

Projekt zaliczeniowy z przedmiotu

Optymalizacja decyzji menedżerskich

---

*ZAGADNIENIE MINIMALIZACJI  
PUSTYCH PRZEBIEGÓW I  
KOSZTÓW TRANSPORTU W  
FIRMIE „HENKEL POLSKA z.o.o”*

---

## **Spis treści**

1.	Wprowadzenie w problematykę pracy.....	1
2.	Opis problemu .....	2
3.	Kalkulacja kosztów na poszczególnych trasach.....	8
4.	Model matematyczny.....	10
5.	Rozwiążanie optymalne.....	12
6.	Podsumowanie .....	13
7.	Bibliografia.....	14

# **1. Wprowadzenie w problematykę pracy**

Transport jest dziedziną gospodarowania, w której osiągnięcie efektywności jest wynikiem koncentracji oddziaływanego wielu różnorodnych czynników - w dużej mierze zewnętrznych w stosunku do podmiotów transportowych i od nich niezależnych. Wpływ tych czynników powoduje, że planowanie i realizacja procesów transportowych, a szczególnie optymalizacja decyzji operacyjnych, jest bardzo trudnym zadaniem. Istotnym czynnikiem jest skomplikowana struktura procesów transportowych. Zagadnienie transportowe jest od wielu lat opisywane w literaturze w dziedzinach takich jak: badania operacyjne, programowanie liniowe czy logistyka. Problem ten ma także różne odmiany: zamknięte zagadnienie transportowe, otwarte zagadnienie transportowe, zagadnienie transportowo – produkcyjne i w końcu minimalizacja pustych przebiegów, która jest przedmiotem analizy poniższej pracy.

Problem minimalizacji pustych przebiegów jest pewnego rodzaju rozszerzeniem tradycyjnego zadania transportowego. Do czynienia mają z nim najczęściej spedytorzy firm kurierskich oraz kadra menedżerska zajmująca się logistiką w firmach transportowych. Do miejsc rozładunku zmierzają załadowane pojazdy, które w określonym czasie będą rozładowane. Rozładowany pojazd jest w fazie gotowości do realizacji kolejnych zleceń transportowych, czyli podróży do kolejnych miejsc załadunku. Od kadry menedżerskiej zależy podjęcie decyzji o skierowaniu danej ciężarówki do konkretnego zakładu produkcyjnego. Pojazdy mogą być zróżnicowane m.in. ze względu na ich masę.

Problem optymalizacyjny polega więc na znalezieniu odpowiedzi na pytanie: jakie rodzaje pojazdów powinny być wysłane; do których miejsc załadunku. Warto również zaznaczyć, że nie zawsze wszystkie zlecenia transportowe muszą być zrealizowane. Niektóre z nich mogą być nieatrakcyjne ze względu na oferowaną stawkę dla danego pracownika za każdy przejechany kilometr oraz koszty tego zlecenia - w tym również koszty dojazdu do miejsca załadunku. Usługodawca może również podjąć decyzję o przyjęciu niekorzystnego zlecenia, jeżeli jest to uzasadnione celami strategicznymi firmy. W odróżnieniu od podstawowego problemu transportowego celem rozpatrywanego projektu jest minimalizacja kosztów przejazdu pojazdów oraz ograniczenie tzw. pustych przebiegów w przedsiębiorstwie. Tak samo jak w trywialnym problemie transportowym, tutaj także znajduje się rozwiązywanie optymalne, którym w tym przypadku jest całkowity minimalny koszt przewozu towarów pomiędzy zakładami pewnego przedsiębiorstwa. Istotny jest fakt, iż w poniższym zadaniu nie pojawi się problem dzielenia wielkości załadunku czy pakunków, ponieważ są to przebiegi puste. Tym samym liczony jest koszt całkowity przejazdu pojazdu na danej trasie, który obejmuje wynagrodzenia kierowcy i koszt paliw (oleju napędowego), a nie koszt przewiezienia jednostki ładunku. Problem taki tym samym osadzony jest w realnym kontekście i wiernie oddaje prawdziwe uwarunkowania działalności transportowej, uwzględniając bariery z którymi musi zderzyć się.

