

GAMYBINĖS LINIJOS, NAUDOJANT DUOMENŲ SURINKIMO SISTEMĄ, EFEKTYVUMO TYRIMAS

Donatas Dervinis

Šiaulių valstybinės kolegijos docentas

Anotacija

Šiame straipsnyje pristatoma gamybinės linijos efektyvumo tyrimo metodika, paremta duomenų surinkimo sistema. Pagrindinis tyrimo tikslas – įvertinti tekstilės pramonės konvejerinės linijos darbo našumą naudojant automatizuotus duomenų rinkimo ir analizės metodus. Sukurta metodika leidžia apskaičiuoti gamybinės linijos efektyvumą dviem alternatyviais būdais: remiantis atskirų darbuotojų našumo rodikliais ir bendru linijos rezultatu. Straipsnyje analizuojami realūs gamybos duomenys, surinkti iš tekstilės įmonės, pateikiami apskaičiuoti efektyvumo rodikliai 12-ai gamybos periodų. Gauti rezultatai atskleidžia, kad vidutinis darbuotojų efektyvumas ne visada koreliuoja su galutiniu linijos produktyvumu, o didesni neatitikimai gali signalizuoti apie darbo organizavimo problemas, „butelio kakliuko“ efektą ar gamybos vėlavimus. Tyrimo rezultatai gali būti naudojami gamybos procesams optimizuoti ir linijos veiklai tobulinti.

Reikšminiai žodžiai: automatizavimas, duomenų surinkimas, gamybos duomenų analizė, konvejerinė linija.

Įvadas

Temos aktualumas ir problematika. Konvejerinių linijų efektyvumas yra vienas pagrindinių veiksnių, lemiančių įmonės konkurencingumą ir produktyvumą. Tekstilės pramonėje procesai yra sudėtingi, kiekvienas gamybos etapas reikalauja tikslumo, todėl efektyvumo matavimas tampa ypač aktualus. Efektyvumas ne tik atspindi, kaip optimaliai išnaudojami gamybiniai ištekliai, bet ir padeda nustatyti pagrindines problemas, trukdančias sklandžiai veiklai. Tarp tokių problemų dažniausiai pasitaiko „butelio kakliuko“ (angl. *bottleneck*) efektas – vieta, kur gamybos procesas sulėtėja arba sustoja dėl ribotų resursų, įrangos našumo ar darbuotojų darbo organizavimo [1]. Nemaža dalis šio efekto vyksta dėl netinkamo operacijų išdėstymo, darbuotojų parinkimo ar jų kaitos – kai susirgęs darbuotojas pakeičiamas kitu darbuotoju, neturinčiu patirties konkrečioje darbo vietoje [2].

Tekstilės pramonėje „butelio kakliuko“ nustatymas ir šalinimas yra esminis uždavinys, siekiant užtikrinti sklandų gamybos linijos darbą. Visi gamybos etapai – nuo audinio kirpimo iki galutinio produkto siuvimo – yra tarpusavyje susiję, todėl vieno proceso delsimas gali sukelti domino efektą visoje gamybos grandinėje. Tinkamai identifikavus šiuos „butelio kakliukus“, galima padidinti linijos efektyvumą iki 30 proc. [2] ar net 55 proc. [3], sumažinti nuostolius ir pagerinti bendrą gamybos kokybę.

Mokslininkai kuria simuliacijos metodikas[4], linijos balansavimo modelius [2], taiko skaitmeninio dvynio modeliavimą [5], kad išsiaiškintų ir rastų optimaliausią linijos išdėstymo, operacijų suskirstymo ir darbuotojų parinkimo būdą.

Šiame straipsnyje pristatoma gamybinės linijos duomenų surinkimo ir efektyvumo matavimo metodika, leidžianti iš sukaupėtų duomenų apskaičiuoti gamybinės linijos efektyvumą.

Objektas: tekstilės pramonės gamybos linija.

Tikslas: pasirinktomis priemonėmis gauti duomenis ir išanalizuoti gamybinės įmonės konvejerinės linijos darbo efektyvumą.

Uždaviniai:

1. Atlikti linijos duomenų surinkimo ir skaitmeninimo priemonių analizę.
2. Sukurti skaičiavimo metodiką linijos efektyvumui vertinti.
3. Išanalizuoti gautus gamybinės linijos duomenis ir įvertinti efektyvumą.

