

Systemy Logistyczne Wojsk
Zeszyt 55 (2021)
ISSN 1508-5430, s. 193-212
DOI:

Instytut Logistyki
Wydział Bezpieczeństwa, Logistyki i Zarządzania
Wojskowa Akademia Techniczna
w Warszawie

Military Logistics Systems
Volume 55 (2021)
ISSN 1508-5430, pp. 193-212
DOI:

Institute of Logistics
Faculty of Security, Logistics and Management
Military University of Technology
in Warsaw

Model doboru pojazdów do zadań w transporcie drogowym z wykorzystaniem aplikacji log-hub i solver

Model of vehicle selection for road transport tasks with the use of the application log-hub and solver

Arkadiusz Jóźwiak

jozwiak.a@eurocorps.org.; ORCID: 0000-0002-1748-0878
National Support Detachment, Headquarter Eurocorps

Ewa Malczewska

ewa.malczewska@student.wat.edu.pl; ORCID: 0000-0003-2568-2776
Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Bezpieczeństwa,
Logistyki i Zarządzania, Instytut Logistyki

Roland Jachimowski

roland.jachimowski@pw.edu.pl; ORCID: 0000-0001-5921-2436
Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

Abstrakt. Na podstawie dostępnej literatury, charakterystyki zadań transportowych realizowanych w sieciach transportowych i podziale środków transportowych ze względu na realizowane zadania został opracowany model doboru pojazdów do zadań w transporcie drogowym z wykorzystaniem aplikacji log-hub i solver bazując na arkuszu kalkulacyjnym Excel. Model składa się z kilku elementów: arkusza do obliczania odległości i czasu przejazdu na podstawie kodów pocztowych lub nazw miejscowości, bazy dostępnych pojazdów, które mogą mieć 10 różnych ładowności, 3 sieci dla których można dobrać pojazdy ze względu na minimalizację kosztów oraz arkusza wspomagającego podejmowanie decyzji dotyczących doboru pojazdów do zadań. Model uwzględnia różnice w czasie jazdy różnymi pojazdami na tej samej trasie (czas jazdy dla samochodu osobowego i ciągnika siodłowego) oraz różny czas rozładunku dla pojazdów o różnej ładowności. Przedmiotem analizy jest przewóz paletowych jednostek ładunkowych, niewymagających zapewnienia specjalnych warunków przejazdu. Model opiera się na pojazdach o nadwoziu uniwersalnym.

Analizie podlegały 3 sieci. Z analizy wynika, że sieć 1 jest czysto teoretyczną siecią z perspektywy przewoźnika i transportu ładunków. Koszty w niej są o połowę niższe niż w przypadku sieci 2. Sieć 3 służy do dobrania pojazdów dla kilku lokalizacji, przy założeniu, że wszystkie wyruszają z tej samej miejscowości. Na podstawie opracowanego i zweryfikowanego modelu wywnioskowano, iż podczas analizy kosztów powinno się brać pod uwagę realny, a nie abstrakcyjny układ sieci (zazwyczaj pojazdy muszą dojechać do miejsca załadunku i po wykonaniu zadania dojechać z miejsca rozładunku do innego punktu, co generuje koszty i wpływa na wydłużenie czasu przejazdu). Należy unikać zadań, które odbywają się na krótkich odcinkach i wymagają długich dojazdów (generuje to największe koszty). Pojazdy o mniejszej ładowności szybciej realizują zadania, dlatego sprawdzą się bardziej do transportu ładunków, które wymagają minimalizacji czasu przejazdu lub dużej dynamiki dostaw.

Słowa kluczowe: model, dobór pojazdów do zadań, VRP, log-hub, solver

Abstract. Based on the available literature, the characteristics of transport tasks carried out in transport networks and the division of means of transport due to the tasks performed, a model of vehicle selection for road transport tasks was developed using the log-hub and solver applications based on the Excel spreadsheet. The model consists of several elements: a sheet for calculating the distance and travel time based on postal codes or city names, a database of available vehicles that may have 10 different load capacities, 3 networks for which vehicles can be selected due to cost minimization, and a sheet supporting the taking decisions regarding the selection of vehicles for the tasks. The model takes into account the differences in driving times for different vehicles on the same route (driving time for a passenger car and a tractor unit) and different unloading times for vehicles with different load capacities. The subject of the analysis is the transport of pallet loading units that do not require special transport conditions. The model is based on vehicles with a universal body. 3 networks were analyzed. The analysis shows that network 1 is a purely theoretical network from the perspective of the carrier and freight transport. It costs half that of network 2. Network 3 is used to select vehicles for several locations, assuming that they all depart from the same town. On the basis of the developed and verified model, it was concluded that during the cost analysis one should take into account the real, not abstract network layout (usually vehicles must reach the place of loading and after completing the task, go from the place of unloading to another point, which generates costs and travel time extension). You should avoid tasks that take place over short distances and require long journeys (this is the most costly). Vehicles with a lower load capacity perform tasks faster, therefore they are more suitable for the transport of loads that require minimization of travel time or high dynamics of deliveries.

