

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
REGIONŲ PLĖTROS INSTITUTAS

SIMONA BUKANTAITĖ

Mechanikos inžinerijos studijų programos studentė

**DVIRAČIŲ GAMYBOS PROCESO MODERNIZAVIMO
EFEKTYVUMO TYRIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

Vadovas

Doc. dr. D. Čikotienė

ŠIAULIAI, 2019

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
REGIONŲ PLĖTROS INSTITUTAS

TVIRTINU

Instituto vadovė

Dr. Lina Garšvienė

2019 06

**DVIRAČIŲ GAMYBOS PROCESO MODERNIZAVIMO
EFEKTYVUMO TYRIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

Vadovas

Doc. dr. D. Čikotienė

2019-06

Recenzentas

ŠU

Regionų plėtros instituto

Lekt. dr. A. Sabaliauskas

2019-06

Atliko

MM-17 gr. stud.

S. Bukantaitė

2019-06

ŠIAULIAI, 2019

TVIRTINU
Inžinerinių studijų programų komiteto pirmininkas
_____ Dainius Balbonas
2018 m. gruodžio mėn. 11 d.

MAGISTRO DARBO UŽDUOTIS

Išduota magistrantui: Simonai Bukantaitei

Darbo tema: Dviračių gamybos proceso modernizavimo efektyvumo tyrimas

Patvirtinta katedros posėdžio protokolu Nr. INZK-3-18.

1. Darbo tikslas

Skaičiavimais nustatyti galimybę modernizuoti srautinio valymo šratais darbo vietą dviračių gamykloje bei parinkti optimalesnį modernizavimo būdą.

2. Darbo struktūra

1. Įvadas.
2. Literatūros apie modernizavimo, pažangių technologijų taikymą, apžvalga.
3. Tiriamo proceso analizė, fizikinių ir ergonominių veiksnių nustatymas, modernizavimo galimybių apžvalga.
4. Tyrimo rezultatai: modernizacijos įvertinimas, modernizavimo būdo parinkimo pagrindimas, simuliacijų sukūrimas.
5. Išvados.
6. Literatūros sąrašas.

Darbo pateikimo terminas 2019 m. gegužės mėn. 31 d.

Užduotį gavau _____ Simona Bukantaitė _____ 2018-12-11
(magistranto vardas, pavardė) (parašas, data)

Vadovas _____ Dalia Čikotienė _____ 2018-12-11
(pareigos, vardas, pavardė) (parašas, data)

Bukantaitė S. Effectiveness study of bicycle factory process modernization: Master's Work in Mechanical Engineering / supervisor doc. dr. D. Čikotienė; Šiauliai University, Research Institute, 2019, 50 p.

SUMMARY

Every company has the intention to produce the best quality product and get the highest profit. In the 21st century, it has become much harder to stay competitive because consumers have a large selection of equivalent goods. This article analyses company's X growth in reference to the shot blasting process in order to investigate if modernization is feasible.

Tests of shot blasting work place safety were carried out and all information submitted according professional risk identification card. Current situation was analyzed. Calculations were made to investigate if the robotisation is profitable, how long it will take until investments will pay off. Two possible modernizations were analyzed – fully and partly robotic processes. Virtual simulations of robotic lines were prepared with Visual Components software. Research of possible robotic line improvement to save place in factory was made.

Keywords: modernization, shot blasting, robotisation, virtual manufacturing.

Bukantaitė S. Dviračių gamybos proceso modernizavimo efektyvumo tyrimas: Mechanikos inžinerijos magistro darbas / mokslinis vadovas doc. dr. D. Čikotienė; Šiaulių universitetas, Regionų plėtros institutas, 2019, 50 p.

SANTRAUKA

Kiekvieno verslo tikslas – kuo didesnis pelnas, aukšta gaminių kokybė bei plėtra. XXI-ajame amžiuje vyraujant ypač konkurencingai rinkai, šį tikslą pasiekti yra vis sunkiau. Todėl įmonės turi priimti perspektyviausius ir našiausius darbo procesų sprendimus. Vienas tokių – gamybos operacijų modernizavimas. Šiame magistro baigiamajame darbe analizuotas kompanijos X augimas ir tirta vienos iš gamybos operacijų (srautinio valymo šratais) modernizavimo galimybė.

Atliktas srautinio valymo šratais darbo vietos profesinės rizikos vertinimas, išanalizuota esama situacija. Darbe pateikiami skaičiavimai, įrodantys operacijos modernizavimo naudingumą, apskaičiuotas investicijų atsipirkimo laikotarpis, palyginti du galimi modernizacijos būdai – visiškai ir iš dalies robotizuoti procesai. Pateikta virtuali gamybos linija, kuri sumodeliuota su *Visual Components* programa. Tirtas optimalus modernizuotos linijos išdėstymas.

Prasminiai žodžiai: modernizavimas, srautinis valymas šratais, robotizacija, virtuali gamyba.

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS	7
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	8
IŽANGA.....	10
1. LITERATŪROS APŽVALGA	12
2. TYRIMO APŽVALGA	23
3. TYRIMO REZULTATAI.....	28
3.1. Modernizacijos įvertinimas	28
3.2. Modernizacija <i>Robotas-žmogus</i>	30
3.3. Modernizacija <i>Robotas-robotas</i>	36
3.4. Modernizacijų palyginimas	38
3.5. Atsiperkamumo patikrinimas skaičiuoklėmis	40
3.6. Vizualus patikrinimas	43
4. IŠVADOS	46
PUBLIKACIJOS, PRANEŠIMAI.....	47
LITERATŪRA	48

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Pagrindinėms technologijoms gaminti naudojamų cheminių ir pažangių medžiagų pavyzdžiai.....	17
1.2 lentelė. <i>Industry 4.0</i> augimas ir plėtra su dabartinėmis pagrindinėmis koncepcijomis.....	22
2.1 lentelė. Švarumo klasės	25
2.2 lentelė. Veiksnių nustatymas	27
3.1.1 lentelė. Darbdavio išlaidos atlyginimams.....	28
3.1.2 lentelė. Išlaidos, nmodernizuojant operacijos.....	30
3.2.1 lentelė. <i>KR 60-3</i> roboto apkrovos duomenys	31
3.2.3 lentelė. Išlaidos (<i>Robotas-žmogus</i>).....	33
3.3.1 lentelė. Išlaidos (<i>Robotas-robotas</i>).....	37
3.4.1 lentelė. Išlaidos (10, 15, 20 metų)	38
3.4.2 lentelė. Sutaupymas (10, 15, 20 metų)	39

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. BVP augimas Lietuvoje 2018 metų I–III ketvirčiais.....	10
1.1 pav. Laikas, per kurį 100 milijonų vartotojų pradeda naudotis technologijomis ir taikomosiomis programomis.....	13
1.2 pav. Darbo automatizavimo poveikis tam tikrose pramonės šakose.....	13
1.3 pav. Daiktų interneto galima ekonominė nauda per metus 2025 m.	15
1.4 pav. Pagrindinės kliūtys taikyti pramonės internetą.....	16
1.5 pav. Investicijos į energijos gamybos pajėgumą 2008–2015 m.	18
1.6 pav. Devynios pagrindinės technologijos naujovės.....	19
2.1 pav. Darbuotojų skaičius nuo 2017-09-01 iki 2018-08-31.....	23
2.2 pav. Vaizdinės gairės švarumo klasės nustatymui	24
2.3 pav. Srautinio valymo šratais operacijos darbo vieta	26
3.1.1 pav. Srautinio valymo šratais operacijos apšvietimas	29
3.2.1 pav. Industrinis robotas <i>KR 60-3</i>	31
3.2.2 pav. Kabyklos modelis	32
3.2.3 pav. Esamos operacijos išdėstymas.....	34
3.2.4 pav. Modernizuotos <i>Robotas-žmogus</i> operacijos išdėstymas.....	34
3.2.5 pav. Planuojamas metinis pasaulinis industrinių robotų panaudojimas remiantis TRF	36
3.3.1 pav. Modernizuotos <i>Robotas-robotas</i> operacijos išdėstymas.....	37
3.4.1 pav. Išlaidos (10, 15, 20 metų)	39
3.4.2 pav. Sutaupymas (10, 15, 20 metų).....	40
3.5.1 pav. Duomenų įvedimas į <i>ROI Robot System Value Calculator</i> skaičiuoklę.....	40
3.5.2 pav. Išlaidų suvedimas į <i>ROI Robot System Value Calculator</i> skaičiuoklę	41
3.5.3 pav. Rezultatai (<i>ROI Robot System Value Calculator</i> skaičiuoklė)	41
3.5.4 pav. Sutaupymai (<i>ROI Robot System Value Calculator</i> skaičiuoklė)	42
3.5.5 pav. Grafikas, parodantis atsipirkimo laikotarpį	42
3.6.1 pav. Modernizuota srautinio valymo šratais darbo vieta (<i>Robotas-žmogus</i>), sukurta su <i>Visual Components</i> (priekis)	43
3.6.2 pav. Modernizuota srautinio valymo šratais darbo vieta (<i>Robotas-žmogus</i>), sukurta su <i>Visual Components</i> (viršus).....	44
3.6.3 pav. Modernizuota srautinio valymo šratais darbo vieta (<i>Robotas-robotas</i>), sukurta su <i>Visual Components</i> (priekis)	45

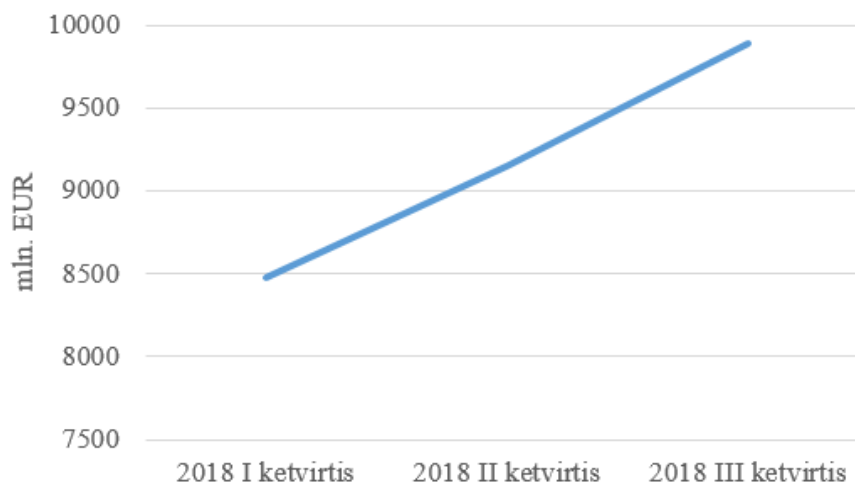
3.6.4 pav. Modernizuota srautinio valymo šratais darbo vieta (*Robotas-robotas*), sukurta su *Visual Components* (viršus).....45

IŽANGA

Šiame magistro baigiamajame darbe aprašytas atliktas dviračių gamybos proceso modernizavimo efektyvumo tyrimas, atsižvelgiant į paskutinių finansinių metų laikotarpio (nuo 2017 rugsėjo 1 d. iki 2018 rugpjūčio 31 d.) įmonės augimą.

Vis sparčiau vykstant ketvirtosios pramonės revoliucijos diegimui įmonėse, kiekviena bendrovė siekia rasti tinkamiausią modernizacijos sprendimą. Darbo temos problematika – tyrimų apie dviračių gamybos proceso modernizavimą stoka. Pasirinktas nagrinėjamas procesas yra srutinio valymo šratais operacija. Darbo idėjai įgyvendinti privalu išanalizuoti esamą situaciją ir galimus jos robotizavimo pasirinkimus – visiškai robotizuotas procesas ir iš dalies robotizuotas procesas. Darbu siekiama išsiaiškinti, ar modernizacija yra įmanoma pagal dabartinį gamybos intensyvumą ir ar ji bus naudinga finansiniu požiūriu. Svarbu nustatyti, kiek laiko truks, kol didelės išlaidos pagaliau atsipirks įmonei. Darbe aprašomas atliktas virtualus modernizuotos vietos kūrimas su *Visual Components* programine įranga ir atlikta užimamos darbo vietos ploto analizė.

Kiekvienos pramoninės įmonės tikslas yra geriausios kokybės gaminiai ir didžiausias galimas pelnas. XXI-ajame amžiuje vis sunkiau išlikti konkurencingoje rinkoje, nes vartotojai gali rinktis iš plataus gamintojų spektro. Remiantis Lietuvos statistikos departamento duomenimis, praėjusiais metais Lietuvos ekonomika augo – vien praėjusių metų pirmojo ir trečiojo ketvirčių bendrojo vidaus produkto (BVP) skirtumas yra 1,4 mlrd. Eur augimas [20].



1 pav. BVP augimas Lietuvoje 2018 metų I–III ketvirčiais

BVP yra vienas iš pagrindinių rodiklių, kuris parodo šalies ekonomikos išsivystymo lygį. Bendrasis vidaus produktas yra apibrėžiamas kaip galutinė prekių ir paslaugų, sukurtų šalyje, rinkos vertė per tam tikrą laiko tarpą [12]. Kylantis BVP konstatuoja gamybos augimą šalyje. Norint padidinti gamybos mastus, kompanijos privalo ieškoti naujų sprendimų, modernizacijos galimybių. Šiame

magistro baigiamajame darbe apžvelgiama dviračių gamyklos modernizacijos galimybė, atsižvelgiant į paskutinio laikotarpio įmonės augimą.

Tyrimo objektas.

Srautinio valymo šratais darbo vieta.

Tyrimo tikslas.

Skaičiavimais nustatyti galimybę modernizuoti srautinio valymo šratais darbo vietą dviračių gamykloje ir parinkti optimaliausią modernizavimo būdą.

Tyrimo uždaviniai.

1. Išnagrinėti IV-osios pramonės revoliucijos plėtrą ir eigą.
2. Išnagrinėti esamą įmonės X situaciją, remiantis turimais duomenimis.
3. Aprašyti du galimus srautinio valymo šratais operacijos modernizavimo būdus.
4. Pateikti išlaidų, reikiamų modernizacijoms, skaičiavimus ir nustatyti modernizacijų atsiperkamumo laikotarpius.
5. Sudaryti tiriamos darbo vietos modernizavimo vizualizacijas su *Visual components*.
6. Apskaičiuoti galimą finansinę naudą pasirinktu laikotarpiu ir atlikti lyginamąją analizę.
7. Atlikti užimamos darbo vietos ploto analizę.

Teorinė darbo reikšmė.

Darbe naudojama 3D modeliavimo ir simuliacijų programa *Visual components*. Tiriama įmonės X duomenys. Nagrinėjama srautinio valymo šratais operacija, ieškomas optimaliausias jos modernizavimo būdas.

Praktinė darbo reikšmė.

Darbe pateikta galimų modernizacijos būdų palyginamoji informacija leidžia priimti sprendimus atnaujinant srautinio valymo šratais operaciją. Rezultatai aktualūs, nes pateikia išsamius kaštų skaičiavimus bei simuliacijų dėka nustato našesnę modernizacijos būdą. Remiantis šio darbo išvadomis, galima priimti sprendimus įmonėje.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

Naujosios technologijos, į priekį stumiančios IV-ąją pramonės revoliuciją, yra grįstos ankstesnių pramonės revoliucijų žiniomis ir sistemomis, ypač III-iosios pramonės revoliucijos skaitmeninėmis galimybėmis. Tarp jų – technologijų grupės, tokios kaip dirbtinis intelektas, robotika, adityvi gamyba, neurotechnologija, biotechnologija, virtuali ir papildyta realybė, naujos medžiagos, energijos technologijos, idėjos ir galimybės [6].

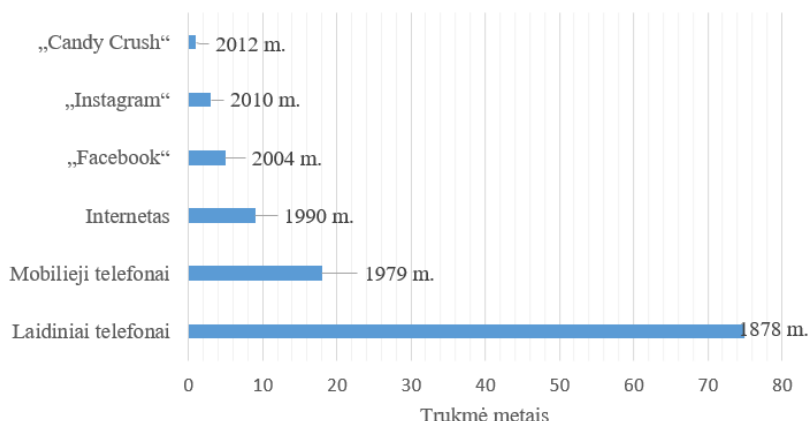
Per pastaruosius 250 metų trys pramonės revoliucijos transformavo vertės kūrimo būdus ir pakeitė pasaulį. Per kiekvieną jų technologijos, politinės sistemos ir socialinės institucijos vystėsi, keisdamos ne vien pramonės šakas, bet ir žmonių supratimą apie juos pačius, jų ryšį su kitais ir gamta.

Nuo pirmosios pramonės revoliucijos vidutinės realiosios pajamos vienam asmeniui EBPO (ekonominio bendradarbiavimo ir plėtros organizacijos) šalyse išaugo apie 2 900 %. Tuo pačiu laikotarpiu tikėtina gyvenimo trukmė padidėjo dvigubai beveik visose šalyse – nuo 40 iki 80 metų Jungtinėje Karalystėje ir nuo 23,5 iki 65 metų Indijoje [6].

