

## Roboto su tiesiaieigio judėjimo/pozicionavimo įrenginiu automatinės sistemos efektyvumo tyrimas

**Ernestas Rimša**

*Mechanikos inžinerijos magistras  
Master of Mechanical Engineering*

**Sergėjus Rimovskis**

*Šiaulių valstybinė kolegija, Transporto inžinerijos katedros docentas, technologijos mokslų daktaras  
Šiaulių valstybinė kolegija / Higher Education Institution, Lithuania; Associate Professor at the  
Department of Transport Engineering, Doctor of Technological Sciences  
s.rimovskis@svako.lt*

**Artūras Sabaliauskas**

*Šiaulių valstybinė kolegija, Transporto inžinerijos katedros vedėjas, docentas, technologijos mokslų  
daktaras  
Šiaulių valstybinė kolegija / Higher Education Institution, Lithuania; Head of the Department of  
Transport Engineering, Associate Professor, Doctor of Technological Sciences  
a.sabaliauskas@svako.lt*

### Anotacija

Straipsnyje pateikiamas gamybinio proceso modernizavimo efektyvumo ir veiklos kaštų įvertinimas. Procesą sudaro detalių tekinimo operacijos dviem CNC tekinimo staklėmis. Pasirinkti du modernizavimo variantai: 2 robotų automatizuotos sistemos diegimas ir vieno roboto su tiesiaieigio judėjimo/pozicionavimo įrenginiu (*angl.* linear motion track for robot positioning) automatizuotos sistemos diegimas. Tyrimo tikslas – pagrįsti vieno roboto su tiesiaieigio judesio/pozicionavimo įrenginiu pasirinkimo privalumą. Proceso modeliavimas atliktas programa Visual Components. Tyrimams pasirinktas ABB robotas IRB 4600 ir to paties gamintojo tiesinio judėjimo/pozicionavimo įrenginys ABB IRBT 4004.

**Reikšminiai žodžiai:** robotas, tiesiaieigis judėjimas/pozicionavimas, programa Visual Components.

## Research on efficiency of automation system with robot on linear motion track

### Summary

The work presents an assessment of the efficiency and operational costs of modernized manufacturing process. The process consists of turning operations on two CNC lathe machines. Two options for modernization are proposed: installation of 2 robots automated system and installation of an automated system of one robot on a linear motion track for positioning. The purpose of the study is to prove the advantage of option with one robot on a linear motion track device. The process modelling is performed in Visual Components software. ABB 6-axis robot IRB 4600 and the linear motion track device ABB IRBT 4004 of the same manufacturer were chosen for the research.

**Keywords:** robot, linear motion track, Visual Components software.

## **Įvadas**

Daugelis pramonės įmonių, siekdamos didinti konkurencingumą ir efektyvumą, susiduria su gamybos modernizavimo ir automatizuotų procesų diegimo iššūkiais. Svarbiais uždaviniais tampa procesų pakartojamumo užtikrinimas, kokybės didinimas, sąnaudų mažinimas. Įvairios robotinės sistemos tampa gerais sprendimais ir pateisinama investicija, kadangi jas nesudėtinga perprogramuoti ir pritaikyti, kas labai aktualu nuolat besikeičiant produkcijai ar net technologijai. Gamybinių procesų automatizavimas palengvina žmonių darbą, didina našumą, mažina klaidos tikimybę ir atitinkamai kokybės reikalavimų neatitinkančios išleidžiamos produkcijos dalį. Robotais naudinga keisti ypač monotonišką darbą atliekančius darbininkus arba pavojingose vietose dirbančius žmones. Suprojektuoti originalų automatinį įrenginį, skirtą būtent tam veiksmui ar operacijai atlikti, paprastai netikslinga, geriau naudoti pramoninį robotą, kuris, reikalui esant, gali būti perprogramuotas kitam veiksmui ar veiksmų seka atlikti [1]. Robotizacijos pradžia, apimanti 1950–1967 metus, ir jos tolimesni vystymosi etapai aprašyti [2]. Pirmieji robotai buvo naudojami paprastoms užduotims atlikti (paimti-padėti). Vėliau, kai buvo sukurtas išorinis sensorius, robotai „išmoko“ atlikti tokias užduotis kaip suvirinimas, šlifavimas, valymas, surinkimas. Šiais laikais naudojamus pramoninius robotus galima suskirstyti į tris skirtingas grupes:

- medžiagų tvarkymas (paletavimas);
- procesų operacijos (apdirbimas, suvirinimas);
- surinkimas.

