gali vienaip ar kitaip tą broką pataisyti.

## Hiperspektrinis vizualizavimas

Jei talpinių jutiklių tikslumo nepakanka, arba norint kokybę nustatyti dar tiksliau, galima pasitelkti ir sudėtingesnius metodus broko aptikimui. Vienas iš tokių būdų tai įprastai maisto pramonėje, ypač vaisių ir daržovių kokybės užtikrinimo sistemose naudojama hiperspektrinis vizualizavimas (angl. hyperspectral imaging). Šis metodas po truputį pradeda taikyti ir gamybos pramonėje, jau atsiranda įvairių tyrimų, kaip naudingai panaudoti šią technologiją nekokybiškų gaminių aptikimui. Štai vienas iš tokių tyrimų pavyzdžių pateikiamas [29] šaltinyje. Darbe tiriamos chemometrinių metodų galimybės išgauti reikšmingą informaciją apie medžio–plastiko kompozito gaminių parametrų kitimą pasinaudojant matomo ir artimojo infraraudonųjų spindulių spektriniais vaizdais. Reikšmingą informaciją sudaro defektų buvimo vieta ir jų pobūdis, taip pat produkto forma. Bet kad būtų aiškesnis vaizdas, pirmiausia reikia apžvelgti pačio metodo esmę.



**4.8 pav.** Hiperkubas, kuriame matomas ryšys tarp spektrinių ir erdvinių dimensijų [30]

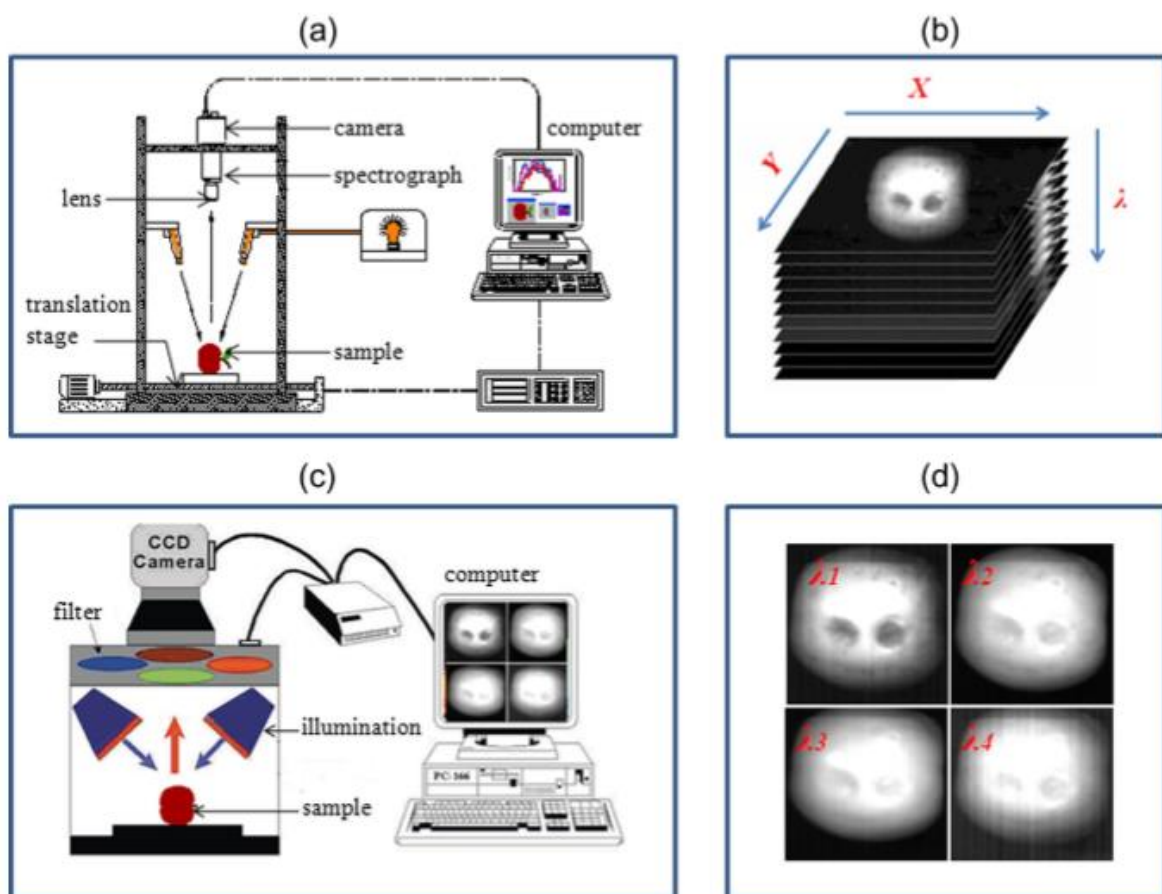
Hiperspektrinė analizė jau turi pritaikymą įvairiuose srityse, tokiose kaip astronomija, žemės ūkis, farmacija ir medicina. Tai kylanti technologija, integruojanti įprastinį vaizdų analizavimą ir spektroskopiją tam, kad būtų gauta tiek erdvinė, tiek spektrinė informacija iš tiriamo objekto. Gauti analizuojamo objekto vaizdai, įprastai vadinami hiperkubais (angl. hypercubes), yra trijų dimensijų duomenų masyvai, sudaryti iš daugelio gretimų bangų juostų (4.8 pav.). Taigi, kiekvieno pikselio spektras gali būti panaudojamas tai pozicijai charakterizuoti. Taip pat nesunkiai gali būti gauta paviršiaus funkcija, pasinaudojant erdviniais vaizdais. Yra du pagrindiniai būdai

hiperspektrinei analizei atlikti, tai „spoksančio žiūrėtojo“ (angl. „staring imager“) konfigūracija ir „stumiamos šluotos“ (angl. „push–broom“) metodas [30].

