

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
REGIONŲ PLĖTROS INSTITUTAS

GABRIELĖ KUKULSKYTĖ

Išmaniosios gamybos inžinerijos studijų programos studentė

**DVIRAČIŲ GAMYBOS DARBO OPERACIJOS EFEKTYVUMO
TYRIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

Vadovas

Doc. dr. D. Čikotienė

ŠIAULIAI, 2020

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
REGIONŲ PLĖTROS INSTITUTAS

TVIRTINU

Inžinerinių studijų programų komiteto
pirmininkas

dr. Dainius Balbonas

2020 06

**DVIRAČIŲ GAMYBOS DARBO OPERACIJOS
EFEKTYVUMO TYRIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

Vadovas

Doc. dr. D. Čikotienė

2020-06

Recenzentas

ŠU

Regionų plėtros instituto

Doc. dr. S. Rimovskis

2020-06

Atliko

RM-18 gr. stud.

G. Kukulskytė

2020-06

ŠIAULIAI, 2020

Kukulskytė G. The efficiency research of production operation in the bicycle production process: Masters's Work in Smart manufacturing engineering / supervisor doc. dr. D. Čikotienė, Šiauliai University, Research Institute, 2020, 42 p.

SUMMARY

During economic recession, production companies focus their view on optimization of manufacturing processes and reduction of production cost. In order to stay competitive companies have to install new innovations in production and administration processes. One of possible means to increase productivity is to modernize manufacturing processes. Just before starting a modernization it is essential to evaluate potential economic gains and analyse trends of technology market.

In this Master thesis company's X bicycle mudguard's manufacturing operation of punching hole press is analysed. There are two modernization options presented. Produced calculations that prove the benefits of modernization and reasonable payback period. Simulations of modernized manufacturing processes using 3D production modelling software *Visual components* were created.

Keywords: modernization, bicycle mudguard's manufacturing operation, work operation, device, robot, production modelling software.

Kukulskytė G. Dviračių gamybos darbo operacijos efektyvumo tyrimas: Išmaniosios gamybos inžinerijos magistro darbas / mokslinis vadovas doc. dr. D. Čikotienė, Šiaulių universitetas, Regionų plėtros institutas, 2020, 42 p.

SANTRAUKA

Ekonominio nuosmukio metu kaip niekada svarbus procesų optimizavimas, gamybos kaštų mažinimas. Įmonėms, norinčioms išlikti konkurencingomis rinkoje, būtina diegti naujas inovacijas gamybiniuose ir administraciniuose procesuose. Vienas iš būdų padidinti įmonės našumą – modernizuoti gamybos operacijas. Prieš atliekant modernizaciją, svarbu įvertinti naujovių ekonominę naudą, technologijų rinkos tendencijas.

Šiame baigiamajame magistro darbe išanalizuota X įmonės dviračio purvasaugio kirtimo prieš konvejerį darbo operacija. Pateikiami du modernizacijų variantai. Taip pat atlikti skaičiavimai, įrodantys modernizacijų naudą ir atsiperkamumo laikotarpį. Sukurtos simuliacijos modernizuojamoms darbo operacijoms naudojant 3D gamybos modeliavimo programą *Visual components*.

Prasminiai žodžiai: modernizacija, dviračio purvasaugio kirtimas, darbo operacija, įrenginys, robotas, gamybos modeliavimo programa.

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	6
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	7
IŽANGA.....	8
1. LITERATŪROS APŽVALGA	10
1.1. Produktyvumo gerinimas įmonėje	10
1.2. Pramonė 4.0.....	12
1.3. Inovacijos įtaka gamybos plėtrai.....	15
1.4. Inovacijų skatinimas Lietuvos įmonėse	16
2. TYRIMO APŽVALGA.....	18
3. TYRIMO RYZULTATAI.....	23
3.1. Dviracio purvasaugio darbo operacijos įvertinimas.....	23
3.2. Modernizacija <i>Įrenginys-žmogus</i>	26
3.3. Modernizacija <i>Įrenginys-robotas</i>	30
3.4. Modernizacijų įvertinimas.....	33
3.5. Vizualizacija.....	35
4. IŠVADOS.....	38
LITERATŪRA	39

LENTELIŲ SĄRAŠAS

3.1.1 lentelė. Darbdavio išlaidos vieno darbuotojo atlyginimui	23
3.1.2 lentelė. Išlaidos dviračių purvasaugių kirtimo operacijai	26
3.2.1 lentelė. Išlaidos dviračių purvasaugių kirtimo operacijai <i>Irenginys-žmogus</i>	30
3.3.1 lentelė. Pramoninio roboto ABB IRB 2600-20/1,65 parametrai	31
3.3.2 lentelė. Išlaidos dviračių skydelių kirtimo operacijai <i>Irenginys-robotas</i>	32
3.4.1 lentelė. Išlaidos darbo operacijai po 10, 15 ir 20 metų.....	34
3.4.2 lentelė. Sutaupytos lėšos po 10, 15 ir 20 metų	34

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Lean sistema.....	12
1.2 pav. Ketvirtoji pramonės revoliucija	13
1.4.1 pav. Pagrindinės valstybės skatinimo priemonės, reikalingos įmonės modernizavimui	17
1.4.2 pav. Kas labiausiai skatina technologines investicijas?.....	17
2.1 pav. UMF bagažinės pavyzdys	18
2.2 pav. Dviračių purvasaugių gręžimo operacijos prieš konvejerį darbo vieta.....	19
2.3 pav. Dviračio purvasaugio šablonas	20
2.4 pav. Parduotų elektrinių dviračių skaičius Europoje 2009-2018 metais	20
2.5 pav. Planuojami pramoninių robotų pardavimai, remiantis IFD duomenimis	21
3.1.1 pav. Dviračių purvasaugių šablonų stendas.....	25
3.2.1 pav. Dviračių purvasaugių kirtimo prietaisas	27
3.2.2 pav. Valdymo panelės „Siemens SIMATIC HMI“ techniniai parametrai	28
3.2.3 pav. Įrenginio valdymo panelė	29
3.3.1 pav. Pramoninis robotas ABB IRB 2600-20/1,65	31
3.4.1 pav. Išlaidos darbo operacijai po 10, 15 ir 20 metų.....	34
3.4.2 pav. Sutaupytos lėšos po 10, 15 ir 20 metų	35
3.5.1 pav. Modernizuota darbo operacija, dviračių purvasaugių kirtimas prieš konvejerį (<i>Įrenginys-žmogus</i>), 1 projekcija	36
3.5.2 pav. Modernizuota darbo operacija, dviračių purvasaugių kirtimas prieš konvejerį (<i>Įrenginys-žmogus</i>), 2 projekcija	36
3.5.3 pav. Modernizuota darbo operacija, dviračių purvasaugių kirtimas prieš konvejerį (<i>Įrenginys-robotas</i>), 1 projekcija	37
3.5.4 pav. Modernizuota darbo operacija, dviračių purvasaugių kirtimas prieš konvejerį (<i>Įrenginys-robotas</i>), 2 projekcija	37

IŽANGA

Vykstanti globalizacija sukelia masiškus pasikeitimus dabartinėje ekonominėje būklėje. Ateinant naujai pramonės revoliucijai „Industry 4.0“, įmonės pradeda intensyviai skaitmenizuotis, kad išliktų rinkoje [10].

Įmonės augimo rodikliai priklauso nuo daugelio veiksnių. Vienas iš svarbiausių – produktyvumo didinimas įmonėje. Pagrindinis produktyvumo didinimo būdas – diegti naujas inovacijas gamyboje ir administracijoje. Tai ypač svarbu įmonėms, kurios nori išlikti konkurencingomis rinkoje. Diegiant naujas technologijas, skaitmenizuojant gamybos procesus, gerėja darbo našumas, mažėja broko tikimybė, pagaminama daugiau produkcijos.

Šiame magistro baigiamajame darbe aprašytas dviračių gamybos darbo operacijos efektyvumo tyrimas ir optimizavimas. Išanalizuota įmonės esama situacija. Atlikus skaičiavimus nustatomas optimalus dviračių purvasaugių kirtimo prieš konvejerį operacijos modernizavimas. Darbe pateikiama virtuali modernizuojama darbo vieta, sukurta 3D gamybos modeliavimo programa *Visual components*.

Tyrimo objektas.

Dviračių purvasaugių kirtimo prieš konvejerį darbo vieta.

Tyrimo tikslas.

Išanalizuoti galimus darbo operacijos modernizacijos variantus ir parinkti skaičiavimais pagrįstą optimaliausią modernizavimo būdą.

Tyrimo uždaviniai.

1. Išnagrinėti šiuolaikines inovacijas pramonės sektoriuje.
2. Išnagrinėti įmonės X situaciją pagal turimus duomenis.
3. Aprašyti galimus dviračių purvasaugių kirtimo operacijos modernizavimo būdus.
4. Apskaičiuoti išlaidas, skirtas darbo operacijos modernizavimui, ir nustatyti atsiperkamumo laikotarpį.
5. Pateikti tiriamos darbo operacijos modernizavimo vizualizacijas su *Visual components* programa.

Teorinė darbo reikšmė.

Baigiamajame darbe naudojamos 3D modeliavimo programos *Autodesk Inventor 2020* ir *Visual components*. Tiriami įmonės X duomenys, nagrinėjama dviračių purvasaugių kirtimo prieš konvejerį darbo operacija ir ieškomas optimaliausias modernizavimo sprendimas.

Praktinė darbo reikšmė. Baigiamajame darbe pateikiama dviračių purvasaugių kirtimo

operacijos modernizacijų lyginamoji analizė, kuri leidžia priimti sprendimus diegiant atnaujinimus įmonėje. Remiantis šio darbo išvadomis, X įmonė gali atlikti darbo operacijos modernizavimą.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

Šiandienėje globalioje rinkoje naujų technologijų integravimas ir išleidimas į rinką yra vienas iš galimų verslo valdymo kelių, naudojant inovatyvias technologijas naujiems produktams, procesams, paslaugoms sukurti. Tam reikalinga naujų technologijų integracija tarpusavyje, adaptacijos rinkai ir atitikimo vartotojų poreikiams bei lūkesčiams suderinimo procesai. Technologijų pobūdis ir mastai per pastaruosius metus keičiasi. Norėdamos sėkmingai konkuruoti, įmonės turi būti lanksčios ir dinamiškos, gebančios greitai atsakyti į rinkos pokyčius. Įmonės dydis savaime negarantuoja konkurencinių pranašumų, o žinios ir informacija yra tie tikrieji įmonių ištekliai, kurie gali sukurti reikiamą vertę vartotojui [1].

Šiandienos verslo pasaulyje technologija vertinama kaip vienas esminių konkurencinio pranašumo veiksnių. Pasiekimai informacinių, komunikacinių technologijų ir kitose srityse rodo, jog daugelio pramonės šakų technologinė bazė kinta labai sparčiai ir jos efektyvumas turi lemiamą įtaką įmonės kompetencijai. Šiuo metu įmonės gali pasirinkti itin padaugėjusių įvairių, naujai sukurtų technologijų [1].

Naujovių diegimas gali apimti įvairias įmonių veiklos sritis: nebūtinių operacijų, judesių ar darbo pašalinimą; įmonės racionalizavimą, kapitalo investicijas, darbo sąlygų gerinimą ir kt. Be abejo, visa tai didins ir veiklos efektyvumą [4].

