

ZASTOSOWANIE TEORII ODNOWY W RACJONALIZACJI OKRESU EKSPLOATACJI ŚRODKÓW TRANSPORTU

W pracy pokazano zastosowanie teorii odnowy do wyznaczania optymalnego czasu eksploatacji środków transportu. Rozwiązanie tego typu oparto na programowaniu dynamicznym. Przedstawiono przykład obliczeń dla samochodu marki MAN TGS 18.400.

WSTĘP

Kadra zarządzająca w przedsiębiorstwach transportowych ma za zadania m. in. zaplanowanie takiego procesu wymiany środków transportowych, aby ich stan techniczny gwarantował wydajną realizację potrzeb, jakie zgłaszają potencjalni klienci. Coraz częściej decyzje w przedsiębiorstwach, dotyczące eksploatacji floty transportowej, podejmuje się na podstawie wyników otrzymanych z zastosowania odpowiedniej teorii i metody, opartej na optymalizacji.

Teoria odnowy, zwana również teorią wymiany, zajmuje się zagadnieniami wyznaczania wydajnego okresu użytkowania pojazdów, maszyn, urządzeń czy obiektów. Nauka ta bada właściwości zbiorów, z których poszczególne elementy ubywają, a na ich miejsce przybywają nowe. Teoria odnowy pomaga znaleźć odpowiedź m.in. w kwestii kiedy obiekt lub jego element należy zastąpić nowym ze względów ekonomicznych. Z teorii wymiany wynika, że nie w każdym przypadku opłaca się wymieniać obiekt czy jego element na nowy tylko wtedy, gdy stanie się niesprawny lub gdy nie ma już sposobu przywrócenia jego sprawności – wtedy warto wymienić go wcześniej.

Słowo "odnowa" w teorii tej oznacza wymianę obiektu wyeksploatowanego lub uszkodzonego na nowy. Rozróżnia się dwie grupy obiektów technicznych:

- jednorodne,
- niejednorodne.

Jeżeli obiekty są identyczne, bądź różnią się nieznacznie, a są użytkowane w tych samych warunkach, to wtedy mamy do czynienia z techniczną jednorodnością obiektów, które należą do konkretnego zbioru w dowolnym okresie czasu. W przeciwnym razie, gdy nie są spełnione wyżej wymienione wymagania, to wtedy mamy do czynienia z obiektami niejednorodnymi.

Teoria wymiany, która określa zasady optymalnej eksploatacji obiektów technicznych, wyróżnia w szczególności następujące zagadnienia:

- model jednorodnej odnowy prostej, w którym licznosc zbioru obiektów technicznych jest niezmienna we wszystkich chwilach czasu, czyli obiekt nowy (o zerowym czasie eksploatacji) jest włączany do zbioru obiektów technicznych tylko w przypadku wycofania obiektu uszkodzonego. Model ten zakłada, że w takiej sytuacji czas eksploatacji obiektów w chwili $t = 0$, jak i obiektów włączanych w późniejszych chwilach czasu jest zmienną losową o tym samym rozkładzie prawdopodobieństwa. Ma on na celu przewidywanie jaka liczba obiektów będzie niezbędna w przyszłości do odnowy ich zbioru, po to, aby zachować stałą

liczbę obiektów w eksploatacji i efektywnie realizować postawione zadania;

- ogólny model odnowy jednorodnej – dotyczy odnowy zbioru obiektów technicznych, która może być realizowana w sposób:
 - rozszerzony, w którym liczba obiektów wprowadzonych jest większa od liczby obiektów wycofanych z systemu eksploatacji;
 - zawężony, w którym liczba obiektów wprowadzonych jest mniejsza od liczby obiektów wycofanych z systemu eksploatacji;
 - mieszany, czyli w odpowiednich chwilach czasu odnowę obiektów prowadzi się w sposób prosty, rozszerzony lub zawężony;
- model jednorodnej odnowy z obiektami częściowo zużytymi lecz jednorodnymi z obiektami wycofanymi, czyli z takimi obiektami których czas użytkowania nie jest zerowy – przykładem są obiekty po naprawie głównej;
- model niejednorodny odnowy prostej, który dotyczy obiektów technicznych różniących się od siebie niektórymi parametrami techniczno-eksploatacyjnymi mimo, że wszystkie mają identyczne przeznaczenie;
- ogólny model odnowy niejednorodnej odnoszący się do obiektów niejednorodnych. Odnowa ta jest realizowana sposobem rozszerzonym, zawężonym lub mieszanym.