„Stumiamos šluotos“ metodas pagrįstas vienalaikiais spektriniais matavimais, atliekamais serijoje gretimų erdviųjų pozicijų. Tam pasiekti reikalingas tiriamo objekto ir detektoriaus judėjimas vienas kito atžvilgiu. Kai kurie įtaisai hiperspektrinius vaizdus sudaro remdamiesi žingsniavimo ir fiksavimo technika: spektras gaunamas viename bandinio taške, tada bandinys paslenkamas ir sudaromas dar vienas spektrinis vaizdas. Tokiu būdu gauti hiperkubai yra saugomi kaip pikseliais sluoksniuota grupė. Detektoriaus technologijos patobulinimai sumažino hiperkubų gavimo laiką. Linijinio kartografavimo įrankis įrašo kiekvieno pikselio spektrą kur kartu į masyvų detektorius įrašo jau ne pikselį, o visą bandinio eilutę. Taip gautas hiperkubas saugomas kaip eilutėmis sluoksniuota grupė. Hiperspektrinio vizualizavimo sistemos veikiančios „stumiamos šluotos“ metodu įprastai sudarytos iš objektyvo lęšio, spektrografo, kameros, duomenų surinkimo sistemos, slinkimo aikštelės, apšvietimo ir kompiuterio [30]. Aprašytu metodu paremta sistema vaizduojama 4.9 pav. (a), o hiperkubas, gautas naudojant šią sistemą pavaizduotas 4.9 pav. (b).

Vis dėlto „stumiamos šluotos“ metodu gautas hiperkubas yra labai didelis ir užima labai daug laiko jo informacijos apdorojimas. Be to, tokia sistema yra labai brangi. Būtent todėl nuolat ieškoma būdų, kaip sukurti pigią maisto produktų ir įvairių pramonės gaminių kokybės kontrolės sistemą. „Stumiamos šluotos“ metodas iš esmės yra geras metodas atlikti įvairiems tyrimams laboratorijoje, kur galima nustatyti, kurios konkrečios bangų juostos yra naudingiausios defektams aptikti. Tada belieka parinkti tinkamus filtrus, kad sistemą būtų galima naudoti realiu laiku, realiems objektams tikrinti [30].

Įprastai hiperspektrinė vizualizacija atliekama daugiaspektrės vizualizavimo sistemos dar vadinama „spoksančio žiūrėtojo“ konfigūracija, kuri remiasi vaizdo fiksavimo vietos išlaikymu ir nuosekliu vieno bangos ilgio vaizdų gavimu po kitų. Taip gauti hiperkubai sudaro trijų dimensijų vaizdų krūvą, kai vienam ištirtam bangos ilgiui tenka vienas vaizdas. Visa tai yra saugoma vadinamuoju nuosekliųjų diapazonų formatu (angl. band sequential format), kaip parodyta 4.9 pav. (d). Bangos ilgis „spoksančio žiūrėtojo“ konfigūracijoje paprastai sumažinamas naudojant reguliuojamus filtrus. Paprasčiausias būdas gauti vaizdus atskirame spektriniame regione yra panaudoti juostinį arba interferencinį filtrą prieš monochromatinės kameros lęšį. Hiperkubai taip pat gali būti sudaromi renkant spektrinių vaizdų serijas vieną po kito keičiant filtrus, esančius prieš kamerą [30]. Multispektrinė vaizdinių fiksavimo sistema, paremta besisukančiu filtru pavaizduota 4.9 pav. (c).



**4.9 pav.** Hiperspektrinio vizualizavimo sistema ir trijų dimensijų hiperkubas. (a) – hiperspektrinio vizualizavimo sistema, paremta „stumiamos šluotos“ metodu, (b) – hiperkubas, gautas „stumiamos šluotos metodu“, (c) – sistema, paremta „spoksančio žiūrėjo“ principu, (d) – „spoksančio žiūrėjo“ metodu gautas hiperkubas [30]

Kartu su vaizdų analize naudojant spektroskopiją, hiperspektrinis vizualizavimas duoda žymiai geresnius rezultatus, nei kiti šiuo metu naudojami vizualizavimo metodai, o tai ypač įdomu lyginant su kitomis technologijomis. Hiperspektrinė vizualizacija gali būti vykdoma atspindėjimo, perdavimo ar fluorescencijos metodais. Bet kiek plačiau bus aptartas atspindėjimo metodas, nes jis lengviau ir plačiau taikomas ir yra vienas iš perspektyviausių analitinių įrankių gaminių kokybės vertinimui [30].

Platesni tyrimai buvo atlikti maisto kokybės kontrolėje ir defektų paieškoje. Buvo iširta, kaip multispektrinio ir hiperspektrinio vizualizavimo technikos galėtų aptikti obuolių defektus. Buvo nustatyta, kokių dažnio juostų duomenis reikia fiksuoti tam, kad būtų galima nustatyti tokius defektus kaip nubrozdinimai, sumušimai, grybelis ir pan. Taip pat atlikta nemažai tyrimų aptinkant defektus ant pievagrybių, nematomus nubrozdinimus ant kivių vaisių, bandyta aptartą sistemą pritaikyti vaisių klasifikavimui pagal jų pažeidimus, tyrinėtas sistemos pritaikymas daugeliui kitų

maisto produktų, tarp kurių citrusiniai vaisiai, daržovės, arbata ir netgi kiauliena. Sistemos tobulinimui netgi pasitelkti dirbtiniai neuroniniai tinklai, tam kad būtų galima sudaryti tikrinimo modelius skirtingiems objektams [30]. Pagal pateiktus pavyzdžius galima teigti, kad nagrinėjama technologija yra tikrai plačiai pritaikoma. Nors dauguma taikymo pavyzdžių ir yra iš maisto pramonės, yra ir tyrimų, susijusių su gaminiais, gaminamais iš kompozicinių medžiagų. Vienas platesnių tyrimų pateikiamas [29].