Nuo XVIII amžiuje prasidėjusios pramonės revoliucijos automatizavimas buvo pagrindinis siekis, bandant racionalizuoti gamybos procesą. Dar prieš pusę amžiaus automatizavimas buvo beveik mechanizacijos sinonimas. Rankinį darbą keitė mašinos ir kitos techninės priemonės, tačiau jos reikalavo didelių sąnaudų. Pagrindinis trūkumas buvo tai, kad viena mašina galėjo atlikti tik vieną operaciją. Prieš gaminant naują gaminį tekdavo pertvarkyti visą gamybos liniją. Dėl to automatizuota gamyba daugiausia buvo taikoma masinės gamybos pramonės šakose, pvz., automobilių pramonėje [3]. Šiuolaikiniai robotai aprūpinti pažangiais jutikliais ir integruoti su pažangia analitika bei ML programine įranga gali interpretuoti duomenis ir naudoti juos prisitaikydami, keisdami mechaninius judesius ir geriau atlikdami užduotis. Jų naudojimas mažina laiko ir finansines sąnaudas tai pačiai gamybinei funkcijai besikeičiančios gamybos aplinkos sąlygomis atlikti.

Šiuo metu dažniausiai naudojami šešiaašiai robotai, galintys atlikti labai tikslas operacijas. Tačiau kartais būna tikslinga šiuos robotus padaryti mobiliais, kas ypač aktualu, esant ribotiems gamybos plotams. Tokiu atveju robotui suteikiama papildomo tiesiaieigio judesio galimybė (7-oji ašis), kuri išplečia jo panaudojimo galimybes. Toks sprendimas leidžia vienu robotu aptarnauti daugiau mašinų ir procesų, didinti gamybos produktyvumą ir mažinti veiklos kaštus.

Šiame straipsnyje aprašomas Visual Components priemonėmis atliktas dviem robotizuotomis sistemomis valdomo gamybinio proceso modeliavimas, nustatomas šio proceso efektyvumas, įvertinama įtaka finansiniams įmonės rodikliams. Pagrindžiamas sistemos su vienu robotu ABB IRB 4600 ant tiesinio judėjimo/pozicionavimo įrenginio ABB IRBT 4004 naudojimo gamybiniame procese pranašumas prieš sistemą su dviem tokio pat tipo robotais.

*Tyrimo objektas* – linijinė roboto judėjimo sistema.

*Tyrimo tikslas* – ištirti roboto linijinės judėjimo sistemos efektyvumą bei įvertinti jos pranašumą lyginant su 6 ašių pramoniniais robotais, sumontuotais ant stacionaraus stovo.

