

Anna SUCHENIA, Karol SUCHENIA, Bartosz KWIECIEŃ
Politechnika Krakowska

ZASTOSOWANIE NOTACJI BPMN W AUTOMATYZACJI PROCESÓW ZARZĄDZANIA MAGAZYNEM

Streszczenie. Automatyzacja procesów magazynowych z wykorzystaniem Business Process Model and Notation (BPMN) umożliwia szczegółowe modelowanie, analizę i optymalizację operacji magazynowych, takich jak przyjęcie towarów, przechowywanie, kompletacja zamówień i wysyłka. BPMN pozwala na precyzyjne dokumentowanie i identyfikację obszarów do automatyzacji, co prowadzi do zwiększenia efektywności, obniżenia kosztów, minimalizacji błędów i poprawy zarządzania magazynem. Przykłady zastosowania BPMN obejmują automatyczne rejestrowanie towarów, użycie robotów do kompletacji zamówień oraz integrację automatycznych systemów składowania i wyszukiwania. W artykule przedstawiono przypadek zastosowania BPMN do optymalizacji procesu przyjmowania towarów, co skróciło czas operacji i zmniejszyło liczbę błędów, przynosząc oszczędności kosztów i zwiększenie zadowolenia klientów. Automatyzacja procesów magazynowych za pomocą BPMN prowadzi do lepszej jakości zarządzania, wyższej efektywności i większego bezpieczeństwa pracy.

THE APPLICATION OF BPMN NOTATION IN WAREHOUSE MANAGEMENT PROCESS AUTOMATION

Summary. The automation of warehouse processes using Business Process Model and Notation (BPMN) enables detailed modeling, analysis, and optimization of warehouse operations, such as goods receipt, storage, order picking, and shipping. BPMN allows for precise documentation and identification of areas for automation, leading to increased efficiency, cost reduction, error minimization, and improved warehouse management. Examples of BPMN applications include the automatic registration of goods, the use of robots for order picking, and the integration of automated storage and retrieval systems. The article presents a case study of BPMN applied to optimize the goods receipt process, which resulted in reduced operation time and a decrease in errors, leading to cost savings and increased customer satisfaction. Automating warehouse processes with BPMN results in better management quality, higher efficiency, and enhanced workplace safety.

1. Wstęp

Automatyzacja magazynów stanowi obecnie jedno z kluczowych wyzwań w logistyce i zarządzaniu łańcuchem dostaw. Proces ten opiera się na wykorzystaniu zaawansowanych technologii, które minimalizują udział pracowników w codziennych operacjach magazynowych, co skutkuje zmniejszeniem kosztów, poprawą efektywności oraz zwiększeniem bezpieczeństwa pracy. W niniejszym artykule przedstawione zostanie, jak notacja BPMN (ang. *Business Process Model and Notation*) może wspierać procesy automatyzacji w zarządzaniu magazynem.

2. BPMN jako narzędzie do modelowania procesów

Notacja Business Process Model and Notation (BPMN) jest powszechnie uznawanym standardem służącym do modelowania procesów biznesowych, stworzonym przez Object Management Group (OMG) [6]. BPMN umożliwia tworzenie intuicyjnych i przejrzystych diagramów, które przedstawiają sekwencję działań i przepływ informacji w procesach biznesowych [5, 9]. Notacja BPMN składa się z kilku kluczowych elementów, które można podzielić na cztery główne kategorie: obiekty przepływu, obiekty połączeń, obiekty danych oraz elementy puli i torów [1, 6]. Obiekty przepływu obejmują zdarzenia (np. początkowe, pośrednie, końcowe), zadania (określające konkretne działania) oraz bramki (decydujące o ścieżce procesu). Obiekty połączeń, takie jak przepływy sekwencyjne, komunikacyjne oraz asocjacyjne, definiują relacje między obiektami przepływu. Obiekty danych, w tym obiekty danych, magazyny danych i wiadomości, reprezentują informacje wykorzystywane i przetwarzane w procesach. Elementy puli i torów umożliwiają modelowanie współpracy między różnymi uczestnikami procesu, definiując granice odpowiedzialności i interakcje między nimi. Dzięki swojej elastyczności i szczegółowości, BPMN jest niezwykle przydatnym narzędziem do dokumentowania, analizowania i optymalizowania procesów biznesowych w różnych branżach [4, 7, 8]. W kontekście zarządzania magazynem, BPMN może być używane do:

- **Dokumentowania procesów magazynowych:** BPMN umożliwia tworzenie szczegółowych diagramów procesów, co ułatwia zrozumienie i analizę poszczególnych operacji.
- **Identyfikowania możliwości automatyzacji:** Analiza procesów za pomocą BPMN pozwala na identyfikację obszarów, które mogą być zautomatyzowane, co prowadzi do zwiększenia efektywności.
- **Optymalizacji istniejących procesów:** BPMN umożliwia łatwe wprowadzanie zmian i testowanie różnych scenariuszy, co pomaga w optymalizacji procesów.

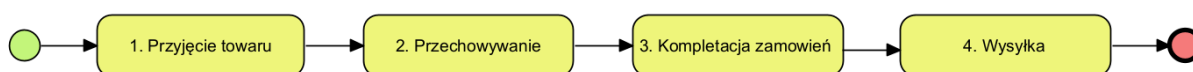
2. Automatyzacja procesów magazynowych z wykorzystaniem BPMN

Automatyzacja procesów magazynowych przy użyciu BPMN umożliwia precyzyjne modelowanie, analizowanie i optymalizowanie operacji magazynowych. BPMN pozwala na szczegółowe dokumentowanie procesów takich jak przyjęcie towarów, przechowywanie, kompletacja zamówień oraz wysyłka [2, 3]. Dzięki diagramom BPMN można łatwo zidentyfikować obszary, które mogą być

zautomatyzowane, na przykład automatyczne rejestrowanie towarów za pomocą skanerów kodów kreskowych, zastosowanie robotów do kompletacji zamówień czy wykorzystanie automatycznych systemów składowania i wyszukiwania (AS/RS). Integracja BPMN z systemami automatyzacji prowadzi do zwiększenia efektywności, redukcji kosztów operacyjnych oraz minimalizacji błędów, co znacząco poprawia wydajność i niezawodność zarządzania magazynem.

Pierwszym krokiem w automatyzacji magazynu za pomocą BPMN jest stworzenie modelu obecnych procesów. Przykładowy proces magazynowy przedstawiony na rysunku 1 obejmuje:

1. **Przyjęcie towaru:** Towar jest przyjmowany na magazyn, rejestrowany w systemie, a następnie lokowany na odpowiedniej półce.
2. **Przechowywanie:** Towary są przechowywane na półkach, a system zarządzania magazynem monitoruje ich lokalizację oraz stan.
3. **Kompletacja zamówień:** Na podstawie zamówień, towary są kompletowane i przygotowywane do wysyłki.
4. **Wysyłka:** Towary są pakowane i wysyłane do klientów.



Rys. 1. Prosty proces magazynowy. Źródło: opracowanie własne

2.1 Identyfikacja obszarów do automatyzacji

Po zidentyfikowaniu obecnych procesów, kolejnym krokiem jest identyfikacja obszarów, które mogą być zautomatyzowane. W przypadku magazynów, mogą to być:

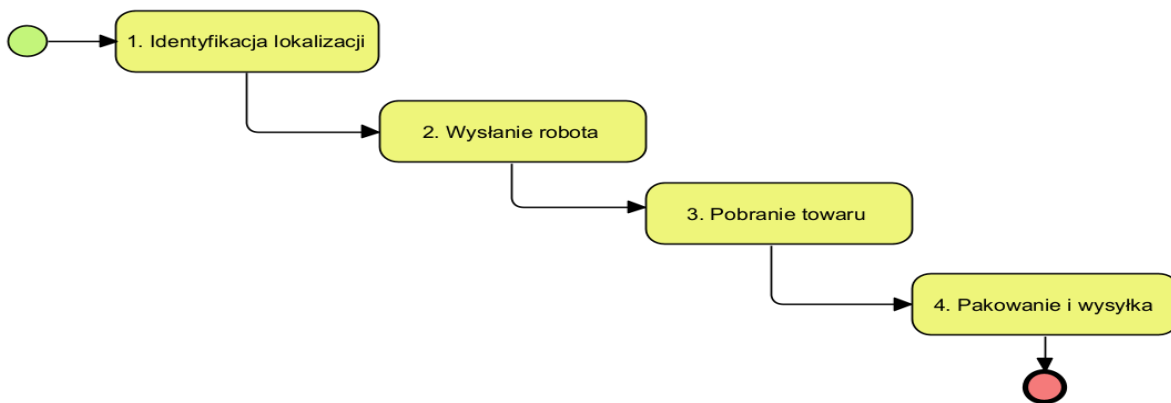
1. **Automatyczne rejestrowanie przyjęć towarów:** Zastosowanie skanerów kodów kreskowych oraz RFID w celu automatycznego rejestrowania przyjęć towarów.
2. **Automatyczne składowanie:** Wykorzystanie automatycznych systemów składowania i wyszukiwania (AS/RS) do lokowania towarów na odpowiednich półkach.
3. **Robotyka w kompletacji zamówień:** Zastosowanie robotów do kompletacji zamówień, co zmniejsza czas i błędy związane z ręcznym wybieraniem towarów.
4. **Automatyczne pakowanie i wysyłka:** Użycie maszyn do automatycznego pakowania oraz przygotowywania towarów do wysyłki.

2.2 Przykład modelowania procesu przyjmowania towarów w magazynie

Automatyczne działanie magazynu zostało przedstawione w formie modelu rzeczywistego i polega na pobraniu przedmiotu (pudełka) z miejsca startowego przez robot- pojazd wykorzystujący siłownik i elektromagnes, a następnie na dostarczeniu go w wybrane uprzednio na panelu operatorskim miejsce. Każdy z tych elementów BPMN przedstawia konkretne etapy i decyzje w procesie sterowania magazynem za pomocą panelu HMI. Model ten uwzględnia zarówno ręczne, jak i automatyczne tryby operacji, oraz szczegółowe sterowanie poszczególnymi elementami systemu magazynowego.

Przykładem może być proces kompletacji zamówień, przedstawiony na rysunku 2, który został zautomatyzowany przy użyciu robotów:

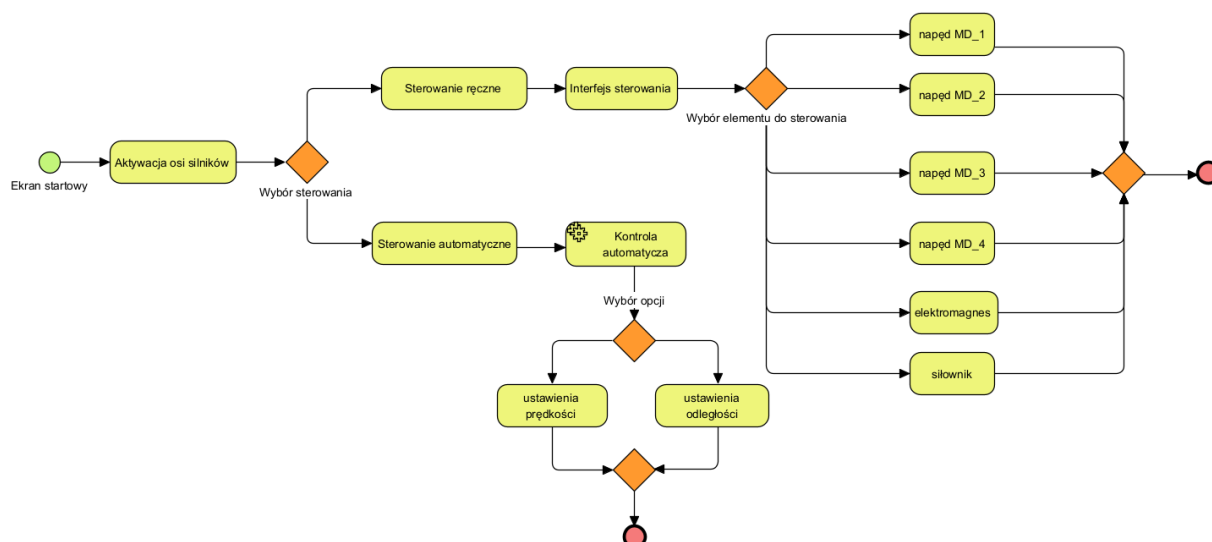
- **Start procesu:** System zarządzania magazynem odbiera zamówienie.
- **Identyfikacja lokalizacji towarów:** System automatycznie identyfikuje lokalizację wymaganych towarów.
- **Wysłanie robota do lokalizacji:** Robot jest wysyłany do odpowiednich lokalizacji w magazynie.
- **Pobranie towarów przez robota:** Robot pobiera towary i transportuje je do strefy pakowania.
- **Pakowanie i przygotowanie do wysyłki:** Towary są automatycznie pakowane i przygotowywane do wysyłki.



Rys. 2. Proces kompletacji zamówień. Źródło: opracowanie własne.

Każdy z tych elementów BPMN przedstawia konkretne etapy i decyzje w procesie sterowania magazynem za pomocą panelu HMI (rys. 3). Model ten uwzględnia zarówno ręczne, jak i automatyczne tryby operacji, oraz szczegółowe sterowanie poszczególnymi elementami systemu magazynowego.

Proces rozpoczyna się od ekranu startowego, na którym znajduje się tytuł pracy oraz przycisk aktywujący system wizualizacji. Przyciśnięcie przycisku aktywuje wszystkie osie silników krokowych i przechodzi do ekranu wyboru trybu sterowania. Następnie jest task z „*Aktywacja wszystkich osi silników krokowych*”. Zadanie to polega na aktywacji wszystkich osi silników krokowych. Po nim następuje wybór trybu sterowania. Użytkownik ma możliwość wyboru trybu sterowania: *ręcznego* lub *automatycznego*. Jeśli użytkownik wybierze tryb ręczny, proces przechodzi do zadania „*Sterowanie ręczne*”. Jeśli użytkownik wybierze tryb automatyczny, proces przechodzi do zadania „*Sterowanie automatyczne*”.