Taigi hiperspektrinė vizualizacija yra labai efektyvus metodas, naudojantis tiek erdvinį pasiskirstymą, tiek cheminę sandarą tam, kad būtų pasiekta kuo geresnė gaminių kokybė. Ši technika gana plačiai naudojama įvairiose srityse defektuotiems objektams atpažinti, ypač plačiai taikoma maisto pramonėje. Vaizdų apdorojimo metodai ir tokie matematiniai algoritmai kaip dirbtiniai neuroniniai tinklai bei daugialypė tiesinė regresija leido gerokai pagerinti hiperspektrinio vizualizavimo metodo pritaikymo galimybes. Hiperkubuose galima rasti tiek spektrinę, tiek vaizdinę informaciją, o tai sudaro gana daug duomenų. Tiesa, šis gausus informacijos kiekis ir jos kompleksiskumas užima nemažai laiko norint visa tai apdoroti. Dėl šios priežasties hiperspektrinė vizualizacija atrodo labiau tinkama laboratoriniams tyrimams, kurių metu suradus atitinkamus parametrus ir nustatčius tinkamas dažnių juostas metodą galimapritaikyti konkrečiam kokybės nustatymo atvejui. Analizuojant tik kelis charakteringus vaizdus, gautus nustatytuose bangų diapazonuose galima žymiai sutrumpinti informacijos apdorojimo laiką, kas leidžia sistemą nesunkiai panaudoti pramonėje. Tuo tarpu vis dar yra kur tobulinti technologiją, siekiant ją atpiginti ir pagerinti [30].

### **Kokybės patikra**

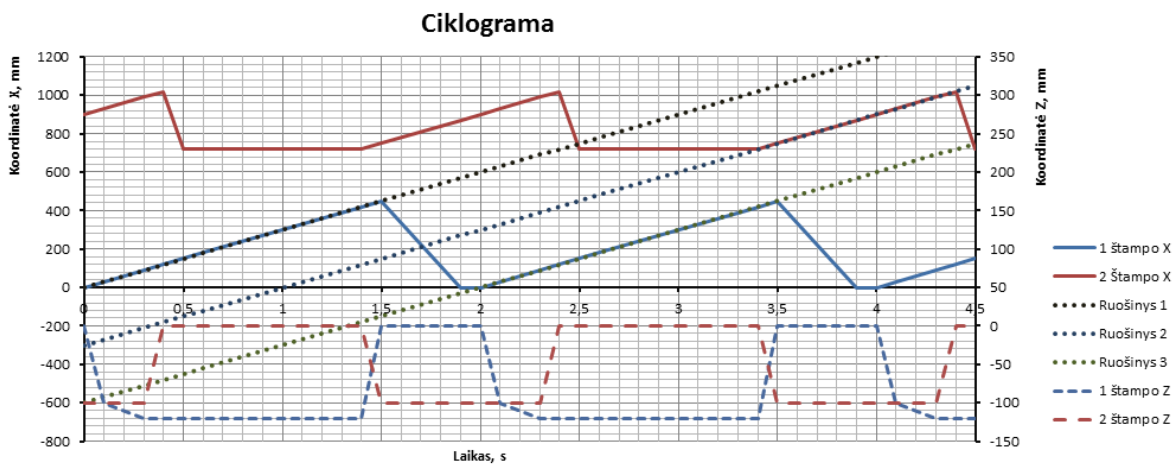
Apžvelgus kokybės patikros metodus lieka nuspręsti, kuris būdas ir kaip geriausiai gali pasitarnauti gaminamų produktų kokybės užtikrinimui. Aptarti talpiniai jutikliai lengviausiai būtų pritaikomi žaliavos patikrai prieš jai patenkant ant konvejerio. Galima naudoti specialiai pasigamintą jutiklį per visą žaliavos juostos plotį, kas būtų gana patogus. Tačiau naudingiau naudoti kelis ar kelioliką prekyboje paplitusių standartinių jutiklių, mat taip būtų lengviau aptikti defektus, atsirandančius tam tikroje juostos vietoje. Taip yra todėl, kad vienas jutiklis gali gauti tokius pat duomenis tiek juostai esant reikiamo storio, tiek vienam juostos kraštui šiek tiek pastorėjus, o kitam – suplonėjus. Tuo tarpu masyvas jutiklių, kurių kiekvienu fiksuojama tam tikra lokali juostos vieta būtų gerokai naudingiau šiuo atžvilgiu, nes leistų nustatyti net gana nedideliame žaliavos juostos plote atsiradusius defektus.

Minėtus talpinius jutiklius iš esmės galima naudoti ir jau pagamintus produktus, bet čia šios technologijos pritaikymas gana ribotas. Rimtesniam pritaikymui labiausiai trukdo tai, kad produktai gali būti ne tik plokšti, bet ir trijų dimensijų objektai, pvz. kažkas panašaus į lėkštę. Tokiu atveju talpiniai jutikliai leistų patikrinti tik gaminio apatinę plokščiąją dalį, kuri didžiąja dalimi

atvejų ir taip būtų kokybiška. O tuo tarpu didžiausią tikimybę turėti defektus turintys profilineiai paviršiai liks nepatikrinti. Būtent todėl, žymiai naudingiau būtų naudoti hiperspektrinę vizualizaciją, kurios pagalba galima nesunkiai nustatyti tokių objektų defektus. Naudojant šį metodą būtų nesunkiai nustatomi tokie defektai kaip įtrūkimai, atsiradę šampavimo metu, gaminio formos neatitikimai, taip pat netinkamo storio sritys, neužpildyti tarpai ir pan. Bet turint galvoje, kad ši technologija yra labai brangi, ją galima naudoti tik labai aukštos kokybės reikalaujantiems brangiems produktams arba tada, kai sistemos nešama nauda uždirbtų daugiau, nei jos neturėjimas.