Keywords: model, selection of vehicles for tasks, VRP, log-hub, solver

Wstęp

Rozwój technologii i jej implementacja dotyczy wszystkich segmentów rynku. Z kolei branża transportowa jest jedną z najszybciej rozwijających się części rynku, pomimo iż jest obwarowana bardzo długą listą dokumentów normatywnych, zarówno na poziomie krajowym, jak i międzynarodowym np. pakiet mobilności UE. Wynikiem tych czynników jest poszukiwanie na nowo lepszych rozwiązań, problemów już do tej pory rozwiązanych. Możliwości technologiczne, analiza danych i dostęp do bieżącej informacji powodują, iż ciągle definiuje się nowe rozwiązania. Sytuacja dotyczy również doboru pojazdów do zadań w transporcie drogowym. Podjęty temat stanowi aktualny problem praktyków, jak i teoretyków i jest przedmiotem wielu rozważań naukowców polskich i zagranicznych.

Celem opracowanego modelu doboru pojazdów do zadań w transporcie drogowym jest określenie związków pomiędzy pojazdami i wykonywanymi przez nie zadaniami transportowymi oraz znalezienie optymalnego pod względem kosztów doboru pojazdów.

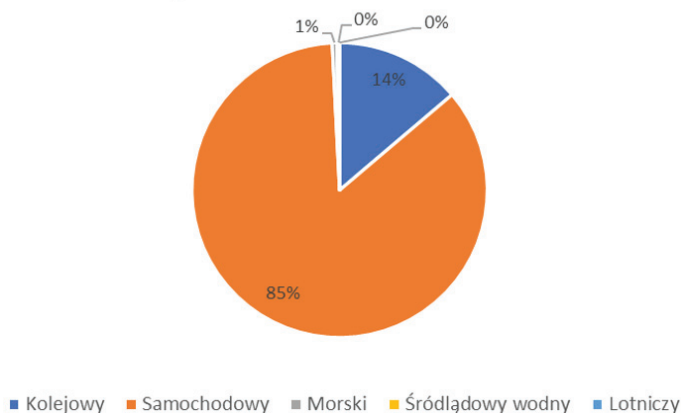
Metody badawcze zastosowane w pracy to:

- analiza – posłużyła do rozbicia rozważanej tematyki na części składowe;
- abstrahowanie – podczas tworzenia modelu możliwe było pominięcie elementów nieistotnych z punktu prowadzonych badań, a mających istotne znaczenie w całym procesie;
- wnioskowanie dedukcyjne – na podstawie założonych ograniczeń pozwoliło na wyciągnąć wnioski końcowe;
- modelowanie – stworzono model w oparciu o arkusz kalkulacyjny excel z wykorzystaniem aplikacji log-hub i solver.

Przegląd literatury

Transport samochodowy jest najpopularniejszą gałęzią transportu w przewozach ładunków w Polsce. W 2019 r. na 2 220 678 tysięcy ton przewiezionych ładunków aż 87% zostało przewiezionych transportem samochodowym (rys. 1). W tym 38,1% pojazdów stanowią pojazdy do przewozu ładunków, a 60,7% to samochody osobowe (<https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20190313STO31218/co2-emissions-from-cars-facts-and-figures-infographics>, dostęp: 08.01.2021).

Transport ładunków w Polsce w 2019 r.



Rys.1. Przewóz ładunków w Polsce w 2019 r.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS „Przewozy ładunków i pasażerów w 2019 r.”

Ogólne informacje o rodzajach modeli i modelowaniu zostały opisane przez Fishmana (Fishman, 1981). Natomiast publikacja M. Jacyny (Jacyna, 2009) była cennym źródłem wiedzy o modelowaniu w ujęciu transportu i procesów transportowych.

Do realizacji procesów przewozowych niezbędne są pojazdy. Pojazdy przeznaczone do przewozu ładunków często są nazywane samochodami użytkowymi. Jest to nazwa, która obejmuje autobusy, samochody ciężarowe i specjalne (Prochowski, Żuchowski, 2016). Według L. Prochowskiego oraz A. Żuchowskiego „samochody użytkowe rozwijają się pod względem technicznym znacznie szybciej niż samochody osobowe i przez długi czas pozostaną dominującym środkiem w transporcie ładunków” (Prochowski, Żuchowski, 2016). Producenci bardzo często oferują klientom wybór gotowych modułów, które będą najbardziej odpowiadać ich potrzebom. Cennym źródłem wiedzy o pojazdach, były pozycje L. Prochowskiego i A. Żuchowskiego (Prochowski, Żuchowski, 2016) oraz D. Starkowskiego, K. Bieńczaka, oraz W. Zwierzyckiego (Starkowski, Bieńczak, Zwierzycki, 2010). Zostały w nich przedstawione i szczegółowo opisane budowa, właściwości oraz wyposażenie pojazdów, które wpływają na możliwość przewozu pewnych grup ładunków, np. materiał, z którego wykonany jest zbiornik cysterny może ograniczać możliwość przewozu niektórych cieczy.

Podczas opracowywania modelu bardzo ważne okazały się modele organizacji przewozów:

- model wahadłowy – jest realizowany w regularnych połączeniach. Pojazd wyrusza z miejsca załadunku do miejsca rozładunku, a następnie wraca do miejsca załadunku;
- model wahadłowo-ciągły – pojazd wymienia puste nadwozia wymienne na pełne i odwrotnie, dzięki czemu zachowuje ciągłość kursowania;
- model promienisto-gwieździsty – pojazd zostaje załadowany i wyrusza do miejsca pierwszego rozładunku, następnie wraca do punktu załadunku i ponownie wyrusza do kolejnego miejsca wyładunku; krąży tak, aż wykona wszystkie zadania;
- model obwodowy – polega na załadunku pojazdu i następnie rozładunku w wielu punktach do czasu, aż wszystkie ładunki zostaną rozwieszone;
- model sztafetowy – posiada wiele punktów przeładunku, ładunki są dostarczane do punktów przeładunku przez pojazdy o dużej ładowności, a następnie przeładowywane do pojazdów o mniejszej ładowności (Pyza, Miętus, 2018).

