

Dr Marcin Jurczak
 Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu
 ORCID: 0000-0002-0828-308X
 e-mail: Marcin.Jurczak@ue.poznan.pl

Mgr Jerzy Danisz
 PSI Polska Sp. z o.o.
 e-mail: jdanisz@psi.pl

Oprogramowanie Warehouse Intelligence jako przykład innowacyjnego podejścia do optymalizacji procesów magazynowych

Warehouse Intelligence software as an example of an innovative approach to warehouse processes optimization

Streszczenie

Optymalizacja procesów magazynowych jest jednym z najważniejszych wymagań współczesnej logistyki. W dobie intensywnego wzrostu poziomu automatyzacji magazynów i centrów dystrybucyjnych istnieje realne zapotrzebowanie wśród osób zarządzających logistyką na oprogramowanie poprawiające wydajność i efektywność procesów intralogistycznych. Przedstawiany temat jest istotny zarówno z biznesowego, jak i naukowego punktu widzenia. Dla biznesu pozostaje on ważnym sposobem podnoszenia efektywności, dla nauki zaś stanowi interesujący obszar badań. Celem niniejszej publikacji jest przedstawienie wyników badań związanych z realizacją projektu Warehouse Intelligence (WI). W ramach projektu powstaje m.in. oprogramowanie dedykowane optymalizacji procesów. Oprogramowanie to jest obecnie na etapie prac badawczo-rozwojowych, przedstawiona analiza ma zatem charakter teoretyczny i koncepcyjny. Zostały także przedstawione wybrane elementy związane z realizowanym procesem badawczo-rozwojowym na tyle, na ile jest to dziś (lipiec 2022 r.) możliwe, biorąc pod uwagę aktualny stan zaawansowania projektu. Celem całego projektu WI jest opracowanie produktu innowacyjnego w skali globalnej, służącego do analizy procesów intralogistycznych, przy wsparciu algorytmów sztucznej inteligencji. Przedmiotem badań są procesy zachodzące w magazynie, a wśród wykorzystywanych metod badawczych znalazły się m.in. metoda symulacji komputerowej, eksperymenty czy metody analityczne. W niniejszej publikacji wykorzystano także metodę krytycznej analizy literatury.

Słowa kluczowe:

systemy informatyczne w logistyce, zarządzanie magazynem, optymalizacja procesów magazynowych, machine learning

Abstract

The optimization of warehouse processes is one of the most important requirements of modern logistics. At a time when the automation of warehouses and distribution centers is rapidly increasing, there is a real need among logistics managers for software to improve the efficiency of intralogistics processes. The topic presented is important both from a business and a scientific point of view. For business, it remains an important way of increasing efficiency, and from the scientific point of view, it is an interesting area of research.

The aim of this publication is to present the results of research connected with Warehouse Intelligence (WI) project. In this project software for the optimization of intralogistics processes is developed. The software is currently in the research and development phase and it is therefore theoretical and conceptual study. Selected elements related to the ongoing research and development process are also presented, as far as possible for today (July 2022) taking into account the current status of the project. The aim of the entire WI project is to develop a globally innovative product for analyzing intralogistics processes with the support of AI algorithms. The subject of the research are processes which take place in the warehouse. We use research methods such as: computer simulation, experiments or analytical methods. This publication also uses the method of critical analysis of the literature.

Keywords:

IT systems in logistics, warehouse management, optimization of warehouse processes, machine learning

JEL: M15, O31, O32

Wstęp

Optymalizacja procesów magazynowych przestrzegana jest w logistyce wieloaspektowo — zarówno w kontekście poprawy efektywności ekonomicznej, jak i podnoszenia wydajności. Jednym z jej aspektów jest bezpośrednie przełożenie sposobu realizacji procesów na koszty. A obniżenie kosztów pracy i zasobochłonności magazynu staje się ważnym czynnikiem motywującym przedsiębiorstwa do zmian. Ze względu na bezpośrednie przełożenie poprawy efektywności procesów na obniżenie kosztów operacyjnych pracy magazynu nowoczesne oprogramowanie pozostaje w obszarze zainteresowania nie tylko logistyków, ale i menedżerów odpowiedzialnych za całokształt wyników finansowych przedsiębiorstwa.

Celem publikacji jest przedstawienie wyników badań związanych z realizacją projektu Warehouse Intelligence (WI), Autorzy zauważają lukę badawczą związaną z niewielką liczbą publikacji na temat optymalizacji procesów logistycznych w polskim środowisku naukowym, zwłaszcza tych, które łączyłyby aspekty teoretyczne z praktycznymi.

Przedstawiane tu oprogramowanie Warehouse Intelligence jest budowane od podstaw przez inżynierów PSI Polska Sp. z o.o. To część projektu realizowanego przy wsparciu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Projekt skupia się na optymalizacji procesu intralogistyki z wykorzystaniem sztucznej inteligencji. Autorzy szacują, że po zakończeniu projektu badawczo-rozwojowego i wraz z komercjalizacją oprogramowania pojawi się także możliwość przygotowania kolejnych publikacji naukowych.

Optymalizacja procesów magazynowych jako trend w rozwoju logistyki i łańcuchów dostaw

W tej części artykułu przedstawiono tło prowadzonych badań, związane z aktualnymi trendami w zakresie rozwoju logistyki i łańcuchów dostaw oraz optymalizacji procesów magazynowych.

Przyszłość to integracja łańcuchów dostaw, koncentracja łańcuchów na zawężonym obszarze geograficznym, tworzenie łańcuchów dostaw „zazielenionych” i relacyjnych (Banaszyk, 2022), a wśród kluczowych trendów określających kierunki rozwoju logistyki od lat wskazuje się sieciowość, automatyzację czy informatyzację.

W ramach łańcuchów dostaw współpracujące przedsiębiorstwa budują relacje i powiązania, a wraz z nimi mogą generować określone przewagi relacyjne, związane z zasobami, dzieleniem się wiedzą, zasobami komplementarnymi czy efektywnym zarządzaniem i kontrolą (Ciesielski, 2013, s. 110–112).

Z kolei informatyzacja procesów logistycznych, choć oczywista i wyraźnie akcentowana od wielu lat, przybiera bardzo różne oblicza. Wiele przedsiębiorstw zatrzymuje się tu na pierwszym etapie — automatyzacji podstawowych procesów logistycznych. Właściwą i kompleksową optymalizację procesów w tym zakresie osiąga się często dopiero po powiązaniu rozwiązań informatycznych służących wprowadzaniu i gromadzeniu danych z kompleksowymi, zintegrowanymi systemami informatycznymi (Wieczerzycki, 2012, s. 19). Z teoretycznego punktu widzenia system informatyczny dla magazynu powinien uwzględniać wszystkie operacje i czynności występujące w procesie magazynowania (Urbas i in., 2011). Rozwój technologii logistycznych skutkuje zmianami w zakresie narzędzi informatycznych. Obserwując chociażby systemy klasy WMS, można zauważyć, że proces ten przebiega dwutorowo: z jednej strony stale rośnie zakres funkcjonalny systemów, co zwiększa ich wartość biznesową, z drugiej — ewoluują one wraz z rozwojem technologii zarówno logistycznych, jak i informatycznych (Jurczak, 2019, s. 32).