Wykorzystanie teorii odnowy, do rozwiązania problemu wymiany pojazdów w przedsiębiorstwie transportowym, pozwala na znalezienie takiego rozwiązania optymalnego, które pozwoli podjąć właściwą decyzję taborową i w rezultacie kadra zarządzająca uzyska pożądaną stan floty. Zmiany w przedsiębiorstwie wynikające z potrzeby i decyzji wymiany środków transportu powodują, że zagadnienie to staje się procesem złożonym i trudnym. Wymagają one oceny i przeanalizowania wielu czynników z obszaru wiedzy ekonomicznej i technicznej. Na podjęcie odpowiedniej decyzji dla danego przedsiębiorstwa mają również wpływ czynniki rynkowe oraz te czynniki, które wynikają z eksploatacji pojazdów, jakie są w posiadaniu danej firmy.

Ważną kwestią zastosowania teorii odnowy jest ustalenie czasu racjonalnej eksploatacji obiektów, z ekonomicznego punktu widzenia, w tym obiektów które ulegają starzeniu się w czasie. Utrzymanie w stanie zdatności obiektów technicznych związane jest z koniecznością ponoszenia nakładów na ich obsługiwanie, naprawy bieżące, średnie i główne, remonty oraz konserwację

Decydenci przedsiębiorstw transportowych planują wymianę środków transportu w chwili, gdy ich stan techniczny nie gwarantuje wydajnej realizacji usług przewozowych.

Celem niniejszej pracy jest pokazanie zastosowania teorii odnowy do wyznaczania optymalnego czasu eksploatacji środków transportu.

Rozwiązanie tego problemu oparto na programowaniu dynamicznym.

1. METODA PROGRAMOWANIA DYNAMICZNEGO W TEORII ODNOWY

Programowanie dynamiczne pozwala na wyznaczenie właściwego, ze względów ekonomicznych, momentu wymiany pojazdów, tak aby zminimalizować koszty ich użytkowania. Koszty użytkowania rosną z czasem, ponieważ urządzenia starzeją się i w końcu konieczna jest ich wymiana na nowe.

Zmienną decyzyjną zagadnienia odnowy jest rok wymiany poszczególnych pojazdów.

W celu ustalenia optymalnego momentu wymiany pojazdów potrzebne są następujące dane:

- p_i – cena nowego urządzenia w roku t ,
- v_t – wartość urządzenia używanego przez t lat,
- r_t – koszt eksploatacji urządzenia w roku t .

Koszt użytkowania pojazdu (1) w okresie od roku i do roku j oblicza się z poniższego wzoru:

$$c_{ij} = p_i + \sum_t^j r_t - v_j \quad (1)$$

gdzie $i = 1, 2, 3, \dots, n$;

$j = 1, 2, 3, \dots, k$

Wartości c_{ij} przedstawia tabela 1.

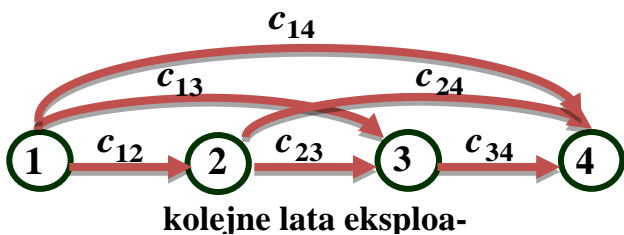
Tab. 1. Tablica wartości c_{ij}

$j \backslash i$	2	3	4	...	k
1	c_{12}	c_{13}	c_{14}	...	c_{1k}
2		c_{23}	c_{24}	...	c_{2k}
3			c_{34}	...	c_{3k}
...			
n					c_{nk}

Natomiast wzór rekurencyjny przedstawia się następująco:

$$f_n = \min_k [c_{nk} + f_k] \quad (2)$$

Wymiana urządzeń to problem szukania najkrótszej drogi w sieci. Przykładową sieć przedstawia rysunek 1.