Problem wyznaczania tras pojazdów przy kryterium minimalizacji kosztów jest przedmiotem szeregu opracowań zarówno w literaturze polskiej jak zagranicznej (*ang. Vehicle Routing Problem VRP*). Jest on rozwinięciem jednego z najstarszych problemów optymalizacyjnych na sieciach – problemu komiwojażera (*ang. Traveling Salesman Problem TSP*). Problem z trasowaniem pojazdów jest problemem programowania całkowitoliczbowego (Achuthan, Caccetta, 1991), który należy do kategorii problemów NP-trudnych (Lenstra, Rinnooy Kan, 1981).

Problem komiwojażera polega na odwiedzeniu dokładnie raz każdego wybranego punktu odbioru i powrotu do punktu nadania. Znane są koszty między poszczególnymi punktami odbioru i nadania. Planowanie trasy polega na minimalizacji kosztów przy spełnieniu tego podstawowego warunku. Szczegółowe opisy problemu komiwojażera można odnaleźć w pracach T. Bektasa (Bektas, 2006), A. Całczyńskiego (Całczyński, 1992) oraz B. Golden, L. Levy, R. Dahl (Golden, Levy, Dahl, 1981).

Model doboru pojazdów

Model bazuje na pojazdach transportu drogowego i przewozie ładunków. W celu utworzenia modelu zostało przyjęte, że ładunek mieści się na palecie o wymiarach 800x1200 [mm], a jego maksymalna wysokość wynosi 1000 mm. Masa brutto nie przekracza 1000 kg, a pojemność 0,96 m³. Przyjęto, że ładunek nie wymaga specjalnych warunków transportu (np. obniżonej temperatury). W przypadkach ładunków, które wymagają specjalnych warunków, można zastosować analogiczny model, uwzględniając rodzaje pojazdów, które będą w stanie spełnić te warunki oraz dodatkowe punkty sieci, np. myjnie dla cystern.

Za pomocą aplikacji Log-hub zostały wygenerowane odległości pomiędzy wybranymi miastami, czas trwania jazdy samochodem ciężarowym i samochodem. Założono, że czas jazdy samochodem ciężarowym dostawczym jest porównywalny do czasu jazdy samochodu osobowego, a pozostałych dla samochodu ciężarowego.

W terenie zabudowanym, średnia prędkość jazdy jest niższa niż poza terenem zabudowanym, dlatego w modelu została dodana zakładka do samodzielnego wyznaczania parametrów takich jak czas jazdy ciągnikiem siodłowym i samochodem dostawczym. Należy wpisać miejscowości, odległość oraz średnią prędkość.

Na podstawie danych ze źródeł internetowych (<https://www.gladeko.com.pl/tabor> (dostęp: 08.01.2021)) została opracowana baza pojazdów do wykonywania zadań. Uwzględniono maksymalną liczbę palet jakie są zdolne przewieźć pojazdy. Palety są jednakowe, dlatego założono, że jeżeli maksymalna liczba palet nie zostanie przekroczona to dopuszczalna masa całkowita, dopuszczalna ładowność i naciski osi również nie zostaną przekroczone. Przyjęto, że pojazd jest dopasowany do właściwości ładunku tzn., gdyby ładunkiem było mięso to w bazie danych znalazłyby się dostępne chłodnie. Przyjęto również, że baza danych zawiera dostępne w danej chwili pojazdy. W celu dopasowania najbardziej zbliżonego do rzeczywistego czasu przejazdu powstała kolumna „Czas przejazdu (0 dla samochodu dostawczego; 1 dla ciągnika siodłowego)”, dzięki której możliwe jest uwzględnienie różnicy w czasie przejazdu pomiędzy różnymi pojazdami.

Model składa się z 4 podstawowych arkuszy, w których można odnaleźć następujące tabele (rys. 2, rys. 3, rys. 4, rys. 5).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
23	Dane początkowe Dist Calc									
24										
25										
26	Adresy									
27	0									
28	Z kraju ▼	Ze stanu ▼	Z kodu ▼	Z miasta ▼	Z ▼	Do kra ▼	Do stanu ▼	Do kodu ▼	Do miasta ▼	Do ulicy ▼
29										
30										
31										
32										
33										
34										
35										
36										
37										

Rys. 2. Widok arkusza „Obliczanie Odległości” w log-hub

Źródło: Opracowanie własne

8	Tabela 2.1. Wyjście awaryjne, gdy log-hub nie działa lub średnia prędkość jazdy jest niższa od uzupełnionych w tabeli							
9	Miejsce załadunku	Miejsce rozładunku	Odległość [km]	Czas jazdy samochodem dostawczym [h]	Czas jazdy ciągnikiem siodłowym [h]			
10				0	0			
11				0	0			
12				0	0			
13				0	0			
14				0	0			
15				0	0			
16				0	0			
17				0	0			
18				0	0			
19				0	0			
20				0	0			

