

Małgorzata Kaczmarek – Jasiulewicz¹
Politechnika Poznańska

Mariusz Piechowski²
Indit Sp. z o.o.

Przemysław Drożyner³
Uniwersytet Warmińsko - Mazurski w Olsztynie

Zastosowanie narzędzi IT i regałów automatycznych do zarządzania częściami zamiennymi – studium przypadku.

1. WPROWADZENIE

Jednym z istotnych czynników wpływających na efektywność procesu produkcyjnego jest utrzymanie ciągłości przepływu materiałowego. Z tego względu coraz większego znaczenia nabiera problematyka zarządzania częściami zamiennymi wykorzystywanym w procesach utrzymania ruchu maszyn i urządzeń [5]. Celem zarządzania częściami zamiennymi jest zapewnienie ich dostępności i jakości przy optymalnych kosztach. Informacje przesyłane w ramach przedmiotowego procesu zarządzania powinny podlegać ciągłemu w czasie procesowi monitoringu [6]. Znaczenie zarządzania zapasami części zamiennych oraz potrzeba koordynacji decyzji w tym obszarze jest oczywiście problemem znanym od dawna. Niemniej jednak, ze względu na dążenie przedsiębiorstw do „odchudzania” procesów wewnętrznych i ciągłego poszukiwania działań generujących straty nabiera znaczenia szczególnego [3]. Analiza publikacji naukowych dotyczących zarządzania częściami zamiennymi wskazuje zarówno na złożoność problematyki jak i wielość proponowanych modeli analitycznych różnych systemów kontroli zapasów części zamiennych [1, 2, 4, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. Na uwagę zasługuje fakt, iż coraz częściej autorzy w publikacjach koncentrują uwagę nie tylko na modelach matematycznych optymalizacji poziomu zapasów, ale również na aspektach efektywności organizacyjnej systemu, starając się zrównoważyć aspekty ilościowe z aspektami jakościowymi [7,] [8].

W artykule przedstawiono model zarządzania częściami zamiennymi w dużym przedsiębiorstwie produkującym komponenty dla branży motoryzacyjnej. Zakresem rozważań objęto proces sterowania zapasami części zamiennych, dla którego zbudowano model systemu, reprezentującego istotne jego cechy przy pomocy aparatu teorii zbiorów rozmytych.

2. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU I PRZEDMIOTU ROZWAŻAŃ

Branża motoryzacyjna charakteryzuje się szczególnymi wymaganiami w zakresie wyboru i oceny zdolności dostawcy do spełnienia wymagań klienta. Ocenie podlegają nie tylko parametry dostarczanego wyrobu, ale również zdolność realizowanych procesów produkcyjnych. Zdolność ta zależy m.in. od dostępności i niezawodności stosowanego wyposażenia produkcyjnego. Stąd też zapewnienie ich skutecznej i efektywnej obsługi technicznej jest sprawą kluczową. W przedsiębiorstwie będących obiektem działań optymalizacyjnych utrzymanie ruchu maszyn i urządzeń oraz instalacji w przedsiębiorstwie zajmują się własne służby utrzymania ruchu. Prace wykonywane są w warsztacie, w którym znajdują się zarówno maszyny, urządzenie i narzędzia potrzebne do wykonywania prac naprawczych jak i składowane są części zamienne.

1 Dr inż. M. Jasiulewicz-Kaczmarek, adiunkt, Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Zarządzania, Katedra Ergonomii i Inżynierii Jakości.

2 Mgr inż. M. Piechowski, Indit Sp. z o.o.

3 Dr inż. P. Drożyner, adiunkt, Uniwersytet Warmińsko - Mazurski, Wydział Nauk Technicznych, Katedra Budowy, Eksploatacji Pojazdów i Maszyn.

Przeprowadzone w przedsiębiorstwie analizy wykazały szereg problemów w obszarze zarządzania częściami zamiennymi, m.in.:

- zbyt duża liczba „zbędnych” i „martwych” części zamiennych na magazynie;
- błędy w identyfikacji części np. dublowanie się indeksów części zamiennych;
- brak jednoznacznej metody składowania i pobierania części zamiennych;
- zbyt duża powierzchnia składowania części zamiennych;
- błędy decyzyjne podczas zamawiania części zamiennych, skutkujące m.in. wydłużeniem czasu oczekiwania na naprawę.

Zarząd przedsiębiorstwa podjął działania mające na celu obniżenie kosztów magazynowania części zamiennych oraz poprawę organizacji pracy działu utrzymania ruchu. Pierwszym etapem był zakup regałów automatycznych wysokiego składowania Lean-Lift firmy Hänel (Rys. 1.).