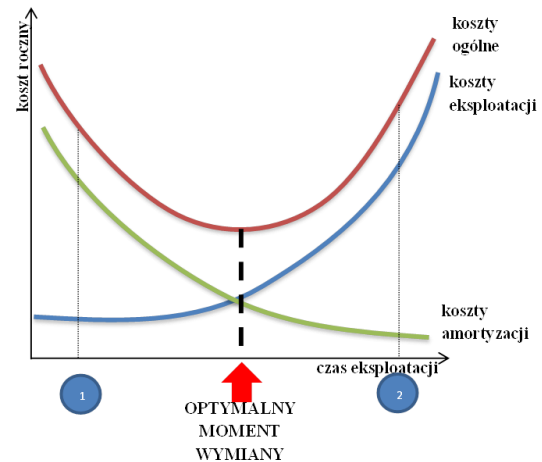
Rys. 1. Przykład sieci

Rozwiązanie ogólne zadania pozwala określić stan systemu po i -tym etapie, a także najkrótszą drogę w sieci z punktu i do węzła końcowego oraz minimalne koszty utrzymania pojazdów w okresie od i do ostatniego.

Natomiast rozwiązanie szczegółowe przedstawia optymalny moment wymiany, czyli moment kiedy koszty ogólne użytkowania pojazdu są najniższe. Na koszty ogólne utrzymania pojazdu składają się m.in. suma kosztów jego eksploatacji i amortyzacji. Na tym etapie przedstawiane są również dwie strategie krańcowe:

- 1) wymiana pojazdu co roku: niskie koszty eksploatacji, a duże amortyzacji,
- 2) długa eksploatacja pojazdu: niskie koszty amortyzacji, a wysokie eksploatacji.

Poszczególne koszty, strategie i optymalny moment wymiany przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Koszty związane z użytkowaniem pojazdów biorąc pod uwagę czas ich eksploatacji

Rozwiązując ten problem metodą programowania dynamicznego zmienną decyzyjną jest czas wymiany, np. rok, a dane konieczne do jego rozwiązania to cena nowego pojazdu, wartość złomu oraz koszt eksploatacji pojazdu, na który składa się m.in. paliwo, części zamienne, naprawy. Ograniczeniem wpływającym na wyznaczenie optymalnego czasu wymiany może być budżet przedsiębiorstwa, który w różny sposób wpływa na końcowy wybór okresu wymiany pojazdów.

2. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA TEORII ODNOWY DO WYZNACZANIA OPTIMALNEGO CZASU EKSPLOATACJI ŚRODKÓW TRANSPORTU

Obliczenia dokonano dla samochodu marki MAN TGS 18.400 (foto 1)[3].



Foto 1. Samochód MAN TGS 18.400

Konieczne informacje dotyczące tego pojazdu przedstawia tabela 2.

Tab. 2. Dane do obliczeń optymalnego momentu wymiany samochodu MAN TGS 18.400

Rok	Cena nowego pojazdu [tys. zł]	Wartość używanego pojazdu [tys. zł]	Średni koszt części i materiałów eksploatacyjnych [tys. zł]	Średni koszt obsługi i napraw [tys. zł]	Średni roczny koszt eksploatacji pojazdu [tys. zł]
2009	750	630	8	3	11
2010	755	520	12	5	17
2011	755	460	19	8	27
2012	755	395	25	11	36
2013	760	320	40	15	55
2014	760	250	55	19	74
2015	765	120	73	24	97
2016	765	105	96	29	125
2017	765	90	120	33	153

W celu obliczeń wartości kosztów c_{ij} stworzono tabelę 3, prezentującą cenę nowego pojazdu i wartość zużytego pojazdu oraz koszt rocznej eksploatacji w przeciągu 9 lat.

Tab. 3. Dane cen i kosztów w poszczególnym roku dla MAN TGS 18.400

Rok	p_t	v_t	r_t
1	750	630	11
2	755	520	17
3	755	460	27
4	755	395	36
5	760	320	55
6	760	250	74
7	765	120	97
8	765	105	125
9	765	90	153

Na podstawie powyższej tabeli stworzono tabelę wartości c_{ij} (tab.4), przy wykorzystaniu wzoru (1).

Tab. 4. Wartości c_{ij}

i \ j	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	131	258	345	446	576	720	947	1087	1255
2		136	263	350	451	581	725	952	1092
3			136	263	350	451	581	725	952
4				136	263	350	451	581	725
5					141	268	355	429	586
6						141	268	355	456
7							146	273	360
8								146	273
9									146

Dla powyższych danych można utworzyć następującą sieć graficzną. Ukazuje ona wszystkie kombinacje i połączenia, w których występuje koszt użytkowania pojazdu – jest ich 45. Celem teorii odnowy jest znalezienie najkrótszej drogi w sieci, czyli takiej w której suma kosztów poszczególnych kombinacji od węzła początkowego do węzła ostatniego będzie najniższa.

