MARKOV MODEL IN LOGISTIC MANAGEMENT OF ENTERPRISE

MODEL MARKOWA W LOGISTYCZNYM ZARZĄDZANIU PRZEDSIĘBIORSTWEM

Jarosław Ziółkowski, Anna Borucka

Wojskowa Akademia Techniczna

e-mail: jarosław.ziolkowski@wat.edu.pl, anna.borucka@wat.edu.pl

Abstract: The article presents an analysis of exploitation of vehicles of a transportation company, offering services in international transport. The research referred to two stages of the company operations – before and after introducing some organizational changes. Due to the lack of relation between probability of the future event and all preceding events except the current one, Markov processes have been used in the calculations. A simple, 5-state model, constituted a base for defining main directions of improvements and at the same time, effectively indicated areas of negligence and failures. The conducted research showed many faults in the studied system resulting from excessive trust towards the drivers and allowed to introduce some changes and corrections, which in effect allowed to obtain better results.

Keywords: Markov model, transport, logistics

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę procesu eksploatacji pojazdów firmy przewozowej świadczącej usługi w zakresie transportu międzynarodowego. Wykonane badanie dotyczyło dwóch etapów działalności firmy – przed i po wprowadzeniu zmian organizacyjnych. W związku z brakiem zależności dotyczącej prawdopodobieństwa przyszłego zdarzenia od wszystkich poprzednich zdarzeń, z wyjątkiem aktualnego, wykorzystano do obliczeń procesy Markowa. Pięciostanowy model stanowił podstawę do określenia głównych kierunków usprawnień, skutecznie wskazując obszary zaniedbań i uchybień. Przeprowadzone badanie ukazało nieprawidłowości w badanym systemie wynikające ze zbyt dużego zaufania do kierowców i pozwoliło na dokonanie stosownych zmian i korekt, które w efekcie umożliwiły osiągnięcie lepszych wyników.

Słowa kluczowe: model Markowa, transport, logistyka.

MARKOV MODEL IN LOGISTIC MANAGEMENT OF ENTERPRISE

1. Introduction

The researched company is a small, family-run enterprise providing international transport service, cooperating with some local businesses, selling their assortment to Austria and Italy. It is mainly raw wood (bought by Austrian sawmills and after mechanical working sold to Italian companies) and Polish glass, equally popular on Italian market. The services are mostly run on the same routes and close cooperation with the mentioned buyers. The researched company heavily focuses on eliminating dry runs which are later compensated for by forwarding. This can be achieved because there is a great demand for Italian steel and marble, and also thanks to the commissions on the transportation market. The returns without service done actually do not happen, the driver awaits until the particular task appears.

International transport is among the most dynamically developing branches in Poland. Severe competition dictates hard conditions to survive on the market and forces to adapt to ongoing changes. Huge transport companies are a threat to small ones, mainly due to lower transport rates, which they offer. Small businesses cannot afford that, if they did so, most of them went bankrupt. That's why following the trends on the market, constant analysis of own business and care about the quality and the customer demands is of vital importance. The owner of the researched enterprise is fully aware of the threats so he seeks improvements and new solutions. In that way he has been able to prosper on the market for several years so far.

2. Characteristics of the process

The drivers employed in the company use trucks with canvas trailers of 26 tones load capacity. They are responsible for keeping them clean and well-maintained. Each individual driver, not two of them, is commissioned to do one, single transport service. All the fulfilled tasks are then carefully analyzed and documented, which enables to manage the enterprise more effectively and to look for improvements. The management is facilitated thanks to: firstly, tachographs (giving the information about the time, driving speed and run) and secondly, introduced by the company owner, so-called "the driver's assignment card" recording all the events, the reasons for them, which happened during the particular transportation service. Such a solution is only possible in a small company, rather than a big one, and enables all the activities to be supervised.

Such a documentation allows not only to analyze the current commissions but also to draw conclusions on the base of past events as well as to predict potential tendencies. Besides, it enables to check if implemented modifications and improvements bring expected results.

This article puts forward the proposal of the changes in the way drivers are paid. For a long time they have received regular wages, regardless of the number of services done in particular period of time. They were paid, even if no task was performed. The company did not see any problem in it as there was an abundance of commissions and intensive work, without any delays. However, a different way of pay was suggested to be tested. The driver's salary was divided in two parts- the first one was paid regularly, every month, regardless of the number of tasks, and the second one- bonus-paid in proportion to the number of fulfilled tasks. Because the transportation tasks are relatively regular, they were divided into three groups, according to their length, and on that base the bonus was estimated. The changes being introduced resulted mainly from the tendencies observed on the market than from expecting great achievements, because from the company owner's point of view the tasks could not have been done faster, taking statutory restrictions into consideration. Finally, it turned out that the implemented idea brought financial benefits. The research presents a comparison of two stages in the way the business is run- before and after the changes.

3. Markov's model

For the presented analysis Markov model was used (and its 'memorylessness' property), in which the future state is dependent entirely on the state observed in the last moment. [1,2] This fact is proved by autocorrelation function and partial autocorrelation. Fig. 1 shows a correlogram of duration S_1 state.

Fig. 1. The correlogram of average duration S_1 state. Delays up to 50.

Building the Markov model started from choosing possible operating states, necessary to conduct the research. In this way five of them were received:

- S_1 – drive;
- S_2 – stop;
- S_3 – unloading, loading;
- S_4 – servicing;
- S_5 – garaging.