Rys. 1. Regał Lean-Lift

Źródło: zdjęcia udostępnione przez firmę *ISL Innowacyjne Systemy Logistyczne Sp. z o.o.*

Regały te, wykorzystują dostępną wysokość pomieszczeń, podobnie jak magazyny wysokiego składowania, z tą jednak różnicą, że wewnątrz regału jest winda, i przy jej pomocy towar dostarczany jest automatycznie „wprost do rąk” operatora, zawsze na tą samą, ergonomiczną wysokość okna dostępowego. Dodatkowo regały Lean-Lift nie mają ustalonych odległości pomiędzy półkami, lecz dostosowują je dynamicznie do wysokości przechowywanych towarów, wykorzystując system fotokomórek w oknie dostępowym regału, które mierzą wielkość składowanych towarów. Jest to szczególnie istotne przypadku wyrobów o zróżnicowanej wysokości (a z takimi mamy do czynienia w przypadku części zamiennych), ponieważ pozwala na bardzo gęste ułożenie półek, i w rezultacie uzyskania wysokiej optymalizacji i wykorzystania miejsca.

Kolejnym etapem było zaprojektowanie i wdrożenie rozwiązań informatycznych wspomagających podejmowanie decyzji w obszarze sterowania procesem zarządzania częściami zamiennymi. Celem projektu było:

- skrócenie czasu usuwania awarii maszyn strategicznych i zmniejszenie czasów przestoju pozostałych maszyn;
- utrzymywanie uzasadnionego poziomu minimalnych zapasów części zamiennych.

Pierwszym zadaniem było uporządkowanie i uzupełnienie informacji w kartotece części zamiennych. W tym celu zaprojektowano kartotekę części (Rys. 2.), która poza opisem części zamiennej (dane opisowe, kod kreskowy, rysunki, dostawcy, krytyczność części, historia operacji, lokalizacja, layout składowania), umożliwiła m.in.:

- dostarczanie bieżących informacji o : zamówieniach, stanach minimalnych i maksymalnych,
- katalogowanie i weryfikację rotacji części;
- analizowanie historii operacji oraz generowanie automatycznych raportów i zestawień;
- powiązanie części zamiennych z kartoteką maszyn i urządzeń;
- zgłaszanie potrzeby zakupów w związku ze zbliżającym się planowym działaniem utrzymania ruchu.

KOLOR	STATUS	NR PÓŁKI	INDEKS	INDEKS GRUPA	INDEKS NUMER	NAZWA	CECHA	STAN	JM	ZAPAS MIN	ZAPAS MAX	ZAM
	NA STANIE	R1P03	E03-0067	E03	67	Lampka zielona	XB7-EV63P	16	szt	5	30	
	NA STANIE	R1P03	E03-0069	E03	69	Lampka czerwona	XB7-EV64P	14	szt	5	30	
	MINIMUM	R1P03	E03-0068	E03	68	Lampka żółta	XB7-EV65P	1	szt	5	30	
	NA STANIE	R1P01	E03-0011	E03	11	Przycisk czerwony STOP	ZB4 BL434	7	szt	5	20	
	NA STANIE	R2P11	E02-0444	E02	444	Wentylator	SK 3321 100	1	szt.	0	0	
	BRAK NA STANIE	R2P11	E02-0445	E02	445	Filtr wentylatora	SK 3321 200	0	szt.	2	10	
	NA STANIE	R2P11	E02-0447	E02	447	Filtr wentylatora	210/310	1	szt.	0	0	
	NA STANIE	R2P11	E02-0448	E02	448	Wentylator	KD1206PHB1	16	szt.	0	0	
	MINIMUM	R2P11	E02-0449	E02	449	Wentylator	KD2406PTB1	1	szt.	10	40	
	NA STANIE	R2P11	E02-0450	E02	450	Wentylator	4890N	1	szt.	0	0	

Rys. 2. Widok panelu Głównego Magazyniera.

Kolejnym krokiem było powiązanie kartoteki części zamiennych z zakupionymi regałami Lean-Lift firmy Hänel (Rys. 3.).

