

DIRBTINIO INTELEKTO TAIKYMAS SANDĖLIAVIMO PROCESUOSE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN WAREHOUSING PROCESS

DIANA ŠATEIKIENĖ, TADAS JAKŠTAS

Klaipėdos valstybinė kolegija, Lietuva

Abstract

Recently, artificial intelligence is widely used around the world in different activities, logistics processes are no exception. By using artificial intelligence technologies in warehousing, there is an opportunity to automate processes, increase operational efficiency and reduce costs. The article analyzes the possibility of using artificial intelligence in different warehousing activities, identifying the main challenges faced by using artificial intelligence. After analyzing statistical data related to warehousing automation, it was found that artificial intelligence is the main technology with the greatest expected development and widest use. The development of AI technologies in the field of warehouse logistics is essential for ensuring both sustainability and efficiency in the global market.

Key words: artificial intelligence, warehouse operations, efficiency.

Anotacija

Pastaruoju metu, dirbtinis intelektas plačiai naudojamas visame pasaulyje skirtingose veiklose, ne išimtis ir logistikos procesai. Pasinaudojant dirbtinio intelekto technologijomis sandėliavime, atsiranda galimybė automatizuoti procesus, didinti veiklos efektyvumą ir mažinti sąnaudas. Straipsnyje analizuojamos dirbtinio intelekto panaudojimo galimybės skirtingose sandėliavimo veiklose, identifikuoti pagrindiniai iššūkiai, su kuriais susiduriama naudojant dirbtinį intelektą. Išanalizavus statistinius duomenis susijusius su sandėliavimo automatizavimu, nustatyta, kad dirbtinis intelektas yra pagrindinė technologija, kurios plėtra yra numatoma didžiausia ir panaudojimas plačiausias. DI technologijų plėtra sandėlių logistikos srityje yra esminė tiek tvarumo, tiek efektyvumo užtikrinimui globalioje rinkoje.

Reikšmingi žodžiai: dirbtinis intelektas, sandėliavimo procesai, efektyvumas.

ĮVADAS

Temos aktualumas. Dirbtinis intelektas (DI) yra technologija, imituojanti žmogaus intelektinę ir kūrybinę veiklą, apimanti ne tik sudėtingus matematinius skaičiavimus. Dirbtinio intelekto tikslas yra kurti procesus, kurie ne tik mokytųsi priimti sprendimus ar padaryti išvadas, bet ir prisidėtų prie mokslo inovacijų, meno ar literatūros (Almanova, 2023). Dirbtinis intelektas yra novatoriška technologija, kuri sparčiai tobulėja ir taikoma vis įvairesnėse pramonės srityse (Gabsi, 2024). Kaip teigia Kalpokaitė (2024), dirbtinio intelekto sprendimai naudojami logistikos sektoriuje, reikšmingai didinant vykdomos veiklos efektyvumą ir inovatyvumą. DI plėtra pasaulyje spartėja, nes ši technologija tobulėja ir tampa vis labiau prieinama, o dirbtinio intelekto potencialas yra toks didelis, jog tai gali radikaliai pakeisti logistikos procesus ir tiekimo grandinės valdymą. Kiekvienas logistikos procesas, toks kaip transportavimas, sandėliavimas, rūšiavimas ir atsargų valdymas, tampa efektyvesnis, kai įtraukiamas dirbtinis intelektas ir išmaniosios technologijos (Mahroof, 2019). Pasitelkiant dirbtinį intelektą sandėlio valdymo procesuose, galima sumažinti klaidų ir pagerinti darbo saugą bei efektyvumą. Pasitelkiant robotus, dirbtinio intelekto algoritmus ir išmanias kameras, galime optimizuoti sandėlio maršrutus, tiksliai numatyti atsargų poreikius ir greitai vykdyti užsakymus (Manaviriyaphap, 2024).

Taikant minėtas technologijas pasiekiamas didesnis darbo našumas ir sumažinamos veiklos sąnaudos. Be to, dirbtinio intelekto naudojimas vykdant logistikos procesus gali reikšmingai prisidėti prie aplinkosaugos tikslų įgyvendinimo, sumažinant anglies dioksido pėdsaką, optimizuojant transporto maršrutus ir sumažinant degalų sąnaudas.

Vykdant logistines veiklas, didelis dėmesys yra skiriamas veiklų efektyvumui, todėl DI taikymas yra naudingas tiekimo grandinėse, materialijų ir informacinių srautų valdymui (Mahroof, 2019). DI technologijos, tokios kaip mašininis mokymasis, duomenų analizė realiuoju laiku, autonominės transporto priemonės ar „blockchain“ technologijos, gali padėti greičiau ir tiksliau apdoroti duomenis, išvengti nesklandumų ir užtikrinti prekių pristatymo

savalaikiškumą (Manaviriyaphap, 2024). Naudojantis dirbtinio intelekto technologijomis, atsiranda galimybė greičiau prisitaikyti prie nuolat besikeičiančių rinkos sąlygų, pagerinti klientų aptarnavimą ir išlikti konkurencingiems, nes šios technologijos suteikia galimybę optimizuoti esamus procesus bei diegti inovacijas. Investicijos į dirbtinį intelektą auga eksponentiškai ir prognozuojama, kad iki 2030 m. maždaug 70 procentų įmonių naudos dirbtinį intelektą, todėl dirbtinio intelekto technologija paskatins verslo transformacijas (Zhang, Pee, Cui, 2021). Todėl mokslininkai ir pramonė aktyviai ieško naujų būdų, kaip integruoti dirbtinio intelekto sprendimus į kasdienes logistikos procesus. Dirbtinio intelekto panaudojimas suteikia galimybę automatizuoti procesus, didinti sandėlio veiklos efektyvumą, prisidėti prie tvarumo principų įgyvendinimo, energijos suvartojimo mažinimo ir aplinkai nekenksmingų sprendimų kūrimo. Dirbtinio intelekto panaudojimas gali užtikrinti pažangų atsargų valdymą ir prognozavimą, kas suteiktų galimybę sandėliavimo veikla užsiimančioms įmonėms užtikrinti konkurencinį pranašumą tarptautinėje rinkoje.

Problematika: Per pastaruosius kelis dešimtmečius dirbtinio intelekto taikymas sparčiai vystėsi, išaugo susidomėjimas bei panaudojimas įvairiose srityse, bet dirbtinio intelekto integravimas į verslą tebėra sudėtingas (Zhang, Pee, Cui, 2021). Šiuolaikiniame pasaulyje kyla grėsmė duomenų saugumui, sandėlio veiklos stabilumui ir sistemos vientisumui (Mahroof, 2019). Įmonėms, kurios jau naudoja sandėlio valdymo sistemas, sunku integruoti dirbtinio intelekto sprendimus, reikalingi kardinalūs sistemų pokyčiai bei papildomos išlaidos siekiant suderinti technologijas. Nepaisant šių trūkumų, dirbtinio intelekto perspektyvos sandėlių logistikos srityje yra labai plačios (Manaviriyaphap, 2024). Todėl svarbu analizuoti dirbtinio intelekto taikymo galimybes sandėliavimo procesuose, užtikrinant maksimalią naudą veiklos efektyvumui ir konkurenciniam pranašumui.

Darbo tikslas: Atskleisti dirbtinio intelekto taikymo galimybes sandėliavimo procesuose.

Tyrimo metodologija. Mokslines literatūros analizė. Dokumentų turinio analizė. Statistinis metodas.

Tyrimo rezultatai. Siekiant identifikuoti dirbtinio intelekto panaudojimo galimybes sandėlių logistikoje, atlikta mokslinių šaltinių analizė, pasaulinė dirbtinio intelekto taikymo sandėliuose rinkos bei tendencijų ataskaitų analizė, dirbtinio intelekto tiekimo grandinėje rinkos dydžio tendencijų prognozės 2024–2030 metams analizė, dirbtinio intelekto poveikio darbo jėgos ateitis Europos Sąjungoje ir Jungtinėse Amerikos valstijose ekonominės studijos analizė. Atlikus statistinių duomenų analizę, identifikuota pasauliniu mastu daugiausiai sandėliuose ateityje naudojama technologija – dirbtinis intelektas.