*Tyrimo uždaviniai:*

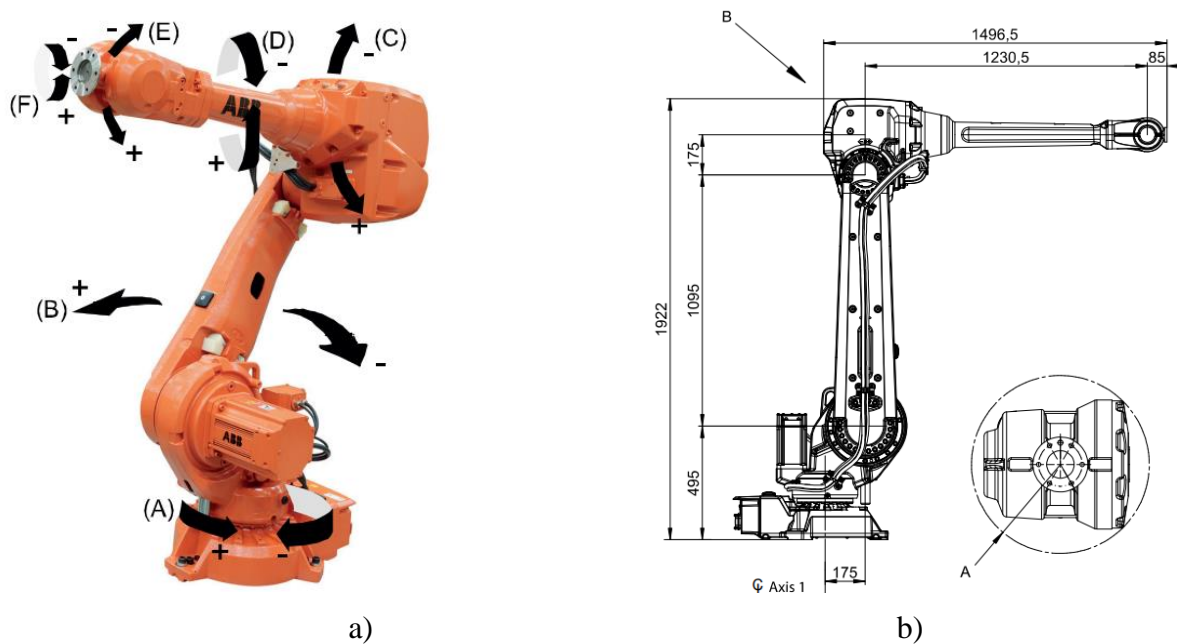
1. Palyginti linijinės roboto judėjimo sistemos privalumus ir trūkumus prieš stacionarius robotus;
2. Naudojant Visual Components programą sudaryti procesų simuliacijas;
3. Palyginti ekonominį naudingumą, robotizavus technologinį procesą;
4. Pateikti išlaidų, reikalingų sistemų įrengimui, skaičiavimus ir nustatyti atsiperkamumo laikotarpius.

*Tyrimo metodai:* mokslinės literatūros lyginamoji analizė, proceso simuliacija *Visual Components* programa.

## Modernizavimui pasirinkti įrenginiai

Tyrimams pasirinktas ABB firmos pramoninis 6 ašių bendros paskirties robotas IRB 4600 (žr. 1 pav.). Šis robotas yra pakankamai kompaktiškas, pasižymintis dideliu našumu ir patikimumu [4]. Tokio tipo robotus lengva integruoti į esamas darbo eigas, jis gali būti išdėstomas arti įrenginių ir puikiai tinka gamybiniam procesui organizuoti ribotame plote. Pagrindiniai duomenys apie IRB 4600 pateikti 1 ir 2 lentelėse.

Proceso modeliavimui pasirinktas tiesiaieigio judėjimo/pozicionavimo įrenginys ABB IRBT 4004 (žr. 2 pav.) [6]. Pasirinkimą lėmė tokie kriterijai – didžiausia leistina apkrova, pakartojamumo tikslumas (0,002 mm), suderinamumas su pramoniniais ABB robotais (to paties gamintojo įrenginius lengviau programuoti, jų veikimas patikimesnis), nesudėtingas montavimas. Šios sistemos pagrindiniai techniniai duomenys pateikti 3 lentelėje.



**1 pav.** Pramoninis robotas ABB IRB 4600 [5]: a) judėjimo ašys; b) pagrindiniai matmenys

1 lentelė

### ABB IRB 4600 roboto techniniai duomenys [5]

Masė	425 kg
Maksimali apkrova	60 kg
Maksimalus riešo sukimo momentas 4 ir 5 ašims	200 Nm
Maksimalus riešo sukimo momentas 6 ašiai	105 Nm

2 lentelė

### Roboto ašių judėjimo diapazonai [5]

Ašis	Judėjimo tipas	Judėjimo diapazonas
A	Sukimasis	+180° iki -180°
B	Rankos judėjimas	+150° iki -90°
C	Rankos judėjimas	+75° iki -180°
D	Sukimasis	+400° iki -400°
E	Lenkimas	+120° iki -125°
F	Sukimasis	+400° iki -400°



**2 pav.** Tiesiaieigio judėjimo/pozicionavimo įrenginys ABB IRBT 4004 [6]

3 lentelė

**ABB IRBT 4004 techniniai duomenys [6]**

Galimas ilgis	nuo 1,9 m iki 19,9 m
Greitis	2 m/s
Ilgis	5 m
Montavimo tipas	ant grindų
Robotų skaičius	1 arba 2
5 m. ilgio sistemos svoris	~2 400 kg