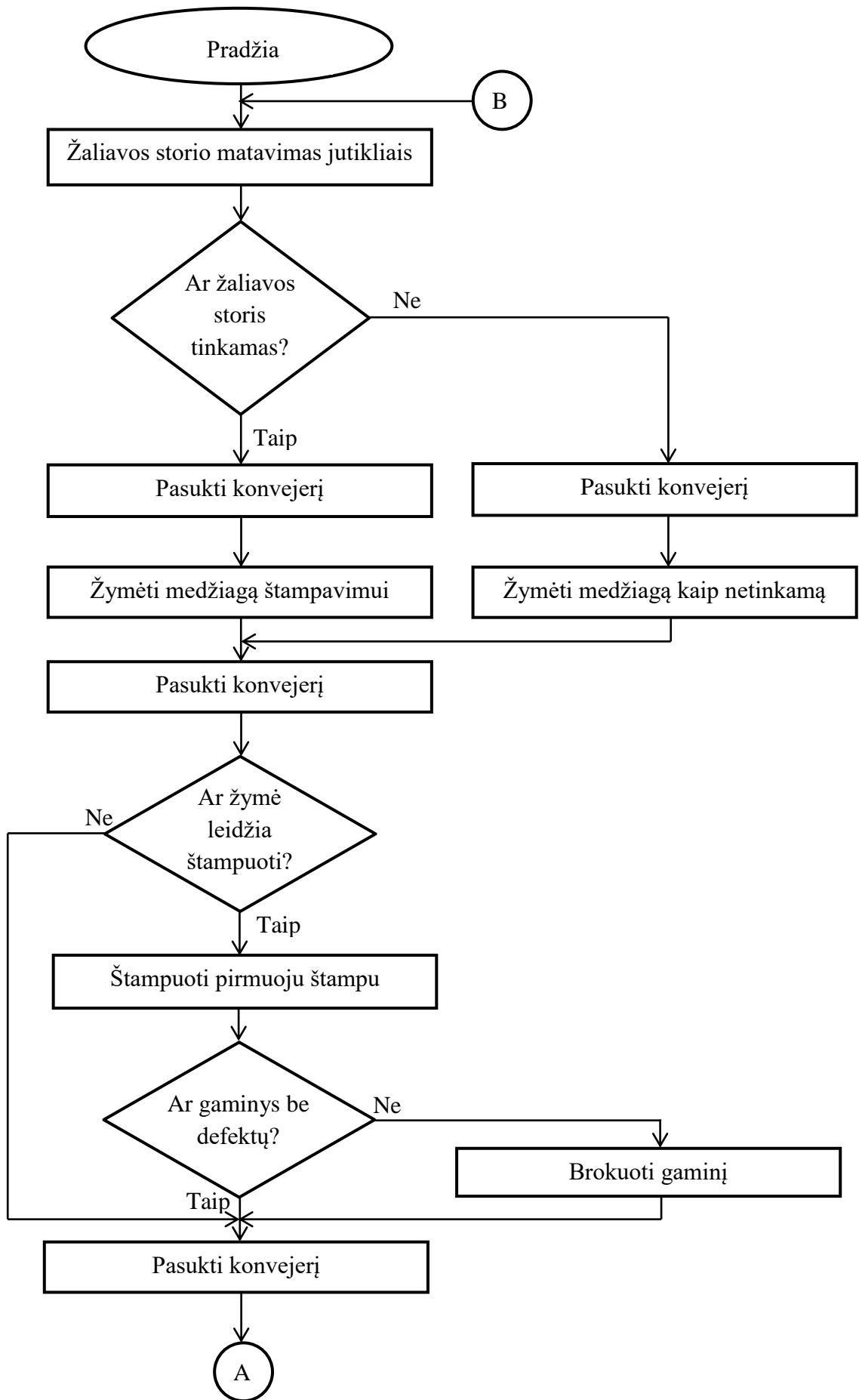
### 4.3. Galimi sistemos valdymo algoritmai