Operating functions in each state can be defined as:

- S_1 - driving a car in connection with carrying out transportation task, it is a period when the task is in progress.
- S_2 - a stop (time out) - resulting from statutory requirements. The most important ones are: 45 -minute break after every 4,5 hours of driving [5].
- S_3 - unloading and loading, means taking the commodity (loading) and delivering it to the buyer (unloading).
- S_4 - servicing - means all kinds of activities taken to keep technical standards of a vehicle, its maintenance, especially high standards of cleanliness (of major importance for the company owner, each vehicle is marked with a company logo, visible for potential clients). Here all the required MOTs are mentioned, also the potential repairs. When a technical problem appears a car has to carry out diagnostic tests, usually done by a familiar mechanic. In the examined period no serious damage was observed, that is why all activities connected with the technical service and car maintenance were included in one operating state.
- S_5 - garaging the car remains at the firm's headquarters at the driver's disposal.

The next step was the analysis of possible transitions between the states. It was assumed that theoretically all transitions are possible, but some of them are simply illogical, that is why in this research were found impossible. Table 1 and graph (Fig. 2) show the transition matrix between the states.

Table 1. The transition matrix between the states.

$\downarrow S_i \rightarrow S$	S1	S2	S3	S4	S5
S1	0	1	1	1	1
S2	1	0	1	1	0
S3	1	1	0	0	0
S4	1	1	0	0	1
S5	1	0	0	1	0

Fig. 2. The transition graph.

Another point of the research included preparation of standard data base, necessary for the calculations. The data concerning trajectories was taken from the documentation. Table 2 shows a part of individual data base for one vehicle. S_1 - S_5 denote operating stages, T_1 - T_5 the duration of each stage in minutes.

Table 2. Part of individual data base for one vehicle

nr	date	time	S1	S2	S3	S4	S5	T1	T2	T3	T4	T5
Monday	15.07.1013	06:00:00				1					30	
Monday	15.07.1013	06:30:00	1					270				
Monday	15.07.1013	11:00:00		1					90			
Monday	15.07.1013	12:00:00	1					55				
Monday	15.07.1013	12:30:00		1					150			
Monday	15.07.1013	12:55:00			1					125		
Monday	15.07.1013	15:00:00	1					210				
Monday	15.07.1013	18:30:00		1					660			
Tuesday	16.07.1013	05:30:00	1					270				
Tuesday	16.07.1013	10:00:00		1					45			
Tuesday	16.07.1013	10:45:00	1					270				
Tuesday	16.07.1013	15:15:00		1					765			
Wednesday	17.07.1013	04:00:00	1					60				
Wednesday	17.07.1013	05:00:00			1					30		
Wednesday	17.07.1013	05:30:00	1					90				
Wednesday	17.07.1013	07:00:00			1					30		
Wednesday	17.07.1013	07:30:00	1					120				
Wednesday	17.07.1013	09:30:00			1					30		
Wednesday	17.07.1013	10:00:00	1					75				

Individual data base enabled to create collective standard data base giving the information about the average daily duration of each stage. Markov processes in a discrete time are called Markov chains and are described by means of stochastic matrix P , which covers boundary (ergodic) probabilities p_{ij} from state i to state j [1, 2, 3, 4].

There probabilities have been calculated as:

$$p_{ij} = w_{ij} / n_i \quad (1)$$

where:

- n_{ij} – the transitions number from S_i to S_j state,
- n_i – total number of transitions from S_i state,
- w_{ij} – frequency of transitions from S_i to S_j state.

The below tables (table 3 and table 4) include the collection of data about medium transition probabilities (stage 1 and stage 2).

Table 3. Collection of data about medium transition probabilities (stage 1)

p_{ij}	S1	S2	S3	S4	S5
S1	0	0,62	0,18	0,14	0,06
S2	0,79	0	0,18	0,03	0
S3	0,81	0,19	0	0	0
S4	0,73	0,12	0	0	0,15
S5	0,2	0	0	0,8	0

Table 4. Collection of data about medium transition probabilities (stage 2)

p_{ij}	S1	S2	S3	S4	S5
S1	0	0,59	0,19	0,13	0,09
S2	0,77	0	0,2	0,03	0
S3	0,91	0,09	0	0	0
S4	0,68	0,11	0	0	0,21
S5	0,66	0	0	0,34	0

The transition probabilities for the first and second stage are different, because of changes in the real process. Table 5 shows the differences.

Table 5. Dependence of transition probabilities for the two stages

%	S1	S2	S3	S4	S5
S1	0	-4,84	5,56	-7,14	50
S2	-2,53	0	11,11	0	0
S3	12,36	-52,63	0	0	0
S4	-6,85	-8,33	0	0	40
S5	230	0	0	-57,5	0

The above table clearly indicates radical changes in the frequency of some transitions. This was the incentive for thorough analysis of the process and the attempt to find the reasons. As a result of the examination it turned out that if a driver was given a salary regardless of the number of the tasks performed, he neglected the time. The summer time spent by the drivers abroad was treated as a chance of taking a rest. So they organized their working time in such a way to be able to spend the weekends in Austria or Italy by the river (during the weekends, driving lorries more than 7,5 tone of total weight is forbidden). This was a common procedure, and the possibility of meeting workmates and trying excellent wines was a temptation. So they shortened the driving time and lengthened the breaks. In the other situation, when the salary depended on the work effectiveness, they limited the time breaks and the came back much quicker (it meant more commissions and higher salary).

In connection with that in the research lower transition frequency between stage 1 (drive) and 2 (stop) is observed due to higher effectiveness achieved (tab.5) Also the number of stops was greatly reduced. The owner's inspection revealed that they were mainly the result of friends' meetings, and not the effect of compulsory stops connected with the driver's working time. Also the costs of conversations made on the routes partially were borne by the drivers. Finally, all the preparations for the journey, (such as car washing), had to be changed as well because the driver did it on the departure day previously, delaying the whole task.

