

SKAITMENIZAVIMO SPRENDIMŲ REIKŠMĖ GAMYBOS ĮMONIŲ VEIKLOS EFEKTYVUMUI IR TVARUMUI: TEORINIS ASPEKTAS

Goda DOBROVOLSKYTĖ, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Bioekonomikos plėtros fakultetas,
el. paštas: goda.dobrovolskyte@vdu.lt

Santrauka

Straipsnyje nagrinėjamas skaitmenizavimo sprendimų vaidmuo didinant gamybos įmonių veiklos efektyvumą ir tvarumą teoriniu aspektu. Darbe aptariama skaitmenizavimo samprata ir reikšmė gamybos sektoriuje, analizuojama pramonės skaitmenizavimo koncepcija Pramonė 4.0, pristatomos pagrindinės gamyboje taikomos skaitmeninės technologijos (IoT, MES, ERP, AI ir kt.) bei skaitmenizavimo procesų diegimo etapai. Atlikus mokslinės literatūros analizę buvo nustatyta, kad skaitmenizavimas – tai skaitmeninių technologijų (programinės įrangos, automatizavimo, duomenų analizės, dirbtinio intelekto) diegimas gamybos procesuose siekiant padidinti efektyvumą, kokybę ir konkurencingumą. Šis procesas dažnai siejamas su koncepcija Pramonė 4.0. Pagrindinė skaitmenizavimo reikšmė gamyboje: didesnis gamybos efektyvumas, geresnė produktų kokybė, mažesnės gamybos sąnaudos, greitesnis sprendimų priėmimas, lankstesnė gamyba, geresnis tiekimo grandinės valdymas. Skaitmeninimas pagerina efektyvumą ir tvarumą naudojant automatizavimą, duomenų analizę ir procesų optimizavimą, o tai sumažina išlaidas ir pagerina išteklių kokybę. Tyrimo rezultatai rodo, kad skaitmenizavimas prisideda prie efektyvesnio išteklių naudojimo ir procesų optimizavimo, todėl tampa svarbia priemone didinant įmonių veiklos efektyvumą ir skatinant tvarų vystymąsi.

Reikšminiai žodžiai: skaitmenizavimo sprendimai, gamybinė įmonė, tvarumas, efektyvumas.

Įvadas

Skaitmenizavimas yra verslo operacijų tobulinimo procesas, naudojant šiuolaikines skaitmenines technologijas, kurios ne tik pagerina konkrečių gamybos įmonių veiklos operacijų efektyvumą, bet ir visapusiškai transformuoja verslo modelį, siūlo naujus komunikacijos kanalus su klientais, tiekėjais ir partneriais bei optimizuoja veiklos sąnaudas (Garafonova et al., 2025; Kemrichard, 2025).

Gamybos įmonių skaitmeninimas gali būti laikomas vienu iš veiklos efektyvumo didinimo veiksnių, nes jis gali prisidėti prie sandorių sąnaudų mažinimo, geresnio išteklių paskirstymo, darbo našumo didinimo ir tiesioginei prekių ir paslaugų gamybai skirto laiko sutrumpinimo. Skaitmeninimas daro didelę įtaką tvariai įmonių plėtrai, nes padeda padidinti pardavimus pasiekiant platesnę tikslinę auditoriją, optimizuoti sąnaudas mažinant verslo procesų darbo intensyvumą ir pan. Visi šie veiksniai daro teigiamą poveikį laisvų pinigų srautų generavimui, kuris yra pagrindinis įmonių finansinio stabilumo rodiklis, todėl įmonių finansinis stabilumas leidžia jai nukreipti išteklius socialinio ir aplinkosauginio tvarumo užtikrinimui, kurie kartu sudaro ilgalaikį tvarų vystymąsi. Šiandien net 60 proc. gamybos ir 25 proc. logistikos įmonių aktyviai diegia skaitmenizavimo sprendimus (Petrynyak, Kahanov, 2025).

Skaitmenizavimo sprendimai gamybos įmonėms leidžia patekti į naujas rinkas ir išplėsti savo pasiekiamumą naudojant skaitmeninę rinkodarą. Naudojant naujas technologijas, įmonės gali pasirinkti skirtingus bendravimo su klientais kanalus ir pristatyti prekes į bet kurią pasaulio vietą. Dirbtinio intelekto gamybos įmonėse įdiegimas leidžia gerokai sutrumpinti įprastinėms operacijoms atlikti reikalingą laiką (Lan, Ma, 2025).

Taigi, verslo skaitmeninimas yra ne tik naujų technologijų diegimas, tai yra naujas požiūris į verslą, leidžiantis gamybos įmonėms užtikrinti tvarų vystymąsi ilguoju laikotarpiu.

Tyrimo tikslas – apžvelgti teorinius aspektus apie skaitmenizavimo sprendimus gamybinės įmonės veiklos efektyvumo ir tvarumo didinimui.

Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Apibrėžti skaitmenizavimo sampratą ir reikšmę gamybos versle.
2. Aptarti pramonės skaitmenizavimo koncepciją Pramonė 4.0 (angl. Industry 4.0) ir pagrindines gamyboje taikomas skaitmenines technologijas.
3. Išanalizuoti skaitmenizavimo procesų diegimo etapus gamybos įmonėse.
4. Įvertinti skaitmenizavimo sprendimų reikšmę gamybos įmonių veiklos efektyvumui ir tvarumui remiantis mokslinės literatūros analize.

Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimo objektas – skaitmenizavimo sprendimų poveikis gamybos įmonių veiklos efektyvumui ir tvarumui.

Tyrimo metodas: mokslinės literatūros apžvalga, buvo apžvelgta 30 mokslinių šaltinių, kurie apima 2020-2026 metus, taip pat buvo taikomas sisteminimas ir apibendrinimas.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

1.1. Skaitmenizavimo samprata ir reikšmė gamybos sektoriuje

Norint išsamiau apibūdinti skaitmenizavimo sąvoką, labai svarbu suprasti, kad mokslinėje literatūroje frazė „skaitmeninė transformacija“ suprantama skirtingai. Įvairūs autoriai apibūdina skaitmeninę transformaciją, sutelkdami dėmesį į skirtingas jos dalis, įskaitant organizacinius pokyčius, sprendimų priėmimą remiantis duomenimis, technologijų integraciją, verslo procesų optimizavimą ir naujų verslo modelių kūrimą. Ši apibūdinimų įvairovė rodo, kad skaitmeninė transformacija yra sudėtingas ir daugialypis reiškinys, apimantis ne tik technologinius sprendimus, bet ir organizacinius bei strateginius pokyčius. Todėl toliau pateiktoje lentelėje pateikiami įvairių autorių apibrėžimai, siekiant metodiškai palyginti jų požiūrį ir pabrėžti esminius skaitmeninės transformacijos komponentus.

1 lentelė. Skaitmenizavimo apibrėžimai

Table 1. Definitions of digitization

Apibrėžimas / Definition	Šaltinis / Source
Skaitmeninių technologijų diegimo procesas, siekiant automatizuoti, optimizuoti ir transformuoti verslo procesus, taip padidinant efektyvumą, gerinant klientų patirtį ir kuriant konkurencinius pranašumus. Jos vertė slypi padidėjusiame produktyvume, sumažintose sąnaudose, gilesniame klientų supratime ir gebėjime priimti pagrįstus sprendimus remiantis duomenimis.	Aldousari, Aldhmour (2025)
Procesas, kurio metu diegiamos modernios skaitmeninės technologijos, tokios kaip blokų grandinė, didžiųjų duomenų analizė, dirbtinis intelektas, į įmonės veiklą, siekiant transformuoti jos verslo modelį, pakeisti verslo procesų įgyvendinimą ir sukurti naujus komunikacijos kanalus su klientais, tiekėjais ir partneriais, tai pagerins operacijų efektyvumą, veiksmingumą ir produktyvumą bei užtikrins tvarų vystymąsi ilguoju laikotarpiu.	Rajapaksha (2024)
Skaitmeninė verslo transformacija yra strateginis procesas, kurio metu organizacija integruoja skaitmenines technologijas į kiekvieną savo veiklos aspektą. Skaitmeninė verslo transformacija yra sudėtingas, daugiapakopis procesas.	Lyandau et al. (2022)
Verslo formos pasikeitimas skaitmeninės realybės, paremtos duomenimis, kontekste.	Bansal et al. (2024)
Ekonominė veikla, kurioje pagrindinis veiksnys yra skaitmeninių duomenų didelių kiekių apdorojimas ir analitinių rezultatų naudojimas, kuris leidžia žymiai padidinti įvairių rūšių gamybos efektyvumą, optimizuoti prekių pardavimo ir pristatymo procesus.	Lyandau et al. (2023)
Verslo problemų sprendimas pasitelkiant skaitmenines technologijas.	Colabi, ir Sharaei (2023)
Organizacijų ar ekonomikos sektorių transformavimas į naujus procesų modelius, įgyvendinamus skaitmeninių technologijų pagrindu.	Kumar, Sree (2021)
Skaitmeninės transformacijos procesas, apimantis skaitmeninių technologijų integravimą į visas verslo sritis, dėl kurio iš esmės pasikeičia verslo veikimas ir vertės teikimas klientams.	Lozić, ir Fotova Čiković (2024)
Nauja era, pagrįsta moderniomis inovatyviomis technologijomis ir dideliais duomenimis, kurie leidžia žymiai padidinti gamybos procesų efektyvumą.	Hricová (2020)
Skaitmeninių technologijų integravimą, kuris transformuoja organizacijų veiklą visose srityse, paslaugose ir kanaluose. Tai apima darbo eigų pertvarkymą, procesų automatizavimą ir duomenimis pagrįstą sprendimų priėmimą įgalinimą.	Pei (2024)