Ankstesnių pramonės revoliucijų patirtis parodė, jog norint, kad naujų technologijų nauda būtų visapusiškai realizuota per artėjantį sistemų perversmą, turi būti įveikti trys iššūkiai. Pirmasis siekia užtikrinti, kad ketvirtosios pramonės revoliucijos nauda būtų sąžiningai paskirstyta. Žmonės gali praleisti šansą pasinaudoti sistemų teikiama nauda dėl daugybės priežasčių: todėl, kad jos yra neprieinamos, neįperkamos ar neaktualios, kad tos sistemos yra akivaizdžiai ar subtiliai neobjektyvios, arba dėl institucijų veiklos, kai privatizuojamas pelnas, sutelkiamas turtas ir galimybės. Antras iššūkis yra suvaldyti išorės jėgas dėl IV-osios pramonės revoliucijos keliamos rizikos ir žalos. Reikia stengtis apsaugoti pažeidžiamas gyventojų grupes, natūralią aplinką ir ateities kartas nuo žalos dėl netyčinių aplinkybių, kurias sukūrė pokyčiai, antrinių veiksmų ar sąmoningai netinkamo naujų gebėjimų naudojimo. Nėra aiški IV-osios pramonės revoliucijos galia ir kokių ilgalaikių padarinių sudėtingoms socialinėms ir aplinkos sistemoms gali atsirasti. Trečiasis iššūkis – užtikrinti, kad ketvirtąją pramonės revoliuciją savo pačių labai valdo žmonės. Žmogiškosios vertybės turi būti savaime suprantamos, o ne vertinamos pagal atnešamą finansinę naudą [1].

Aiškiausias ir akivaizdžiausias IV-osios pramonės revoliucijos technologijų bruožas – jos plečia ir transformuoja skaitmenines sistemas. Kitas šios revoliucijos technologijų bruožas – jos auga eksponentiškai, atsiranda fiziniu pavidalu ir įsilieja į mūsų gyvenimus. IV-osios pramonės revoliucijos technologijos vystysis daug greičiau nei ankstesnių revoliucijų, nes jos gali pasklisti po skaitmeninius trečiosios pramonės revoliucijos tinklus. 1.1 paveiksle pavaizduota, kad nors prireikė 75 metų, kad

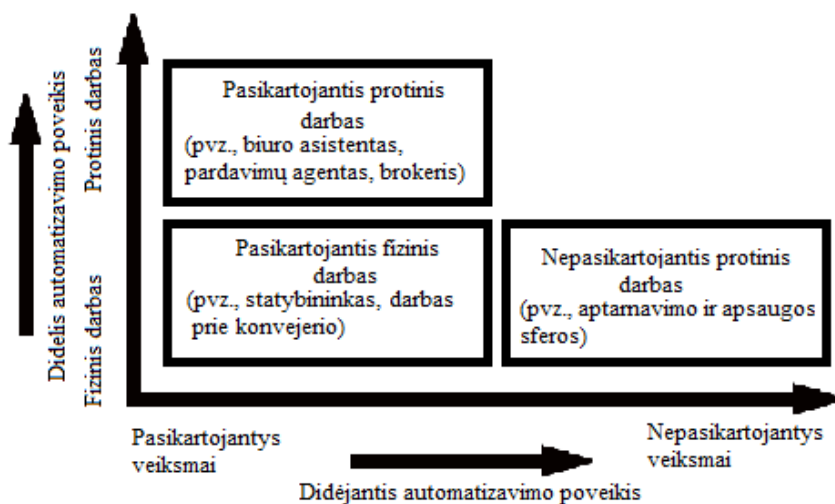
telefonais naudotūsi 100 milijonų žmonių, tačiau neprireikė nei dešimtmečio, kad internetas pritrauktų tokį patį vartotojų kiekį [6].



1.1 pav. Laikas, per kurį 100 milijonų vartotojų pradeda naudotis technologijomis ir taikomosiomis programomis

IV-osios pramonės revoliucijos technologijos, nors ir plinta skaitmeniniu būdu, nepasilieka virtualioje erdvėje. To pavyzdys galėtų būti 3D spausdintuvai, kurie gali gaminti viską. Dar vienas bendras ketvirtosios pramonės revoliucijos bruožas yra technologijų galių augimas priklausomai nuo to, kaip jos sieja tarpusavyje ir kuria naujoves. Daugumos nuomonė rodo, kad ketvirtosios pramonės revoliucijos pagrindinės technologijos bus dirbtinis intelektas, paskirstytoji apskaita ir naujos kompiuterinės technologijos [1].

IV-osios pramonės revoliucija kelia klausimų dėl poveikio užimtumui. Daug didesnis nei ankstesnių revoliucijų automatizacijos spektras ir spartus jos augimas reiškia, kad gali labai greitai sumažėti darbo vietų. Naujose pramonės šakose darbo vietos reikalauja techninio išprusimo ir nekognityvinių įgūdžių, tapdamos iššūkiu mažiau kvalifikuotiems darbuotojams. 1.2 paveiksle parodytas automatizavimo poveikio priklausymas nuo atliekamo darbo [6].



1.2 pav. Darbo automatizavimo poveikis tam tikrose pramonės šakose

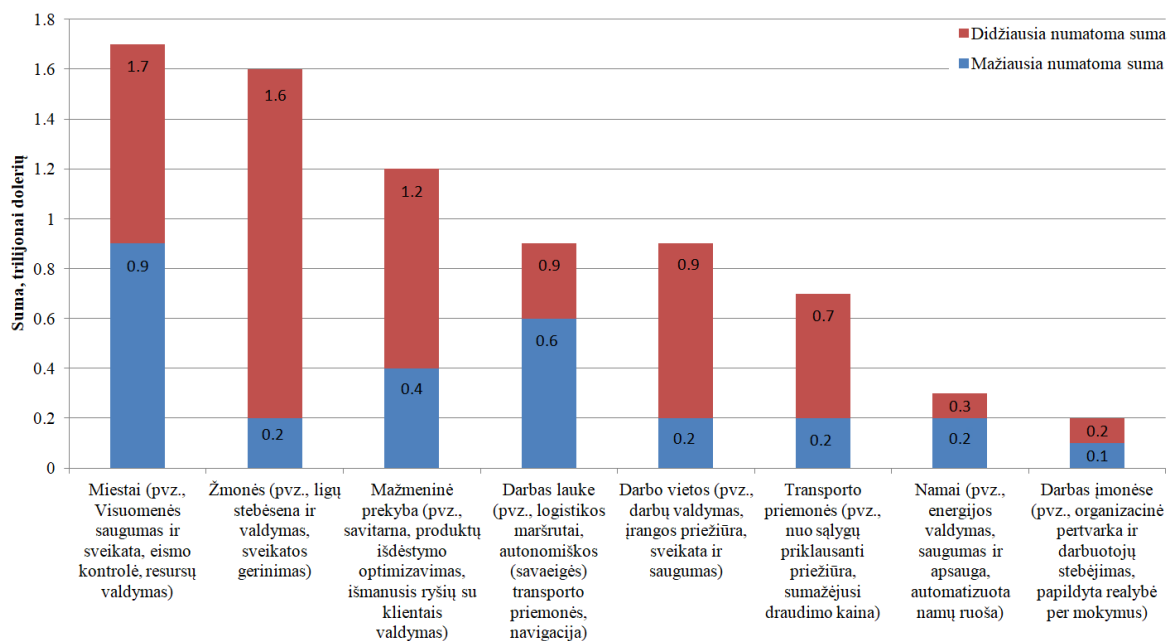
IV-osios pramonės revoliucija turi galimų neigiamų padarinių. Naujos technologijos gali demokratizuoti leidimą gaminti masinio naikinimo ginklus. Naujos medžiagos gali turėti neigiamą poveikį aplinkai ar žmonių sveikatai, apie kuri dar nežinoma, kol neprasidėjęs masinis naudojimas. Ketvirtosios pramonės revoliucija su netaršios energijos proveržiu gali destabilizuoti geopolitiką, mažindama iškastinį kurą gaminančių šalių tvarumą [6]. Kvantinės kompiuterijos pažanga gali padaryti esamus internetinio saugumo protokolus neveiksmingus. Neurotechnologijų pažanga gali sukompromituoti žmonių gebėjimą veikti nepriklausomai, didėjant supratimui, kaip manipuluoti žmonėmis. Taip pat yra tikimybė, kad IV-oji pramonės revoliucija pasiskirstys ir bus veiksminga tik geriau išsivysčiusiuose regionuose. Nenykstantys išsilavinimo ir MTP finansavimo skirtumai trukdo besivystančioms šalims įgyti žinių ir kurti technologijas prasidedant IV-ajai pramonės revoliucijai [1].

Skaitmeninė revoliucija, kurią vadiname trečiąja pramonės revoliucija, davė bendrajį kompiuterijos mokslą, programinės įrangos plėtrą, asmeninius kompiuterius ir plačiai paplitusią skaitmeninę infrastruktūrą bei internetu susietą pasaulį. Tačiau IV-osios pramonės revoliucijos įgyvendinimui reikia tobulinti kompiuterijos taikymo būdus, kad šie plėstų gebėjimus ir didintų lūkesčius, susijusius su informacijos saugojimu, valdymu ir perdavimu.

Muro dėsnis, pavadintas „Intel“ bendraįkūrėjo G. Moore garbei, grindžiamas pastebėjimu, kad tranzistorių skaičius viename kvadratiname colyje padvigubėja apytiksliai kas 18 mėnesių ar dvejus metus nuo XX a. septintojo dešimtmečio. Tai reiškia, kad kompiuteriai eksponentiškai mažėja ir greitėja. Tačiau anksčiau ar vėliau bus fiziškai neįmanoma dvigubinti tranzistorių skaičiaus viename kvadratiname colyje. Tai taps ir komerciškai neįmanoma, nes vadovaujantis Roko dėsniu, papildančiu Muro dėsnį, numatoma, kad gamyklų išlaidos naujoms, mažesnėms mikroschemoms gaminti padvigubėja kas ketverius metus, nes reikia didžiausią tikslumą ir paklaidą užtikrinančių mašinų [6]. Todėl ilgainiui gali kilti nesklandumų sparčiai atsinaujinančioje IV-ojoje pramonės revoliucijoje. Tam spręsti jau pradėtos kurti naujausios kompiuterijos formos, iš kurių perspektyviausia ir radikaliausia yra kvantinė kompiuterija. Kvantiniai kompiuteriai perkuria kompiuteriją laviruodami kvantinės mechanikos dėsniais. Užuoat naudoję tranzistorius, paremtus dvejetainiais vienetais, atitinkančiais 1 arba 0 (bitus), kuriais klasikiniai kompiuteriai saugo informaciją ir atlieka veiksmus, kvantiniai kompiuteriai naudojami kvantiniais bitais – kubitais. Kitaip nei bitai, kurie apriboti 1 arba 0, kubitai būna superpozicijoje ir turi omeny abi reikšmes su tam tikra tikimybe, kol jos būna nepamatuotos. Tai jiems leidžia vienu metu simuliuoti daugybę būsenų. Kvantinių kompiuterių sprendimo laikas žymiai spartesnis, tačiau dėl sudėtingo kubitų sukūrimo ir palaikymo, kol kas kvantinių kompiuterių naudojimas nėra itin platus. O taip pat tai kelia grėsmę saugumui, nes kvantinio kompiuterio itin

spartus veikimas leistų jam paversti beverčiais daugybę dabartinių kriptografijos būdų. Todėl tikėtina, kad kvantiniai kompiuteriai nepakeis klasikinių kompiuterių bent iki penktosios pramonės revoliucijos [1].

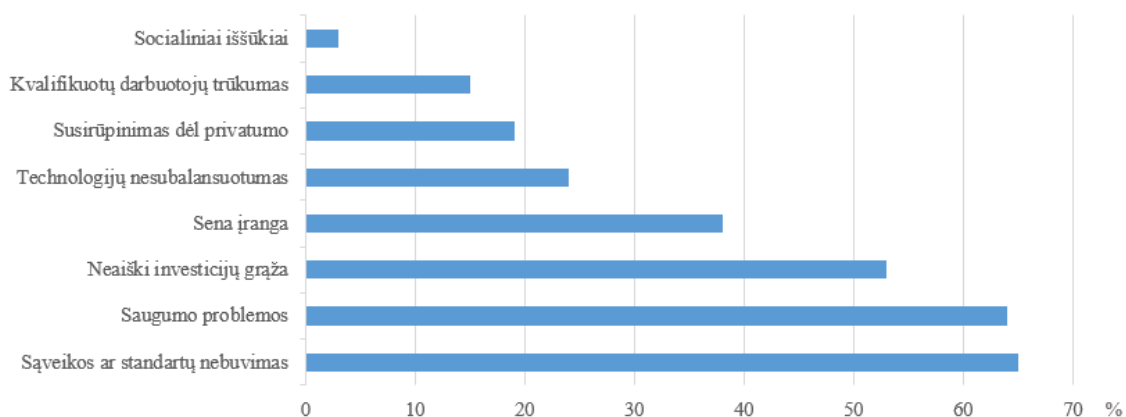
Daiktų internetas yra svarbiausia ketvirtosios pramonės revoliucijos infrastruktūros dalis. Jį sudaro įvairiausi išmanieji susieti jutikliai, kurie renka duomenis, juos apdoroja ir pagal poreikius pritaiko. Tada duomenimis dalijamasi su kitais įrenginiais ar asmenimis, kad būtų pasiektas sistemos ar vartotojų tikslas. *IHS*, Londone įsikūrusi rinkos analizės kompanija, numato, kad daiktų interneto įrenginių skaičius išaugs nuo 15,4 milijardo 2015 metais iki 75,4 milijardo 2025 metais. Iš Pasaulio ekonomikos forumo ir „Accenture“ darbų matyti, kad daugiausia naudos bus sukurta technologijas taikant pramonėje, ir ji pranoks vartotojo svarbą verslui ir socioekonominį poveikį. Jei būtų įgyvendinti visi JT darnaus vystymosi tikslai (1.3 pav.), 2030 m. į pasaulinę ekonomiką įplauktų iki 14 trilijonų dolerių [6].



1.3 pav. Daiktų interneto galima ekonominė nauda per metus 2025 m.

Sukurti tokią naudą įmanoma dėl trijų pagrindinių daiktų interneto savybių. Pirmiausia, naudojantis juo galima derinti naudingus duomenis su išmaniaja analize, teikiančia naujų duomenų, atspindinčių, kas vyksta platesnėje aplinkoje. Iš jo gaunami įrenginių darbo duomenys, padedantys įmonėms ir asmenims numatyti turto būklę, ieškoti galimybių didinti vertę. Jis taip pat kaupia poveikio vartotojui duomenis, iš kurių matyti, kokią įtaką turi veiksniai, dėl kurių žmonės imasi veiksmų. Antroji daiktų interneto savybė – įrenginiai bendrauja vienas su kitu ir koordinuoja veiksmus, didindami efektyvumą ir našumą. Trečia savybė yra gebėjimas kurti sumanius interaktyvius objektus, kurie suteikia prieigą prie naujų kanalų, per kuriuos piliečiai gauna naudos. Kaip ir paskirstytas jutiklių

bei įrenginių tinklas, taip ir sinergetinės galimybės atsiveria dėl kitų paskirstytų technologijų, tokių kaip debesijos, DI, blokų grandinė, adityvi gamyba, dronai, energijos gamyba ir kitos. Kai susilieja šios naujos technologijos, vertės kūrimo ir mainų decentralizacija atkartos ją pačią įgalinančią infrastruktūrą. Šios trys daiktų interneto savybės duos impulsą verslo modelių ir struktūrų pokyčiams įvairiausiose srityse, įskaitant gamybą, naftos ir dujų gavybą, žemės ūkį, kasybą, transportavimą ir sveikatos apsaugą. Kad daiktų internetas paplistų, reikia, kad jis būtų diegiamas keturiuose skirtinguose lygmenyse: pirmasis iš jų – įrenginiai, kurie jaučia, komunikuoja ir atlieka veiksmus; antrasis yra sąsajų infrastruktūra, kuri tuos įrenginius sujungia į visumą; trečiasis – saugi duomenų valdymo sistema, surenkanti ir paskirstanti įrenginių sugeneruojamus duomenis, naudojamus ketvirtajame lygmenyje, kuriame programos apdoroja duomenis ir remdamosi jais tiekia paslaugas, tenkinančias asmenų bei organizacijų poreikius [2]. Tačiau kol kas verslo atstovų įvardijami kliūviniai atsikant imtis daiktų interneto pramonės yra standartų nebuvimas, kuris reiškia sąveikos nebuvimą, taip pat susirūpinimas dėl saugumo (1.4 pav.) [6].



1.4 pav. Pagrindinės kliūtys taikyti pramonės internetą

Egzistuoja kelios su daiktų internetu siejamos rizikos, darančios poveikį net ir vartotojams bei visuomenei. Rizikų kyla, kai asmenys ir įmonės tampa priklausomi nuo daiktų interneto sistemų, o dėl to netenkama svarbių įgūdžių, o taip pat atsiranda naujų silpnų sistemos vietų, jei nepakanka ryšio ir energijos. Kibernetinis saugumas priklauso išskirtinės rizikos grupei. Pasaulio ekonomikos forumo apklausa dėl pramonės interneto parodė, kad 76 % respondentų iš verslo srities mano, kad tikimybė, jog jų daiktų interneto sistemos patirs atakų, yra labai didelė [6].