After changing the way salary is paid, all that activities started to be done by the driver on the day of return or even on Saturdays. As a result the number of cycles has increased. Therefore, the growth in the number of transitions from stage 4 (servicing) to 5 (readiness) and from 5 to 1 (drive) and fall from 5 to 4 was observed. Besides, if loading was possible on Saturday, the drivers took advantage of it and were able to depart early on Monday, without any delays. The consequence of such changes is the increase in the number of transitions between stages 1 and 5, caused by Saturday relations: readiness-drive-loading-drive-readiness.

The working schedule also altered, namely the drivers started work since 6.00, not 7.00 like previously. The car readiness was improved. Each time any technical problem with the car appeared, which could not be solved by the driver, the car was taken to the familiar garage to carry out diagnostic tests. The drivers seemed to take advantage of that possibility and overused it, leaving the car in the garage any time they had to run errands or simply did not want to do the task. After introducing the new system the number of transitions from stage 4 (service) to stages 1 (drive) and 2 (stop) has dropped (table 5)

Estimated Markov models for both stages of operating processes turned out to be ergodic for the chain, which enabled to make long-term projection for the two systems [3, 4]. Table 6 and Fig. 3 show the estimated ergodic probability p_j of the process evolution after a long time.

Table 6. Ergodic probability p_j for both stages of the process.

p_j	S1	S2	S3	S4	S5
before	0,42598	0,30113	0,13088	0,10127	0,04075
after	0,43818	0,28040	0,13933	0,08484	0,05725

According to the Markov model in a discrete time a system tends to stay in S_1 stage, which is what the company expects and aims at. After the changes the favorable increase of the probability of that stage has been observed. At the same time the ergodic value of stops has dropped. There was no change in S_3 stage, but the ergodic probability for S_4 stage lowered, which proves that only the necessary repairs and MOTs were being done. Finally, the frequency of readiness stage increased, due to the fact that the breaks shortened, and the loading processes took place on Saturdays. Therefore, from the company owner's point of view long-term projections are satisfying.

Fig. 3. Ergodic probabilities for two stages of the process.

The difference between empiric frequency and ergodic probabilities is an average deviation measure for the object population. It shows the stabilization state of process. Proportional deviation between frequency and ergodic probabilities before – and after changes shows table 7.

Table 7. Proportional deviation between frequency and ergodic probabilities for the S_1 - S_5 .

Deviation [%]	S1	S2	S3	S4	S5
before	-0,84	-5,53	5,39	10,66	5,78
after	-5,16	-9,68	-2,13	45,42	24,76

The deviation between empiric the frequency and ergodic probabilities are small, so the system works correctly. Table 8 shows the comparison of the medium times of staying in the S_1 - S_5 .

Table 8. Comparison of the medium Times of staying in the S_1 - S_5 states.

State →	S1	S2	S3	S4	S5
Time [min.] ↓					
before	191,38	450,81	79,64	95,00	2000,95
after	204,68	234,21	79,29	98,33	1245,96
change [%]	6,95	-48,05	-0,45	3,51	-37,73

The above table shows satisfying difference in the average time of driving (the increase) and stop (significant decrease), which proves the introduced changes brought positive results. The loading/unloading time has not changed, because it is dependent on the buyer in fact. The time devoted to service has slightly risen but the time car was in a readiness stage shortened. Generally, the number of cycles and the efficiency increased.

4. Summary

The research revealed a lot of imperfections in the system, which resulted mainly from too excessive trust towards the drivers. However, after introducing the suitable corrections better results were achieved. Markov processes showed the possibility of using mathematical model in a small but complicated system. A simple, 5-state model was a base for defining the main ways for improvement, and pointing out the negligence areas and failures. More detailed analysis (eg. dividing the 4th stage into more precisely activities) would definitely give much thorough insight into the system and would allow to work towards further solutions. Nevertheless, all the attempts done on this level greatly increased the efficiency of the means of transport in the researched company.

5. Bibliography

- [1] Iwanik A., Misiewicz J. K.: Wykłady z procesów stochastycznych z zadaniami. Część pierwsza: Procesy Markowa, SCRIPT, Warszawa, 2015.
- [2] Kałuski J.: Wykłady z procesów Markowa, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2007.
- [3] Niziński S., Żurek J.: Logistyka ogólna, WKiŁ, Warszawa, 2011.
- [4] Woropay M., Żurek J., Migawa K.: Model oceny i kształtowania gotowości operacyjnej podsystemu utrzymania ruchu w systemie transportowym, Instytut Technologii Eksploatacji w Radomiu, Bydgoszcz – Radom, 2003.
- [5] Dz. U. 2013 poz. 567 Ustawa z dnia 5 kwietnia 2013 r. o zmianie ustawy o transporcie drogowym oraz ustawy o czasie pracy kierowców.

Col. Jarosław Ziółkowski, PhD. Eng. is a Military University of Technology, Mechanical Department, graduate. In 2004 he obtained Ph.D. degree and specializes in modelling of operating processes. Currently working Faculty of Logistics as Deputy Dean. He is researching mathematical modelling of operating processes, logistics, supply chains, ecologistics (Share 50%).

Captain Anna Borucka, PhD. Eng. Mechanical Department of Military University of Technology graduate, as well as High School of Management and Administration, Economics Department graduate. Currently working as an scientific worker in Logistics Institute. Specializes in mathematical modelling of operating processes, logistics and management of enterprises (Share 50%).

