

Mechanics and materials engineering Mechanika ir medžiagų inžinerija

LEAN SPRENDIMŲ SKAITMENIZACIJOS GALIMYBIŲ TYRIMAS VIENETINĖJE IR SMULKIASERIJINĖJE GAMYBOJE

Kazimieras MASIULIS✉

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

- gauta 2024 m. liepos 1 d.
- priimta 2025 m. lapkričio 11 d.

Santrauka. Šiandien skaitmeninės technologijos perkelia gamybos procesą į aukštesnį lygmenį. Jos leidžia laiku nustatyti esamas ir potencialias problemas, atrasti įmonės veiklos gerinimo galimybes ir greičiau patenkinti kliento poreikius. Masinėje gamyboje skaitmeninės technologijos jau plačiai diegiamos ir naudojamos – tai suteikia didelėms įmonėms gamybinį lankstumą ir pranašumą. Tokios įmonės kelia didelę grėsmę mažoms organizacijoms, kuriančioms vienetinę ir smulkiaserijinę produkciją. Šiame straipsnyje pristatomas tyrimas, kurio tikslas – nustatyti skirtumus tarp įvairių gamybos tipų, išnagrinėti skaitmenizuotus LEAN sprendimus ir naujausias taikomas technologijas, atskleisti jų tarpusavio sąsajas. Atlikta analizė leidžia parinkti tinkamiausius sprendimus smulkiajai serijinei ir vienetinei gamybai. Tam pasitelktas dviejų etapų empirinis tyrimas. Pirmojoje dalyje atlikta anketinė apklausa, kuria siekta nustatyti įmonių požiūrį į skaitmenizavimą, taikomus LEAN įrankius ir skaitmenizaciją skatinančius veiksnius. Antrojoje dalyje, remiantis vizitų metu surinkta informacija, atliktas žemo ir itin aukšto skaitmenizacijos lygmens įmonių palyginimas.

Reikšminiai žodžiai: daiktų internetas (IoT), debesų kompiuterija, didieji duomenys, dirbtinis intelektas (DI), inovacijos, įrangos tarpusavio sąveika (M2M), kibernetinės fizinės sistemos, LEAN, Pramonė 4.0, skaitmenizacija, trimatis modeliavimas, vienetinė ir smulkiaserijinė gamyba.

✉Autorius susirašinėti. El. paštas masiulis.kazimieras@gmail.com

1. Įvadas

Šių dienų ekonomikos raida ir tobulėjimas pramonės įmonėms kelia naujus reikalavimus, į kuriuos būtina atsižvelgti, norint išlikti konkurencingoje rinkoje. Šiuolaikinės technologijos leidžia laiku nustatyti esamas ir potencialias problemas, identifikuoti įmonės veiklos gerinimo galimybes ir greičiau patenkinti kliento poreikius. Tinkamai išmąnydami ir valdydami savo padėtį, vadovai gali laiku reaguoti į rinkos pokyčius.

Norint tinkamai kontroliuoti įmonės vidinius išteklius, tenka pasitelkti ne tik vadovų kompetencijas, bet ir skaitmenizacijos galimybes, kurios itin svarbios „Pramonė 4.0“ (angl. „Industry 4.0“) kontekste.

Tinkamai panaudotos technologijos leistų sekti įmonės veiklos rodiklius ir apsaugotų nuo žmogiškojo faktoriaus klaidų. Masinėje gamyboje skaitmeniniai sprendimai jau plačiai taikomi – tai leidžia didelėms įmonėms įgyti gamybinį lankstumą ir pranašumą. Įmonėms, vykdančioms vienetinę ir smulkia serijinę gamybą, kyla grėsmė, kuri nesuvaldyta gali lemti konkurencinį pralaimėjimą.

2. Gamybos organizavimo metodai

Prieš diegiant inovacijas gamybos procesuose labai svarbu apsibrėžti įmonės gamybos tipą. Tai leis įsivertinti pasirinktų tobulinimų tinkamumą.

Gamybos tipai yra klasifikuojami pagal gamybos apimtį, nuo kurios priklauso ir iškeliami tikslai. Tipas parenkamas atsižvelgiant į įmonės finansinius pajėgumus, užimamą rinkos dalį ir dydį, užsakymų skaičių, prekių asortimentą, įrenginių paskirtį, gamybos tikslą (pagal užsakymą ar sandėliuoti) (Zinkevičiūtė ir Vasilis Vasiliauskas, 2013).

Atlikta literatūros šaltinių analizė parodė, kad dažniausiai gamybos tipai skirstomi į tris–penkis. Gausesnis tipų įvardinimas lemia didesnę detalumą. Pagrindiniai tipai yra vienetinė, serijinė ir masinė gamyba.

Ginevičius ir Silickas (2008) smulkiaserijinės gamybos neišskiria kaip atskiro tipo, o Zinkevičiūtė ir Vasilis Vasiliauskas (2013) gamybos tipų sąrašą papildė projektine gamyba, taip dar labiau detalizuodami vienetinės gamybos kategoriją.

Gamybos tipai klasifikuojami pagal apimtį. 1 lentelėje nurodyti gamybos tipų išskirtinumas leidžia teigti, kad mažesnės apimtys gamybai reikia didesnių investicijų.