## **2. Opis problemu**

Problem opisany powyżej prezentujemy w niniejszym projekcie na przykładzie dużego przedsiębiorstwa z branży usług kosmetycznych, środków piorących i czystości. Przedsiębiorstwo Henkel Polska Spółka z.o.o posiada 8 zakładów produkcyjnych na terenie całej Polski. Każdy zakład pełni funkcję bazy transportowej i centrum konsolidacji oraz dekonsolidacji towarów kosmetycznych, które do tych punktów są zwożone i wywożone. Każdy z nich posiada również własną bazę logistyczną, która w wyniku konsultacji z centralą, podejmuje decyzję o wysłaniu konkretnego pojazdu do określonego punktu załadunku. Przyjmujemy, że pomiędzy zakładami kursują samochody ciężarowe o różnej masie. Firma dysponuje własnym taborem. Niestety w transporcie firmy pojawiają się wspomniane puste przebiegi. Celem zadania jest zminimalizowanie tego zjawiska (czyli sytuacji, w której środek transportu przemieszcza się bez ładunku) oraz obliczenie jak najmniejszego, całkowitego kosztu przewozu towarów na wszystkich trasach, co powinno się przyczynić do większych zysków i poprawy konkurencyjności firmy. Jest to przykład problemu logistycznego, który jest podejmowany przez menedżerów w dużych firmach transportowych takich jak wyżej wymieniona spółka Henkel Polska Spółka z.o.o.

Szczególnie istotna z punktu widzenia problemu jest dokładna lokalizacja każdego zakładu produkcyjnego. Poniższa lista zawiera ich opis:

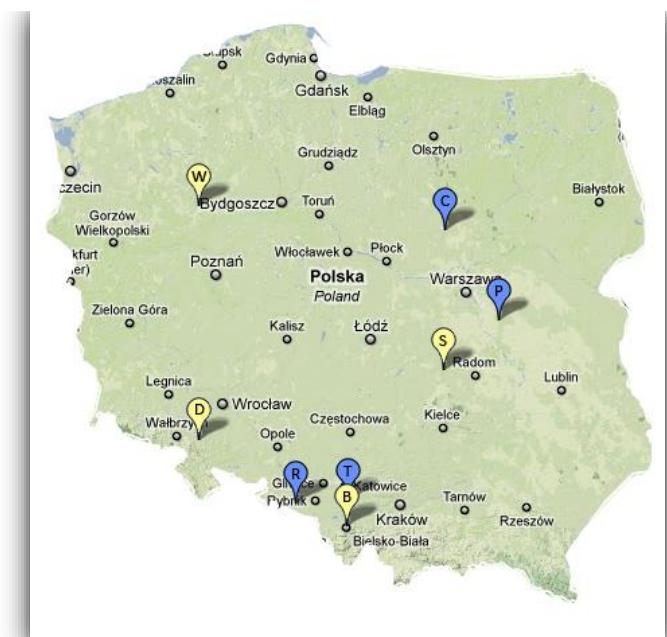
- (R) Zakład Produkcyjny Racibórz  
ul. Stalowa 9  
47-400 Racibórz
- (S) Zakład Produkcyjny Stąporków  
Stara Góra  
skrytka pocztowa 24  
26-220 Stąporków
- (W) Zakład Produkcyjny Wrząca  
ul. Graniczna 50  
64-905 Stobno
- (D) Zakład Produkcyjny Dzierżoniów  
ul. Pieszycka 6  
58-200 Dzierżoniów
- (C) Zakład Produkcyjny Ciechanów  
ul. Chabrowa 3  
06-400 Ciechanów
- (B) Zakład Produkcyjny Bielsko-Biała  
ul. Grażyńskiego 141 (teren Fiat-GM-Powertrain)  
43-300 Bielsko Biała

(T) Zakład Produkcyjny Tychy  
ul. Turyńska 100 (teren Fiat Auto Poland)  
43-100 Tychy

(P) Zakład Produkcyjny Pilawa  
ul. Przemysłowa 3a  
08-440 Pilawa

## Rysunek 1

## *Lokalizacja na mapie zakładów – dostawców i zakładów - odbiorców:*



*Źródło: opracowanie własne przy pomocy narzędzia „Google Maps”.*

Powyższa mapa przedstawia lokalizację poszczególnych zakładów produkcyjnych. Została ona użyta w celu wiernego oddania skali odległości pomiędzy punktami rozładunku/załadunku. Przykładowo Wrząca, leżąca w okolicy Bydgoszczy, oddalona jest aż o 444 km w od Stąborkowa w okolicach Radomia. Każdy punkt oznaczony jest literką pochodzącą od pierwszej litery pełnej nazwy miejscowości, w której znajduje się wyszczególniona na liście baza transportowa. Kolor niebieski dotyczy odbiorców, a kolor żółty dostawców. Mapa tworzy sieć połączeń, które realizują poniższe założenia:

1. Istnieje 8 punktów, między którymi odbywa się wymiana towarów.
  2. Punkty te tworzą układ zamknięty.
  3. Każdy z nich może być dostawcą lub odbiorcą.
  4. Towary przywozi się i wywozi tym samym środkiem transportu.
  5. Znane są odległości między punktami.

**Tabela 1**

*Odległości (w km) pomiędzy poszczególnymi zakładami oraz liczba pojazdów przyjeżdżających i wyjeżdżających:*

	R	S	W	D	C	B	T	P	Wywóz
R	0	259	434	181	417	82	74	371	0
S		0	444	342	246	247	214	158	36
W			0	335	324	523	490	426	33
D				0	481	267	234	428	26
C					0	415	382	157	34
B						0	42	370	0
T							0	341	5
P								0	24
<b>Przywoz</b>	15	17	37	8	27	21	17	16	

*Źródło: opracowanie własne na podstawie danych rzeczywistych.*

Na wstępie warto określić odległości pomiędzy poszczególnymi zakładami firmy w kilometrach oraz liczbę samochodów ciężarowych, które przywożą i wywożą dany towar. Różnice pomiędzy wielkościami przywozu i wielkościami wywozu w poszczególnych zakładach powodują powstanie pustych przebiegów. Zakłady z dodatnim saldem stają się dostawcami pustych pojazdów, a z ujemnym – odbiorcami.

**Tabela 2**

*Podział zakładów na dostawców pustych przebiegów i odbiorców pustych przebiegów:*

	Przywoz	Wywóz	Saldo	Rola
Racibórz	15	0	15	Dostawca
Stąporków	17	36	-19	Odbiorca

Wrząca	37	33	4	Dostawca
Dzierżoniów	8	26	-18	Odbiorca
Ciechanów	27	34	-7	Odbiorca
Bielsko-Biała	21	0	21	Dostawca
Tychy	17	5	12	Dostawca
Pilawa	16	24	-8	Odbiorca
	158	158		

*Źródło: opracowanie własne na podstawie danych rzeczywistych.*

Wyniki zamieszczone w powyższej tabeli pokazują, że cztery oddziały to dostawcy pustych środków transportu. Są to oddziały firmy w których występuje nadwyżka samochodów przywożących towar nad samochodami wywożącymi:

- Racibórz z nadwyżką 15 samochodów,
- Wrząca z nadwyżką 4 samochodów,
- Bielsko-Biała z nadwyżką 21 samochodów,
- Tychy z nadwyżką 12 samochodów.

Analogiczna sytuacja pojawia się w przypadku odbiorców (także cztery zakłady firmy). Występuje tutaj zjawisko niedoboru. Są to tak zwane klasyczne puste przebiegi:

- Stąporków z niedoborem 19 samochodów,
- Dzierżoniów z niedoborem 18 samochodów,
- Ciechanów z niedoborem 7 samochodów,
- Pilawa z niedoborem 8 samochodów.

Łącznie puste przebiegi mogą pojawić się na 16 trasach.

**Tabela 3**

*Odległości (w km) pomiędzy zakładami – dostawcami pustych przebiegów a zakładami – odbiorcami pustych przebiegów:*