Originalumas/reikšmė. Tyrimas originalus tuo, kad buvo atliktas dirbtinio intelekto panaudojimo galimybių ir poveikio sandėliavimo procesui identifikavimas, tokie tyrimai Lietuvoje nėra dar atlikti. Pasinaudojant tyrime gautais rezultatais, sandėliavimo paslaugas teikiančios įmonės gali įsivertinti dirbtinio intelekto panaudojimo galimybes, siekiant rinkoje tapti konkurenciniais, nes statistinių duomenų analizė parodė, kad iki 2023 metų pasaulyje automatizuojant sandėlius, daugiausia bus investuojama ir plačiausiai bus pradėtas taikyti dirbtinis intelektas, lyginant su kitomis technologijomis. Gautų rezultatų pagrindu, sandėliavimo paslaugas teikiančios įmonės gali įsivertinti dirbtinio intelekto panaudojimo galimybes atsižvelgiant į identifikuotus privalumus bei naudas tokias, kaip duomenų saugumas, patikimumas, atsekamumas ir autentiškumas, klaidų kiekio mažėjimas, popierinės dokumentacijos atsisakymas bei darbo ir veiklos efektyvumo didėjimas.

TYRIMO METODOLOGIJA

Siekiant pasiekti užsibrėžtą tyrimo tikslą, darbe analizuojamos Lietuvos ir užsienio mokslininkų publikacijos, nagrinėjančios dirbtinio intelekto panaudojimo galimybes sandėlių logistikoje. Anot Kardelio (2017), literatūros analizės tikslas – pateikti išsamų pasirinktos

tyrimų srities kontekstą, aprašant, kaip skirtingi autoriai interpretuoja tam tikrą temą, įvertinant nuomonių įvairovę, bendrus ir specifinius aspektus, todėl mokslinės literatūros analizė leidžia formuluoti tolesnių tyrimų kryptis. Anot Žukauskienės ir Erentaitės (2011), atliekant mokslinių šaltinių analizę, nagrinėjant, lyginant ir vertinant mokslinę literatūrą, siekiama įvertinti esamą situaciją bei sprendžiamas konkrečias problemas.

Pasak Tumen Akyildiz ir Ahmed (2021), kokybinis tyrimas leidžia gauti detalias išvalgas bei galias duomenų interpretacijas, kurios suteikia galimybę tyrėjams nuodugniai analizuoti ir atskleisti nagrinėjamą temą, tyrėjams suteikia galimybę visapusiškai atskleisti temą. Kaip teigia Lim, Kumar, Pandey, Verma ir Kumar (2023), kokybiniai tyrimai yra susiję su realaus pasaulio problemomis, kokybinių tyrimų metu gautos išvalgos yra ypač svarbios socialiniams mokslininkams, kokybiniai metodai užtikrina, kad sukurtos žinios būtų tiesiogiai pritaikomos ir atitiktų realaus pasaulio sudėtingumą ir poreikius – tokio, kuris dabar yra automatizavimo, skaitmeninimo, hiperjungiamumo, išsipareigojimų eroje, trikdančioje, nepastovioje, neapibrėžtoje, sudėtingoje ir dviprasmiškoje aplinkoje. Anot Lim (2024), kokybiniais tyrimams būdingas gebėjimas suteikti gilų supratimą apie sudėtingus reiškinius, daugiausia įmanomus atliekant kruopščią duomenų analizę. Todėl, siekiant identifikuoti dirbtinio intelekto veiksnius darančius įtaką sandėliavimui bei nustatyti dirbtinio intelekto panaudojimo perspektyvą sandėliuose, pasirinktas kokybinis tyrimas – dokumentų turinio analizė. Daugelis duomenų turi būti statistiškai apdoroti, o apdoroti rezultatai tampa antriniais duomenimis, kurie įgyja mokslinio apibendrinimo formą ir sudaro pagrindą tolesniems teoriniams apibendrinimams (Juozaitienė, Juozaitis ir Kerzienė, 2011; Kardelis, 2017). Atliekant kokybinius tyrimus, metodologinėje literatūroje nėra nurodymų dėl konkrečių imties dydžių (Hennink ir Kaiser, 2022), todėl taikant dokumentų turinio (content) analizės metodą, naudota ši tyrimo imtis: Pasaulinė dirbtinio intelekto taikymo sandėliuose rinkos bei tendencijų ataskaita, Dirbtinio intelekto tiekimo grandinėje rinkos dydžio tendencijų prognozė 2024–2030 metams, Dirbtinio intelekto poveikio darbo jėgos ateitis Europos Sąjungoje ir Jungtinėse Amerikos valstijose ekonominė studija. Imties vienetai tyrime buvo atrinkti pagal dokumentų svarbumą, duomenys buvo renkami iš tyrimui aktualių rašytinių, spausdintinių ir elektroninių dokumentų.

TYRIMO REZULTATAI IR DUOMENŲ ANALIZĖ

Dirbtinio intelekto panaudojimo galimybės sandėliavime

Informacijos apimtims skaitmeniniame amžiuje nuolat didėjant, kiekvieną įmonės vadovą verčia naudoti informacijos analizės įrankius, verslo sprendimams pagrįsti (Nemati, Steiger, Iyer & Herschel, 2002), o veiklos efektyvumas vis labiau priklauso nuo pažangių informacinių technologijų, kurios teisingai naudojamos suteikia nemažą konkurencinį pranašumą šiuolaikinėje sparčioje verslo aplinkoje (Yadav, Garg, Sachdeva, 2024). Kaip teigia Zaviša (2023), pasaulis keičiasi greičiau, nei mes spėjame prisitaikyti.

Technologijos sparčiai tobulėja, dirbtinio intelekto naudojimas sandėliuose yra tiesiogiai susijęs su veiklos efektyvumo didinimu. Todėl sandėliavimo procesų automatizavimui pasitelkiamas dirbtinis intelektas, to pasėkoje procesai vyksta be žmogaus įsikišimo (Tikwayo ir Mathaba, 2023). 2024 metais maždaug 25 procentai sandėlių visame pasaulyje įdiegė tam tikrą automatizavimo formą ir tik 10 procentų naudoja pažangias automatizavimo technologijas. Pasaulinė sandėlių automatizavimo rinka sparčiai auga, o per 2025 metus jos vertė sieks 35 mlrd. JAV dolerių (Global AI in Warehousing Market Size, 2023).