1 lentelėje pateiktos įvairių autorių skaitmenizavimo apibrėžtys rodo šios sąvokos conceptualius panašumus, taip pat jos interpretavimo įvairovę. Visų pirma, dauguma apibrėžimų panašūs tuo, kad skaitmeninė transformacija apima skaitmeninių technologijų naudojimą ir jų integravimą į organizacijos veiklą, siekiant tobulinti procedūras, didinti produktyvumą ir veiklos efektyvumą bei gerinti sprendimų priėmimo kokybę. Taip pat plačiai pripažįstama, kad ši transformacija apima ne tik technologinių priemonių naudojimą, bet ir platesnio masto organizacinius pokyčius. Tačiau apibrėžimų analitinis fokusas ir aprėptis skiriasi. Vieni autoriai skaitmeninę transformaciją apibrėžia kaip strateginio lygio organizacinę pertvarką, apimančią verslo modelio pakeitimus, naujų vertės kūrimo metodų diegimą, ryšių su suinteresuotosiomis šalimis pertvarkymą ir siekį užsitikrinti ilgalaikį konkurencinį pranašumą, o kiti ją apibrėžia siauriau – kaip verslo procesų skaitmeninimą, automatizavimą arba duomenų naudojimą veiklos optimizavimui. Be to, nors kai kurios apibrėžtys pabrėžia transformacijos struktūrinį, visą organizaciją apimančią pobūdį, kitos dėmesį labiau sutelkia į technologinį komponentą, pavyzdžiui, dirbtinio intelekto, duomenų analizės ar kitų pažangiausių technologijų naudojimą. Galima teigti, kad akademinėje literatūroje skaitmeninė transformacija vertinama kaip sudėtingas reiškinys, apimantis organizacinius, technologinius ir strateginius aspektus, tačiau skirtingi autoriai skirtingu mastu akcentuoja įvairius šio proceso aspektus.

Skaitmenizavimo reikšmė gamybos sektoriuje – tai skaitmeninių technologijų (programinės įrangos, automatizavimo, duomenų analizės, dirbtinio intelekto) diegimas gamybos procesuose, siekiant padidinti efektyvumą, kokybę ir konkurencingumą. Šis procesas dažnai siejamas su koncepcija Pramonė 4.0 (Lyandau et al., 2023).

1.2. Pramonės skaitmenizavimo koncepcija „Pramonė 4.0“

Pramonė 4.0 (angl. Industry 4.0) – tai ketvirtosios pramonės revoliucijos koncepcija, pagrįsta visišku gamybos skaitmeninimu ir automatizavimu naudojant išmaniąsias sistemas, daiktų internetą (IoT), dirbtinį intelektą (DI) ir debesų kompiuteriją. Tikslas – sukurti „išmaniąsias gamyklas“, kurios užtikrintų lankstumą, efektyvumą ir greitą prisitaikymą prie rinkos pokyčių, integruodamos fizines ir skaitmenines sistemas (Abdi et al., 2022).

Terminas „Pramonė 4.0“ buvo sugalvotas 2011 m. kaip strateginio Vokietijos pramonės plano, skirto kurti „išmaniąsias gamyklas“, dalis. Vokiška koncepcija greitai išplito visame pasaulyje ir tapo skaitmeninės transformacijos pagrindu įvairiose pramonės šakose (AL-Zubi, 2022).

Pramonė 4.0 – tai naujas gamybos organizavimo metodas, pagrįstas masiniu informacinių ir ryšių technologijų diegimu, siekiant sukurti išmaniąsias gamyklas. „Pramonės 4.0“ tikslas – sujungti fizinius gamybos procesus su skaitmeninėmis technologijomis, siekiant sukurti visiškai automatizuotas, lanksčias ir savaime optimizuojančias gamybos sistemas. Tai leidžia priimti sprendimus realiuoju laiku, didinti produktyvumą ir efektyvumą (Amjad, Saddique, Jabeen, 2024).

Pramonė 4.0 integruoja keletą pažangių technologijų: Daiktų internetas (IoT): tarpusavyje sujungtų fizinių objektų (mašinų, jutiklių) tinklas, galintis keistis duomenimis. Kiberfizinės sistemos (CPS): skaičiavimo, tinklų ir fizinių procesų integracija. Dirbtinis intelektas (DI) ir mašininis mokymasis: duomenų analizei, prognozavimui ir procesų optimizavimui. Debesų kompiuterija: didelių duomenų kiekių saugojimui, apdorojimui ir mainams. Dideli duomenys ir analizė: tendencijų nustatymui ir sprendimų priėmimo palaikymui. Adityvioji gamyba (3D spausdinimas): skirta greitam prototipų kūrimui ir sudėtingų dalių kūrimui. Papildytoji ir virtualioji realybė (AR/VR): skirta mokymams, įrangos priežiūrai ir projektavimui. Kibernetinis saugumas: sudėtingų tarpusavyje sujungtų sistemų apsauga nuo išorinių grėsmių (Furlotti, Mazza, 2022).

2 lentelė. Pramonė 4.0 skaitmenizavimo koncepcija

Table 2. Industry 4.0 digitalization concept

Pramonė 4.0 skaitmenizacijos koncepcija / Concept of Industry 4.0 digitalisation	Aprašymas / Description
Automatizavimas ir optimizavimas / Automation and Optimization	Skaitmeninimo tikslas – įprastines užduotis paversti skaitmeniniu formatu, kuris leidžia automatizuoti procesus, sumažinti darbo intensyvumą, klaidų tikimybę ir sutaupyti lėšų.
Įsitraukimo gerinimas / Improving engagement	Naudodami skaitmeninius įrankius, tokius kaip CRM sistemos, galite rinkti ir analizuoti klientų duomenis, kad pagerintumėte aptarnavimą, pateiktumėte labiau suasmenintus pasiūlymus ir padidintumėte lojalumą.
Analitika ir sprendimų priėmimas / Analytics and Decision-Making	Skaitmeninimas leidžia rinkti ir apdoroti didelius duomenų kiekius (didžiuosius duomenis), o tai leidžia priimti labiau pagrįstus ir savalaikius valdymo sprendimus, prognozuoti tendencijas ir sumažinti riziką
Lankstumas ir prisitaikomumas / Flexibility and adaptability	Skaitmeninių įrankių diegimas leidžia įmonėms tapti lankstesnėmis, greičiau prisitaikyti prie rinkos pokyčių ir greitai pristatyti naujus produktus bei paslaugas.
Skaitmeninė transformacija / Digital Transformation	Tai gilesnis procesas, neapsiribojantis vien optimizavimu. Jis apima sisteminius viso įmonės verslo modelio, kultūros ir darbo metodų pokyčius, padedant naujų skaitmeninių produktų ir paslaugų kūrimu.

Šaltinis: Bykova et al. (2023)

Source: Bykova et al. (2023)

Pramonė 4.0 skaitmeninė transformacija yra dar globalesnis procesas, susijęs su sudėtingomis užduotimis, pagrįstomis skaitmeninių technologijų diegimu, leidžiančiomis generuoti ir įgyvendinti idėjas, integruojančias visą suskaitmenintą informaciją (žr. 2 lentelę). Ši technologija skirta išplėsti strateginių sprendimų, galinčių padidinti pelną ir sukurti papildomos naudos klientams, kūrimo ir įgyvendinimo galimybių spektrą. Skaitmeninimo apibrėžimas, palyginti su pradiniu turiniu, siek tiek išsiplėtė dėl geresnio ir platesnio su juo susijusių procesų supratimo. Pradinė skaitmeninimo koncepcija susivedė į perėjimą prie elektroninių platformų, kurios apėmė elektroninio dokumentų valdymo, visų formų ataskaitų teikimo, taip pat darbo su klientais ir paslaugomis palaikymą, t. y. verslo procesų perkėlimą į elektronines sistemas, skirtas duomenims saugoti ir keistis esama forma. Dabar skaitmeninimą reikėtų suprasti kaip sudėtingesnį ir rimtesnį procesą versle, reikalaujantį ne tik programinės įrangos ir išmaniųjų valdymo sistemų, bet ir kruopštaus darbo pasiruošimo, kuris optimizuos ir paspartins gamybos operacijas. Svarbus skaitmeninimo žingsnis – patogesnės ir efektyvesnės sąveikos tarp kliento ir įmonės sukūrimas. Didėjant konkurencijai, skaitmeninimas tampa pagrindiniu verslo plėtros svertu (Kemrichard, 2025).