Nie ma dziś przedsiębiorstw, które nie korzystają z systemów informatycznych. Już kilka lat temu potwierdzały to prowadzone badania. Z badań przeprowadzonych w 2016 r. na grupie ponad 100 polskich przedsiębiorstw wynika, że wszystkie z nich stosują systemy informatyczne do zarządzania magazynem — 47% system klasy WMS, 47% system klasy ERP, a co czwarty system działa dłużej niż sześć lat (Prałat & Jäder, 2016).

Duży wpływ na obecny kształt logistyki mają także trendy w handlu. Zmiany zachowań kupujących są dodatkowo napędzane przez pandemię — obawa przed zakażeniem sprawiła, że klienci są jeszcze bardziej skłonni do e-zakupów, a liczba e-sklepów stale rośnie (Majchrzak-Lepczyk, 2022, s. 72). Ważnym obszarem determinującym rozwój logistyki pozostaje orientacja rynkowa przedsiębiorstw. Wpływ tej orientacji na logistykę wiąże się przede wszystkim z dążeniem przedsiębiorstw do spełniania oczekiwań klientów i zaspokajania ich potrzeb (Matwiejczuk & Jaworska, 2021, s. 22).

Przyszłość to także logistyka zrównoważona. Czynności związane z logistyką od zawsze prowadziły do powstawania zanieczyszczeń i negatywnego wpływu na środowisko (takie już uroki transportu czy magazynowania). Trendy związane z ograniczaniem wpływu aktywności gospodarczej na środowisko naturalne dotarły także do logistyki. Badacze zastanawiają się chociażby, jaki jest wpływ „zielonych magazynów” na tworzenie i rozwijanie zrównoważonych łańcuchów dostaw lub w jakim stopniu optymalizacja logistyki pozwala pozytywnie wpłynąć na zrównoważone łańcuchy dostaw (Agyabeng-Mensah i in., 2020 s. 552–553). Ten ostatni kierunek jest bardzo ciekawy w kon-

tekście omawianego przypadku oprogramowania optymalizacyjnego. Stanowi bowiem potwierdzenie, że światowi badacze uznają optymalizację procesów nie tylko za jeden ze sposobów na poprawę efektywności procesów, ale także za rozwiązanie służące ograniczeniu wpływu działalności logistyki na środowisko naturalne. W praktyce bardziej efektywna realizacja procesów to mniejsze zużycie zasobów, a zużycie to coraz częściej jest rozpatrywane nie tylko na płaszczyźnie ekonomicznej, ale także środowiskowej.

Sygnalizowane trendy sprawiają, że w logistyce stawia się przede wszystkim na nowoczesne rozwiązania techniczne i technologiczne zarówno w obszarze sprzętu (automatyka magazynowa, technologie mobilne), jak i oprogramowania. Dopiero połączenie tych dwóch obszarów (hardware'u i software'u) pozwala na pełne wykorzystanie możliwości nowoczesnych technologii. Sama problematyka wykorzystania technologii w logistyce jest oczywiście szeroka, autorzy skupili się zatem jedynie na zasygnalizowaniu podstawowych trendów i kierunków rozwoju współczesnej logistyki.

Rozwój nowych technologii informacyjnych, takich jak technologie internetowe, *big data* czy uczenie maszynowe, a także interdyscyplinarne i usiecione platformy wymiany innowacji, zmieniają innowacje na wielu polach. A rewolucja technologiczna prowadzi do pojawienia się kolejnych nowych trendów (Pei & Pardalos, 2022). Intensywna konkurencja na rynku, w połączeniu z koniecznością szybkiego reagowania na zmiany oznaczają potrzebę tworzenia rozbudowanych struktur w różnych lokalizacjach geograficznych, ponieważ rozproszenie (np. produkcji) pozwala nie tylko rozszerzyć responsywność, ale także podnieść jakość czy zredukować koszty i ryzyko (Wang i in., 2022, za: Chaouch i in., 2018; Meng i in., 2019; Naderi & Ruiz, 2010). Efektywna realizacja procesu magazynowego jest zaś możliwa tylko wtedy, gdy znane są wskaźniki służące ocenie tego procesu (Tylicki & Bartol, 2017, s. 1666).

Na potrzeby niniejszej publikacji autorzy ograniczają się do elementów związanych z rozwojem procesów magazynowych, zwłaszcza optymalizacji wynikającej z postępującej cyfryzacji i rozwoju narzędzi informatycznych. Obszary te wpisują się w szerszy kontekst trendów związanych z rozwojem łańcucha dostaw. Poniżej przedstawiono wybrane pozycje literatury odnoszące się do optymalizacji procesów magazynowych.

Systemy IT i ich rola w optymalizacji procesów magazynowych

Ciekawym obszarem badań pozostają sposoby na optymalizację procesów logistycznych z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi informatycz-

nych. Narzędzia te wpisują się w trendy i kierunki rozwoju logistyki, stając się ich praktycznym elementem. Sposoby te przedstawiono w tej części artykułu.

Wykorzystanie optymalizacji matematycznej do rozwiązywania problemów biznesowych nie jest zagadnieniem nowym. Jego początków upatruje się w rozwijaniu algorytmów simplex przez G. Dantzigą w 1947 r., a optymalizacja liniowa pozwalała rozwiązać typowe problemy w akceptowalnej liczbie iteracji. W późniejszych latach rosnąca złożoność problematyki doprowadziła do powstania pierwszych pakietów oprogramowania komputerowego wspierającego optymalizację (Hanne & Dornberger, 2017). Już wiele lat temu zauważono także rolę, jaką w zarządzaniu odgrywa logistyka, rozumiana nie tylko jako „grupa ważnych zadań” w strategii przedsiębiorstwa, ale jako obszar funkcji o strategicznym znaczeniu, dający możliwość budowania lub utraty pozycji na rynku (Copacino & Rosenfield, 1987). Dziś akcent w logistyce jest położony na konfigurację, organizację, kontrolę i regulację sieci oraz przepływów, aby je optymalizować — na płaszczyźnie ekonomicznej, środowiskowej i społecznej (Nettsträter i in., 2015). Ważnym trendem pozostaje tworzenie logistyki zrównoważonej środowiskowo, choć należy zauważyć, że badania naukowe potwierdzają, że tworzenie „zielonych magazynów” może negatywnie oddziaływać na ich efektywność ekonomiczną (Agyabeng-Mensah i in., 2020). Logistyka wymaga podejmowania decyzji, a występujące w logistyce procesy decyzyjne często pokrywają się z tymi, które są modelowane z wykorzystaniem metod z zakresu badań operacyjnych (Jewczak i in., 2020, s. 10).