STATUS	MIEJSCE	INDEKS	NAZWA	CECHA	STAN	ZAPAS MIN	PRODUCENT	OPIS
NA STANIE	NH25	M01-0300	Elementy mocujące	52269618	1	1		
NA STANIE	NH25	M01-0301	Puszka przyłączeniowa	52272207	2	0		
NA STANIE	NH25	M01-0302	Koła wózka napędzane	52301386	1	1		
BRAK NA ...	NH25	M01-0303	Hamulec	NH 803341	0	0		
NA STANIE	NH25	M01-0304	Tarcza hamulca	52265867	1	1		
NA STANIE	NH25	M01-0305	Koło wózka bierne	52301392	1	1		
NA STANIE	M00P	M01-0306	Płyta boczna	P4H0075	2	0		
NA STANIE	M00P	M01-0307	Profil łączący	P4H0056	2	0		
NA STANIE	M00P	M01-0308	Błacha boczna	P4H0008	2	0		
NA STANIE	M00P	M01-0309	Profil uszczelniający	P4L0026	2	0		
NA STANIE	M00P	M01-0310	Ostona	P4H0072	1	0		
NA STANIE	NH25	M01-0311	Krażek śnowy	22-87221	1	0		
NA STANIE	R3P18	M01-0312	Oring	210x5	3	0		
NA STANIE	R4P00	M01-0313	Oring	32x3,5	9	0		
NA STANIE	NH25	M01-0314	Wewnętrzna pokrywa zbiornika	22-86601	1	1		
NA STANIE	M00P	M01-0315	Ostona krawędzi	OKU4/2	25	0		
NA STANIE	M00P	M01-0316	Ostona krawędzi	OKU3/1,5	50	0		
NA STANIE	M00P	M01-0317	Ostona krawędzi	OKU2/1	50	0		
NA STANIE	R3P26	M01-0318	Thumik	U-3/4	5	0		
NA STANIE	R3P26	M01-0319	Thumik	U-1/2	5	0		

Rys. 3. Widok panelu pracownika utrzymania ruchu.

Wdrożony moduł oprogramowania umożliwił:

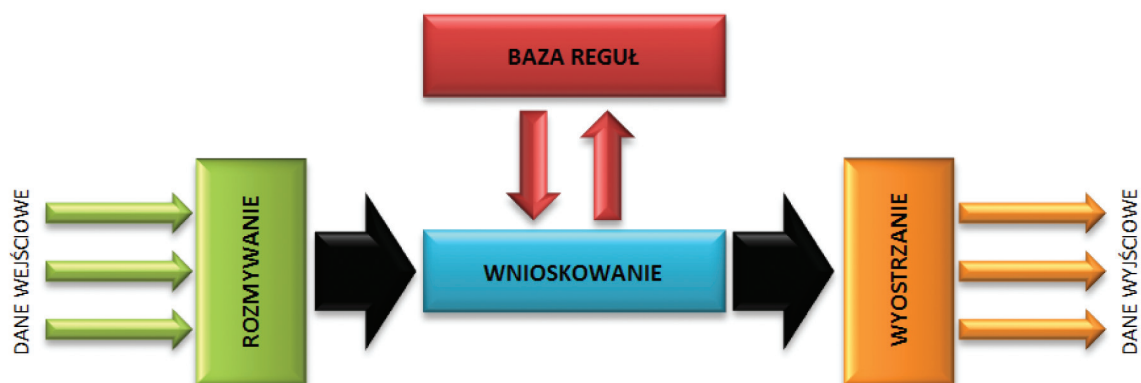
- wielokryterialne wyszukiwanie części i ich wizualizację przed pobraniem;
- identyfikację części na layout'cie;
- przesyłanie poleceń do regału (np. dostarcz półkę z częścią);
- płynne wykonywanie operacji np. pobierz, uzupełnij stan, inwentaryzacja, itd.

Mając uporządkowane dane wejściowe przystąpiono do realizacji kolejnego zadania, jakim było zbudowanie narzędzia umożliwiającego optymalizację poziomu zapasów części zamiennych przy zachowaniu wymaganej dostępności i niezawodności maszyn i urządzeń produkcyjnych. Aby móc sterować procesem zarządzania częściami zamiennymi konieczne było zbudowanie modelu, na podstawie którego będzie można podejmować decyzje związane ze sterowaniem. Dla rozwiązania problemu w przedsiębiorstwie zbudowano model systemu, reprezentującego istotne jego cechy przy pomocy aparatu teorii zbiorów rozmytych. Logika rozmyta, w odróżnieniu od logiki klasycznej, nie posługuje się tylko pojęciami ostrymi, takimi jak „prawda”, „fałsz”, „tak”, „nie”, ale również pojęciami nieostrymi, np. „źle”, „słabo”, „średnio”, „dobrze”, „bardzo dobrze”.

3. TEORETYCZNE PODSTAWY ROZWIĄZANIA PROBLEMU

Istnieje wiele metod tworzenia modeli. Do najprostszych należy stworzenie zestawu odpowiednich zmiennych lingwistycznych oraz zbioru reguł postaci IF ... THEN ... stanowiących jakościowy opis systemu, najbardziej bliski językowi naturalnemu.

Działanie sterownika rozmytego opiera się na zasadzie aproksymacji funkcji realizującej rzeczywisty proces. Sterownik otrzymuje wartości opisujące stan systemu i przetwarza to w ostrą wartość sterującą tym systemem. Klasyczny sterownik składa się z czterech części: bazy reguł, bloku rozmywania, bloku wnioskowania, bloku wyostrzania, a każda z nich może być realizowana na wiele sposobów (Rys. 4.).