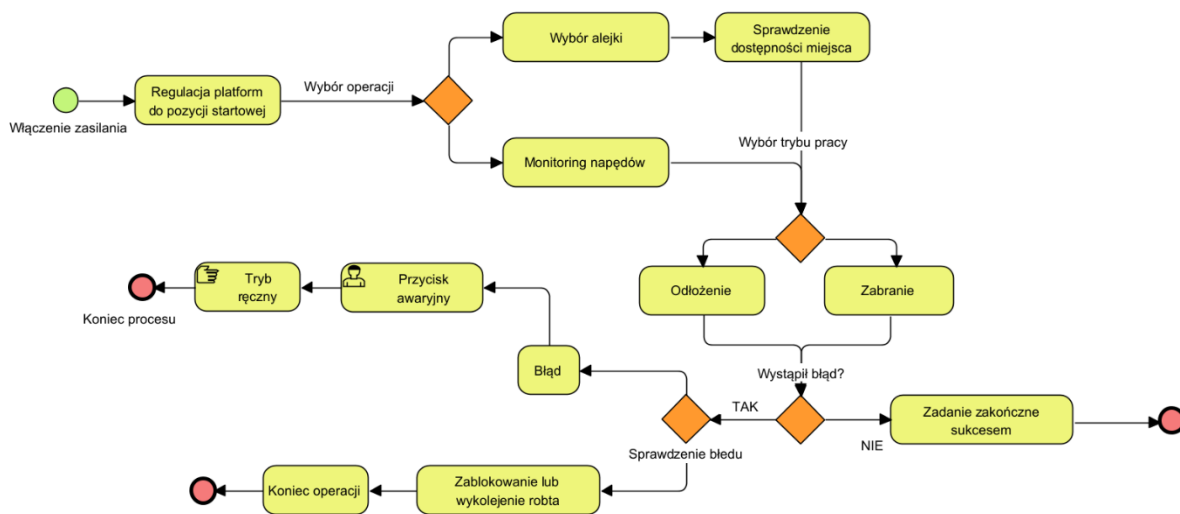


Rys. 3. Model BMN: wizualizacja sterowaniem robota w magazynie.
Źródło: opracowanie własne.

W trybie ręcznym użytkownik ma dostęp do interfejsów sterowania poszczególnymi elementami systemu. Z kolei w trybie automatycznym system sam kontroluje operacje magazynowe. Po czym następuje wybór elementu do sterowania. W trybie ręcznym użytkownik wybiera, którym elementem chce sterować. Dostępne opcje to: napęd MD_1, napęd MD_2, napęd MD_3, napęd MD_4, elektromagnes, siłownik. *Sterowanie napędem MD_1* umożliwia użytkownikowi kontrolowanie silnika krokowego odpowiedzialnego za obrót pierwszej platformy. Zadanie „*Sterowanie napędem MD_2*” jest zadaniem, w którym użytkownik może kontrolować silnik krokowy odpowiedzialny za poruszanie się robota. Następnym elementem jest „*Sterowanie napędem MD_3*”, gdzie użytkownik może kontrolować silnik krokowy odpowiedzialny za napęd platformy obrotowej robota. Kolejne, *Sterowanie napędem MD_4*, w którym użytkownik może kontrolować silnik krokowy odpowiedzialny za napęd drugiej platformy. W przypadku wyboru „*Sterowanie elektromagnesem*” użytkownik może kontrolować elektromagnes, włączając lub wyłączając go. „*Sterowanie siłownikami*” użytkownik może kontrolować siłownik, sterując jego wysuwaniem i wsuwaniem. Po czym jest możliwy wybór opcji. W trybie automatycznym użytkownik może przejść do ekranu ustawień prędkości lub ustawień odległości. W przypadku zadania „*Ustawienia prędkości*” użytkownik może modyfikować wartości prędkości napędów. Natomiast zadanie „*Ustawienia odległości*” umożliwia użytkownikowi modyfikację wartości ustawień odległości. Proces kończy się po wykonaniu wszystkich zadań w wybranym trybie sterowania.

Drugim opisywanym wariantem jest model sterowania robotem w magazynie w trybie automatycznym (rys. 4). Proces rozpoczyna się od włączenia zasilania systemu. Następnie operator w trybie ręcznym dokonuje regulacji każdej platformy robota oraz magazynu do pozycji startowej, aby uniknąć potencjalnych problemów i wykolejeń robota. Użytkownik ma możliwość wyboru operacji związanej z odłożeniem lub zabranieniem przedmiotu. Użytkownik wybiera konkretną alejkę, w której chce przeprowadzić operację. System sprawdza dostępność miejsca w wybranej alejce, prezentując wolne miejsca na zielono i zajęte na czerwono. Użytkownik może