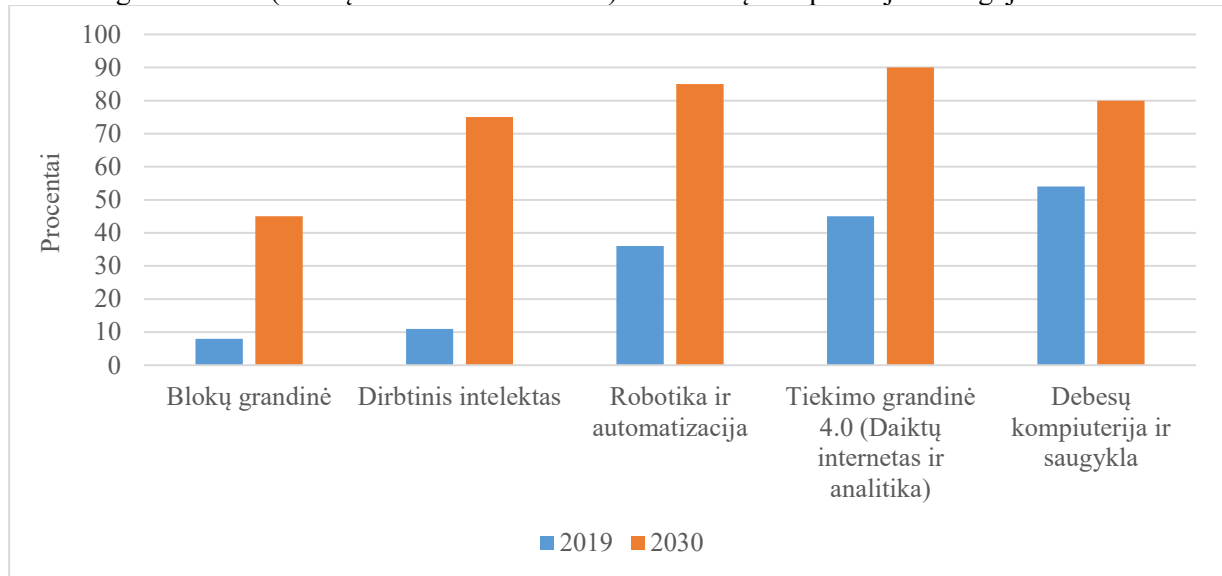
Kitas svarbus aspektas vykdant sandėliavimo procesus – atsargų prognozavimas ir jų valdymas. Dirbtinis intelektas turi galimybę numatyti paklausą tiksliau nei anksčiau buvo įmanoma (naudojantis istoriniais duomenimis bei rinkos analize), taip užtikrinama apsauga nereikalingo atsargų kaupimo arba jų stygiaus, optimizuojant tiekimo procesą (Yang, Li ir Rasul, 2021). Įmonės naudodamos dirbtinį intelektą prognozėms atlikti, tiekimo grandinės

valdyme klaidų sumažina nuo 30 iki 50 procentų, taip sandėlio išlaidos sumažinamos nuo 10 iki 40 procentų. Kita dirbtinio intelekto panaudojimo galimybė sandėlyje yra maršrutų ir procesų optimizavimas, dirbtinis intelektas padeda tinkamai išnaudoti sandėliavimo plotus, taupant laiką, didinant efektyvumą ir sunaudoti kuo mažiau energijos (Tikwayo ir Mathaba, 2023). Pasitelkiant dirbtinį intelektą prekių gabenimui sandėliuose, gabenimo laikas sumažėja iki 25 procentų, o transportavimo kaštai iki 22 procentų. Kaip teigia Zhang, Pee, Cui (2021), dirbtinio intelekto technologijos, automatizuotos sistemos ir dirbtinio intelekto valdomi robotai, ne tik sumažina darbo sąnaudas, bet ir padeda pagerinti sandėlio veiklos kokybę ir efektyvumą, bei pasiekti didesnę užsakymų apdorojimo tikslumą ir greitį. Dirbtinis intelektas, naudojamas robotų valdymui, suteikia galimybę pagreitinti prekių paiešką ir užsakymų surinkimą sandėliuose bei padidinti prekių saugojimo efektyvumą. Naudodamas pažangius jutiklius ir navigacijos technologijas, robotas gali atlikti tokias užduotis kaip prekių surinkimą, rūšiavimą ir pristatymą, to pasekoje mažėja klaidų tikimybė ir didėja našumas (Ellithy, Salah, Fahim, Shalaby, 2024). Dirbtinio intelekto sprendimai gali padėti prognozuoti pardavimus ir valdyti atsargas, užtikrinant tikslesnį užsakymų apdorojimą ir geresnį atsargų judėjimo stebėjimą. Dirbtinis intelektas leidžia automatizuoti procesus, kuriuos atlieka sandėlio darbuotojai, integruojant dirbtinį intelektą ir žmogiškuosius išteklius į darbo procesą bei įveikiant darbo jėgos ir krūvio apribojimus (Zhang, Pee, Cui, 2021). Panaudojant dirbtinį intelektą sandėliavimo procesuose, rankų darbo sumažėja iki 35 procentų, todėl sandėlio veiklos efektyvumas padidėja.

Veiklos kontrolė ir saugumas yra svarbūs veiksniai ne tik sandėliuose, bet ir gyvenime, nes tai užtikrina vykdomos veiklos efektyvumą ir suteikia galimybę minimizuoti klaidų kiekį, todėl DI gali būti naudojamas kokybei didinti ir klaidoms mažinti. Pasitelkiant dirbtinį intelektą galima stebėti sandėlio perimetrą ir taip užtikrinti sandėlyje vykstančių procesų saugumą (Yang, Li ir Rasul, 2021). Sandėliavimo procesų kokybei augant bei klaidoms mažėjant, planavimui naudojant dirbtinį intelektą, galima sumažinti išlaidas. Pasitelkiant dirbtinio intelekto technologijomis, daug greičiau galima apdoroti didžiulius duomenų kiekius, tai suteikia sandėlio vadovams greičiau reaguoti į įvairias situacijas ir spręsti kylančias problemas (Tikwayo ir Mathaba, 2023). Naudodamiesi dirbtinio intelekto technologija, AIV gali mokytis ir prisitaikyti prie besikeičiančių aplinkos sąlygų, užtikrindami sklandų ir saugų prekių judėjimą (Ellithy, Salah, Fahim, Shalaby, 2024).

Dirbtinis intelektas naudoja tokias technologijas kaip grupavimas, neuroniniai tinklai, regresija, sprendimų medžiai, palaikymo vektorinės mašinos, Gauso procesai ir ilgalaikės bei trumpalaikės atminties tinklai, šie metodai leidžia tiksliai prognozuoti paklausą, nes jie vadovaujasi duomenimis ir nesiremia išankstinėmis prielaidomis (Albayrak Ünal, ErKayman, ir Usanmaz, 2023). Dirbtinis intelektas gali atlikti bet kokias užduotis, atsakyti į įvairius klausimus, todėl jo panaudojimas vis didėja. Kaip teigia Kaveckė ir Paužuolienė (2024), dirbtinio intelekto taikymo galimybės logistikos procesuose gali būti įvairios ir tai priklauso nuo organizacijos tikslų. Anot Kalpokaitės (2024), dirbtinis intelektas vis plačiau naudojamas ir tiekimo grandinės valdyme, priimant sprendimus, atliekant sudėtingas planavimo veiklas, tokias kaip paklausos prognozavimas, pristatymo laiko nustatymas ir daugelį kitų. Dirbtinis intelektas sandėliavime gali būti naudingas ir darbo krūvio skaičiavime bei planavime. Kaip teigia Sodiya, Umoga, Amoo ir Atadoga (2024) pasitelkiant dirbtinio intelekto technologijomis galima prognozuoti darbo valandas bei paskirstyti sandėlio darbuotojams, atlikti išteklių planavimą įvertinant sandėlio parametrus. Kalpokaitės (2024) teigia, kad dirbtinis intelektas sparčiai vystosi, o procesų veikimas tampa žymiai galingesnis. Nors dirbtinio intelekto potencialas yra didelis, dar nėra iki galo aišku, kaip tinkamai integruoti dirbtinį intelektą su esamais organizaciniais procesais ir sistemomis. Tyrimai rodo, kad organizacijos turi ne tik taikyti dirbtinį intelektą, bet ir derinti jį su kitais ištekliais, tokiais kaip darbuotojai ir darbo procesai, kad pasiektų geriausių rezultatų (Zhang, Pee, Cui, 2021). Šiuo metu naujos

technologijos, tokios kaip dirbtinis intelektas, blokų grandinės, daiktų internetas ir didieji duomenys, stipriai keičia logistinių procesų valdymą. 1 paveiksle pateikta pasaulinė prognozė, kurioje akivaizdus sandėliuose naudojamų technologijų augimas iki 2030 metų, didėjanti tokių technologijų kaip blokų grandinė „Blockchain“, dirbtinis intelektas, robotika ir automatizacija, Tiekimo grandinė 4.0 (daiktų internetas ir analitika) bei debesų kompiuterija ir saugojimas.