Pod hasłem *warehouse optimization* w bazie Web of Science zindeksowanych jest obecnie 3065 publikacji¹. Należy zauważyć, że z roku na rok liczba tych publikacji wzrasta. Największą grupę (791 publikacji) stanowią te, które dotyczą badań operacyjnych w naukach o zarządzaniu. Z kolei w bazie Scopus pod hasłem *warehouse optimization* zindeksowano 28 314 dokumentów, z których ponad połowa (15 864) dotyczy nauk związanych z IT (*computer science*), a zaledwie co szósty (4745) biznesu i nauk o zarządzaniu. Wzrost liczby publikacji z roku na rok potwierdza zainteresowanie badaczy tą tematyką, a duża liczba publikacji w czasopismach technicznych — nierozzerwalność optymalizacji logistyki z naukami matematycznymi.

Digitalizacja procesów przekłada się w znacznym stopniu na sposób komunikacji w ramach sieci i gwałtowne zmiany w funkcjonowaniu łańcuchów dostaw. Śledzenie i lokalizowanie produktów prowadzi do mniejszych ilości odpadów i strat. Dzięki dostępowi do danych partnerzy mogą tworzyć bardziej efektywne łańcuchy dostaw — zarówno w kontekście czasów dostaw, jak i odpowiedniej ich jakości (Gupta i in., 2020, s. 1930).

Obecnym obszarem badań są chociażby wszystkie aspekty związane z produktywnością (także w odniesieniu do procesów magazynowych). Jak wskazują N. H. Karim i in. (2020), produktywność ta może być opisywana jako „dana wyjściowa” z procesów, mierzona w trzech obszarach: częściowej produktywności — w odniesieniu do siły roboczej, materiałów, kapitału, całkowitej produktywności (lub czynnika wartości dodanej) — w odniesieniu do sprzedaży towarów, materiałów czy usług, lub też całkowitej produktywności jako relacji „wyjścia” do „wejścia” (Karim i in., 2020, s. 52).

Osobnym tematem pozostaje wykorzystanie w celach biznesowych możliwości dostarczanych przez narzędzia symulacyjne. Źródłem takich systemów jest często branża produkcyjna, automatyzacja odgrywa bowiem ważną rolę w przemyśle od wielu lat. Roboty wykonują określone, specyficzne zadania, wykorzystując instrukcje i polecenia. Ważnym elementem w tym procesie jest tworzenie „akcji wirtualnych”, czyli symulowanie pracy robotów. Taki proces pozwala na uczenie maszyn i sprawdzenie ich przydatności np. przy pracy wielozadaniowej (Sarma i in., 2017, s. 99–105). Symulacja procesów jest częstym elementem procesu badawczego, a obecnie niezwykle ważnym i skutecznym sposobem odwzorowania zjawiska lub procesu, przydatnym zwłaszcza w procesach dynamicznych, zachodzących w funkcji czasu (Topolski, 2017, s. 1609).

Tematyka roli symulowania logistycznego w analizie procesów magazynowych była także podejmowana przez polskich badaczy, chociażby w kontekście możliwości zastosowania symulacji do modelowania procesów wysokiego składowania (Kostrzewski, 2016) czy wykorzystania modeli symulacyjnych w doskonaleniu procesów logistycznych w systemach zarządzania kryzysowego (Zaskórski & Ogórek, 2019). Osobnym kierunkiem, który daje się zaobserwować w literaturze i badaniach naukowych, jest łączenie wszystkich trzech wskazanych obszarów: logistyki, symulacji procesów oraz ich informatyzacji. Dodatkowo systemy informatyczne w logistyce coraz częściej korzystają z nowoczesnych rozwiązań i technologii stosowanych przez branżę IT — dostępu chmurowego, *big data* czy sztucznej inteligencji (*artificial intelligence* — AI). I to właśnie w tym ostatnim obszarze — wykorzystania do logistyki np. uczenia maszynowego — widzi się dziś wiele potencjalnych korzyści biznesowych. To naturalna konsekwencja przetwarzania przez logistykę dużych zbiorów danych. Mnożość danych i ich zbiorów sprawia, że manualne przetwarzanie informacji stało się niemożliwe, a przetwarzanie z wykorzystaniem pracy człowieka w systemie informatycznym staje się problemowe. Przyszłość to automatyczne przetwarzanie dużych zbiorów danych (*big data*) z wykorzystaniem wspomnianego AI.

Systemy informatyczne mogą być wykorzystywane także do wsparcia konkretnych elementów związanych z procesem, np. magazynowym. Przykład takiego rozwiązania, zakładającego predykcję rozmiaru opakowań na bazie danych historycznych, w artykule opisującym propozycję dla austriackiej firmy e-commerce przedstawiają M. Heininger i R. Ortner (2022).

Inną grupę problemów związanych z konkretnymi procesami stanowi koordynacja pomiędzy węzłami w sieci transportowej. Przepływy pomiędzy różnymi lokalizacjami, problemy związane z dystrybucją to te problemy, których rozwiązaniem jest minimalizowanie kosztów transportu z wykorzystaniem różnych modeli, uwzględniających chociażby lokalizacje, zapasy, koszty utraconej sprzedaży czy określony horyzont czasowy (Kharodawala i in., 2021).

Ciekawe wyzwania związane z realizacją procesów optymalizacyjnych mogą dotyczyć konkretnych sektorów i obszarów rynku. Kompleksowość i złożoność procesów logistycznych rośnie, a zatem modelowanie i optymalizowanie procesów staje się coraz bardziej istotne. Stąd pomysły na reorganizację procesów — np. optymalizację ciągłą na bazie wielu zmiennych, obejmującą elementy i funkcje wcześniej analizowane osobno, o czym pisali M. Vazquez-Noguerol i in. (2020). Z kolei L. C. Hernandez i in. (2020) analizowali możliwość wykorzystania konkretnej metody optymalizacji wielokryterialnej na potrzeby wyboru odpowiedniej strategii pickingu, kierując się założeniem, że wybór właściwej strategii w tym zakresie to jedna z najważniejszych decyzji w obszarze zarządzania magazynem.