Įmonių veiklos efektyvumas apima pagrindinius įmonės ūkinės veiklos rodiklius, kurie parodo jos veiksmingumą, siekiant užsibrėžtų tikslų, produktyvumą, produkcijos, paslaugų ir darbo kokybę, ekonomišką visų rūšių išteklių naudojimą, vartotojų poreikių patenkinimą, pelningumą ir naujovių diegimą [4].

1.1. Produktyvumo gerinimas įmonėje

Produktyvumo vertinimas gali padėti suprasti, kada dirbama neveiksmingai, neefektyviai, kada egzistuoja potencialios problemos bei kada imtis tam tikrų priemonių, norint kontroliuoti ir gerinti situaciją [4].

Didėjant produktyvumui trumpuoju laikotarpiu, nebūtinai didėja ir pelningumo rezultatai, tačiau ilguoju periodu didėja tikimybė, kad didėjant produktyvumui, didės ir pelningumas. Dirbdama vis produktyviau, įmonė tampa konkurencingesnė ir išlaiko pastovų, didėjantį pelningumo lygį [4].

Kokybė tampa įmonės tikslu, apimančiu gaminio, veiklos ir visos įmonės kokybę. Šio vyksmo skiriami keli aspektai: procesinis (veiklos) – veiklos efektyvumas pasiekiamas vertinant technologijas, darbo, valdymo procesus; objektinis – geri rezultatai pasiekiami tik turint geras medžiagas, įrenginius, personalą [4].

Nuostolių išaiškinimo ir jų mažinimo klausimas itin svarbus taupios gamybos (angl. Lean manufacturing) koncepcijai, kuri remiasi idėjomis ir principais, sukurtais XX a. viduryje Taiichi Ohno ir pritaikytais Japonijos „Toyota“ kompanijoje. Taupi gamyba – tai filosofija ir praktika, užtikrinanti produktų gamybą ir paslaugų teikimą minimaliomis sąnaudomis, nuostolių mažinimą, lankstumą bei nuolatinį tobulėjimą. Tai didesnė vertė vartotojui, naudojant mažiau resursų ir didesnis konkurencinis pranašumas [4].

Efektyvios metodikos LEAN sistemos pagrindas – Toyota gamybos sistema. Įdiegusi šį metodą, organizacija užtikrina savalaikį užsakymų įvykdymą, geresnį apyvartinių lėšų panaudojimą. Jo dėka sutrumpėja įrengimų prastovos operacijos pasiruošimo metu, žmonės įtraukiami į nuolatinį veiklos gerinimo procesą, padidėja operacijų našumas. Norint, kad kompanija veiktų pagal LEAN metodiką, reikia pakeisti aukščiausios vadovybės mąstymą ir vertybes, pakeisti įmonės veiklos principus bei darbų organizavimo būdus [7].

Daugelis kompanijų imasi diegti LEAN metodiką. Jos mokosi LEAN metodų, gilina žinias, diegia naujoves, tačiau joms ne visada pasiseka. Joms nepavyksta sukurti būtinų sąlygų, be kurių ši metodika įmonėje veikti negali. Vakarų šalyse pagrindine kliūtimi tampa netinkama nuostata, kad norint įdiegti LEAN sistemą, reikalingi didelės apimties darbuotojų mokymai, kurie turėtų pakeisti darbuotojų tradicinį skeptišką požiūrį į gamybos procesų tobulinimo galimybes ir paskatinti imtis realių pokyčių. Japonijoje dažniausiai taikoma agresyvesnė procesų tobulinimo praktika. Procesų tobulinimo komandoms yra iškeliami ambicingi tikslai, suformuojami motyvaciniai svertai jų siekti, o reikiama metodinė pagalba teikiama pagal poreikį. Dažnai taikoma Pareto 20/80 logika – greitai realizuojama 20% veiksmų, kurie duoda 80% galimo rezultato. Tai užtikrina greitus ir rezultatyvius pokyčius. Terminas „LEAN“ yra tapęs bendrinio ir yra tapęs aukšto efektyvumo lygio sinonimu [7].

LEAN gamybą apibūdina penki principai:

1. Vertė. Nustatyti sukuriamą vertę klientui. Organizacija stengiasi suprasti, kokios vertės klientas tikisi iš jų prekių ar paslaugų ir kokią kainą klientas sutiks mokėti [5].
2. Grandinė. Vertės grandinės sukūrimas prekei ar paslaugai, kuri kurią vertę klientui. Šiame etape svarbiausia nustatyti ir pašalinti švaistymą. Trys kritiniai valdymo uždaviniai: problemų sprendimas, informacijos valdymas, fizinis transformavimasis. Nustatant vertę iškils šie klausimai: vertę kuriantys procesai, vertės nekuriantys, bet būtini procesai sistemai palaikyti, ir vertės nekuriantys procesai, kurie turi būti nedelsiant pašalinti. Šio etapo metu procesai tampa paprasti ir efektyvūs, kiekvienam produktui ar paslaugai sukuriamas srautas, kurio metu

paprasti ir efektyvus, kiekvienam produktui ar paslaugai sukuriamas srautas, kurio metu eliminuojami švaistymai. Tam naudojamas Kaikaku metodas (intensyvus klausinėjimas), kurio metu šalinami nereikalingi elementai, o nekuriantys vertės procesai, bet būtini, perduodami tobulinimui. Šio principo tikslas - nulinis švaistymas [5].

3. Srautas. Prekė ar paslauga turi sukurti nesustojamą srautą (be vėlavimų ar laukimų). Šiame etape tikslas yra greitas produkto ar paslaugos judėjimas. Paprastai gamyboje prekės juda iš vieno skyriaus į kitą, užsilaikant kiekviename iš jų [5].
4. Pull (traukimo) sistema. Srautas kuriamas pagal klientų poreikius. Šiuo atveju gamyba pradedama atsiradus paklausai ar užsakymui. LEAN organizacijoje žaliavų, pagamintų produktų atsargos priskiriamos švaistymui. Todėl svarbu gaminti tai, ko klientas nori, ir pateikti tada, kada nori. Pull sistemoje organizacija naudoja šiuos metodus: Takt time, Kanban, vieno vieneto srautas [5].
5. Tobulėjimas. Nuolat ieškome galimybių tobulėti ir eliminuoti švaistymą. Tai yra etapas, kai primenama, kad tobulėjimui nėra ribų, Kaizen metodo naudojimas [5].

Lean sistema pateikta 1.1 paveiksle.



1.1 pav. Lean sistema

Šaltinis: Lean projektų parengimas ir įgyvendinimo organizavimas [21].

1.2. Pramonė 4.0

Ketvirtoji pramonės revoliucija, sugalvota vokiečių ir pavadinta prekinio ženklu „Industry 4.0“, yra naudojamas terminas ne vienoje šalyje. Tai bendromis verslo, vyriausybės, pramonės ir mokslo pastangomis sukurta platforma, kuri turi padėti įmonėms įsidiesti inovacijas į jų gamybos

procesus. Lietuvoje Pramonė 4.0 turėtų paskatinti ir padėti visų Lietuvos pramonės sektorių įmonėms diegti skaitmenines technologijas, dalintis geraisiais technologijų įsisavinimo pavyzdžiais, atverti finansavimo kanalus, taip pat formuoti modernią švietimo ir mokymo sistemą, progresyvią socialinės apsaugos sistemą [3].

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 [9].

Ketvirtosios pramonės revoliucijos naujovės pateiktos 1.2 paveiksle.



1.2 pav. Ketvirtoji pramonės revoliucija

Šaltinis: Industry 4 Panevėžys [22].

Sunku būtų nepastebėti, kad pastaraisiais dešimtmečiais vis daugiau kasdien vykstančių procesų tapo skaitmenizuotais, o vis daugiau priemonių naudojamų kasdieninėje įvairių sričių veikloje tapo kompiuterizuotomis. Šiais laikais būtų sunku surasti sėkmingą verslą, kuris nenaudotų skaitmeninių technologijų ir nebūtų matomas internete, o apie trečdalį pasaulio gamybinių įmonių jau yra aukšto skaitmenizacijos lygio, tačiau prognozuojama, kad tokių gamybinių įmonių skaičius

pasauliniu mastu turėtų padidėti net iki 72 proc. per ateinančius penkerius metus [31].

„Pramonė 4.0“ yra sudėtingų procesų valdymo sistema, naudojanti tarpusavyje sujungtus intelektualius prietaisus. Šiai sistemai būdinga aukšta skaičiuojamoji galia, didieji duomenys (angl. big data) bei platus tinklinis ryšys, o visi šie aspektai leidžia peržengti iki šiol buvusias uždarų industrinių tinklų ribas [32].

Toliau išvardintos pagrindinės ketvirtosios pramonės revoliucijos naujovės:

1. Kiberfizinės sistemos. Šios sistemos apibūdinamos kaip renkančios informaciją internetu, kurias stebi ir valdo algoritmai (programinė įranga). Kaip pavyzdį galima būtų pateikti autonominius automobilius, oro uostų valdymą, sveikatos būklės stebėjimą, robotikos sistemas, bepilotę aviaciją, išmaniuosius namus, išmaniuosius miestus ir kt. [31].
2. Daiktų internetas. Šį reiškinį galima būtų apibūdinti kaip naująją interneto kartą, kuri apima išmaniųjų įrenginių tarpusavio sąveiką tinkle. Ši technologija provokuoja naujų, internetiniais verslo modeliais grįstų paslaugų poreikį ir atveria naujas galimybes įmonėms bei vartotojams [33].
3. Debesų kompiuterija. Jei anksčiau būdavo aktuali informacijos pasiekiamumo problema, nes informacija buvo prieinama tik tame prietaise, kurio atmintyje būdavo patalpinta, tai šiomis dienomis debesija atveria galimybę talpinti informaciją ne konkretaus įrenginio kietajame diske, o tiesiog internete. Ši galimybė leidžia informaciją pasiekti iš bet kurio prietaiso, prijungto prie interneto. Kitais žodžiais tariant, debesija yra terpė, kurioje turime galimybę pasiekti reikiamą informaciją prie interneto prijungtais prietaisais [31].
4. „Išmanioji gamykla (angl. Smart Factory)“ - tiesioginis ryšys tarp žmonių, mašinų, gamybos linijos, sandėliavimo, logistikos ir kt. [33]. Tokios atsivėrusios galimybės veda į reikšmingus pokyčius, kurie iš esmės pakeis gamybos industrijos veikimo principus. „Pramonė 4.0 veda nuo anksčiau vyravusių mažiau lanksčių, sąlyginai rankiniu būdu vykdomos gamybos procesų, prie dinamiškos, paslankesnės, automatizuotos gamybos. Tai rodo, kad dėmesys nuo masinės gamybos pereina prie masinio prisitaikymo, kuris reikalauja lankstumo gamybos procesuose ir užtikrina trumpesnius pristatymo terminus [34].
5. 3D spausdinimo technologija. Šis 3D spausdinimo procesas susideda iš fizinio objekto sukūrimo spausdinant jį sluoksnis po sluoksnio, remiantis skaitmeniniu 3D piešiniu ar modeliu. Tai yra priešingas principas nei buvo naudojamas iki šiol, nes norint išgauti atitinkamas objekto formas buvo šalinamas sluoksnis po sluoksnio, kol objektas tapdavo reikiamos formos [35].
6. Dirbtinis intelektas (angl. Artificial Intelligence, AI), kuris visuomenėje vertinamas

dviprasmiškai, galimai dėl neaiškios ribos, kurią peržengus žmogus prarastų procesų valdymo kontrolę. Šiuo metu dirbtinis intelektas yra glaudžiai susijęs su mūsų kasdieninėmis veiklomis, nuo autonominių automobilių ar dronų iki virtualių asistentų, programinės įrangos mūsų išmaniuosiuose įrenginiuose. Tuo tarpu naudodamiesi internetiniais prietaisais paliekame skaitmeninius pėdsakus, kuriuos per tam tikrus algoritmus analizuoja dirbtinis intelektas, o tai įgalina dirbtinio intelekto spartų tobulėjimą ir savarankišką mokymąsi, todėl išmanieji robotai gali patys daryti sąsajas ir rasti optimalius sprendimus [35].