1 pav. Technologijų diegimas sandėlių automatizavime pasauliniu mastu 2019 ir 2030 metais
Šaltinis: sudaryta autorių remiantis Placek (2022)

Dirbtinis intelektas, gali apdoroti didelius duomenų srautus ir prognozuoti paklausą, todėl sandėliuose lengviau planuoti atsargas. Blokų grandinė leidžia saugiai ir skaidriai registruoti sandorius, atsiranda galimybė užtikrinti prekių kilmę, to pasėkoje sumažėja sukčiavimo atvejų ir gerėja tiekimo proceso skaidrumas. Daiktų internetas suteikia galimybę stebėti prekių judėjimą realiuoju laiku. Didieji duomenys leidžia analizuoti vartotojų elgseną ir rinkos tendencijas, todėl įmonės gali geriau pažinti savo klientus ir kurti personalizuotus pasiūlymus.

Planuojant procesus ir įvertinant darbuotojų poreikį pagal darbo išteklius, galima pasiekti daug geresnių rezultatų, to pasakoje visa veikla tampa efektyvesnė. Sandėliuose laikomos įvairios prekės, todėl pasitelkiant dirbtinį intelektą galima prekes paskirstyti atsižvelgiant į jų paklausą. Kaip teigia Yang, Li ir Rasul (2021) dirbtinis intelektas gali suskirstyti prekes atsižvelgiant į jų paklausą, todėl perkamesni produktai būtų padėti arčiau, aiškiai matomose ir prieinamose vietose, tam kad paklausiausios prekės išdėstomos lengviau pasiekiamose lentynose, dėl to sutrumpėja prekių paėmimo ir išsiuntimo laikas bei padidėja bendras atliekamų procesų greitis ir efektyvumas. Kaip teigia Tikwayo ir Mathaba (2023), dirbtinio intelekto technologijos gali padėti kuo greičiau identifikuoti trikdžius ir rasti jiems sprendimo būdus, pavyzdžiui, siuntimo vėlavimą, tiekimo trūkumą ir procesų klaidas užtikrinant veiklos tęstinumą ir efektyvumą. Kaip teigia Ellithy, Salah, Fahim, Shalaby (2024) galite sukurti automatizuotą valdomą transporto priemonės sistema (AGV), kad ji sąveikautų su kitomis automatikos sistemomis pramonės 4.0 kontekste. Dirbtinio intelekto algoritmai gali būti naudojami duomenų analizei realiuoju laiku ir optimaliam maršrutų planavimą, didinant efektyvumą ir mažinant klaidų tikimybę sandėlyje. Anot Zhang, Pee, Cui (2021), dirbtinio intelekto technologijos, tokios kaip AGV, mišrios lentynų saugyklos, plačiai naudojamos sandėliuose, siekiant padidinti darbo efektyvumą ir užsakymų tikslumą. Šios technologijos padeda išspręsti pagrindines sandėliavimo problemas, tokias kaip vietos trūkumas, personalo trūkumas, prastas sandėlio išdėstymas ir pasenę informacinių sistemų sprendimai. Naudodami dirbtinį intelektą sandėliai gali stebėti ir valdyti visą tiekimo grandinę realiuoju laiku – nuo prekių gavimo iki jų paskirstymo klientams, sandėliai turi galimybę optimaliai valdyti atsargas

ir išvengti deficito arba atsargų pertekliaus (Yang, Li ir Rasul, 2021). Dirbtinio intelekto technologijos, tokios kaip gilusis mokymasis, taikomos siekiant nustatyti optimalią atsargų valdymo politiką. Tyrimų metu, geriausia rezultatas yra pasiektas 88 procentų tikslumo, optimizuojant didmenininko atsargų valdymo strategiją (Albayrak Ünal, Erkeyman, ir Usanmaz, 2023). Siekiant išvengiant atsargų deficito ar pertekliaus, planavimas turi būti ilgalaikis, to kiekvienas sandėlis ir siekia. DI gali būti naudojamas tvarumui skatinti, pavyzdžiui, optimizuojant transporto maršrutus ir mažinant energijos suvartojimą sandėliuose. Tai padeda ne tik sumažinti darbo sąnaudas, bet ir prisideda prie ekologijos tikslų įgyvendinimo, kadangi tai mažina išmetamų teršalų kiekį. Dirbtinis intelektas padeda efektyviau naudoti energiją ir mažinti ekologinį pėdsaką, o tai ilgoje perspektyvoje gerins sandėlių veiklos efektyvumą ir aplinkos tvarumą (Tikwayo ir Mathaba, 2023). Prognozavimo sistemos, pagrįstos dirbtiniu intelektu, padeda efektyviai valdyti atsargas. Analizuojant istorinę informaciją, galima tiksliai numatyti prekių paklausą, taip išvengiant tiekimo grandinės trikdžių. DI sprendimai sandėliavime suteikia konkurencinį pranašumą, didesnę operacijų lankstumą ir efektyvumą, tuo pačiu sumažindami klaidų riziką bei užtikrindami aukštesnę paslaugų kokybę. Šios technologijos tampa nepakeičiamu įrankiu šiuolaikiniuose logistikos procesuose (Gabsi, 2024).

Dirbtinis intelektas renka duomenis, kad apskaičiuoti darbuotojų darbo našumą ir identifikuoti koreguotinus akcentus, tuomet kiekvienas sandėlio darbuotojas galėtų analizuoti savo klaidas, didinti efektyvumą bei gerinti visą įmonės ir komandos veiklą, siekiant aukščiausių rezultatų. Tokią metodiką pritaikius, pakiltų pasaulinis sandėlių logistikos lygis. Dirbtinis intelektas keičia logistikos sistemą, spartina procesus ir leidžia lengviau pasiekti reikiamą informaciją, gerina kokybę ir klientų pasitenkinimą (Kalpokaitė, 2024). Vienas iš dirbtinio intelekto pavyzdžių – sandėlio valdymo sistemų integravimas su DI pagrįstomis vaizdo kameromis, kad būtų galima lanksčiau, skaidriau ir savarankiškiau valdyti sandėlį (Ng, Tai, Tan, ir Abd Rahman, 2021). Siaurasis dirbtinis intelektas (Narrow AI) yra plačiai taikomas sandėliavimo srityje dėl savo gebėjimo specializuotis konkrečiose užduotyse. Ši technologija, naudojama anomalijų nustatymui, procesų optimizavimui ir automatizuotų sistemų valdymui. Sandėliuose DI pritaikomas prekių rūšiavimui, atsargų valdymui bei transportavimo maršrutų optimizavimui, didinant efektyvumą ir mažinant klaidų tikimybę (Gabsi, 2024). Dirbtinio intelekto technologijos gali prisidėti ir prie saugos užtikrinimo, DI tinkamu laiku iš anksto gali numatyti apie galimus pavojus, kurie gali sukelti traumas ar nelaimingus atsitikimus. Pavyzdžiui, dirbtinis intelektas gali stebėti ar sandėlio darbuotojai tinkamai naudoja saugos įrangą ir įspėti arba patarti, kai saugos įranga naudojama netinkamai, bei identifikuoti pavojingą ir netinkamą elgesį sandėliuose, taip mažinant nelaimingų atsitikimų skaičių, bei didinant sandėlio veiklos efektyvumą (RTS labs, 2024).