Analiza rynkowa i biznesowa — potencjał oprogramowania WI

W ramach prac przedprojektowych, których ostatecznym efektem będzie stworzenie nowego oprogramowania do optymalizacji procesów biznesowych, zidentyfikowano kilka kluczowych obszarów związanych z transformacją logistyki w ostatnich latach. Zjawiska te wraz ze związanymi z nimi potrzebami rynkowymi przedstawiono w tabeli 1.

Efektywne zarządzanie procesami logistycznymi staje się coraz trudniejsze, a rola systemów informatycznych w budowaniu efektywnej logistyki rośnie. Należy zauważyć, że transformacji poddawane są także same systemy logistyczne. Dawniej analizowały one procesy logistyczne w sposób statyczny, skupiając się na gromadzeniu i prostym przetwarzaniu danych. Dziś coraz częściej pełnią funkcję systemów o charakterze zintegrowanym, wspierając zarządzanie danymi w wielu obszarach.

Na bazie przeprowadzonego rozeznania rynku stwierdzono, że odbiorcą wysoce specjalistycznych

Tabela 1

Zjawiska i trendy a potrzeby rynkowe związane z transformacją logistyki

Trend/zjawisko w logistyce	Potrzeba rynkowa/wyzwanie biznesowe
Rozwój e-commerce	Szybka realizacja zamówień, gdy dokładna liczba zamówień nie jest znana z odpowiednim wyprzedzeniem
Informatyzacja i automatyzacja procesów	Wyższa efektywność zarządzania procesami dzięki wykorzystaniu technologii
Rynek pracownika	Zapewnienie atrakcyjnych miejsc pracy (płaca i warunki pozapłacowe)
Efektywność kosztowa	Logistyka ma być źródłem obniżki kosztów (należy pamiętać o tym, że może być źródłem przewagi konkurencyjnej także w innych obszarach)
Dynamika procesów	Niezbędne jest podnoszenie wydajności procesów przy coraz trudniejszym ich planowaniu — procesy zachodzą dynamicznie
Przetwarzanie dużych zbiorów danych	Rośnie ilość przetwarzanych danych, co wymaga odpowiedniej infrastruktury i narzędzi informatycznych

Źródło: opracowanie własne.

systemów informatycznych, zapewniających wsparcie w optymalizacji procesów magazynowych, są średnie i duże przedsiębiorstwa, posiadające magazyny odpowiedniej wielkości — powyżej 10 tys. m² (dla przedsiębiorstw średniej wielkości) lub 20 tys. m² (dla przedsiębiorstw dużych). W określonych, specyficznych sytuacjach zapotrzebowanie na takie oprogramowanie zgłaszają także przedsiębiorstwa małe lub średnie, dysponujące magazynami o mniejszej wielkości (tj. poniżej 10 tys. m²). Ta ostatnia sytuacja dotyczy przedsiębiorstw o mocno skomplikowanych procesach magazynowych (gdzie poziom skomplikowania definiowany jest np. dużą liczbą pozycji zleceń).

Z raportu *TOP 100 in European Transport and Logistics Services 2021/2022* (Schwemmer & Klaus, 2021) wynika, że wartość polskiego rynku logistycznego to ok. 42,2 mld euro, co daje siódmą pozycję wśród rynków europejskich w kategorii wartości rynku usług logistycznych. Z tej kwoty 33% to wartość rynku magazynowania, a 15% wiąże się z utrzymaniem zapasów, zatem prawie połowa wartości rynku jest związana z magazynowaniem. Nakłady na wydatki logistyczne w 30 krajach Europy są szacowane na 1 058 mld euro, z czego połowa (525 mld euro) to tzw. usługi własne, czyli niezlecone zewnętrznym firmom transportowym (Fechner & Szyszka (red.), 2018, s. 24–29).

Komercyjna powierzchnia magazynowa to ok. 15 mln m² (różnice w określeniu dokładnej powierzchni magazynów wynikają z daty publikacji i sposobu prezentacji danych w różnych źródłach). Podaż powierzchni magazynowej w Polsce stale rośnie, co potwierdza stały i zauważalny od wielu lat rozwój rynku magazynowego.

Dla opisywanego w niniejszej publikacji produktu Warehouse Intelligence odbiorcą są przedsię-

biorstwa posiadające już system klasy WMS, stanowiący *de facto* standard w firmach średnich i dużych. Według danych Software Connect (Mejssner, 2018) 55% firm używa do obsługi swoich procesów logistycznych systemów klasy WMS, a 45% systemów klasy ERP (czyli systemów służących generalnie do zarządzania zasobami przedsiębiorstwa, ale posiadających często moduły poświęcone gospodarce magazynowej). W Polsce firmy dysponujące mniejszymi magazynami (do 5 tys. m²) korzystają zwykle z modułów systemu ERP. Z kolei firmy o większych potrzebach decydują się na zarządzanie magazynem za pomocą systemu WMS, postrzeganego jako bardziej elastyczny i lepiej dostosowany do pracy w magazynie niż systemy ERP (Mejssner, 2018). Dodatkowo należy zauważyć, że systemy magazynowe najczęściej wykorzystywane są w branży dystrybucyjnej (czyli tam gdzie następuje masowy przepływ dóbr), a kolejny segment rynku intensywnie inwestujący w WMS to duże firmy produkcyjne dostarczające swój towar z własnych magazynów. Według autorów raportu Grand View Research światowy rynek systemów klasy WMS do 2025 r. osiągnie wartość 5,25 mld dol (Mejssner, 2018).

Przedstawione wyżej analizy były prowadzone w 2019 r., a zatem jeszcze przed wybuchem pandemii COVID-19 i wojny w Ukrainie. W ramach realizowanego projektu nie analizowano wcześniej potencjalnego wpływu czynników makroekonomicznych na potrzeby logistyki w zakresie gospodarki magazynowej. Dziś można już jednak przedstawić pierwsze wnioski zarówno w odniesieniu do pandemii, jak i częściowo do wybuchu wojny.

Pandemia wpłynęła na magazyny — tak na rynek nieruchomości logistycznych, jak i same procesy w magazynach oraz ich organizację. Z jednej

strony rynek nieruchomości logistycznych ucierpiał krótkoterminowo ze względu na liczne restrykcje i ograniczenia, zwłaszcza na obszarach o większej liczbie infekcji. To mogło mieć przełożenie na mniejszą aktywność deweloperów powierzchni magazynowych czy przejściowe zwiększenie poziomu pustostanów. Przesuwanie inwestycji na późniejszy czas doprowadzi jednak do dalszego wzrostu powierzchni magazynowych. A branża nieruchomości logistycznych okazała się być odporna na pandemię (Budner, 2021, s. 175–176). Z drugiej strony gromadzenie zapasów mogło sprzyjać wyższemu zatowarowaniu magazynów i zwiększaniu popytu na usługi magazynowe.