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 [30].

1.3. Inovacijos įtaka gamybos plėtrai

Ekonomikos pokyčiai diktuoja sąlygas ir šalies pramonei, jos sėkmingam vystymuisi nebepakanka pramoninei ekonomikai būdingų metodų, kai dominavo stambios pramonės įmonės ir vietinė konkurencija, o pagrindiniu augimo varikliu buvo laikomas kapitalas. Sėkmingus pardavimus galinti garantuoti pigi darbo jėga ir žemos kainos jau nebegali užtikrinti sėkmingo šalies konkurencingumo tarptautiniu mastu, čia sunkumus sudaro ir užsienio valiutos kurso smukimas. Kadangi šalies įmonės jau nebegali konkuruoti vien pigia darbo jėga ar žemomis kainomis, belieka rinktis naujumo alternatyvą. Šiandieninėje konkurencinėje kovoje sėkmę nulemia ne didelės įmonės apimtys, tačiau gebėjimas kuo greičiau prisitaikyti, keistis, progresuoti, kurti [38].

Kiekvienoje organizacijoje diegiamų naujovių svarba priklauso nuo tos pramonės šakos lygio ir nuo to, kaip ši organizacija yra pasirengusi sutikti konkurentų veiksmus. Kai kurios firmos naujoves diegia pagal savo korporacijos parengtą gamybos plėtros strategijos planą, kitos siekia pirmauti diegdamos technologines ir organizacines naujoves. Tai priklauso nuo firmos veiklos tikslo, jos plėtros lygio ir darbo kultūros bei turimų finansinių išteklių [36].

Investicijų dydis labai priklauso nuo gaminių rūšies, kuo didesnės metinės pajamos, tuo daugiau lėšų sukaupiama naujoms inovacijoms. Kompanijos gali investuoti naujoms technologijoms,

procesams, gaminiams ar gamybos valdymo sistemoms tobulinti. Visose srityse reikia daug lėšų. Todėl labai svarbu sudaryti racionalią naujovių diegimo tvarką. Kuo didesnė kompanija, tuo didesnės jos galimybės sukaupti daugiau lėšų naujovių investicijoms, suprantama, jeigu ji sėkmingai dirba. Investuodamos lėšas naujovėms, kompanijos turi koncentruotis ties tais procentais ir gaminiais, kuriuos gali sėkmingai toliau tobulinti, gerinti bei plėtoti. Šiam veiksmui didžiausią įtaką turi kompanijų patyrimas, jose dirbančių specialistų, ypač inžinierių, specializacija. Suprantama, investuojant naujovėms reikia siekti didelės gaminių įvairovės ir spartaus jų atnaujinimo [37].

Šalies pramonės tarptautinį konkurencingumą lemia veiksniai, kuriais nusakomas ekonomikos augimas, visuma bei šios veiksmų visumos bendras išvystymas ir efektyvus panaudojimas. Ilgalaikėje šalies konkurencingumo perspektyvoje pagrindinis vaidmuo tenka tokių veiksmų, kaip darbo jėgos, kapitalo, žiniomis grįstų inovacijų, verslumo potencialui [38].

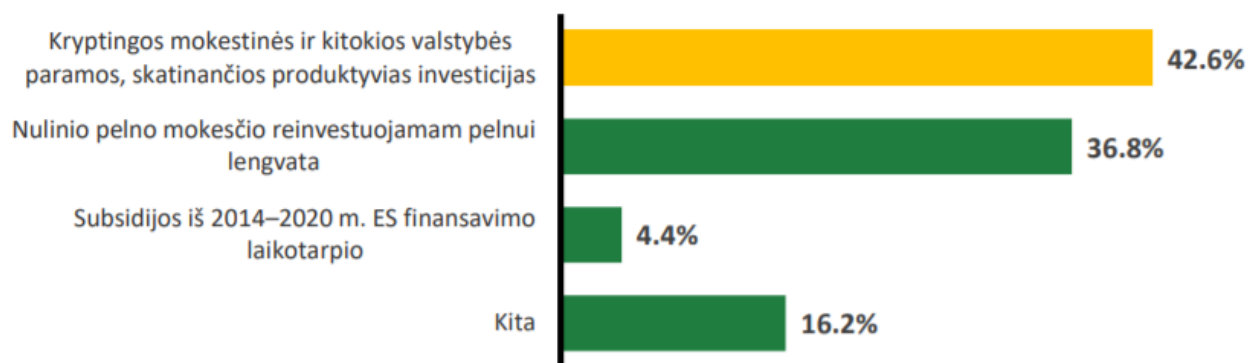
1.4. Inovacijų skatinimas Lietuvos įmonėse

Inovacijos sąvoka tiesiogiai siejama su veikla, kuri apibūdinama kaip mokslinės, technologinės, projektavimo, įrangos ar technologijos įdiegimas, naujų gamybos organizavimo metodų taikymas. Inovacinės veiklos sąvoka įvardija rezultatą, kuris atsiranda materializavus mokslo išradimus ir sėkmingai pateikus juos visuomeniniam naudojimui [6].

Siekiant kuo spartesnio įmonių modernizavimo, yra būtinas Valstybės dėmesys ir papildomos priemonės, skatinančios technologinę pažangą Lietuvos įmonėse [3].

Apklausiant pramonės įmones buvo stengiamasi išsiaiškinti, kokios Valstybės priemonės leistų užtikrinti spartesnę įmonių plėtrą. Pagrindine priemone vadovai laiko kryptingą mokestinę paramą (42,6 proc.) ir nulinio pelno mokesčio reinvestuotam pelnui lengvatą (36,8 proc.). Įdomu tai, jog tik 4,4 proc. respondentų subsidijas iš 2014-2020 m. ES finansavimo laikotarpio nurodė kaip esminę priemonę, skatinančią investicijas į gamybos atnaujinimą. Pagrindinę to priežastį įmonės nurodo didelį biurokratinį mechanizmą teikiant paraiškas, neaiškų paramos skyrimo ir priemonių paskelbimo grafiką. Lėtai skirstoma ES parama užkerta kelią įmonėms greitai priimti reikšmingus investicinius sprendimus ir gauti finansavimą [3].

Apklaustos rezultatai, remiantis 3 šaltiniu, pateikiami 1.4.1 paveiksle.

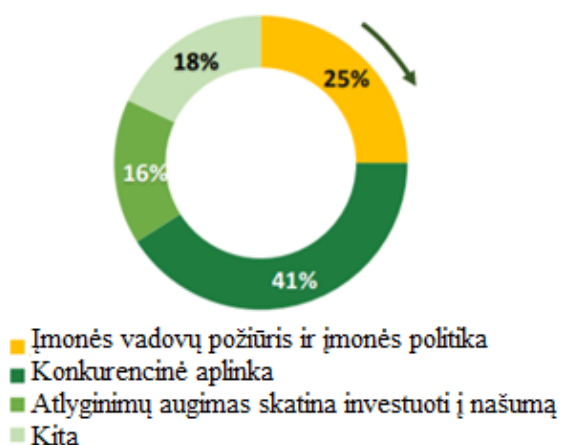


1.4.1 pav. Pagrindinės valstybės skatinimo priemonės, reikalingos įmonės modernizavimui

Šaltinis: Pramonė 4.0 – keičiasi įmonių požiūris į gamybos modernizaciją [3].

Tyrimo metu buvo siekiama išsiaiškinti, kas įmones labiausiai skatina orientuotis į technologinių procesų investicijas. 25 proc. respondentų teigė, jog tai labiausiai priklauso nuo įmonės vadovų požiūrio ir įmonės plėtros politikos. Įmonių vadovai svarbiausia priežastimi išskiria konkurencinę aplinką ir siekį išlaikyti konkurencinį pranašumą rinkoje (41 proc. respondentų), 16 proc. įžvelgia sparčiau už įmonės našumą augančius atlyginimus, kurie taip pat prisideda prie prastos įmonių konkurencinės situacijos užsienio rinkose. Visi šie faktoriai yra labai glaudžiai susiję, tačiau augantis vadovų dėmesys konkurencinei aplinkai tik dar kartą pabrėžia, koks yra svarbus geras technologinis pasirengimas, pažanga gamybos procesuose ir kūrybiškumas, galintis padėti Lietuvos įmonėms išlikti konkurencingomis Europos ir pasaulio rinkose [3].

Apklaustos rezultatai, remiantis 3 šaltiniu, pateikiami 1.4.2 paveiksle.



1.4.2 pav. Kas labiausiai skatina technologines investicijas?

Šaltinis: Pramonė 4.0 – keičiasi įmonių požiūris į gamybos modernizaciją [3].

2. TYRIMO APŽVALGA

Šiame darbe nagrinėjama X pramonės įmonė, įsteigta 1948 metais. Įmonė yra viena didžiausia dviračių gamintoja Šiaurės Europos regione bei viena didžiausių įmonių Šiaulių regione. Ši įmonė gamina dviračius miestui, kelionėms, kalnų, vaikiškus ir elektrinius. Kiekvieną sezoną įmonėje pagaminama apie 1700 skirtingų modelių dviračių, o per metus pagaminama iki 300 tūkst. dviračių, kurie eksportuojami į daugelį šalių.

Pagrindinė įmonės veikla - gaminio surinkimas iš atskirų komponentų. Kadangi įmonėje surinkimas vyksta konvejerine gamyba, pagrindine darbo jėga – žmonės. X įmonėje šiuo metu dirba 500 darbuotojų. Darbuotojų skaičius nuolat kinta dėl sezoniškumo. Darbuotojai priimami tam tikram laikotarpiui, o sezonui baigiantis, dėl darbo krūvio mažėjimo yra atleidžiami. Kadangi įmonėje vyksta nuolatinė darbuotojų kaita, naujus darbuotojus reikia apmokyti, todėl svarbu galvoti apie gamybos proceso modernizavimą. Norint atnaujinti gamybos procesus, reikia įvertinti naudą, išlaidas ir atsiperkamumą.

Nagrinėjamas tyrimo procesas – purvasaugio gręžimo operacija prieš konvejerį. Ši operacija skirta dviračiams su UMF (angl. under mudguard fixing) tipo bagažinėmis. UMF dviračių bagažinės - tai tokio tipo bagažinės, kurios prie rėmo ir purvasaugio tvirtinamos specialiu laikikliu. Kadangi įmonė kitais metais planuoja pagaminti daugiau nei 37 tūkst. dviračių su UMF bagažinėmis, kiekviena atliekama operacija ir technologinis laikas, skirtas šiai operacijai, yra labai svarbūs. UFM bagažinės pavyzdys pateiktas 2.1 paveiksle.



2.1 pav. UMF bagažinės pavyzdys

Šaltinis: AtranVelo Tour Lite F-Fix rear rack/carrier 28' AVS black [23].