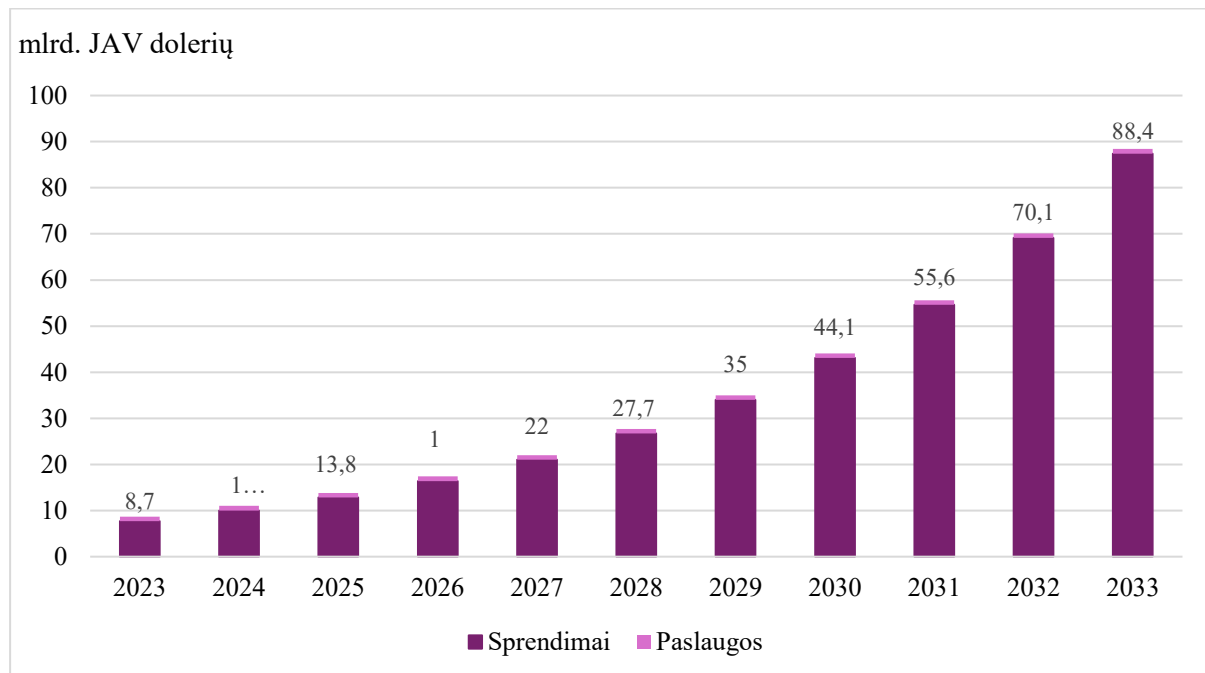
Dirbtinis intelektas sandėliuose padeda kurti autonomines sistemas, kurios atlieka prekių surinkimą, rūšiavimą ir gabenimą, didindamos efektyvumą ir mažindamos klaidų tikimybę. Kompiuterinis matymas naudojamas gaminio atpažinimui ir kokybės kontrolei. Dirbtinio intelekto sprendimai gali padėti darbuotojams pasiekti aiškius tikslus ar efektyviau atlikti užduotis, prisidedant prie padidėjusios savivertės. Tačiau, kai technologijos perima didžiąją atsakomybės dalį, darbuotojai turi galimybę sulaukti įvertinimo ar grįžtamojo ryšio iš kolegų ar vadovų (Smids, Berkers, Blanc, Rispens, Nyholm, 2023). Dirbtinis intelektas gali optimizuoti atsargų valdymą ir dinamiškai pritaikyti gamybos procesus prie realaus laiko duomenų ir rinkos pokyčių. Šios technologijos pagerina prekių judėjimą, padidina lankstumą, garantuoja greitą reagavimą į užsakymus ir suteikia konkurencinį pranašumą (Gabsi, 2024). Autonomija: dirbtinio intelekto sprendimai sandėlio valdyme, tokie kaip automatizuotos užsakymų surinkimo sistemos, gali sumažinti darbuotojų autonomiją, nes darbuotojų elgesį griežtai kontroliuoja technologijos (Smids, Berkers, Blanc, Rispens, Nyholm, 2023). Automatiniai robotai ir DI algoritmai užtikrina didesnę tikslumą, sumažina išlaidas ir pagerina

saugumą. Be to, dirbtinis intelektas gali padėti numatyti prekių poreikius ir greičiau įvykdyti užsakymus, taip pagerindamas bendrą saugojimo efektyvumą. Be autonominių transporto priemonių ir duomenų analizės, DI gali padėti užtikrinti savalaikį prekių pristatymą ir sumažinti anglies dioksido išmetimą (World Economic Forum, 2023). Dirbtinio intelekto integravimas į Pramonę 4.0 ne tik pagerins veiklos efektyvumą ir automatizavimą, bet ir leis kurti autonomines sistemas ir robotus, dar labiau prisidedant prie didesnio automatizavimo sandėliuose ir gamyklose. Šios technologijos, leidžia tradicinę gamybą paversti intelektualiomis gamybos sistemomis, kurios yra lankstesnės, efektyvesnės ir pritaikomos prie besikeičiančių klientų poreikių (Gabsi, 2024). DI pagrįsta balso rinkimo technologija sandėlyje automatizuoja užsakymų rinkėjų veiklą ir pateikia išsamias prekių rinkimo ir tvirtinimo instrukcijas. Ši technologija sumažina darbuotojų gebėjimą ugdyti įgūdžius, priimti sprendimus ir veikti savarankiškai, mažindama ir jų darbo prasmę (Smids, Berkers, Blanc, Rispens, Nyholm, 2023). Dirbtinio intelekto panaudojimas plačiai gali būti taikomas sandėliavimo procesų automatizavimui: prekių priėmimui, saugojimui, rinkimui ir pakavimui, nes brūkšninių kodų skaitytuvai ir algoritmai ne tik valdo atsargas, bet seka produktyvumą ir efektyviai vadovauja darbuotojams (European Commission, 2022). Dirbtinis intelektas sandėliuose gali būti panaudojamas prekių saugojimo, surinkimo, transportavimo procesams, todėl daugelis užduočių atliekamos efektyviau, dažnai pasiekiant geresnių rezultatų, kai žmogaus įsikišimas yra minimalus. Dirbtinis intelektas sandėliuose gali būti taikomas atsargų prognozavimui ir valdymui, veiklos efektyvumo didinimui, kontrolei, saugumui, darbo našumo didinimui bei darbuotojų saugumui.

Dirbtinio intelekto panaudojimo iššūkiai bei perspektyvos sandėliavime

Dirbtinio intelekto technologijos vis sparčiau integruojamos į sandėliavimo procesus, siekiant padidinti veiklos efektyvumą, sumažinti sąnaudas ir optimizuoti išteklius. DI taikymas sandėliavime apima robotiką, duomenų analizę, mašininę mokymąsi, prognozavimo modelius bei realaus laiko valdymo sistemas, kurios leidžia spręsti sudėtingus logistikos uždavinius. Dirbtinio intelekto atsiradimui ir šios technologijos tobulinimui yra reikalingos didelės investicijos. Vienas iš pagrindinių dirbtinio intelekto integracijos į pasaulį, verslą bei sandėlių logistiką trūkumų yra didelės pradinės investicijos. Įmonės, turi ne tik investuoti į pažangias technologijas, bet ir įdiegti naujas sistemas, o tai reikalauja nemažų investicijų (RTS labs, 2024). Didėjantis logistikos procesų skaitmenizavimui siūlomų sprendimų kiekis bei jų įvairovė formuoja naują problemą – kaip logistikos įmonėms išsirinkti tinkamiausią ir optimaliausią sprendimą jų vykdomų procesų skaitmenizavimui (Almanova, 2023). Papildoma veikla yra darbuotojų mokymas, nes darbuotojai privalo išmokti naudotis naujomis technologijomis, o toks mokymas užima daug laiko bei reikalauja finansinių resursų. Dirbtinio intelekto algoritmai veikia remdamiesi dideliais duomenų kiekiais, todėl siekiant efektyviai optimizuoti duomenų saugojimo procesus, būtina užtikrinti turimų duomenų tikslumą. Tačiau prasta duomenų kokybė arba ribotas jų prieinamumas gali reikšmingai sumažinti DI veiksmingumą (RTS labs, 2024). Dirbtinis intelektas atlieka svarbų vaidmenį Pramonėje 4.0, leidžiant mašinoms atlikti protingas užduotis ir priimti sprendimus be žmogaus įsikišimo. Išmaniosiose gamybos sistemose DI algoritmai gali analizuoti ir interpretuoti didelius duomenų kiekius, optimizuotų gamybos procesus, nustatytų gedimus ir anomalijas (Gabsi, 2024). Dirbtinio intelekto valdomos sandėlių automatizavimo sistemos yra pažeidžiamos kibernetinio saugumo rizikos, pvz., kenkėjiškų programų, išpirkos reikalaujančių programų ir įsilaužimo atakos, kurios gali sutrikdyti operacijas, pažeisti duomenų vientisumą bei kelti grėsmę sandėlio saugumui (Sodiya, Umoga, Amoo ir Atadoga, 2024). Norint pasiekti konkurencinį pranašumą, dirbtinis intelektas turi būti valdomas pagal išteklių principus, tokius kaip išteklių struktūrizavimas, kaupimas ir naudojimas, nes tai užtikrina efektyvų išteklių naudojimą ir sukuria vertę organizacijai (Zhang,