Rys. 4. Model sterownika rozmytego.

Źródło: opracowanie własne.

Sygnałami wejściowymi wykorzystywanymi w procesie sterowania są zmienne lingwistyczne np. cena, czas, itd., które mogą przyjmować wartości rozmyte np. {mała, średnia, duża}, {krótki, średni, duży}. Projektujący system ma za zadanie dobrać tak parametry zbiorów rozmytych i obszarów rozważań by odpowiadały one rzeczywistości w jak najlepszym stopniu. Charakterystykę poszczególnych części sterownika rozmytego

przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Elementy sterownika rozmytego

Element sterownika rozmytego	Charakterystyka działań
Baza reguł	Baza reguł stanowi reprezentację wiedzy projektującego o możliwych wartościach zmiennych stanu, o pożądanym stanie systemu, itp. Na bazę reguł składa się więc zbiór pewnych rozmytych reguł postaci: <i>IF</i> (x_1 jest A_1) <i>AND</i> ... <i>AND</i> (x_n jest A_n) <i>THEN</i> (y_1 jest B_1) <i>AND</i> ... <i>AND</i> (y_m jest B_m), gdzie A_i, B_j są zbiorami rozmytymi, x_i są danymi wejściowymi, a y_j są zmiennymi wyjściowymi modelu lingwistycznego. Od trafnego wyboru zmiennych stanu i zmiennych sterujących systemem zależy właściwe funkcjonowanie sterownika. Wynikiem działania bazy reguł są tzw. poziomy konkluzji poszczególnych reguł, używane do budowania wynikowej funkcji przynależności $\mu_{\text{wyn}}(y)$. Dla każdego z wyjściowych zbiorów rozmytych otrzymujemy odpowiedni poziom, który następnie zestawiamy z właściwym zbiorem, budując w ten sposób wynikową funkcję przynależności.
Blok rozmywania	W tym bloku, konkretna wartość liczbową skojarzona z daną zmienną lingwistyczną poddana zostaje operacji rozmywania, tzn. określania ich stopnia przynależności do właściwych zbiorów rozmytych wejścia. Aby operację tę przeprowadzić blok rozmywania musi posiadać dokładnie zdefiniowane funkcje przynależności $\mu_A(x)$, do zbiorów rozmytych poszczególnych wejść. Funkcja przynależności przyporządkowuje każdemu elementowi x danej zmiennej pewną wartość z zakresu $[0,1]$: $\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1], \quad \forall x \in X.$ Obliczone i podane na wyjściu bloku rozmywania wartości stopni przynależności informują o tym, jak wysoka jest przynależność ostrych wartości wejść do poszczególnych zbiorów rozmytych wejść. Wartości te, są następnie przekazywane do bloku wnioskowania.
Blok wnioskowania	Blok wnioskowania oblicza na podstawie wejściowych stopni przynależności tzw. wynikową funkcję przynależności $\mu_{\text{wyn}}(y)$ wyjścia regulatora. Aby przeprowadzić obliczenia inferencyjne blok ten musi zawierać następujące, ściśle zdefiniowane elementy: bazę reguł, mechanizm inferencyjny, funkcje przynależności wyjścia y modelu. W bloku wnioskowania ma miejsce uruchomienie każdej z reguł, której przesłanki są spełnione.
Blok wyostrzania	Ponieważ do konkretnego sterowania potrzebna jest konkretna wielkość, dlatego dane wyjściowe bloku wnioskowania (jeden lub więcej zbiorów rozmytych) odwzorowuje się w jedną wielkość, która będzie wyjściowym sygnałem sterowania. Działanie to realizowane jest w bloku wyostrzania i może być przeprowadzone na wiele sposobów. Ogólnie dzielimy je na dwie grupy metod: metody <i>center of area</i> (COA) oraz metody średniej z największych (MOM). Przykładem pierwszej z nich jest metoda środka ciężkości zbioru rozmytego (CoG), natomiast przykładem metody drugiego typu jest metoda "pierwszy z największych" (FM).

Źródło: opracowanie własne

Ponieważ środowisko, w którym sterownik funkcjonuje zmienia się, konieczne jest jego strojenie. Strojenie polega na poprawianiu znaczeń terminów zmiennych lingwistycznych, tzn. zmianie ich parametrów, obszaru odniesienia lub odpowiednim przeskalowaniu.