Šios operacijos tikslas – išgręžti keturiose skirtingose dviračio purvasaugio vietose skyles, prie kurių bus tvirtinama bagažinė su specialiu laikikliu. Kadangi to paties nomenklatūrinio rato apsaugos, saugančios nuo taškomo purvo, yra naudojamos skirtingų aukščių dviračiams, skyles, tvirtinti laikikliui, reikia gręžti skirtingose pozicijose. Naudoti skirtingų nomenklatūrų purvasaugius kiekvienam dviračio aukščiui sudarytų dideles sąnaudas. Atstumai, kuriuose reikia išgręžti skyles, nustatomi parodinio dviračio rinkimo metu. Taip pat šioje operacijoje gręžiamos skirtingų colių, spindulių, storių, medžiagų ir pločių rato apsaugos, saugančios nuo taškomo purvo. Dviračių purvasaugių gręžimo operacijos prieš konvejerį darbo vieta pateikta 2.2 paveiksle.



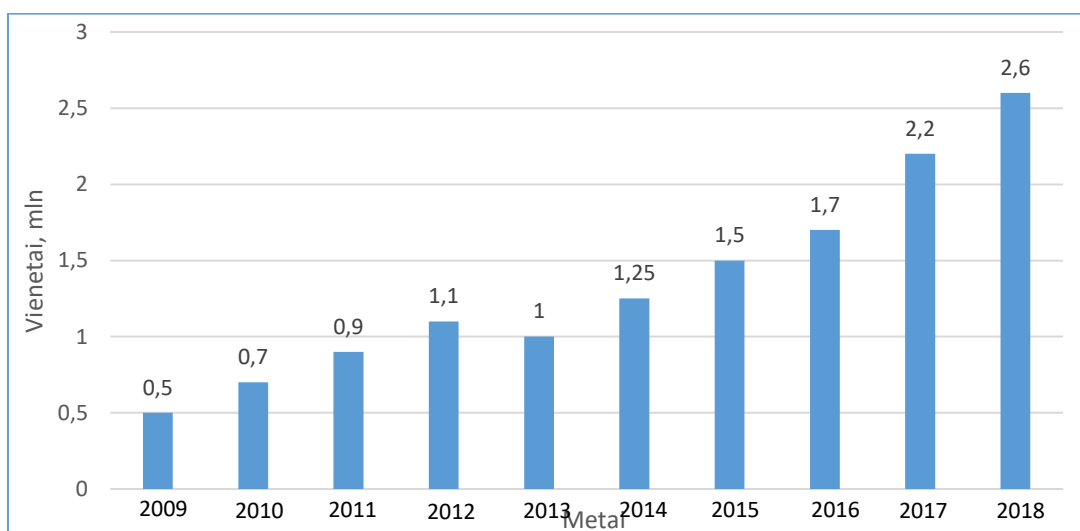
2.2 pav. Dviračių purvasaugių gręžimo operacijos prieš konvejerį darbo vieta

Operaciją atlieka du darbininkai. Vienas darbuotojas turi laikyti dviračio purvasaugį, kol kitas ranka, grąžto ir šablono pagalba jame išgręžia keturias skyles. Šablonai – dviračio purvasaugiai, kuriuose tam tikru atstumu yra išgręžtos keturios kiaurymės. Kadangi gaminami skirtingų colių ir aukščių dviračiai, šablonų skaičius yra 52 vnt. Šablonai pavaizduoti 2.3 paveiksle.



2.2 pav. Dviračio purvasaugio šablonas

Didėjant dviračių pardavimams Europoje ir kituose žemynuose, įmonių, gaminančių dviračius, tikslas – kuo daugiau pagaminti ir parduoti prekių. Per paskutinius 10 metų išaugo ne tik paprastų, bet ir elektrinių dviračių pardavimai [20]. Parduotų elektrinių dviračių skaičius Europoje 2009-2018 metais nurodomas 2.4 paveiksle.



2.3 pav. Parduotų elektrinių dviračių skaičius Europoje 2009-2018 metais

Šaltinis: Number of e-bikes sold in Europe from 2009 to 2018 [20].

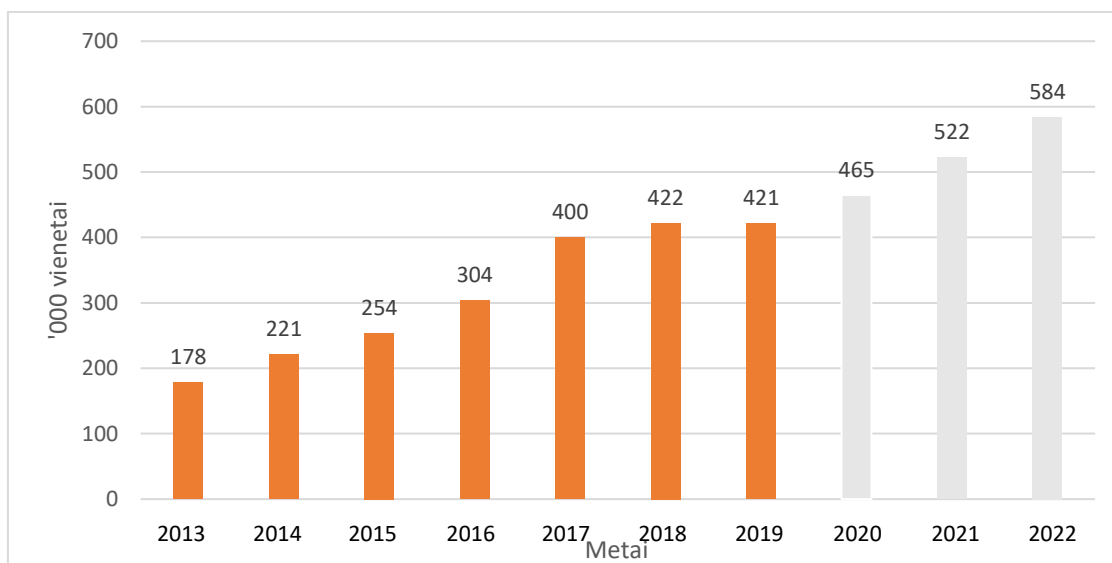
Didėjant pardavimams, vienu iš svarbių rodiklių tampa laikas, per kurį įmonė gali pagaminti ir pristatyti gaminį klientui. Nagrinėjant šią darbo operaciją pastebėta, kad ši darbo vieta neergonomiška, nes:

1. Reikia dirbti stovint;
2. Yra didelė riešo statinė apkrova;
3. Nepatogi kūno padėtis atliekant operaciją;
4. Pasikartojantys judesiai;
5. Dėžių kilnojimas;

Darbuotojai, nuolat darantys pasikartojančius judesius, esantys nepatogioje pozijoje, pavargsta. Todėl dviračių purvasaugiuose skylės gali išgręžti netiksliai, didėja broko tikimybė. Gerai suprojektavus darbo operaciją, galima išvengti nepageidaujamo nuovargio, darbas bus efektyvesnis. Nuspręsta modernizuoti gamybos procesą ir didinti efektyvumą.

Vienas iš modernizacijos būdų – robotizuoti darbo vietą. Robotai yra plačiai naudojami šiuolaikinėje pramonėje dėl jų efektyvumo, apkrovos galimybių, tikslumo ir judesių atkartojimo. Jų unikalios savybės, tokios kaip lengvas pritaikymas užduotims, greitis ir darbuotojų pakeitimas, įmonėms leidžia priimti sprendimus integruoti robotus atlikti sudėtingas, monotoniškas užduotis [18].

Pagal Tarptautinės robotikos federacijos (angl. International Federation of Robotics) duomenis, 2022 metais pramoninių robotų pardavimai išaugs 38 % [14]. Planuojami pramoninių robotų pardavimai pavaizduoti 2.5 paveiksle.



2.4 pav. Planuojami pramoninių robotų pardavimai, remiantis IFR duomenimis

Šaltinis: International Federation of Robotics, 2019 [14].

Šiame baigiamajame darbe nagrinėtos dvi modernizacijos. Viena iš modernizacijų, kai vienas darbuotojas yra pakeičiamas pagal specialų užsakymą pagamintu dviračių purvasaugių kirtimo įrenginiu. Kita modernizacija, kai abu darbuotojai pakeičiami pagal specialų užsakymą pagamintu įrenginiu ir robotu.

3. TYRIMO REZULTATAI

3.1. Dviračio purvasaugio darbo operacijos įvertinimas

Dviračio purvasaugio gręžimo operacijai atlikti reikalingi du darbuotojai. Šiuo metu Lietuvoje minimalus atlyginimas, neatskaičius mokesčių, yra 607 eurai, tačiau įmonė mokės didesnę atlyginimą darbuotojui, kuris yra 750 eurai, neatskaičius mokesčių. 3.1 lentelėje pateikiami mokesčiai, kuriuos darbdavys turi sumokėti, kad darbuotojas gautų 750 eurų atlyginimą, neatskaičius mokesčių. Kadangi vidutiniškai 2020 metais per mėnesį yra 21 darbo diena, dirbamų valandų per mėnesį yra 168, todėl valandinis atlyginimas, pridėjus darbdavio išlaidas, bus 4,54 eurai.

3.1.1 lentelė

Darbdavio išlaidos vieno darbuotojo atlyginimui

Pajamų mokestis (GPM) 20%	84,86 €
Sveikatos draudimas (PSD) 6,98%	52,35 €
Pensijų ir socialinis draudimas 12,52%	93,90 €
Sodros įmoka (VSD) 1,77%	13,28 €
Sodros grindys 21,27%	0,00 €
Darbuotojo užmokestis neatskaičius mokesčių	750,00 €
II-pakopos pensijai	15,75 €
Užmokestis atskaičius mokesčius	503,14 €
Darbdavio išlaidos	763,28 €
Valandinis atlyginimas darbuotojui, pridėjus visas darbdavio išlaidas	4,54 €

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Atlyginimo skaičiuoklė 2020 [26].

Vienos operacijos laikas, skirtas iškirsti vieną dviračio roto apsaugą, saugančią nuo taškomo purvo, yra 0,83 minutės. Žinoma, kad kitais metais reikės iškirsti 37 258 dviračių purvasaugių, tad galime apskaičiuoti, kad visų dviračių purvasaugių iškirtimui darbuotojai užtruks 516 valandas. Darbuotojai per dieną dirbs 8 valandas, todėl visas kiekis bus paruoštas gamybai per 64,5 darbo dienas. Turėdami šią informaciją, galime apskaičiuoti, kiek darbdavys turės sumokėti darbuotojui atlyginimo už 64,5 darbo dienas:

$$x = u * l_{operacijos} * d;$$

čia u – dviračių purvasaugių užsakymas kitiems metams, vnt.;

$l_{operacijos}$ – laikas, skirstas vienai dviračio purvasaugio kirtimo operacijai atlikti, val.;
 d – valandinis atlyginimas darbuotojui, Eur.;

$$x = 2339,93 \text{ Eur.}$$

Kadangi šiai darbo operacijai atlikti reikalingi du darbuotojai, X įmonė turės darbuotojams sumokėti 4 679,85 Eur.

Atlikus šios darbo operacijos stebėjimą, buvo nustatyta, kad reikia atnaujinti dviračių šablonų sandėliavimą. Šiuo metu šablonai, kurių yra 52 vienetai, sandėliuojami dėžėse, o surasti tinkamą šabloną yra problema. Jų vidinėje pusėje nurodomi pavadinimai, kuris šablonas kuriam dviračio modeliui yra skirtas. Todėl nuspręsta suprojektuoti ir pagaminti stendą šablonų sandėliavimui.