Osobnym wyzwaniem pozostaje obsługa sektora e-commerce. Elektroniczny handel postrzegany przez konsumentów jako „bezpieczny” odnotował w trakcie pandemii wyraźne wzrosty — zarówno mierzone liczbą czynnych sklepów, jak i obsługiwanymi transakcjami. Z perspektywy wdrażania nowych rozwiązań informatycznych pandemia oznaczała konieczność dalszego uelastyczniania procesów logistycznych. Widoczne już wcześniej trendy (np. rozwoju sektora e-commerce) uległy wzmocnieniu, zwiększając zapotrzebowanie na nowoczesne narzędzia informatyczne i potencjał ich wdrożenia. Tym samym można obserwować nawet brak wolnej powierzchni magazynowej. Początek 2022 r. upłynął pod znakiem obniżania się poziomu pustostanów. Pod koniec I kwartału 2022 r. wskaźnik pustostanów osiągnął rekordowo niski poziom: 3,3% (Poradnik-Spedytora.pl, 2022). Niski poziom pustostanów to obok wskazanych wcześniej trendów (rozwoju e-commerce, pandemicznego i popandemicznego zwiększania zapasów) także efekt dużego zainteresowania magazynami przy granicy z Ukrainą, a także wzdłuż autostrady A4 (Rykowska, 2022).

Drugie z wyzwań makroekonomicznych to inwazja Rosji na Ukrainę. Tutaj bezpośrednio konsekwencje dla magazynów są na pierwszy rzut oka mniejsze. W praktyce jednak także i w obszarze logistyki następują spore zmiany — na rynku pracy (ubytek kilkuset tysięcy grupy pracowników narodowości ukraińskiej) czy w zakresie kosztów funkcjonowania magazynów. Bardzo istotny jest tu ten ostatni obszar — gwałtowny wzrost kosztów surowców (paliw i energii elektrycznej²) przełoży się na wzrost kosztów gospodarki magazynowej. Narzędzia służące optymalizacji procesów są tu zatem mocno pożądane.

Cele i zadania oprogramowania WI

W tej części artykułu autorzy przedstawiają cele i zadania, jakie postawiono przed oprogramowaniem Warehouse Intelligence.

Celem oprogramowania WI jest optymalizacja procesów biznesowych w obszarze intralogistyki poprzez modyfikację parametrów systemu zarządzającego procesem logistycznym (klasy WMS lub pochodnego). To pozwala na planowanie wykorzystania zasobów na wysokim poziomie szczegółowości, jaki wcześniej — bez tego typu oprogramowania — nie był dostępny. Jest to możliwe dzięki wykorzystaniu algorytmów sztucznej inteligencji (uczenia maszynowego). Jako środowisko do treningu algorytmów sztucznej inteligencji stosuje się symulację.

To całkowita zmiana w stosunku do klasycznego sposobu informatyzowania procesów intralogistycznych. Dotychczas systemy klasy WMS traktowały magazyn w sposób statyczny: rejestrowały przyjęcia, przemieszczenia czy wydanie towarów. Z kolei narzędzia optymalizacyjne skupiały się na pojedynczych elementach procesu (np. pakowaniu do kartonów). Celem WI jest zamodelowanie procesów magazynowych i odwzorowanie rzeczywistości magazynowej w maksymalnie szczegółowy sposób, co pozwala określić, które parametry pracy magazynu i w jakim zakresie powinny zostać zmienione.

W ramach realizowanego procesu badawczego w projekcie przyjęto, że celem projektu jest stworzenie rozwiązania, które będzie odpowiedzią na zapotrzebowanie rynku i zapewni:

- a) możliwość bezinwazyjnego testowania zmian w procesach logistycznych — oznacza to brak ryzyka dla funkcjonującego równolegle procesu biznesowego w rzeczywistym środowisku magazynowym;
- b) możliwość trenowania modeli *machine learning* w środowisku symulacyjnym i analizowania wielu różnych modeli funkcjonowania tego samego magazynu;
- c) możliwość dokonywania dynamicznych zmian w procesie logistycznym przez reorganizowanie procesów w czasie rzeczywistym w funkcjonującym magazynie;
- d) intuicyjny system wizualizacji parametrów pracy magazynu, zapewniający sprawne podejmowanie decyzji dotyczących doboru parametrów procesów logistycznych w magazynie;
- e) uniwersalność rozwiązania WI i możliwość współdziałania z systemami klasy WMS wielu dostawców.

Liczba parametrów, które mogą być optymalizowane w ramach analizowanego procesu, może być rozszerzana. W pierwszym etapie przyjęto, że do parametrów, które będą podlegać optymalizacji (jako wskaźniki KPI), będą należeć m.in:

- czas przetwarzania zleceń wydania towaru (co przekłada się na obniżenie kosztu obsługi logistycznej),
- czas przetwarzania przyjęcia towaru (co przekłada się na obniżenie kosztu obsługi logistycznej),

- wykorzystanie zasobów ludzkich i sprzętowych (automatyka: układnice, sortery, owijarki itp.),
- wykorzystanie dostępnej powierzchni magazynowej,
- optymalizacja załadunku (przestrzeni ładunkowej) — ochrona środowiska (mniejszy sumaryczny wolumen środków transportowych),
- zużycie opakowań wysyłkowych — ochrona środowiska (mniej kartonów wysyłkowych),
- ograniczenie zużycia prądu — ochrona środowiska (lepsze wykorzystanie automatyki, wózków widłowych, oświetlenia hali).

Sam zakres wykorzystywanych KPI znajduje bezpośrednie odniesienie do sposobu realizacji procesów w konkretnym magazynie. Przedstawiona lista jest zatem przykładową listą „na start” i może być rozszerzana według potrzeb.

Analiza procesu związanego z tworzeniem oprogramowania WI

Realizowany projekt badawczy wkracza już w decydującą fazę, jest zatem możliwe przedstawienie pierwszych wniosków. Zasadniczo prace nad Warehouse Intelligence podzielono na pięć etapów. W pierwszym opracowano prototyp środowiska. W drugim inżynierowie rozpoczęli tworzenie symulacji, czyli opracowywanie cyfrowego bliźniaka rzeczywistego magazynu. To dało odpowiedzi na wiele pytań z obszaru symulowania procesów magazynowych, a symulacja magazynu z wykorzystaniem cyfrowego bliźniaka pozwala na bezkosztowe analizowanie tysięcy scenariuszy pracy magazynu.