MODEL MARKOWA W LOGISTYCZNYM ZARZĄDZANIU PRZEDSIĘBIORSTWEM

1. Wstęp

Badana firma jest małym, rodzinnym przedsiębiorstwem, świadczącym usługi transportu międzynarodowego w oparciu o współpracę z kilkoma okolicznymi firmami, sprzedającymi swój asortyment do Austrii i Włoch. Jest to przede wszystkim: drewno w stanie surowym (nabywane przez austriackie tartaki i sprzedawane dalej, po obróbce, włoskim firmom) oraz polskie szkło, cieszące się także włoskim zainteresowaniem. Prowadzona działalność opiera się w głównej mierze o te same trasy i stałą współpracę ze wspomnianymi odbiorcami. Przedsiębiorstwo silnie koncentruje się na likwidacji pustych przebiegów, które spedycja minimalizuje praktycznie całkowicie, bazując na krajowym zapotrzebowaniu na stal i marmur przywożony z Włoch, jak również pozyskując zlecenia w ramach giełdy transportowej. Powroty bez realizacji usługi transportowej właściwie się nie zdarzają – z założenia kierowca będzie czekał, aż pojawi się zadanie.

Transport międzynarodowy jest jedną z najprężniej rozwijających się branż w Polsce. Stale rosnąca konkurencja dyktuje trudne warunki do przetrwania na rynku i wymusza permanentną analizę i dostosowywanie do zmieniających się okoliczności. Ogromne firmy transportowe są zagrożeniem dla małych przedsiębiorstw, głównie w związku z oferowaniem niskich stawek przewozowych – niemożliwych do osiągnięcia w rodzinnym biznesie. Wielu przedsiębiorców – walcząc z konkurencją – decydowało się na cenę poniżej rentowności, co w konsekwencji prowadziło do bankructwa. Dlatego tak ważne jest śledzenie rynku i ciągła analiza własnej firmy, dbałość o jakość realizowanych procesów i o klienta. Właściciel badanego przedsiębiorstwa ma pełną świadomość zagrożeń, stale więc poszukuje ulepszeń i nowych rozwiązań. Pozwala mu to na utrzymanie się w branży już kilkanaście lat.

2. Charakterystyka badanego procesu

Zatrudniani w firmie kierowcy świadczą usługi transportowe na przypisanych sobie samochodach ciężarowych z planekowymi naczepami o ładowności 26 ton. Odpowiedzialni są za utrzymanie ich w czystości i kontrolę stanu technicznego w dopuszczalnym zakresie. Każde zlecenie jest przyporządkowane jednemu kierowcy. Nie są realizowane wyjazdy dwóch osób jednym samochodem. Wszystkie zadania transportowe są szczegółowo analizowane i ewidencjonowane, co pozwala na lepsze zarządzanie przedsiębiorstwem i wyszukiwanie potencjalnych ulepszeń.

Umożliwiają to po pierwsze stosowane w pojazdach (wymagane ustawowo) tachografy, zapisujące pracę kierowcy - czas, prędkość, rodzaj pracy i przejechane kilometry, a także wprowadzona przez właściciela „karta czynności kierowcy”, na której spisywane są wszystkie zdarzenia i – w razie potrzeby – ich przyczyny, mające miejsce podczas wykonywania przewozu. Jest to rozwiązanie, które możliwe jest tylko w małej firmie, dysponującej kilkunastoma pojazdami i pozwala na bieżącą, dokładną analizę wszystkich czynności transportowych.

Tak prowadzona ewidencja pozwala nie tylko na badanie aktualnych zleceń, ale również wnioskowanie na podstawie przeszłych zdarzeń i przewidywanie potencjalnych tendencji. Umożliwia też sprawdzanie, czy wprowadzane modyfikacje i ulepszenia przynoszą oczekiwane rezultaty.

Propozycją analizowaną w niniejszym artykule jest zmiana sposobu rozliczania kierowców. Przez długi czas kierowcy otrzymywali stałe wynagrodzenie, bez względu na ilość zrealizowanych przewozów. W sytuacji, gdy nie wykonywali żadnych zadań transportowych, również otrzymywali wypłatę, taką samą, jak gdyby pracowali. Takie rozwiązanie z punktu widzenia firmy nie było problemem, gdyż mnogość zleceń i właściwie ciągłe wyjazdy powodowały, że w pracy nie było przestojów. Jednak postanowiono przetestować inną opcję finansowania pracowników. Ich pensję podzielono na dwie części – pierwszą – stałą bazę, naliczaną za przepracowany miesiąc bez względu na realizowane zadania i drugą – premię – proporcjonalną do ilości wykonywanych zleceń. Ponieważ zadania transportowe są względnie regularne, podzielono je na trzy grupy – w zależności od długości – i proporcjonalnie określono wysokość premii. Wprowadzane zmiany były podyktowane raczej obserwowaną tendencją na rynku, niż oczekiwaniem lepszych osiągnięć, gdyż - w mniemaniu właściciela - realizowane zadania nie mogły być przeprowadzane sprawniej i szybciej niż było to dotychczas, zwłaszcza w kontekście obowiązujących restrykcji prawnych. Tymczasem okazało się, że odnotowano wzrost wpływów do budżetu firmy a zastosowany pomysł poprawił charakterystyki. W artykule przedstawiono porównanie dwóch etapów procesu eksploatacji – realizowanego przed i po wprowadzonych zmianach.