Tyrimo metodologija: literatūros analizė, duomenų rinkimas (kaupimas), statistinė-matematinė duomenų analizė.

Linijos darbo duomenų surinkimas ir skaitmeninimas

Įmonės darbo vietose atliekamų darbų duomenų rinkimas yra esminis veiksnys, leidžiantis vertinti gamybos procesų efektyvumą, identifikuoti našumo trūkumus ir optimizuoti darbo organizavimą. Siekiant užtikrinti tikslius duomenis, pramonėje naudojami įvairūs duomenų surinkimo metodai, kurie gali būti rankiniai arba automatizuoti.

Šiuo metu egzistuoja daug sprendimų, skirtų ne tik registruoti atliekamą darbą, bet ir transportuoti gaminių sudedamąsias dalis ar net visiškai automatizuoti visą gamybos dalį.

Tik duomenų surinkimui galima išskirti tokius tipus:

1. Rankinis duomenų rinkimas – rankiniai duomenų rinkimo metodai yra vieni iš seniausių ir vis dar plačiai naudojamų siuvimo pramonėje. Jie reikalauja darbuotojų arba stebėtojų įsitraukimo ir yra tinkami mažesnėms gamykloms arba situacijoms, kai automatizuotos sistemos nėra ekonomiškai pagrįstos.

2. Automatinis duomenų rinkimas – duomenų rinkimo sistemos, kurios leidžia realiuoju laiku stebėti darbo našumą ir analizuoti gamybos procesus, jos veikia naudodamos tokias technologijas: RFID ir brūkšninių kodų sistema, taikanti daiktų interneto technologijas (angl. *IoT*) ar biometrinius ir kortelių skaitytuvus, taip pat gali būti pasitelkiami vaizdo analizės ir dirbtinio intelekto metodai.

3. Hibridinis duomenų rinkimo metodas – pusiau automatizuotos registravimo sistemos. Operatoriai žymi savo veiksmus, tačiau duomenys iškart įvedami į skaitmeninę sistemą pvz., naudojant mobiliąsias aplikacijas. Darbuotojai gali registruoti savo operacijas per mobiliąsias programėles ar kitus įvesties įtaisus, kurie sinchronizuojami su centrine duomenų baze.

Kitas duomenų lygis – automatizavimas, kartu su duomenų įvedimo sistema naudojamas ir medžiagų ir / ar gaminių transportavimas:

1. Greito reagavimo sistema (angl. *Quick-Response Manufacturing – QRM*), modulinės gamybos linijos su automatizuotu produktų judėjimu [6]. Sistema užtikrina ir vertina gamybos pokyčius, adaptuoja linijos darbą ir didina efektyvumą.

2. *Toyota* siuvimo sistema (angl. *Toyota Sewing System –TSS*) išpopuliarinta „Toyota“ gamyklose[7]. Darbuotojai dinamiškai perima skirtingas operacijas, t. y. dirba vienas šalia kito konvejerio principu.

3. Automatizuotas transportavimas su AGV (angl. *Lean Manufacturing with Automated Guided Vehicles – AGV*) – naudojami automatiškai valdomi vežimėliai, kurie perneša gaminius tarp darbo vietų [8].

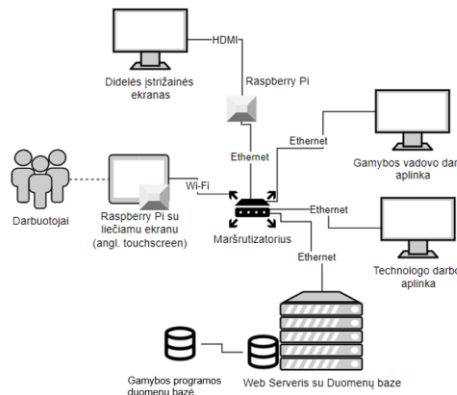
4. Pakabinama konvejerinė sistema (angl. *Fusheng Hanging System*), naudojama siuvimo gamyklose, siekiant automatizuoti gaminių judėjimą tarp operacijų, kartu fiksuojant. Viena tokių sistemų – *ETON transportation systems* (1 pav.) [9].