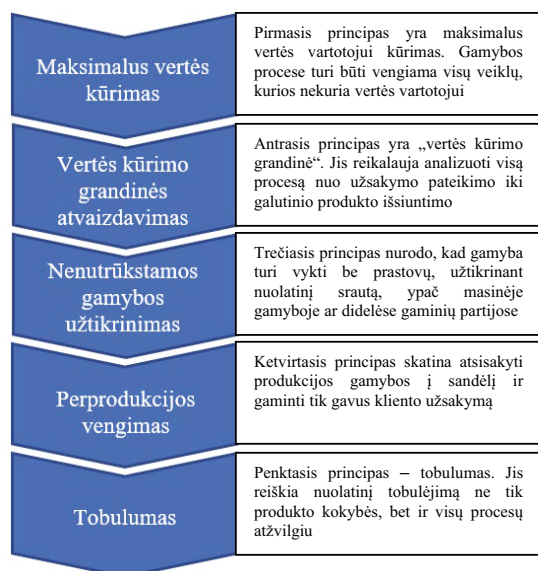
1 lentelė. Vienetinės ir smulkiaserijinės gamybos tipų savybės (šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Banelienė et al., 2020)

Gamybos tipas	Gamybos tipo savybės
Smulkiaserijinė gamyba	■ Dažnai reikalingas didesnis gamybos technologiškumas nei masinėje arba serijinėje gamyboje ■ Paklausos nepastovumas ■ Naudojama įranga sudėtingai optimizuojama
Vienetinė gamyba	■ Didžiausia produkto savikaina ■ Didelė produktų kaita ■ Produkcija gaminama pagal užsakymą ■ Dažnai reikalingas produkto projektavimas pagal gamybos pajėgumus

3. LEAN principai ir pagrindiniai įrankiai jiems įgyvendinti

Nepriklausomai nuo gamybos tipo, visose gamybos apimtyse gali būti atliekami tobulinimai, siekiant efektyviau naudoti turimus išteklius. LEAN sistemoje svarbu taikyti įvairius metodus ir įrankius, padedančius identifikuoti ir eliminuoti gamybos nuostolius. Norint geriau suprasti šią sistemą, verta žinoti pagrindinius LEAN principus, kurie pateikti 1 paveiksle.

LEAN yra vadovų ir darbuotojų darbo kultūra, nusakanti, ką kiekvienas turi daryti kasdien be nurodymų. Iliustracijoje procesų etapai vaizduojami tarsi rodyklės, pabrėžiančios tarpusavio ryšį. Ši sąsaja atskleidžia bendrą visos sistemos siekį tobulėti. Pirmasis žingsnis šio tikslo link – tinkamas visų, bet kokio lygio, vadovų elgesys, t. y. jie turi būti pavyzdys, skatinantis nuolat stiprinti teisingą principų ir įrankių naudojimą.



1 paveikslas. LEAN principai (šaltinis: sudaryta autoriaus)

Pagrindiniai įrankiai, padedantys įgyvendinti LEAN principus ir kuriuos turi išmanyti darbuotojai, yra darbo vietos organizavimo metodas 5S, įrengimų valdymo ir priežiūros sistema TPM, susirinkimų organizavimo metodas ASAICHI, pagalbinis įrankis KAIZEN, atsargų mažinimo metodas JIT ir KANBAN (Kavaliauskienė ir Žukauskaitė, 2021).

Maksimalios vertės kūrimas dažniausia pradedamas taikant **5S** metodą – vieną plačiausiai naudojamą LEAN įrankių. Remiantis Jančiausku et al. (2012), 5S sudaro šie žingsniai: surūšiavimas, savikontrolė, susitvarkymas, standartizavimas, spindėjimas. Iš esmės tai galima apibūdinti kaip idealios tvarkos palaikymo sistemą. Ši tvarka leidžia darbuotojams atlikti savo darbą be pašalinių trukdžių, o taip pat tai kur kas labiau palengvina darbų perdavimą kitoms pamainoms arba naujiems darbuotojams.

Ne mažiau svarbus už tinkamą darbuotojo veiklą ir jo aplinką yra ir tinkamas įrangos darbas. Tam taikomas **TPM** – įrengimų priežiūros ir tobulinimo metodas, orientuotas į prevencinę priežiūrą, siekiant užtikrinti stabilų gamybos procesą. Diegiant TPM, sukuriamą įrengimų priežiūros sistemą, o pareigybės išskirstomos tarp technikos ir gamybos skyrių darbuotojų. Tai užtikrina, kad įranga veiktų sklandžiai, be gedimų ir nelaimingų atsitikimų, o taip pat sudaromi nuoseklūs techninės priežiūros planai.

Jungiant darbuotojų ir įrangos veiklą, būtina užtikrinti sklandžią komunikaciją. Šiam tikslui pasiekti pasitelkiamas **ASAICHI** metodo įrankis – rytiniai susirinkimai (angl. *whiteboard meetings*) (Ruželė, 2020). Jie dažnai yra neatsiejama kasdienės vadybos sistemos dalis, kurios siekis – sumažinti defektų kiekį ir kuo produktyviau susiplanuoti būsimas veiklas. Tai atliekama bendromis darbuotojų ir jų tiesioginių vadovų pastangomis. Susirinkimuose aptariama praėjusi diena ar pamaina, apžvelgiami nustatyti defektai (angl. *Gembutsu*) – svarbiausi dalykai, į kuriuos reikia reaguoti nedelsiant, kad būtų galima iškart taikyti poveikio priemonės. Taip pat iškeliami dienos tikslai, pranešamos naujienos ir kita aktuali informacija.