Stendas bus gaminamas pagal specialų užsakymą. Rėmas, skirtas stendui, bus gaminamas iš suvirintų metalinių vamzdžių ir bus nudažytas. Taip pat prie rėmo bus prisukti ratukai su stabdžiais, todėl šablonų stendą bus lengva transportuoti. Dviračių purvasaugių šablonai bus kabinami ant kabliukų, o šalia bus galima surašyti, koks šablonas kokiam dviračio modeliui yra skirtas, pagal LEAN metodiką.

Įdiegus LEAN, organizacija užtikrina savalaikį užsakymų įvykdymą, geresnį apyvartinių lėšų panaudojimą. Jo dėka sutrumpėja įrengimų pristovos operacijos pasiruošimo metu, žmonės įtraukiami į nuolatinį veiklos gerinimo procesą, padidėja operacijų našumas [17].

Rėmo, pagaminto vietinėje firmoje, kaina sieks 500 eurų. Taip pat bus reikalingi keturi ratukai su stabdžiais, kurių kaina yra 111,8 eurų. Kadangi reikia sukabinti 52 vnt. dviračių šablonų, kabliukų kaina bus 15,6 eurų. Bendra stendo kaina – 627,4 eurų. Suprojektuotas stendas pavaizduotas 3.1.1 paveiksle.



3.1.1 pav. Dviračių purvasaugių šablonų stendas

Šiuo metu dviračių purvasaugių kirtimo prieš konvejerį operaciją atlieka darbuotojai, todėl yra didelis žmogiškasis faktorius. Darbuotojai gali sumaišyti šablonus, kiaurymes išgręžti kitoje vietoje, nei nurodyta šablone. Todėl X įmonėje priimta, kad leistinas išbrokuotų detalių kiekis būtų iki 3 procentų. Kadangi norime apskaičiuoti visas išlaidas, susijusias su šia operacija, turime numatyti išbrokuotų detalių kiekį. Ši darbo operacija nevyksta nuolat, numatomas iškirsti 37 258 purvasaugių kiekis bus paskirstytas per visus ateinančius metus, todėl tikimybė, kad darbuotojas suklys, yra mažesnė. Priimama, kad išbrokuotų detalių kiekis bus 1 procentas nuo viso reikalingo iškirsti kiekio. Apskaičiuotas 1 proc. broko nuo 37 258 purvasaugių yra 372 vnt.

Žinodami, kad gali būti išbrokuota 372 dviračių purvasaugių, galime apskaičiuoti, kiek tai X įmonei kainuos. Vienos dviračio rato apsaugos, saugiančios nuo taškomo purvo, kaina yra 5,3 eurų, todėl visas brokas X įmonei kainuos 1 976,9 eurų.

Išlaidos, kurias X įmonė turės sumokėti, norėdama kitais metais paruošti gamybai 37 258 dviračių purvasaugių, skirtų pritvirtinti prie UMF bagažinės, nurodytos 3.1.2 lentelėje.

Išlaidos, dviračių purvasaugių kirtimo operacijai

Pavadinimas	Kaina, Eur
Darbuotojų atlyginimui	4 679,85
Dviračių purvasaugių šablonų stendas	627,4
Numatomos broko išlaidos	1 976,9
Iš viso	7 284,15

3.2. Modernizacija Įrenginys-žmogus

Pirmoji nagrinėjama modernizacija yra dviračio purvasaugių šablonų keitimas nauju įrenginiu. Šios modernizacijos metu šablonai, kurie iki šiol buvo naudojami dviračio purvasaugio gręžimo operacijai atlikti, bus pakeisti pagal specialų užsakymą pagamintu prietaisu. Prietaisas pavaizduotas 3.2.1 paveiksle. Šis įrenginys pakeis vieną darbuotoją iš dviejų, todėl šios operacijos metu bus reikalingas tik vienas darbuotojas. Likęs darbuotojas turės uždėti dviračio rato apsaugą, saugančią nuo taškomo purvo, prietaise numatytoje vietoje, o dviračio purvasaugis bus prispaudžiamas guminiiais prispaudėjais. Tuomet darbuotojas pasirinktą valdymo panelėje tinkamą dviračio modelį, prietaisas automatiškai nureguliuos geometriją, kur turi būti iškirstos skylės. Darbuotojui paspaudus mygtuką, iškertamos keturios kiaurymės. Po šios operacijos darbuotojas turės sudėti visus iškirstus purvasaugius į dėžę, kuriai prisipildžius, krautuvo vairuotojas ją pristatys prie konvejerio.



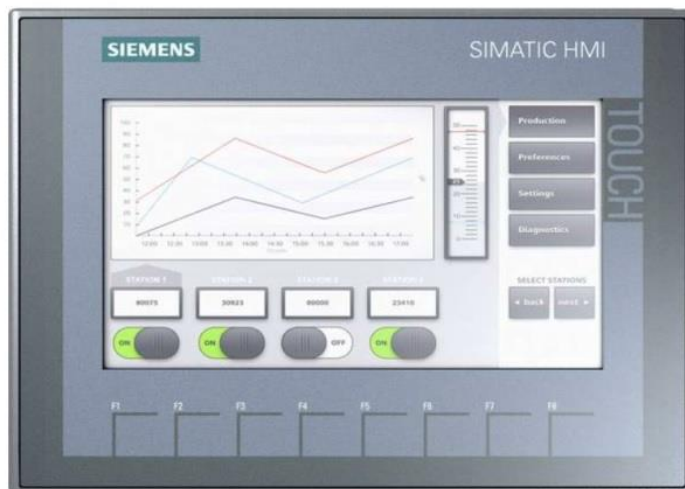
3.2.1 pav. Dviračių purvasaugių kirtimo prietaisas

Prietaisas bus gaminamas atsižvelgiant į tai, kad reikės kirsti tiek dvidešimt šešių, tiek dvidešimt aštuonių colių purvasaugius, todėl jis bus universalus. Taip pat svarbu, kad dviračio rato apsaugos, saugančios nuo taškomo purvo, gali būti įvairaus pločio, priklausomai nuo dviratyje naudojamos padangos, todėl prietaisas galės kirsti kiaurymes purvasaugiams nuo keturiasdešimt šešių iki šešiasdešimties milimetrų pločio.

Naujo prietaiso veikimas bus pagrįstas mechatronikos sistema. Vykdyimo įtaisai naudos pneumatinę energiją, o valdymo ir signalų apdorojimui bus naudojama elektra. Kadangi X įmonėje naudojami įrankiai, kurie prijungti prie pneumatinės sistemos, naujasis įrenginys taip pat bus projektuojamas su pneumatine sistema. Pneumatinės sistemos yra nesudėtingos, nebrangios, tausojančios energiją ir užimančios mažai vietos. Tokios sistemos naudojamos daugelyje gamybos ir pramonės sričių.

Prietaiso valdymui bus naudojama valdymo panelė „Siemens SIMATIC HMI“, kurios pagrindiniai techniniai parametrai pavaizduoti 3.2.2 paveiksle. Kad prietaisas veiktų, reikės suvesti purvasaugių geometriją kiekvienam dviračio modeliui. Vieno modelio geometrijos suvedimas į sistemą užtrunka vieną minutę. Kadangi dviračių šablonų yra 52 vienetai, visos geometrijos bus suvestos per 52 minutes. Iš viso į valdymo panelės atmintį galima suvesti 250 skirtingų dviračių

purvasaugių kirtimo geometrijų.



Pavadinimas	SIEMENS SIMATIC HMI KTP 700 BASIC
Ekranas	Skystųjų kristalų ekranas, raiška 65K, LED apšvietimas
Ekrano dydis (coliais)	7"
Rezoliucija	800 x480
Fono apšvietimas (valandomis)	20
Valdymas	Liečiamas ekranas ir klavišai
Funkcijų klavišai	8
Valdymo panelės atmintis	10 MB
Pasirinkimų atmintis	256 KB

3.2.2 pav. Valdymo panelės „Siemens SIMATIC HMI“ techniniai parametrai

Šaltinis: SIMATIC HMI Basic Panels [25].

Prietaise taip pat bus naudojami elektriniai atstumo jutikliai „FESTO SMT – 8M“ T grioveliui. Šie jutikliai bus montuojami kreipiančiuosiuose cilindruose, prie kurių bus pritvirtinti guminiai prispaudėjai. Prispaudėjai skirti prispausti dviračio purvasaugį prie atramos, kad kiaurymės skydelyje būtų iškirstos tiksliai.

Gaminys neturės aštrių paviršių, juo naudotis bus paprasta ir saugu. Taip pat stendas bus suprojektuotas taip, kad darbuotojui bus patogų jį apžiūrėti iš visų pusių, o sistema, pastebėjusi klaidą, darbuotojui valdymo panelėje rodys, kad yra sutrikimų ir operacijos neatliks tol, kol jie nebus pašalinti.

Kadangi su prietaisu dirbs žmogus, labai svarbu užtikrinti saugumą, todėl prietaisas iškirs skyles purvasaugyje tik tada, kai darbuotojas abejomis rankomis bus nuspaudęs abu žalius mygtukus vienu metu. Taip pat prietaise įrengtas raudonas avarinis stabdymo mygtukas, kurį paspaudus įrenginys nustoja veikti. Įrenginio valdymo panelė pavaizduota 3.2.3 paveiksle.



3.2.3 pav. Įrenginio valdymo panelė

Šio atnaujinimo didžiausią kainos dalį sudaro pagal specialų užsakymą gaminamas prietaisas, jo pagaminimo kaina yra 14 000 Eur.

Su šiuo prietaisu vienos operacijos laikas, skirtas iškirsti vieną dviračio rato apsaugą, saugančią nuo taškomo purvo, yra 0,16 minutės. Suvesti visus atstumus dviračių modeliams į sistemą užtrunka 52 minutes. Žinoma, kad kitais metais reikės iškirsti 11 tūkst. dviračių purvasaugių, todėl galime apskaičiuoti, koks bus visas laikas, per kurį jie bus paruošti gamybai:

$$l = u * l_{operacijos} + l_{suvedimas}$$

čia u – dviračių purvasaugių užsakymas kitiems metams, vnt.;

$l_{operacijos}$ – laikas, skirstas vienai dviračio purvasaugio operacijai atlikti, val.;

$l_{suvedimas}$ – laikas, skirtas suvesti dviračių purvasaugių modeliams į sistemą, val.;

$$l = 100 \text{ val.}$$

Darbuotojas per dieną dirbs 8 valandas, visi skydeliai bus iškirsti per 12,5 darbo dienų. Kadangi su šiuo prietaisu dirbs tik vienas žmogus, reikia apskaičiuoti, kokį atlyginimą, su mokesčiais, darbdavys turės sumokėti darbuotojui už 12,5 darbo dienas. Priimam, kad darbuotojui darbdavys mokės 750 eurų mėnesinį atlyginimą, tai valandinis atlyginimas bus 4,54 eurų:

$$x = l * d;$$

čia l – laikas, per kurį darbuotojas paruoš visus dviračių purvasaugių gamybai, val.;

d – valandinis atlyginimas darbuotojui, Eur.;

$$x = 454 \text{ Eur.}$$

Darbdavys už 100 valandų trukmės darbą turės darbuotojui sumokėti 454 Eur.

Visos šios modernizacijos išlaidos pateikiamos 3.2.1 lentelėje.