Pee, Cui, 2021). Dirbtinio intelekto sandėliuose panaudojimas auga, prognozuojamas spartus investicijų augimas į dirbtinio intelekto technologijų integravimą sandėlių logistikoje (2 pav.).



2 pav. Dirbtinio intelekto pritaikymas sandėliavimo rinkoje (2024-2033).
Šaltinis: Sudaryta autorių remiantis Global AI in Warehousing Market Size (2023).

Vadovaujantis atliktomis prognozėmis, kurių rezultatas pateiktas paveiksle, investicijos į dirbtinio intelekto panaudojimą ir pritaikymą sandėliavimo procesuose sparčiai padės augti, ir 2033 metais pasieks 88,4 mlrd. JAV dolerių. Dirbtinio intelekto panaudojimas sandėlio valdyje taikomas naudojant mašininį mokymą, robotiką, atliekant prognozavimą bei siekiant optimizuoti įvairias sandėlio valdymo operacijas. DI padeda pagerinti atsargų valdymą, supaprastinti užsakymų apdorojimą ir pagerinti bendrą logistikos efektyvumą, numatant produktų paklausą, optimizuojant atsargų kiekį ir automatizuojant pasikartojančias užduotis.

Integruoti DI su jau esamomis sistemomis yra sudėtinga, kai kuriuose sandėliuose veikia įvairios sistemos, todėl įdiegti dirbtinio intelekto sprendimus yra techniškai sudėtinga. Dažnai, tam reikia iš esmės pertvarkyti sistemas, o dėl neteisingos integracijos gali sutrikti visos sistemos procesai. Nepavyksta išvengti ir kibernetinio saugumo iššūkių, kurie gali sukelti problemų (Ünal, Erkayman, Usanmaz, 2023). Dirbtinio intelekto naudojimas sandėliuose, derinimas su aukšto lygio automatizavimu, gali padidinti kibernetinių išpuolių riziką (RTS labs, 2024). Kaip teigia Ellithy, Salah, Fahim ir Shalaby naudojant dirbtinį intelektą, autonominiai mobilieji krautuvai gali aptikti ir stebėti padėklus sandėliuose, kur vykdomas krovinių transportavimas. Tokios sistemos užtikrina didesnę lankstumą, optimizuoja prekių saugojimo procesus, mažina su saugojimo automatizavimu susijusių klaidų skaičių ir gerina bendrą efektyvumą (2024). Dirbtinio intelekto taikymas sandėliuose yra perspektyvus ir gali žymiai pagerinti sandėlio valdymą, įskaitant elektroninės prekybos vykdymo centrus. Dirbtinis intelektas gali optimizuoti sandėlio operacijas ir padidinti produktyvumą, įveikdamas tokius suvaržymus, kaip darbo jėgos trūkumas ir fiziniai apribojimai (Zhang, Pee, Cui, 2021). Internetinėje prekyboje, paskambinus telefonu vis rečiau girdėsime žmogišką balsą, vis rečiau pamatysime žmogų, valdantį įvairius mechanizmus ar dirbantį įprastą rutininį darbą (Zaviša, 2023). Iššūkiai ir dirbtinio intelekto sprendimai – dirbtinio intelekto technologijos diegimas sandėliuose susiduria su tokiais iššūkiais, kaip greitesnis užsakymų apdorojimas ir besikeičianti paklausa (dėl sezoniškumo ir specialių pardavimų). DI sprendimai padeda išspręsti šiuos

iššūkius, užtikrindami tikslų atsargų judėjimo stebėjimą ir optimizuodami užsakymų apdorojimą (Zhang, Pee, Cui, 2021). Kibernetinio saugumo trūkumai gali nulemti duomenų praradimą, gamybos sutrikimus ir kitus iššūkius, todėl įmonės turi investuoti į saugumo priemones, kurios mažintų rizikas ir grėsmes vardan savo gerovės (RTS labs, 2024). DI yra naudojamas klientų segmentams identifikuoti, tačiau svarbu įsitikinti, tam kad šie segmentai yra patikimi ir lengvai interpretuojami (Jauhar, Harinath, Krishnaswamy, Paul, 2024).