4. ROZWIĄZANIE PROBLEMU

Przedstawiony w poprzednim rozdziale schemat postępowania wykorzystano następnie do zbudowania modelu sterowania częściami zamiennymi w przedsiębiorstwie. Części zamienne stosowane w przedsiębiorstwie zostały przyporządkowane do 6 grup asortymentowych i dla każdej z grup wyznaczono opiekuna – pracownika działu utrzymania ruchu. Zdefiniowano również sygnały wejściowymi modelu sterowania częściami zamiennymi:

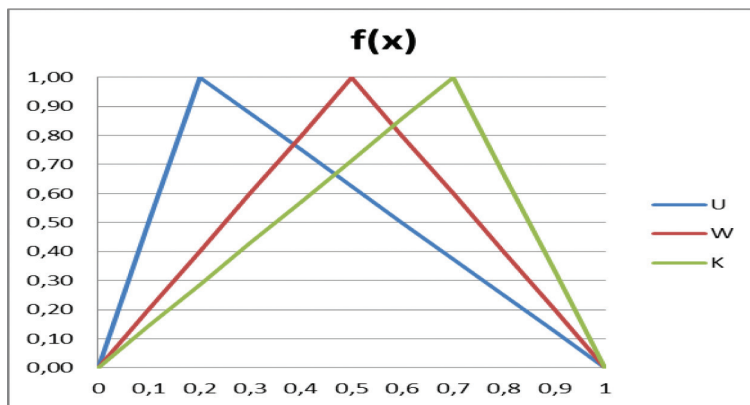
- K1 – istotność części;
- K2 – czas dostawy;
- K3 – koszt części;
- K4 – liczba operacji magazynowych w zadanym okresie
- K5 – czas przestoju maszyny, w której część została wykorzystana.

Są to zmienne lingwistyczne, które mogą przyjmować wartości rozmyte, np. zmienna K1 przyjmuje wartości za zbioru {krytyczna, ważna, uniwersalna}.

Charakterystykę poszczególnych części sterownika rozmytego zaprojektowanego dla przedsiębiorstwa przedstawiono w tabeli 2.

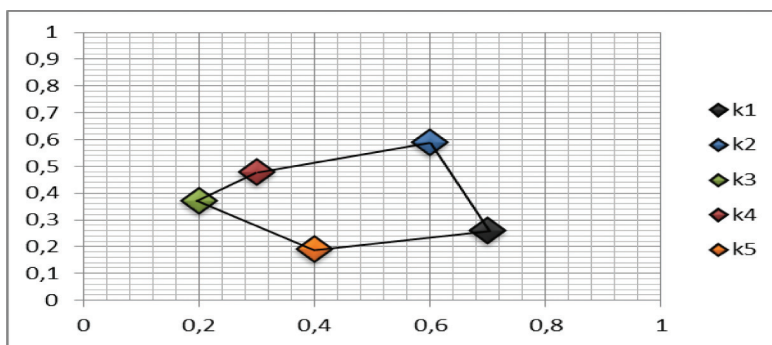
Tab. 2. Elementy sterownika rozmytego

Element sterownika rozmytego	Charakterystyka działań
Baza reguł	<p>W modelu baza reguł odniesiona została do pięciu powyższych zmiennych lingwistycznych. Ocena każdej z nich realizowana jest w przedziale $<0; 1>$, tak aby odzwierciedlała wartość w kategorii (min – max) w danej grupie asortymentowej części zamiennych, np. min koszt części 0, max koszt części 168, koszt rzeczywisty części 82 to $K3=0,48$. Ponieważ nie wszystkie zmienne mają tę samą ważność dla przedsiębiorstwa opracowano system nadawania rangi każdemu z kryteriów dla poszczególnych grup asortymentowych. Rangi zostały zapisane w module konfiguracyjnym i udostępnione opiekunom poszczególnych grup asortymentowych, którzy będą mogli je zmieniać stosownie do potrzeb, kalibrując w ten sposób parametry systemu.</p> <p>Kolejnym krokiem było zdefiniowanie funkcji przynależności. Biorąc pod uwagę zakres dostępnych danych, w modelu zastosowano trójkątne funkcje przynależności. Parametry funkcji dobrano w taki sposób, aby szybkość reakcji na zmieniające się wyniki analizy była dostosowana do rodzaju części: krytycznych(K), ważnych(W), uniwersalnych(U) (Rys. 5.).</p>
Blok rozmywania	<p>W bloku rozmywania, każdej operacji magazynowej dla danej części zapisywany jest w bazie informacji wpływ tej operacji na wartości zmiennej np.: cena max. Zapisy te są wykorzystane następnie w bazie reguł do przeskalowania wartości zmiennych. Ponadto, dla każdej pary zmiennych np. (K1, K2); (K1, K3), (K2, K3), itd. obliczane i zapisywane są ich wartości, po to aby umożliwić w module wnioskowania wyszukanie korelacji między zmiennymi oraz eliminować zmienne nie wpływające istotnie na wartość wnioskowania.</p>
Blok wnioskowania	<p>W bloku wnioskowania wykorzystano system rozmyty typu Mamdani. Działania realizowane w tym bloku zostały zaprogramowane w ścisłych przedziałach czasowych w zależności od istotności części (dla części krytycznych raz w miesiącu, dla części ważnych raz na dwa miesiące, dla części uniwersalnych raz na kwartał). Celem tego było umożliwienie automatycznego raportowania części, względem których należy podjąć działania mające na celu zmniejszenie lub zwiększenie stanu minimalnego.</p>
Blok wyostrzania	<p>W bloku wyostrzania zastosowano funkcję CoG, która równoważy wartości poszczególnych funkcji przynależności uwzględniając wagi poszczególnych zmiennych (Rys. 6.). Na jej podstawie oraz na podstawie historycznych zapisów z poprzednich wnioskowań, a także warunku braku części w przypadku awarii maszyny sugerowane jest zwiększenie lub zmniejszenie stanów minimalnych części. Informacje te dostarczane są w ustalonych przedziałach czasowych, w zależności od istotności danej części opiekunowi grupy asortymentowej (Rys. 7.), który podejmuje decyzję o zmianie stanów minimalnych części. Decyzja ta jest zapamiętywana w bazie informacji oraz przywoływana w następnym raporcie.</p>