1.3. Skaitmenizavimo technologijos gamyboje (IoT, MES, ERP, AI ir kt.)

Skaitmenizavimo reikšmė gamybos versle paremta tuo, kad padeda pagerinti produktą (ar paslaugą), t. y. padidinti kokybę, patrauklumą, naudojimo paprastumą ir pristatymą; automatizuoti gamybą ir kitus vidinius įmonės procesus; supaprastinti vidinę ir išorinę komunikaciją; paspartinti verslo procesus ir kt. Skaitmeninių technologijų atsiradimas ir tokių programų diegimas įvairiomis konfigūracijomis bei kitais elektroniniais ištekliais sukūrė naujas sąlygas visų procesų spartinimui. Atsirado novatoriškų galimybių plėtoti savo verslą, kurio pradžia tapo įmanoma dėl daugybės įrankių, kuriuos suteikia pramonės šakų ir įmonių skaitmeninimas (Lozić, Fotova Čiković, 2024).

Gamybos skaitmenizavimo technologijos apima daiktų internetą (IoT) duomenų rinkimui, gamybos vykdymo sistemas (MES) gamybos procesų valdymui, įmonės išteklių planavimą (ERP) verslo procesų integravimui ir dirbtinį intelektą (AI) analizei bei optimizavimui. Šios technologijos naudojamos rankinėms ir popierinėms sistemoms transformuoti į skaitmenines, automatizuoti procesus ir užtikrinti geresnį gamybos dalyvių koordinavimą. Gamybos skaitmenizavimas apima skaitmeninių technologijų integravimą į visus įmonės veiklos aspektus, siekiant optimizuoti procesus, pagerinti efektyvumą ir padidinti konkurencingumą (Yan et al., 2020).

A. M. Khan (2023) teigimu, pagrindinės skaitmeninimo technologijos gamyboje:

- IoT sistema: prie interneto prijungtų jutiklių ir įrenginių tinklas, kuris realiuoju laiku renka duomenis apie gamybą, įrangos būseną ir aplinką. Daiktų internetas (IoT) jungia fizinius įrenginius su jutikliais ir prijungtus prie tinklo, kad galėtų rinkti ir keisti duomenimis realiuoju laiku. Taikymo sritys: įrangos būklės stebėjimas (nuspėjamoji priežiūra), atsargų sekimas, gaminių kokybės kontrolė, energijos suvartojimo optimizavimas. Privalumai: greitas reagavimas į pokyčius, prastovų prevencija, padidėjęs gamybos procesų efektyvumas.

- ERP sistemos: sistemos, skirtos valdyti visus įmonės išteklius, įskaitant finansus, žmogiškuosius išteklius, gamybą ir logistiką, užtikrinant visų verslo procesų integraciją. Gamybos vykdymo sistemos (MES) stebi, kontroliuoja ir sinchronizuoja gamybos operacijas bei informacijos srautus gamybos ceche (tarp ERP sistemos ir įrangos). Taikymo sritys: detalus gamybos planavimas, darbo užsakymų valdymas, kokybės kontrolė internetu, darbo jėgos ir medžiagų valdymas realiuoju laiku. Privalumai: didesnis gamybos skaidrumas, trumpesnis ciklo laikas, sumažintas defektų skaičius ir užtikrintas atitikimas reglamentams.

- MES sistemos: gamybos vykdymo sistemos, kurios stebi ir kontroliuoja gamybos operacijas nuo pradžios iki pabaigos. Įmonės išteklių planavimo (ERP) sistemos yra išsamūs programinės įrangos sprendimai, skirti valdyti visus pagrindinius įmonės verslo procesus: finansus, žmogiškuosius išteklius, tiekimo grandines, gamybą ir pardavimus. Taikymo sritys: integruotas išteklių valdymas, ilgalaikis tiekimo ir paklausos planavimas, finansinė apskaita ir tarpžinybinis koordinavimas. Privalumai: optimizuotas išteklių panaudojimas, padidėjęs tiekimo grandinės valdymo efektyvumas ir pagrįstas strateginis sprendimų priėmimas.

- Dirbtinis intelektas (DI) ir mašininis mokymasis: naudojami dideliems duomenims analizuoti, įrangos gedimams prognozuoti, gamybos grafikams optimizuoti ir sprendimų priėmimui automatizuoti. Dirbtinis intelektas (DI) ir mašininis mokymasis leidžia analizuoti didžiulius daiktų interneto ir kitų sistemų surinktų duomenų kiekius, siekiant nustatyti modelius ir automatizuoti sprendimų priėmimą. Taikymo sritys: prognozuojamoji analizė, skirta įrangos gedimams numatyti, gamybos grafikams optimizuoti, automatizuoti kokybės kontrolę naudojant kompiuterinę regą, pagerinti paklausos prognozavimą. Privalumai: Žymus sąnaudų sumažėjimas, padidėjęs produktyvumas, geresnė gaminių kokybė, įprastinių procesų automatizavimas.

- Dideli duomenys ir analitika: didelių gamybos duomenų kiekių apdorojimas ir analizė, siekiant nustatyti paslėptus modelius ir pagerinti efektyvumą.

- Debesų technologijos: duomenų saugojimo ir apdorojimo infrastruktūros užtikrinimas, užtikrinant sistemų mastelio keitimą ir prieinamumą iš bet kurios vietos.

- Robotika ir automatizavimas: pramoniniai robotai ir automatizuotos gamybos linijos, skirtos pasikartojančioms ir pavojingoms operacijoms.

- Virtuali realybė (VR) ir papildyta realybė (AR): naudojama personalo mokymui, nuotolinei pagalbai ir gamybos duomenų vizualizavimui.

Šios technologijos neveikia izoliuotai, o sudaro vieningą skaitmeninę ekosistemą. Daiktų internetas renka duomenis iš įrangos, MES naudoja šiuos duomenis gamybos skyriaus operacijoms valdyti, ERP teikia visos įmonės išteklių planavimo paslaugas, o dirbtinis intelektas analizuoja duomenis iš visų lygių, kad galėtų nuolat optimizuoti ir automatizuoti. Šių technologijų diegimas leidžia įmonėms pereiti prie „išmaniosios gamybos“ koncepcijos, todėl jos tampa lankstesnės, efektyvesnės ir konkurencingesnės (Khan, 2023).

Verslo skaitmenizavimo yra keturi veiksniai, kurie atsiskleidžia trečioje lentelėje.

3 lentelė. Verslo skaitmenizacijos veiksniai

Table 3. Factors of business digitalization

Skaitmenizacijos veiksniai / Factors in digitization	Aprašymas / Description
1. Naujausios technologijos / The latest technologies	Vien inovatyvios technologijos nepakeis verslo arba neužtikrins proveržio rinkoje. Sėkmei reikalingas tinkamas požiūris į technologinių inovacijų diegimą, o tai priklauso nuo darbuotojų, partnerių ir klientų taikomų naujų darbo metodų. Tai tiesiogiai veikia verslo skaitmeninimą ir įtakoja įmonės transformacijos kokybę.
2. Revoliuciniai išradimai / Revolutionary inventions	Inovacijos gali sukelti rinkos sprogimą bet kurioje srityje (mokslo, finansų ar technologijų). Pavyzdžiui, interneto, mobiliojo ryšio, socialinės žiniasklaidos ir kitų technologijų atsiradimas smarkiai pakeitė gyvenimo būdą visose srityse. Galime sakyti, kad atsirado žmonių karta, kuri labai efektyviai derina virtualų ir realų pasaulius.
3. Klientų elgsena / Customer behavior	Paprastos ir aiškos verslo sąveikos sąlygos sukelia didelį pirkėjų susidomėjimą. Pirkimo sprendimams dažnai įtakos turi kitų pirkėjų atsiliepimai. Skaitmeninimas leidžia įmonėms greičiau reaguoti į klientų užklausas ir laiku įgyvendinti verslo transformacijas.
4. Išoriniai pokyčiai / External changes	Verslas tiesiogiai sąveikauja su socialine aplinka, technologiniais procesais ir daro įtaką aplinkos situacijai. Atsižvelgiant į tai, visi ekonomikos, teisės aktų ir kitų sričių pokyčiai yra veikiami skaitmeninimo.

Saltinis. Lozić, ir Fotova Čiković (2024)

Source: Lozić,ir Fotova Čiković (2024)

Sėkmingo skaitmeninimo pavyzdžiai, kaip kai kurie pramonės sektoriai naudoja skaitmenines technologijas savo procesų efektyvumui gerinti. Internetinės bankininkystės pasaulis tapo ryškiausiu skaitmeninimo pavyzdžiu. Klientams nebereikia išeiti iš namų ir stovėti begalinėse eilėse, norint įnešti pinigų į taupomąją sąskaitą ar atsiskaityti kreditine

kortele. Mobiliosios bankininkystės programėlės tapo patikimos, saugios ir greitos. Jos palengvina pinigų valdymą nei naudojantis fiziniu banku (Kemrichard, 2025).

Galima išskirti šiuos verslo skaitmenizavimo privalumus (žr. 4 lentelę).

