

Marek MŁYŃCZAK\*

## PROBLEMATYKA PROGNOZOWANIA ZUŻYCIA CZĘŚCI WYMIENNYCH

Zasadniczym problemem w zarządzaniu magazynem jest zmienność parametrów operacyjnych magazynu. Zmienność tych parametrów decyduje o wskaźnikach wykorzystania magazynu i efektywności działania. Przemysł motoryzacyjny jest w świecie gałęzią o zasięgu globalnym, dostarczającym nowych pojazdów oraz tworzącym miejsca pracy w produkcji i usługach. Magazynowanie jest w tym obszarze działalności przemysłowej istotnym elementem ze względu na utrzymanie ciągłości produkcji lub zapewnienia wskaźnika gotowości pojazdów po uszkodzeniach na odpowiednim poziomie. Przedstawiono podstawowe wskaźniki niezawodnościowe wpływające na wielkość utrzymywanych zapasów w produkcji i usługach. Zwrócono uwagę na zróżnicowanie w utrzymaniu odpowiednich zapasów części wymiennych dla elementów uszkodzonych w sposób starzeniowy i nagły (wypadkowy).

### WPROWADZENIE

Zasadniczym problemem w zarządzaniu magazynem jest zmienność właściwie wszystkich parametrów operacyjnych magazynu, takich jak: chwila i wielkość dostawy, czas przechowywania towaru oraz chwila i wielkość ekspediowanej z magazynu partii towaru. Zmienność tych parametrów powoduje, że magazyn może być przepełniony lub jest zbyt mały na przyjęcie towaru i odmawia się przyjęcia towaru, a z drugiej strony, w przypadku małego popytu na towary, obrót magazynu może być zbyt mały lub też magazynuje się zbyt małe ilości towaru, żeby odpowiednio zarabiać. Przemysł motoryzacyjny jest w świecie gałęzią o zasięgu globalnym, dostarczającym dóbr w postaci pojazdów milionom ludzi oraz tworzącym wiele miejsc pracy w produkcji i usługach. Magazynowanie jest w tym obszarze działalności przemysłowej niezmiernie istotnym elementem ze względu na utrzymanie ciągłości produkcji lub zapewnienia wskaźnika gotowości pojazdów po uszkodzeniach na odpowiednim poziomie.

---

\* dr inż. Marek Młyńczak, Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Zakład Logistyki i Systemów Transportowych

## 1. Przemysł motoryzacyjny na świecie<sup>1</sup>

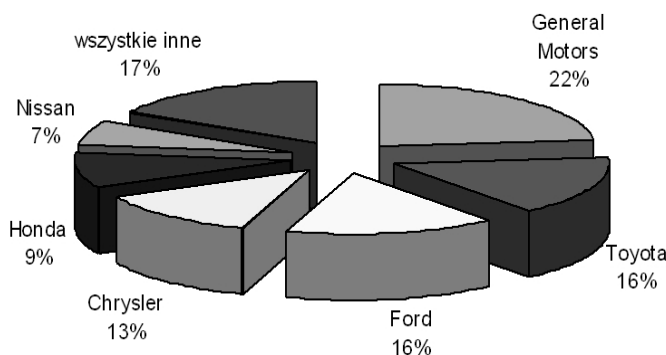
Ocenia się, że na świecie eksploatowanych jest ok. 806 mln. samochodów osobowych i dostawczych. Do roku 2010 liczba samochodów przekroczy 1 mld. W USA w 2007 eksploatowano 250 mln. samochodów. Sześć czołowych koncernów motoryzacyjnych wytwarza i sprzedaje ponad 58% światowej produkcji samochodów (tab. 1).

Tab. 1. Wielkość sprzedaży samochodów przez czołowych producentów

Lp.	Główni producenci	Sprzedaż szt. (2007/2008)
1	General Motor	9,371 10 <sup>6</sup>
2	Toyota	8,91 10 <sup>6</sup>
3	Ford	6,55 10 <sup>6</sup>
4	Honda	3,93 10 <sup>6</sup>
5	Chrysler	2,08 10 <sup>6</sup>
6	Daimler	1,29 10 <sup>6</sup>
7	Prognoza sprzedaży samochodów 2008	55,03 10 <sup>6</sup>

Rynek sprzedaży nowych samochodów i ciągników w USA osiągnął w 2007 roku 23,4 mln. pojazdów, przy czym sprzedano także 2345 tysięcy samochodów hybrydowych. Wartość sprzedaży jest bliska 700 mld. US\$. Wartościowy podział rynku pokazuje podobną strukturę na czołowych miejscach rankingu firm, a wartość usług i części zamiennych w sektorze motoryzacyjnym sięga 12% sprzedaży samochodów (rys. 1).