3.2.1 lentelė

Išlaidos dviračių purvasaugių kirtimo modernizacijai *Įrenginys-žmogus*

Pavadinimas	Kaina, Eur
Darbuotojo atlyginimui	454
Įrenginys, skirtas dviračių purvasaugiams kirsti	14 000
Iš viso	14 454

3.3. Modernizacija *Įrenginys-robotas*

Antrasis modernizacijos variantas yra visų darbuotojų pakeitimas įrenginiu ir robotu. Kaip ir prieš tai nagrinėtoje modernizacijoje bus naudojamas įrenginys dviračių purvasaugių kirtimui, pavaizduotas 3.2.1 pav., robotas, kuris pakeis darbuotoją, vakuuminis manipulatorius ir detalių tiekimo įtaisas. Šiuo atveju robotas paims purvasaugį nuo detalių tiekimo įtaiso, įdės kirtimo įrenginyje priskirtoje vietoje. Įrenginiui jį iškirtus, robotas jį paims ir padės į kitą dėžę, kurioje bus sandėliuojamos rato apsaugos, apsaugančios nuo purvo taškymo, paruoštos teikti gamybai.

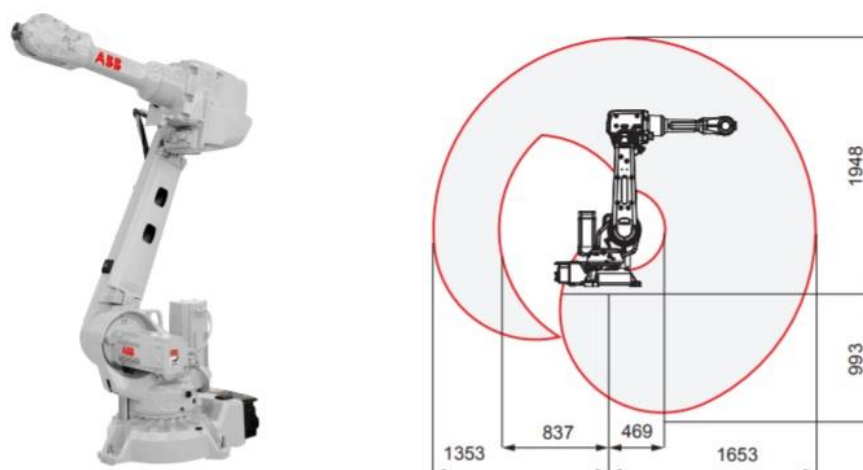
Šio atnaujinimo didžiausią kainos dalį sudaro robotas, manipulatorius ir detalių tiekimo įtaisas. Taip pat reikia įvertinti, kad padidės elektros, roboto aptarnavimo išlaidos. Didelę kainą sudarys dviračių purvasaugių kirtimo įrenginys.

Pramoniniai robotai yra efektyvus, tačiau nepigus būdas pakelti gamybos kokybę, didinti našumą ir pajėgumus. Pagrindiniai parametrai, į kuriuos reikia atsižvelgti perkant robotą, yra:

1. Roboto keliamoji galia;
2. Pasiekiamumas;
3. Paskirtis;
4. Techniniai pajėgumai;

Šiai modernizacijai parinktas ABB firmos IRB 2600-20/1,65 robotas. Robotas turi 6 ašis, gali atlikti suvirinimo, pakavimo, purškimo ir kitas funkcijas. Taip pat šis robotas gali pakelti 20 kilogramų svorį, yra lengvas ir užima nedaug vietos. Kadangi robotas šioje modernizacijoje turi pakeisti žmogų, jis bus naudojamas paimti detalę, ją įdėti į įrenginį, įrenginiui iškirtus kiaurymes dviračio purvasaugsyje, paimti purvasaugį ir įdėti į dėžę. Šio roboto kaina 31 339 Eur [15]. Jam suteikiama 10 mėnesių garantija. Robotas pavaizduotas 3.3.1 paveiksle.

Robotas ABB IRB 2600-20/1,65 yra universalus. Jis parinktas atsižvelgiant į tai, kad, atsiradus poreikiui, būtų galima jį lengvai pritaikyti kitose gamybos operacijose.



3.3.1 pav. Pramoninis robotas ABB IRB 2600-20/1,65

Šaltinis: ABB further extends its mid range robot family, 2019 [24].

Pagrindiniai roboto parametrai nurodomi 3.3.1 lentelėje.

3.3.1 lentelė

Pramoninio roboto ABB IRB 2600-20/1,65 parametrai

Roboto techniniai parametrai	
Roboto keliamas svoris	20 kg
Roboto pasiekiamumas	1,65 m
Roboto rankos sukimo momentas (4 ir 5 ašies)	36,6 Nm
Roboto rankos sukimo momentas (6 ašies)	16,7 Nm
Energijos suvartojimas	3,4 kW
Roboto techniniai parametrai	
Bazė	676 x 511 mm
Aukštis	1382 mm
Svoris	272 kg

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis ABB further extends its mid range robot family, 2019 [24].

Šiai modernizacijai parinktas vakuuminis manipulatorius, todėl kad dviračių purvasaugiai bus dažyti, juos keliant manipulatorius jų nesusibraižys. Taip pat jų svoris yra nedidelis, o paviršius švarus, todėl vakuuminis griebtuvas lengvai juos pakels. Atsiradus poreikiui atlikti kitą funkciją, bus galima jį lengvai pritaikyti kituose gamybos procesuose. Tokio tipo manipuliatoriui įmonė numatė išleisti 10 000 eurų.

Tiriamai modernizacijai taip pat reikės detalių tiekimo įtaiso. Prietaisas bus parenkamas atsižvelgiant į detalių svorį ir matmenis. Gamintojas suprojektuos prietaisą pagal didžiausio purvasaugio matmenis. Tiekimo įtaisui įmonė skirs – 30 000 eurų.

Diegiant šią modernizaciją taip pat išsaugys elektros sąnaudos. Kadangi šio roboto galia yra 3,4 kW, jis dirbs 100 val., galime apskaičiuoti, kad elektrai X įmonė turės išleisti 44,2 Eur.

Modernizuojant šią darbo operaciją reikia įvertinti, kad robotą reikės užprogramuoti. Jo programavimui reikia samdyti įmonę. Projektavimo darbams yra numatyta išleisti 5 000 Eur. Taip pat reikia numatyti, kas dirbs su robotu, darbuotoją apmokyti. Robotui suteikiama dešimties mėnesių garantija. Po tam tikro laiko jam sugedus, reikės samdyti vietinę firmą, kuri gedimus pašalins. Išlaidos, skirtos dviračių purvasaugių kirtimo modernizacijai *Įrenginys-robotas*, nurodomos 3.3.2 lentelėje.

3.3.2 lentelė

Išlaidos dviračių purvasaugių kirtimo modernizacijai *Įrenginys-robotas*

Pavadinimas	Kaina, Eur
Robotas	31 339
Vakuuminis manipulatorius	10 000
Detalių tiekimo įtaisas	30 000
Programinė įranga	20 000
Projektavimo darbai	5 000
Įrenginys, skirtas dviračių purvasaugiams kirsti	14 000
Elektros sąnaudos	44,2
Iš viso	110 383,2

Kadangi robotas per metus dirbs tik 100 valandų, reikia numatyti, kur būtų galima jį panaudoti gamybos procese. Šiuo metu renkant dviračius konvejerine gamyba, darbuotojas purvasaugio tvirtinimo operacijos metu turi pridėti jį prie dviračio rėmo, nustatyti vietą, kurioje jis bus tvirtinamas, ir specialių replių ar grąžto pagalba (priklauso nuo purvasaugio medžiagos) išgręžti ar prakirsti skylę. Atlikęs šį veiksmą, darbuotojas turi pritvirtinti purvasaugį prie dviračio rėmo.

Tų pačių nomenklatūrų rato apsaugos, saugančios nuo taškomo purvo, naudojamos skirtingų modelių dviračiams. Gauti juos iš tiekėjo su skylę sudarytų dideles sąnaudas įmonei. Naudojant robotą ir kirtimo prietaisą būtų galima sutrumpinti šios operacijos laiką, pagaminant dviračius greičiau. Dviračių pagaminimo laikas sutrumpėtų paruošiant purvasaugius prieš konvejerį.

X įmonėje per metus pagaminama apie 300 tūkst. dviračių. Vieno purvasaugio paruošimas prieš konvejerį kirtimo prietaisu ir robotu užtruktų 10 sekundžių. Robotui paruošti 300 tūkst. detalių reikės 833 valandų. Priėmus, kad pilna darbo diena 8 val., robotas skydelius paruoš per 104

dienas, arba 5 mėnesius. Taip pat reikia įvertinti, kad reikės suvesti į valdymo panelę atstumą, kur bus iškirstos skylės, atsižvelgiant į dviračio modelį. Vienos geometrijos suvedimas į panelę užtrunka vieną minutę.

Atsižvelgiant į tai, kad robotas atliks darbuotojo darbą, galima apskaičiuoti, kad X įmonė sutaupys darbuotojo atlyginimui daugiau nei 3700 eurų metams, dviračius pagamins greičiau, todėl galės padidinti jų užsakymo kiekį.

Taip pat reikia įvertinti, kad padidės elektros sąnaudos. Nustatę, kad robotas dirbs 833 valandas, galime apskaičiuoti, kad X įmonė turės išleisti daugiau nei 360 eurų elektros išlaidoms. Be to, robotą reikės užprogramuoti. Būtina numatyti programavimo išlaidas, kurios priklausys nuo pagamintų dviračių modelių kiekio.

3.4. Modernizacijų įvertinimas

Pirmoji dviračio purvasaugio kirtimo prieš konvejerį modernizacija *Įrenginys-žmogus*, kai vienas darbuotojas yra pakeičiamas pagal specialų užsakymą pagamintu prietaisu, kainavo 14 454 Eur. Ši modernizacija X įmonei atsipirktų per 24 mėn. Taip pat reikia atsižvelgti į tai, kad didėjant dviračių su UMF bagažinėmis paklausai, užsakymų kiekis po metų turi didėti.

Antroji dviračio purvasaugio kirtimo prieš konvejerį modernizacija *Įrenginys-robotas*, kai abu darbuotojai yra pakeičiami robotu ir įrenginiu, kainavo 110 383,2 Eur. Ši modernizacija X įmonei atsipirktų per 182 mėn.

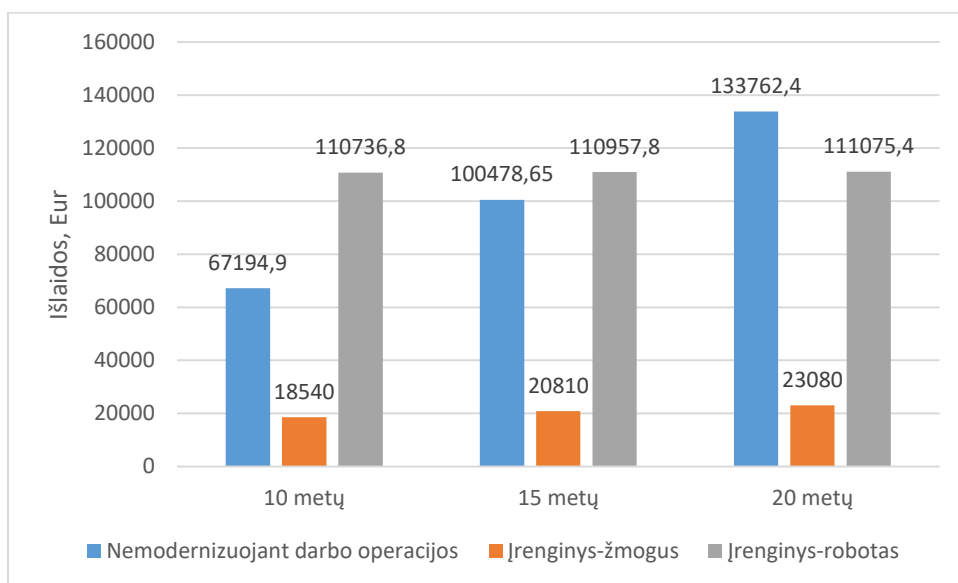
Galima apskaičiuoti, kiek kainuos išlaikymas X įmonei, nemodernizuojant ir modernizuojant šią darbo operaciją, po 10, 15 ir 20 metų. Nemodernizuojant šios darbo operacijos, pirmaisiais metais įmonė turės investuoti į purvasaugių šablonų stendą, dviejų darbuotojų atlyginimus ir išbrokuotas detales. Likusiais metais X įmonei reikės investuoti į dviejų darbuotojų atlyginimus ir išbrokuotas detales. Modernizuojant šią operaciją pagal *Įrenginys-žmogus* skaičiavimus, pirmaisiais metais įmonė turės investuoti į įrenginio gamybą ir vieno darbuotojo atlyginimą, likusiais metais tik į vieno darbuotojo atlyginimą. Modernizuojant šią operaciją pagal *Įrenginys-robotas* skaičiavimus, pirmaisiais metais įmonė turės investuoti į įrenginio gamybą, roboto įsigijimą, programinę įrangą, projektavimo darbus, padidėjusias elektros išlaidas. Likusias metais įmonei reikės investuoti tik į elektros išlaidas ir nenumatytas remonto paslaugas.