4 lentelė. Skaitmenizavimo privalumai

Table 4. Advantages of digitization

Skaitmenizavimo privalumai / External changes	Aprašymas / Description
1. Verslo procesų efektyvumo didinimas / Improving the efficiency of business processes	Skaitmeninės technologijos leidžia kompiuterizuoti ir automatizuoti įprastas operacijas, sumažinti jų vykdymo darbo intensyvumą ir klaidų tikimybę procesuose, sumažinant žmogiškojo faktoriaus įtaką.
2. Sąveikos su sandorio šalimis – klientais, partneriais ir tiekėjais – gerinimas / Improving interactions with business partners—customers, partners, and suppliers	Skaitmeniniai sprendimai ir įrankiai leidžia rinkti ir analizuoti duomenis apie klientus, jų pageidavimus ir elgesį, o tai leidžia kurti labiau suasmenintus pasiūlymus, gerinti paslaugų kokybę ir didinti klientų lojalumą. Skaitmeninės technologijos leidžia pagerinti sąveikos su tiekėjais efektyvumą, nes galima greitai formuoti užsakymus, stebėti išteklių prieinamumą ir valdyti tiekimo grandinę.
3. Valdymo ir sprendimų priėmimo kokybės gerinimas / Improving the Quality of Management and Decision-Making	Skaitmeninės technologijos leidžia rinkti, saugoti ir analizuoti didelius duomenų kiekius, o tai leidžia priimti labiau pagrįstus ir savalaikius sprendimus. Skaitmeninimo indeksas daro teigiamą poveikį įmonių veiklos efektyvumui, tačiau poveikio laipsnis skiriasi priklausomai nuo pramonės šakos, įmonės amžiaus ir dydžio. Didžiausias skaitmeninimo poveikis pastebimas įmonėse, turinčiose tradiciškai aukštą skaitmeninę brandą. Tai finansų, technologijų ar ryšių sektorių įmonės, kuriose verslo skaitmeninimas yra gyvybiškai svarbus ir kuriose skaitmeninės transformacijos sulėtėjimas gali gerokai nustumti tokias įmones reitinguose.
4. Naujų rinkų ir galimybių atvėrimas / Opening up new markets and opportunities	Skaitmeninimas leidžia įmonėms patekti į naujas rinkas, kurti naujus produktus ir paslaugas bei išnaudoti naujus pardavimo kanalus. Skaitmeninės technologijos atveria daugiau galimybių įgyvendinti „Mėlynojo vandenyno“ strategiją.
5. Tvaraus verslo plėtros kaip proceso lygio gerinimas / Improving sustainable business development as a process	Skaitmeninės technologijos leidžia dinamiškai prisitaikyti prie veiklos aplinkos pokyčių, prognozuoti rinkos riziką ir priimti valdymo sprendimus realiuoju laiku.

Šaltinis. Kemrichard (2025)

Source: Kemrichard (2025)

4 lentelėje pateikiama, kad skaitmeninimas yra pagrindinė organizacinių pokyčių varomoji jėga, padedanti didinti konkurencingumą, veiklos efektyvumą ir sprendimų priėmimo pagrįstumą. Procesų tobulinimas, geresnis duomenų valdymas ir aktyvesnis suinteresuotųjų šalių įtraukimas tampa įmanomi naudojant skaitmenines technologijas. Be to, skaitmeninimas užtikrina tvarų įmonių vystymąsi, skatindamas inovacijas, atverdamas naujas rinkas ir suteikdamas įmonėms galimybę prisitaikyti prie kintančios aplinkos.

A. C. Silva ir kt. (2024) teigimu, galima nustatyti skaitmenizavimo transformacijos naudą verslui:

- Geresnė klientų patirtis. Kai įmonė investuoja į savo produktų tobulinimą, ji pagerina jų kokybę. Klientai pastebi teigiamus pokyčius ir labiau domisi prekės ženklu. Be to, išmaniųjų sprendimų naudojimas leidžia klientams teikti labiau suasmenintus pasiūlymus. Ši „galimybė“ yra paklausė ne tik mažmeninės prekybos sektoriuje. Naudojant dirbtinį intelektą, galima kurti suasmenintą turinį, pritaikytą kiekvieno kliento interesams. Tai apima svetaines ir suasmenintus el. laiškus su unikaliais pasiūlymais, kurie atitinka vartotojų lūkesčius. Tačiau skaitmeninimas neturėtų būti vertinamas vien kaip būdas pritraukti klientus ir padidinti vidutinę užsakymo vertę. Jo nauda yra daug platesnė. Išmaniųjų sprendimų naudojimas padeda optimizuoti darbuotojų produktyvumą, supaprastinti įprastas užduotis ir atlaisvinti laiko svarbiems tikslams pasiekti. Diegiant skaitmeninius produktus, įmonė turėtų persvarstyti savo plėtros strategiją.

- Verslo procesų spartinimas ir lankstumo didinimas. Verslo augimui labai svarbu, kad jis veiktų nepertraukiamai. Norint išlikti priekyje konkurentų, reikia išnaudoti visas šiuolaikinių technologijų teikiamas galimybes. Be to, norint efektyviai veikti, verslas turi išlikti lankstus, t. y. greitai reaguoti į pokyčius ir prie jų prisitaikyti. Taigi, jei įmonė turi daugiau laisvų lėšų, ji turi jas nukreipti tinkama linkme, o jei trūksta išteklių ir padidėja darbuotojų darbo krūvis, reikia imtis pokyčių, skirtų darbo proceso optimizavimui. Skaitmeninimas padeda automatizuoti įmonės veiklą ir greitai reaguoti į pokyčius, taip sudarydamas sąlygas jai nuolat augti.

- Efektyvus duomenų valdymas. Informacija yra esminis verslo plėtros išteklius. Vartotojai kasdien pateikia daugybę reikalavimų produktams, o rinkos procesai nuolat keičiasi. Norėdama efektyviai panaudoti gautus duomenis, įmonė turi juos struktūrizuoti ir analizuoti. Tam ji gali naudoti dirbtinį intelektą ir didžiuosius duomenis. Gauta informacija leidžia nustatyti kryptį, kuria reikia eiti, ir kaip rasti galimus klientų problemų sprendimus.

- Plečiama įmonės geografinė aprėptis. Skaitmeninė transformacija leidžia mums dirbti su partneriais iš viso pasaulio, panaikinant teritorinius apribojimus. Tai palengvina verslo plėtrą.

Tačiau svarbu suprasti, kad verslo procesų skaitmeninimas reikalauja investicijų į sprendimų kūrimą ir technologijų pažangą, darbuotojų mokymą, pasipriešinimo inovacijoms įveikimą ir nusistovėjusių verslo procesų keitimą. Žinoma, net ir savarankiškai dirbantiems asmenims dabar yra daugybė skaitmeninių sprendimų, leidžiančių suskaitmeninti savo kasdienę veiklą. Taip pat reikia atsižvelgti į su informacijos saugumu ir duomenų apsauga susijusią riziką (kibernetinę riziką). Pagrindinės su skaitmeninimu susijusios rizikos apima strateginę, technologinę, reguliavimo,

kibernetinę, personalo, duomenų praradimo, privatumo ir trečiųjų šalių riziką; valdymo sritys buvo nustatytos atsižvelgiant į rizikos mažinimo sritis.

Skaitmenizavimas leidžia mums spręsti laisvo pinigų srauto didinimo problemą dviem būdais: plečiant platinimo ir pardavimo kanalus; optimizuojant sąnaudas (Bansal et al., 2024).

Žemiau esančioje lentelėje aprašomi skaitmenizavimo transformacijos reikalavimai (žr. 5 lentelę).

5 lentelė. Skaitmenizavimo transformacijos reikalavimai

Table 5. Digital transformation requirements

Skaitmenizacijos reikalavimai / Digitization requirements	Aprašymas / Description
Tikslo supratimas ir strategijos parengimas / Understanding the objective and developing a strategy	Svarbu suprasti, kaip skaitmeninimas paveiks konkrečią veiklos sritį ir kokie yra jos įgyvendinimo tikslai. Sukūrus strategiją, galima pradėti ją įgyvendinti. Šio proceso metu reikia nuolat analizuoti ir tobulinti procesus. Skaitmeninimui naudojama programinė įranga turi atitikti įmonės poreikius ir veiklos tikslus. Tai padės jai išsiskirti iš konkurentų ir palengvins darbuotojų darbą.
Komandos motyvavimas / Team Motivation	Darbuotojai turi suprasti skaitmeninimo vertę. Vadovų pareiga – informuoti apie jo įgyvendinimo poreikį. Norėdami tai padaryti, jie turi paaiškinti komandai, kad išmaniųjų sprendimų naudojimas pagerins darbo efektyvumą.
Darbuotojų adaptacija / Employee onboarding	Norint adaptuoti darbuotojus, svarbu vesti mokymus. Siekiant paspartinti naujos programos diegimą, patartina sukurti ir įdiegti motyvavimo sistemą. Adaptacija yra ypač sudėtinga didelėse įmonėse, nes labai svarbu ne tik apmokyti žmones, bet ir parodyti jiems, kaip naujais būdais bendrauti tarpusavyje.
Diegiant modernias technologijas / By implementing modern technologies	Sukūrus strategiją, motyvavimo sistemą ir įdiegus darbuotojus, galima pradėti diegti techninį sprendimą. Tai gali būti standartinis sprendimas arba specialiai įmonei sukurtas sprendimas. Įdiegus programą, darbuotojus reikia apmokyti ja naudotis.

Šaltinis: Bansal et al. (2024)

Source: Bansal (2024)

Apibendrinant galima daryti išvadą, kad „visiškas verslo skaitmenizavimas nėra būtinas; tačiau jei įmonė „neplėtoja ir nediegia skaitmeninių technologijų, ji labai greitai „taps nekonkurencinga“. Būtina diegti naujas technologijas ir jas naudoti mokymuisi iš savo klientų ir konkurentų. Tik sėkmingai įdiegus skaitmenines technologijas, skaitmeninė transformacija turėtų būti laikoma kitu logišku žingsniu.