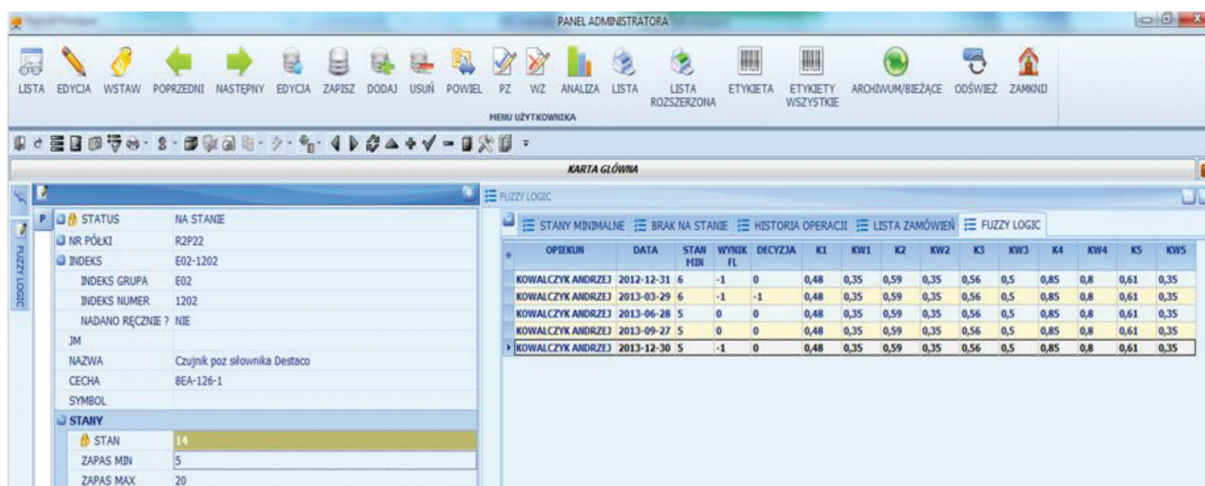
Rys. 5. Funkcja przynależności dla zmiennej K1 - przykład.

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6. Obliczanie środka ciężkości – przykład.

Źródło: opracowanie własne.



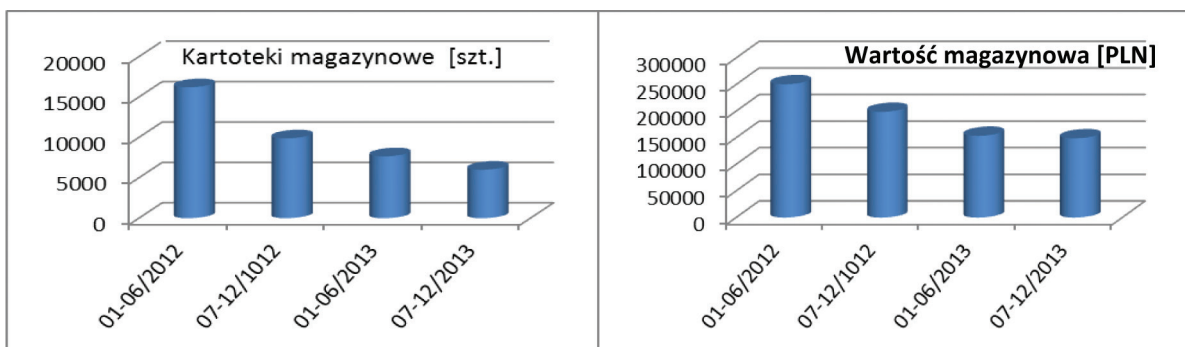
Rys. 7. Widok panelu opiekuna grupy asortymentowej części