Turint tinkamą komunikaciją, patogias darbo vietas ir reikiamą įrangos darbą, galima pereiti prie procesų tobulinimo. Tam gali būti taikomas **KAIZEN** metodas – filosofija, skatinanti nuolatinį, nedidelių patobulinimų. Šie pokyčiai apima visų darbuotojų dalyvavimą organizacijoje – nuo vadovybės iki žemiausio lygio darbuotojų (Maarof & Mahmud, 2016). Pasak Özdagoglu ir Rebis (2016), KAIZEN metodas turi šias teigiamas savybes: naudingas įvairioms pramonės šakoms; prioritetas – žmogiškieji ištekliai; aktyvus ir efektyvus problemos sprendimo būdas; atsakomybė krenta visiems komandos nariams; skatina darbuotojus siekti tikslo; veikia kaip produkto kokybės gerinimo motyvas; gali pašalinti tikrinimų būtinumą; gerina darbo aplinką; padeda sutelkti dėmesį į tobulėjimą. Taikant KAIZEN, itin svarbu atkreipti dėmesį į kelis aspektus. Pirmiausia, KAIZEN procesas turi vykti nuolat – darbuotojui teikiami pasiūlymai turi tapti įprasta ir nenutrūkstama veikla. Antra, turi būti skiriamas itin didelis dėmesys gautiems pasiūlymams užtikrinant jų įgyvendinimą.

Siekiant įgyvendinti ketvirtąjį LEAN principą – gamyba pagal užsakymą (angl. *pull manufacturing*), gali būti pasitelkiamas **JIT** (angl. *Just-In-Time*) metodas. Jis padeda suvaldyti visus tiekimo grandinės etapus: žaliavų tiekimą, gamybą, sandėliavimą, logistiką ir procesų eigą (Santos Bento & Tontini, 2018). Kartu su JIT dažnai naudojama **KANBAN** sistema. Huang ir Kusiak (1996) teigia, kad šios sistemos tikslas – sutrumpinti gamybos ciklą, sumažinti netinkamą inventorių ir įrangos naudojimą, pagreitinti informacijos prieinamumą ir judėjimą, padidinti gamybos produktyvumą. Anderson (2010) išskiria keturis KANBAN metodo principus: vengti neužbaigtų darbų; vizualizuoti proceso būseną; išmatuoti ir valdyti srautus; aiškiai apibrėžti proceso taisykles ir politiką.

LEAN sistemą sudaro daugybė įrankių ir metodų, pasižyminčių savitu pritaikomumu, todėl kiekviena įmonė gali pasirinkti ir diegti tuos, kurie geriausiai atitinka jos veiklos pobūdį. Įrankiai padeda valdyti organizacijos procesus ir išteklius, spręsti kylančias problemas. Šiame kontekste nagrinėjami pagrindiniai metodai, tinkamiausi vienetinei ir smulkiaseriijinei gamybai, kuriose siekiama vadovautis LEAN principais. Svarbu tinkamai išmanyti LEAN ir tinkamai taikyti jos įrankius bei metodus, atsižvelgiant į darbo specifiką ir gamybos apimtį.

4. Skaitmeninės technologijos ir jų pritaikymas LEAN

Dabartiniai technologiniai pasiekimai daro didelę įtaką tarptautinei pramonei ir konkurencinei aplinkai (Bär et al., 2018). Dauguma pažangių valstybių kuria ir diegia „Pramonė 4.0“ koncepcijos sprendimus (Barreto et al., 2017). Skaitmenizacijos procesai lemia vertės kūrimo grandinės trumpėjimą. „Pramonė 4.0“ metu sukurtos naujosios technologijos taikomos įvairiais metodais, tarp jų – integruojant jas su LEAN sistemomis. Šiuo metu rinkoje yra daug įvairių technologijų, o populiariausios tendencijos, leidžiančios skaitmenizuoti procesus, pateiktos 2 lentelėje.

Šių technologijų galimą sąsajos veikimo principą apibrėžia Sinha ir Roy (2020). Daugybė informacinių sistemų ir kognityvinių komponentų, susietų per bendrą debesiją, sukuria daiktų internetą (IoT). IoT leidžia įvairiems objektams ir įrenginiams, tokiems kaip jutikliai, varikliai, išmanieji telefonai, planšetiniai kompiuteriai ir kt., bendrauti tarpusavyje ir bendradarbiauti su aplinkiniais išmaniais objektais, naudojant radijo dažnio identifikavimą RFID (angl. *radio-frequency identification*) bei unikalias skaitmenines adresavimo schemas, siekiant bendrų tikslų.

Debesų kompiuterijos ir didžiųjų duomenų technologijos leidžia koordinuoti sistemų lygmenis, stiprina sprendimų priėmimo galimybes, didina informacijos supratimą ir procesų optimizavimą. Galiausiai, kibernetinės fizinės sistemos (CPS) koordinuoja bendrą veiklą pagal numatytus reikalavimus. Vadovai ir inžinieriai atlieka lemiamą vaidmenį CPS pagrindu veikiančių išmanių gamyklų veikloje – vadovauja „Pramonės 4.0“ technologijų diegimui, optimizuoja išteklių panaudojimą, užtikrina klientų patenkinimą ir teikia pirmenybę darbuotojų saugumui bei gerovei.