1 pav. *ETON transportation systems* gaminių apskaitos ir transportavimo linija su duomenų įvedimo pulteliu [9]

Toliau šiame darbe bus naudojami duomenys, gaunami iš *ETON transportation systems* ir iš 2022 metais suprojektuoto įrenginio (2 pav.), sukurto vykdant projektą [10]. Pagal anksčiau

pateiktą klasifikaciją sistema atitinka hibridinį duomenų rinkimo metodą, leidžiantį surašyti duomenis apie atliktus darbus, naudojant specializuotą įtaisą (2 b) pav.). Sistema fiksuoja darbuotojo atliktą darbą: darbuotojo ID, laiką, modelį, darbo operaciją ir atliktą kiekį, taip pat yra žinomi modelių operacijų laikai.



2 pav. Suprojektuota duomenų surinkimo sistema: a) struktūrinė schema, b) duomenų įvedimo įtaisas darbo vietoje [10]

Linijos darbo efektyvumo vertinimas

Gamybos linijoje gaminami skirtingi gaminio modeliai – m , kiekvieną jų sudaro įvairios operacijos – op_m , žinomas kiekvienos operacijos laikas – $t_{m,op}$. Visą dieną fiksuojamas kiekvieno darbuotojo z atliktas modelio m , operacijos op_m , kiekis – $N_{z,m,op,d}$. Taip pat žinomos kiekvieno darbuotojo darbo valandos $T_z(d)$.

Vienas iš būdų, kuris leistų įvertinti, kaip efektyviai dirba linija, yra galimybė atlikti kiekvieno darbuotojo efektyvumo vertinimą ir rasti jų vidutinę reikšmę.

Kiekvieno darbuotojo atliktiems darbams apskaičiuojamas teorinis sugaištas laikas $T_{z,teor}$, kuris priklauso nuo atliktų operacijų skaičiaus $N_{z,m,op,d}$ ir teorinio to operacijos laiko $t_{m,op}$:

$$T_{z,teor}(d) = \sum_m \sum_{op_m} N_{z,m,op,d} \cdot t_{m,op} \quad (1)$$

Žinant, kiek žmogus dirbo per dieną $T_z(d)$, ir turint $T_{z,teor}(d)$, apskaičiuojamas vieno darbuotojo efektyvumas $E_z(d)$:

$$E_z(d) = \frac{T_{z,teor}(d)}{T_z(d)} \cdot 100\%. \quad (2)$$

Visos linijos darbo efektyvumas $E_{linija}(d)$ apskaičiuojamas gavus kiekvieno darbuotojo efektyvumo reikšmės vidurkį:

$$E_{linija}(d) = \frac{\sum_z T_{z,teor}(d)}{\sum_z T_z(d)} \cdot 100\%. \quad (3)$$

Šis skaičius rodo teoriškai vidutinį linijos darbo efektyvumą, tačiau gali neparodyti linijos rezultato efektyvumo, t. y. to, kiek linija realiai pagamina produkcijos, palyginti su galimu teoriškai pagaminti kiekiu.