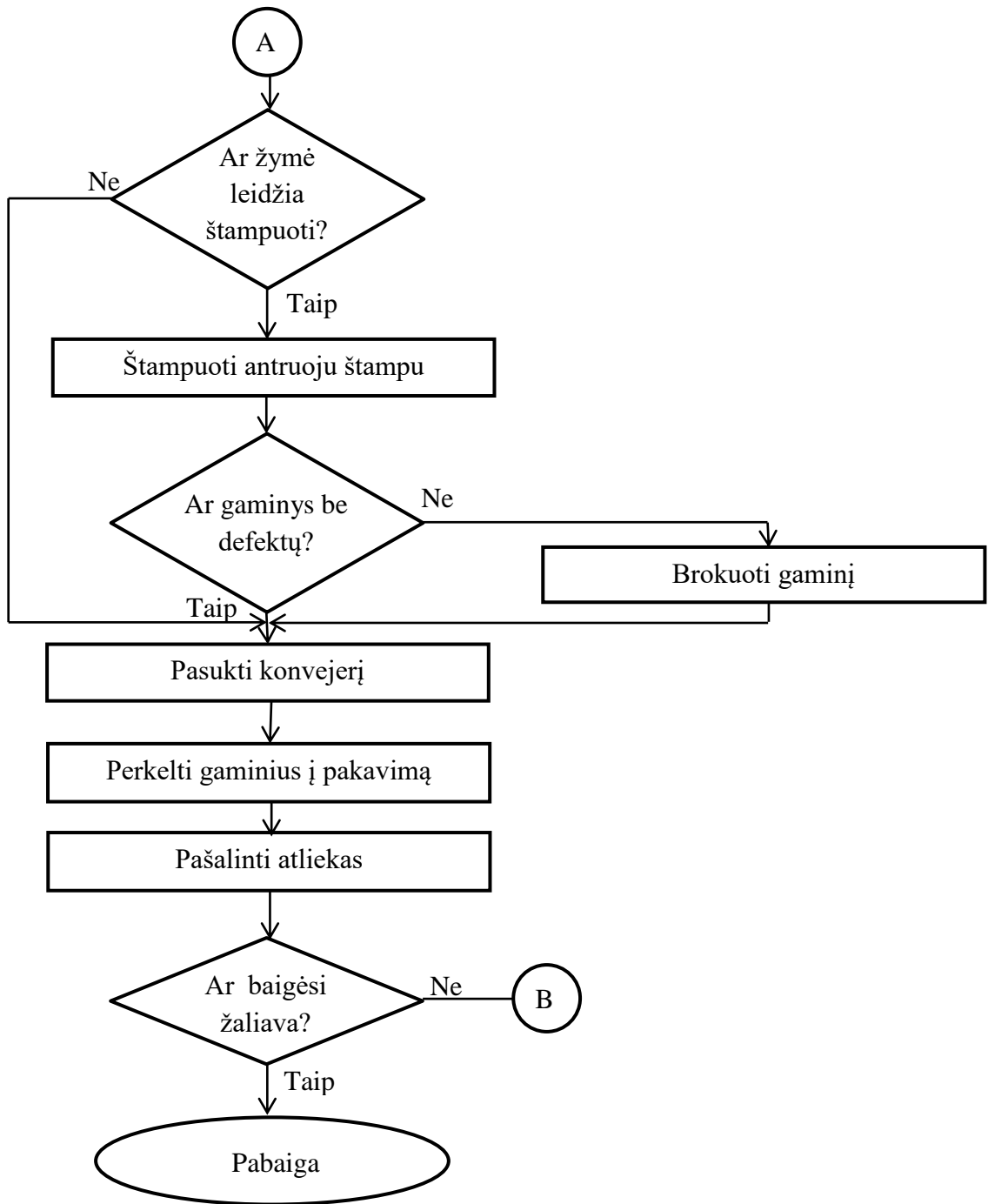
Kai jau aptarti visi gamybos linijoje naudojami komponentai ir įranga, galima pereiti prie sistemos valdymo algoritmų. Tai nėra labai sudėtinga, bet reikia atkreipti dėmesį į techninius reikalavimus ir technologinius niuansus, dėl kurių vienoks ar kitoks valdymo algoritmas gali veikti kitaip, nei tikimasi. Pirmiausia, norint sukurti valdymo algoritmą reikia žinoti, kas po ko eina pačiame procese. Tam bus naudojama ciklograma, kurioje matyti, kas kiek laiko trunka. 4.10 pav. pateikta pavyzdinė ciklograma su tokiais sistemos parametrais: žaliavos judėjimo greitis 0,3 m/s, šampavimo žingsnis 300 mm, pirmojo šampo užlaikymo laikas 1,3 s, antrojo – 0,8 s.



4.10 pav. Pavyzdinė ciklograma

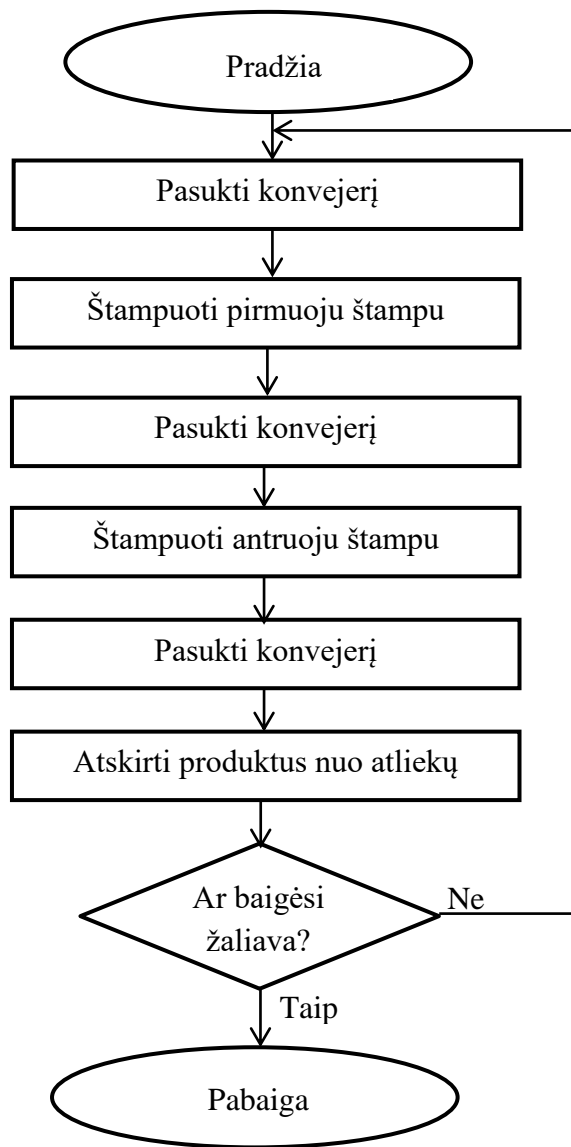
Ciklogramoje pavaizduotas pirmojo ir antrojo šampų judėjimas X ašies kryptimi, taip pat šampavimo įrankio judėjimas Z ašies kryptimi. Taip pat pavaizduotas žaliavos ruošinių judėjimas, kad vaizdžiau matytųsi, kuris presas apdoroja kurį ruošinį.





4.11 pav. Algoritmas su kokybės patikros sistema





**4.12 pav.** Algoritmas be kokybės patikros sistemos

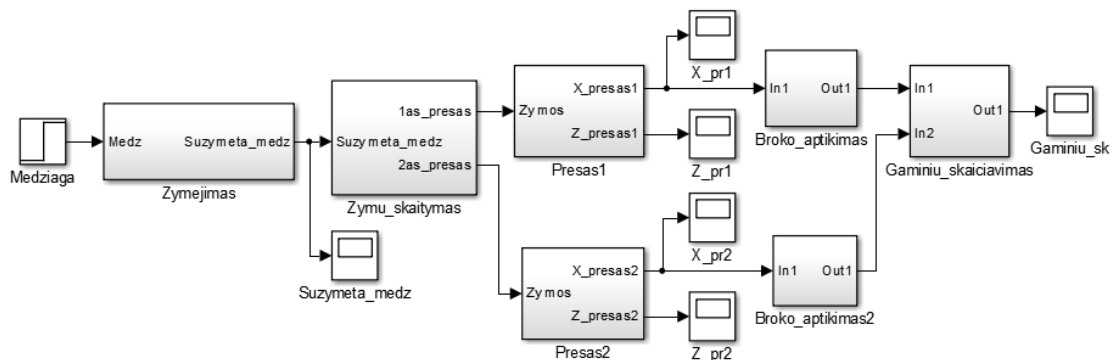
Valdymo algoritmai priklauso nuo to, kiek ir kokios įrangos iš gamybos linijos ketinama naudoti. Pagrindiniai algoritmai skirtąsi tik tuo, kad viename būtų kokybės patikrinimas, o kitame ne. Algoritmas su kokybės patikra pateikiamas 4.11 pav., be patikros – 4.12 pav.