Konferencijoje Darmuto koledže 1956 m. pirmą kartą prabilta apie dirbtinio intelekto sritį, o pirmasis gamyklinis robotas veikti pradėjo 1961 m. Medžiagotyros ir jutiklių technologijų pasiekimai pagerino mašinų išvalgumą ir judėjimą, kartu ir pažinimą [13]. Skraidantys robotai, dar žinomi kaip dronai, ir pramonės robotai, kurie savarankiškai surenka automobilių dalis, naudojami DI sudėtingoms navigacijos ir sąveikos funkcijoms atlikti. Įvairiai taikomas DI, teikdamas duomenų, kurių žmonėms

neįmanoma apdoroti, apibendrinimus, sprendžia klimato kontrolės ar branduolinių scenarijų problemas, valdo didelius jutiklių tinklus. Jis renka naują, finansiškai naudingą informaciją iš viešai prieinamų duomenų. Ekstremaliausia, bet galima situacija, kad DI ir robotikos taikomąsias programas šalys ir asmenys panaudos kaip ginklus. Todėl kelios lyderiaujančios korporacijos („Microsoft“, „Amazon“, „Facebook“, „IBM“, „Google“ ir „DeepMind“) prisijungė prie partnerystės dėl DI, kuri teiks naudos žmonėms ir visuomenei [2].

Pažangių medžiagų mokslas daro įtaką daugeliui ketvirtosios pramonės revoliucijos aspektų (1.1 lentelė) [6].

1.1 lentelė

Pagrindinėms technologijoms gaminti naudojamų cheminių ir pažangių medžiagų pavyzdžiai

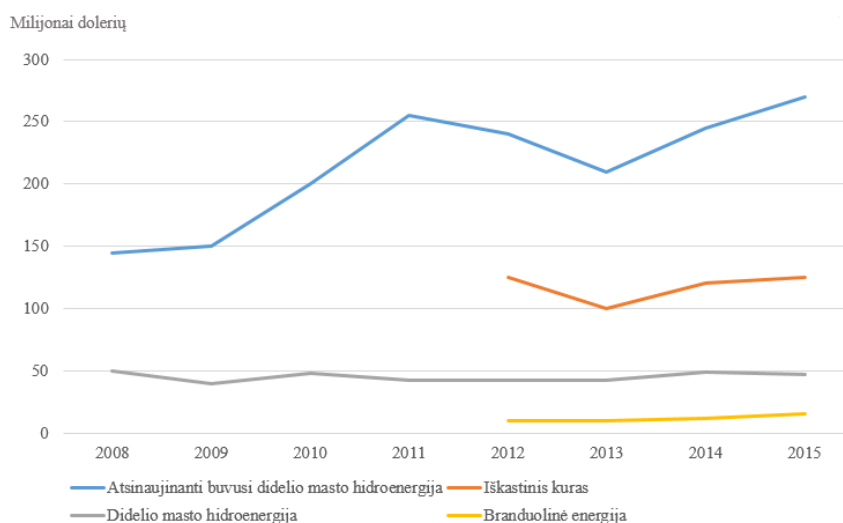
		Pagrindinių išradimų augimo rodikliai	Susijusių produktų iš cheminių medžiagų ir pažangių medžiagų pavyzdžiai
Mobilumas	Elektrinės transporto priemonės	Metinės pajamos iš parduotų elektrinių transporto priemonių 2020 m.: 4,9 milijono	Plastikas, kompozitai ir baterijų technologijos
	Dronai	Dronų rinkos dydis 2015 m.: 10,1 milijardo dolerių 2020 m.: 14,9 milijardo dolerių	
Mobilūs ir išmanieji įrenginiai	Išmanieji telefonai ir planšetės	Naudojami mobilieji įrenginiai 2015 m.: 8,6 milijardo 2020 m.: 12,1 milijardo	Pagrindas, atrama, skaidrus konduktorius, barjerinės plėvelės ir fotorezistoriai
	Lankstieji ekranai	Aktyvios matricos organinių LED ekranų rinka 2015 m.: 2 milijardai dolerių 2020 m.: 12,1 milijardo dolerių	
Ryšys ir kompiuterija	Greitasis interneto ryšys	Fiksuotas plačiajuosčio ryšio greitis 2015 m.: 24,7 Mbps 2020 m.: 47,7 Mbps	Itin grynas stiklėjantis chlorsilanas
	Našesnės ir mažesnės integruotos grandinės	Procesoriaus loginio elemento dydis 2015 m.: 14 mm 2019 m.: 7 mm	

Pramonės šakoms reikia naujų medžiagų, kad atitiktų vis didesnius našumo reikalavimus. Bendrai medžiagotyros ir nanotechnologijų teikiama naudai gauti reikia įdėti pastangų ir bendradarbiavimą. Šiuo metu veikia tyrimų projektas „Medžiagų genomo iniciatyva“. Taip pat veikia 23 šalių sąjunga, kurianti platformą pažangių energijos medžiagų atradimams „Inovacijų misija“ [6].

Sąvokos „3D spausdinimas“ ir „adityvi gamyba“ žymi gamybos procesą, kai fizinis objektas padaromas vienas ant kito išliejant medžiagos sluoksnius, mechaniškai apdorojant, arba pakeičiant medžiagos formą, bet ne jos kiekį. 3D spausdinimas naudojamas jau daugiau nei 25 metus, tačiau tik dabar susilaukė didesnio dėmesio, nes įrankiai tapo mažesni, pigesni, universalesni [19]. 3D spausdinimo pažanga atsilies kitiems atradimams ketvirtojoje pramonės revoliucijoje. Jis vis labiau prisidės prie kibernetinių-fizinių sistemų užsakomųjų išmaniųjų detalių gamybos, kai išmanioji

sistema integruojama į jutiklius, pavaras ir energijos šaltinius duomenims generuoti ir rinkti. Tuo metu naujos kompiuterijos technologijos, nanotechnologijos, pažangios medžiagos ir biotechnologijos prisidės prie 3D spausdinimo technologijų plėtros, leisdamos vizionieriams spręsti apie jų naudojimo būdus gamybos įrenginiuose [9].

Ketvirtoji pramonės revoliucija galėtų panaikinti pasaulio priklausomybę nuo iškastinio kuro ir šiltnamio efektą sukeliančias dujas išskiriančios energijos gamybos, įdiegtos praeitų pramonės revoliucijų. Tai svarbu, nes pasaulio populiacija auga, ekonomikos industrializuojasi, poveikis klimato kaitai vis aštrėja, o energijos paklausa pasauliniu mastu, kaip numatoma, iki 2040 m. išaugs dvigubai. Susirūpinimas dėl klimato kaitos, matomas iš JT Darnaus vystymosi tikslų, paskatino diegti atsinaujinančios energijos technologijas, tokias kaip saulės ir vėjo energija, pritraukiant rekordines investicijas (1.5 pav.) [6].

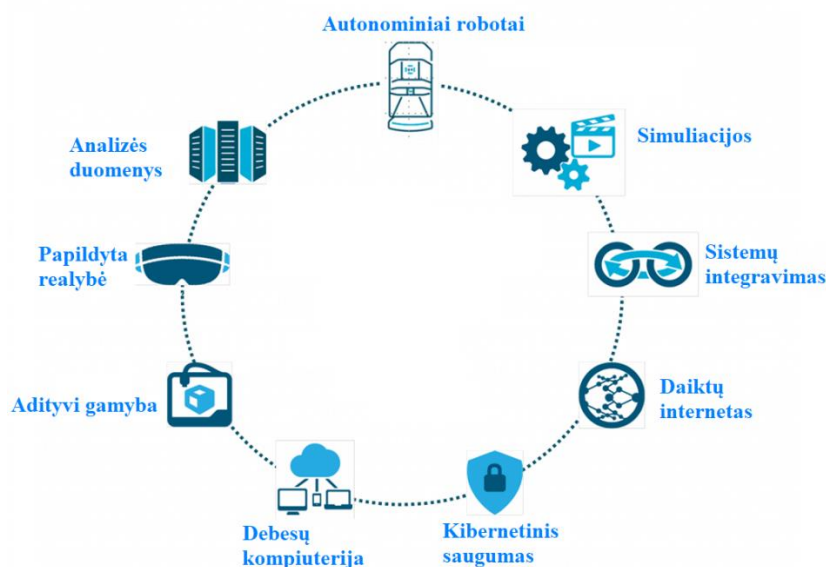


1.5 pav. Investicijos į energijos gamybos pajėgumą 2008–2015 m.

Veiksmai, skatinantys klimato kaitą, negali būti staigiai panaikinti ar sumažinti ženkliai, todėl vis labiau investuojama į geoinžineriją. Ji apibūdinama kaip didelio masto sąmoninga intervencija į natūralias Žemės sistemas. Nors kol kas daugiausia teoriškai klimato geoinžinerijos būdai siūlomi kaip atsakomosios priemonės, taikytinos siekiant mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą į biosferą [6].

Visai neseniai buvo pasiūlyta būdų planetai atvėsinti. Jie skirstomi į dvi kategorijas: būdai šalinti anglies dioksidą iš atmosferos, staiga spręsti pagrindinę klimato kaitos priežastį, ir būdai valdyti saulės radiaciją – atspindėti dalį jos atgal į kosmosą, tai laikinai sustabdytų kylančią temperatūrą. Kai kurios iš siūlomų technologijų remiasi sukurtais pastaraisiais šimtmečiais, tačiau nauji metodai įsivaizduojami kaip IV-osios pramonės revoliucijos deriniai, pavyzdžiui, nanodalelių ir kitų pažangių medžiagų [23].

Industry 4.0 yra dažnai neatsiejama nuo IV-osios pramonės revoliucijos. Tai yra transformacija, kurios pamatai yra devynios pagrindinės technologijos naujovės (1.6 pav.) [22]. Šios revoliucijos metu jutikliai, mašinos, IT sistemos bus sujungtos bendra nenutraukiama grandine. Tokios sujungtos sistemos dalys galės perduoti duomenis viena kitai, juos analizuoti, kad būtų išvengta gedimų ar nelaimių, konfigūruotis ir adaptuotis prie įvykusių pasikeitimų. IV-oji pramonės revoliucija suteikia galimybę rinkti ir analizuoti gautus duomenis visoje sistemoje, taip pasiekiant greitesnius, lankstesnius ir efektyvesnius procesus, leidžiančius pagaminti aukštos kokybės gaminius sumažintais kaštais. Gamyklų atsinaujinimas padidins gamybos produktyvumą, skatins pramonės augimą ir pakeis darbo jėgos profilį, galiausiai keičiant įmonių ir regionų konkurencingumą [7].



1.6 pav. Devynios pagrindinės technologijos naujovės

Toliau išvardintos ir paaiškintos devynios pagrindinės technologijos naujovės.

1. Autonominiai robotai. Daugelio pramonės šakų gamintojai jau ilgą laiką naudojami robotais, kad būtų išspręstos kompleksinės užduotys, bet robotai sparčiai tobulėja. Jie tampa vis autonomiškesni, labiau priderinami prie gamybos poreikių ir labiau suderinami su kitais mechanizmais. Robotai sąveikauja vienas su kitu ir net saugiai dirba šalia žmonių, kad išmoktų iš jų. Autonominių robotų kaina tampa vis patrauklesnė, jie kainuos mažiau nei dabar naudojami industriniai robotai. Šiuo metu jau yra robotų, sąveikaujančių tarp savęs. Šie robotai yra tarpusavyje sujungti, kad galėtų dirbti kartu ir automatiškai pritaikyti savo veiksmus. Aukštos klasės jutikliai ir valdymo blokai leidžia glaudžiai bendradarbiauti su žmonėmis [23].
2. Simuliacijos. Produkto vystymo stadijoje jau dabar yra naudojamos 3D simuliacijos, tačiau ateityje 3D modeliavimo veiksmai bus plačiau naudojami įrenginių veikloje. Šios simuliacijos naudos realaus laiko duomenis, kad atspindėtų fizinį pasaulį virtualiame modelyje, kuris gali

- apimti mašinas, produktus ir žmones. Tai leis operatoriams išbandyti ir optimizuoti kito gaminio įrenginio nustatymus virtualiame pasaulyje prieš fizinį perjungimą, taip sumažinant mašinos nustatymo laiką ir didinant kokybę [22].
3. Horizontalus ir vertikalus sistemų integravimas. Dauguma šiandieninių IT sistemų dar nėra visiškai integruotos. Įmonės, tiekėjai ir klientai dažniausiai nesusieti tarpusavyje. Net įmonės viduje veikiantys skyriai dažniausiai neturi tiesioginių IT sistemų [30]. Tačiau su *Industry 4.0* siekiama sujungti visus kartu dirbančius vienetus, kad būtų pasiektas geriausias duomenų perdavimo kelias.
 4. Daiktų internetas. Šiuo metu tik kai kurie gamintojo jutikliai ir mašinos yra sujungiami į tinklą ir naudoja įterptines sistemas. Jie paprastai yra organizuojami vertikalioje automatizavimo piramidėje, kurioje jutikliai ir įrenginiai su ribotais automatikos valdikliais įeina į bendrą gamybos proceso valdymo sistemą. Tačiau su pramoniniu daiktų internetu, daugiau įrenginių, kartais įskaitant net nebaigtus gaminius, bus praturtinti įterptinėmis sistemomis ir prijungti naudojant standartines technologijas. Tai leidžia įrenginiams keistis informacija tarpusavyje ir su centralizuotais valdikliais, kai būtina. Tai taip pat decentralizuoja analitiką ir sprendimų priėmimą, suteikiant realaus laiko duomenis [26].
 5. Kibernetinis saugumas. Daugelis kompanijų vis dar naudojami nesujungtomis ar uždaromis valdymo ir gamybos sistemomis. Tačiau vis didėjant ryšio priemonių panaudojimui gamyboje ir naudojant standartinius komunikacijos protokolus, smarkiai padidėja poreikis apsaugoti kritines pramonės sistemas ir gamybos linijas nuo kibernetinio saugumo grėsmių [22]. Todėl labai svarbu užtikrinti saugų, patikimą ryšį.
 6. Debesų kompiuterija. Kompanijos jau naudojami debesų veikimu pagrįstomis programinėmis įrangomis kai kurioms verslo ir analizės programoms. Ilgainiui įmonių, naudojančių debesų kompiuteriją, vis daugės. Todėl tobulės debesų veikimas, pasiekiant kelių milisekundžių laiką duomenų apsikeitimui [17].
 7. Adityvi gamyba. Kompanijos tik visai neseniai pradėjo naudotis adityvia gamyba. Šiuo metu 3D spausdinimas naudojamas prototipų ar individualių gaminių gamybai. Naudojant *Industry 4.0*, adityvios gamybos metodai bus plačiai naudojami gaminant mažas individualių gaminių partijas, kurios pasižymės konstrukciniais privalumais (pavyzdžiui, sudėtingi ir lengvi dizainai) [22].
 8. Papildyta realybė. Papildytos realybės sistemos ateityje bus plačiai naudojamos, nes taip bus galima aprūpinti darbininkus esamo laiko informacija, kad būtų pagerintas sprendimų

priėmimas ir darbo procedūros [13]. Pavyzdžiui, gedimo šalinimo instrukcija bus pateikta darbuotojui, kai šis naudosis papildytos realybės akiniais ir matys simuliaciją.

9. Analizės duomenys. Analizės duomenys, paremti dideliais duomenų rinkiniais, tik labai neseniai buvo įtraukti į gamybos procesus. Turint ir nagrinėjant duomenis, optimizuojama produkcijos kokybė, sutaupoma energija, keliamas įrangos aptarnavimo greitis, kokybė.

Dauguma problemų, kurias sprendžia *Industry 4.0* integracija, derinasi su *Lean* filosofija. *Lean* principai yra plačiai pripažinti gamyboje nuo pat pirmojo platesnio pasirodymo XX amžiaus 10-ojo dešimtmečio pradžios. Pagrindinės *Lean* gamybos charakteristikos yra griežtas žmonių integravimas į gamybos procesą, nuolatinis tobulinimas ir dėmesys vertės didinimo veiklai. Paprastumas ir iki 25 % didesnis našumas yra priežastys, dėl kurių *Lean* gamyba tapo gamybos sistemų *status quo*. *Lean* įgyvendinimo tikslas gamyboje yra trumpinti užsakymo įvykdymo laiką, mažinti kaštus, gerinti darbų saugą ir kokybę [25]. *Industry 4.0* gali būti integruota kartu su *Lean* procesais ir net pagerinti *Lean* duodamą naudą, didinant informacijos ir komunikacijos technologijų integravimą.

Tokiu būdu galima pagreitinti *Industry 4.0* diegimą iš teorinės prizmės į realybę. Praktikoje nauji sprendimai privalo sukurti papildomą vertę ir privalo turėti priimtina riziką. *Industry 4.0* integracija, kuri neatsiejama nuo didelių investicijų, ypač pelninga tose srityse, kuriose ekonomiškai ir paprasti *Lean* metodai neatitinka arba nevisiškai atitinka šiandieninius reikalavimus.