uruchomić monitoring napędów w czasie rzeczywistym. Następuje wybór trybu pracy. Użytkownik wybiera tryb pracy: odłożenie lub zabranie przedmiotu. Jeśli użytkownik wybiera tryb odłożenia produktu, proces przechodzi do zadania "Odłożenie produktu". Program automatycznie przetransportowuje produkt na wskazane miejsce w magazynie. Jeśli użytkownik wybiera tryb zabrania produktu, proces przechodzi do zadania "Zabranie produktu". Jeśli dane miejsce jest oznaczone na czerwono (zajęte), program wykonuje sekwencję zabierania produktu. Może wystąpić zdarzenie „Wystąpienie błędu”. Wówczas system sprawdza, czy wystąpił *błąd*, *zablokowanie* lub *wykolejenie się pojazdu*. Jeśli wystąpił błąd, proces przechodzi do zadania "Naciśnięcie przycisku awaryjnego". Operator naciska przycisk awaryjny i przechodzi w tryb ręczny, aby wykonać całą sekwencję ręcznie. Jeśli nie wystąpił *błąd*, proces przechodzi do zadania "Koniec operacji". Proces kończy się po zakończeniu operacji.



Rys. 4. Model BPMN: wizualizacja w trybie automatycznym.

Źródło: opracowanie własne.

2.3 Korzyści z zastosowania BPMN

Notacja BPMN znacząco wspiera optymalizację procesów magazynowych, minimalizując czas potrzebny na przyjęcie i składowanie towarów. BPMN umożliwia dokładne modelowanie etapów procesu od otrzymania zawiadomienia o dostawie, przez przygotowanie miejsca w magazynie, odbiór i weryfikację towarów, po ich rozładunek i składowanie. Dzięki BPMN można precyzyjnie definiować działania, optymalizować użycie zasobów oraz kontrolować jakość i zgodność towarów z zamówieniami. Ponadto, BPMN wspiera przepływ informacji między magazynem a innymi działami firmy oraz wdrażanie automatycznych powiadomień i alertów. Modelowanie BPMN pozwala na śledzenie kluczowych wskaźników wydajności, identyfikację obszarów wymagających poprawy i inicjowanie działań w ramach ciągłego doskonalenia procesów magazynowych. Zaproponowane zastosowanie notacji BPMN w zarządzaniu magazynem przynosi następujące korzyści:

- **Zwiększenie przejrzystości procesów:** Dzięki BPMN, wszystkie procesy są dokładnie udokumentowane, co zwiększa przejrzystość i ułatwia zarządzanie magazynem.
- **Szybsza identyfikacja problemów:** Dzięki czytelnym diagramom BPMN, łatwiej jest identyfikować i rozwiązywać problemy w procesach magazynowych.
- **Efektywna automatyzacja:** BPMN pozwala na dokładne zaplanowanie i wdrożenie automatyzacji, co zwiększa efektywność operacyjną magazynu.

W ramach prowadzonych badań nawiązano współpracę z firmą, która umożliwiła przetestowanie zaproponowanego modelu w środowisku rzeczywistym. W celu pomiaru i analizy wyników, wszystkie dane zostały zapisane w bazach danych. Bazy danych zostały zaprojektowane tak, aby umożliwić segregację parametrów odpowiedzialnych za poprawne wykonanie każdego zadania. W skład tych parametrów wchodziły zarówno te obsługiwane przez interfejs HMI (rys. 5), jak i te odpowiedzialne za określanie odległości do każdej półki (rys. 6). Dzięki zastosowaniu baz danych możliwe było sterowanie parametrami w czasie rzeczywistym za pomocą HMI, co eliminowało konieczność ponownego wgrywania poprawek do sterownika.

W opracowanym przykładzie zastosowanie tego modelu pozwoliło na znaczące skrócenie czasu potrzebnego na przyjęcie towarów o 30% oraz redukcję liczby błędów o 20%. Tego rodzaju usprawnienia doprowadziły do znacznych oszczędności kosztów operacyjnych oraz przyczyniły się do wzrostu zadowolenia klientów.