Kaip matyti iš pateiktų algoritmų, nevykdant kokybės patikros sistemos valdymas yra labai paprastas, pakanka tikrinti, ar atkeliauja žaliava, o šį tikrinimą iš esmės gali vykdyti netgi žmogus. Bet kadangi gamybos linija turi būti visiškai automatizuota, reikalinga automatinė kokybės patikra, užtikrinanti sistemos darbą netgi be nuolatinės žmogaus priežiūros.

Kad būtų patikrinta, ar sukurtas algoritmas tikrai sugebės veikti taip, kaip numatyta, programos „Matlab Simulink“ pagalba buvo atlikta simuliacija. Buvo sukurtas kiek galima

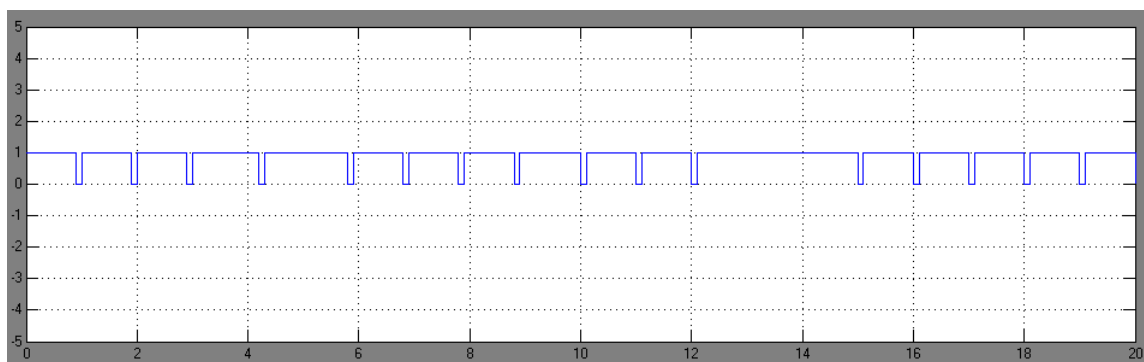
artimesnis sistemos modelis, ir tirta, ar algoritmui veikiant gaunama tokia pati ciklograma. Taip pat ištirtas ir kokybės nustatymo sistemos veikimas.

Pagrindinė sudėliotos sistemos schema pateikiama 4.13 pav. Iš jos matyti, kokios struktūrinės dalys sudaro sistemą.



4.13 pav. „Matlab Simulink“ schema

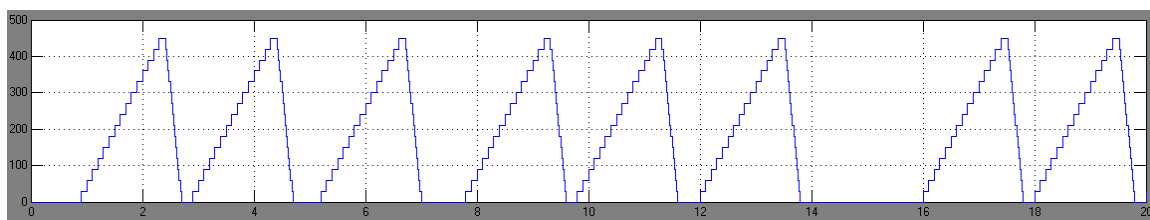
Kaip matyti iš schemos, valdymo sistema suskirstyta į dalis pagal tai, ką kuris blokas turi daryti. Žymėjimo bloke atliekama žaliavinės medžiagos patikra, ir jei ji yra tinkama gamybai, ji pažymima. Žyma uždedama kas ruošinio žingsnį. Žymėjimo dažnis pavaizduotas 4.14 pav. Žymėjimo dažnis nėra pastovus, nes kai kur aptinkami žaliavos „defektai“, kurie atsitiktiniu būdu generuojami tame pačiame žymėjimo bloke.



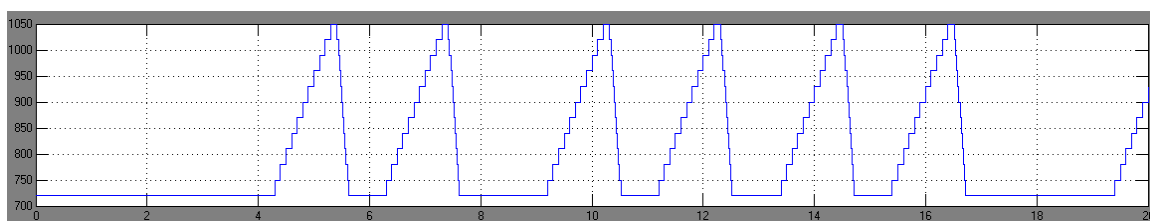
4.14 pav. Medžiagos žymėjimo dažnio grafikas. Horizontalioje ašyje pavaizduotas laikas, sekundėmis

Žymų skaitymo blokas skirsto žymas kiekvienam presui. Realioje sistemoje tai turėtų būti atskiri jutikliai prie kiekvieno presu, bet dėl programos specifikos, šiuo atveju sudarytas vienas bendras blokas žymų skaitymui, kur kartu atliekama ir uždelsimas dėl atstumo, kurį turi nueiti žaliava iki presavimo vietos.