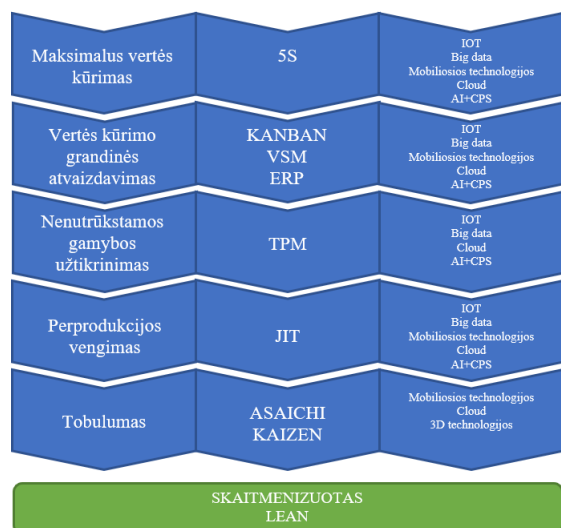
2 lentelė. Technologinės tendencijos, leidžiančios skaitmenizuoti procesus (Šaltinis: sudaryta autoriaus)

Technologija	Veikimo principas
Daiktų internetas (angl. <i>Internet of Things</i> , IoT (IIoT))	Kuriamas įrenginių tinklas, leidžiantis komunikuoti tarpusavyje ir mainyti informaciją be žmogaus tiesioginio įsitraukimo (Wang, 2020)
Didieji duomenys (angl. <i>Big Data</i>)	Tai duomenų saugojimas, kuriam taikoma tam tikra architektūra, palengvinanti prieigą prie informacijos. Duomenų architektūra grindžiama „4V“ principu: <i>value</i> (liet. vertė), <i>volume</i> (liet. apimtis), <i>variety</i> (liet. įvairovė), <i>velocity</i> (liet. sparta)
3D technologijos	3D technologija naudoja specialią programinę įrangą, leidžiančią kurti virtualius objektus, atitinkančius realybę. Taip pat galimas objektų skenavimas ir naujų detalių spausdinimas, o tai gerokai palengvina prototipų kūrimą
M2M (angl. <i>Machine-to-Machine</i>) įrangos tarpusavio sąveika	Tai yra technologijų kategorija, kurioje du ar daugiau įrenginių ar sistemų gali bendrauti tarpusavyje ir keistis informacija be žmogaus įsikišimo (Laghari et al., 2021)
Mobiliosios technologijos	Atitinkama įranga leidžia užtikrinti nenutrūkstamą tarpusavio komunikaciją (Motiejauskaitė, 2019)
Debesų kompiuterija (angl. <i>Cloud Computing</i>)	Tai internetinės skaičiavimo platformos, leidžiančios bendrinti ir naudoti įvairius skaičiavimo išteklius vienoje vietoje (Motiejauskaitė, 2019)
Dirbtinio intelekto, DI (angl. <i>Artificial Intelligence</i> , AI) kognityvinis skaičiavimas	Skaičiuojant naudojamos dirbtinio intelekto (DI) ir mašininio mokymosi technologijos. Jos leidžia analizuoti duomenis, apdoroti informaciją ir generuoti sprendimus (Peres et al., 2020)
Kibernetinės fizinės sistemos (angl. <i>Cyber-Physical Systems</i> , CPS)	CPS technologija sieja fizinius objektus (pvz., produktus, mašinas, gamybos linijas) su informacine sistema. Ją taikant galima valdyti įvairius procesus, tokius kaip gamyba, priežiūra ar logistika (Lu, 2017)

Valdant autonomines sistemas, svarbus ir žmogaus dalyvavimas, koordinuojant ir stebint procesų eigą. Sprendimai, leidžiantys patogiai valdyti sistemas, yra vertės srauto žemėlapiai (angl. *value stream mapping*), KANBAN lentos ir ERP (angl. *enterprise resource planning*) sistemos. Šie įrankiai suteikia galimybę stebėti visus gamybinius parametrus realiuoju laiku, planuoti būsimus darbus ir atrasti galimus tobulinimo taškus.

Ryšys tarp LEAN procesų, populiariausių įrankių ir naujausių pramonės technologijų taikymo pateikiamas 2 paveiksle.

Iliustracijoje pateikiama teorinė sąsaja tarp principų, įrankių ir technologijų, suformuota remiantis išanalizuota literatūra. Principams įgyvendinti parinkti tinkamiausi įrankiai, kurie papildyti technologijomis, palengvinančiomis jų taikymą ir didinančiomis funkcionalumą. Informacija pateikiama rodyklės forma, taip pabrėžiant, kad tarpusavio sąveika sudaro skaitmenizuotą LEAN sistemą.



2 paveikslas. Skaitmenizuoto LEAN iliustravimas (šaltinis: sudaryta autoriaus)

5. Skaitmenizuotų LEAN įrankių naudą įrodančių veiksmų analizė

Tinkamai supratus LEAN veikimą ir taikymą, reikia apibrėžti veiksmus, kurie įrodo, kad įdiegtos inovacijos kurs vertę, taupys laiką ir suteiks kitokį konkurencinį pranašumą rinkoje. Hoellthaler et al. (2018) teigia, kad 60 % pramonės įmonėse iki šiol įdiegtų sprendimų buvo pasirinkti dėl siekio kurti pridėtinę vertę, t. y.:

- klientų poreikių individualizavimo;
- lankstumo didinimo;
- optimizuoto sprendimų priėmimo;
- išteklių našumo ir efektyvumo;
- naujų paslaugų teikiamos pridėtinės vertės;
- demografiškai pagrįsto darbo vietų projektavimo ir aukšto darbo užmokesčio šalių konkurencingumo.

Chen et al. (2020) atliktame tyrime nurodoma viena iš naujausių priežasčių, skatinančių skaitmenizuoti gamybos procesus – ekologinis aspektas. Įmonės vis dažniau renkasi skaitmenines technologijas siekdamas mažesnio poveikio aplinkai ir tvaresnės veiklos.

Atsižvelgiant į šiuos pastebėjimus, galima daryti išvadą, kad svarbiausi procesų skaitmenizavimo motyvai yra konkurencinio pranašumo įgijimas ir ekologija. Vis dėlto būtina nustatyti šių veiksmų svarbą ne visai pramonei, o konkrečiai vienetinei ir smulkiajai serijinei gamybai. Šių aspektų svarbą pasirinktiems gamybos tipams bus analizuojama empirinio tyrimo dalyje.