MD_1_VELOCITY	Real	200.0
MD_2_VELOCITY	Real	400.0
MD_3_VELOCITY	Real	200.0
MD_4_VELOCITY	Real	200.0
MD_1_VELOCITY_UST_FAB	Real	200.0
MD_2_VELOCITY_UST_FAB	Real	400.0
MD_3_VELOCITY_UST_FAB	Real	200.0
MD_4_VELOCITY_UST_FAB	Real	200.0

Rys. 5. Wycinek wnętrza bloku bazy danych zawierającego parametry prędkości.

Źródło: opracowanie własne.

MD_2_KORDYNATY_DOJAZD_DO_PÓLKI	Real	0.0
MD_2_DISTANCE_DOJAZD_DO_P1	Real	830.0
MD_2_DISTANCE_DOJAZD_DO_P2	Real	2370.0
MD_1_DISTANCE_90_PRAWO	Real	-200.0
MD_1_DISTANCE_1.8_PRAWO	Real	-4.0
MD_3_DISTANCE_90_PRAWO	Real	200.0
MD_3_DISTANCE_1.8_PRAWO	Real	4.0
MD_4_DISTANCE_90_PRAWO	Real	-200.0
MD_4_DISTANCE_1.8_PRAWO	Real	-4.0
MD_2_KORDYNATY_Kolumna_1	Real	-800.0
MD_2_KORDYNATY_Kolumna_2	Real	-1280.0
MD_2_KORDYNATY_Kolumna_3	Real	-1750.0
MD_2_KORDYNATY_Kolumna_4	Real	0.0

Rys. 6. Wycinek wnętrza bloku bazy danych zawierającego parametry odległości w pulsach. Źródło: opracowanie własne

3. Podsumowanie

BPMN został wykorzystany do modelowania i optymalizacji procesu przyjmowania towarów. Przed wdrożeniem BPMN, proces ten był chaotyczny i czasochłonny, co prowadziło do częstych opóźnień i błędów. Dzięki BPMN, firma zidentyfikowała wąskie gardła, zoptymalizowała rozmieszczenie towarów oraz wdrożyła automatyczne powiadomienia, co znacząco poprawiło efektywność i dokładność operacji. W rezultacie, czas potrzebny na przyjęcie towarów został skrócony o 30%, a liczba błędów zmniejszyła się o 20%, co przyniosło znaczące oszczędności kosztów i zwiększenie zadowolenia klientów. Zastosowanie BPMN w automatyzacji procesów zarządzania magazynem prowadzi do znacznej poprawy efektywności operacyjnej, precyzyjnego modelowania i analizy procesów, optymalizacji zasobów, redukcji kosztów oraz zwiększenia bezpieczeństwa pracy i jakości zarządzania magazynem.

LITERATURA

1. Chinosi M., Trombetta A.: Bpmn: An introduction to the standard. *Computer Standards & Interfaces* 34, 2012, p.124–134.
2. <https://mfiles.pl/pl/index.php/Automatyzacja> Styczeń 2024.
3. <https://www.streamsoft.pl/e-commerce/magazyn-zautomatyzowany/> Styczeń 2024
4. Kluza K., Jobczyk K., Wiśniewski P., Ligęza A.: Overview of time issues with temporal logics for business process models. In: *Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, 2016, 1115–1123.
5. Lübke D., Schneider K.: Visualizing use case sets as bpmn processes. In: *Requirements Engineering Visualization, REV'08.*, IEEE 2008, p. 21–25.
6. OMG: *Business Process Model and Notation (BPMN): Version 2.0 specification*, 2011.
7. Suchenia A.: *Projektowanie systemów informatycznych z wykorzystaniem zintegrowanych notacji OMG*, Rozprawa doktorska, 27.11.2023 r.
8. Suchenia A., Wiśniewski P., Ligęza A.: Overview of Verification Tools for Business Process Models , *Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, 2017.
9. Trkman M., Mendling J., Krisper M.: Using business process models to better understand the dependencies among user stories. *Information and Software Technology* 71, 2016, p. 58–76.