5. PODSUMOWANIE

Przedstawiony w artykule model procesu sterowania częściami zamiennymi w sposób skuteczny i efektywny wpłynął na jakość zarządzania tym procesem. Do podstawowych korzyści należy:

1. Zmniejszenie ilości części w magazynie poprzez redukcję stanów części wykazujących małe rozchody oraz eliminację części niewykazujących rotacji lub wykazujących małą rotację, a niebędących czę-

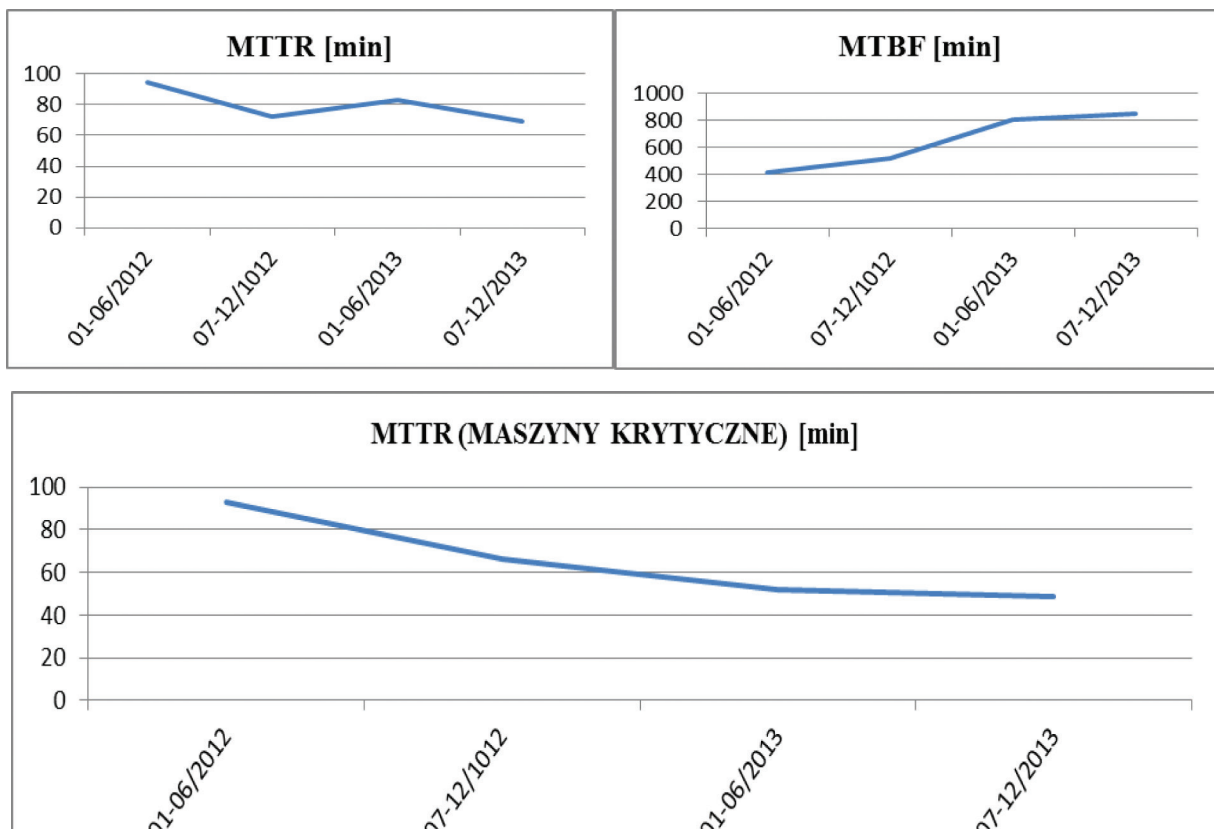
ściami krytycznymi. Efektem tego działania było zmniejszenie wartości magazynowej posiadanych części zamiennych (Rys. 8.).



Rys. 8. Liczba kartotek i wartość magazynowa części zamiennych.

Źródło: opracowanie własne.

2. Optymalizacja zapasów minimalnych części zamiennych (zwłaszcza części krytycznych).
3. Zmniejszenie czasu wykonywania napraw (MTTR), w szczególności w przypadku maszyn krytycznych i wydłużenie czasu pomiędzy awariami (MTBF) (Rys. 9.).



Rys. 9. Wartości wskaźników MTTR i MTBF

Źródło: opracowanie własne

Ponad to, system uwzględniając dane rzeczywiste pochodzące z magazynu części zamiennych oraz zapisy z wykonanych prac obsługowych (przeглядów, konserwacji i napraw) nie tylko sugeruje opiekunowi grupy asortymentowej decyzje dotyczące zmniejszenia lub zwiększenia zapasów danej pozycji asortymentowej, ale również umożliwia w kolejnych okresach decyzyjnych ocenę skuteczności podjętej uprzednio decyzji.