6. Empirinio tyrimo metodologija

Norint nustatyti skaitmenizuotų sistemų naudojimo lygį, įvertinti tobulinimo galimybes ir diegimo veiksmų svarbą vienetinėje ir smulkiaserijinėje gamyboje, buvo pasirinkta dviejų lygių pirminių duomenų rinkimo metodika: anketinė apklausa ir procesų stebėjimas atrinktose įmonėse.

2023 m. sausio mėnesį buvo atlikta anketinė apklausa. Jos tikslas – sužinoti įmonių požiūrį į skaitmenizavimą, naudojamų įrankių galimybes, taikomus LEAN metodus ir veiksmus, kurie skatintų procesų skaitmenizavimą. Respondentams buvo pateikta 15 uždarojo tipo ir kompleksinių klausimų su iš anksto suformuluotais atsakymų variantais. Siekiant išsamesnių tyrimo duomenų, skiltyje „kita“ respondentams suteikta galimybė pateikti savo pasiūlymus ar komentarus nagrinėjamos temos atžvilgiu.

Tų pačių metų sausio–vasario mėnesiais vykdyta antroji empirinio tyrimo dalis – kokybinis tyrimas. Jo metu vykdyti vizitai į dvi pramonės įmones. Pirmoji – specializuojasi langų gamybos pramonėje, o antroji gamina elektronikos įrangą. Įmonės buvo pasirinktos dėl temos tinkamumo, atitinkamų gamybos apimčių, taip pat dėl to, kad šios pramonės šakos dažniausiai minėtos kiekybinio tyrimo metu. Tarpusavyje įmonės skiriasi: vienoje gamybinė veikla yra ne-skaitmenizuota, kitoje – skaitmenizavimo lygis yra aukštas.

7. Empirinio tyrimo rezultatų analizė

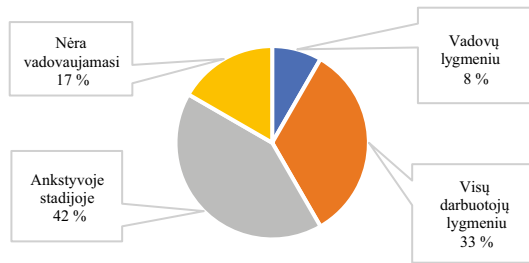
Anketinėje apklausoje dalyvavo 21 pramonės įmonė. Identifikaciniai klausimai parodė, kad pagal veiklos pobūdį ir gamybos mastą (vienetinė, smulkiaserijinė) tyrimui tinkamos 14 užpildytų anketų. Iš jų 50 % vykdo vienetinę ir tiek pat – smulkiaserijinę gamybą. Šių anketų pasiskirstymas pagal veiklos rūšį pateikimas 3 lentelėje, kurioje skirtingomis spalvomis pažymėti technologiškumo lygmenys.

3 lentelė. Įmonių, dalyvavusių apklausoje, veiklų rūšys ir technologiškumo lygmuo (šaltinis: sudaryta autoriaus)

Įmonės veiklos rūšis	Įmonių veiklų rūšių pasiskirstymas ir naudojamos įrangos technologiškumas			
Kompiuterinių, elektroninių ir optinių gaminių gamyba	27 %	21 %	0 %	0 %
Metalo gaminių, išskyrus mašinas ir įrenginius, gamyba	13 %	7 %	7 %	0 %
Niekur kitur nepriskirtų mašinų ir įrangos gamyba	13 %	7 %	9 %	0 %
Medienos bei medienos ir kamštienos gaminių, išskyrus baldus, gamyba	13 %	7 %	7 %	0 %
Baldų gamyba	13 %	7 %	7 %	0 %
Apdirbamoji gamyba	7 %	0 %	7 %	0 %
Kitų transporto priemonių ir įrangos gamyba	7 %	0 %	7 %	0 %
Mašinų ir įrangos remontas bei įrengimas	7 %	0 %	0 %	7 %
Įmonių veiklos rūšių pasiskirstymas pagal dalyvavimą anketinėje apklausoje	100 %			
Technologiškumo lygmuo				
Dalinis automatizavimas		49 %		
Žmogus ir staklės			44 %	
Žmogus ir primityvūs įrankiai				7 %

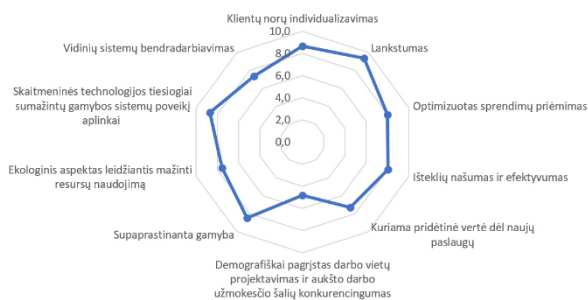
Duomenys rodo, kad labiausiai paplitusi vienetinės ir smulkiaserijinės gamybos veiklos rūšis yra „Kompiuterinių, elektroninių ir optinių gaminių gamyba“. Šioje srityje dažniausiai naudojama įranga su daliniu automatizavimu. Kitose srityse produkcija kuriama derinant žmogaus darbą ir staklių valdymą. Gamyba, paremta vien tik primityviais įrankiais, būdinga tik „Mašinų ir įrangos remonto bei įrengimo“ veiklai. Vertinat skaitmenizavimo perspektyvas, tendencija palanki, nes didesnio technologiškumo įranga paprasčiau integruojama į skaitmenines sistemas.