Rys. 1. Podział rynku między producentami samochodów wg wartości sprzedaży



Rozkład ilości sprzedaży samochodów na obszarach zamieszkałych wskazuje, że najwięcej, bo ponad 53% pojazdów, porusza się po drogach Azji (tab. 2).

Tab. 2 Wielkość sprzedaży w wybranych obszarach świata

Lp.	Kraj/region	Sprzedaż [szt.]
1	Azja	15,35 10 <sup>6</sup>
2	Zachodnia Europa	4,31 10 <sup>6</sup>
3	Chiny	5,92 10 <sup>6</sup>

<sup>1</sup> Plunkett Research, Ltd. <http://www.plunkettresearch.com>

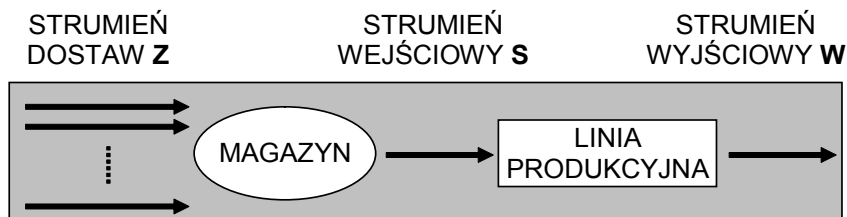
4	Południowa Ameryka	4,00 10 <sup>6</sup>
5	Rosja	3,12 10 <sup>6</sup>
6	Kanada	1,69 10 <sup>6</sup>
7	Indie	1,30 10 <sup>6</sup>
8	Meksyk	1,10 10 <sup>6</sup>

## 2. MAGAZYNOWANIE W PRZEMYSŁE MOTORYZACYJNYM

Przemysł motoryzacyjny stanowi typowy sektor działalności przemysłowej, w której wyróżnia się przepływ materiałów i surowców, i w którym występuje konieczność czasowego ich przechowywania. Niemniej sektor usług motoryzacyjnych, a w szczególności obsługiwanie pojazdów, rządzi się nieco odmiennym w stosunku do produkcji, schematem działania. Do głównych elementów tworzących przemysł motoryzacyjny należy zaliczyć: produkcję samochodów, produkcję części wymiennych i materiałów eksploatacyjnych, wydobywanie i przetwarzanie materiałów pędnych i smarnych, przemysł oponiarski, kasację pojazdów, utylizację i odzysk materiałów oraz inne branże wspomagające.

Przyjmując notację stosowaną w analizie systemów masowej obsługi, można poszczególne sektory przemysłu motoryzacyjnego przedstawić w postaci modelu strumieniowego (rys. 2).

Rys. 2. Strumienie przepływu towarów w systemie produkcyjnym



W systemie produkcyjnym, stanowiącym zasadniczy trzon działalności przemysłu motoryzacyjnego, linia produkcyjna stanowi w miarę stabilny element, ze względu na przebieg procesu i horyzont czasowy, natomiast większą zmiennością charakteryzują się dostawy. Magazyn stanowi tu rodzaj bufora dla towarów (komponentów do produkcji) dostarczanych z zewnątrz systemu produkcyjnego, często nie „just-in-time”. Jeśli przyjąć jako zasadnicze parametry strumienia dostaw **Z**: czas między dostawami i wielkość dostawy, to efektem istnienia magazynu i magazynowania towarów jest złagodzenie zmienności tych parametrów (zmniejszenie odchylenia standardowego na wejściu **S**). Potrzeba magazynowania jest tu zjawiskiem pochodnym (wtórnym) w stosunku do produkcji.

Odmienne miejsce przyjmuje magazyn w procesie obsługowym, w którym największą zmienność wykazują parametry popytu na magazynowane towary **S**. Zapotrzebowanie na usługi i części wymienne generowane jest przez samochody użytkowane w różnych warunkach, przez różnych kierowców, wytworzone z komponentów o różnej jakości i trwałości. Często popyt lokalny na części wymienne zależy od stanu infrastruktury drogowej, stanu pogody czy okresowych migracji ludzi. Magazyn staje się wówczas buforem, który jest w miarę stabilnie zasilany **Z**, natomiast dużą zmiennością charakteryzuje się strumień **S**.