1.4. Skaitmenizavimo procesų diegimo etapai gamybos įmonėse

Pasak A. Burdiuzha ir kt. (2020), skaitmeninimo diegimo gamyboje etapai apima technologijų parengimą, analizę ir parinkimą, diegimą, mastelio keitimą ir optimizavimą. Pirmasis etapas apima strategijos ir tikslų apibrėžimą, po kurio seka procesų analizė ir sistemos parinkimas. Po to diegiamos technologijos ir apmokomi darbuotojai, vėliau diegimas plečiamas į kitas sritis, o paskutinis etapas – duomenų analizė ir procesų optimizavimas, naudojant, pavyzdžiui, nuspėjamąją analizę (žr. 1 pav.):

1. *Pasiruošimas ir strategija.* Tikslo apibrėžimas: bendros IT strategijos ir skaitmeninės transformacijos tikslų suformulavimas. Dabartinės būklės vertinimas: įmonės skaitmeninės brandos nustatymas ir pagrindinių procesų, kuriems reikalinga skaitmeninimas, identifikavimas. Komandos formavimas: už skaitmeninę transformaciją atsakingos komandos formavimas.

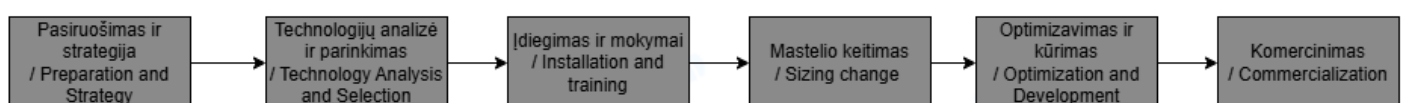
2. *Technologijų analizė ir parinkimas.* Procesų auditas: išsamus duomenų apie esamus verslo procesus rinkimas, siekiant nustatyti kliūtis ir augimo galimybes. Įrankių parinkimas: konkrečių sistemų ir technologijų, tokių kaip ERP, CRM, IoT platformos, duomenų rinkimo sistemos ir kt., parinkimas. MVP kūrimas: prototipo arba minimalaus gyvybingo produkto kūrimas, siekiant išbandyti naują technologiją.

3. *Įdiegimas ir mokymai.* Techninis įgyvendinimas: pasirinktų sistemų ir programinės įrangos diegimas ir konfigūravimas. Personalo mokymai: komandos formavimas arba mokymas dirbti su naujais skaitmeniniais įrankiais.

4. *Mastelio keitimas.* Aprėpties išplėtimas: laipsniškas skaitmeninių sprendimų diegimas kituose skyriuose ir gamybos srityse. Vieningos aplinkos kūrimas: skirtingų sistemų integravimas į vieną platformą duomenų rinkimui realiuoju laiku.

5. *Optimizavimas ir kūrimas.* Duomenų rinkimas ir analizė: Nuolat rinkti gamybos duomenis ir atlikti išmaniąją analizę, siekiant nustatyti modelius. Nuspėjamoji analizė: Kurti valdymo sprendimų priėmimo ir prognozavimo modelius, pavyzdžiui, naudojant skaitmeninius dvynius.

6. *Komercinimas:* gautų duomenų ir optimizuotų procesų panaudojimas ekonominiams rezultatams gerinti.



Šaltinis: Burdiuzha et al. (2020)

Source: Burdiuzha et al. (2020)

1 pav. Skaitmeninimo procesų diegimo etapai gamybos įmonėse

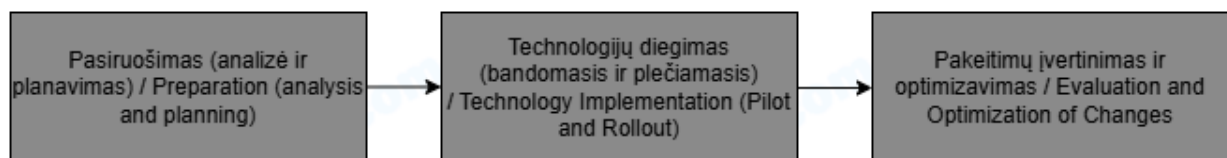
Fig. 1. Stages of implementing digitalization processes in manufacturing companies

Anot D. Garcia ir kt. (2021), skaitmeninio proceso diegimas gamybos įmonėse paprastai apima šiuos pagrindinius etapus (žr. 2 pav.):

1. *Pasiruošimas (analizė ir planavimas)*. Dabartinės būklės vertinimas: įmonės skaitmeninės brandos lygio nustatymas ir esamų kliūčių bei neefektyvių procesų nustatymas. Tikslų ir poreikių apibrėžimas: suformuluokite aiškius verslo tikslus (pvz., pagerinti efektyvumą, sumažinti sąnaudas, pagerinti produktų kokybę, paspartinti naujų produktų pateikimą į rinką) ir nustatykite technologijų poreikius jiems pasiekti. Strategijos kūrimas: išsamios skaitmeninės transformacijos strategijos kūrimas, įskaitant prioritetinių sričių pasirinkimą ir jų įgyvendinimą. Komandos formavimas: atsakingų asmenų nustatymas ir tarpfunkcinės komandos, skirtos projektui valdyti, suformavimas. Biudžeto ir išteklių apskaičiavimas: reikalingų finansinių, žmogiškųjų ir laiko išteklių įvertinimas.

2. *Technologijų diegimas (bandomasis ir plečiamasis)*. Sprendimų parinkimas ir įsigijimas: tinkamų skaitmeninių technologijų ir sistemų (pvz., daiktų interneto, dirbtinio intelekto, ERP, MES, skaitmeninio dizaino) parinkimas. Kūrimas arba pritaikymas: Prireikus kuriame individualius sprendimus arba pritaikome esamas sistemas prie įmonės poreikių. Bandomasis projektas: Pasirinktų technologijų testavimas ribotoje gamybos vietoje (MVP – minimalus gyvybingas produktas), siekiant patvirtinti efektyvumą ir nustatyti problemas. Integracija: naujų skaitmeninių sistemų integravimas su esama IT infrastruktūra ir įranga. Mastelio keitimas: laipsniškas arba visiškas sėkmingų sprendimų diegimas visoje įmonėje.

3. *Pakeitimų įtvirtinimas ir optimizavimas*. Personalo mokymai: darbuotojų mokymų apie naujas sistemas ir procesus vedimas, skaitmeninės kultūros puoselėjimas komandoje. Duomenų stebėseną ir analizę: nuolatinis pagrindinių veiklos rodiklių (KPI) rinkimas ir analizė, siekiant įvertinti diegimo rezultatus. Optimizavimas ir iteracija: surinktų duomenų naudojimas nuolat tobulinant ir tobulinant įdiegtus procesus ir technologijas. Palaikymas ir kūrimas: techninės pagalbos teikimas ir planavimas kitiems skaitmeninės transformacijos etapams (Garcia et al., 2021).



Šaltinis: Garcia et al. (2021)
Source: Garcia et al. (2021)

2 pav. Skaitmeninio proceso diegimo etapai gamybos įmonėse

Fig. 2. Stages of implementing digitalization processes in manufacturing companies

A. Burdizha ir kt. (2020) bei D. Garcia ir kt. (2021) gamybos įmonių skaitmeninimą apibūdina kaip nuoseklų, etapais vykstantį procesą, apimantį pasirėngimą, technologijų pasirinkimą, diegimą ir tobulinimą. Abi strategijos pabrėžia esamos padėties įvertinimą, tikslų nustatymą, komandos subūrimą, technologinių sprendimų įgyvendinimą ir nuolatinio procedūrų tobulinimo svarbą. Kita vertus, A. Burdizha ir kt. (2020) siūlo išsamesnį šešių etapų modelį, kuriame dar labiau išskiriamos komercializacijos, masto didinimo ir prognozavimo analizės stadijos, taip pabrėžiant technologinę plėtrą ir jos teikiamą finansinę naudą. Išsamesnį trijų etapų metodą pateikia D. Garcia ir kt. (2021), kurie pabrėžia planavimą, išteklių paskirstymą, bandomuosius projektus, KPI stebėjimą ir organizacinių pokyčių įgyvendinimą. Todėl galima teigti, kad nors antrųjų autorių modelis labiau orientuotas į strategines ir vadybines šio proceso dalis, pirmųjų autorių modelis pateikia išsamesnį visos skaitmeninės transformacijos kelionės vaizdą.

Laikantis šių žingsnių, gamybos įmonės gali sistemingai ir efektyviai valdyti skaitmeninio proceso, sumažindamos riziką ir pasiekdamos savo tikslus.

Skaitmeninimas skatina efektyvią gamybą: Automatizavimas ir atliekų šalinimas: skaitmeninės sistemos, tokios kaip MES, daiktų internetas ir ERP, automatizuoja įprastas užduotis, sumažindamos žmogiškųjų klaidų skaičių ir su jomis. Vertės srauto optimizavimas: skaitmeninio įrankiai leidžia realiuoju laiku analizuoti vertės srautą, nustatyti kliūtis ir švaistymą. Duomenimis pagrįstas sprendimų priėmimas: skaitmeninės sistemos renka ir analizuoja didelius duomenų kiekius, taip leisdamas priimti labiau pagrįstus sprendimus, kaip tobulinti procesus, tokius kaip „Just in Time“ (JIT) atsargų valdymas. Vizualizacija ir valdymas: skaitmeninės lentos, tokios kaip „Kanban“ sistemose, leidžia vizualiai stebėti užduočių būseną, gerinant koordinavimą ir našumą. Nuolatinis tobulinimas: skaitmeninės platformos skatina nuolatinio tobulėjimo kultūrą, nes leidžia greitai įgyvendinti, išbandyti ir išmatuoti atliekant „Lean“ analizę nustatytų pokyčių poveikį (Kerimoglu 2022).