Kolejnym etapem jest znalezienie całkowitego optymalnego kosztu użytkowania środka transportu, który oblicza się według wzoru rekurencyjnego (2):

$$f_{10} = 0$$

$$f_9 = \min_{10}(c_{910} + f_{10}) = \min_{10}(146 + 0) = 146$$

$$f_8 = \min_9(c_{89} + f_9; c_{810} + f_{10}) = \min_9(146 + 146; 273 + 0) = 273$$

$$f_7 = \min_8(c_{78} + f_8; c_{79} + f_9; c_{710} + f_{10}) = \min_8(146 + 273; 273 + 146; 360 + 0) = 360$$

$$f_6 = \min_7(c_{67} + f_7; c_{68} + f_8; c_{69} + f_9; c_{610} + f_{10}) = \min_7(141 + 360; 268 + 273; 355 + 146; 456 + 0) = 456$$

$$f_5 = \min_6(c_{56} + f_6; c_{57} + f_7; c_{58} + f_8; c_{59} + f_9; c_{510} + f_{10}) = \min_6(141 + 456; 268 + 360; 355 + 273; 492 + 146; 586 + 0) = 586$$

$$f_4 = \min_5(c_{45} + f_5; c_{46} + f_6; c_{47} + f_7; c_{48} + f_8; c_{49} + f_9; c_{410} + f_{10}) = \min_5(136 + 586; 263 + 456; 350 + 360; 451 + 273; 581 + 146; 725 + 0) = 710$$

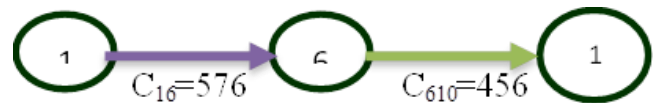
$$f_3 = \min_4(c_{34} + f_4; c_{35} + f_5; c_{36} + f_6; c_{37} + f_7; c_{38} + f_8; c_{39} + f_9; c_{310} + f_{10}) = \min_4(136 + 710; 263 + 586; 350 + 456; 451 + 360; 581 + 273; 725 + 146; 952 + 0) = 806$$

$$f_2 = \min_3(c_{23} + f_3; c_{24} + f_4; c_{25} + f_5; c_{26} + f_6; c_{27} + f_7; c_{28} + f_8; c_{29} + f_9; c_{210} + f_{10}) = \min_3(136 + 806; 263 + 710; 350 + 586; 451 + 456; 581 + 360; 725 + 273; 952 + 146; 1092 + 0) = 907$$

$$f_1 = \min_2(c_{12} + f_2; c_{13} + f_3; c_{14} + f_4; c_{15} + f_5; c_{16} + f_6; c_{17} + f_7; c_{18} + f_8; c_{19} + f_9; c_{110} + f_{10}) = \min_2(131 + 907; 258 + 806; 345 + 710; 446 + 586; 576 + 456; 720 + 360; 947 + 273; 1087 + 146; 1255 + 0) = 1032$$

$$f_{opt} = 1032$$

Analiza obliczeń pozwala na określenie stanu systemu po każdym etapie – po każdym roku eksploatacji pojazdu oraz doprowadza do określenia najkrótszej drogi w sieci, czyli takiej w której suma kosztów jest najmniejsza w porównaniu do innych kombinacji. Droga ta w sieci to c_{16} oraz c_{610} . Daje ona optymalny koszt równy 1032 oraz wskazuje, że w węzle nr 6, czyli w szóstym roku użytkowania pojazdu należy wymienić go na nowy. Przedstawia to rys. 3.



optymalny moment wymiany

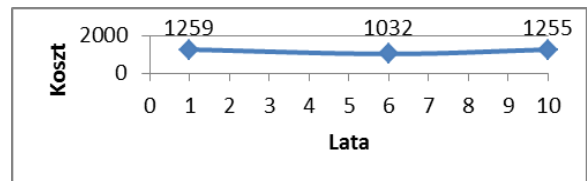
Rys. 3. Najkrótsza droga w sieci i optymalny moment wymiany pojazdu

Analizując otrzymane rozwiązanie, na rysunku 4, pokazano wartości kosztów w zależności od liczby lat eksploatacji pojazdu.

Rozwiązanie optymalne to koszt 1032, przy wymianie pojazdu w szóstym roku użytkowania. Dwa skrajne rozwiązania to wymiana co roku, której koszt wynosi:

$$131+136+136+136+141+141+146+146+146=1259$$

oraz koszt bez wymiany, który w tym przypadku ma wartość $c_{110}=1255$.