### 3. ZMIENNOŚĆ W PROCESIE EKSPLOATACJI POJAZDÓW

Analiza i ocena losowych zakłóceń procesu eksploatacji pojazdu wymaga określenia modelu niezawodnościowego obiektu eksploatowanego w pewnym systemie eksploatacji. Należy wziąć tu pod uwagę degradację, jako główny czynnik starzenia, oraz kulturę jazdy i stan infrastruktury drogowej stanowiące w konsekwencji o uszkodzalności obiektu<sup>2</sup>. W teorii niezawodności uszkodzalność charakteryzowana jest przez:

- naprawialność, zdolność obiektu do naprawy (model obiektu nienaprawialnego, naprawialnego z pomijalnym czasem naprawy;  $\Theta \approx 0$ , naprawialne z niepomijalnym czasem naprawy;  $\Theta > 0$ ),
- złożoność obiektu (struktura konstrukcyjna, funkcjonalna, niezawodnościowa),
- ocenę ilościową uszkodzenia (charakterystyki liczbowe, funkcje),
- opis uszkodzenia (przyczyna, rodzaj, skutek, sposób odnowy),
- analizę procesów degradacyjnych określającą m. in. stan graniczny obiektu (starzenie, zużycie cierne, zmęczenie, korozja, pękanie, ...).

Losowość procesów niesterowalnych skierowuje badania i analizę na obserwację zmiennych losowych określających głównie czas między uszkodzeniami oraz czas odnowy obiektów rozumianych jako całe pojazdy, ich układy, zespoły i elementy. Ocena statystyczna tych zmiennych oraz wielu innych zmiennych związanych z nimi prowadzi do wyznaczenia modeli matematycznych w postaci funkcji gęstości i dystrybuanty. Podstawowa zmienna losowa określana w niezawodności obiektów nienaprawialnych, tj. czas do uszkodzenia pozwala na wyznaczenie funkcji niezawodności  $R(t)$ , dystrybuanty uszkodzeń  $F(t)$ , funkcji gęstości prawdopodobieństwa czasu do uszkodzenia  $f(t)$ , funkcji intensywności uszkodzeń  $\lambda(t)$  oraz funkcji wiodącej  $\Lambda(t)$ . Ważną charakterystyką jest trwałość określana dla 10% percentyla trwałości oznaczająca, że 90% obiektów powinna osiągnąć zakładaną wartość TB10. Rozkłady prawdopodobieństwa zmiennych losowych stosowane do opisu dystrybuanty zmiennej losowej to najczęściej rozkład Weibulla, normalny, logarytmo-normalny, wykładniczy, beta, gamma<sup>3</sup>.

W analizie uszkodzalności szczególne znaczenie ma badanie przyczyny i postaci uszkodzenia. Obserwuje się dużą zbieżność między modelem statystycznym czasu poprawnej pracy a przyczyną uszkodzenia. Uszkodzenia będące skutkiem naturalnych zjawisk starzeniowych, zużycia ciernego, zmęczenia opisuje się z dużą wiarygodnością rozkładem Gaussa (czas do uszkodzenia ma rozkład normalny). Natomiast uszkodzenia nagłe, katastroficzne, wynikające z przyczyn niezależnych od obiektu modelowane są rozkładem wykładniczym<sup>4</sup>.

<sup>2</sup> Hebda M., Janicki D., Trwałość i niezawodność samochodów w eksploatacji, WKŁ, Warszawa 1977.  
Niezwadność autobusów. Praca zbiorowa pod red. A. Gołabek Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1993.  
Polska Norma PN-82/M-04001 Eksploatacja obiektów technicznych. Terminologia ogólna.