Remiantis prognozėmis, iki 2027 m. dirbtinio intelekto taikymas logistikos srityje gali pakeisti apie 28 procentus specialistų darbo vietų (Kalpokaitė, 2024). Kaip teigia Ellithy, Salah, Fahim, Shalaby (2024), daugelyje sandėlių, užsakymų rinkimas yra viena brangiausių ir daug laiko reikalaujančių veiklų, todėl dirbtinio intelekto sprendimai gali padėti automatizuoti šį procesą, sumažinant darbo jėgos paklausą ir efektyviau valdant sandėlio atsargas bei užsakymų vykdymą. Tai yra pagrindinė dirbtinio intelekto taikymo sritis sandėliuojant, nes tai tiesiogiai leidžia sutaupyti išlaidas ir padidinti produktyvumą. Dirbtinio intelekto sprendimai sandėliuose, automatizuojant procesus, gali sumažinti socialinių ryšių tarp darbuotojų svarbą, nes mažėja kolegų sąveikos poreikis. Tai gali paveikti bendrą darbuotojo bendrumo jausmą, nors tai yra svarbus prasmingo darbo aspektas. Dirbant sandėlyje, kuriame naudojama dirbtinio intelekto technologija, darbuotojams tenka mažiau galimybių lavinti įgūdžius, kadangi ši technologija automatizuoja daugumą užduočių, todėl riboja darbuotojų galimybes įgyti naujų žinių ar išsiugdyti gebėjimus, kurie prisideda prie kompetencijų tobulinimo (Smids, Berkers, Blanc, Rispens, Nyholm, 2023). Kaip teigia Gabsi (2024), įtraukus dirbtinį intelektą į Pramonę 4.0, galima sukurti autonomines sistemas ir robotus, kurie paspartins gamybinių įmonių ir sandėlių automatizavimą. DI technologijos gali padėti gerinti gamybos proceso lankstumą ir pritaikomumą, kurios naudojamos kokybės kontrolėje, siekiant realiu laiku aptikti ir nustatyti defektus bei pagerinti galutinio produkto kokybę. Dirbtinio intelekto sprendimai sandėliuose gali prisidėti prie sandėliavimo procesų tobulinimo, ko pasėkoje didės sandėliavimo veiklos efektyvumas ir kokybė (Smids, Berkers, Blanc, Rispens, Nyholm, 2023). Dirbtinio intelekto technologijos, tokios kaip mašininis mokymasis ir gilusis mokymasis, atsargų valdymą paverčia efektyviu ir lanksčiu procesu. DI leidžia greitai analizuoti didelius ir įvairius duomenų rinkinius, siekiant pagerinti paklausos prognozavimo tikslumą, todėl padeda išvengti per didelio ar netinkamo atsargų lygio, sumažinti veiklos sąnaudas ir pagreitinti klientų aptarnavimą (Albayrak Ünal, Erkayman, ir Usanmaz, 2023). Išmanieji įrenginiai galintys atlikti užduotis, kurioms paprastai reikia žmogaus intelekto, pasižymi ir trūkumais tokiais kaip didelis išteklių poreikis bei turi būti aiškūs, atskirti, unifikuoti procesai, kuriuos norime pavesti atlikti dirbtiniam intelektui (Zaviša, 2023). Išliekanti problema, kuri yra ne tik logistikoje ar sandėliavime, bet ir daugumoje kitų sferų, tai darbuotojų pasipriešinimas – nenoras dirbti. Įdiegiant dirbtinio intelekto sprendimus, kai kurie darbuotojai gali priešintis technologinėms naujovėms, tai veikia yra baimė prarasti darbo vieta. Be to reikia apmokyti darbuotojus, kad pastarieji galėtų efektyviai naudotis šias technologijas, tačiau tai gali būti ypatingai sudėtinga tose vietose, kur technologinis raštingumas nėra aukštas (RTS labs, 2024). Įdiegus sandėliuose dirbtinį intelektą ir plačiai jį naudojant, sandėliuose gali atsirasti ir naujų darbo vietų, bei poreikis naujų specialistų tokių kaip skaitmeninio inžinieriaus asistentas arba sandėlio roboto inžinierius (European Commission, 2022). Kaip teigia Sodiya, Umoga, Amoo ir Atadoga (2024), vienas iš pagrindinių iššūkių, su kuriais susiduriama taikant dirbtinio intelekto technologijas sandėliavime, yra privatumas ir duomenų saugumas. DI sistemoms reikia rinkti didelius duomenų išteklius iš įvairių šaltinių, įskaitant kameras ir jutiklius, o tai gali kelti grėsmę duomenų privatumui ir apsaugai nuo neteisėto naudojimo, o norint apsaugoti darbuotojus ir klientus, būtina griežtai laikytis privatumo taisyklių. Semantiniai aspektai, tokie kaip savigarba, įgūdžių ugdymas ir savarankiškumas, turi būti laikomi pagrindiniais kriterijais, į kuriuos reikia atsižvelgti diegiant DI sprendimus saugykloje (Smids, Berkers, Blanc, Rispens, Nyholm, 2023). Nors dirbtinis intelektas sparčiai vystosi, technologija dar nėra visiškai

pritaikyta visiems saugojimo poreikiams. Pavyzdžiui, sudėtingų užduočių, kurioms reikia priimti svarbius sprendimus, automatizavimas su daugeliu neaiškių veiksmų – nenuspėjamų tiekimo sutrikimų, vis dar susiduria su apribojimais. DI sistemos ir toliau turi būti tobulinamos, kad galėtų spręsti netikėtas problemas ir greitai prisitaikyti prie esančių situacijų (RTS labs, 2024). Dirbtinio intelekto technologijos saugykloje, tokios kaip balso komandos ar optimizuoti darbo maršrutai, sumažina socialinių santykių tarp kolegų svarbą. Tačiau tinkamai įdiegta technologija gali prisidėti prie darbo prasmės, jei naudojama kaip priemonė ir padeda stiprinti savivertę, leidžiant darbuotojams pasiekti aiškius tikslus arba efektyviau atlikti užduotis (Smids, Berkers, Blanc, Rispens, Nyholm, 2023). Dirbtinio intelekto algoritmai, tokie kaip gilus sustiprinimo mokymasis (DRL), naudojami optimizuoti atsargų valdymo politiką ir spręsti sudėtingas sekos sprendimo problemas (Albayrak Ünal, ErKayman, ir Usanmaz, 2023). Dirbtinis intelektas, ypač mašininio mokymosi ir regėjimo technologijos, padės autonominiams mobiliesiems robotams (AMR) valdyti užduotis, kai sandėliuose atsiranda neprognozuojamų kliūčių ir realiu laiku atlikti prekių paiešką bei kontrolę. Be to, DI technologijos, tokios kaip IoT mokymasis, leidžia AGV sistemoms mokytis ir prisitaikyti prie besikeičiančių situacijų, taip pagerindamos jų savarankiškumą ir efektyvumą (Ellithy, Salah, Fahim, Shalaby, 2024). Pasak Albayrak Ünal, ErKayman, ir Usanmaz (2023), DI technologijos atsargų valdymui yra dar tobulintinos, o jų potencialas siūlo naujas galimybes veiklos optimizavimui. Ateities tyrimuose reikėtų gilintis į algoritmų trūkumus ir juos spręsti, ieškoti būdų labiau pritaikyti DI technologijas sandėliavimo procesuose. Diegiant dirbtinio intelekto technologiją, tuo pačiu metu turėtų būti sprendžiami ir tradiciniai darbo klausimai: privatumas, darbo užmokestis, darbo laikas bei prasmingo darbo klausimai (Smids, Berkers, Blanc, Rispens, Nyholm, 2023). Kaip teigia Albayrak Ünal, ErKayman, ir Usanmaz (2023), dirbtinio intelekto technologija gali būti naudojama sprendžiant sudėtingus atsargų valdymo klausimus, tokius kaip staigūs paklausos pokyčiai, dideli prekių kiekiai ir trumpas prekių galiojimo laikas. Naudodami DI technologiją, galite dinamiškai prisitaikyti prie aplinkos pokyčių, sumažinti veiklos sąnaudas ir efektyviau valdyti savo tiekimo grandinę. Skaitmeninės technologijos ir dirbtinis intelektas keičia sandėliavimo pobūdį, padidintą darbo našumą. Ateityje sandėliai gali tapti visiškai automatizuoti, kitaip dar vadinamo „tamsūs sandėliai“ (angl. *“dark warehouses”*), kur dirbtinis intelektas visiškai pakeistų žmogaus darbą (European Commission, 2022). Apibendrinant, galima teigti, kad dirbtinio intelekto technologija suteikia daug galimybių sandėlių logistikos veiklai, tačiau norint pasiekti ilgalaikių rezultatų, būtina imtis atsargumo priemonių ir pasirengti įveikti techninius, finansinius ir žmogiškuosius išteklius.

IŠVADOS

1. Dirbtinio intelekto (DI) panaudojimas sandėliuose galimas procesų optimizavimui, veiklų automatizavimui, atsargų prognozavimui bei saugumui užtikrinti. DI technologijos sandėliuose mažina rankų darbo poreikį, automatizuodamos procesus: rūšiavimą, transportavimą ir atsargų valdymą. DI gali tiksliai numatyti atsargų poreikį, užtikrindamas optimalų atsargų kiekį tiekimo grandinėje. DI leidžia efektyviau sandėliuose išdėstyti krovinius, optimizuoti darbo procesus, sumažinti energijos sąnaudas ir padidinti veiklos efektyvumą, tai padeda išvengti klaidų ir gerina bendrą procesų kokybę. Pasitelkiant DI technologijas nuolat stebima sandėlio aplinka, vertinamas darbuotojų elgesys ir užtikrinamas saugos taisyklių laikymąsi, taip sumažinant nelaimingų atsitikimų riziką ir didinant bendrą sandėlio saugumą.
2. Dirbtinio intelekto (DI) integravimas į sandėlių valdymą susiduria su iššūkiais ir trūkumais, tačiau potencialas bei galimybės rodo reikšmingas šios srities tobulinimo perspektyvas. Pagrindiniai iššūkiai, su kuriais susiduriama sandėliuose taikant DI technologiją: didelės pradinės investicijos, darbuotojų pasipriešinimas, kibernetinis saugumas, technologijų suderinamumas, o DI efektyvumas tiesiogiai priklauso nuo duomenų gausos ir tikslumo, nes

mažos kokybės ar trūkstami duomenys riboja DI veiksmingumą. Vadovaujantis prognozėmis, automatizuojant sandėlius didžiausias dėmesys bus skiriamas dirbtinio intelekto panaudojimui, nes DI integracija sandėlių valdyje atveria reikšmingas perspektyvas sandėlių valdymą, bet ir prisidės prie veiklos efektyvumo bei aplinkos tvarumo gerinimo.