Oparcie optymalizacji intralogistyki na symulacji pracy magazynu okazało się być dobrym kierunkiem. Dało możliwość nowego spojrzenia na procesy magazynowe, ich specyfikę i parametry pracy magazynu. Same analizy dotyczące tylko procesu symulacji pozwoliły na pozyskanie szczegółowej wiedzy na temat symulacji procesów magazynowych (czy szerzej: możliwości symulowania procesów biznesowych).

Szacuje się, że 1/3 kosztów logistyki magazynowej wiąże się z kompletacją zamówień. Tym samym podpowiedzi algorytmu zastosowanego w WI przyniosą wymierne oszczędności. Pierwsze uzyskane wyniki są bardzo obiecujące — wykorzystanie sztucznej inteligencji pozwoliło skrócić długość ścieżek kompletacyjnych o 30% (PSI, 2022). Obecnie realizowany jest czwarty etap projektu, którego celem jest intensywne uczenie algorytmów sztucznej inteligencji. W całym procesie jest on kluczowy. Trenowanie algorytmu po to, aby był zdolny do działania w docelowej lokalizacji, trwa kilka miesięcy.

Docelowo w ramach projektu powstaną dwa rozwiązania, a sama technologia WI będzie dostępna w dwóch wersjach:

- automatycznej (algorytmy sztucznej inteligencji — Warehouse Intelligence);
- jako analizator ze wsparciem człowieka, nazwany PEAR (analizator procesu logistycznego, który pozwala przeprowadzać symulacje i obserwować je na trójwymiarowym modelu wraz z jego aktualnymi wskaźnikami KPI).

Wypracowano też docelowy model działania algorytmu. Agent (sieć neuronowa, która podlega treningowi) uczy się optymalnej strategii działania w magazynie poprzez interakcję ze środowiskiem. Agent nie ma żadnej wiedzy na temat struktury i procesów zachodzących w środowisku, obserwuje jedynie jego reakcje na podejmowane akcje w postaci:

- stanu, tj. informacji o bieżącej konfiguracji parametrów (stan magazynu/zasobów, lista zleceń/awizacji do przepracowania),
- nagrody, tj. wartości parametru (lub jego funkcji), który jest optymalizowany.

Zasadę działania agenta przedstawiono na rysunku 1.

Dane treningowe są generowane przez specjalnie zaprojektowany symulator — model rzeczywistego magazynu. Model ten, określany także mianem cyfrowego bliźniaka (*digital twin*), odzwierciedla wszystkie kluczowe procesy logistyczne i jest połączony poprzez odpowiedni interfejs z systemem WMS. To pozwala przyspieszyć proces uczenia i zapewnić elastyczność treningu.

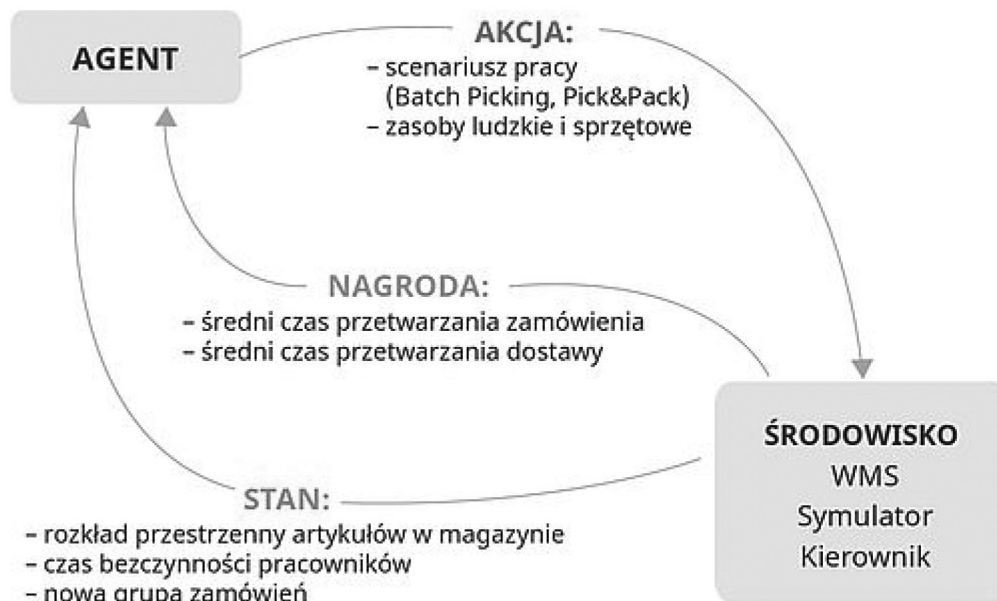
Nieodłącznym elementem procesu podejmowania decyzji w uczeniu ze wzmocnieniem jest fundamentalny dylemat pomiędzy eksploracją — gromadzeniem nowej wiedzy oraz eksploatacją — wykorzystaniem dotychczasowej wiedzy. Najczęściej stosowanym podejściem jest wprowadzenie w początkowej fazie treningu pewnego czynnika losowego w wyborze akcji, dzięki któremu agent jest zmuszony do eksploracji nowych obszarów środowiska. Warto również podkreślić, że najlepsza długoterminowa strategia może wymagać krótkoterminowych poświęceń — w imię długofalowego celu.

Wnioski z realizacji projektu

Stworzenie algorytmu obsługującego tak złożony obiekt, jakim jest magazyn, okazało się bardzo skomplikowanym i złożonym procesem. Algorytmy uczenia ze wzmocnieniem bazują na interakcji z tzw. środowiskiem. W tym przypadku środowiskiem jest magazyn, a dokładniej — jego wierna cyfrowa kopia. Poprzez wielokrotne (idące często

Rysunek 1

Zasada działania agenta WI



Źródło: materiały PSI.

w setki tysięcy) powtarzanie różnych wariantów pracy magazynu w środowisku treningowym algorytm uczy się postępowania w konkretnych sytuacjach (np. właściwego doboru sposobu kompletacji w zależności od struktury zleceń wydania). Następnie, eksponując algorytm na dane z rzeczywistego magazynu, jest w stanie błyskawicznie zasugerować kierownikowi magazynu optymalne rozwiązanie. Wyzwaniem jest tu chociażby szczegółowe odzwierciedlenie topologii magazynu i jego aktualnych zasobów — ich dynamiczne zmiany przekładają się bowiem na efekty symulacji. Wzbogacenie symulacji o uczenie maszynowe sprawia, że sama symulacja staje się bardziej wiarygodna i lepiej odzwierciedla rzeczywistość.