Diegiant *Industry 4.0* į gamyklą, kurioje veikia *Lean* principai, mažėja nesėkmingos integracijos riziką, kadangi tokioje gamykloje procesai yra standartizuoti ir efektyvesni. Todėl gamyklos veikimas yra mažiau kompliktuotas ir labiau palaikantis modernizaciją. Viena iš *Industry 4.0* pritaikymo *Lean* sistemoje idėjų galėtų būti išmanaus operatoriaus įdiegimas [29]. *Lean* metodikoje yra naudojamas andonas – vizualinio valdymo priemonė, kilusi iš japoniško žodžio „lempa“. Šviesos signalas (kartais švieslentė), kuriam priskirta tam tikra prasmė, pavyzdžiui, tam tikros spalvos lempos įrengiamos ant mašinų, kad parodytų jų darbo būseną (viskas tvarkoje, prastova, instrumento ar kokybės problema, medžiagų trūkumas ir pan.). Tačiau integruojant *Lean* kartu su *Industry 4.0*, galime šį metodą modernizuoti – linijos operatoriui būtų priskirtas išmanusis laikrodis, kuris iškart informuotų apie linijos stabdymą, iškilusią problemą. Taip būtų sutaupyta laikas, kuris sugaištamas, kol asmuo pastebi švieslentėje rodomą pranešimą. Kitas *Industry 4.0* pritaikymas *Lean* metodikoje – virtualios realybės panaudojimas. Naujokus būtų galima aprūpinti virtualios realybės akiniais, kurie demonstruotų operacijos atlikimą, reikiamus veiksmus. Taip būtų sutaupomas laikas, kuomet patyręs darbuotojas apmoko naują [18].

Industry 4.0 turi didelę įtaką IV-ajai pramonės revoliucijai, nes *Industry 4.0* pristato tris svarbius progresus:

1. gamybos skaitmeninimas – valdymo ir gamybos planavimo informacinės sistemos;
2. automatika – duomenų surinkimo sistemos iš gamybos linijų ir mašinų naudojimas;
3. gamybos vietų susiejimas su išsamia tiekimo grandine – automatinis keitimasis duomenimis.

Industry 4.0 augimas ir plėtra su dabartinėmis pagrindinėmis koncepcijomis (1.2 lentelė) yra grindžiamas didėjančios pasaulinės urbanizacijos prielaida. Demografiniai pokyčiai tampa iššūkiu miesto atnaujinimui ir plėtrai, tačiau gyventojams vis tiek turi būti sudarytos tinkamos sąlygos, užtikrinančios tvarų ir kokybišką gyvenimą [14]. Svarbus sėkmingos urbanizacijos ir visuomenės vystymosi komponentas bus išmaniosios technologijos. Prognozuojama, kad šios technologijos tikslas bus surinkti ir analizuoti žmogaus aplinkos duomenis, kad būtų sukurta žiedinė ekonomika, padidintos pajamos, sumažintos kapitalo išlaidos, gerinamos paslaugos ir mobilumas [17].

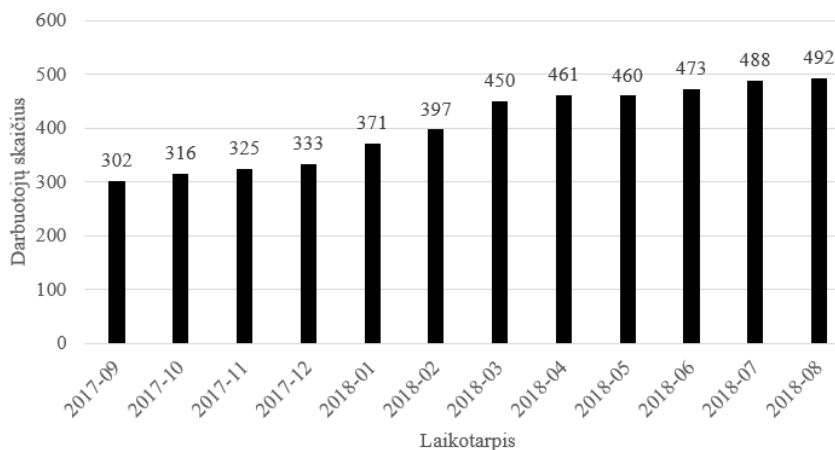
1.2 lentelė

Industry 4.0 augimas ir plėtra su dabartinėmis pagrindinėmis koncepcijomis

Išraiška/ pagrindinė sąvoka	Paaaiškinimas
Išmanioji gamykla, išmanioji gamyba, ateities gamykla	Išmanioji gamyba taps lankstesne, dinamiškesne. Gamyba bus aprūpinta jutikliais ir autonominėmis sistemomis. Mašinos ir įrenginiai galės tobulinti procesus ir savarankiškai priimti sprendimus.
Išmanieji produktai	Produktuose bus įterpti jutikliai ir mikroschemos, kurie leis gaminiams komunikuoti vienas su kitu ir su žmogumi per veikiančią daiktų internetą. Visi kasdieniai daiktai bus išmanūs, nes turės jutiklius, galės nustatyti kada yra naudojami, rinkti informaciją. Išmanieji produktai kelia klausimą apie privatumo išsaugojimą ir saugumą.
Prisitaikymas prie žmogaus poreikių	Naujos gamybos ir pardavimo sistemos turi tenkinti žmogaus poreikius. Siūloma, kad šios sistemos veiktų išvien su asmeniniais išmaniaisiais agentais.
Kiberfizinės sistemos	Sistemos integruos skaičiavimus, tinklus ir fizinius procesus. Įterptinės sistemos stebės ir kontroliuos fizinius procesus su grįžtamoju ryšiu, kad būtų matomi fizinių procesų neatitikimai.
Išmanus miestas	Išmanusis miestas apibrėžiamas kaip miestas, kurį sudaro šeši vystymosi politikos veiksniai: išmani ekonomika, išmanus mobilumas, išmani aplinka, išmanūs žmonės, išmanus gyvenimas ir išmanus valdymas. Toks miestas bus paremtas IT naujovėmis, daiktų internetu, telekomunikacijų ir transliavimo tinklais ir kitais jutikliais susietais tinklais.

2. TYRIMO APŽVALGA

Tiriama įmonė yra originalios įrangos gamintojas (angl. *OEM – original equipment manufacturer*). Ši kompanija gamina prekes, kurios yra pažymėtos žinomais prekių ženklais. Įmonė neturi savo produkcijos linijos, tad pagrindinė įmonės veikla yra kliento užsakyto gaminio surinkimas iš atskirų komponentų. Praėjusiais finansiniais metais, kurie prasidėjo 2017 metų rugsėjo pirmą dieną ir baigėsi 2018 metų rugpjūčio paskutinę dieną, kompanijos užsakymų augimas buvo itin didelis. Todėl išaugo darbuotojų skaičius (2.1 pav.).



2.1 pav. Darbuotojų skaičius nuo 2017-09-01 iki 2018-08-31

Kompanijos tikslas yra užtikrinti kliento lūkesčius, juos įgyvendinti kokybiškai ir greitai, todėl, didėjant užsakymų skaičiui, būtina mąstyti apie modernizaciją. Šiuo metu vis daugiau įmonių efektyvina savo veiklą, jau yra prasidėjusi ketvirtoji pramonės revoliucija.

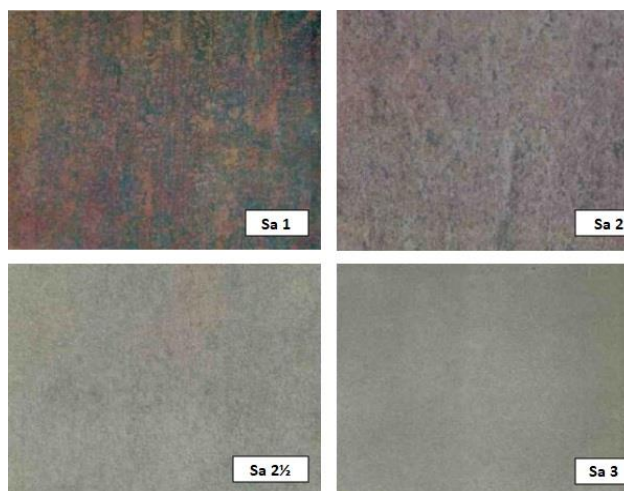
Nagrinėjamoje įmonėje šiuo metu pagrindinė darbo jėga yra žmonės. Tai kelia vis daugiau problemų – sunku surasti darbuotojų, juos reikia apmokyti, o darbuotojų kaita didelė. Taip pat yra žmogiškasis faktorius – pasitaiko klaidų, darbuotojai pavargsta, serga, jiems nuobodu nuolat atlikti pasikartojančią operaciją. Įmonei vis brangiau kainuoja išlaikyti darbuotojus augant minimaliam darbo užmokesčiui. Todėl svarbu galvoti apie robotizaciją. Įmonė yra paremta konvejerine gamyba. Norint atnaujinti bent vieną gamybos procesą, reikia įvertinti išlaidas ir numatyti šios investicijos atsiperkamumą, pelningumą.

Nagrinėjamas šio tyrimo procesas yra srautinio valymo šratais operacija. Didėjant užsakymų skaičiui, didėja ir šios operacijos reikalingumas. Dviračių gamykla per ateinančią sezoną planuoja pagaminti 300 tūkst. dviračių. Kasdien įmonė pagamins kiek daugiau nei tūkstantį dviračių. Beveik kiekvienas dviratis turi vieną ar daugiau dažomų komponentų – rėmą, šakę, bagažinę, skydelius, atramėles ar įvairius laikiklius. Didžioji dalis nedažytų komponentų atvyksta iš Tolimųjų Rytų. Detalės keliauja traukiniu arba laivu apie 4 mėnesius. Per tokį ilgą transportavimo laiką nedažytos detalės

pradedą korozuoti – rūdyti ar oksiduoti. To būtų galima išvengti, jei tiekėjas visas detales tinkamai paruoštų transportavimui – fosfatuotų ar anoduotų. Fosfatavimas – netirpaus fosfatų sluoksnio sudarymas ant metalo paviršiaus fosfatų tirpaluose. Plieninės detalės dengiamos netirpia ortofosfatinės druskos plėvele. Fosfatinis sluoksnis yra gana šiurkštus ir sudaro gerą lakų ir dažų pagrindą. Aliuminio anodavimas yra populiariausias metodas jo apsaugojimui nuo korozijos. Šiuo būdu yra siekiama padidinti natūralų oksidų sluoksnį ant metalo paviršiaus [5]. Šių antikoroziųjų procesų negali užtikrinti tiekėjai iš Tolimųjų Rytų, nes nuo 2018 metų įsigaliojo sugriežtinti aplinkosaugos įstatymai Kinijoje, draudžiantys tokią veiklą [10]. Anodavimas ar fosfatavimas yra griežtai ribojami, nes tai sukelia ypatingai didelę gamtos taršą. Remiantis naujausiais pirmosios 2018 metų pusės duomenimis, Kinija yra 12-oje vietoje pasaulyje pagal užterštumo indeksą. Palyginimui, Lietuva šiuo metu yra 91-oje vietoje [21].

Tiriama gamykla turi savo dažyklą, kurioje atliekamas visų reikiamų detalių dažymas. Kadangi detalės, paveiktos korozijos, yra netinkamos dažymui, jas būtina sutvarkyti ir paruošti padengimui. Todėl srautinis valymas šratais yra neišvengiama operacija paruošimo ceche. Toks metalo apdirbimas yra itin populiarus, nes taip metalas gali būti nuvalomas, sutvirtinamas ar poliruojamas. Šio proceso principas yra metalo paviršiaus valymas jį paveikiant metalo šratais, kurie yra apvalios arba nelygios (aštriomis kraštinėmis) formos. Šio apdirbimo metu detalei gali būti suteiktas matinis efektas, yra nuvalomi nešvarumai. Srautinis valymas šratais leidžia pasiekti aukščiausią kokybės lygį – metalas gali būti nuvalytas iki Sa 2 švarumo klasės [31]. Taip apdirbtos detalės ženkliai pagerina tolesnį jų naudojimą.

Remiantis ISO 8501-1 standartu (plieninio pagrindo paruošimas prieš padengiant dažais ir su jais susijusiais produktais), yra išskirtos keturios švarumo klasės pagal regimąjį paviršiaus švarumą: Sa 1, Sa 2, Sa 2½ ir Sa 3. 2.2 paveiksle pateikti švarumo klasių vizualūs pavyzdžiai [4].



2.2 pav. Vaizdinės gairės švarumo klasės nustatymui

Švarumo klasės

Švarumo klasė	Švarumo klasės pavadinimas	Trumpas apibūdinimas
Sa 1	Pirminis lengvas apdirbimas	Paprastos apžiūros metu ant paviršiaus neturi būti matomų alyvos, tepalo ir purvo, o taip pat silpnai prikibusių nuodegų, rūdžių ir pašalinių dalelių.
Sa 2	Kruopštus valymas	Paprastos apžiūros metu ant paviršiaus neturi būti matomų alyvos, tepalo ir purvo, o taip pat didelės dalies valcavimo nuodegų, rūdžių, dažų ir pašalinių dalelių. Bet kokie teršalų likučiai turi būti stipriai prikibę. Šios klasės valymas nuvalo paviršių iki 76 %.
Sa 2½	Labai kruopštus valymas	Paprastos apžiūros metu ant paviršiaus neturi būti matomų alyvos, tepalo ir purvo, o taip pat valcavimo nuodegų, rūdžių, dažų ir pašalinių dalelių. Bet kokie likę teršalų pėdsakai turi atrodyti tik kaip lengvi dažai – dėmių ir dryžių pavidale. Šios klasės valymas nuvalo paviršių iki 96 %.
Sa 3	Paviršius nuvalytas nuo visų įmanomų nešvarumų	Paviršius nuvalytas nuo visų įmanomų nešvarumų. Matomas vienodo blizgesio lygus paviršius. Šios klasės valymas nuvalo paviršių iki 99 %.

Vienos darbo dienos metu (8 val.) daugiau nei 2 000 vienetų metalinių detalių yra nuvalomos srautinio valymo šratais proceso metu. Šia operacija dažymui yra paruošiami rėmai, šakės ir bagažinės. Įmonėje šiuo metu yra viena srautinio valymo šratais mašina. Vienu metu į ją telpa 100 šakių, 20 rėmų arba 20–40 bagažinių, priklausomai nuo jų dydžio. Atliekant šią operaciją aliuminiams gaminiams, operacijos trukmė siekia 8 minutes. Plieninių detalių apdirbimas trunka ilgiau – iki 10 minučių. Šioje darbo vietoje vienu metu mažiausiai dirba 4–6 darbuotojai. Vienas darbininkas kabina detales ant pakabos ir įstumia į srautinio valymo šratais mašiną. Po procedūros darbuotojas ištraukia pakabą su detalėmis. Kiti darbininkai nukabinėja detales ir smarkiai jas purto. Taip siekiama nepalikti metalo rutuliukų vamzdžiuose. Kadangi šakės, rėmai ar bagažinės yra vamzdinės konstrukcijos detalės, šratai patenka į vidų ir gali išbyrėti per technologines skylės ar kitas pakankamai dideles angas. Tai itin svarbu, nes palikus metalo šratus vamzdžiuose, dažymo metu jie užteršia dažymo kameras, sugadina dažomus paviršius. Po operacijos vamzdžiuose likę šratai būna drėgni ir tepaluoti. Gamykloje atliekamas miltelinis dažymas, todėl po kiekvienos operacijos dažomos detalės turi būti kaitinamos džiovavimo kameroje. Vamzdžiuose likę šratai džiūna. Todėl vartant detalę, kad būtų nudažyti sunkiai prieinami paviršiai ar susidarius oro srautui pučiant dažus, šratai byra ir prikimba prie paviršiaus. Paviršius gali būti sugadintas bet kurioje dažymo stadijoje – gruntuojant, dažant ar lakuojant, nes šratai neišdžiūna ir neišbyra per vieną kaitinimą. Sugadintus paviršius sunku pataisyti, todėl tokiems komponentams reikia atlikti dažų pašalinimą. Ši operacija atliekama kitoje įmonėje, todėl darbuotojui netinkamai atlikus šratų iškratymo operaciją dažomo komponento kaštai smarkiai išauga – pridedama dažų nuėmimo kaina, transportavimas į kitą įmonę, užsakymo stabdymas bei perdažymas. Tad norint

išvengti broko, srautinio valymo šratais operacijoje dirbantis žmogus turi visą dieną atsakingai atlikti savo užduotį.

Po išsamaus šio proceso analizavimo, akivaizdu, kad darbininkai kasdien susiduria su kenksmingomis sąlygomis. 2.3 paveiksle pavaizduota dabartinė srautinio valymo šratais operacijos darbo vieta.



2.3 pav. Srautinio valymo šratais operacijos darbo vieta

Aplinka, kurioje vyksta srautinio valymo šratais operacija, yra triukšminga dėl srautinio valymo šratais operacijos bei kitų aplinkinių operacijų, mašinų. Dėl ant žemės krentančių šratų žemės paviršius prie šios operacijos yra slidus, yra didelė tikimybė paslysti net naudojant darbui skirtus batus. Ši operacija atliekama šalia kitų operacijų, todėl vietos yra nedaug, sunku dirbti keletui darbuotojų vienu metu. Siekiant išsiaiškinti, ar darbo vieta yra tinkama ir nekenksminga, buvo atliktas darbo vietos įvertinimas. Šiam patikrinimui naudojama profesinės rizikos nustatymo kortelės informacija. Tyrimo metu nagrinėjami fizikiniai ir ergonominiai veiksniai. 2.2 lentelėje pateikti surinkti duomenys.