3. Model Markowa

Do przedstawionej analizy zastosowano model Markowa. Umożliwiła to własność braku pamięci badanego procesu, w którym stan przyszły zależy tylko i wyłącznie od stanu zaobserwowanego w ostatnim momencie [1,2]. Potwierdzają ten fakt badania funkcji autokorelacji i autokorelacji cząstkowej. Na rys.1. przedstawiono przykładowy korelogram czasu trwania stanu S1.

Funkcje autokorelacji ACF i PACF obrazują pomijalność historii badanego procesu ($ACF < 0,2$) a przeprowadzony test autokorelacji Ljunga-Boxa, (wartość p value bliska lub równa 1) nie pozwala na odrzucenie hipotezy zerowej, zakładającej, że autokorelacje wszystkich rzędów równają się zero.

Rys. 1. Korelogram średniego czasu trwania stanu S1. Opóźnienia do 50.

Budowę modelu Markowa rozpoczęto od wyodrębnienia możliwych stanów eksploatacyjnych, niezbędnych do przeprowadzenia zakładanego badania. W ten sposób otrzymano 5 wzajemnie rozłącznych stanów:

- S1 – jazda;
- S2 – postój;
- S3 – rozładunek, załadunek;
- S4 – obsługa;
- S5 – dyżurowanie (garażowanie).

Funkcje eksploatacyjne obiektu i systemu realizowane w poszczególnych stanach są następujące:

- S1 – jazda samochodem w związku z wykonywaniem zadania transportowego, jest to okres w którym kierowca prowadzi pojazd, realizując przewóz drogowy.
- S2 – postój w trasie – wymuszony przepisami prawnymi regulującymi czas pracy kierowcy. Najważniejsze z nich to obowiązek skorzystania z minimalnego okresu 45 minutowej przerwy po maksymalnie 4,5 godzinnym okresie prowadzenia pojazdu, oraz przestrzeganie wymagania, że okres prowadzenia pomiędzy dwoma dziennymi okresami odpoczynku bądź pomiędzy dziennym i tygodniowym okresem odpoczynku nie może trwać dłużej niż 9 godzin, z możliwością przedłużenia do maksymalnie 10 godzin nie częściej niż dwa razy w tygodniu [5].
- S3 – rozładunek i załadunek, czynności realizowane podczas wykonywania zadania transportowego, mające na celu przyjęcie od kontrahenta (lub z wyznaczonego przez niego miejsca) przedmiotu transportu, tj. towaru (załadunek), dostarczenie go i pozostawienie u odbiorcy (rozładunek).

- S4 – obsługa – pod tym pojęciem zostały uwzględnione przede wszystkim realizowane przed każdym wyjazdem obsługi kontrolujące stan techniczny pojazdu i jego gotowość do wykonania zadania, a także czystość, na którą w firmie jest zwracana bardzo duża uwaga (każdy pojazd jest oznakowany w taki sam sposób i widnieje na nim nazwa firmy i nazwisko właściciela – są więc swoistą wizytówką, stąd wysoka dbałość o czystość i wizualną prezentację samochodów). Ponadto w tym stanie uwzględniono wszystkie okresowe przeglądy i badania a także doraźnie zgłaszane problemy techniczne, wymagające interwencji specjalisty – mechanika. W takich sytuacjach zazwyczaj kierowca jedzie rano do zaprzyjaźnionego warsztatu, od wielu lat współpracującego z firmą, na diagnostykę i tam zapada decyzja o zakresie koniecznych napraw i możliwości dalszego użytkowania. Ponieważ w badanym okresie nie odnotowano żadnych poważnych uszkodzeń wymagających długich interwencji uznano za zasadne połączenie w jeden stan eksploatacyjny wszystkich czynności związanych z odtwarzaniem sprawności pojazdu i profilaktyką.
- S5 – dyżurowanie (garażowanie) – to stan określający dyspozycyjność – gotowość do podjęcia zadania, oznacza postój samochodu w siedzibie firmy.

Kolejnym krokiem była analiza możliwych przejść między stanami. Stwierdzono, że formalnie wszystkie przejścia są dozwolone, jednak niektóre z nich są po prostu nielogiczne - chociaż fizycznie możliwe do zrealizowania – i dlatego nigdy się nie odbywają. Uznano je zatem - na potrzeby tego opracowania - za niemożliwe. Założono ponadto brak powrotów. Przejścia dozwolone (1) i zabronione (0) przedstawia macierz - Tab. 1. oraz graf na rys. 2.

Tabela 4. Macierz przejść między stanami.

$\downarrow S_i \rightarrow S$	S1	S2	S3	S4	S5
S1	0	1	1	1	1
S2	1	0	1	1	0
S3	1	1	0	0	0
S4	1	1	0	0	1
S5	1	0	0	1	0

Rys. 2. Graf przejść między stanami.

W następnym etapie badania dokonano ekstrakcji niezbędnych danych o trajektorii fazowej z chronologicznej ewidencji stanów obiektu i sporządzono standardowe bazy danych do obliczeń. Fragment indywidualnej bazy danych dla jednego pojazdu przedstawia Tab. 2. Pozycje S1 - S5 reprezentują wyodrębnione stany eksploatacyjne natomiast T1 - T5 czasy trwania każdego stanu w minutach.