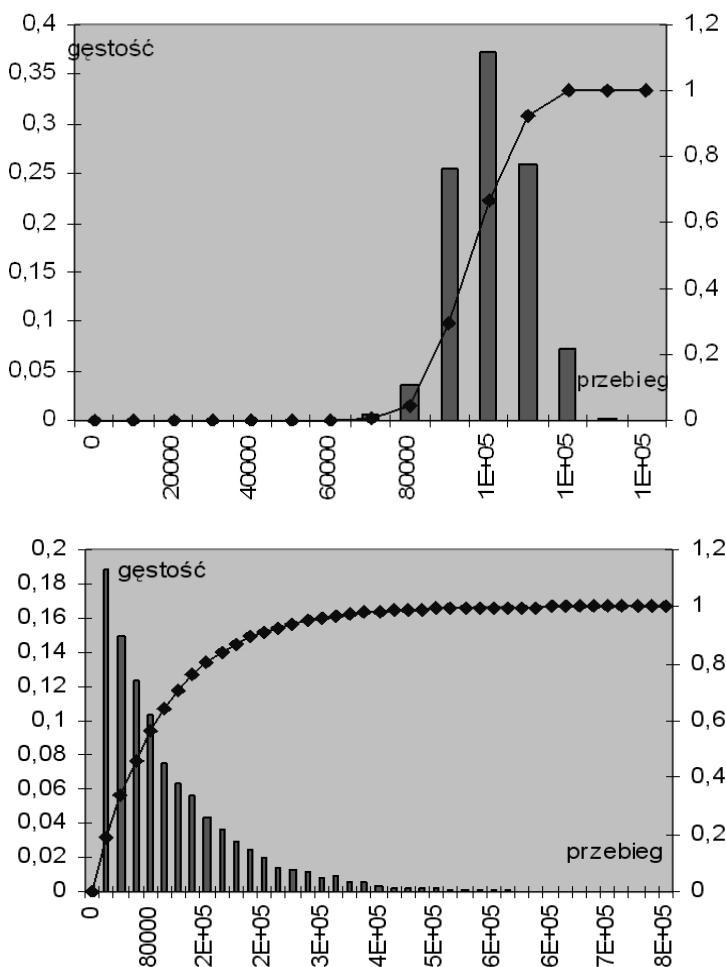
<sup>3</sup> Bentley J. P., Introduction to Reliability and Quality Engineering. Addison-Wesley Longman Ltd., Edinburgh Gate. Harlow, 1999.  
Bobrowski D., Modele i metody matematyczne w teorii niezawodności, WNT, Warszawa 1985.

<sup>4</sup> Gercbach L.B., Kordoński Ch.B., Modele niezawodnościowe obiektów technicznych. WNT, Warszawa 1968.  
Hebda M., Janicki D., Trwałość i niezawodność samochodów w eksploatacji, WKŁ, Warszawa 1977

### 4. MAGAZYN-MATEMATYKA-EKSPLOATACJA: WNIOSKI PRAKTYCZNE

Znajomość przyczyny uszkodzenia pozwala na szacunkową ocenę zmienności strumienia zgłoszeń do napraw (żądania usługi). Uszkodzenia tzw. naturalne, starzeniowe, dla których czas między uszkodzeniami opisywany jest rozkładem normalnym wykładniczym charakteryzują się w przypadku zjawisk masowych zazwyczaj małym współczynnikiem zmienności  $v = \frac{\sigma_{MU}}{\overline{T_{MU}}} \ll 0,1$ , gdzie  $\overline{T_{MU}}$  jest średnim czasem między uszkodzeniami, a  $\sigma_{MU}$  jest odchyleniem standardowym tego czasu. Natomiast uszkodzenia nagłe opisywane rozkładem wykładniczym charakteryzują się bardzo dużą zmiennością  $v = \frac{\sigma_{MU}}{\overline{T_{MU}}} = 1$ , co oznacza, że można spodziewać się zarówno bardzo rzadkich, jak też bardzo częstych zamówień na określony asortyment towaru (rys. 3).

Rys. 3. Porównanie dystrybuant i funkcji gęstości dla rozkładu normalnego i wykładniczego o takiej samej wartości oczekiwanej



W powyższym przykładzie wartość B10 przyjmuje dla uszkodzeń typu starzeniowego wartość ok. 70 000 jednostek czasu, a dla rozkładu wykładniczego poniżej 20 000 jedn. Stąd wniosek dla prognozowania, że zapas magazynowy dla elementów mogących uszkodzić się w sposób

katastroficzny jest mniej przewidywalny i dla zapewnienia ciągłości procesu odnowy należy utrzymywać go na wysokim poziomie.

Opisane zagadnienie dotyczy jednak jednorodnych obiektów rozpatrywanych indywidualnie. W przypadku uwzględnienia złożoności pojazdu (układy, zespoły, elementy, itd.) oraz zapewniając potencjał części wymiennych dla różnych marek pojazdów, sytuacja zmienia się ze względu na asortyment utrzymywanych części. Niezależnie od rodzaju uszkodzenia i charakterystyki niezawodności będzie tu obowiązywać superpozycja rozkładów prowadząca w konsekwencji w przybliżeniu do rozkładu normalnego. Jest to sytuacja co prawda bardziej przewidywalna, jednak uśredniająca zjawisko. Magazynowany asortyment dotyczy poszczególnych elementów, więc nadal wielkość zapasu magazynowego konkretnych elementów musi być szacowana na podstawie wiedzy inżynierskiej i statystycznej.