Veiksnių nustatymas

Tikrintas veiksnys	Leistinas dydis	Išmatuotas dydis	Rizikos įvertinimas
Oro temperatūra	(15-21) °C	19 °C	Priimtina
Oro santykinis drėgnumas	Iki 75 %	49 %	Priimtina
Oro judėjimo greitis	Iki 0,4 m/s	0,05 m/s	Priimtina
Apšvietimas	(300-500) lx	178 lx	Nepriimtina
Triukšmas	87 dB	83,5 dB	Priimtina
Darbo poza:			
Kaklas, pečiai*	≤3	4	Nepriimtina
Alkūnė, riešas*		4	Nepriimtina
Nugara*		3	Priimtina
Klubai, kojos*		3	Priimtina
Vienkartinio rankomis keliamo krovinio masė, kai krovinys nuolat pernešamas per pamainą ar dirbant kitą darbą*	Vyrams: iki 30 kg	Iki 4 kg	Priimtina
Laikomos rankomis krovinio masės atstumas nuo darbuotojo kūno*	Iki 70 cm	Iki 50 cm	Priimtina
Statinis darbas per pamainą prilaikant svorį viena ranka*	Vyrams: iki 43 000 kg×s	22 400 kg×s	Priimtina
Statinis darbas per pamainą prilaikant svorį dviem rankomis*	Vyrams: iki 97 000 kg×s	38 000 kg×s	Priimtina
Nuolat pasikartojantys rankų judesiai (dalyvaujant rankų ir pečių juostos raumenims)*	≤20 000 kartai per pamainą	5 200 kartai per pamainą	Priimtina

*Tirta pagal ergonominių rizikos veiksnių tyrimo metodinius nurodymus (1 priedas „Ergonominių rizikos veiksnių klasifikacija ir matavimo metodikos“).

Remiantis tyrimo duomenimis, darbo vietos apšvietimas ir kaklo, pečių, alkūnės ir riešo darbo poza neatitinka reikalavimų. Natūralu, kad viršutinė kūno dalis yra apkraunama per daug – darbuotojas visą dieną atlieka monotonišką 2–3 kg svorio detalių kratymą. Kaip minėta, šis procesas turi būti atliekamas atsakingai, todėl apkrova ir darbo poza šioms kūno vietoms yra nepriimtina. Reaguojant į šio tyrimo rezultatus, būtina įrengti papildomą apšvietimą darbo vietoje bei sumažinti apkrovą viršutinei darbuotojo kūno daliai – suteikti dažnesnes pertraukas darbo dienos metu.

Apibendrinant atliktą rizikos vertinimą, akivaizdu, kad modernizacija yra logiškas bei perspektyvus pasirinkimas, kuris tampa vis labiau būtinu. Tokiam proceso automatizavimui reiks didelių investicijų. Tačiau taip būtų galima pakeisti žmonių darbą robotizuota linija.

Šiame darbe analizuoti du galimi modernizacijos pasirinkimai – visiškai robotizuota arba iš dalies robotizuota operacija. Visiškai robotizuota linija – visus šios operacijos darbuotojus pakeičia išmanūs robotai. Iš dalies robotizuota linija – robotas pakeičia kelis prie operacijos dirbančius darbuotojus. Būtina išsiaiškinti, kuris modernizacijos variantas yra tinkamesnis įmonei pagal esamus įmonės poreikius.

3. TYRIMO REZULTATAI

3.1.Modernizacijos įvertinimas

Norint sužinoti, kuris iš atnaujinimo variantų yra tinkamesnis, būtina atlikti skaičiavimus.

Minimalus darbuotojų skaičius šioje operacijoje yra trys darbuotojai, tačiau dažniausiai šią operaciją atlieka dar du ar daugiau darbuotojų, todėl galima teigti, kad vidutiniškai operacija atliekama penkių darbuotojų. Pirmiausia apskaičiuojamos sąnaudos, kurios patiriamos pagal dabartinius gamybos mastus.

3.1.1 lentelėje pateikti mokesčiai, kuriuos darbdavys turi sumokėti, norint išmokėti darbuotojui minimalų atlyginimą ir 1,3 karto didesnę atlyginimą. Priimama, kad būtent 1,3 karto didesnę nei minimalų atlyginimą gaus darbuotojai, dirbantys šioje operacijoje.

3.1.1 lentelė

Darbdavio išlaidos atlyginimams

	Minimali alga (555 Eur neatskaičius mokesčių)	720 Eur neatskaičius mokesčių
Pajamų mokestis (GPM) 20 %	50,85	89,08
Sveikatos draudimas (PSD) 6,98 %	38,69	50,29
Pensijų ir soc. draudimas 12,52 %	69,39	90,21
„Sodros“ įmoka (VSD) 1,77 %	9,81	12,75
„Sodra“ grindys 21,27 %	0,16	0
II-os pakopos pensijai	9,98	12,97
Darbuotojui išmokamas atlyginimas	385,36	478
Darbdavio išlaidos	564,24	733,3

Penkių darbuotojų išlaikymas per mėnesį įmonei kainuos 3 666,5 Eur.

Atlikus šios operacijos profesinės rizikos vertinimą, buvo nustatyta, jog tolimesnis tinkamas darbuotojų darbo vietos užtikrinimas gali būti tęsiamas tik atlikus darbo vietos atnaujinimus. Reikia gerinti apšvietimą ir didinti pertraukų dažnumą. Šie pakeitimai pareikalaus papildomų išlaidų, kurias būtina įvertinti, nes be šių pakeitimų ne visos darbo vietos sąlygos yra tinkamos.

Vienas iš netenkinančių veiksnių darbo rizikos vertinime yra apšvietimas. Todėl reikalingas papildomas apšvietimas arba esamo apšvietimo atnaujinimas. Gamykloje neseniai buvo atnaujintos visos lempos, tad vienintelė išeitis dar pagerinti darbo vietos apšvietimą – papildomų šviestuvų įdiegimas. Šiuo metu apšvietimas siekia 178 lx, nors standartas reikalauja 300–500 lx. Kadangi apšvietimas dvigubai silpnesnis, galime daryti prielaidą, kad, norint pasiekti normą, turime padvigubinti turimų šviestuvų skaičių aplink šią darbo vietą. Šiuo metu darbo vietoje yra 2 lempos prie operacijos ir viena lempa bendram apšvietimui (3.1.1 pav.).



3.1.1 pav. Srautinio valymo šratais operacijos apšvietimas

Papildomai reiks įrengti dar 3 šviestuvus. Vienos papildomos lempos kaina sudaryta iš korpuso ir 2 LED lempų. Vienos LED lempos kaina yra 5,95 Eur, o korpusas kainuoja 48,75 Eur. Todėl trijų šviestuvų kaina bus 181,95 Eur.

Taip pat papildomai kainuos elektra. Elektros kaina įmonei be PVM – 0,0345 Eur/kWh. Vieno šviestuvo galingumas yra 0,1 kW, per mėnesį jis veiks 166,8 val. Tad visų papildomų šviestuvų sunaudojamas elektros kiekis per mėnesį sieks 1,73 Eur.

Kitas netenkinamas veiksnys yra viršutinės kūno dalies apkrova. Vienas iš šio darbo rizikos veiksnio gerinimo būdų gali būti pertraukų tankinimas. Priėmus, kad šioje darbo vietoje dirbančiam darbuotojui skiriama dar 30 minučių pertraukų per darbo dieną, reikia paskaičiuoti, kiek tai kainuos įmonei. Vidutiniškai 2019 metais per mėnesį yra 20,9 darbo dienų. Dirbamų valandų per mėnesį yra 166,8.

Papildomas laikas pertraukoms turi būti išreikštas finansiškai. Todėl apskaičiuojamos darbdavio išlaidos, skirtos vieno darbuotojo papildomoms pertraukoms per mėnesį:

$$x = \frac{d * p * dd}{v};$$

čia d – darbo užmokestis per mėnesį, Eur;

p – vienos dienos papildomų pertraukų bendras laikas, val.;

dd – dirbamų dienų skaičius per mėnesį;

v – dirbamų valandų skaičius per mėnesį, val.;

$$x = 45,94 \text{ Eur.}$$

Apskaičiuota suma yra tik vieno darbuotojo, tačiau priimta, kad vidutiniškai šią operaciją atlieka 5 darbuotojai, tad bendra per mėnesį sumokamo atlyginimo suma, kuri bus skirta pertraukoms, yra 229,7 Eur.

Būtinios išlaidos, norint toliau dirbti nemodernizuojant operacijos, yra pateiktos 3.1.2 lentelėje.

3.1.2 lentelė

Išlaidos, nemodernizuojant operacijos

Pavadinimas	Kaina, Eur
Apšvietimas	181,95
Iš viso (vienkartinės išlaidos)	181,95
Elektros sunaudojimo padidėjimas	1,73 per mėn.
Papildomos pertraukos	229,7 per mėn.
Iš viso (kasmėnesinės išlaidos)	232,29 per mėn.

Net ir neatliekant robotizacijos, įmonė turės imtis priemonių, kurios per mėnesį sieks 232,29 Eur penkiems darbuotojams. Šios išlaidos gali didėti, nes yra tiesiogiai priklausomos nuo minimalaus darbo užmokesčio bei elektros kainų.

3.2. Modernizacija Robotas-žmogus

Pirmoji nagrinėjama modernizacija yra iš dalies robotizuota linija. Šios modernizacijos metu nebus visiškai eliminuoti darbuotojai, nes robotas pakeis tik keturis darbuotojus, kurie atlieka šratų pašalinimą iš detalių. Pasirinkus tokį sprendimą, robotas atliks sunkiausią ir daugiausiai darbuotojų pareikalaujančią užduotį – detalių kratymą po operacijos. Likęs darbuotojas turėtų iš atvežtos dėžės krauti detales ant kabyklos ir įstumti kabyklą į srautinio valymo šratais mašiną. Po įvykusios operacijos, darbuotojas ištrauktų kabyklą ir pristatytų į reikiamą vietą, kur robotas atliktų tolesnius veiksmus – po vieną detalę nukabintų, išpurtytų ir padėtų į vėžimėlį.

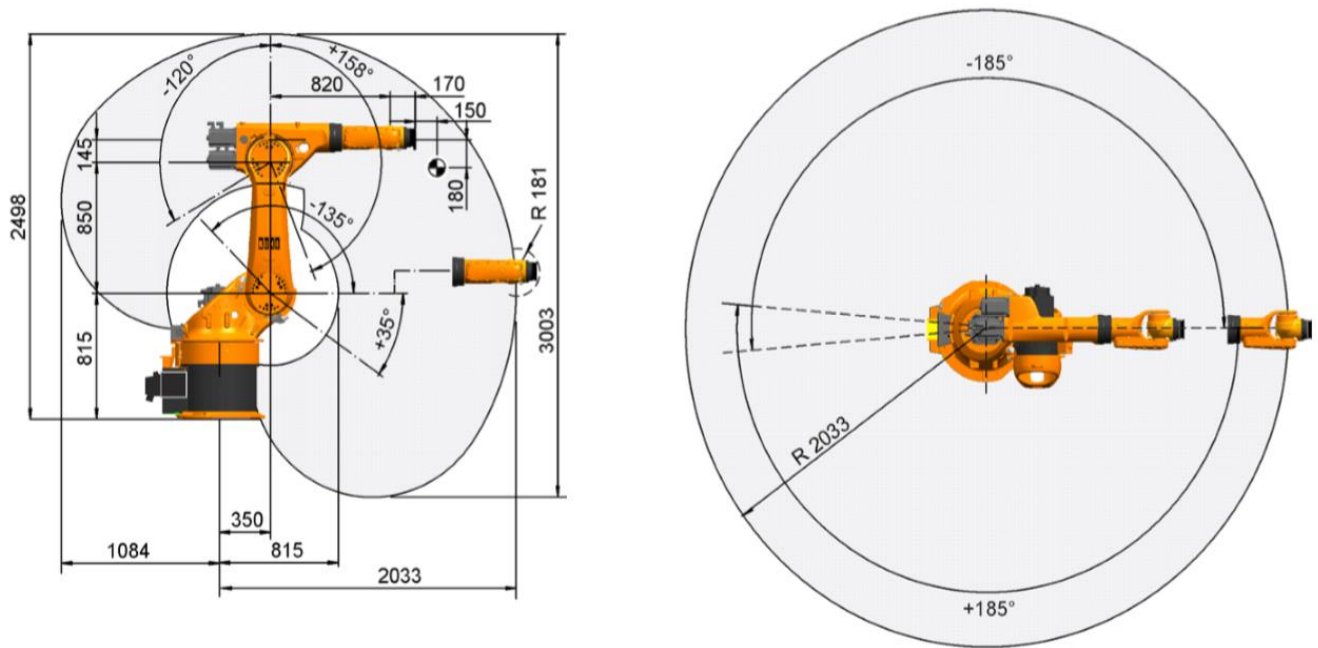
Išlaidos, modernizuojant darbo vietą, susideda iš 4 pagrindinių dalių:

1. roboto kainos;
2. periferinės įrangos (saugos barjerai, saugos sistemos, saugos sensoriai);
3. projektavimo darbų kainos (programavimo, įdiegimo, palaikymo);
4. projekto vadovavimo darbų kainos [11].

Tokio atnaujinimo didžiausią kainos dalį sudaro robotas ir naujos mobilios kabyklos. Kita įranga liktų nepakeista, todėl investicijų jų atnaujinimui nereiktų. Žinoma, reiks įvertinti padidėjusias elektros sąnaudas, taip pat pridėti kasmetines roboto priežiūros išlaidas.

Industrinių robotų kaina svyruoja nuo 45 iki 70 tūkst. eurų. Ši kaina susideda iš pilnos roboto komplektacijos – kontrolierių, sensorių, platformų ir pan. Žinoma, jei roboto atliekamos užduotys yra specifinės, kaina yra didesnė ir vidutiniškai siekia 90–130 tūkst. eurų. Perkant robotą, galima rinktis ne naują, o iki gamyklinių parametrų atstatytą naudotą robotą. Tokių robotų kaina yra beveik perpus mažesnė. Roboto kainai gamintojas didelės įtakos neturi.

Tiriamai modernizacijai pasirinktas *KUKA* firmos robotas manipulatorius *KR 60-3*. Jis pavaizduotas 3.2.1 paveiksle. Toks industrinis 6 ašių robotas manipulatorius kainuoja apie 60 tūkst. eurų [16]. Roboto keliamoji galia turi būti kelis kartus didesnė nei keliamas svoris, kadangi detalės bus purtomos, tad roboto griebtuvo apkrova bus didesnė nei tik keliant detales.



3.2.1 pav. Industrinis robotas *KR 60-3*

Pagrindiniai roboto apkrovimo duomenys pateikti 3.2.1 lentelėje.

3.2.1 lentelė

KR 60-3 roboto apkrovos duomenys

Vardinė naudingoji apkrova	60 kg
Vardinis inercijos momentas	18 kgm ²
Vardinė bendroji apkrova	95 kg
Vardinė papildoma apkrova (rankos)	35 kg

Kabyklos bus gaminamos pagal specialų užsakymą. Jos turės ratukus, todėl bus lengvai transportuojamos (3.2.2 pav.).



3.2.2 pav. Kabyklos modelis

Taip pat bus įrengti du kabyklų tvirtinimai, kurie sugriebs kabyklas ir suks jas aplink ašį tam, kad robotui ir žmogui nereiktų sukinėti kabyklos, norint sukabinti ar nukabinti detales. Kabyklų pagaminimo kaina vietinėje firmoje sieks 600 Eur už vieną. Kabyklų tvirtinimai-suktukai bus užsakomi, jų kaina suderinta su vietine firma ir sieks 500 Eur už vieną. Visa periferinė įranga kainuos apie 30 tūkst. eurų. Į šią kainą įtraukti griebtuvai, sensoriai, platforma, saugumo įranga.

Modernizuojant šią gamybos operaciją būtina priskaičiuoti inžinerines išlaidas. Robotas turės paimti detalę, ją iškratyti ir perkelti į vežimą. Roboto programavimu rūpinsis pasamdyta įmonė. Sąmatoje numatyta, kad tokie roboto programavimo ir sumontavimo darbai kainuos apie 100 tūkst. eurų ir truks metus. Projektui vadovaus vienas iš įmonėje dirbančių inžinierių bei gamybos valdymo darbuotojas, todėl nebus išleista papildomai lėšų projekto koordinavimui. Robotui suteikiama metų garantija ir pardavėjas teigia, kad visa būtina pagalba bus suteikiama ir yra įskaičiuota į kainą [16]. Po pirmųjų metų garantiją galima pratęsti arba prisiimti visus taisymo kaštus ir atlikti apžiūras. Pigiau būtų pratęsti garantiją, bet peržiūrėjus siūlomą sąlygą, aišku, kad patogiau, greičiau ir efektyviau yra samdyti vietinę įmonę, kuri atliktų patikras ir kalibravimus kas 6 mėnesius. Tokiu būdu būtų sukuriama gedimų prevencija, o ne laukiama iki tol, kol robotas negalės funkcionuoti. Ši

situacija po operacijos atnaujinimo yra nepageidautina. Roboto priežiūra metams kainuos 2 000 Eur. Taip pat kiekvienai robotizuotai linijai turi būti numatytos išlaidos kapitaliniam remontui. Šios modernizacijos išlaidos siekia 7 500 Eur po 10 metų naudojimo. Kapitalinis remontas neskaičiuojamas ankstesniam periodui. Visos išlaidos pateiktos 3.2.3 lentelėje.