Średnia prędkość jazdy ciągnika siodłowego	73	km/h
Średnia prędkość jazdy samochodem osobowym	95	km/h

Rys. 3. Widok Arkusza „Dane początkowe”

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 3.1. Baza dostępnych pojazdów

Lp.	Rodzaj pojazdu	Liczba dostępnych pojazdów [szt]	Max liczba palet [szt]	Koszt przejazdu 1 km [zł]	Czas przejazdu (0 dla samochodu dostawczego; 1 dla ciągnika siodłowego)	Wysokość [m]	Norma spalania

Rys. 4. Baza dostępnych pojazdów

Źródło: Opracowanie własne

9 Tabela 4.1 Zadanie transportowe i czas jazdy ciągnikiem siodłowym i samochodem dostawczym

	A	B	Odległość [km]	Czas jazdy samochodem dostawczym [h]	Czas jazdy ciągnikiem siodłowym [h]	Palety do przewiezienia [szt]
10						
11						
12						
13	Tabela 4.2. Założenia					
14	Założenia:					
15	Czas podstawienia pojazdu na załadunek [h]					
16	Czas podstawienia pojazdu na rozładunek[h]					
17	Czas załadunku 1 palety [h]					
18	Czas rozładunku 1 palety w [h]					
19						
20	Tabela 4.3. Ograniczenia dotyczące pojazdów					
21	Dodatkowe ograniczenia:					
22	max wysokość [m]					
23	minimalna norma euro					

Rys. 5. Dane na wejściu w „4.Sieć 1”

Źródło: Opracowanie własne

Podczas obliczeń zostały uwzględnione czasy podstawienia samochodów na rozładunek i załadunek [h] oraz czas załadunku/rozładunku 1 palety [min].

Należy pamiętać, że model nie uwzględnia norm czasu kierowcy. W celu poznania dokładnego czasu załadunku, rozładunku lub czasu zakończenia zadania należy uwzględnić dodatkowo paury, dobowy czas odpoczynku i inne normy czasu pracy kierowcy.

Model bazuje na programie Excel, dodatku solver i aplikacji Log-hub. Aplikacja Log-hub ma za zadanie skrócenie czasu wyszukiwania odległości i czasu przejazdu. Im więcej pozycji do wyszukania tym bardziej sprawdzi się Log-hub.

Weryfikacja opracowanego modelu doboru pojazdów

Zadanie transportowe nr 1

Firma transportowa X ma do przewiezienia 40 palet z Warszawy do Zakopanego. Obecnie dysponuje pojazdami przedstawionymi na rys. 6. Które pojazdy powinna wybrać do realizacji zadania, aby koszt realizacji zadania był minimalny?

Lp.	Rodzaj pojazdu	Liczba dostępnych pojazdów [szt]	Max liczba palet [szt]	Koszt przejazdu 1 km [zł]	Czas przejazdu (0 dla samochodu dostawczego; 1 dla ciągnika siodłowego)	Wysokość [m]	Norma spalania
1	zestaw (samochód ciężarowy+przyczepa)	1	38	2,8	1	3	5
2	ciągnik siodłowy+naczepa standard	1	33	2,5	1	2,7	6
3	ciągnik siodłowy+naczepa mega	2	33	2,2	1	3	6
4	samochód ciężarowy (solówka)	1	22	2	1	2,6	6
5	samochód ciężarowy (solówka)	2	20	1,8	1	2,6	6
6	samochód ciężarowy (solówka)	1	18	1,8	1	2,6	6
7	samochód ciężarowy (solówka)	2	16	1,6	1	2,6	6
8	samochód dostawczy (plandeka)	1	10	1,2	0	2,5	6
9	samochód dostawczy (plandeka)	1	8	1,1	0	2,5	6
10	samochód dostawczy (furgon)	1	5	1	0	1,8	6

Rys. 6. Dostępne pojazdy firmy transportowej X

Źródło: Opracowanie własne

Aby przejechać z Warszawy do Zakopanego, należy pokonać 480,92 km. Średni czas jazdy samochodem dostawczym wynosi 5,93 h, a jazdy ciągnikiem siodłowym 7,71 h. Średni czas podstawienia na załadunek w firmie z Warszawy i Zakopanego wynosi 0,5 h. Do obliczeń przyjęto, że czas załadunku i rozładunku jednej palety wynosi 4 minuty, czyli 0,07 h (rys. 7) Lokalizacje miejsca załadunku i rozładunku nie wymagają uwzględniania dodatkowych ograniczeń takich jak maksymalna wysokość i minimalna norma euro.