W teoretycznym procesie odnowy występują przemienne okresy zdatności (użytkowania) i niezdatności (obsługiwanie). Funkcja odnowy  $N(t)$  oznaczająca oczekiwaną liczbę uszkodzeń (odnów) do chwili  $t$  może być wyrażona formułą  $N(t) = \lambda t$ , gdzie  $\lambda = 1/T$  jest intensywnością uszkodzeń (odwrotnością średniego czasu do uszkodzenia). Jeśli rozważać długie czasy lub wiele nakładających się na siebie procesów, przyjmuje się, że liczba odnów do chwili  $t$  ma rozkład normalny. Można więc oszacować minimalną liczbę elementów wymiennych koniecznych do zapewnienia

ciągłości eksploatacji z zależności:  $n_{\min} = \frac{t}{\bar{T}} + \frac{u_{\alpha}\sigma}{\bar{T}} \sqrt{\frac{t}{\bar{T}}}$ , gdzie  $\bar{T}$  jest średnim czasem między

uszkodzeniami,  $\sigma$  - odchyleniem standardowym czasu między uszkodzeniami, a  $u_{\alpha}$  jest kwantylem standaryzowanego rozkładu normalnego odczytywanym z tablic statystycznych<sup>5</sup>.

## PODSUMOWANIE

Zarządzanie częściami wymiennymi w motoryzacji jest, w szczególności w sektorze usług technicznych, zagadnieniem obciążonym dużą niepewnością związaną ze zmiennością zapotrzebowania. W przypadku materiałów eksploatacyjnych wymienianych okresowo, można w dłuższym przedziale czasu uznać, że strumień zapotrzebowania podlega rozkładowi normalnemu. Liczba elementów, na które zapotrzebowanie jest okresowe i przypadkowe, podlega dyskretnemu rozkładowi Poissona (liczba zamówień w ustalonych przedziałach czasu jest stała, a czas między zamówieniami ma rozkład wykładniczy). Niemniej niezależnie od przyjmowanych modeli, podstawowym działaniem w planowaniu zapotrzebowania na części wymienne jest długoterminowe badanie strumieni przepływających przez magazyn. Modele statystyczne mogą efektywnie wspomagać zarządzanie zapasami i przyczynić się do obniżania kosztów magazynowania.

## LITERATURA

- [1] Beichelt F., Problemy niezawodności i odnowy urządzeń technicznych, WNT, Warszawa 1974
- [2] Bentley J. P., Introduction to Reliability and Quality Engineering. Addison-Wesley Longman Ltd., Edinburgh Gate. Harlow, 1999.

<sup>5</sup> Beichelt F., Problemy niezawodności i odnowy urządzeń technicznych, WNT, Warszawa 1974

- [3] Bobrowski D., Modele i metody matematyczne w teorii niezawodności, WNT, Warszawa 1985.
- [4] Gercbach L.B., Kordoński Ch.B., Modele niezawodnościowe obiektów technicznych, WNT, Warszawa 1968.
- [5] Hebda M., Janicki D., Trwałość i niezawodność samochodów w eksploatacji, WKŁ, Warszawa 1977.
  
- [6] Niezawodność autobusów. Praca zbiorowa pod red. A. Gołąbek. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1993.
- [7] Plunkett Research, Ltd. <http://www.plunkettresearch.com>
- [8] Polska Norma PN-82/M-04001 Eksploatacja obiektów technicznych. Terminologia ogólna.

## PROBLEMS OF AUTOMOTIVE SPARE PARTS FORECAST

### SUMMARY

Variability of operation parameters is said to be a basic problem in inventory management. Randomness of these parameters may create states that are inconvenient because sometimes the warehouse may not be able to receive more goods as expected and next supply would be rejected, and on the other hand the warehouse would look like overdimensioned and its expected profit might not be reached. Automotive industry in the world is a branch of wide range of activities producing new cars and creating jobs in sector of manufacturing and services. Storing is an extremely important procedure in the manufacturing chain throughout maintaining continuity of production or assuring cars availability on the required level. It is presented set of basic reliability indexes and functions which influence warehouse stock in manufacturing and services. Attention is paid to differentiation of spare part stock for the element failed in sudden and wear-out mode.

**Recenzent: dr inż. Bogumiła Kuźnicka**