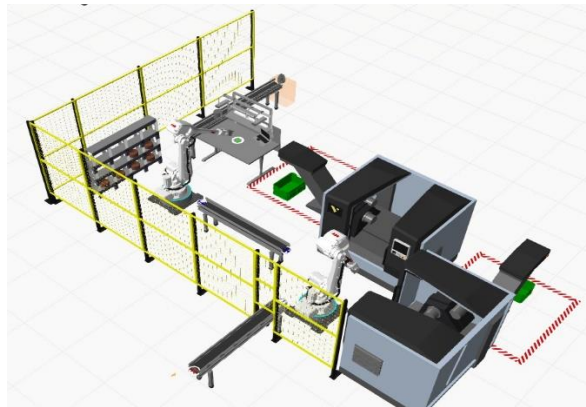
### **Modeliavimas Visual Component aplinkoje**

Visual Components programinė įranga naudojama modeliuoti ir analizuoti automatizuotus gamybinius procesus [7, 8]. Juos sudaro įrenginių išdėstymo planavimas, gamybos modeliavimas, įrenginių programavimas ir proceso tikrinimas. 2003 metais Visual Components ir KUKA išleido programinę įrangą robotams modeliuoti ir programuoti. Prisijungus prie „Fanuc“ roboto valdiklio tiesiogiai per Visual Components, žymiai supaprastėjo roboto programavimas ir paleidimas, nes vienoje vietoje randami būtiniausi modeliavimo elementai. Šia programa kuriant simuliacijas, iš anksto eliminuojamos programavimo klaidos. Be to, pasirinkus tinkamiausią įrengimų išdėstymą, apskaičiuojamas reikalingas gamybinių patalpų plotas.

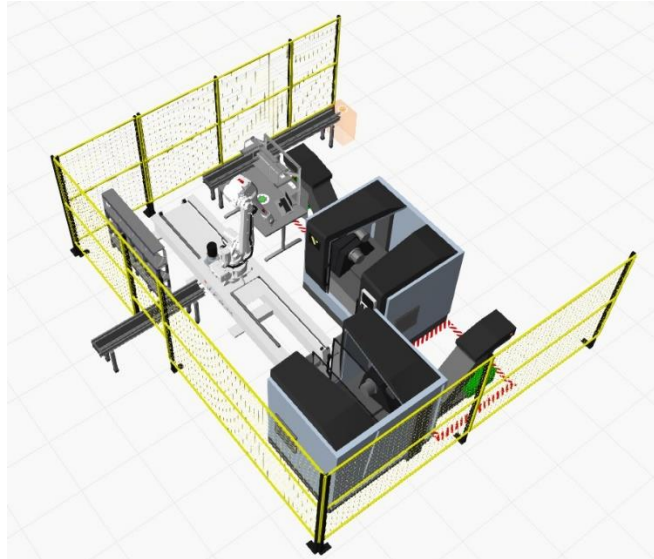
3 pav. pateikta Visual Components aplinkoje sumodeliuoto gamybinio proceso su dviem stacionariais ABB robotais vizualizacija. Procesą sudaro detalės tekinimas dviem tekinimo staklėmis (operacijų trukmė – 2 ir 3 min), kurias aptarnauja robotas 1. Robotas 2 atlieka pagamintų detalių supakavimo operacijas sandėliavimo vietoje. 10 detalių gamybos pilnas ciklas iki modernizavimo trunka 31 min., tuo tarpu Visual Components aplinkoje šis laikas sumažėjo iki 27 min.

4 pav. parodyta tokio pat proceso simuliacija, tik šiuo atveju naudojamas vienas ABB robotas, sumontuotas ant tiesiaieigio judėjimo/pozicionavimo įrenginio ABB IRBT 4004. Šiuo atveju 10 detalių gamybos pilnas ciklas Visual Components aplinkoje užtruko 20 min.

Nustatyta, kad, organizuojant gamybinį procesą dviem robotais, reikalingas minimalus patalpos plotas siekia 50 m<sup>2</sup> (tiek pat kiek ir iki modernizavimo). Naudojant antrąjį modernizavimo variantą, minimalus gamybai reikalingas plotas sumažėjo iki 41 m<sup>2</sup>, t. y., 22 %.