Tabela 5. Fragment indywidualnej bazy danych dla jednego pojazdu

nr	data	czas	S1	S2	S3	S4	S5	T1	T2	T3	T4	T5
poniedziałek	15.07.1013	06:00:00				1					30	
poniedziałek	15.07.1013	06:30:00	1					270				
poniedziałek	15.07.1013	11:00:00		1					90			
poniedziałek	15.07.1013	12:00:00	1					55				
poniedziałek	15.07.1013	12:30:00		1					150			
poniedziałek	15.07.1013	12:55:00			1					125		
poniedziałek	15.07.1013	15:00:00	1					210				
poniedziałek	15.07.1013	18:30:00		1					660			
wtorek	16.07.1013	05:30:00	1					270				
wtorek	16.07.1013	10:00:00		1					45			
wtorek	16.07.1013	10:45:00	1					270				
wtorek	16.07.1013	15:15:00		1					765			
środa	17.07.1013	04:00:00	1					60				
środa	17.07.1013	05:00:00			1					30		
środa	17.07.1013	05:30:00	1					90				
środa	17.07.1013	07:00:00			1					30		
środa	17.07.1013	07:30:00	1					120				
środa	17.07.1013	09:30:00			1					30		
środa	17.07.1013	10:00:00	1					75				

Indywidualne bazy danych stanowiły podstawę do opracowania zbiorczych standardowych baz danych, umożliwiających obliczenie średnich dziennych wartości czasów trwania stanów procesu eksploatacji w badanym okresie.

Procesy Markowa z czasem dyskretnym nazywa się łańcuchami Markowa i opisuje matematycznie za pomocą macierzy stochastycznej P o elementach p_{ij} będących prawdopodobieństwem przejść ze stanu $X_n = i$ do stanu $X_{n+1} = j$, która w pełni opisuje łańcuch procesu [1,2,3,4]. Dlatego w następnym etapie dokonano przetworzenia bazy danych o trajektorii fazowej obiektów do postaci wartości estymatorów $\hat{p}_{ij}$ elementów p_{ij} macierzy P prawdopodobieństw przejść niezbędnych do opracowania modelu łańcucha Markowa dla badanego procesu. Wartościami tych estymatorów z próby są częstości w_{ij} przejść ze stanu S_i do stanu S_j :

$$\hat{p}_{ij} = w_{ij} = n_{ij} / n_i ; \quad (1)$$

gdzie:

n_{ij} : liczba przejść ze stanu S_i do stanu S_j ; n_i : liczba wszystkich przejść (wyjść) ze stanu S_i ;

w_{ij} : częstości w_{ij} przejść ze stanu S_i do stanu S_j ; n_i : liczba obserwacji stanów S_i w próbie.

W ten sposób otrzymano macierz prawdopodobieństw przejść dla dwóch badanych okresów procesu eksploatacji – przed wprowadzonymi zmianami (etap 1) i po ich wprowadzeniu (etap 2). Otrzymane wartości estymatorów obu etapów przedstawiają odpowiednio Tab. 3. oraz Tab. 4

Tab. 6. Wartości elementów p_{ij} macierzy P pierwszego etapu badania.

p_{ij}	S1	S2	S3	S4	S5
S1	0	0,62	0,18	0,14	0,06
S2	0,79	0	0,18	0,03	0
S3	0,81	0,19	0	0	0
S4	0,73	0,12	0	0	0,15
S5	0,2	0	0	0,8	0

Tab. 7. Wartości elementów p_{ij} macierzy P drugiego etapu badania.

p_{ij}	S1	S2	S3	S4	S5
S1	0	0,59	0,19	0,13	0,09
S2	0,77	0	0,2	0,03	0
S3	0,91	0,09	0	0	0
S4	0,68	0,11	0	0	0,21
S5	0,66	0	0	0,34	0

Oszacowane wartości estymatorów $p_{ij}^{\wedge}$ są symulacyjnie mało przydatne bez informacji o ich wiarygodności i miarach dyspersji. Podstawowymi miarami dyspersji są odchylenia standardowe estymatorów $S(p_{ij}^{\wedge})$ nazywane także maksymalnymi błędami Δ estymacji dla centralnych przedziałów ufności i współczynniki zmienności estymatorów, nazywane względnymi błędami estymacji δ . Dla badanego procesu większość błędów ma dopuszczalną wartość 20%, a zatem zadowalającą jakość prognostyczną. W związku z tym zbadano zależność (zmianę) wartości estymatorów prawdopodobieństw przejść dla dwóch etapów badanego procesu, otrzymując następujące wyniki (Tab. 5).

Tab. 8. Stosunek wartości prawdopodobieństw przejść dwóch etapów procesu.

%	S1	S2	S3	S4	S5
S1	0	-4,84	5,56	-7,14	50
S2	-2,53	0	11,11	0	0
S3	12,36	-52,63	0	0	0
S4	-6,85	-8,33	0	0	40
S5	230	0	0	-57,5	0

Powyższa tabela wskazuje na radykalne zmiany w częstości niektórych przejść. Stało się to podstawą dogłębnej analizy procesu i próby znalezienia ich przyczyny. W wyniku badania ustalono, że kiedy kierowca otrzymywał ustaloną pensję bez względu na ilość wykonywanych tras (zadań), wówczas nie przykładał należytej uwagi do dyscypliny czasowej.