1.5. Skaitmenizavimo poveikis gamybos įmonių veiklos tvarumui

Darnaus vystymosi gamyboje koncepcija – tai aplinkosaugos, socialinių ir ekonominių principų integravimas į gamybos procesus, siekiant užtikrinti ilgalaikę gerovę nepakenkiant ateities kartų gerovei. Tai apima poveikio aplinkai mažinimą, socialinę atsakomybę darbuotojams ir visuomenei, taip pat ekonominį efektyvumą ir tvarumą. *Aplinkosaugos aspektas:* gyvavimo ciklo dėmesys: neigiamo poveikio aplinkai mažinimas visuose etapuose – nuo žaliavų gavybos iki šalinimo. Atliekų mažinimas: valdymo sistemos, skirtos atliekų ir išteklių srautams nustatyti, įvertinti ir valdyti. Energijos vartojimo efektyvumas: naudoti efektyvesnę įrangą ir mažinti energijos suvartojimą. *Socialinis aspektas:* Įmonės kultūra: sveikos darbo aplinkos kūrimas, įmonės kultūros formavimas ir darbuotojų ugdymas. Bendruomenės atsakomybė: indėlis į regiono ir šalies ekonomiką, užtikrinant sąžiningas darbo sąlygas. Tvari tiekimo grandinė: bendradarbiavimas su

tiekJėjais, kurie taip pat laikosi tvaraus vystymosi principų. *Ekonominis aspektas*: efektyvumo gerinimas: sąnaudų ir nuostolių valdymas siekiant teigiamo ekonominio poveikio. Ilgalais stabilumas: nuolatinio įmonės ekonominių rezultatų gerinimo ir ilgalaikio stabilumo užtikrinimas (Murshed, 2023).

Tvarios gamybos principų įgyvendinimas ne tik padeda išsaugoti aplinką, bet ir suteikia didelės naudos verslui: Rizikos mažinimas: padeda valdyti su klimato kaita ir griežtesniais aplinkosaugos reglamentais susijusią riziką. Sąnaudų taupymas: optimizavus išteklių ir energijos naudojimą, sumažėja sąnaudos. Geresnė reputacija: pritraukia klientus ir investuotojus, kurie vertina socialinę atsakomybę ir aplinkosaugą. Inovacijos: skatina naujų, efektyvesnių ir ekologiškesnių technologijų kūrimą (Vargas-Merino et al., 2023).

Skaitmeninimas daro dvejopą poveikį aplinkai, nes suteikia priemones aplinkos kontrolei ir poveikio mažinimui, tačiau tuo pačiu metu sukuria savų aplinkosaugos problemų. Viena vertus, technologijos padeda optimizuoti energijos suvartojimą, sumažinti popieriaus naudojimą, efektyviai tvarkyti atliekas ir stebėti gamtos būklę. Kita vertus, skaitmeninimas didina išteklių sunaudojimą įrenginių gamybai, reikalauja milžiniškų energijos kiekių duomenų centrų veikimui ir sukuria elektroninių atliekų, užterštų toksiškomis medžiagomis, problemą (Lan, Ma, 2025).

Anot Y. V. Lyandau ir kt. (2022), skaitmeninimas daro dvejopą poveikį aplinkai – suteikia ir reikšmingų galimybių tvariam vystymuisi, ir naujų iššūkių. Jo svarba slypi potenciale optimizuoti išteklių naudojimą ir kovoti su klimato kaita, tačiau jis taip pat susijęs su padidėjusiu energijos suvartojimu ir elektroninių atliekų susidarymu. *Teigiamas poveikis*: Stebėjimas ir analizė: skaitmeninės sistemos leidžia rinkti ir apdoroti didelius duomenų kiekius, gerinti aplinkos stebėseną, padėti modeliuoti prognozes ir ankstyvoje stadijoje nustatyti pavojingas situacijas. Procesų optimizavimas: technologijos padeda optimizuoti eismo srautus ir sumažinti energijos suvartojimą išmaniuosiuose namuose ir įmonėse, o tai lemia mažesnę išmetamųjų teršalų kiekį ir išteklių sunaudojimą. Atliekų tvarkymas: išmaniosios platformos gali pagerinti atliekų tvarkymo sistemų efektyvumą. Energijos vartojimo efektyvumas: skaitmeninės technologijos skatina energiją taupančių sprendimų kūrimą įvairiuose sektoriuose. *Neigiamas poveikis*: išteklių sunaudojimas: Skaitmeninių įrenginių gamybai reikia išgauti didelius kiekius retųjų metalų ir mineralų, taip pat sunaudojama daug vandens. Energijos suvartojimas: duomenų centrai ir debesijos paslaugos sunaudoja milžiniškus energijos kiekius, todėl didėja anglies pėdsakas. Elektroninės atliekos: Dėl plačiai paplitusio technologijų senėjimo susidaro didžiuliai elektroninių atliekų kiekiai, kuriuose yra toksiškų komponentų ir kurias sunku perdirbti. Poveikis infrastruktūrai: skaitmeninės infrastruktūros statyba ir eksploatavimas daro tiesioginį poveikį aplinkai, įskaitant kraštovaizdžio ir buveinių pokyčius.

J. Pei (2024) teigimu, norint pasiekti teigiamą efektą, būtina taikyti „skaitmeninės ekologijos“ principus, kurie apima sąmoningą požiūrį į skaitmeninius įpročius, energiją taupančių sprendimų diegimą ir technologijų, skirtų sumažinti neigiamą skaitmeninio poveikį, kūrimą. Pagrindinės sritys apima elektronikos perdirbimo programų kūrimą, alternatyvių, mažiau išteklių reikalaujančių medžiagų paiešką ir duomenų centrų energijos vartojimo efektyvumo gerinimą. Viešojo politika ir reguliavimas atlieka svarbų vaidmenį užtikrinant tvarų skaitmeninės sferos vystymąsi aplinkoje.

Skaitmeninimas daro sudėtingą poveikį socialiniam ir ekonominiam tvarumui, skatindamas ekonomikos augimą, didindamas efektyvumą ir kurdamas naujas darbo vietas, tačiau taip pat kurdamas tokias rizikas kaip skaitmeninė nelygybė, didėjanti monopolizacija ir kibernetinės grėsmės. Teigiamas poveikis apima greitesnę paslaugų teikimą, geresnę informacijos prieinamumą ir padidėjusį produktyvumą, o neigiamas poveikis – galimą darbo vietų praradimą dėl automatizavimo, padidėjusią socialinę nelygybę ir skaitmeninės infrastruktūros pažeidžiamumą. Skaitmeninimas turi dvejopą, bet bendrą teigiamą poveikį socialiniam ir ekonominiam tvarumui, suteikdamas didelių augimo, efektyvumo ir geresnės gyvenimo kokybės galimybių. Tačiau jis taip pat kelia didelių iššūkių, kuriems reikalingas strateginis valdymas (Reed, 2021).

Ekonominis tvarumas. Teigiami aspektai: ekonominis augimas: skaitmeninimas skatina produktyvumo augimą, didina įmonių konkurencingumą ir kuria naujas pramonės šakas bei darbo vietas. Efektyvumas: padidina paslaugų teikimo greitį ir kokybę, optimizuoja verslo procesus ir mažina sąnaudas. Inovacijos: kuriamos naujos galimybės inovacijoms, verslo modeliams ir skaitmeninės ekonomikos plėtrai. *Neigiami aspektai*: monopolizacija: didelės skaitmeninės ekosistemos gali išstumti konkurentus, sukurdamas monopolijas ir piktnaudžiaudamos savo dominuojančia padėtimi. Technologinis pažeidžiamumas: priklausomybė nuo skaitmeninės infrastruktūros daro ekonomiką pažeidžiamą sutrikimų, kibernetinių atakų ir elektros energijos tiekimo sutrikimų, kurie gali paralyžiuoti veiklą. Darbo vietų praradimas: automatizavimas ir robotika gali lemti darbo vietų praradimą tradicinėse pramonės šakose (Lan, Ma, 2025).

Socialinis tvarumas. Teigiami aspektai: prieiga prie informacijos ir paslaugų: skaitmeninimas plečia gyventojų prieigą prie žinių ir paslaugų, gerindamas gyvenimo kokybę. Patobulinta sąveika su vyriausybe: supaprastinamos administracinės procedūros ir sąveika su vyriausybėmis agentūromis. *Neigiami aspektai*: skaitmeninė atskirtis: nevienoda prieiga prie technologijų dėl ekonominių ar geografinių apribojimų didina socialinę nelygybę. Naujų įgūdžių poreikis: didėja aukštos kvalifikacijos specialistų poreikis, todėl būtinas perkvalifikavimas ir išsilavinimas. Etikos ir teisiniai klausimai: kyla klausimų, susijusių su duomenų apsauga, privatumu ir žodžio laisve. Informacijos perkrova: dėl didelio informacijos kiekio gali būti sunku rasti reikiamą informaciją ir tai gali sukelti kognityvinį perkrovą. Darnaus vystymosi užtikrinimui reikalingas subalansuotas požiūris į skaitmeninimą, atsižvelgiant į jo transformacinį potencialą ir susijusią riziką, taip pat aktyvus visuomenės informuotumas ir parama prisitaikymo proceso metu (Toops., 2021).