3.2.3 lentelė

Išlaidos (*Robotas-žmogus*)

Pavadinimas	Kaina, Eur
Robotas	60 000
Mobilios kabyklos	1 200
Tvirtinimai kabykloms	1 000
Periferinė įranga	20 000
Projektavimo darbai	80 000
Projekto valdymas	0
Iš viso (vienkartinės išlaidos)	162 200
Priežiūra	2 000 Eur metams
Iš viso (kasmetinės išlaidos)	2 000 Eur metams
Kapitalinis remontas po 10 metų	7 500
Iš viso (remonto išlaidos)	7 500

Būtina įvertinti išaugančias elektros sąnaudas įmonėje. Roboto galia yra 0,39 kW, jis dirbs 166,8 val. per mėnesį. Mėnesinės elektros sąnaudos bus 65,05 kWh.

Suma už tokį kiekį elektros yra 2,24 Eur.

Įrengiamos papildomos įrangos galia siekia 0,5 kW, tad elektros išlaidos per mėnesį šiai įrangai sieks 2,88 Eur.

Mėnesinės išlaidos elektrai išaugo 5,12 Eur. Reikia apskaičiuoti, kokią dalį darbuotojo atlyginimo sudaro šios išlaidos. Tai yra 0,71 % vieno darbuotojo atlyginimo dalies, tad primama, kad elektros sąnaudos sudaro 1 % darbuotojo mėnesinio atlyginimo dalies.

Iš 3.2.3 lentelės matyti, kad įrengimas kainuos 162 200 Eur, o kasmetinės išlaidos sieks 2 000 Eur. Kapitalinio remonto suma, kai robotas bus naudojamas daugiau nei 10 metų, sieks 7 500 Eur. Reikia apskaičiuoti, kokią dalį darbuotojo metinio atlyginimo sudaro priežiūros išlaidos. 2 000 Eur yra beveik 23 % vieno darbuotojo mėnesinio atlyginimo dalies.

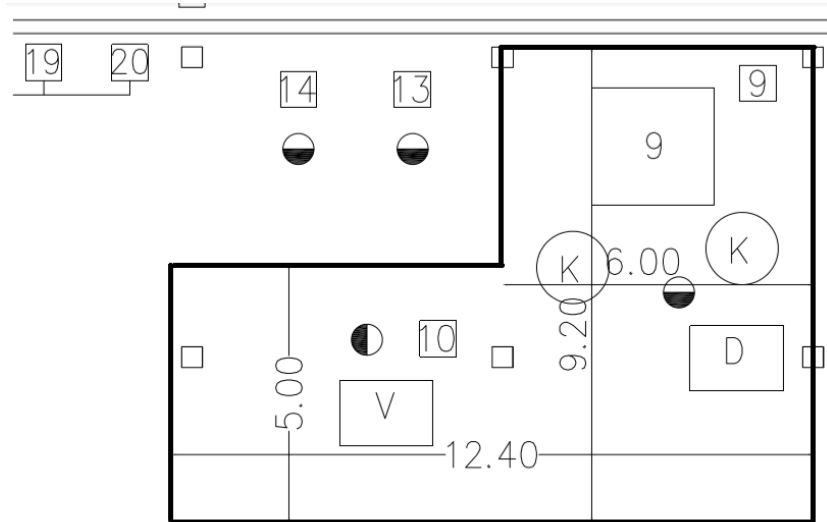
Akivaizdu, kad modernizacijos pokyčiai lems šios operacijos užimamo ploto pokytį. Kadangi tiriamai įmonei, kaip ir kiekvienai kitai kompanijai, yra svarbu išnaudoti turimą plotą kuo naudingiau, apskaičiuojamas sutaupytas plotas šios modernizacijos atveju.

Šiuo metu esantis išdėstymas paruošimo ceche pateiktas 3.2.3 paveiksle. Paveiksle numeriais ir raidėmis pažymėtos šios darbo vietos dalys:

9 – srautinio valymo šratais įranga;

10 – šratų purtymo zona;

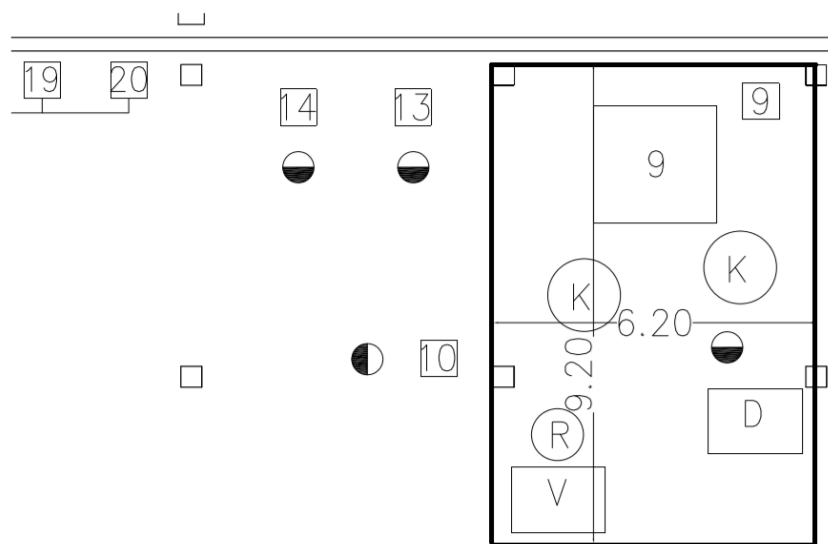
- 13, 14 – pobalnio vidinio apdirbimo zona;
- 19, 20 – kontaktinio suvirinimo elektra zona;
- K – kabykla;
- V – vežimėlis;
- D – dėžės.



3.2.3 pav. Esamos operacijos išdėstymas

Dabartinis tiriamos operacijos užimamas plotas yra 87,2 m².

Įmonei vieno kvadratinio metro kaina už dieną yra 0,25 Eur. Apskaičiavus užimamą plotą po operacijos atnaujinimo, galima sužinoti sumą, kurią įmonė sutaupys. Modernizuotos operacijos išdėstymas pateiktas 3.2.4 paveiksle. Paveiksle robotas pažymėtas raide R.



3.2.4 pav. Modernizuotos Robotas-žmogus operacijos išdėstymas

Modernizuotos operacijos užimamas plotas – 57,04 m².

Operacijai skirtas plotas sumažėja apie 20 m², todėl sutaupymas per metus sieks 2 752,1 Eur.

Šią sumą reikia pridėti skaičiuojant sutaupymus. Tai sudaro beveik 31 % vieno darbuotojo mėnesinio atlyginimo dalies.

Taigi ši modernizacija pakeis keturis darbuotojus, tačiau pinigine išraiška ji pakeis 4,07 darbuotojo atlyginimo.

Pateiktas skaičiavimas projekto atsipirkimo laikui

$$T = \frac{I}{d.d.*d};$$

čia I – modernizacijos vienkartinės išlaidos, Eur;

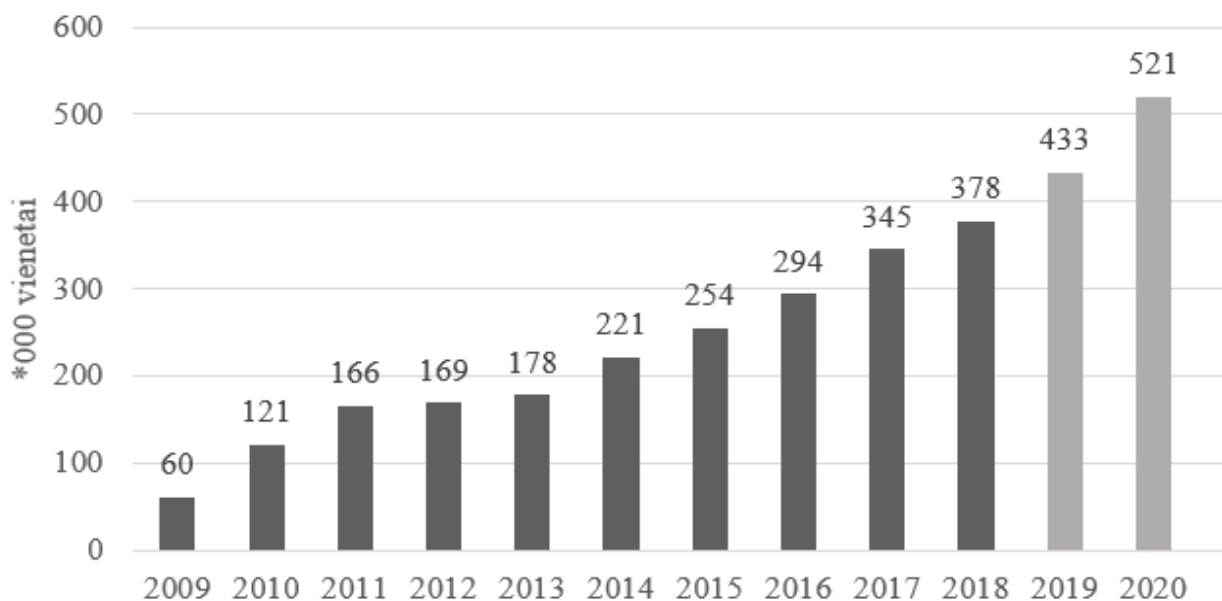
$d. d.$ – finansiškai pakeičiamų darbuotojų kiekis;

$$T = 55 \text{ mėn.}$$

Įrengus robotą ir pakeitus juo 4 darbuotojus (4,07 darbuotojo finansiškai), po 55 mėnesių prasidės atsipirkimas, nes nebereikės mokėti darbo užmokesčio, o roboto kaina jau bus išsilyginusi su 55 mėn. darbuotojų atlyginimu.

Po 55 mėnesių roboto naudojimo, ši modernizacija bus pelninga, lyginant su dabartine situacija. Remiantis didelių įmonių patirtimi, beveik 5 metų laikotarpio atsipirkimas yra per ilgas tokiai investicijai. Optimalus laikotarpis, kol įmonei investicija atsipirks, yra 2–3 metai. Viršijant šį laiką, akcininkų sprendimas dažniausiai būna nepalankus investicijai. Robotų kaina nėra didelė, nes šiuo metu itin sparčiai vyksta įmonių atsinaujinimas, todėl robotų pardavėjai siekia būti konkurencingi ir suteikti kuo palankesnę kainą.

Remiantis Tarptautinės robotikos federacijos (*International Federation of Robotics*) duomenimis, per ateinančius dvejus metus kasmetis pasaulinis industrinių robotų naudojimas išaugs beveik 40 % (3.2.5 pav.) [15]. Anksčiau ar vėliau, robotizacija yra neišvengiama ir IV-oji pramonės revoliucija bus įgyvendinta visose gamyklose.



3.2.5 pav. Planuojamas metinis pasaulinis industrinių robotų panaudojimas remiantis TRF

3.3.Modernizacija *Robotas-robotas*

Antroji modernizacijos galimybė yra visų darbuotojų pakeitimas dviem robotais ir konvejeriu. Kaip ir anksčiau nagrinėtoje situacijoje, vienas robotas atliks detalių kratymą po operacijos, o kitas robotas kraus detales ant kabyklos. Kabykla bus įtvirtinta ant konvejerio, kuris įves kabyklą į srautinio valymo šratais mašiną, išves iš jos ir transportuos kabyklas robotams.

Tokio atnaujinimo kainą sudaro du robotai, konvejeris ir naujos kabyklos, kurios bus pritvirtintos ant konvejerio. Prie robotų konvejeris turės sukamą platformą, kad galėtų aplink ašį sukti kabyklą. Kita įranga lieka nepakeista, todėl investicijų nereikės. Kadangi padidėjusios elektros sąnaudos nesudaro reikšmingos dalies, priimsime, kad jos sudarys 5 % darbuotojo atlyginimo, o tai yra 36,67 Eur per mėnesį.

Šiai modernizacijai bus perkami du identiški pirmosios modernizacijos robotai. Bus naudojamos trys kabyklos, kurios bus gaminamos pagal užsakymą. Kabyklų kaina – 600 Eur už vieneta. Konvejerio ilgis bus apie 20 metrų. Vieno metro kaina su įrengimu 1 000 Eur. Sukamos platformos kaina su įrengimu kainuoja 1 500 Eur. Jų bus dvi. Tad konvejerio įrengimas kainuos 23 tūkst. eurų. Konvejerio priežiūrą atliks įmonės elektrikai, todėl nereikės papildomų išlaidų profilaktinei priežiūrai. Išlaidos projektavimo darbams išaugs, nes reikės suderinti du robotus ir konvejerį. Jos sieks 100 tūkst. eurų. Esant tokiai modernizacijai, reikės atnaujinti srautinio valymo šratais mašinos duris – jos turės atsidaryti automatiškai įvažiuojant ir išvažiuojant kabykloms. Šios išlaidos bus įtrauktos į periferines išlaidas. Šios išlaidos, palyginus su pirmosios modernizacijos, išaugs ir sieks 30 tūkst. eurų, nes periferinės įrangos reikės antrajam robotui. Kadangi reikės prižiūrėti du

robotus, kasmetinės apžiūros kaina pakils iki 3 500 Eur. Kapitalinis remontas po 10 metų kainuos 20 tūkst. eurų.

3.3.1 lentelėje pateikta išlaidų suvestinė antros modernizacijos atveju.

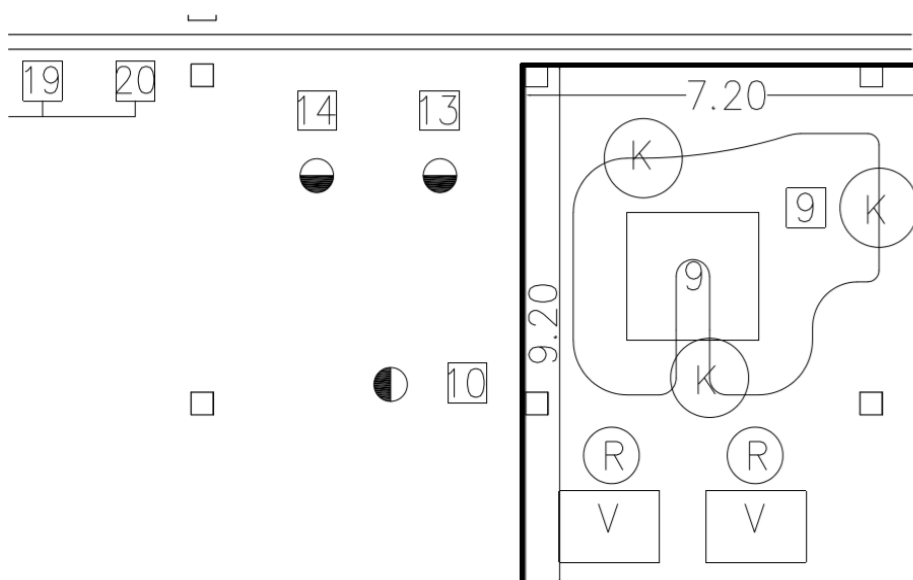
3.3.1 lentelė

Išlaidos (*Robotas-robotas*)

Pavadinimas	Kaina, Eur
Robotai	120 000
Mobilios kabyklos	1 800
Konvejeris su sukamomis platformomis	23 000
Periferinė įranga	30 000
Projektavimo darbai	100 000
Projekto valdymas	0
Iš viso (vienkartinės išlaidos)	274 800
Priežiūra	3 500 Eur metams
Iš viso (kasmetinės išlaidos)	3 500 Eur metams
Kapitalinis remontas po 10 metų	20 000
Iš viso (remonto išlaidos)	20 000

Iš lentelės matyti, kad įrengimas kainuos 274 800 Eur, o kasmetinės išlaidos sieks 3 500 Eur. Kapitalinio remonto suma, kai linija bus naudojamas daugiau nei 10 metų, sieks 20 tūkst. Eur. Reikia apskaičiuoti, kokią dalį darbuotojo metinio atlyginimo sudaro priežiūros išlaidos. 3 500 Eur yra beveik 40 % vieno darbuotojo mėnesinio atlyginimo dalies.

Apskaičiuojamas naujai suprojektuotos darbo vietos užimamas plotas. Atnaujintos operacijos išdėstymas pateiktas 3.3.1 paveiksle.



3.3.1 pav. Modernizuotos *Robotas-robotas* operacijos išdėstymas

Modernizuotos operacijos užimamas plotas sieks 66,24 m².

Operacijai skirtas plotas sumažėja 20,96 m², todėl sutaupymas per metus lygus 1 912,6 Eur.

Šią sumą reikės pridėti skaičiuojant sutaupymus. Tai sudaro 22 % vieno darbuotojo mėnesinio atlyginimo dalies.

Taigi faktiškai ši modernizacija pakeis 4,77 darbuotojo.

Projekto atsipirkimo laikas skaičiuojamas pagal anksčiau pateiktą formulę ir yra 79 mėnesiai.

Po 79 mėnesių modernizacija bus naudinga, nes bus padengti įrengimo kaštai.