Podziękowanie: Autorzy artykułu dziękują firmie ISL Innowacyjne Systemy Logistyczne Sp. z o.o. wyłącznemu przedstawicielowi firmy Hänel za udostępnienie i możliwość wykorzystania zdjęć regału Lean-Lift

Zastosowanie narzędzi IT i regałów automatycznych do zarządzania częściami zamiennymi – studium przypadku

Streszczenie

Zarządzanie zapasami części zamiennych odgrywają ważną rolę w osiągnięciu pożądanej dostępności wyposażenia produkcyjnego. W artykule przedstawiono model procesu sterowania procesem zarządzania częściami zamiennymi. W modelu wykorzystano aparat teorii zbiorów rozmytych. Analiza rezultatów wskazuje, iż przyjęte rozwiązanie jest skutecznym narzędziem wspomagającym pracowników przedsiębiorstwa w podejmowaniu decyzji dotyczących wielkości utrzymywanych zapasów magazynowych, ponad to w sposób istotny przyczyniło się do obniżenia ilości i asortymentu części zamiennych oraz ich wartości magazynowej

Application of IT tools and automatic racks for spare parts management - a case study

Abstract

Spare parts stock management plays an important role in providing expected availability of manufacturing resources. In the following paper model of control over spare parts management process is introduced. In the model developed, fuzzy sets theory apparatus was applied. Analysis of the results proves that the solution developed is an efficient tool supporting employees in taking decisions concerning stock levels. Moreover, the solution significantly contributed to decreasing number, quantity and assortment of spare parts, as well as their value.

4. LITERATURA

- [1] Braglia M., Grassi A., Montanari R.: Multi-attribute classification method for spare parts inventory management, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 10, no 1, s. 55 – 65, 2004.
- [2] Huiskonen J.: Maintenance spare parts Logistics: special characteristics and strategic choices, *International Journal of Production Economics*, vol. 71, no. 1-3, s. 125-133, 2001.
- [3] Jasiulewicz-Kaczmarek M., Drożyner P.: Maintenance Management Initiatives towards Achieving Sustainable Development, w: Golinska P. et al. (red.): *Information Technologies in Environmental Engineering Environmental Science and Engineering*, Springer - Verlag Berlin Heidelberg, s. 707-721, 2011.
- [4] Kennedy W.J., Wayne J.P., Fredendall L.D.: An overview of recent literature on spare parts inventories, *International Journal of Production Economics* vol.76, no.2, s. 201-215, 2002.
- [5] Kolińska K., Koliński A.: Efektywność procesu zarządzania zapasami części zamiennych w przedsiębiorstwach produkcyjnych — wyniki badań, *Gospodarka Materiałowa i Logistyka* nr 3, s 2-6, 2013.
- [6] Laskowski D., Łubkowki P.: The end-to-end rate adaptation application for real-time video monitoring, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer International Publishing AG, Switzerland, Volume 224, 2013, pp 295-305, 2013.
- [7] Saniuk A.: Zastosowanie kluczowych wskaźników efektywności w planowaniu i weryfikacji zleceń produkcyjnych, w: *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, nr 2/2013, s. 9, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2013.
- [8] Saniuk A., Witkowski K., Saniuk S.: Management of production orders in metalworking production, 22nd International Conference on Metallurgy and Materials - METAL 2013, TANGER, s. [6] CD-ROM, Czech Republic, Brno, 2013.

- [9] Tsakatikas D., Diplaris S., Sfantsikopoulos M.: Spare parts criticality for unplanned maintenance of industrial systems, *European Journal of Industrial Engineering*, vol. 2, no. 1, s. 94-107, 2008.
- [10] Vaisakh P. S., Dileepal J., V. Narayanan Unni.: Inventory Management of Spare Parts by Combined FSN and VED (CFSNVED), *Analysis International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, vol. 2, no. 7, s. 303 – 309, 2013.
- [11] Wang L., Zeng Y. R., Zhang J. L., Huang W., Bao Y. K.: The criticality of spare parts evaluating model using an artificial neural network approach, *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3991, s. 728-735, 2006.
- [12] Wang L., He J., Zeng Y. R.: Classifying spare parts inventory using an ANN and particle swarm optimization approach, *Journal of Computational Information Systems*, vol. 5, no. 1, s. 87-192, 2009.
- [13] Wong W.P.: Decision Support Model for Inventory Management Using AHP Approach: A Case Study on a Malaysian Semiconductor Firm, *California Journal of Operations Management*, vol. 8 no. 2, s. 55 – 71, 2010.
- [14] Zeng Y.R., Wang L.: A hybrid decision support system for slow moving spare parts joint replenishment a case study in a nuclear power plant, *International Journal of Computer Applications in Technology*, vol. 37, no. 3-4, s. 287-296, 2010.