Okazało się między innymi, że letni czas spędzany za granicą był dla kierowców także okazją do przyjemności i wypoczynku. W związku z powyższym tak organizowali czas pracy, aby weekend mogli spędzić w Austrii nad Dunajem lub we Włoszech, w malowniczych rejonach Alp wówczas, gdy poruszanie się pojazdów i zespołów pojazdów o DMC powyżej 7,5 tony jest zabronione. Dotyczyło to w szczególności okresów wakacyjnych a zwłaszcza sezonu, w którym miały miejsce liczne promocje młodego wina. Mogli wówczas nawet dwa dni spędzić na wspólnym biesiadowaniu z „kolegami z trasy”. W tym celu często przedłużali przerwy a skracali czas jazdy. W drugiej sytuacji, kiedy ich zarobki zależały od efektywności przewozu, kierowcy zaczęli tak organizować przerwy, aby maksymalnie wykorzystać do jazdy ustawowo należny czas. Im szybciej udało się wrócić do bazy, tym wcześniej można było wyruszyć w kolejną trasę (i zwiększyć swoją pensję). W związku z powyższym w przeprowadzonym badaniu widać spadek częstości przejść między stanami 1 (jazda) i 2 (postój) ze względu właśnie na większą efektywność (tab. 5). Zmniejszyła się także drastycznie ilość postojów realizowanych po załadunku. Audyt właściciela firmy ujawnił, że były one wynikiem kolejnych „towarzyskich spotkań” w punktach rozładunkowych a nie przymusowych postojów związanych z czasem pracy kierowcy lub opóźnieniami w pracach rozładunkowo – załadunkowych. Lata pracy na tych samych trasach spowodowały powstanie zgranych paczek kolegów, z którymi kierowcy chętnie i długo dyskutowali obciążając pracodawcę. W momencie, kiedy koszty tych rozmów zostały przeniesione na nich, proces przemieszczania szybko się usprawnił. Zmieniła się również sytuacja dotycząca obsługi wykonywanych przed wyjazdem. Pierwotnie zabiegi związane z przygotowaniem do podróży, w tym z myciem pojazdu i obsługą, kierowcy realizowali przed trasą w dzień wyjazdu, opóźniając tym samym godzinę startu. Po zmianach dotyczących naliczania pensji wszystkie te czynności zaczęły być wykonywane w dzień powrotu do bazy, bezpośrednio po zjeździe a nawet w wolnym czasie, np. w sobotę. Umożliwiało to szybszy wyjazd w kolejną trasę a w perspektywie zwiększyło szansę na wykonanie większej ilości cykli. Stąd duży wzrost ilości przejść ze stanu 4 (obsługa) do 5 (dyżurowanie) oraz z 5 do 1 (jazda) a zmniejszenie z 5 do 4. Ponadto, jeżeli możliwy był załadunek w sobotę - kierowcy korzystali z tej szansy i dzięki temu w poniedziałek rano mogli od razu wyruszyć w trasę, nie tracąc „cennego czasu”. Konsekwencją tych zmian był wzrost ilości przejść między stanami 1 i 5 spowodowany sobotnimi relacjami: dyżurowanie – jazda – załadunek – jazda – dyżurowanie. Zmieniły się też godziny rozpoczęcia pracy. Wcześniej kierowcy pojawiali się w bazie po godzinie siódmej rano, a po zmianie wyjazdu zaczynały się już od godz. 6.00. Ponadto poprawiła się dyspozycyjność pojazdu. Zgodnie z zasadami, jeżeli kierowca zauważył w pojeździe jakąś nieprawidłowość, której nie był w stanie sam rozpoznać i usunąć wówczas, zamiast jechać w trasę, kierował się do warsztatu, w którym mechanik diagnozował samochód i decydował o koniecznych naprawach. Okazało się, że zdarzały się sytuacje, w których kierowca (jeśli nie chciał danego dnia wyruszyć w trasę) „dogadywał” się z mechanikiem, aby np. bardzo długo szukał wyjątkowo niespotykanej przyczyny awarii, lub miał akurat inne pilne zlecenia. Kierowca pozostawiał pojazd na warsztacie, załatwiając w tym czasie prywatne sprawy.

W związku z powyższym, po wprowadzeniu nowego systemu zmniejszyła się ilość przejść ze stanu 4 (obsługa) do stanów 1 (jazda) i 2 (postój) - Tab. 5.

Oszacowane modele Markowa obu etapów procesów eksploatacji okazały się ergodyczne dla łańcucha, co umożliwiło długoterminową prognozę ewolucji systemów [3,4]. Obliczone prawdopodobieństwa graniczne p_j opisujące probabilistyczne zachowanie procesu po długim czasie przedstawia Tab. 6 oraz Rys. 3.

Tabela 9. Prawdopodobieństwa ergodyczne p_j dla dwóch etapów procesu.

p_j	S1	S2	S3	S4	S5
przed	0,42598	0,30113	0,13088	0,10127	0,04075
po	0,43818	0,28040	0,13933	0,08484	0,05725

Wg modelu Markowa w czasie dyskretnym system dąży przede wszystkim do przebywania w stanie jazdy S1, co jest zgodne i pożądane ze względu na profil działalności firmy. Zauważalny jest też wzrost wartości tego prawdopodobieństwa po reorganizacji. Zmniejszyła się natomiast ergodyczna wartość postojów, co również jest zadowalające. Wartość dla stanu S3 praktycznie nie uległa zmianie, gdyż wprowadzone modyfikacje nie wpłynęły na procesy załadunku i rozładunku. Zmniejszyło się prawdopodobieństwo ergodyczne dla stanu S4 - obsługi, co świadczy o wykonywaniu tylko rzeczywistych i koniecznych napraw i przeglądów. Zwiększyła się natomiast częstotliwość pobytu w garażu. Wynika to po pierwsze ze sprawniejszego realizowania tras a po drugie z organizowania załadunków w soboty przed wyjazdami. Prognozy długoterminowe są zatem zadowalające z punktu widzenia przedsiębiorcy.

Rys. 3. Prawdopodobieństwa ergodyczne p_j dla dwóch etapów procesu.