3.4.Modernizacijų palyginimas

Didesnių investicijų reikalauja antroji modernizacija, tačiau ilguoju laikotarpiu tai turėtų atnešti didesnę finansinę naudą, taip pat tokia modernizacija iškart eliminuoja šios operacijos darbuotojus, tad ateityje ilgiau nereikės jos atnaujinti. Antrosios modernizacijos atsiperkamumas prasidės tik po beveik 7 metų, o tai dviem metais ilgesnis laikotarpis nei pirmosios modernizacijos atsipirkimas. Todėl manant, kad akcininkams toks ilgas laikotarpis neatrodys vertas investicijos, verta paskaičiuoti modernizacijų pelningumą po 10, 15 ir 20 metų.

Pirmajai modernizacijai reikės 55 mėnesių, kad roboto įrengimas būtų padengtas darbuotojų atlyginimais. Antrajai modernizacijai reikės 79 mėnesių, kad pakeistų darbuotojų atlyginimai padengtų modernizacijos kaštus. Praėjus šiems laikotarpiams, pirmosios modernizacijos išlaidos darbuotojui, elektrai ir aptarnavimui sieks 0,93 darbuotojo atlyginimo dalies. Antrosios modernizacijos išlaidos elektrai ir aptarnavimui po 79 mėnesių nuo įrengimo sieks 0,23 darbuotojo atlyginimo dalies.

Roboto-žmogaus ir *Roboto-roboto* modernizacijų išlaidoms apskaičiuoti naudojama formulė

$$(L - L_{ats}) * d_{dal} * d + I_v + R;$$

čia L – laikotarpis, mėnesiais;

L_{ats} – laikotarpis, per kurį atsiperka modernizacija, mėnesiais;

d_{dal} – darbuotojo dalis, kuri nepanaikinama modernizacijomis;

I_v – vienkartinės išlaidos modernizacijai, Eur;

R – kapitalinio remonto išlaidos, Eur.

Norint apskaičiuoti įmonės išlaidas, jei nebus vykdoma modernizacija, naudojama formulė

$$L * d_{dal} * d + I_{pap} * L;$$

čia I_{pap} – išlaidos elektrai ir pertraukoms, Eur.

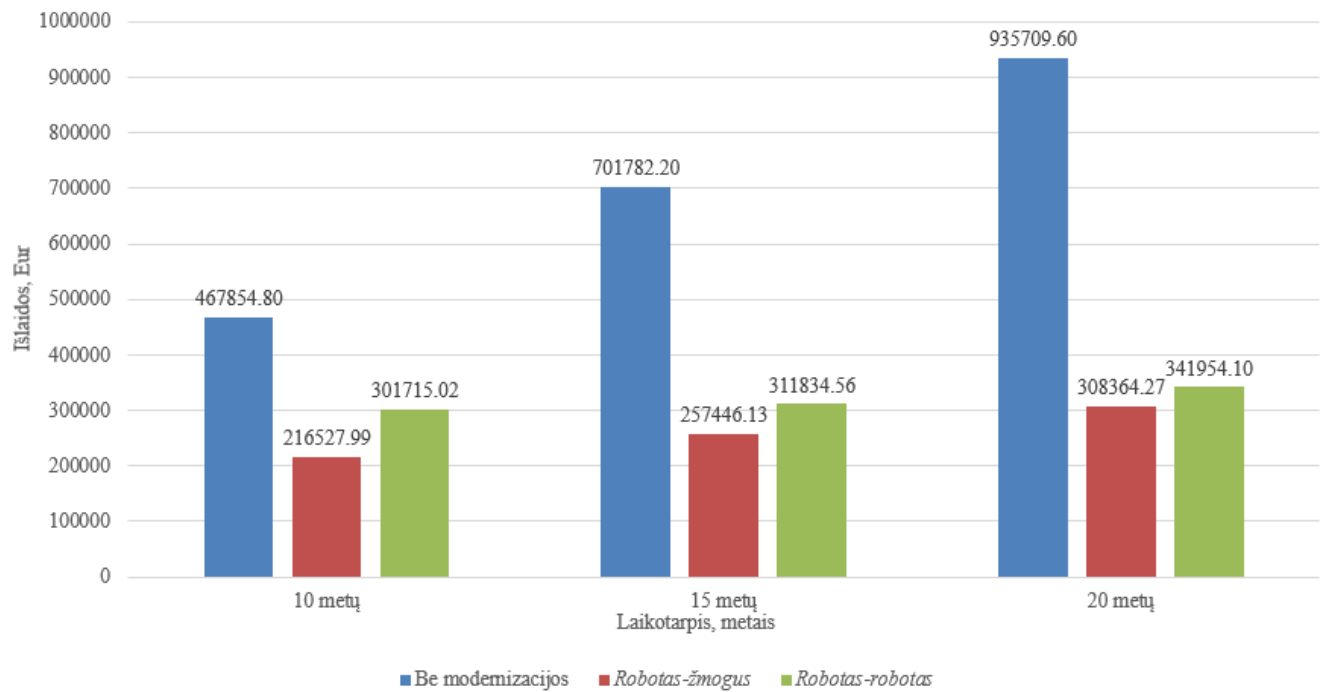
3.4.1 lentelėje pateikta apskaičiuota informacija.

3.4.1 lentelė

Išlaidos (10, 15, 20 metų)

Laikotarpis	Be modernizacijos, Eur	<i>Robotas-žmogus</i> , Eur	<i>Robotas-robotas</i> , Eur
10 metų	467 854,8	216 527,99	301 715,02
15 metų	701 782,2	257 446,13	311 834,56
20 metų	935 709,6	308 364,27	341 954,10

3.4.1 paveiksle pateiktas išlaidų grafikas.



3.4.1 pav. Išlaidos (10, 15, 20 metų)

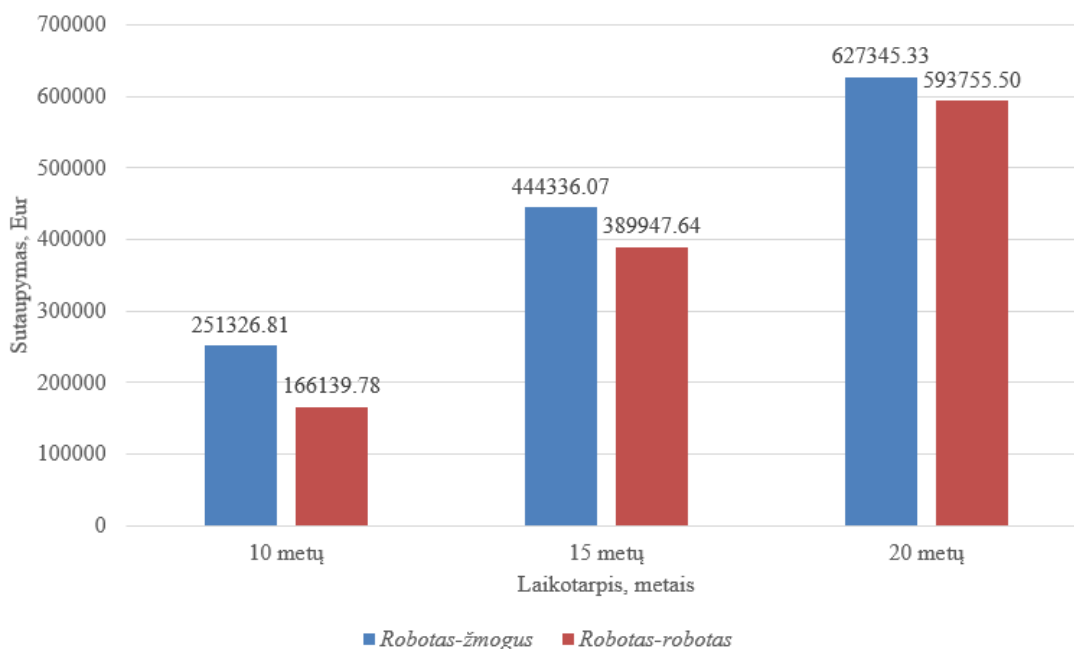
3.4.2 lentelėje pateiktas galimas sutaupymas, lyginant su nemodernizuota situacija per 10, 15 ir 20 metų.

3.4.2 lentelė

Sutaupymas (10, 15, 20 metų)

Laikotarpis	Robotas-žmogus, Eur	Robotas-robotas, Eur
10 metų	251 326,81	166 139,78
15 metų	444 336,07	389 947,64
20 metų	627 345,33	593 755,5

3.4.2 paveiksle pateiktas grafikas pagal 3.4.2 lentelės duomenis.



3.4.2 pav. Sutaupymas (10, 15, 20 metų)

Remiantis skaičiavimais, modernizacija bus pelninga jau po 10 metų nuo įrengimo. Po 10 metų naudingesnė bus *Roboto-žmogaus* modernizacija. Dar po 10 metų situacija nesikeičia ir pelningesnė lieka *Roboto-žmogaus* modernizacija – palyginus su *Roboto-roboto* modernizacija, sutaupoma 33 589,83 Eur daugiau. Tokiam ilgam laikotarpiui tai nėra didelė suma, todėl įmonei vertėtų svarstyti visiškai robotizuotos operacijos galimybes.

3.5. Atsiperkamumo patikrinimas skaičiuoklėmis

Internete yra net kelios roboto atsiperkamumo skaičiuoklės, į kurias įvedus turimus duomenis, paskaičiuojamas laikotarpis, per kurį atsipirks investicija ir pateikiami kasmetinių išlaidų preliminarūs duomenys. Išbandymui pasirinkta skaičiuoklė – *ROI Robot System Value Calculator* [24].

Skaičiuokle patikrinsime *Roboto-roboto* modernizacijos atsiperkamumo laikotarpį. 3.5.1 paveiksle pavaizduotas skaičiuoklės langas, kuriame reikia įvesti pradinis modernizacijos duomenis – įrengimo išlaidas ir robotų kainas.

VARIABLE FOR TOTAL SYSTEM COST

? Total System Cost: \$ 280,000 Quantity of Robots: 2

3.5.1 pav. Duomenų įvedimas į *ROI Robot System Value Calculator* skaičiuoklę

Toliau programa reikalauja įvesti esamos situacijos duomenis – kiek laiko robotai dirbs per dieną, savaitę ir metus, koks mokamas atlyginimas darbuotojams, kiek darbuotojų pakeis robotai, kokios dalies darbuotojų reikės operacijai prižiūrėti, koks bus naudingumo padidėjimas ir kiek

planuojama papildomai sutaupyti. Visi šie duomenys įrašomi į skaičiuoklę (3.5.2 pav.). Šiuo metu per dieną dirba viena pamaina, darbas vyksta 5 dienas per savaitę. Metinės išlaidos vienam darbuotojui siekia 8 800 Eur. Modernizacija pakeis penkis darbuotojus. Proceso išlaikymo išlaidos siekia 45 % vieno darbuotojo atlygio. Todėl nuo visų pakeičiamų darbuotojų tai sudaro 9 %. Tikėtinas produktyvumo augimas bus 10 %, nes būtent tokią dalį per darbo dieną sudaro pertraukos. Papildomų sutaupymų eilutėje pridėsime metinę sutaupomo ploto sumą.

VARIABLES FOR CURRENT OPERATIONAL COSTS		
1	Robot System Usage: <small>Disclaimer: Average Robot Electrical costs are roughly .50 per hour</small>	1 Shifts/Day 5 Days/Week 50 Weeks/Year
2	Annual Labor Costs per Operator, Including Fringe Benefits: <small>Disclaimer: Average Robot Electrical costs are roughly .50 per hour</small>	8,800
3	Number of Operators per Shift Removed:	5
4	Percentage of Labor Retained to Operate System per Shift:	9 %
5	Expected Productivity Gain:	10 %
6	Other Estimated Savings: <small>Additional Statement: We have found that there are often a number of additional unforeseen or industry specific values associated with the installation of Robotic Systems, such as: Scrap/Rework Saving, Material Savings, etc.</small>	1,900

3.5.2 pav. Išlaidų suvedimas į *ROI Robot System Value Calculator* skaičiuoklę

3.5.3 paveiksle pateikti rezultatai. Atsipirkimas numatomas po 6 metų ir 7 mėnesių. Tai atitinka atliktus skaičiavimus.



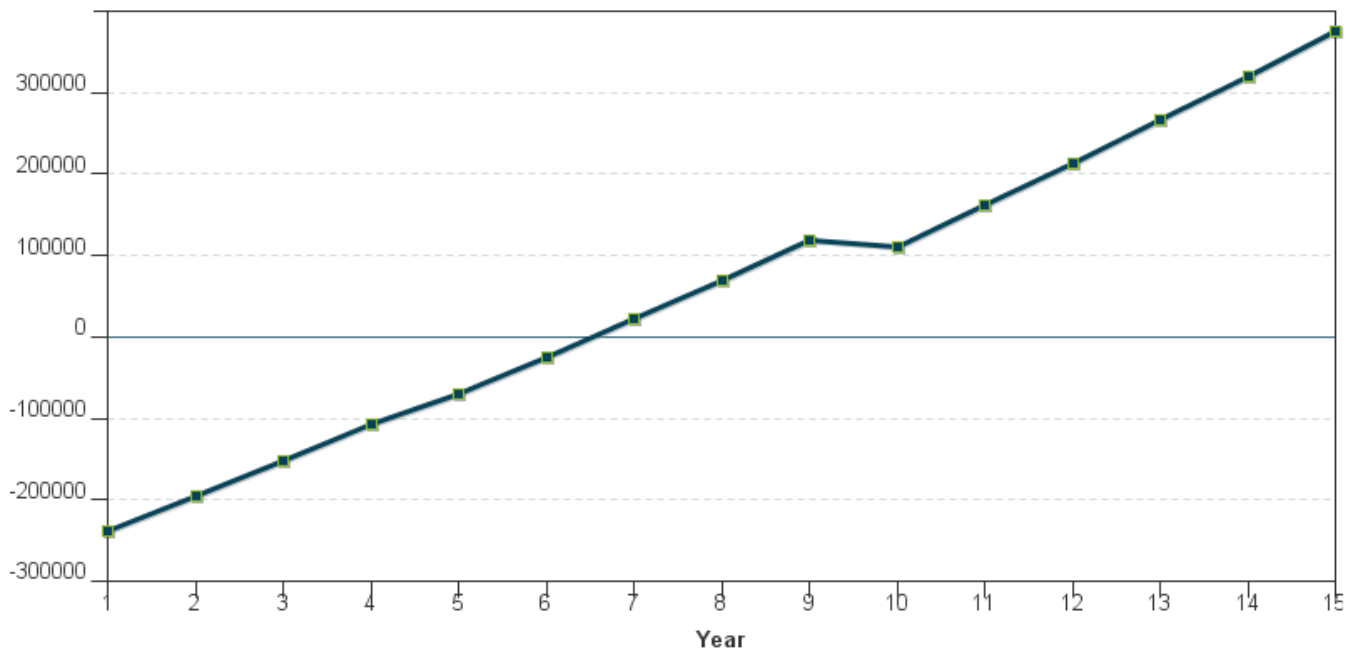
3.5.3 pav. Rezultatai (*ROI Robot System Value Calculator* skaičiuoklė)

3.5.4 paveiksle pateikta lentelė su sutaupymų sumomis. Lentelėje pateikiami kiekvienų metų duomenys. Lentelėje pateikti išlaikymo kaštai ir sutaupymai. Po 15 metų įmonė gaus 375 291 Eur naudą. Pagal anksčiau pateiktus skaičiavimus, po 15 metų įmonė turėtų sutaupyti 389 947,64 Eur. Kadangi neatitikimas yra nedidelis, galime teigti, kad internete pateikta skaičiuoklė yra pakankamai tiksli.

Year	System Costs ?	Maintenance Costs ?	Operating Costs* ?	Labor Savings** ?	Productivity Savings*** ?	Other Savings	Yearly Cash Flow	Cumulative Cash Flow
1	\$ 280,000	\$ 1,000	\$ 3,000	\$ 40,040	\$ 4,004	\$ 1,900	\$ -238,056	\$ -238,056
2		\$ 1,000	\$ 3,060	\$ 40,841	\$ 4,084	\$ 1,900	\$ 42,765	\$ -195,291
3		\$ 1,000	\$ 3,121	\$ 41,658	\$ 4,166	\$ 1,900	\$ 43,602	\$ -151,689
4		\$ 1,000	\$ 3,184	\$ 42,491	\$ 4,249	\$ 1,900	\$ 44,456	\$ -107,233
5		\$ 10,000	\$ 3,247	\$ 43,341	\$ 4,334	\$ 1,900	\$ 36,327	\$ -70,905
6		\$ 1,000	\$ 3,312	\$ 44,207	\$ 4,421	\$ 1,900	\$ 46,216	\$ -24,689
7		\$ 1,000	\$ 3,378	\$ 45,092	\$ 4,509	\$ 1,900	\$ 47,122	\$ 22,433
8		\$ 1,000	\$ 3,446	\$ 45,993	\$ 4,599	\$ 1,900	\$ 48,047	\$ 70,479
9		\$ 1,000	\$ 3,515	\$ 46,913	\$ 4,691	\$ 1,900	\$ 48,990	\$ 119,469
10		\$ 60,000	\$ 3,585	\$ 47,852	\$ 4,785	\$ 1,900	\$ -9,049	\$ 110,420
11		\$ 1,000	\$ 3,657	\$ 48,809	\$ 4,881	\$ 1,900	\$ 50,932	\$ 161,353
12		\$ 1,000	\$ 3,730	\$ 49,785	\$ 4,978	\$ 1,900	\$ 51,933	\$ 213,286
13		\$ 1,000	\$ 3,805	\$ 50,780	\$ 5,078	\$ 1,900	\$ 52,954	\$ 266,240
14		\$ 1,000	\$ 3,881	\$ 51,796	\$ 5,180	\$ 1,900	\$ 53,995	\$ 320,234
15		\$ 1,000	\$ 3,958	\$ 52,832	\$ 5,283	\$ 1,900	\$ 55,057	\$ 375,291
TOTALS		\$ 83,000	\$ 51,880	\$ 692,428	\$ 69,243	\$ 28,500		

3.5.4 pav. Sutaupymai (ROI Robot System Value Calculator skaičiuoklė)

Skaičiuoklė taip pat pateikia grafiką, kuriame matyti investicijų lūžio taškas. Šis taškas yra ties daugiau nei po 6 metų (3.5.5 pav.).