Ekologinio efektyvumo koncepcija – tai verslo vykdymo būdas, apimantis ekonominį ir aplinkosauginį efektyvumą, siekiant maksimalios naudos, darant minimalų poveikį aplinkai. Tai reiškia, kad įmonės turi ne tik maksimaliai padidinti pelną, bet ir sumažinti išteklių (energijos, vandens, medžiagų) suvartojimą bei atliekų ir išmetamųjų teršalų (vandens, kietųjų atliekų, atmosferos dujų) kiekį (Furlotti, Mazza, 2024).

Ekologinio efektyvumo (arba aplinkosauginio efektyvumo) koncepcija – tai požiūris į verslą ir gamybą, kuriuo siekiama ekonominės sėkmės, tuo pačiu metu mažinant neigiamą poveikį aplinkai. Pagrindinė idėja – pagaminti daugiau produktų ar paslaugų, naudojant mažiau išteklių ir darant mažiau žalos aplinkai. Ekologinis efektyvumas yra tvaraus

vystymosi principų, taikomų konkrečių įmonių veiklai, įkūnijimas. Jis apima visą produkto gyvavimo ciklą ir matuojamas kaip pagamintos naudos (produktų, paslaugų) ir bendro poveikio aplinkai (medžiagų, energijos, vandens, oro teršalų, nuotekų, kietųjų atliekų) santykis (Kerimoğlu 2022).

Pagrindiniai koncepcijos aspektai: Dvejopas tikslas: pagrindinė idėja – vienu metu padidinti ekonominį pelną ir sumažinti poveikį aplinkai. Sąnaudų mažinimas: išteklių naudojimo sumažinimas ir atliekų kiekio sumažinimas tiesiogiai lemia mažesnes gamybos sąnaudas. Įvairių gerinimas: aplinkai atsakinga verslo praktika didina vartotojų lojalumą ir stiprina įmonės reputaciją. Inovacijos: koncepcija skatina ieškoti naujų, labiau aplinkai draugiškų technologijų, medžiagų ir gamybos procesų. Nors ekonominis efektyvumas daugiausia dėmesio skiria naudos ir sąnaudų santykiui, siekiant maksimaliai padidinti pelną, ekologinis efektyvumas išplečia šią sąvoką, į skaičiavimus įtraukdamas aplinkosaugos aspektus: Ekonominis efektyvumas: rezultatas / sąnaudos (prekės, paslaugos, pelnas). Ekologinis efektyvumas: rezultatas, pasiektas sumažinant visas sąnaudas – tiek ekonomines (finansines, darbo), tiek aplinkosaugines (išteklių, atliekų, išmetamųjų teršalų) (Lyandau et al., 2022).

Ekologinio efektyvumo koncepcijos įgyvendinimas grindžiamas šiais pagrindiniais principais: Medžiagų intensyvumo mažinimas: gamyboje naudojamų žaliavų ir medžiagų kiekio mažinimas. Energijos intensyvumo mažinimas: procesų energijos vartojimo efektyvumo didinimas ir atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimas. Toksiškumo mažinimas: pavojingų medžiagų pakeitimas saugesnėmis alternatyvomis, išmetamų teršalų ir atliekų kiekio mažinimas. Perdirbimo maksimizavimas: lengvai utilizuojamų arba perdirbamų produktų kūrimas (žiedinės ekonomikos principas). Produkto naudojimo trukmės pailginimas: patvarių, remontuojamų produktų kūrimas. Paslaugų teikimas vietoj produktų pardavimo: pavyzdžiui, įrangos nuoma vietoj pardavimo, o tai skatina gamintojus kurti patvaresnius ir lengviau prižiūrimus produktus (Saddique, Jabeen, 2024).

Skaitmeninimas atlieka pagrindinį vaidmenį kuriant tvarias ir efektyvias vertės grandines, optimizuojant procesus renkant, analizuojant ir naudojant duomenis, siekiant padidinti skaidrumą ir lankstumą. Tai leidžia automatizuoti įprastas užduotis, pagerinti dalyvių bendravimą, optimizuoti išteklių naudojimą ir kurti naujus, atsparesnius gedimams darbo modelius. Skaitmeninimas atlieka pagrindinį vaidmenį kuriant tvarią ir efektyvią vertės grandinę, sudarant sąlygas skaidrumui, automatizavimui ir realiuoju laiku pagrįstam sprendimų priėmimui. Tai lemia reikšmingą sąnaudų sumažėjimą, didesnę tiekimo patikimumą ir minimalų poveikį aplinkai (Batjargal, 2020).

Skaitmeninė transformacija pagerina efektyvumą: Automatizavimas ir optimizavimas: skaitmeninimas automatizuoja įprastas užduotis, sumažindamas išlaidas ir padidindamas produktyvumą. Patobulinta analizė: didelių duomenų kiekių rinkimas ir analizė leidžia priimti labiau pagrįstus valdymo sprendimus ir padidina efektyvumą visuose etapuose. Išteklių optimizavimas: Skaitmeniniai įrankiai padeda pagerinti išteklių planavimą, o tai lemia sąnaudų mažinimą ir gamybos tvarumo didinimą (Burdizha, 2020).

Skaitmeninė transformacija didina atsparumą: Padidėjęs lankstumas: skaitmeninės tiekimo grandinės yra lanktesnės ir prisitaikančios, todėl jos gali greitai reaguoti į sutrikimus ir po jų atsigaivinti. Geresnis bendravimas ir skaidrumas: skaitmeninės platformos ir įrankiai leidžia geriau bendrauti tarp partnerių ir klientų bei padidina skaidrumą visoje tiekimo grandinėje. Rizikos mažinimas: tikslesnės prognozės ir greitesnis reagavimas į pokyčius padeda sumažinti riziką ir sutrikimus (Bansal et al., 2024).

Siekiant kurti ilgalaikę vertę nepakenkiant ateities kartų perspektyvoms, tvaraus vystymosi gamybos srityje reiškia aplinkosaugos, socialinių ir ekonominių aspektų integravimą į gamybos procesus. Ši idėja ypatingą dėmesį skiria ilgalaikiam ekonominiam stabilumui, atsakingai tiekimo grandinei, darbuotojų gerovei, atliekų ir taršos mažinimui bei išteklių tausojimui. Šioje situacijoje skaitmeninimas turi dvejopą poveikį: jis padeda optimizuoti energijos ir išteklių naudojimą, gerina procesų stebėjimą, mažina sąnaudas ir didina veiklos efektyvumą; tačiau jis taip pat didina energijos paklausą, išteklių suvartojimą įrangos gamybai ir elektroninių atliekų kiekį. Todėl, jeigu įmonės sugebės įgyvendinti atsakingos „skaitmeninės ekologijos“ koncepcijas, tokios kaip energijos vartojimo efektyvumas, perdirbimas ir mažo poveikio technologijų naudojimas, jos lems skaitmeninimo pranašumus tvarumo srityje. Ekologinio efektyvumo koncepcija šioje situacijoje yra itin svarbi, nes ja siekiama suderinti finansinę naudą su mažiausiu poveikiu aplinkai – kitaip tariant, sukurti daugiau, sunaudojant mažiau išteklių ir susidarant mažiau atliekų. Didindama skaidrumą, palengvindama greitesnį sprendimų priėmimą remiantis duomenimis, skatindama partnerių koordinavimą ir stiprindama tiekimo tinklų atsparumą sutrikimams, skaitmeninimas taip pat stiprina tvarias vertės grandines. Todėl galima teigti, kad skaitmeninė transformacija ir tvari gamyba yra glaudžiai susijusios, tačiau siekiant užtikrinti jų teigiamą poveikį, reikalinga subalansuota strategija, kurioje be technologinio efektyvumo būtų atsižvelgiama ir į socialinę bei aplinkosauginę atsakomybę.

Išvados

1. Gamybos pramonėje procesas, kurio metu skaitmeninės technologijos integruojamos į organizacijos veiklą siekiant automatizuoti, optimizuoti ir pertvarkyti verslo procesus, vadinamas „skaitmeninimu“. Mokslinėje literatūroje pabrėžiama, kaip skaitmeninimas didina našumą, gerina produktų kokybę, mažina veiklos sąnaudas ir didina įmonių konkurencingumą. Be to, skaitmeninės technologijos palengvina naujų verslo modelių kūrimą, gerina bendravimą su klientais ir partneriais bei užtikrina efektyvesnį duomenų valdymą.

2. Ketvirtosios pramonės revoliucijos era, kurioje skaitmeninės technologijos derinamos su fizine gamybos procesais, vadinama „Pramonė 4.0“. Ši koncepcija grindžiama tokių technologijų kaip debesų kompiuterija, ERP ir MES sistemos, didžiųjų duomenų analizė, dirbtinis intelektas (AI) ir daiktų internetas (IoT) naudojimu. Įvairių technologijų

integracija leidžia kurti pažangias gamyklas, pasižyminčias didesniu lankstumu, efektyvumu, automatizavimu ir sprendimų priėmimu realiuoju laiku.