Skaičiavimai atlikti pagal rinkos kainas. Metams bėgant, darbo užmokesčio ir elektros kainos gali kisti. Apskaičiuotos išlaidos, nemodernizuojant ir modernizuojant darbo operaciją, pateiktos 3.4.1 lentelėje ir 3.4.1 paveiksle.

3.4.1 lentelė

Išlaidos darbo operacijai po 10,15 ir 20 metų

Laikotarpis	Nemodernizuojant darbo operacijos, Eur	<i>Įrenginys-žmogus, Eur</i>	<i>Įrenginys-robotas, Eur</i>
10 metų	67 194,9	18 540	110 736,8
15 metų	100 478,65	20 810	110 957,8
20 metų	133 762,4	23 080	111 075,4



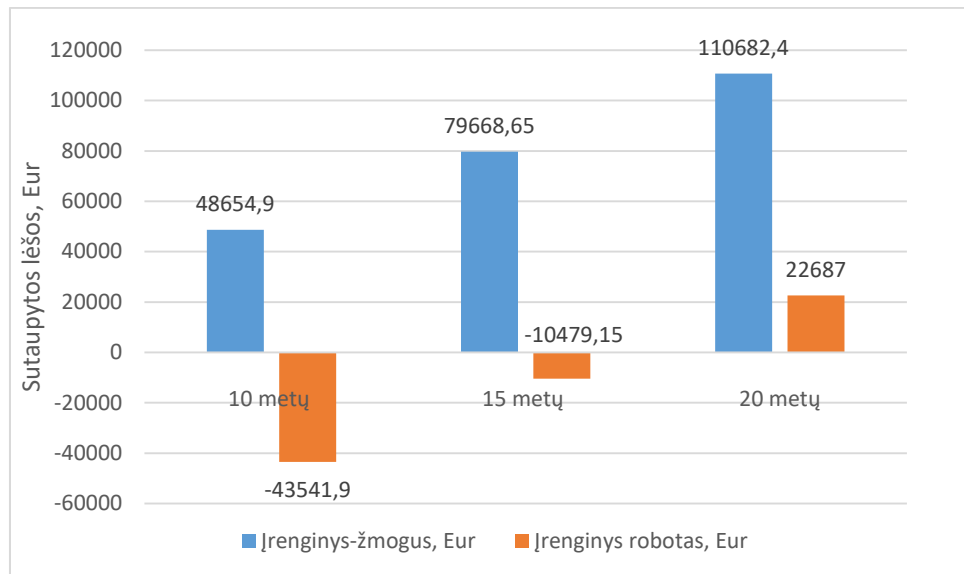
3.4.1 pav. Išlaidos darbo operacijai po 10,15 ir 20 metų

Sutaupytos lėšos, nemodernizuojant ir modernizuojant darbo operaciją, pateiktos 3.4.2 lentelėje ir 3.4.2 paveiksle.

3.4.2 lentelė

Sutaupytos lėšos po 10, 15 ir 20 metų

Laikotarpis	<i>Įrenginys-žmogus, Eur</i>	<i>Įrenginys-robotas, Eur</i>
10 metų	48 654,9	-43 541,9
15 metų	79 668,65	-10 479,15
20 metų	110 682,4	22 687



3.4.2 pav. Sutaupytos lėšos po 10, 15 ir 20 metų

Remdamiesi duomenimis iš lentelių ir grafikų matome, kad atlikus modernizaciją *Įrenginys-žmogus*, jau po 10 metų įmonė bus sutaupiusi 48 654,9 Eur. Po 15 metų modernizacija *Įrenginys-žmogus* vis dar bus pelningesnė nei *Įrenginys-robotas*, kuris bus dar neatsipirkęs. Po 20 metų abi modernizacijos bus nešančios finansinę naudą įmonei, bet *Įrenginys-žmogus* finansiškai bus pelningesnis.

3.5. Vizualizacija

Technologijoms sparčiai žengiant į priekį, yra galimybė virtualiai sumodeliuoti anksčiau aprašytą modernizuojamą darbo operaciją, naudojant virtualios gamybos programą. Programinė įranga, naudojama sukurti simuliacijas modernizacijoms – *Visual components*.

Visual components įmonės platforma buvo įkurta 1999 metais, siekiant palaikyti pažangias 3D gamybos modeliavimo programas. Šiandien ši įmonė yra pripažinta kaip pasaulinė gamybos modeliavimo pramonės lyderė ir patikima daugelio pirmaujančių prekės ženklų technologijų partnerė. Įmonė siūlo paprastą, greitą ir ekonomišką sprendimą gamybos linijoms projektuoti ir modeliuoti [16].

3D vizualizacija leidžia suformuoti virtualų vaizdą pagal konkrečių įmonių pageidavimus. Galima sukurti darbo aplinkos vizualizaciją, numatyti komponentų išdėstymą. Taip pat galima suprogramuoti numatomą įrenginių, robotų ar kitų elementų veikimą. Šis modeliavimas prieš pradedant atnaujinti tam tikrą darbo vietą sutaupo laiką ir išteklių, nes galima iš visų pusių apžiūrėti modernizuojamą darbo vietą ar operaciją, numatyti klaidas, kurios gali kilti vykdant atnaujinimus.

Vizualizacija, *Įrenginys-žmogus*, sukurta pagal anksčiau modernizuotą dviračio purvasaugio kirtimo prieš konvejerį operaciją, pateikta 3.5.1 ir 3.5.2 paveiksluose. Kadangi įrenginys, skirtas

dviračių purvasaugių kirtimui, bus gaminamas pagal specialų užsakymą, šiose simuliacijose šis įrenginys yra pakeistas gręžimo staklėmis.

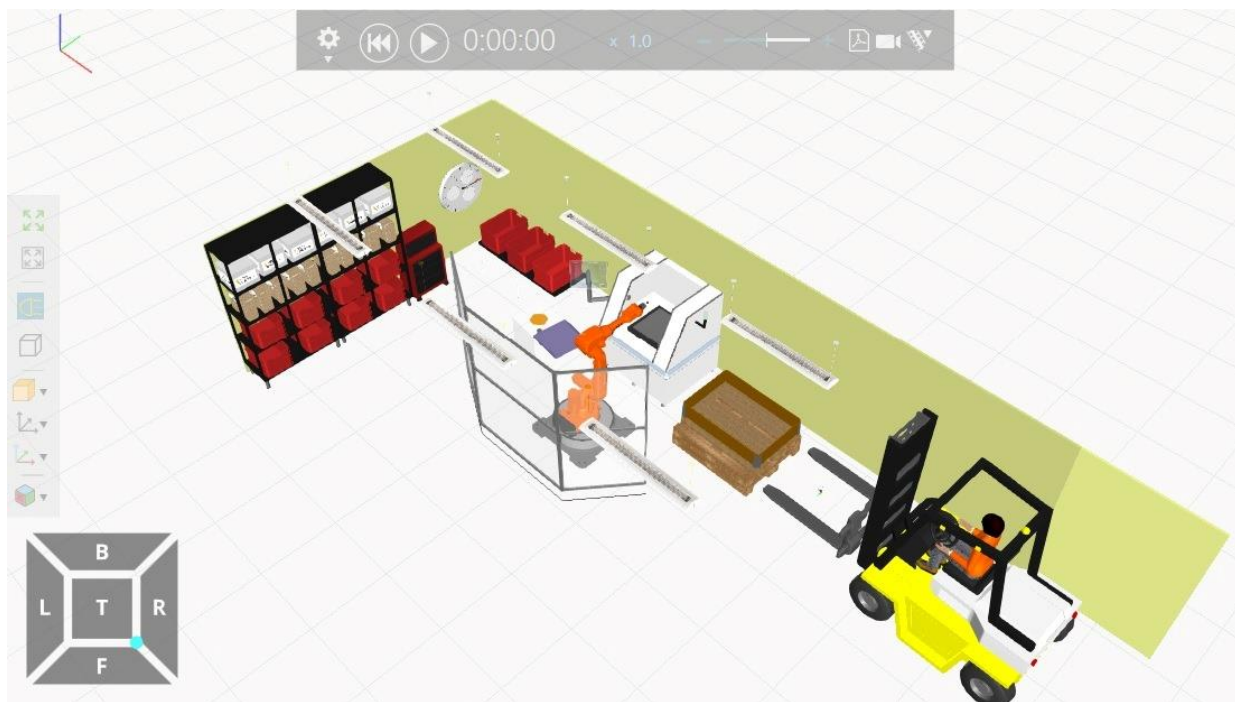


3.5.1 pav. Modernizuota darbo operacija, dviračių purvasaugių kirtimas prieš konvejerį
(Įrenginys-žmogus), 1 projekcija

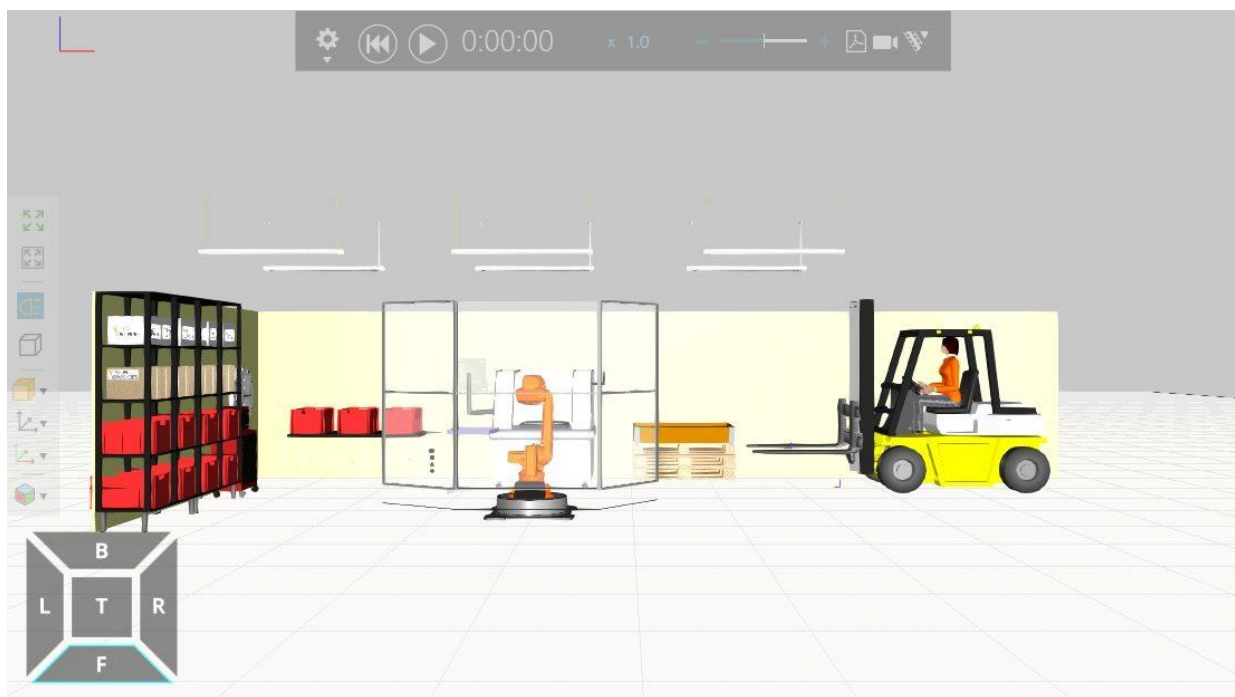


3.5.2 pav. Modernizuota darbo operacija, dviračių purvasaugių kirtimas prieš konvejerį
(Įrenginys-žmogus), 2 projekcija

Vizualizacija, *Irenginys-robotas*, sukurta pagal anksčiau modernizuotą dviračių purvasaugio kirtimo prieš konvejerį operaciją, pateikta 3.5.3 ir 3.5.4 paveiksluose.