Blokuose „Presas1“ ir „Presas2“ atliekamas štampo judėjimas X ašies kryptimi ir presavimo įrankių judėjimas Z ašies kryptimi. Visa tai atliekama pagal iš žymų skaitymo bloko gautą signalą. Presų X koordinatės rezultatai pateikiami 4.15 ir 4.16 pav.

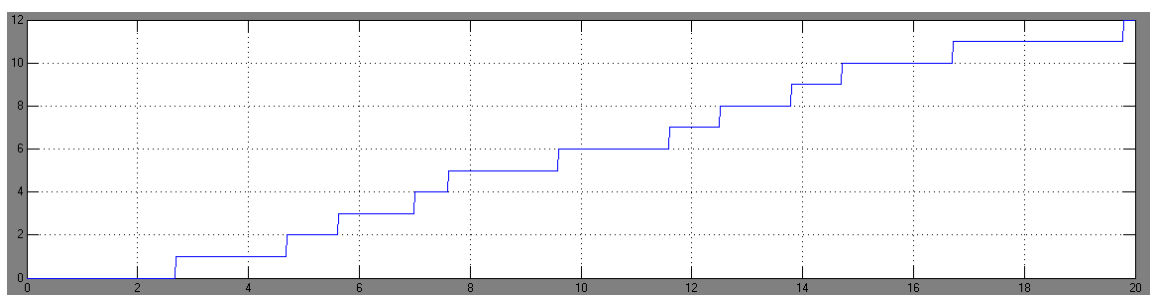


**4.15 pav.** Pirmojo presų X koordinatės (vertikaloji ašis) priklausomybė nuo laiko (horizontalioji ašis)



**4.16 pav.** Antrojo presų X koordinatės (vertikaloji ašis) priklausomybė nuo laiko (horizontalioji ašis)

Dar valdymo sistemoje naudojami broko aptikimo ir gaminių skaičiavimo blokai. Broko aptikimo blokuose yra ir pati atsitiktinių broko atvejų generavimo posistemė. Gaminių skaičiavimo blokas labiau skirtas patogumui, ir parodo, kiek gaminių yra pagaminta kiekvienu laiko momentu. Gaminių skaičiaus grafikas pateikiamas 4.17 pav.



**4.17 pav.** Gaminių skaičiaus (vertikaloji ašis) grafikas (horizontaliojoje ašyje – laikas sekundėmis)

Kaip matyti iš pateiktų simuliacijos rezultatų, algoritmas veikia pakankamai gerai, nes presų koordinatės atitinka ciklograme pavaizduotas reikšmes. Tarpai tarp presavimo procesų atsiranda dėl defektų aptikimo sistemos aptinkamų netinkamų žaliavos ruožų. Sistema žymi žaliavą kaip tinkamą tik tada, kai visas vieno žingsnio atstumas yra tinkamas presavimui.

#### **4.4. Išvados**

Skyriuje apžvelgtos žaliavinės medžiagos žymėjimo ir defektų aptikimo technologijos. Žaliavos defektų aptikimui parinktas storio matavimas talpiniais jutikliais, produktų defektų nustatymui – hiperspektrinė analizė. Sukurtas valdymo algoritmas, panaudojantis defektų analizės posistemę tam, kad būtų efektyviau išnaudojama žaliava. Atlikta simuliacija parodė, kad algoritmas veikia. Jis apsaugo nuo defektų ir prieš presavimą, kartu atrinkdamas brokuotus gaminius, kurių brokas atsirado gamybos proceso metu. Dėl šių priežasčių žaliava išnaudojama efektyviau, nes gaminiai neštampuojami iš netinkamos medžiagos, be to, nereikalingas žmogus produktų kokybei užtikrinti.

## **Išvados ir pasiūlymai**

Atliekant darbą buvo sukurta valdymo sistema, optimaliai išnaudojanti žaliavą, stebinti žaliavos ir gaminių kokybę. Apžvelgtos įvairios technologijos ir parinktos tinkamiausios tam, kad galima būtų tai įgyvendinti. Taigi atliktos šios užduotys:

1. sukurta konvejerinė kompozicinės medžiagos transportavimo iki presų ir tarp presų sistema;
2. sukurtas valdymo algoritmas, užtikrinantis produktų kokybę ir leidžiantis optimaliai bei efektyviai išnaudoti žaliavą;
3. atlikti tyrimai konvejerio juostos parinkimui ir valdymo algoritmo patikrinimui:
  - 1) pirmasis tyrimas leido išrinkti tinkamiausią konvejerio juostą (pasirinkta PVC juosta);
  - 2) antrojo tyrimo metu įsitikinta, kad sukurtas algoritmas veikia, taip pat vaizdžiau pateikta kokybės kontrolės sistemos nauda, nes matoma, jog presas gaminius štampuoja tik iš kokybiškos žaliavos, o aptikta netinkama žaliava nenaudojama taip sutaupant energijos, kuri būtų sunaudota brokuotam gaminiui pagaminti.

Taigi gamybos linija buvo gerokai patobulinta, visi iškelti tikslai pasiekti.