LITERATŪRA

1. Akyıldız, S. T., & Ahmed, K. H. (2021). An overview of qualitative research and focus group discussion. *International Journal of Academic Research in Education*, 7(1), 1-15. doi: <https://doi.org/10.17985/ijare.866762>
2. Albayrak Ünal, Ö., Erkayman, B., & Usanmaz, B. (2023). Applications of artificial intelligence in inventory management: A systematic review of the literature. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 30(4), 2605-2625. doi: <https://doi.org/10.1007/s11831-022-09879-5>
3. Almanova, A. (2023). UAB „NTG Lithuania“ konteinerių pristatymo proceso optimizavimas: dirbtinio intelekto priemonių panaudojimo atvejis. *Lithuanian Maritime Academy*, 5.
4. Ellithy, K., Salah, M., Fahim, I. S., & Shalaby, R. (2024). AGV and Industry 4.0 in warehouses: a comprehensive analysis of existing literature and an innovative framework for flexible automation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 134(1), 15-38.
5. [European Commission](https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/impact-artificial-intelligence-future-workforces-eu-and-us) (2022). The impact of artificial intelligence on the future of workforces in the European Union and the United States of America. Prieiga internetu: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/impact-artificial-intelligence-future-workforces-eu-and-us>
6. Gabsi, A. E. H. (2024). Integrating artificial intelligence in industry 4.0: insights, challenges, and future prospects—a literature review. *Annals of Operations Research*, 1-28. doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-024-06012-6>
7. Global AI in Warehousing Market Size, Share, Trend Analysis Report By Component (Solutions, Services), By Application (Inventory Management, Order Picking & Sorting, Warehouse Optimization, Predictive Maintenance, Other Applications), By End-User Industry (E-commerce, Retail, Manufacturing, Healthcare, Food & Beverage, Others). (2023). Prieiga internetu: <https://market.us/report/ai-in-warehousing-market/>.
8. Hennink, M., & Kaiser, B. N. (2022). Sample sizes for saturation in qualitative research: A systematic review of empirical tests. *Social science & medicine*, 292, 114523. doi: <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2021.114523>
9. Yadav, A., Garg, R. K., & Sachdeva, A. (2024). Artificial intelligence applications for information management in sustainable supply chain management: A systematic review and future research agenda. *International Journal of Information Management Data Insights*, 4(2), 100292. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jjime.2024.100292>
10. Yang, J. X., Li, L. D., & Rasul, M. G. (2002). Warehouse management models using artificial intelligence technology with application at receiving stage—A review. *management*, 4(6), 8.
11. Jauhar, S. K., Harinath, S., Krishnaswamy, V., & Paul, S. K. (2024). Explainable artificial intelligence to improve the resilience of perishable product supply chains by leveraging customer characteristics. *Annals of Operations Research*, 1-40.
12. Juozaitienė, V., Juozaitis, A., & Kerzienė, S. (2011). Mokslinių tyrimų metodologija, statistinės analizės metodai ir priemonės:[elektroninė knyga].
13. Kalpokaitė, S. (2024, October). Dirbtinio intelekto svarba logistikos sektoriuje. In *Young Scientist, Conference/Jaunasis mokslininkas, konferencija* (pp. 196-199).
14. Kardelis, K. (2017). Mokslinių tyrimų metodologija ir metodai. Trečiasis knygos leidimas. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidybos centras. 398.
15. Kaveckė, I., & Paužuolienė, J. (2024). Pažangiųjų technologijų taikymas vystant žaliąją logistiką. *Regional Formation & Development Studies*, 42(2).
16. Lim W. M., Kumar S., Pandey N., Verma D., Kumar D. (2023). Evolution and trends in consumer behaviour: Insights from Journal of Consumer Behaviour. *Journal of Consumer Behaviour*, 22(1), 217–232.
17. Lim, W. M. (2024). What is qualitative research? An overview and guidelines. *Australasian Marketing Journal*, 14413582241264619.
18. Mahroof, K. (2019). A human-centric perspective exploring the readiness towards smart warehousing: The case of a large retail distribution warehouse. *International Journal of Information Management*, 45, 176-190.
19. Manaviriyaphap, W. (2024). AI-Driven Optimization Techniques in Warehouse Operations: Inventory, Space, and Workflow Management. *Journal of Social Science and Multidisciplinary Research (JSSMR)*, 1(4), 1-20.
20. Nemati, H. R., Steiger, D. M., Iyer, L. S., & Herschel, R. T. (2002). Knowledge warehouse: an architectural integration of knowledge management, decision support, artificial intelligence and data warehousing. *Decision Support Systems*, 33(2), 143-161.

21. Placek M. (2022). *Technology adoption in warehouse automation worldwide in 2019 and 2030*. Prieiga internetu: <https://www.statista.com/statistics/1169394/global-warehouse-automation-technology-adoption/>
22. RTS labs. *The future of warehousing: AI-driven transformation and inventory*. (2024). Prieiga internetu: <https://rtslabs.com/ai-warehouse-automation-inventory>
23. RTS labs. *The future of warehousing: How AI is transforming inventory management and order fulfillment*. (2024). Prieiga internetu: <https://rtslabs.com/ai-warehouse-automation-picking-optimization>
24. RTS labs. *Transforming logistics with AI: Boost efficiency and cut costs*. (2024). Prieiga internetu: <https://rtslabs.com/ai-logistics-efficiency-cost-savings>
25. Smids, J., Berkers, H., Le Blanc, P., Rispens, S., & Nyholm, S. (2024). Employers have a duty of beneficence to design for meaningful work: a general argument and logistics warehouses as a case study. *The Journal of Ethics*, 28(3), 455-482.
26. Sodiya, E. O., Umoga, U. J., Amoo, O. O., & Atadoga, A. (2024). AI-driven warehouse automation: A comprehensive review of systems. *GSC Advanced Research and Reviews*, 18(2), 272-282.
27. Ng, S., Tai, V. C., Tan, Y. C., & Abd Rahman, N. F. (2021). SFlex-WMS: a novel multi-expert system for flexible logistics and warehouse operation in the context of Industry 4.0. In *SHS Web of Conferences* (Vol. 124, p. 10002). EDP Sciences.
28. Tikwayo, L. N., & Mathaba, T. N. (2023). *Applications of industry 4.0 technologies in warehouse management: A systematic literature review*. *Logistics*, 7(2), 24.
29. Tümen Akyıldız, S. ir Ahmed, K. H. (2021). *An Overview of Qualitative Research and Focus Group Discussion*. *International Journal of Academic Research in Education*, 7(1), 1-15.
30. World Economic Forum. *Artificial intelligence will transform decision-making. Here's how*. (2023). Prieiga internetu: <https://www.weforum.org/stories/2023/09/how-artificial-intelligence-will-transform-decision-making/>
31. Zaviša, Ž. (2023, July). Sumanios technologijos ir jų naudojimo galimybės logistikoje. In *Young Scientist, Conference/Jaunasis mokslininkas, konferencija* (pp. 168-173).
32. Zhang, D., Pee, L. G., & Cui, L. (2021). Artificial intelligence in E-commerce fulfillment: A case study of resource orchestration at Alibaba's Smart Warehouse. *International Journal of Information Management*, 57, 102304.
33. Žukauskienė, R., & Erentaitė, R. (2011). Akademinio raštingumo pagrindai. *Mokomoji knyga*. Vilnius. 106.