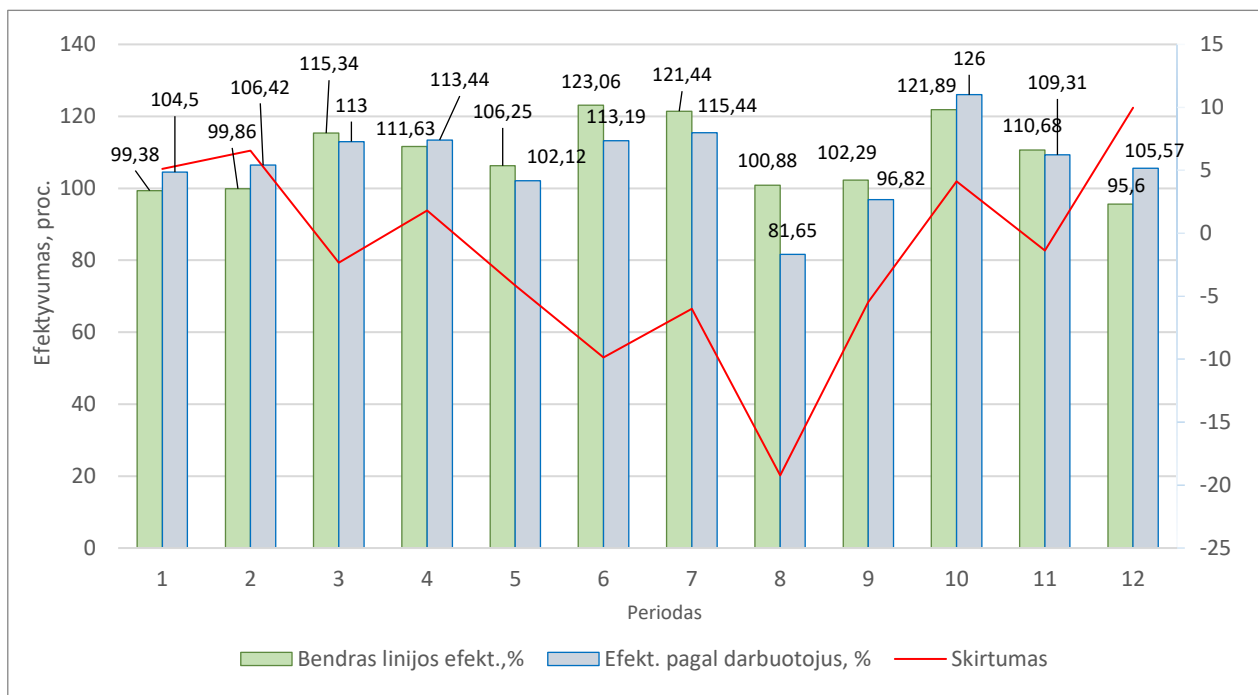
Galima taikyti kitą būdą: apskaičiuoti per laiko tarpą (pvz.: mėnesį, diena yra per mažas laiko tarpas norint įvertinti visą linijos ciklo efektyvumą), kiek reikia laiko ($T_{teorinis}$) pagaminti produkcijos kiekiui N_m , kurio teorinis visų operacijų gamybos laikas t_m :

$$T_{teorinis} = \sum_m N_m \cdot t_m. \quad (4)$$

Galutinis linijos darbo efektyvumas E_{linija} bus teorinio $T_{teorinis}$ ir realiai T_{realus} dirbto suminio laiko santykis:

$$E_{linija} = \frac{T_{teorinis}}{T_{realus}} \cdot 100\%. \quad (5)$$

Naudojant išvestas (3) ir (5) formules buvo suskaičiuotas 12-os periodų (1 periodas atitinka 1 mėnesį) linijos rezultato efektyvumas: pagal galutinės produkcijos kiekį per periodą ir vidutinį darbuotojo efektyvumą. Gauti skaičiavimų rezultatai pateikiami 3 paveiksle.



3 pav. Naudojant realius duomenis dviem būdais skirtingiems periodams apskaičiuotas linijos darbo efektyvumas: pagal linijos bendrą darbo efektyvumą ir pagal darbuotojų vidutinį efektyvumą. Abiejų efektyvumų procentinių vienetų skirtumas pateiktas raudona linija

3 paveiksle matoma, kad daugelyje periodų efektyvumas (bendras linijos ir pagal darbuotojus) yra artimas ir skirtumas nelabai reikšmingas – neviršija 6 procentinių vienetų (8 iš 12). Bet yra ir didesnių nesutapimų, pavyzdžiui, 8 periode skirtumas siekia net 19 procentinių vienetų. Tai rodo, kad darbuotojų efektyvumas buvo mažesnis nei galutinis linijos efektyvumas, t. y. produkcijos buvo pagaminama daugiau, nei teoriškai dirbo atskiri darbuotojai. Tokį rezultatą galima aiškinti gaminių gamybos pabaigos perkėlimu iš ankstesnių periodų.

Priešingai, 12 periode matomas bendras linijos prastės rezultatas 95,6 proc., kai darbuotojų vidutinis efektyvumas buvo 105,57 proc. Tai gali rodyti prastovas, „butelio kakliuko“ efektą, darbo organizavimo problemas arba broko taisymo darbo sąnaudas.

Išvados

Šiame straipsnyje analizuojamos įvairios duomenų įvedimo technologijos, taikomos gamybos procese, siekiant skaitmenizuoti ir registruoti atliktus darbus. Duomenų surinkimui buvo pasitelkta įmonėje naudojama *ETON transportation systems* sistema ir autoriaus pasiūlyta hibridinė duomenų surinkimo sistema.