Różnica częstości i prawdopodobieństwa ergodycznego jest miarą odchylenia próby obiektów w czasie zbierania danych od asymptotycznej równowagi badanego procesu. Procentowe odchylenia częstości w_j od prawdopodobieństw ergodycznych p_j dla stanów $S1 - S5$ przed zmianami organizacyjnymi i po ich wprowadzeniu przedstawia Tab. 7.

Tab. 10. Odchylenia % częstości w_j od prawd. ergodycznych p_j stanów $S1-S5$.

Odch.%	S1	S2	S3	S4	S5
przed	-0,84	-5,53	5,39	10,66	5,78
po	-5,16	-9,68	-2,13	45,42	24,76

Po wprowadzeniu zmian największe odchylenie od hipotetycznej równowagi miał stan $S4$ (obsługiwanie). Przyczyną może być wzmożona aktywność kierowców w tej kwestii po stwierdzeniu przez przedsiębiorcę uchybień w ich pracy. Z większą gorliwością zaczęli realizować zabiegi pielęgnacyjne, na punkcie których właściciel jest bardzo wrażliwy, chcąc się mu przypodobać. Zapewne z biegiem czasu ta sytuacja się ustabilizuje i praca odnajdzie swój właściwy rytm. Ogólnie jednak należy stwierdzić, że odchylenia częstości operacyjnych od prawdopodobieństw granicznych w zbiorze stanów są zadowalająco małe, co świadczy o prawidłowym działaniu systemu.

Na zakończenie porównano średnie czasy realizacji procesów w dwóch badanych okresach. Wyniki przedstawia Tab. 8.

Tabela 11. Porównanie średnich czasów trwania stanów $S1-S5$.

Stan →	S1	S2	S3	S4	S5
Czas w minutach ↓					
przed	191,38	450,81	79,64	95,00	2000,95
po	204,68	234,21	79,29	98,33	1245,96
zmiana %	6,95	-48,05	-0,45	3,51	-37,73

Zgodnie z powyższą tabelą widać zadowalającą różnicę w średnim czasie jazdy (wzrost) i czasie postoju (bardzo duży spadek) co świadczy o pozytywnych zmianach w badanym systemie. Praktycznie nie zmienił się czas załadunku/rozładunku gdyż, jak już wyżej wspomniano, jest on dyktowany przede wszystkim przez kontrahentów. Wzrósł delikatnie czas poświęcony obsłudze, co potwierdza wspomnianą wyżej nadgorliwość kierowców i zmalał zdecydowanie ten spędzany na dyżurowaniu. Chociaż wzrosła częstotliwość pobytów w garażu, wskutek zwiększenia sprawności realizowanych cykli, to skróceniu uległ czas przestoju pojazdu, poprzez lepsze wykorzystanie jego gotowości na realizację obsługi lub załadunku.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badanie ukazało wiele nieprawidłowości w badanym systemie wynikających ze zbyt dużego zaufania do kierowców i pozwoliło na dokonanie stosownych zmian i korekt, które w efekcie umożliwiły osiągnięcie lepszych wyników. Procesy Markowa pokazały możliwość zastosowania modelowania matematycznego w małym, ale złożonym systemie socjotechnicznym. Prosty, pięciostanowy model stanowił podstawę do określenia głównych kierunków usprawnień, skutecznie wskazując obszary zaniedbań i uchybień. Bardziej szczegółowa analiza (np. rozgrupowanie stanu czwartego – obsługiwanie i precyzyjniejszy podział zawartych w nim czynności) zapewne pozwoliłaby jeszcze głębiej wniknąć w badany system i umożliwiłaby dokonanie kolejnych poprawek. Jednak przeprowadzona już na tym poziomie skutecznie poprawiła efektywność wykorzystania środków transportu badanego przedsiębiorstwa.

5. Literatura

- [1] Iwanik A., Misiewicz J. K.: Wykłady z procesów stochastycznych z zadaniami. Część pierwsza: Procesy Markowa, SCRIPT, Warszawa, 2015.
- [2] Kałuski J.: Wykłady z procesów Markowa, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2007.
- [3] Niziński S., Żurek J.: Logistyka ogólna, WKiŁ, Warszawa, 2011.
- [4] Woropay M., Żurek J., Migawa K.: Model oceny i kształtowania gotowości operacyjnej podsystemu utrzymania ruchu w systemie transportowym, Instytut Technologii Eksploatacji w Radomiu, Bydgoszcz – Radom, 2003.
- [5] Dz. U. 2013 poz. 567 Ustawa z dnia 5 kwietnia 2013 r. o zmianie ustawy o transporcie drogowym oraz ustawy o czasie pracy kierowców.

***Plk dr inż. Jarosław Ziółkowski** jest absolwentem Wydziału Mechanicznego WAT. W roku 2004 uzyskał stopień doktora nauk technicznych w specjalności: modelowanie procesów eksploatacji. Pracuje na stanowisku adiunkta w Instytucie Logistyki oraz pełni funkcję Zastępcy Dziekana WAT ds. wojskowych. Zajmuje się zagadnieniami modelowania matematycznego procesów eksploatacji, logistyką, łańcuchami dostaw, ekologią (Udział 50%).*

***Kpt. dr inż. Anna Borucka** - absolwentka Wydziału Mechanicznego Wojskowej Akademii Technicznej oraz Wydziału Ekonomicznego Wyższej Szkoły Zarządzania i Administracji. W roku 2015 uzyskała stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie: budowa i eksploatacja maszyn. Pracuje na stanowisku asystenta w Instytucie Logistyki. Zajmuje się zagadnieniami modelowania matematycznego procesów eksploatacji, zarządzaniem logistyką przedsiębiorstw (Udział 25%).*