**3 pav.** Dviejų robotų gamybinio proceso vizualizacija Visual Components aplinkoje



**4 pav.** Roboto su tiesiaieigio judėjimo įrenginiu vizualizacija Visual Components aplinkoje

### Ekonominio naudingumo analizė

Abiejų sistemų atsiperkamumas apskaičiuotas internetine skaičiuokle ROI Robot System Value Calculator [9]. Atsiperkamumo duomenys pateikti 5 ir 6 pav. Gamybinio proceso išlaidos 10 m laikotarpiu, neįvykdžius automatizavimo ir įdiegus dviejų robotų automatizuotą sistemą arba vieno roboto su tiesiaieigio judėjimo įrenginiu automatizuotą sistemą, pateiktos 7 pav. diagramoje.

Metai	Sistemos kaštai ?	Priežiūros išlaidos ?	Veiklos kaštai* ?	Darbo taupymas** ?	Produktyvumo taupymas*** ?	Kitos santaupos	Metinis pinigų srautas	Kaupiamasis pinigų srautas
1	322 000 USD	1000 USD	10 800 USD	68 625 USD	6 862 USD	0 USD	-258 313 USD	-258 313 USD
2		1000 USD	11 016 USD	69 997 USD	7000 USD	0 USD	64 981 USD	-193 332 USD
3		1000 USD	11 236 USD	71 397 USD	7140 USD	0 USD	66 300 USD	-127 032 USD
4		1000 USD	11 461 USD	72 825 USD	7 283 USD	0 USD	67 646 USD	-59 385 USD
5		10 000 USD	11 690 USD	74 282 USD	7 428 USD	0 USD	60 019 USD	634 USD
6		1000 USD	11 924 USD	75 767 USD	7577 USD	0 USD	70 420 USD	71 054 USD
7		1000 USD	12 163 USD	77 282 USD	7728 USD	0 USD	71 848 USD	142 902 USD
8		1000 USD	12 406 USD	78 828 USD	7 883 USD	0 USD	73 305 USD	216 207 USD
9		1000 USD	12 654 USD	80 405 USD	8 040 USD	0 USD	74 791 USD	290 999 USD
10		60 000 USD	12 907 USD	82 013 USD	8 201 USD	0 USD	17 307 USD	308 306 USD
11		1000 USD	13 165 USD	83 653 USD	8 365 USD	0 USD	77 853 USD	386 159 USD
12		1000 USD	13 428 USD	85 326 USD	8533 USD	0 USD	79 430 USD	465 589 USD
13		1000 USD	13 697 USD	87 033 USD	8703 USD	0 USD	81 039 USD	546 628 USD
14		1000 USD	13 971 USD	88 773 USD	8 877 USD	0 USD	82 680 USD	629 308 USD
15		1000 USD	14 250 USD	90 549 USD	9 055 USD	0 USD	84 353 USD	713 661 USD
<b>IŠ VISO</b>		<b>83 000 USD</b>	<b>186 769 USD</b>	<b>1 186 755 USD</b>	<b>118 675 USD</b>	<b>0 USD</b>		