Anketinės apklausos metu nustatytas LEAN taikymo paplitimo lygmuo įmonėse. Rezultatai pateikti 3 paveiksle.



3 paveikslas. LEAN paplitimas įmonėse (šaltinis: sudaryta autoriaus)

Informacija rodo, kad dauguma įmonių dar tik pradeda pažintį su LEAN arba jos išvis netaiko. Tai svarbus faktorius, atskleidžiantis, kad dalis įmonių nėra pasirengusios skaitmenizacijai, taikant LEAN principus. Be to, apklausoje buvo analizuojami ir veiksniai, skatinantys diegti tobulinimus (4 paveikslas).



4 paveikslas. Veiksnių, lemiančių inovacijų diegimą, vertinimas (šaltinis: sudaryta autoriaus)

Anketinėje apklausoje dalyvavusių įmonių vertinimu visi skaitmenizaciją lemiantys veiksniai yra beveik vienodai svarbūs. Mažiausiai reikšmingu įvardytas demografiškai pagrįstas darbo vietų projektavimas ir aukšto darbo užmokesčio šalių konkurencingumas.

Vizito metu buvo siekiama išsiaiškinti dabartinę situaciją įmonėse, įvertinti jų veiklos efektyvumą, sukurti tikslo modelius ir planus, kaip pasiekti idealaus veikimo būseną, nustatyti galimas procesų tobulinimo perspektyvas.

Pirmosios aplankytos įmonės veikla yra langų gamyba. Įmonė veikia Lietuvoje, atlieka gamybos ir montavimo paslaugas. Šiuo metu joje dirba apie 40 darbuotojų, o pas-

tarųjų 3 metų vidutinės metinės pardavimo pajamos siekia 3,5 mln. Eur. Įmonė veikia jau 21 metus.

Vizito metu nustatyta, kad gamyba įmonėje veikia pagal teorinį nuolatinio gamybos srauto (angl. *flow*) principą. Vieno lango gamyba nuo profilio paėmimo iki galutinio žingsnio – furnitūros prisukimo – trunka apie 14,76 min. Gaminiai juda vienas paskui kitą, be ilgesnių sustojimų. Vis dėlto realus, nenutrūkstamas srautas nesusidaro dėl ilgo įrangos perderinamo laiko, susiformavusių buferių ir lėto gamybinės informacijos judėjimo kartu su detalėmis, reikalingomis procesams vykdyti. Dėl šių veiksnių bendras vieno gaminto gamybos laikas išauga iki maždaug 33 min.

Antrosios aplankytos įmonės veikla – elektronikos prietaisų gamyba. Įmonė veikia Lietuvoje; joje dirba apie 600 darbuotojų, o pastarųjų 3 metų vidutinės metinės pardavimo pajamos siekia 45 mln. Eur. Įmonė veikia 25 metus. Tyrimo metu analizuotas tik PCB (angl. *printed circuit board*) plokščių litavimo skyrius, kuriame gamyba vyksta nenutrūkstamai. Vienos paletės (10 gaminių) apdorojimas vidutiniškai trunka apie 31 min, tačiau šis laikas gali kisti priklausomai nuo PCB paletės dizaino. Gamyboje nėra suformuotas nenutrūkstamas srautas, nes staklių kiekis skyriuose pasiskirstęs netolygiai. SMT (angl. *surface-mount technology*) įrangos kiekis yra tris kartus didesnis nei THT (angl. *through-hole technology*) litavimo įrangos. Tokį santykį lemia tai, kad pasitelkus SMT įrangą kuriama kur kas didesnė vertė, tačiau kai kuriems projektams įgyvendinti THT litavimas vis dar būtinas. Atsižvelgiant į 4 skyriuje analizuotas technologijas, galima teigti, kad šioje įmonėje taikomi visi paminėti LEAN įrankiai, o procesai yra maksimaliai skaitmenizuoti. Žmogaus įsitraukimas į gamybinius procesus vyksta per operatorių veiklą: jie užtikrina įrangos apkrovimą ir priežiūrą.

Lyginamasis šios ir pirmosios įmonės vertinimas pateikiamas 4 lentelėje. Joje nurodomos pirmosios įmonės problemos ir antrosios įmonės naudojami įrankiai, kurie padeda tokių problemų išvengti arba sumažinti jų reikšmingumą.

4 lentelė. Skaitmenizuotų LEAN įrankių diegimo galimybės mažiau skaitmenizuotoje įmonėje (šaltinis: sudaryta autoriaus)

Gamybos trūkumai mažiau skaitmenizuotoje įmonėje	Taikomi sprendimai labiau skaitmenizuotoje įmonėje
■ Per ilgas įrangos perderinimo laikas	■ KANBAN ■ JIT ■ TPM
■ Formuojasi buferiai tarp skirtingų gamybos operacijų	■ 5S ■ OEE (angl. <i>Overall Equipment Effectiveness</i>)
■ Lėtas gamybinės informacijos judėjimas	■ ERP ■ QR operacinio kodo lipdukai su užkoduota gaminio informacija

– **Per ilgus įrangos perderinimo laikas.** Skaitmenizuotoje įmonėje ši problema sprendžiama planavimo skyriaus, kuris vadovaujasi KANBAN struktūra bei JIT ir TPM

principais. Sudaromi tokie gamybos planai, kad staklių perderinimas būtų minimalus – gaminiai grupuojami pagal panašius KANBAN gamybinius maršrutus. Didelį pranašumą kuria ir tai, kad litavimo linijose galima iš anksto paruošti gerokai daugiau skirtingų komponentų, nei jų reikia vienam produktui pagaminti. Planavimo skyrius kuria planus, remdamasis mechanikų sudarytais TPM planais, todėl gali pereiti nuo vieno gaminio prie kito, nestabdant veiklos. Tai įgyvendinama laikantis JIT principų.