Rys.4. Wysokość kosztów ponoszonych przy wymianie samochodu w poszczególnych latach

Prezentacja graficzna dowodzi, że użytkowanie środka transportu przez sześć lat pozwala na efektywne jego wykorzystanie, biorąc pod uwagę koszty jego eksploatacji. Jakie należy ponosić na jego eksploatację. Wymiana tego środka w innym okresie jest mniej opłacalna, w szczególności -największymi kosztami użytkowania pojazdu charakteryzuje się wymiana co rok lub zbyt długa ich eksploatacja – w tym przypadku 10 lat.

PODSUMOWANIE

Efektywne zarządzanie firmą transportową to nie tylko właściwa organizacja przewozów, ale również racjonalna eksploatacja środków transportu. Organizacja transportu wymaga ogromnych nakładów finansowych, dotyczących zakupu i utrzymania środków transportu, kosztów przewozu, koniecznych opłat drogowych i innych czynników. Koszty te stanowią duże obciążenie finansowe, dlatego też niezbędne jest odpowiednie ich optymalizowanie, które

wpływa na skuteczniejsze zarządzanie działaniami w przedsiębiorstwie, poprzez unikanie zbędnych nakładów pieniężnych.

Racjonalizacja usług transportowych dotyczy nie tylko świadczenia usług, ale także odnosi się od wszystkich działań, które się na to składają. Dlatego też optymalizacja w tym zakresie polega na właściwym doborze metod, aby rozwiązać problem, który generuje niepotrzebne koszty. Zmniejszając koszty zwiększa się równocześnie wynik użyteczny przedsiębiorstwa.

Zastosowanie teorii odnowy w racjonalizacji stanu eksploatacyjnego środków transportu pozwala na minimalizację kosztów użytkowania taboru. Określając optymalny moment wymiany bierze się pod uwagę zużycie techniczne i moralne pojazdu, a w tym jego przebieg, obniżenie wartości, przyszły koszt inwestycji, cenę zbycia oraz cenę nowego urządzenia i koszt jego eksploatacji.

Stosowanie teorii odnowy może posłużyć znalezieniu odpowiedzi na pytanie: do jakiego okresu opłacalne jest użytkowanie środka transportu i po jakim czasie należy go wymienić, aby zapobiec nieekonomiczności działań z tym związanych.

Główną zaletą stosowania teorii odnowy jako elementu wspomagającego zarządzanie flotą w przedsiębiorstwie jest precyzyjne wskazanie optymalnych okresów eksploatacji, które pozwalają na wcześniejsze przygotowanie się do zmian jakie należy przeprowadzić w taborze, a w konsekwencji przyczyniają się do wzrostu efektywności działania firmy.

Racjonalizacja działań związanych z utrzymaniem taboru oparta na teorii odnowy pokazuje, że korzystanie z metod optymalizacji przyczynia się do zmniejszenia kosztów działalności firmy.

BIBLIOGRAFIA

1. Kukuła K.. (red.): Badania Operacyjne w przykładach i zadaniach, PWN, Warszawa 2001
2. Kulczycki P. (red.): Techniki informacyjne w badaniach systemowych, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007
3. Pawłowski A.: Analiza możliwości zastosowań badań operacyjnych w racjonalizacji usług logistycznych na wybranym przykładzie. Materiały niepublikowane.
4. Stadnicki J.: Teoria i praktyka rozwiązywania zadań optymalizacji, WNT, Warszawa 2006
5. Witkowski J.: Zarządzanie łańcuchem dostaw, PWE, Warszawa 2003
6. Żółtowski B, Niziński S.: Modelowanie procesów eksploatacji maszyn, WITPiS, Bydgoszcz – Sulejówek 2002

THE APPLICATION OF THE RENEWAL THEORY IN RATIONALIZING THE PERIOD OF OPERATION OF TRANSPORT MEASURES

The use of the regeneration theory to determine the optimal operating time of means of transport is shown in the paper. The solution of this problem is based on dynamic programming. An example of calculations for MAN TGS 18.400.

Autor:

Prof. ndzw. dr hab. inż. **Tadeusz Cisowski** – Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych w Dęblinie, Wydział Bezpieczeństwa Narodowego i Logistyki, e; mail t.cisowski@wsosp.pl

JEL: L62 **DOI:** 10.24136/atest.2018.097

Data zgłoszenia: 2018.05.22 **Data akceptacji:** 2018.06.15