## Literatūra

1. GAILIUS, Albinas. *Kompozitinės medžiagos ir dirbiniai energetiškai efektyvių pastatų statybai: mokomoji knyga*. Vilnius: Technika, 2012. ISBN 978-609-457-177-0
2. KLYOSOV, Anatole A. *Wood-plastic Composites*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2007. ISBN 978-0-470-14891-4
3. SWIFT, K. G., J. D. BOOKER. *Process Selection. From design to manufacture. Second edition*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2003. ISBN 0 7506 5437 6
4. *Laser Marking Systems*. [Interaktyvus]. 2013 [Žiūrėta 2016-04-07]. Prieiga per: <http://www.lasermarkingsystems.net/>
5. *Elinta*. [Interaktyvus]. 2009 [Žiūrėta 2016-03-16]. Prieiga per: [http://www.elintosprekyba.lt/lt/m/jutikliai\\_858-padeties\\_jutikliai\\_865-talpuminiai\\_padeties\\_jutikliai\\_883-ifm\\_electronic](http://www.elintosprekyba.lt/lt/m/jutikliai_858-padeties_jutikliai_865-talpuminiai_padeties_jutikliai_883-ifm_electronic)
6. *K.K. Machinery & Engineering Co., LTD*. [Interaktyvus]. 2011 [Žiūrėta 2016-03-16]. Prieiga per: <http://kk-machine.com/flexible%20roller.html>
7. *Potomac Rubber Company Inc*. [Interaktyvus]. 2015 [Žiūrėta 2016-03-16]. Prieiga per: [http://www.potomacrubber.com/conveyor\\_beltting.html](http://www.potomacrubber.com/conveyor_beltting.html)
8. *Interroll*. [Interaktyvus]. 2016 [Žiūrėta 2016-04-12]. Prieiga per: [http://www.interroll.us/fileadmin/products/en-US/Resources\\_pdf\\_342533259.pdf](http://www.interroll.us/fileadmin/products/en-US/Resources_pdf_342533259.pdf)
9. *Interroll*. [Interaktyvus]. 2016 [Žiūrėta 2016-04-12]. Prieiga per: <http://www.interroll.us/products/rollers/conveyor-rollers/>
10. *SKF*. [Interaktyvus]. 2016 [Žiūrėta 2016-04-12]. Prieiga per: <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/principles/friction/estimating-frictional-moment/index.html>
11. *SKF*. [Interaktyvus]. 2016 [Žiūrėta 2016-04-12]. Prieiga per: <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/bearing-units/roller-bearing-units/roller-bearing-units-general/equivalent-dynamic-bearing-load/index.html>
12. *PVC*. [Interaktyvus]. 2011 [Žiūrėta 2016-04-12]. Prieiga per: <http://www.pvc.org/en/p/specific-gravity-density>
13. TITOW, W. V. *PVC technology*. New York: Springer, 1984. ISBN 978-0-85334-249-6.
14. The University of Auckland. *Solid Mechanics part I*. [Interaktyvus]. 2015 [Žiūrėta 2016-04-12]. Prieiga per: [http://homepages.engineering.auckland.ac.nz/~pkel015/SolidMechanicsBooks/Part\\_I/BookS\\_M\\_Part\\_I/08\\_Energy/08\\_Energy\\_02\\_Elastic\\_Strain\\_Energy.pdf](http://homepages.engineering.auckland.ac.nz/~pkel015/SolidMechanicsBooks/Part_I/BookS_M_Part_I/08_Energy/08_Energy_02_Elastic_Strain_Energy.pdf)

15. Vinidex. [Interaktyvus]. 2013 [Žiūrėta 2016-04-12]. Prieiga per:  
<http://www.vinidex.com.au/technical/material-properties/pvc-properties/>
16. DILIŪNAS, Saulius ir kt. *Skerspjuvio geometrinės charakteristikos: paprastai ir ne tik*. Kaunas: Technologija, 2013. ISBN 978-609-02-0969-1
17. Transtecno. *The Modular Gearmotor*. [Interaktyvus]. 2016 [Žiūrėta 2016-04-20]. Prieiga per: [www.transtecno.com](http://www.transtecno.com)
18. MASIOKAS, Stanislovas. *Elektrotechnika: vadovėlis*. Kaunas: Candela, 1994. ISBN 9986400007
19. BEVI. [Interaktyvus] 2015 [Žiūrėta 2016-04-20]. Prieiga per:  
[http://www.bevi.se/download/trycksaker/BEVI\\_4A23D2.pdf](http://www.bevi.se/download/trycksaker/BEVI_4A23D2.pdf)
20. SKF. [Interaktyvus] 2016 [Žiūrėta 2016-04-20]. Prieiga per:  
<http://www.skf.com/lt/products/index.html>
21. PATRICK M. McGUIRE, P.E. *Conveyors. Application, Selection, and Integration*. Taylor and Francis Group, LLC, 2010. ISBN 978-1-4398-0388-2
22. ZHAO, Z., Y. PENG. Development of a Practical Blank Layout Optimization System for Stamping Die Design. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2002, 20, 357-362.
23. NYE, T. J. Stamping Strip Layout for Optimal Raw Material Utilization. *Journal of Manufacturing Systems*, 2000, 19(4), 239-248.
24. GUNTAR, G., K. KUZMAN. Optimization of stamping process aiming at maximal process stability. *Journal of Materials Processing Technology*, 2005, 167, 237-243
25. *Javelin BlankNest*. [Interaktyvus]. 2011 [Žiūrėta 2016-04-26]. Prieiga per:  
<http://www.javelin-tech.com/main/products/pdf/blanknest.pdf>
26. *FTI BLANKNEST*. [Interaktyvus]. 2011 [Žiūrėta 2016-04-26]. Prieiga per:  
<http://www.forming.com/images/stories/specsheets/blanknest.pdf>
27. *FTI CATNEST*. [Interaktyvus]. 2011 [Žiūrėta 2016-04-26]. Prieiga per:  
<http://www.forming.com/images/stories/specsheets/catnest.pdf>
28. PLESKAS, Stanislovas. *Mechatronikos komponentai. Mokomoji knyga*. Vilnius, 2010. ISBN 978-609-408-057-9
29. GOSELIN, Ryan, Denis RODRIGUE, Carl DUCHESNE. A hyperspectral imaging sensor for on-line quality control of extruded polymer composite products. *Computers & Chemical Engineering*, 2011, 35(2), 296-306.
30. CHEN, Quansheng, Chaojie ZHANG, Jiewen ZHAO, Qin OUYANG. Recent advances in emerging imaging techniques for non-destructive detection of food quality and safety. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2013, 52, 261-274, ISSN 0165-9936