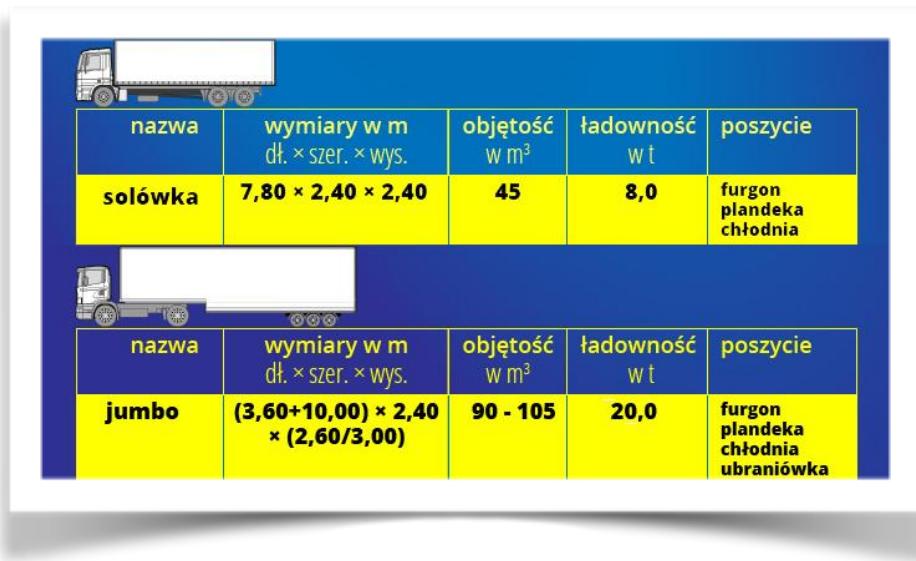
	Stąporków	Dzierżoniów	Ciechanów	Pilawa
Racibórz	259	181	417	371

Wrząca	444	335	324	426
Bielsko-Biała	247	267	415	370
Tychy	214	234	382	341

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych rzeczywistych.

## Rysunek 2

Rodzaje pojazdów wg specyfiki budowy:



nazwa	wymiary w m dł. × szer. × wys.	objętość w m <sup>3</sup>	ładowność w t	poszycie
<b>solówka</b>	<b>7,80 × 2,40 × 2,40</b>	<b>45</b>	<b>8,0</b>	furgon plandeka chłodnia

nazwa	wymiary w m dł. × szer. × wys.	objętość w m <sup>3</sup>	ładowność w t	poszycie
<b>jumbo</b>	<b>(3,60+10,00) × 2,40 × (2,60/3,00)</b>	<b>90 - 105</b>	<b>20,0</b>	furgon plandeka chłodnia ubraniówka

Źródło: opracowanie własne.

Przedsiębiorstwo Henkel Polska Spółka z.o.o dysponuje taborem, w którego skład wchodzą dwa typy pojazdów ciężarowych - solówka i jumbo. Są to Każdy z nich zróżnicowany jest ze względu na takie cechy jak: wymiary, objętość, ładowność czy poszycie. Z punktu widzenia optymalizacji kosztów transportu diametralne znaczenie ma ładowność, gdyż wpływa ona bezpośrednio na wysokość spalania paliwa, a tym samym na koszt jednostkowy transportu towarów przedsiębiorstwa. Obecnie aktywne są 52 pojazdy - 31 stanowią ciężarówki solówka, a 21 jumbo.

Poniższe tabele przedstawiają ilości pojazdów ze względu na obecny status i cel:

**Tabela 4**

*Ilości pojazdów 8-tonowych i 20-tonowych mających wyjechać z zakładów – dostawców:*

	8-tonowe	20-tonowe	$\Sigma$
Racibórz	11	4	15
Wrzaca	1	3	4
Bielsko-Biała	12	9	21
Tychy	7	5	12
	31	21	

*Źródło: opracowanie własne na podstawie danych rzeczywistych.*

**Tabela 5**

*Ilości pojazdów 8-tonowych i 20-tonowych mających dojechać do zakładów – odbiorców:*

	8-tonowe	20-tonowe	$\Sigma$
Stąporków	11	8	19
Dzierżoniów	12	6	18
Ciechanów	3	4	7
Pilawa	5	3	8
	31	21	

*Źródło: opracowanie własne na podstawie danych rzeczywistych.*

**Tabela 6**

*Charakterystyki pojazdów 8-tonowych i 20-tonowych:*

Wielkość pojazdu	Spalanie pojazdu (l / 100 km)	Koszt paliwa (zł / l)	Koszt paliwa (zł / km)	Koszt pracy kierowcy (zł / km)
8-tonowy	22	4,4	0,968	0,34
20-tonowy	38	4,4	1,672	0,46

*Źródło: opracowanie własne na podstawie danych rzeczywistych.*

Przedsiębiorstwo chce ustalić plan pustych przebiegów, uwzględniając podział na samochody 8-tonowe i 20-tonowe, który minimalizuje całkowity koszt przejazdu. W tym celu niezbędne jest ustalenie kosztów jednostkowych na poszczególnych trasach.