3.5.5 pav. Grafikas, parodantis atsipirkimo laikotarpį

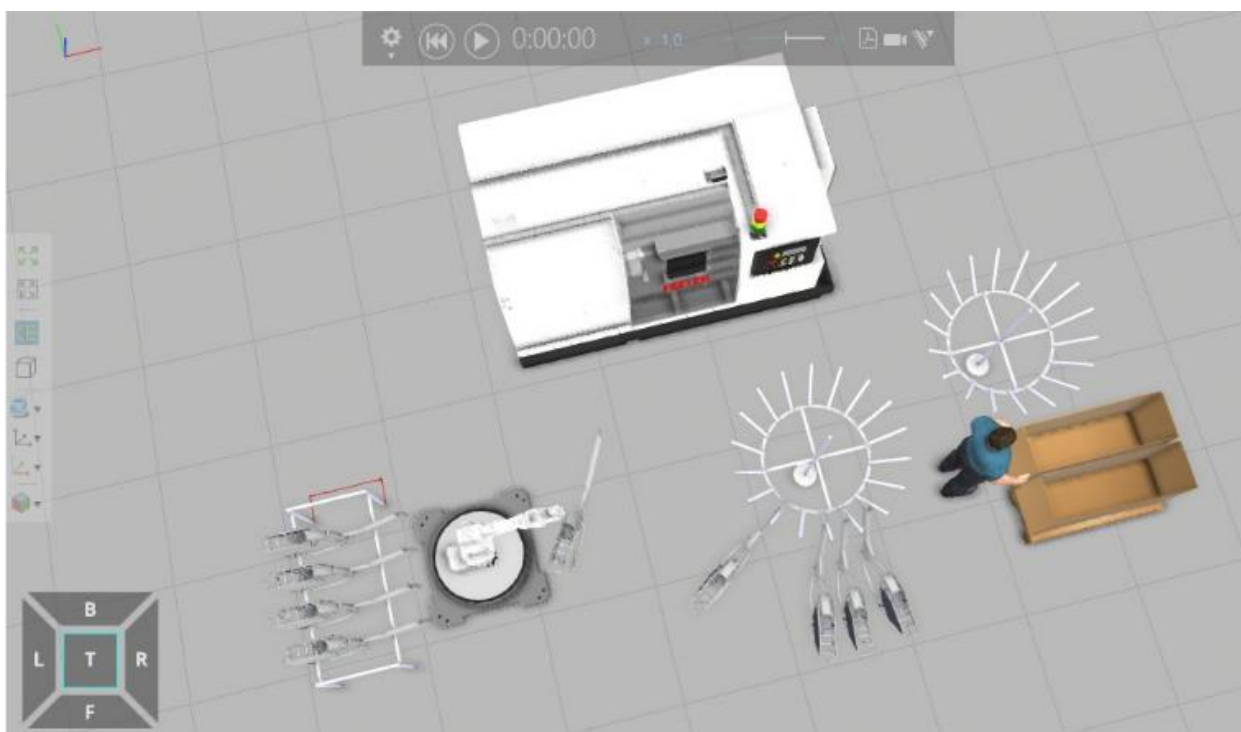
3.6. Vizualus patikrinimas

Šiuo metu yra galimybė patikrinti modernizaciją dar prieš perkant komponentus. Virtualios gamybos programos yra sukurtos būtent šiam tikslui. Virtuali gamyba – tai kompiuterinis modeliavimas, simuliacija ir optimizavimas visų fabrikų ir kritinių operacijų. VG prasidėjo norint sukurti ir patikrinti mašinų įrankius, tačiau dabar tai išaugo į gamyklų simuliaciją, jų procesų atkartojimą [26]. Programinė įranga, kuri naudojama šiame darbe, yra *Visual Components*. Tai programa, skirta 3D simuliacijoms. Ši programinė įranga išleista prieš 18 metų [28], todėl vartotojas gali būti tikras, kad naudojasi patikima ir tinkama programa, kuria bus pasiektas tikslus ir pažengęs technologinis sprendimas.

3.6.1 ir 3.6.2 paveikluose pateikti pirmosios modernizacijos *Robotas-žmogus* vizualizacija.



3.6.1 pav. Modernizuota srautinio valymo šratais darbo vieta (*Robotas-žmogus*), sukurta su *Visual Components* (priekis)



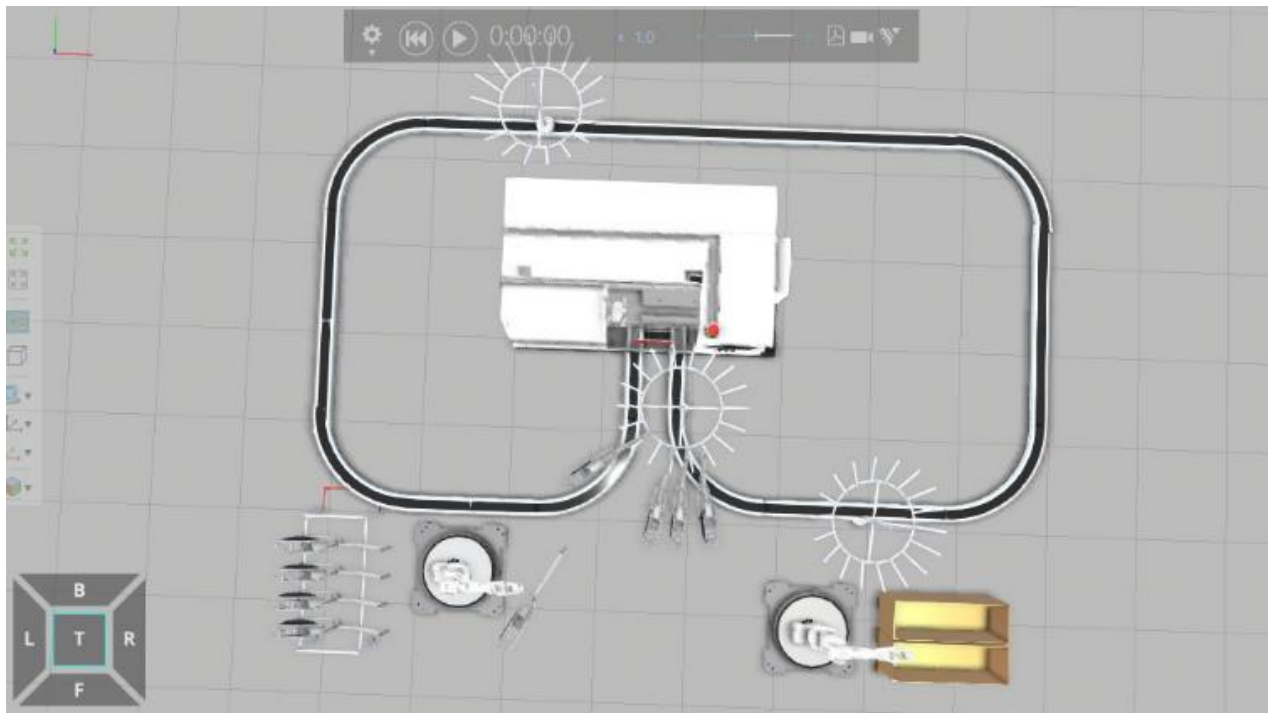
3.6.2 pav. Modernizuota srautinio valymo šratais darbo vieta (*Robotas-žmogus*), sukurta su *Visual Components* (viršus)

Kuriant simuliacijas, galima eliminuoti klaidas ir nereikalingas išlaidas ir taip efektyvinti modernizacijos procesą. Simuliacijos sukūrimas įvykdomas pakankamai greitai, o jos pagalba galima numatyti gamybos seką, vizualiai sukurti būsimą darbo vietą, ją tobulinti. Norint pasiekti geriausią rezultatą, reikia simuliacijas atlikti ne kartą, jas palyginti [8]. Toks linijos tobulinimas leidžia vartotojui pritaikyti dar neegzistuojančioje gamybos proceso vietoje *Lean* principus. *Lean* pagrindinis tikslas yra sukurti didžiausią vertę vartotojui vykdant procesą su kuo mažesniais nuostoliais [3].

Sukurtos srautinio valymo šratais darbo vietos vizualizacijos pagal *Robotas-robotas* modernizaciją, pateiktos 3.6.3 ir 3.6.4 paveiksluose.



3.6.3 pav. Modernizuota srautinio valymo šratais darbo vieta (*Robotas-robotas*), sukurta su *Visual Components* (priekis)



3.6.4 pav. Modernizuota srautinio valymo šratais darbo vieta (*Robotas-robotas*), sukurta su *Visual Components* (viršus)

Šios simuliacijos sukurtos remiantis visa anksčiau aprašyta informacija.

4. IŠVADOS

1. Nustatyta, kad finansiškai naudinga modernizuoti srautinio valymo šratais darbo vietą dviračių gamykloje – jau po 10 metų įmonė sutaupys daugiau nei 250 tūkst. eurų.
2. Modernizacija *Robotas-žmogus* naudingesnė nei modernizacija *Robotas-robotas*. Po 10 metų numatomas 85 187,03 eurų didesnis sutaupymas, po 15 metų – 54 388,43 eurų, po 20 metų numatomas 33 589,83 eurų didesnis sutaupymas.
3. Modernizacija *Robotas-žmogus* atsipirks per 55 mėnesius, o modernizacija *Robotas-robotas* atsipirks per 79 mėnesius.
4. Atlikta užimamos darbo vietos ploto analizė.
5. Sudaryti galimų modernizacijų modeliai su *Visual components* programa.

PUBLIKACIJOS, PRANEŠIMAI

2018-05-17 konferencijoje *Studentų moksliniai darbai* skaitytas pranešimas *Visual Components – virtuali gamyba*;

2018-09-20 priimtas straipsnis *Modernization of shot blasting procedure* žurnale *Journal of young scientists* 48(2);

2018-12-12 laimėta prizinė vieta LINPRA kompetencijų centro *Intechcentro* konkurse „Mokslas – verslui“ su tema *Dviračių gamybos proceso modernizavimo efektyvumo tyrimas*;

2019-03-12 LMA organizuotoje 9-ojoje *Jaunųjų mokslininkų konferencijoje* skaitytas pranešimas *Dviračių gamybos proceso modernizavimo efektyvumo tyrimas* ir gautas diplomatas;

2019-03-18 *INFOBALT* stipendijų konkurso atrankoje pristatytas pranešimas *Dviračių gamybos proceso modernizavimo efektyvumo tyrimas* ir laimėta stipendija;

2019-04-18 *CONUS* projekto baigiamojoje konferencijoje skaitytas pranešimas *Effectiveness study of bicycle factory process modernization*;

2019-05-16 skaitytas pranešimas *Dviračių gamybos proceso modernizavimo efektyvumo tyrimas* jaunųjų tyrėjų tarptautinėje mokslinėje konferencijoje „Jaunasis tyrėjas išmaniajai visuomenei“;

2019-05-17 skaitytas pranešimas *Effectiveness study of bicycle factory process modernization* tarptautinėje jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Industrial engineering 2019“.

LITERATŪRA

1. Floridi L., Ketvirtoji revoliucija: kaip infosfera keičia mūsų tikrovę, Vilnius, 2018.
2. Ford M., Robotų era: technologijų pažanga ir ateitis be darbo, Vilnius, 2017.
3. Holweg M., Bicheno J., The lean toolbox: A handbook for lean transformation (5th edition), Buckingham, 2016.
4. ISO 8501-1:2007, Preparation of steel substrates before application of paints and related products — Visual assessment of surface cleanliness — Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings.
5. Munger C.G., Vincent D., Corrosion Prevention by Protective Coatings, Third Edition, Houston, 2014.
6. Schwab K., Ketvirtosios pramonės revoliucijos valdymas, Vilnius, 2018.
7. Almada-Lobo F., The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES), 2015, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-04-06]. Prieiga per internetą: <https://journals.fe.up.pt/index.php/IJMAI/article/view/249/145>
8. Brauner, P., Ziefle, M., Human Factors in Production Systems, 2013, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-12]. Prieiga per internetą: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-39226-9_46
9. Brettel M., Friederichsen N., Keller M., Rosenberg M., How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective, 2014, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-04-06]. Prieiga per internetą: <http://waset.org/publications/9997144>
10. China Focus: Environment tax helps rein in polluters in China, 2018, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-12]. Prieiga per internetą: http://www.xinhuanet.com/english/2018-01/04/c_136871744.htm.
11. Gekas P., Perera K., 2007 May 30, Economic Justification for Industrial Robotic Systems, ABB, 2007, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-11]. Prieiga per internetą: [http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/5286c3ec6a838e50482572eb00028dfe/\\$file/Robotics+seminar+-+Economic+Justification.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/5286c3ec6a838e50482572eb00028dfe/$file/Robotics+seminar+-+Economic+Justification.pdf)
12. Glossary of statistical terms, [interaktyvus] [žiūrėta 2018-08-05]. Prieiga per internetą: <https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=1163>

13. Gorecky D., Schmitt M., Loskyll M., Human- machine-interaction in the industry 4.0 era, 2014, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-04-06]. Prieiga per internetą: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6945523>
14. Hermann M., Pentek T., Otto B., 2016 March 10, Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios, 2016, IEEE, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-06]. Prieiga per internetą: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7427673/?arnumber=7427673&newsearch=true&queryText=industrie%204.0%20design%20principles>
15. IFR forecast: 1.7 million new robots to transform the world's factories by 2020, 2017, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-02-26]. Prieiga per internetą: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/ifr-forecast-1.7-million-new-robots-to-transform-the-worlds-factories-by-20>
16. IKV 6 axis industrial robotic arm for lifting, [interaktyvus] [žiūrėta 2018-08-08]. Prieiga per internetą: https://www.alibaba.com/product-detail/IKV-6-axis-industrial-robotic-arm_60574964665.html
17. Industrie 4.0 Working Group, Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0, 2013, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-04-06]. Prieiga per internetą: http://www.forschungsunion.de/pdf/industrie_4_0_final_report.pdf
18. Kolberg, D., Zühlke, D., Lean automation enabled by industry 4.0 technologies, 2015, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-04-06]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359>
19. Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.G., Feld, T., Hoffmann, M., Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering, 2014, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-04-06]. Prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
20. Lietuvos statistikos departamento statistinių rodiklių analizė, [interaktyvus] [žiūrėta 2018-07-25]. Prieiga per internetą: <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?hash=e4c15dde543b-407f-a563-d83c25c9c08e#/>
21. Pollution Index for Country 2019, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-03-27]. Prieiga per internetą: https://www.numbeo.com/pollution/rankings_by_country.jsp
22. Rüßmann M., Lorenz M., Gerbert P., Waldner M., Justus J., Engel P., Harnisch M., Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries, 2015, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-04-13]. Prieiga per internetą: http://www.inovasyon.org/pdf/bcg.perspectives_Industry.4.0_2015.pdf

23. Roblek V., Meško M., Krapež A., A Complex View of Industry 4.0, 2016, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-12]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1177/2158244016653987>
24. ROI Robot System Value Calculator, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-04-25]. Prieiga per internetą: <https://www.robotics.org/roi-calculator.cfm>
25. Sanders A., Elangeswaran C., Wulfsberg J., Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing, 2016, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-12]. Prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.3926/jiem.1940>
26. Shrouf, F., Ordieres, J., Miragliotta, G., Smart factories in industry 4.0: a review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of things paradigm, 2014, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-04-06]. Prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.1109/ieem.2014.7058728>
27. Virtual manufacturing, [interaktyvus] [žiūrėta 2018-08-08]. Prieiga per internetą: <https://searcherp.techtarget.com/definition/virtual-manufacturing>.
28. Visual Components, Our story, [interaktyvus] [žiūrėta 2018-08-22]. Prieiga per internetą: <https://www.visualcomponents.com/about-us/>.
29. Vyatkin V., Salcic Z., Roop P. S., Fitzgerald J., Now That's Smart!, 2007, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-04-06]. Prieiga per internetą: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4408617>
30. Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., Gorecky, D., Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems, 2015, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-04-06]. Prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.143>
31. What is Shot Blasting?, [interaktyvus] [žiūrėta 2018-08-13]. Prieiga per internetą: <https://www.wheelabratorgroup.com/en-us/my-application/application-by-process/what-is-shot-blasting>