Z naukowego punktu widzenia dotychczasowe badania pozwoliły na stworzenie cyfrowej kopii magazynu i środowiska do analizy jego procesów. Stworzenie środowiska testowego pozwoliło na ewaluację, na ile wytrenowany model *machine learning* sprawnie zarządza parametrami pracy magazynu. Możliwe stało się zatem porównanie, czy i w jakim stopniu tradycyjne podejście do realizowanych procesów (manualne sterowanie tymi parametrami) daje gorsze wyniki. Wnioski z przeprowadzonych eksperymentów wskazują, że przy odpowiednim doborze przypadku optymalizacyjnego możliwe jest uzyskanie rezultatów lepszych o po-

nad 5% w stosunku do reguł stosowanych w rzeczywistym magazynie. W przypadku znacznego rozbudowania eksperymentu (rzeczywisty system WMS, zaawansowany symulator procesów magazynowych i dodatkowy silnik organizujący procesy) wyniki były niższe niż wskazane 5%. Dotychczasowe wnioski stały się podstawą do dalszych prac badawczych. Doświadczenia zebrane w projekcie pozwalają z optymizmem spojrzeć w przyszłość.

Z punktu widzenia biznesu dotychczasowe wyniki projektu są obiecujące. Droga, którą wybrano w ramach realizacji projektu, okazała się słuszną, a w niedalekiej przyszłości możliwa będzie komercjalizacja projektu. Poszczególne komponenty wchodzące w skład WI są już wykorzystywane i pomagają optymalizować logistykę klientów PSI, a pilotażowe uruchomienie pierwszego produkcyjnego wdrożenia jest planowane na 2023 r.

Podsumowanie

Celem niniejszego artykułu było przedstawienie wyników badań związanych z realizacją projektu Warehouse Intelligence. Innowacyjne podejście zastosowane w WI bazuje na algorytmach sztucznej inteligencji, w szczególności uczeniu maszyno-

wym (uczeniu ze wzmocnieniem), w którym trenowany agent uczy się optymalnej strategii działania poprzez interakcję ze swoim otoczeniem.

Systemy informatyczne służące wsparciu decyzji w realizowanych procesach są coraz częściej obecne w procesach logistycznych. Coraz częściej są także przedmiotem publikacji o charakterze naukowym. Przedstawiony wyżej projekt wpisuje się w te trendy. Zarówno teoretyczna analiza przedmiotu na potrzeby niniejszej publikacji, jak i przedprojektowa analiza biznesowa wskazują, że wykorzystanie nowoczesnych technologii informa-

tycznych do optymalizacji pracy w magazynie i procesów magazynowych to interesujący obszar badań i ich właściwy kierunek.

Jednocześnie należy zauważyć, że opisywane oprogramowanie jest przedmiotem projektu naukowo-badawczego i nie było jeszcze wprowadzane do komercyjnego użycia. Dotychczasowe wyniki badań i pierwsze elementy wprowadzania fragmentów oprogramowania do rzeczywistego magazynu wskazują, że istnieje duży potencjał optymalizacji procesów z wykorzystaniem Warehouse Intelligence.

Przypisy/Notes

¹ Stan na 21.09.2022 r.

² Autorzy sygnalizują jedynie problem wzrostu kosztów utrzymania magazynów w związku z utrzymującą się inflacją (stan aktualny na sierpień 2022 r. — 16,1% r/r). Zagadnienie to jest bardziej złożone i wymagałoby szerszego omówienia.

Bibliografia/References

- Agyabeng-Mensah, Y., Ahenkorah, E., Afum, E., Dacosta, E. & Tian, Z. (2020). Green warehousing, logistics optimization, social values and ethics and economic performance: The role of supply chain sustainability. *The International Journal of Logistics Management*, 31(3), 549–574. <https://doi.org/10.1108/IJLM-10-2019-0275>
- Banaszyk, P. (2022). Kierunki modyfikacji zarządzania łańcuchami dostaw w perspektywie przyszłości. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (6), 2–9. <https://doi.org/10.33226/1231-2037.2022.6.1>
- Budner, W. W. (2021). The Polish logistics real estate market as a link in international supply chains during the Covid-19 crisis. W: E. Mińska-Struzik & B. Jankowska (red.), *Towards the „new normal” after Covid-19 — a post-transition economy perspective* (171–176). Poznań University of Economics and Business Press. <https://doi.org/10.18559/978-83-8211-061-6/II4>
- Ciesielski, M. (red.) (2013). *Sieci w gospodarce*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- Copacino, W. C. & Rosenfield, D. B. (1987). Methods of logistics systems analysis. *International Journal of Physical Distribution & Materials Management*, 17(6), 38–59. <https://doi.org/10.1108/eb014666>
- Fechner, I., & Szyszka, G. (red.) (2018). *Logistyka w Polsce. Raport 2017*. Instytut Logistyki i Magazynowania.
- Gupta, H., Kumar, S., Kusi-Sarpong, S., Jabbour, C. J. C. & Agyemang, M. (2021). Enablers to supply chain performance on the basis of digitization technologies. *Industrial Management & Data Systems*, 121(9), 1915–1938. <https://doi.org/10.1108/IMDS-07-2020-0421>
- Hanne, T., & Dornberger, R. (2017). Intelligent software for logistics. W: *Computational Intelligence in Logistics and Supply Chain Management. International Series in Operations Research & Management Science*, 244. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40722-7_7
- Heininger, M., & Ortner, R. (2022). Predicting packaging sizes using machine learning. *Operations Research Forum*, 3(43). <https://doi.org/10.1007/s43069-022-00157-5>
- Hernandez, L. C., Jiménez, G., H. S., Dantas, P. P. L., & Cavalcante, C. A. V. (2022). Using multi-criteria decision making for selecting picking strategies. *Operational Research*, 22, 3265–3290. <https://doi.org/10.1007/s12351-020-00603-4>
- Jewczak, M., Konarzewska, I., & Kucharski, A. (2020). *Optymalizacja w logistyce. Tom 1. Modelowanie logistycznych procesów decyzyjnych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
- Jurczak, M. (2019). Ewolucja i kierunki rozwoju systemów klasy WMS. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (6), 26–32. <https://doi.org/10.33226/1231-2037.2019.6.4>
- Karim, N. H., Abdul Rahman, N. S. F., Md Hanafiah, R., Abdul Hamid, S., Ismail, A., Abd Kader, A. S. & Muda, M. S. (2021). Revising the warehouse productivity measurement indicators: Ratio-based benchmark. *Maritime Business Review*, 6(1), 49–71. <https://doi.org/10.1108/MABR-03-2020-0018>
- Kharodawala, H. A., Mahajan, A., & Moorkanat, J. (2022). Multi-modal supply chain distribution problem. *OPSEARCH*, 59, 747–768. <https://doi.org/10.1007/s12597-021-00567-9>
- Kostrzewski, M. (2016). Zastosowanie metod symulacyjnych w badaniu wybranych procesów magazynowych w magazynie wysokogęstościowym. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport*, (111).
- Majchrzak-Lepczyk, J. (2022). Rozwój rynku e-commerce w Polsce — wybrane zagadnienia. W: S. Konecka & A. Łupicka (red.), *Logistyka gospodarki światowej* (71–81). Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu. <https://doi.org/10.18559/978-83-8211-106-4/5>
- Matwiejczuk, R., & Jaworska, M. (2021). Orientacja rynkowa jako determinanta kształtowania i rozwoju koncepcji logistyki. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (8), 16–24. <https://doi.org/10.33226/1231-2037.2021.8.2>
- Mejssner, B. (2018). *Nowe porządki w magazynach*. <https://www.computerworld.pl/news/Nowe-porzadki-w-magazynach,410353.html> (dostęp 29.01.2019).
- Nettsträter, A., Geißen, T., Witthaut, M., Ebel, D., & Schoneboom, J. (2015). Logistics software systems and functions: An overview of ERP, WMS, TMS and SCM systems. W: ten Hompel, M., Rehof, J., & Wolf, O. (red.), *Cloud Computing for logistics. Lecture notes in logistics*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-13404-8_1