Atsižvelgiant į gautus duomenis ir gamybos specifiką, sukurti matematiniai skaičiavimo metodai, leidžiantys įvertinti konvejerinės gamybos linijos efektyvumą pagal galutinės produkcijos kiekį bei vidutinį darbuotojų našumą.

Atlikta duomenų analizė patvirtino, kad abu vertinimo metodai yra tinkami linijos darbo efektyvumui nustatyti. Jų rezultatai yra tarpusavyje susiję – 8 iš 12 analizuotų periodų skirtumas neviršijo 6 procentinių punktų. Didesni periodo rezultatų neatitikimai gali rodyti tam tikrus gamybos proceso trikdžius, tokius kaip prastovas, „butelio kakliuko“ efektas, darbo organizavimo problemos, broko taisymas ar netikslūs duomenų įvedimo ir skaičiavimo procesai.

Literatūra

1. K. Syahputri et al. Improving Assembly Line Balancing Using Moodie Young Methods on Dump Truck Production. IOP Conf. series: Materials Science and Engineering, 2018. DOI 10.1088/1757-899X/288/1/012090
2. M. M. Teshome et al. Productivity improvement through assembly line balancing by using simulation modeling in case of Abay garment industry Gondar. Heliyon, ScienceDirect, 2023. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e23585.
3. C. Saha, T. Islam. Improvement of Efficiency and Productivity Through Machine Balancing in a Sewing Line. Journal of Textile Science & Fashion Technology, Iris Publishers, 2019. DOI: 10.33552/JTSFT.2019.02.000541
4. A. Yemane et al. Bottleneck Identification Using Time Study and Simulation Modeling of Apparel Industries. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bogota, Colombia, 2017.
5. M. D. Alam, G. Kabir. Digital twin framework development for apparel manufacturing industry. Decision Analytics Journal, ScienceDirect. Vol. 7, 2023. DOI: 10.1016/j.dajour.2023.100252
6. M. G. Filho, E. V. Saes. From time-based competition (TBC) to quick response manufacturing (QRM): the evolution of research aimed at lead time reduction. Springer Link, Vol. 64, pages 1177–1191, 2013. DOI 10.1007/s00170-012-4064-9
7. P. T. Carvalho, J. D. Lopes. Innovation impact in the textile industry: From the Toyota Production System to artificial intelligence. Sustainability, 17(3), Article 1170, 2025 DOI: 10.3390/su17031170
8. G. Ullrich. Automated guided vehicle systems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2023. DOI: 10.1007/978-3-658-35387-2.
9. *ETON transportation systems*. Nuoroda: <https://www.etonsystems.com/>
10. R. Plačinskaitė, D. Dervinis. Gamybos duomenų surinkimo, monitoringo ir valdymo sistemos projektavimas, Verslas, naujos technologijos ir sumani visuomenė. Šiaulių valstybinė kolegija, ISSN 2783-6932, 2023.

Efficiency Analysis of a Production Line Using a Data Collection System Summary

This article presents a methodology for evaluating the efficiency of a conveyor-based production line in the textile industry using an automated data collection system. The primary goal of the study is to assess production performance through real-time data acquisition and analysis. The developed approach enables efficiency measurement through two alternative methods: analyzing individual worker productivity and evaluating the overall production line output.

The research utilizes production data collected from a textile manufacturing company, incorporating both the company's ETON transportation systems and a previously proposed data collection device. Based on these data, mathematical models were developed to calculate efficiency metrics. The study evaluates 12 production periods, demonstrating that worker productivity does not always correlate with final production output. The results indicate that discrepancies between the two calculation methods are within 6 percentage points in 8 out of 12 cases. Larger deviations may signal operational inefficiencies such as bottlenecks, idle time, workflow disruptions, rework, or data entry errors.

The findings confirm that both efficiency evaluation methods are valid and can be applied to monitor production line performance. The insights gained from this study can contribute to optimizing manufacturing processes and improving overall operational efficiency. The proposed methodology provides a valuable tool for identifying production constraints and enhancing workflow organization in automated manufacturing environments.

Keywords: conveyor production line, automation, data collection, production data analysis.