Tabela 4.1 Zadanie transportowe i czas jazdy ciągnikiem siodłowym i samochodem dostawczym					
A	B	Odległość [km]	Czas jazdy samochodem dostawczym [h]	Czas jazdy ciągnikiem siodłowym [h]	Palety do przewiezienia [szt]
Warszawa	Zakopane	480,92	5,93	7,71	40
Tabela 4.2. Założenia					
Założenia:					
Czas podstawienia pojazdu na załadunek [h]	0,5				
Czas podstawienia pojazdu na rozładunek[h]	0,5				
Czas załadunku 1 palety [h]	0,07				
Czas rozładunku 1 palety w [h]	0,07				
Tabela 4.3. Ograniczenia dotyczące pojazdów					
Dodatkowe ograniczenia:					
max wysokość	3				
minimalna norma euro	1				

Rys. 7. Dane niezbędne do doboru pojazdów do zadań

Źródło: Opracowanie własne

Na rys. 8 zostało przedstawione rozwiązanie zadania. Do wykonania zadania niezbędne są dwa pojazdy: jeden nr 3 i jeden nr 9. Wszystkie 40 palet zostaną przewiezione. Łączny koszt wyniesie 1587 zł, a łączna odległość 962 km. Pojazd nr 3 wykona zadanie po upływie około 13 godzin, a pojazd nr 9 po upływie 8 godzin (czas ten nie uwzględnia pauz i normy pracy kierowców).

Powyższy rozwiązanie pokazuje jak będzie wyglądał przejazd bez uwzględnienia dojazdu pojazdów na miejsce załadunku z miejsca, w którym znajduje się flota oraz czasu powrotu z Zakopanego do Piaseczna, dlatego zostanie dokonana dodatkowa analiza. Założenia znajdują się na rys. 9.

Rys. 10 przedstawia rozwiązanie po uwzględnieniu dojazdu do miejsca załadunku oraz powrotu z miejsca załadunku do miejsca, w którym stoją pojazdy. Model dobrał takie same pojazdy podczas dodatkowej analizy.

Zaobserwowano znaczne różnice w łącznych kosztach i łącznej odległości (rys. 11). Powrót na pusto do miejsca, w którym stacjonuje flota wpływa na zwiększenie łącznej odległości o około 1009 km i powoduje wzrost kosztów o 1665 zł.

Tabela 4.6. Palety do przewiezienia i palety przewiezione

palety do przewiezienia [szt]	palety przewiezione [szt]	Różnica
40	41	1

Tabela 4.5. Rozwiązanie zadania

Lp. pojazdu	Pojazdy do realizacji zadania
1	0
2	0
3	1
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	1
10	0

Tabela 4.5. Szczegóły dotyczące rozwiązania zadania

łącznie koszty [zł]	1587
łącznie odległość [km]	962

Rys. 8. Rozwiązanie zadania nr 1

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 5.1 Zadanie transportowe i czas jazdy ciągnikiem siodłowym i samochodem dostawczym

Miejsce załadunku	Miejsce rozładunku	Odległość [km]	Czas jazdy samochodem dostawczym(Czas 0) [h]	Czas jazdy ciągnikiem siodłowym(Czas 1) [h]	Palety do przewiezienia [szt]
Piaseczno	Warszawa	19,51	0,48	0,62	0
Warszawa	Zakopane	480,92	5,93	7,71	40
Zakopane	Piaseczno	485,14	6,01	7,82	0

Tabela 5.2. Założenia

Założenia:	
Czas podstawienia pojazdu na załadunek [h]	0,5
Czas podstawienia pojazdu na rozładunek[h]	0,5
Czas załadunku 1 palety [h]	0,07
Czas rozładunku 1 palety w [h]	0,07

Tabela 5.3. Ograniczenia dotyczące pojazdów

Dodatkowe ograniczenia:	
max wysokość	3
minimalna norma euro	0

Rys. 9. Dane do rozwiązania zadania uwzględniające czas dojazdu i powrót pojazdu

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 5.6. Palety do przewiezienia i palety przewiezione

palety do przewiezienia [szt]	palety przewiezione [szt]	Różnica
40	41	1

Tabela 5.7 Rozwiązanie zadania

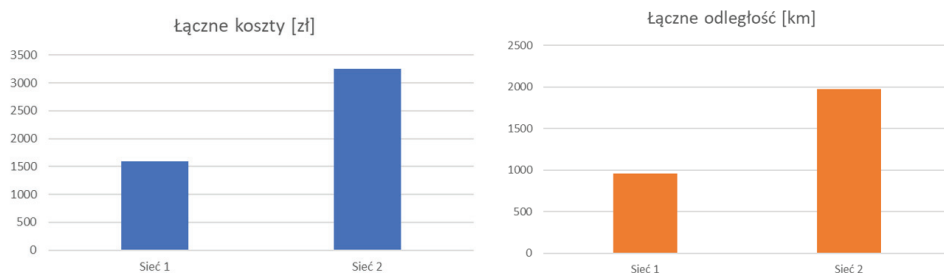
Lp. pojazdu	Pojazdy do realizacji zadania
1	0
2	0
3	1
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	1
10	0

Tabela 4.5. Szczegóły dotyczące rozwiązania zadania

łącznie koszty [zł]	3252
łącznie odległość [km]	1971

Rys. 10. Rozwiązanie zadania po dodatkowej analizie

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 11. Porównanie łącznych kosztów i odległości dla zadania transportowego

Źródło: Opracowanie własne

Zadanie transportowe nr 2

Zadanie polega na znalezieniu liczby pojazdów, dla których koszt przewiezienia palet będzie najniższy. Liczba palet do przewiezienia z firm do magazynów znajduje się na rys. 12, a na rys. 13 znajdują się dostępne rodzaje pojazdów. Na rys. 14 znajdują się odległości pomiędzy firmami i magazynami skopiowane z wygenerowanej przez Log-hub tabeli w arkuszu „Dane początkowe”.