- Pei, J., & Pardalos, P. M. (2022). Scalable optimization and decision-making in operations research. *Annals of Operations Research*, 316, 1–4. <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04895-x>
- PoradnikSpedytora.pl (2022). *Sytuacja polskiego rynku magazynowego — coraz większy problem z dostępnością wolnych powierzchni*. <https://poradnikspedytora.pl/2022/sytuacja-polskiego-rynku-magazynowego-coraz-wiekszy-problem-z-dostepnoscia-wolnych-powierzchni/> (dostęp 16.09.2022).
- Prałat, E., & Jäder, K. (2016). Nowoczesne technologie wspomagające funkcjonowanie magazynu. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria: Organizacja i Zarządzanie*, (99).
- PSI. (2022). *Inteligentne zarządzanie magazynem, czyli Warehouse Intelligence*. <https://www.psi.pl/pl/blog/psi-polska-blog/post/inteligentne-zarzadzanie-magazynem-czyli-warehouse-intelligence/> (dostęp 25.07.2022).
- Rykowska, M. (2022). *Raport: polski rynek magazynowy w I kw. 2022 r. Polski rynek magazynowy przestaje być tani*. <https://www.axiimmo.com/raporty-i-publikacje/raport-polski-rynek-magazynowy-w-1-kw-2022-r> (dostęp 16.09.2022).
- Sarma, H., Porzel, R., & Malaka, R. (2017). A step toward automated simulation in industry. W: Freitag, M., Kotzab, H., & Pannek, J. (red.), *Dynamics in logistics. Lecture notes in logistics*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45117-6_9
- Schwemmer, M., & Klaus, P. (2021). *TOP 100 in European Transport and Logistics Services 2021/2022*. DVV Media Group.
- Topolski, M. (2017). Zastosowanie metod heurystycznych w zadaniu optymalizacji procesów magazynowych. Cz. 3. *Autobusy — Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, (6), 1606–1612.
- Tylicki, H. F., & Bartol, M. (2017). Wybrane problemy optymalizacji procesów logistycznych przedsiębiorstwa. *Autobusy — Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, (12), s. 1666–1669.
- Urbas, A., Czech, P., & Barcik, J. (2011). Rola i znaczenie zarządzania informatycznego w magazynie. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria: Transport*, (70).
- Vazquez-Noguerol, M., Comesana-Benavides, J., Poler, R., & Prado-Prado, J. C. (2022). An optimisation approach for the e-grocery order picking and delivery problem. *Central European Journal of Operations Research*, 30, 961–990. <https://doi.org/10.1007/s10100-020-00710-9>
- Wang, Z., Deng, Q., Zhang, L., & Liu, X. (2022). Integrated scheduling of production, inventory and imperfect maintenance based on mutual feedback of supplier and demander in distributed environment. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 92. <https://doi.org/10.1007/s10845-022-01996-z>
- Wieczerzycki, W. (red.) (2012). *E-logistyk@*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- Zaskórski, P., & Ogórek, M. (2019). Modele symulacyjne w doskonaleniu procesów logistycznych w systemach zarządzania łańcuchem dostaw. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (5), <https://doi.org/10.33226/1231-2037.2019.5.53>

Dr Marcin Jurczak

Doktor nauk ekonomicznych. Od początku kariery naukowej związany z Uniwersytetem Ekonomicznym w Poznaniu. Absolwent studiów doktoranckich na Wydziale Zarządzania UEP, później pracownik Katedry Logistyki i Transportu, a obecnie adiunkt w Katedrze Logistyki UEP. Członek: Klubu Miłośników Pojazdów Szynowych, Poznańskiej Rady Transportu Aglomeracyjnego, Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji RP. Wśród zainteresowań naukowych wskazuje m.in.: rozwiązania i sieci transportu publicznego, infrastrukturę transportu, systemy informatyczne w logistyce i rynek usług logistycznych.

Dr Marcin Jurczak

PhD in Economics. Since the beginning of his academic career he has been associated with the University of Economics in Poznań. Graduated from a doctoral degree at the UEP Faculty of Management, later employee at the Logistics and Transport Department and currently as Assistant Professor at the Logistics Department at the UEP. Member of: Klub Miłośników Pojazdów Szynowych, Poznańska Rada Transportu Aglomeracyjnego, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP. His scientific interests include public transport solutions and networks, transport infrastructure, IT systems for logistics and logistics market.

Mgr Jerzy Danisz

Absolwent studiów magisterskich na Politechnice Poznańskiej oraz studiów podyplomowych w zakresie zarządzania projektami w Wyższej Szkole Bankowej. Od prawie dwóch dekad nieprzerwanie związany z firmą PSI Polska, w której zajmuje się rozwojem i wdrażaniem systemów klasy WMS. Od 2012 r. pełni funkcję szefa centrum kompetencji WMS w poznańskim oddziale PSI, kierując zespołem zajmującym się m.in. rozwojem systemów informatycznych do zarządzania pracą magazynów. Od samego początku włączony w prace związane z projektem Warehouse Intelligence, obecnie na stanowisku kierownika badawczo-rozwojowego projektu WI.

Mgr Jerzy Danisz

Graduated with a master's degree at Poznań University of Technology and a postgraduate degree in project management at WSB University. For almost two decades we have been continuously associated with the company PSI Polska, where he deals with the development and implementation of WMS systems. Since 2012, he has been the manager of the WMS Competence Centre at the PSI branch in Poznań and leads a team that is involved in the development of IT systems for the management of warehouses. From the beginning, he has been involved in the works of the Warehouse Intelligence project, currently as the research and development manager of this project.