– **Formuojasi buferiai tarp skirtingų gamybos operacijų.** Skaitmenizuotoje įmonėje šiai problemai spręsti įranga nuolat primena apie 5S reikalavimus – kartu su gaminiu pateikiama informacija apie įrankių išdėliojimą ir kitus tvarkos palaikymo aspektus, kurie padeda išvengti laiko švaistymo ir defektų. Be to, ekranuose prie darbo vietų vaizduojami bendro įrangos efektyvumo (OEE) rodikliai. Tai padeda operatoriams veiksmingiau organizuoti darbus ir išlaikyti tolygų staklių apkrovimą.

– **Lėtas gamybinės informacijos judėjimas.** Šiai problemai spręsti taikomi QR operacinio kodo lipdukai su užkoduota gaminio informacija. QR kode pateikiama nuoroda į ERP sistemą, kurioje archyvuojama visa reikalinga techninė dokumentacija ir nurodomas produkto gamybos kelias. Esant poreikiui operatoriai gali patikslinti informaciją, o staklės, nuskanavusios QR, automatiškai registruoja atliktas operacijas.

Nors analizuojamų įmonių amžius panašus, jų gamybos srautai, darbuotojų skaičius ir kiti resursai skiriasi dešimtimis kartų. Tai reikia įvertinti lyginant jų veiklą. Vis dėlto procesų optimizavimo struktūra gali būti taikoma panašiai, remiantis skaitmenizuotos įmonės gerąja praktika.

8. Išvados

Tyrimo metu buvo siekiama susipažinti su skaitmenizuotomis LEAN sistemomis, jų taikymo galimybėmis vienetinėje ir smulkiaserijinėje gamyboje. Atlikus mokslinės literatūros analizę, išnagrinėti pasirinkti gamybos tipai (vienetinė, smulkiaserijinė gamyba), susipažinta su penkiais LEAN principais, pagrindiniais sistemos įrankiais ir dažniausiai taikomomis skaitmenizuotomis „Pramonė 4.0“ technologijomis. Remiantis analizuotais literatūros šaltiniais, sudarytas modelis, sujungiantis LEAN principus, įrankius ir skaitmenines technologijas. Atsižvelgiant į dažniausiai įmonių išsakytus poreikius inovacijoms, taip pat nustatyti pagrindiniai veiksniai, lemiantys inovacijų pasirinkimą organizacijose.

Empirinio tyrimo metu buvo analizuojamas skaitmenizuotų sistemų naudojimo lygis ir tobulinimo galimybės vienetinėje bei smulkiaserijinėje gamyboje. Šiam tikslui pasiekti taikyta dviejų lygių pirminių duomenų rinkimo metodika: anketinė apklausa ir procesų stebėjimas pasirinktose įmonėse.

Apklausa buvo skirta išsiaiškinti įmonių požiūrį į skaitmenizavimą, naudojamos įrangos skaitmenizacijos galimybės, taikomus LEAN įrankius ir naudą, kuri skatintų procesų skaitmenizavimą. Rezultatai parodė, kad dažniausia gamybos sritis tarp dalyvavusių įmonių buvo „Kompiuterinių,

elektroninių ir optinių gaminių gamyba“, kurioje taip pat nustatytas aukščiausias technologiskumo lygis – paplitęs dalinis automatizavimas. Dažnos vienetinės ir smulkiaserijinės gamybos sritys yra baldų gamyba, medžio ir metalo pramonė. Šiose srityse technologiskumo lygmuo kiek žemesnis, produkcija kuriama derinant žmogaus darbą ir staklių valdymą. Apklausos duomenys atskleidė, kad visi skaitmenizacijos teikiamą naudą kuriantys veiksniai įmonėms yra aktualūs. Vis dėlto svarbu atkreipti dėmesį, kad daugiau nei pusė tirtų įmonių netaiko LEAN sistemos arba yra ankstyvoje diegimo stadijoje. Tai rodo, kad didelė dalis įmonių nėra pasiruošusios procesų skaitmenizacijai.

Antrosios empirinio tyrimo dalies metu apžvelgtos dvi įmonės: pirmoji, turinti žemą skaitmenizacijos lygmenį, ir antroji, pasižyminti aukštu skaitmenizacijos lygmeniu. Remiantis vizitų metu surinktais duomenimis, sudaryta lentelė, kurioje apžvelgtos pirmosios įmonės probleminės sritys ir antrosios įmonės taikoma geroji praktika. Vadovaujantis antrosios įmonės patirtimi, teikiami siūlymai, kaip spręsti pirmosios įmonės identifikuotas problemas.