Tabela 6.2. Liczba palet do przewiezienia [szt]						
	Białystok	Zakopane	Krakow	Kielce	Bydgoszcz	Radom
Warszawa	12	20	18	4	20	15

Rys. 12. Liczba palet do przewiezienia w zadaniu transportowym nr 2

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 6.3. Dostępne pojazdy			
Lp. pojazdu	Dostępne pojazdy	Max liczba palet [szt]	Koszt przejazdu 1 km [zł]
1	1	38	2,8
2	1	33	2,5
3	2	33	2,2
4	1	22	2
5	2	20	1,8
6	1	18	1,8
7	2	16	1,6
8	1	10	1,2
9	1	8	1,1
10	1	5	1

Rys. 13. Dostępne pojazdy do wykonania zadania transportowego nr 2

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 6.1. Parametry tras

Z miasta	Do miasta	Odległość	Czas trwania	Czas trwania
Piaseczno	Warszawa	19,51	0,48	0,62
Warszawa	Białystok	192,59	2,74	3,57
Warszawa	Zakopane	480,92	5,93	7,71
Warszawa	Krakow	295,21	4,46	5,8
Warszawa	Kielce	178,96	2,68	3,48
Warszawa	Bydgoszcz	302,34	3,31	4,31
Warszawa	Radom	105,39	1,47	1,91
Białystok	Piaseczno	211,09	3,03	3,94
Zakopane	Piaseczno	485,14	6,01	7,82
Krakow	Piaseczno	288	4,43	5,77
Kielce	Piaseczno	170,22	2,56	3,33
Bydgoszcz	Piaseczno	309,45	3,4	4,41
Radom	Piaseczno	96,32	1,36	1,77

Rys. 14. Odległości pomiędzy miastami w zadaniu transportowym nr 2

Źródło: Opracowanie własne

Rozwiązanie zadania zostało przedstawione na rys. 15. Do danych tras zostały wybrane następujące pojazdy:

- Warszawa-Białystok – 1 pojazd nr 7,
- Warszawa-Zakopane – 1 pojazd nr 5,
- Warszawa-Kraków – 1 pojazd nr 6,
- Warszawa-Kielce – 1 pojazd nr 10,
- Warszawa-Bydgoszcz – 1 pojazd nr 5,
- Warszawa-Radom – 1 pojazd nr 7.

Tabela 6.7. zmienne decyzyjne

Lp. pojazdu	Białystok	Zakopane	Krakow	Kielce	Bydgoszcz	Radom
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	1	0
6	0	0	1	0	0	0
7	1	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	1	0	0

Rys. 15. Rozwiązanie zadania transportowego nr 2

Źródło: Opracowanie własne

Łączny koszt dla tych pojazdów wynosi 5395,01 zł, a łączna odległość to 3232,69 km. Pojazdy pojawią się:

- na załadunku po upływie czasu przedstawionego na rys. 16,

- na rozładunku po upływie czasu przedstawionego na rys. 17,
- w „bazie” po upływie czasu przedstawionego na rys. 18.

Tabela 6.12. Czas dotarcia na miejsce załadunku [km]

Lp pojazdu	Białystok	Zakopane	Krakow	Kielce	Bydgoszcz	Radom
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	1,12	0	0	1,12	0
6	0	0	1,12	0	0	0
7	1,12	0	0	0	0	1,12
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0,98	0	0

Rys. 16. Czas dotarcia pojazdów na załadunek w zadaniu transportowym nr 2

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 6.13. Czas dotarcia na miejsce rozładunku

Lp pojazdu	Białystok	Zakopane	Krakow	Kielce	Bydgoszcz	Radom
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 6.14. Czas dotarcia do „bazy”

Lp pojazdu	Białystok	Zakopane	Krakow	Kielce	Bydgoszcz	Radom
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	20,32	0,00	0,00	13,51	0,00
6	0,00	0,00	16,09	0,00	0,00	0,00
7	11,76	0,00	0,00	0,00	0,00	7,93
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	7,89	0,00	0,00

Rys. 18. Czas dotarcia pojazdów do bazy w zadaniu transportowym nr 2

Źródło: Opracowanie własne

Zadanie transportowe nr 3

Firma transportowa X dostała zapytanie o transport 25 palet z Warszawy do Porto. Miejsce rozładunku wymaga uwzględnienia ograniczenia wysokości pojazdu (max 2,5 m). Czy firma będzie w stanie wykonać to zadanie? Które pojazdy dokonają przewozu? Jaki będzie czas dotarcia na rozładunek? Jak zmieniłyby się koszty, gdyby nie było konieczności uwzględniania wysokości?

Rozwiązanie: Firma nie będzie w stanie wykonać zadania. W Warszawie zostaną dwie palety (rys. 19).

Z obliczeń wynika, że gdyby nie było ograniczeń wysokości pojazdu, firma mogłaby wybrać pojazd nr 3 i zaoszczędzić ponad 3451 zł. Różnica w pokonanej odległości wyniosłaby 6274 km.