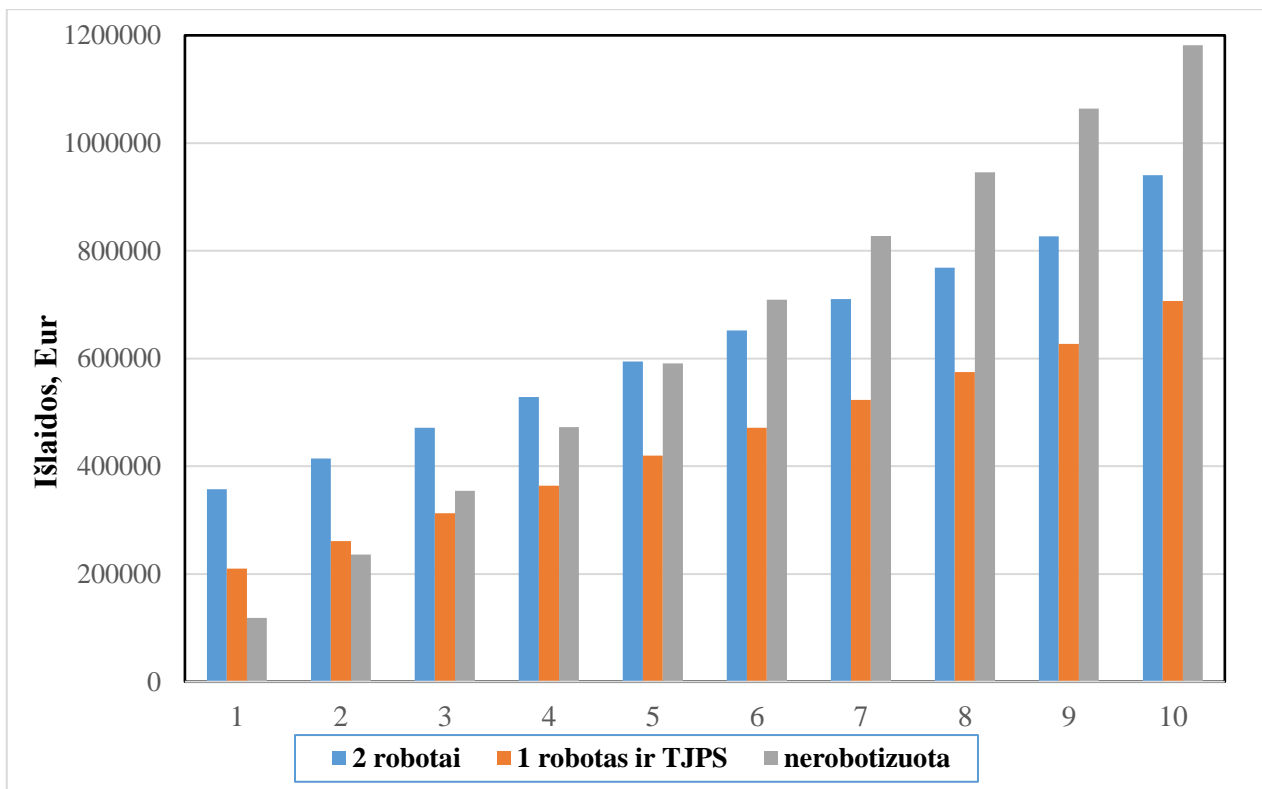
\*Vidutinio dydžio robotui; mažas robotas suvartoja 1/10 energijos, o didelis robotas – du kartus. Manoma, kad elektros energijos sąnaudų metinė infliacija yra 2 %

\*\*Iaikoma 1,02 % metinės infliacijos darbo jėgos sąnaudomis

**5 pav.** Dviejų robotų automatizuotos sistemos atsiperkamumas

Metai	Sistemos kaštai	Priežiūros išlaidos	Veiklos kaštai*	Darbo taupymas**	Produktyvumo taupymas***	Kitos santaupos	Metinis pinigų srautas	Kaupiamasis pinigų srautas
1	170 000 USD	500 USD	5400 USD	68 625 USD	6 862 USD	0 USD	-100 413 USD	-100 413 USD
2		500 USD	5508 USD	69 997 USD	7000 USD	0 USD	-70 989 USD	-29 424 USD
3		500 USD	5618 USD	71 397 USD	7140 USD	0 USD	-72 419 USD	42 995 USD
4		500 USD	5731 USD	72 825 USD	7 283 USD	0 USD	-73 877 USD	116 872 USD
5		5000 USD	5845 USD	74 282 USD	7 428 USD	0 USD	-70 865 USD	187 736 USD
6		500 USD	5962 USD	75 767 USD	7577 USD	0 USD	-76 882 USD	264 618 USD
7		500 USD	6 081 USD	77 282 USD	7728 USD	0 USD	-78 429 USD	343 047 USD
8		500 USD	6 203 USD	78 828 USD	7 883 USD	0 USD	-80 008 USD	423 055 USD
9		500 USD	6 327 USD	80 405 USD	8 040 USD	0 USD	-81 618 USD	504 674 USD
10		30 000 USD	6 453 USD	82 013 USD	8 201 USD	0 USD	-53 761 USD	558 434 USD
11		500 USD	6583 USD	83 653 USD	8 365 USD	0 USD	-84 936 USD	643 370 USD
12		500 USD	6 714 USD	85 326 USD	8533 USD	0 USD	-86 645 USD	730 015 USD
13		500 USD	6 849 USD	87 033 USD	8703 USD	0 USD	-88 387 USD	818 402 USD
14		500 USD	6 985 USD	88 773 USD	8 877 USD	0 USD	-90 165 USD	908 567 USD
15		500 USD	7125 USD	90 549 USD	9 055 USD	0 USD	-91 978 USD	1 000 546 USD
<b>IŠ VISO</b>		<b>41 500 USD</b>	<b>93 384 USD</b>	<b>1 186 755 USD</b>	<b>118 675 USD</b>	<b>0 USD</b>		