3.5.3 pav. Modernizuota darbo operacija, dviračių purvasaugių kirtimas prieš konvejerį (*Irenginys-robotas*), 1 projekcija



3.5.4 pav. Modernizuota darbo operacija, dviračių purvasaugių kirtimas prieš konvejerį (*Irenginys-robotas*), 2 projekcija

4. IŠVADOS

1. Skaičiavimais nustatyta, kad finansiškai naudinga modernizuoti dviračių purvasaugių kirtimo prieš konvejerį darbo operaciją. Po 10 metų įmonė sutaupytų daugiau nei 48 tūkst. eurų.
2. Modernizuojama operacija *Įrenginys-žmogus* atsipirktų per 24 mėnesius, o *Įrenginys-robotas* - per 182 mėnesius.
3. Greitesnė ir didesnė finansinė nauda įmonei būtų nusprendus modernizuoti darbo operaciją pagal *Įrenginys-žmogus* modernizaciją. Ši modernizacija jau po 10 metų įmonei sutaupys daugiau nei 48 tūkst. eurų, o po 20 metų - daugiau nei 110 tūkst. eurų. Tuo tarpu modernizacija *Įrenginys-robotas* finansinę naudą atneš po daugiau nei 15 metų.
4. Sukurtos simuliacijos modernizuojamoms darbo operacijos *Įrenginys-žmogus* ir *Įrenginys-robotas*, 3D gamybos modeliavimo programa *Visual components*.

LITERATŪRA

1. J. Babinskė, R. Apanavičienė: Pastatų valdymo efektyvumas: teoriniai aspektai, 2019, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-09-20]. Prieiga per internetą: <https://journals.vgtu.lt/index.php/MLA/article/view/11348/9547>
2. Schwab K., Ketvirtosios pramonės revoliucijos valdymas, Vilnius, 2018.
3. Pramonė 4.0 – keičiasi įmonių požiūris į gamybos modernizaciją, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-11-20]. Prieiga per internetą: <https://www.lpk.lt/wp-content/uploads/2017/05/0512Pramone-4.0-detalus.pdf>
4. T. Baliukonis, R. Čiarnienė: Efektyvumo didinimas mažinant nuostolius, 2014, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-11-04]. Prieiga per internetą: <https://repository.mruni.eu/bitstream/handle/007/14964/Baliukonis.pdf?sequence=1&isAllo wed=y>
5. Machado V.C., Leitner U.: Lean tools and lean transformation process in health care. Journal of Management Science and Engineering Management, 2010.
6. S. Valentinavičius: Inovacinio verslo plėtra: problemos ir galimybės, 2006, [interaktyvus] [žiūrėta 2020-02-20]. Prieiga per internetą: <http://etalpykla.lituanistikadb.lt/fedora/objects/LT-LDB-0001:J.04~2006~1367154745714/datastreams/DS.002.0.01.ARTIC/content>
7. Carreira. B.: Lean. Manufacturing That Works: Powerful Tools for Dramatically Reducing Waste and Maximizing Profits, JAV, 2004.
8. J. Statkus: „Lean“ gamybos vadybos koncepcija ir vertės kūrimo sistema, 2018, [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-01]. Prieiga per internetą: <https://journals.su.lt/jmd/article/view/206>
9. Almada-Lobo F.: The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES), 2015, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-09-05]. Prieiga per internetą: <https://journals.fe.up.pt/index.php/IJMAI/article/view/249/145>
10. E. Nagulevičius, A. Jakubavičius: Gamybos proceso modernizavimas, pramonės skaitmenizavimo iššūkių kontekste, 2019, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-10-10]. Prieiga per internetą: <http://jmk.vvf.vgtu.lt/index.php/Verslas/2019/paper/view/374/150>
11. Ford M., Robotų era: technologijų pažanga ir ateitis be darbo, Vilnius, 2017.
12. OECD Compendium of Productivity Indicators, 2017, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-12-02]. Prieiga per internetą: https://read.oecd-ilibrary.org/economics/oecd-compendium-of-productivity-indicators-2017_pdtvy-2017-en#page1

13. Roblek V., Meško M., Krapež A., A Complex View of Industry 4.0, 2016, [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per internetą: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2158244016653987>
14. [International Federation of Robotics, 2019.](#) [interaktyvus] [žiūrėta 2020-03-30]. Prieiga per internetą: <https://ifr.org/downloads/press2018/IFR%20World%20Robotics%20Presentation%20-%2018%20Sept%202019.pdf>
15. [Robotas ABB IRB 2600-20/1,65 ABB IRB 2600.](#) [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-20]. Prieiga per internetą: <https://www.machinesseeker.lt/abb-irb+2600/i-4085457>
16. Visual Components, Our story, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-10-10]. Prieiga per internetą: <https://www.visualcomponents.com/about-us/>
17. [Kas yra Lean sistema?](#), [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-02]. Prieiga per internetą: <https://www.lean.lt/kas-yra-lean/lean/>
18. [D. Gradolewski, D. Maslowski, D. Dziak, B.Jachimczyk, S. T. Mundlamuri, C. G. Prakash, W. J. Kulesza: A Distributed Computing Real-Time Safety System of Collaborative Robot, 2020,](#) [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-23]. Prieiga per internetą: <http://eejournal.ktu.lt/index.php/elt/article/view/25757>
19. Gečas, K., Jakubavičius, A. ir Keraminas, A.: Inovacijų plėtra Lietuvoje įgyja pagreitį. Ekonominės reformos ir prioritetai, 2017, [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-23]. Prieiga per internetą: http://elibrary.lt/resursai/DB/StatistikosDep/LEA/2005_01/LEA_2005_01_L041-047.pdf
20. [Number of e-bikes sold in Europe from 2009 to 2018,](#) [interaktyvus] [žiūrėta 2020-03-13]. Prieiga per internetą: <https://www.statista.com/statistics/276036/unit-sales-e-bikes-europe/>
21. Lean projektų parengimas ir įgyvendinimo organizavimas, [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-02]. Prieiga per internetą: <http://www.kvalitetas.lt/lean>
22. Industry 4 Panevėžys, [interaktyvus] [žiūrėta 2020-02-18]. Prieiga per internetą: <https://industry4panevezys.lt/apie-mus/>
23. AtranVelo Tour Lite F-Fix rear rack/carrier 28‘ AVS black, [interaktyvus] [žiūrėta 2020-03-20]. Prieiga per internetą: <https://www.starbike.com/en/atranvelo-tour-lite-f-fix-rear-rack-carrier-28-avs-black/>
24. ABB further extends its mid range robot family, 2019, [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-20]. Prieiga per internetą:

- https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ROB0142EN_B&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch&fbclid=IwAR32sVjyHSW78-J9hrsQSSw8hyH6HC7WqUTjqP-oIQZkelbrCDo8YZjad98
25. [SIMATIC HMI Basic Panels](https://new.siemens.com/global/en/products/automation/simatic-hmi/panels/basic-panels.html), [interaktyvus] [žiūrėta 2020-02-10]. Prieiga per internetą: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/simatic-hmi/panels/basic-panels.html>
 26. [Atlyginimo skaičiuoklė 2020](https://www.auditum.lt/index.php/atlyginimo-skaiciuokle/atlyginimo-skaiciuokle.html) [interaktyvus] [žiūrėta 2019-09-10]. Prieiga per internetą: <https://www.auditum.lt/index.php/atlyginimo-skaiciuokle/atlyginimo-skaiciuokle.html>
 27. A.K. Jaiswal ir B. Kumar: Vacuum gripper-an important material handling tool, 2017, [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-02]. Prieiga per internetą: http://www.ijst.co.in/papers/vol7issue1/ijst_170201.pdf
 28. Robotiq Vacuum Gripper EPick, [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-18]. Prieiga per internetą: <https://www.tm-robot.com/en/product/robotiq-vacuum-gripper-epick/>
 29. Flexible feeders for parts of any shape and size, , [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-18]. Prieiga per internetą: <https://www.flexfactory.com/en/products/feeders/>
 30. 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 2020-05-25]. Prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.3926/jiem.1940>
 31. Stancioiu, A. (2017). The Fourth Industrial Revolution „INDUSTRY 4.0”, [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-07]. Prieiga per internetą: https://pdfs.semanticscholar.org/6676/2e6431110b462a45091878daec6e51901dae.pdf?_ga=2.252758857.1781314320.1590497642-771040349.1590497642
 32. Newell J., (2016). DAQ in Industry 4.0. Environmental Engineering DAQ & Sensors.
 33. Gabriel, M. & Pessl, E., (2016). Industry 4.0 and Sustainability Impacts: Critical Discussion of Sustainability Aspects with a Special Focus on Future of Work and Ecological Consequences. Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara, [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-20]. Prieiga per internetą:

<https://web.a.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=15842665&AN=115816505&h=H0LBwJrLHPXPsvArs9I%2frHNOjxsBZ7so0AF7wxT%2fD26v5Om5y31tnmpsXPQLK7B%2bSH1LK0%2fKvK8MRGkSg4W6jg%3d%3d&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrlNotAuth&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d15842665%26AN%3d115816505>

34. Berger R. (2016). Skill Development for Industry 4.0. BRICS Skill Development Working Group. Whitepaper, [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-07]. Prieiga per internetą: <http://www.globalskillsummit.com/Whitepaper-Summary.pdf>
35. Schwab, K.M. (2016). The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond, [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-05]. Prieiga per internetą: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>
36. Bargelis A., Gamybės plėtros strategija, Kaunas, 2002.
37. Bargelis A. ir kt., Inovacinės gamybos technologijos (mokomoji knyga), Vilnius, 2008.
38. Tvaronaviciene, M., & Degutis, M., If approach to innovations differs in locally and foreign owned firms: Case of Lithuania. Journal of Business Economics and Management, 2007, [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-09]. Prieiga per internetą: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/16111699.2007.9636169>