39	Tabela 4.6. Palety do przewiezienia i palety przewiezione		
40	palety do przewiezienia [szt]	palety przewiezione [szt]	Różnica
41	25	23	-2
42			
43	Tabela 4.5. Rozwiązanie zadania		
44	Lp. pojazdu	Pojazdy do realizacji	
45	1	0	
46	2	0	
47	3	0	
48	4	0	
49	5	0	
50	6	0	
51	7	0	
52	8	1	
53	9	1	
54	10	1	
55			
56	Tabela 4.5. Szczegóły dotyczące rozwiązania zadania		
57	łączne koszty [zł]	10352	
58	łączne odległość [km]	9411	

Rys. 19. Pojazdy do realizacji zadania 3

Źródło: Opracowanie własne

39	Tabela 4.6. Palety do przewiezienia i palety przewiezione		
40	palety do przewiezienia [szt]	palety przewiezione [szt]	Różnica
41	25	33	8
42			
43	Tabela 4.5. Rozwiązanie zadania		
44	Lp. pojazdu	Pojazdy do realizacji	
45	1	0	
46	2	0	
47	3	1	
48	4	0	
49	5	0	
50	6	0	
51	7	0	
52	8	0	
53	9	0	
54	10	0	
55			
56	Tabela 4.5. Szczegóły dotyczące rozwiązania zadania		
57	łącznie koszty [zł]	6901	
58	łącznie odległość [km]	3137	

Rys. 20. Rozwiązanie zadania 3 przy braku ograniczenia wysokości

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 4.3. Obliczenia		
Pojazd	Czas dotarcia na rozładunek [h]	łącznie czas [h]
1	45,66	48,20
2	45,33	47,53
3	45,33	47,53
4	44,60	46,06
5	44,46	45,80
6	44,33	45,53
7	44,20	45,26
8	34,08	34,74
9	33,94	34,48
10	33,74	34,08

Rys. 21. Czas dotarcia na załadunek dla zadania 3

Źródło: Opracowanie własne

Zadanie transportowe nr 4

Firma X posiada samochód ciężarowy, który może przewieźć 20 palet. Czas podstawienia na załadunek i rozładunek wynoszą 0,25 h, a rozładunek jednej palety 3 minuty. Pojazd znajduje się obecnie w miejscowości Sochaczew. Dyspozytor szuka kolejnego zadania do wykonania dla pojazdu. Na giełdzie transportowej znalazł następujące zadania:

1. Gostynin-Białystok; palety do przewiezienia: 10 fracht: 1091,79 zł;
2. Kutno-Zakopane, palety do przewiezienia: 15 fracht: 1321,26 zł;
3. Łódź-Kraków, palety do przewiezienia: 19 fracht: 818,01 zł;
4. Marki-Kielce, palety do przewiezienia: 18 fracht: 570,06 zł;
5. Otwock-Bydgoszcz, palety do przewiezienia: 19 fracht: 981 zł;
6. Płock-Radom, palety do przewiezienia: 16 fracht: 548,37 zł;
7. Skierniewice-Wrocław, palety do przewiezienia: 19 fracht: 884,52 zł;
8. Sochaczew-Zielona Góra, palety do przewiezienia: 21; fracht: 1263,24 zł;
9. Warszawa-Szczecin, palety do przewiezienia: 20, fracht 1702,5 zł.

27	Zadania							
	Miejsce załadunku	Miejsce rozładunku	Odległość [km]	Czas jazdy ciągnikiem siodłowym [h]	Czas jazdy samochodem dostawczym [h]	Ilość palet do przewiezienia	Fracht[zt]	Koszty [zt]
28								
29	Gostynin	Białystok	363,93	5,28	4,06	10	1091,79	727,86
30	Kutno	Zakopane	440,42	7,64	5,88	15	1321,26	880,84
31	Łódź	Krakow	272,67	4,84	3,73	19	818,01	545,34
32	Marki	Kielce	190,02	3,23	2,48	18	570,06	380,04
33	Otwock	Bydgoszcz	327	4,91	3,77	19	981	654
34	Płock	Radom	182,79	3,54	2,72	16	548,37	365,58
35	Skierniewice	Wroclaw	294,84	4,29	3,3	19	884,52	589,68
36	Sochaczew	Zielona Gora	421,08	5,43	4,18	21	1263,24	842,16
37	Warszawa	Szczecin	567,5	7,49	5,76	20	1702,5	1135
38								
39	Tabela 8.5. Obliczenia							
	Miejsce załadunku	Miejsce rozładunku	Czy palety się zmieszczą?	Łączna odległość	Łączny czas [h]	Zysk [zt]		
40								
41	Gostynin	Białystok	TAK	429,4	7,92	363,93		
42	Kutno	Zakopane	TAK	509,32	10,46	440,42		
43	Łódź	Krakow	TAK	373,75	7,93	272,67		
44	Marki	Kielce	TAK	269,09	5,92	190,02		
45	Otwock	Bydgoszcz	TAK	422,55	8,24	327		
46	Płock	Radom	TAK	244,21	6,19	182,79		
47	Skierniewice	Wroclaw	TAK	329,34	6,63	294,84		
48	Sochaczew	Zielona Gora	NIE	421,08	6,98	421,08		
49	Warszawa	Szczecin	NIE	640,04	10,23	567,5		
50								
51	Tabela 8.6. Wartości, które spełniają cele							
	Najkrótsza trasa [km]	244,21						
52	Najkrótszy czas [h]	5,92						
53	Maksymalny zysk [zt/km]	567,5						
54								

Rys. 22. Obliczenia do zadania 4

Źródło: Opracowanie własne

Którą z tych opcji powinien wybrać?