3. Pasirengimas ir strategijos kūrimas, technologijų analizė ir pasirinkimas, technologijų diegimas ir darbuotojų mokymas, skaitmeninių sprendimų masto didinimas bei nuolatinis procesų optimizavimas – visa tai yra svarbūs etapai metodiniame ir sudėtingame skaitmeninio procesų diegimo procese gamybos įmonėse. Be technologinių sprendimų, sėkmingai skaitmeninei transformacijai būtinos ir organizacinės reformos, darbuotojų kompetencijų ugdymas bei skaitmeninės kultūros kūrimas įmonės viduje.

4. Remiantis mokslinės literatūros analize, skaitmeninio sprendimai yra būtini gamybos įmonių tvarumui ir veiklos efektyvumui užtikrinti. Jie didina gamybos apimtį, gerina procesų valdymą, padeda efektyviau naudoti išteklius, mažina išlaidas ir stiprina tiekimo grandines. Skaitmeninimas taip pat padeda siekti tvarumo tikslų, mažindamas atliekų kiekį, neigiamą poveikį aplinkai bei energijos ir žaliavų suvartojimą. Tačiau jo poveikis nėra vien tik teigiamas, nes didėja energijos suvartojimas, susidaro daugiau elektroninių atliekų ir didėja priklausomybė nuo skaitmeninės infrastruktūros. Todėl didžiausią naudą duoda toks skaitmeninio įgyvendinimas, kuris užtikrina pusiausvyrą tarp ekonominio efektyvumo ir aplinkosauginės bei socialinės atsakomybės.

Literatūra

1. Abdi, Y., Li, X., & Càmara-Turull, X. (2022). Exploring the impact of sustainability (ESG) disclosure on firm value and financial performance (FP) in airline industry: the moderating role of size and age. *Environment, Development and Sustainability*, 24(4), 5052-5079.

2. Aldousari, F., & Aldhmour, F. M. (2025). The Influence of Digital Transformation on the Business Environment: Literature Review Study. *The Digital Edge: Transforming Business Systems for Strategic Success*, 1, 537-547.

3. AL-Zubi, K. N. (2022). The effect of e-marketing on the performance of small business enterprises. *International Journal of Business and Management*, 18(1), 88.

4. Bansal, D., Bhattacharya, N., & Shandilya, P. (2024). Digital entrepreneurship and its transformative impacts on business and society. In *entrepreneurship and creativity in the metaverse* (pp. 251-263). <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-1734-1.ch018>

5. Batjargal, Z. (2020). Sustainable development: The Mongolian experience. In *Sustainable Development in Central Asia* (pp. 93-103). Routledge.

6. Bykova, O. N., Lyandau, Y. V., Elina, O. A., & Elin, A. V. (2022). Designing a business model of a manufacturing process for a circular economy. *Bulletin of MIRBIS*, 4(32), 100–106. <https://doi.org/10.25634/MIRBIS.2022.4.11>

7. Burdiuzha, A., Gorokhova, T., & Mamatova, L. (2020). Responsible environmental management as a tool for achieving the sustainable development of European countries. *Intellectual Economics*, 14(1), 161-183.

8. Colabi, a. M., & Sharaei, F. (2023). Designing the digitization platform of information and communication technology companies. *Sciences and techniques of information management*, 9(4), 149-184.

9. Furlotti, K., & Mazza, T. (2024). Corporate social responsibility versus business ethics: analysis of employee-related policies. *Social responsibility journal*, 20(1), 20-37.

10. Garafonova, O., Dvornyk, O., Sharov, V., Zhosan, H., Yankovoi, R., & Lomachynska, I. A. (2025). Digitization process in a changing global environment. *TEM Journal*, 14(1), 251-265 <https://doi.org/10.18421/TEM141-2>

11. Georgantzis Garcia, D., Kipnis, E., Vasileiou, E., & Solomon, A. (2021). Consumption in the circular economy: learning from our mistakes. *Sustainability*, 13(2), 601.

12. Hricová, R. (2022). Digitization, personalization, and automation of business processes. In *EAI International Conference on Smart Cities within SmartCity360° Summit* (pp. 53-66). Cham: Springer Nature Switzerland.

13. Kemrichard, P. (2025). The strategic digitization of esg-driven knowledge innovation systems in global business education. *Global Journal of Business and Integral Security*, 8(2).

14. Kerimoğlu, e. (2022). *Lean management during digital transformation: digitalization with lean methods*. In digital transformation: governance, re-alignment and performance (pp. 119–137).

15. Khan, S. A. (2023). E-marketing, e-commerce, e-business, and internet of things: an overview of terms in the context of small and medium enterprises (smes). *Global applications of the internet of things in digital marketing*, 332-348.

16. Kumar, B. P., & Sree, K. S. (2021). Virtualization-based digitization of a retail store: an enhanced implementation of digital transformation. *International journal of innovative technology and exploring engineering*, 10(11), 133-136.

17. Lan, T., & Ma, J. (2025). How does a city's digital economy development impact pollution emissions?. *Frontiers in Environmental Science*, 13, 1538077.

18. Lozić, J., & Fotova Čiković, K (2024). Digital transformation: the fundamental concept of transformation of business activities. In *107th International Scientific Conference on Economic and Social Development–Economic and social survival in global changes*, Zagreb (pp. 326-337).

19. Mahar, a. S., zhang, y., sadiq, b., & gul, r. F. (2025). Sustainability transformation through green supply chain management practices and green innovations in pakistan's manufacturing and service industries. *Sustainability*, 17(5), 2204.

20. Murshed, M., Khan, U., Khan, A. M., & Ozturk, I. (2023). Can energy productivity gains harness the carbon dioxide-inhibiting agenda of the Next 11 countries? Implications for achieving sustainable development. *Sustainable Development*, 31(1), 307-320.
21. Pei, J. (2024). Analysis of the impact of industrial digitization on the domestic economic cycle. *International journal of global economics and management*, 5(2), 66-71.
22. Petrynyak, U., & Kahanov, V. (2025). Digitization of the competitiveness of business structures: achievements and prospects for development. *Бізнес навізатоп*, (1).
23. Rajapaksha, A. P. (2024). Digitization in the business world. University of Kelaniya. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/378439740_Digitization_in_the_Business_World (žiūrėta 2026-03-12)
24. Reed, R. (2021). *Property development*. Routledge. Prieiga per internetą: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781003015307/property-development-richard-reed> (žiūrėta 2026-03-12)
25. Saddique, H., & Jabeen, R. (2024). Assessment the Job Satisfaction and Intention to Quit the Job among Staff Nurses. *Journal of Health and Rehabilitation Research*, 4(2), 154-158.
26. Silva, A. C., Machado, J., & Sampaio, P. (2024). Predictive quality model for customer defects. *The TQM Journal*, 36(9), 155-174.
27. Toops, S., Peterson, M. A., Vanderbush, W., Sackeyfio, N., & Anderson, S. (2022). International studies: An interdisciplinary approach to global issues (5th ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003028314>
28. Vargas-Merino, J. A., Rios-Lama, C. A., & Panez-Bendezu, M. H. (2023). Sustainable consumption: conceptualization and characterization of the complexity of “being” a sustainable consumer—a systematic review of the scientific literature. *Sustainability*, 15(10), 8401.
29. Yan, Y. P., Ghani, M. R. A., Yusuf, D. H. M., & Jusoh, M. S. (2020). Effectiveness of E-Marketing Strategies on Consumers' Purchase Intention. *International Journal of Undergraduate Research*, 2(2), 46-52.
30. Ondřej, j., & karkošková, s. (2020). Člověk a společnost [individual and society], 2020, roč. 23, č. 3, issn: 1335-3608.

THEORETICAL EVALUATION OF DIGITALIZATION SOLUTIONS TO INCREASE THE EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY OF MANUFACTURING COMPANY OPERATIONS

Abstract

The article presents a theoretical analysis of digitalization solutions for increasing the efficiency and sustainability of manufacturing company operations, presenting the concept and significance of digitalization in the manufacturing sector, reviewing the industrial digitalization concept „Industry 4.0”, digitalization technologies applied in manufacturing (IoT, MES, ERP, AI, etc.), the stages of implementing digitalization processes in manufacturing companies, and an overview of the impact of digitalization on the sustainability of manufacturing companies operations. After reviewing, systematizing, and summarizing the scientific literature, it was determined that the meaning of digitalization in the manufacturing sector is the implementation of digital technologies (software, automation, data analytics, artificial intelligence) in manufacturing processes in order to increase efficiency, quality, and competitiveness. This process is often associated with the concept of Industry 4.0. The main significance of digitalization in manufacturing: higher production efficiency, better product quality, lower production costs, faster decision-making, more flexible production, better supply chain management. Digitalization improves efficiency and sustainability through automation, data analysis and process optimization, which reduces costs and improves the quality of resources. These three concepts are closely related: digital technologies (digitization) are a tool for achieving greater efficiency, which in turn contributes to sustainable development through more efficient use of resources and the creation of innovative business models: digitalization as a means of increasing efficiency, efficiency as a path to sustainable development, interconnections and synergies.

Keywords: digitalization solutions, manufacturing company, sustainability, efficiency