6 pav. Roboto su tiesiaieigio judėjimo įrenginių automatizuotos sistemos atsiperkamumas



7 pav. Veiklos kaštai (Eur) 10 metų laikotarpiu

7 pav. diagrama sudaryta, įvertinant tai, kad neautomatizuotame gamybiniame procese vienoje pamainoje dirba 3 darbuotojai (darbo dienų skaičius per savaitę – 6, pamainų skaičius – 2). Po modernizavimo (abiem atvejais) sistemą aptarnaus kiekviename pamainoje 0,5 etatu dirbantis operatorius ir tokia pat dalimi dirbantis darbuotojas. Kitą darbo laiko dalį jie skirs įmonėje atlikdami kitų technologinių procesų priežiūrą ir valdymą.



Kaip rodo pateikti duomenys, gamybinio proceso modernizacija pirmais metais reikalauja didelių investicijų. Tačiau 2 robotų automatizuotos sistemos įdiegimas atsiperka po 5 metų, o roboto su tiesiaieigio judėjimo/pozicionavimo įrenginiu (dėl mažesnės įrengimų ir projektavimo bei programavimo darbų kainos) dar greičiau – po 2,5 metų. Taigi, nagrinėjamam gamybiniam procesui antrasis automatizavimo variantas yra priimtinesnis tiek dėl didesnio produktyvumo, tiek ir dėl didesnės finansinės naudos bei dėl mažesnio reikalaujamo gamybinio ploto.

## **Išvados**

1. Abu siūlomi gamybinio proceso modernizavimo variantai yra tikslingi, nors ir reikalauja pakankamai didelių investicijų. Abiem atvejais darbuotojų skaičius sumažinamas 60 %, nors automatizuotoms sistemoms prižiūrėti/programuoti reikalingas aukštesnės kvalifikacijos operatorius.
2. Įdiegus 2 robotų automatizuotą sistemą, gamybos produktyvumas išauga 13 %, o vieno roboto su tiesiaieigio judėjimo/pozicionavimo įrenginiu – 29 %, be to šiam modernizavimo variantui reikalingas 22 % mažesnis gamybinės patalpos plotas.
3. 2 robotų automatizuotos sistemos atsiperkamumas – 5 metai nuo eksploatavimo pradžios, vieno roboto su tiesiaieigio judėjimo/pozicionavimo įrenginiu – 2,5 metai.
4. Nagrinėjamam gamybiniam procesui modernizuoti labiau tinkama vieno roboto su tiesiaieigio judėjimo/pozicionavimo įrenginiu automatizuota sistema.

## **Literatūra**

1. B. BAKŠYS, A. FEDARAVIČIUS. Robotų technika. Kaunas: Technologija. 493 p. (2004).
2. A. ALAFAGHANI et al. Experimental Proc. Manuf. (PM). (2017).
3. J. WALLÉN. The History of the Industrial Robot. Linköping: Linköping University Electronic Press, 18 p. (2008).
4. IRB 4600. (2024). <https://new.abb.com/products/robotics/robots/articulated-robots/irb-4600>
5. ABB. Product specification. IRB 4600. (2020).
6. IRB 4600. Key features. (2024). <https://new.abb.com/products/robotics/robots/articulated-robots/irb-4600>
7. Visual Components e-puslapis. (2024). <https://www.visualcomponents.com>
8. A. LAMMLE et al. Automatic simulation model implementation of robotic production cells in a 3D manufacturing simulation environment. 30th CIRP Design. (2020).