Aby rozwiązać zadanie, na początku należy ustawić dostępny pojazd w modelu. Następnie należy sprawdzić jaka jest odległość i czas jazdy z Sochaczewa do miejscowości w których nastąpi załadunek. Wyszukiwanie odległości z Sochaczewa do wybranych 9 miejscowości. Następnie należy znaleźć odległości i czas trwania jazdy z miejsc załadunku do miejsc rozładunku. Gotowe rozwiązanie zostało przedstawione na rys. 22. Należy skopiować je do pierwszej tabeli (rys. 22) w odpowiadające kolumny.

Po uzupełnieniu danych została obliczona łączna odległość, łączny czas i zysk. Obliczone wartości zostały przedstawione na rys. 22. Z tabeli 8.6 wynika, że największy zysk wynosi 1 zł/km, najkrótszy czas 5,92 h, a najkrótsza trasa wynosi 244,21 km.

Następnie należy skopiować jako wartości tabeli 8.5 do Tabeli 8.7. Ułatwi to swobodne filtrowanie danych. Po pierwsze należy uwzględnić tylko zadania w których palety zmieszczą się w pojeździe. Następnie filtrować zyski od Z do A. Gotowa tabela z rozwiązaniami została pokazana na rys. 23.

56	Tabela 8.6. Szukanie optymalnego rozwiązania					
57	Miejsce załadunku	Miejsce rozładunku	Czy palety się zmieszczą	łączna odległość	łączny czas [h]	Zysk [zł]
58	Kutno	Zakopane	TAK	509,32	10,46	440,42
59	Gostynin	Białystok	TAK	429,4	7,92	363,93
60	Otwock	Bydgoszcz	TAK	422,55	8,24	327
61	Skierniewice	Wrocław	TAK	329,34	6,63	294,84
62	Łódź	Kraków	TAK	373,75	7,93	272,67
63	Marki	Kielce	TAK	269,09	5,92	190,02
64	Płock	Radom	TAK	244,21	6,19	182,79
67						

Rys., 23. Tabela z potencjalnymi rozwiązaniami zadania 4

Źródło: Opracowanie własne

Wnioski końcowe

Celem opracowano artykułu było opracowanie modelu doboru pojazdów do zadań w transporcie drogowym i określenie związków pomiędzy pojazdami i wykonywanymi przez nie zadaniami transportowymi oraz znalezienie optymalnego pod względem kosztów doboru pojazdów. Mając to na uwadze, w pracy wykorzystując arkusz kalkulacyjny Excel z dodatkami aplikacyjnymi log-hub i solver opracowano model doboru pojazdów składający się z czterech głównych arkuszy. W celu zweryfikowania poprawności opracowanego modelu zasymulowano cztery przykładowe zadania transportowe. Na tej podstawie można wnioskować, iż:

- model w sposób prawidłowy dobiera dostępne pojazdy do zadań transportowych uwzględniając zadane warunki ograniczające np. powrót „na pusto” do bazy, minimalny koszt dla zadanej liczby palet do przewiezienia etc;
- model wskazuje konkretne pojazdy o różnych parametrach do realizacji zadania transportowego tak, aby pojazd wykorzystać w możliwie największym stopniu, a koszt całkowity realizacji zadania był minimalny, jednocześnie przy uwzględnieniu różnych warunków ograniczających np. ograniczenie wysokości pojazdu.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ACHUTHAN, N.R., CACCETTA, L., (1991). Integer linear programming formulation for a vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*. Vol. 52(1), pp. 86-89.
- [2] BEKTAS, T., (2006). The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures. *Omega* 34. 209 – 219.
- [3] CAŁCZYŃSKI, A. (1992). *Metody optymalizacyjne w obsłudze transportowej rynku*. Warszawa: PWE.
- [4] FISHMAN, G.S., (1981). *Symulacja komputerowa pojęcia i metody*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne.
- [5] GOLDEN, B., LEVY, L., DAHL, R., (1981). Two generalizations of the traveling salesman problem. *Omega*; 9(4):439–41.
- [6] GUS „Przewozy ładunków i pasażerów w 2019 r.”
- [7] <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20190313STO31218/co2-emissions-from-cars-facts-and-figures-infographics> (Dostęp 08.01.2021).
- [8] <https://www.gladeko.com.pl/tabor> (Dostęp 08.01.2021).
- [9] JACYNA, M., (2009). *Modelowanie i ocena systemów transportowych*, Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- [10] LENSTRA, J.K., RINNOOY, KAN, A.H.G., (1981). Complexity of vehicle routing and scheduling problems. *Networks*, Vol. 11(2), pp. 221–227.
- [11] PROCHOWSKI, L., ŻUCHOWSKI, A., (2004) (2016). *Samochody ciężarowe i autobusy*, Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności Sp. z o.o.
- [12] PYZA, D., MIĘTUS, M., (2018). Organizacja przewozu ładunków transportem drogowym z uwzględnieniem różnych technologii przewozowych, *Prace naukowe Politechniki Warszawskiej*, z.120 Transport.
- [13] STARKOWSKI, D., BIEŃCZAK, K., ZWIERZYCKI, W., (2010). *Samochodowy Transport krajowy i międzynarodowy. Kompendium wiedzy praktycznej*. Środowisko pracy kierowcy, logistyka, tom III, Systherm D. Gazińska Sp. j.