Literatūra

- Anderson, D. J. (2010). *Kanban: Successful evolutionary change for your technology business*. Blue Hole Press.
- Banelienė, R., Strazdas, R., Dziukevičius, A., Maceika, A., Paulienė, R. ir Toločka, E. (2020). *Pramonės įmonių valdymas: inovacijomis ir lyderyste grindžiamas pridėtinės vertės kūrimas*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. <https://doi.org/10.20334/2020-048-5>
- Bär, K., Herbert-Hansen, Z. N. L., & Khalid, W. (2018). Considering Industry 4.0 aspects in the supply chain for an SME. *Production Engineering*, 12(6), 747–758. <https://doi.org/10.1007/s11740-018-0851-y>
- Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: An overview. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245–1252. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.045>
- Chen, X., Despeisse, M., & Johansson, B. (2020). Environmental sustainability of digitalization in manufacturing: A review. *Sustainability*, 12(24), Article 10298. <https://doi.org/10.3390/su122410298>
- Ginevičius, R., & Silickas, J. (2008). *Sisteminio įmonių valdymo pagrindai: vadovėlis*. Technika. <https://doi.org/10.3846/1000-S>
- Hoellthaler, G., Braunreuther, S., & Reinhart, G. (2018). Digital lean production: An approach to identify potentials for the migration to a digitalized production system in SMEs from a lean perspective. *Procedia CIRP*, 67, 522–527. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.255>
- Huang, C.-C., & Kusiak, A. (1996). Overview of Kanban systems. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 9(3), Article 169. <https://doi.org/10.1080/095119296131643>
- Jančiauskas, B., Maceika, A., Strazdas, R., Toločka, E. ir Zabelavičienė, I. (2012). *Pramonės įmonių valdymas: planavimas, organizavimas, vadovavimas: mokomoji knyga*. Technika. <https://doi.org/10.3846/1288-S>
- Kavaliauskienė, Ž. ir Žukauskaitė, D. (2021). Įmonės gamybos srautų efektyvumo didinimo galimybės. *Mokslo taikomieji tyrimai Lietuvos kolegijose*, 2(17), 74–84.
- Laghari, S. A., Manickam, S., & Karuppayah, S. (2021). A review on SECS/GEM: A machine-to-machine (M2M) communication protocol for Industry 4.0. *International Journal of Electrical and*

- Electronic Engineering & Telecommunications*, 10(2), 105–114. <https://doi.org/10.18178/ijeetc.10.2.105-114>
- Lu, Y. (2017). Cyber physical system (CPS)-based Industry 4.0: A survey. *Journal of Industrial Integration and Management*, 2(03), Article 1750014. <https://doi.org/10.1142/S2424862217500142>
- Maarof, M. G., & Mahmud, F. (2016). A review of contributing factors and challenges in implementing kaizen in small and medium enterprises. *Procedia Economics and Finance*, 35, 522–531. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(16\)00065-4](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(16)00065-4)
- Motiejauskaitė, L. (2019). *Skaitmenizacija naftos ir dujų pramonėje AB „Klaipėdos nafta“ atvejo tyrimas* [magistro baigiamasis darbas, Mykolo Romerio universitetas]. <https://talpykla.elaba.lt/elaba-fedora/objects/elaba:49642334/datastreams/MAIN/content>
- Özdagoglu, A., & Rebis, S. (2016). Applications of kaizen and cycle time reduction as lean production techniques in a semi-flexible PVC film producer. *Journal of Management Economics and Business*, 12(28), 25–37. <https://doi.org/10.17130/ijmeh.20162819844>
- Peres, R. S., Jia, X., Lee, J., Sun, K., Colombo, A. W., & Barata, J. (2020). Industrial artificial intelligence in Industry 4.0: Systematic review, challenges and outlook. *IEEE Access*, 8, 220121–220139. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3042874>
- Ruželė, D. (2020). *Relationships between lean practices, organizational culture, and corporate performance* [daktaro disertacija, Vilniaus universitetas]. <https://epublications.vu.lt/object/elaba:49929599>
- Santos Bento, G. dos, & Tontini, G. (2018). Developing an instrument to measure lean manufacturing maturity and its relationship with operational performance. *Production Planning & Control*, 29(9), 977–995. <https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1486537>
- Sinha, D., & Roy, R. (2020). Reviewing cyber-physical system as a part of smart factory in Industry 4.0. *IEEE Engineering Management Review*, 48(2), 103–117. <https://doi.org/10.1109/EMR.2020.2992606>
- Wang, Q., Zhu, X., Ni, Y., Gu, L., & Zhu, H. (2020). Blockchain for the IoT and industrial IoT: A review. *Internet of Things*, 10, Article 100081. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2019.100081>
- Zinkevičiūtė, V. ir Vasilis Vasiliauskas, A. (2013). *Gamybos logistika. Gamybos vadyba*. S. Jokužio leidykla-spaustuvė.

FEASIBILITY STUDY OF DIGITALIZATION POSSIBILITIES OF LEAN SOLUTIONS IN UNIT AND SMALL SERIES PRODUCTION

K. Masiulis

Abstract

Today's digital technology takes manufacturing to the next level. Digitized systems make it possible to identify potential and existing problems in a timely manner and to discover opportunities for improving the company's operations by customers' requirements as quickly as possible. In mass production, digital technologies are already widely implemented and used, which allows large companies to gain production flexibility and advantage. At the same time, large manufacturing companies gaining flexibility pose a great threat to small companies, which are creating unit and small series production. This article presents a study that aims to identify the differences between different types of production, examine digitized LEAN solutions and the latest applied technologies, and relate them to each other. This analysis will allow the selection of the most appropriate solutions for small serial and unit production. A two-stage empirical study was used for this. In the first part, a questionnaire survey determines the companies' attitude towards digitization, the LEAN tools applied, and the factors that would promote the digitization of processes. The second study compares the organization of production in a company with a low level of digitalization and in a second company with an extremely high level of digitalization. That was done by visiting companies. In a company with a low digitization level, the identified problem points are solved by applying good practices of a digitized company and by arguing from the analyzed literature sources.

Keywords: Internet of Things (IoT), cloud computing, big data, artificial intelligence (AI), innovation, machine-to-machine (M2M), cyber-physical systems, LEAN, Industry 4.0, digitization, 3D, unit and small-series production.