Koszty jednostkowe w transporcie cechuje bardzo duże zróżnicowanie w zależności od wielu czynników i uwarunkowań. Podobnie jak w innych sektorach w transporcie występuje zjawisko skali produkcji wyrażające się w obniżce kosztu jednostkowego wraz ze wzrostem jej wielkości. W transporcie specyficznym czynnikiem wpływającym na obniżkę kosztu jednostkowego jest odległość przewozu, co sprawia, że obok podziału kosztów na stałe i zmienne, bezpośrednie i pośrednie stosuje się również podział na koszty stacyjne i odległościowe. W takich gałęziach transportu jak transport morski, lotniczy, wodny śródlądowy koszty stacyjne są bardzo wysokie. Wpływa to na wysoki spadek kosztów jednostkowych wraz ze wzrostem odległością przewozu i powoduje, że nieopłacalny staje się przewóz środkami tych gałęzi na bliskich odległościach.

W naszym projekcie wzięliśmy pod uwagę przede wszystkim dwa główne koszty jednostkowe – koszt paliwa oraz koszt zatrudnienia kierowcy. Na bazie danych statystycznych [źródło: <https://www.transport-expert.pl>] udało się nam ustalić średnie zużycie paliwa, które wynosi odpowiednio 22L/100km wśród samochodów 8-tonowych oraz 38L/100km zużywane przez samochody 20-tonowe. Ciekawostką jest fakt, że ciężarówki marki Scania o średniej wadze około 20-25t spalają na autostradzie i przy pustym ładunku około 20-25L. Niestety w cyklu miejskim sytuacja ulega drastycznej zmianie, gdyż spalanie sięga ponad 40L. Przy założeniu, że pełnoetatowy pracownik zatrudniony jest na umowę o pracę, a klin podatkowy wynosi około 40% wynagrodzenia netto, to całkowity koszt dla pracodawcy z tytułu zatrudnienia takiego pracownika przeciętnie wynosi 0,34zł/km wśród kierowców samochodów 8-tonowych oraz 0,46zł/km samochodów 20-tonowych. Obecny koszt oleju napędowego waha się w granicach 4,2 do 4,5zł za 1L. Dokonaliśmy uśrednienia tej wartości i przyjęliśmy 4,4zł/1L.

### 3. Kalkulacja kosztów na poszczególnych trasach

Tabela 7

Pojazdy 8-tonowe	Stąporków	Dzierżoniów	Ciechanów	Pilawa
Racibórz	250,71	175,21	403,66	359,13
Wrząca	429,79	324,28	313,63	412,37
Bielsko-Biała	239,10	258,46	401,72	358,16
Tychy	207,15	226,51	369,78	330,09
Pojazdy 20-tonowe	Stąporków	Dzierżoniów	Ciechanów	Pilawa
Racibórz	433,05	302,63	697,22	620,31
Wrząca	742,37	560,12	541,73	712,27
Bielsko-Biała	412,98	446,42	693,88	618,64
Tychy	357,81	391,25	638,70	570,15

Koszty zużycia paliwa przy jednym pustym przebiegu (z podziałem na pojazdy 8-tonowe i 20-tonowe) Źródło: opracowanie własne na podstawie danych rzeczywistych.

Powyższa tabela przedstawia zsumowane koszty zużycia paliwa na poszczególnych trasach z uwzględnieniem masy pojazdu. Koszt ten jest iloczynem liczby kilometrów pomiędzy poszczególnymi zakładami i ceny paliwa oleju napędowego (4,4zł/1L).

**Tabela 8**

*Koszty zatrudnienia kierowcy do jednego pustego przebiegu (z podziałem na pojazdy 8-tonowe i 20-tonowe):*

Pojazdy 8-tonowe	Stąporków	Dzierżoniów	Ciechanów	Pilawa
Racibórz	88,06	61,54	141,78	126,14
Wrząca	150,96	113,90	110,16	144,84
Bielsko-Biała	83,98	90,78	141,10	125,80
Tychy	72,76	79,56	129,88	115,94
Pojazdy 20-tonowe	Stąporków	Dzierżoniów	Ciechanów	Pilawa
Racibórz	119,14	83,26	191,82	170,66
Wrząca	204,24	154,10	149,04	195,96
Bielsko-Biała	113,62	122,82	190,90	170,20
Tychy	98,44	107,64	175,72	156,86

*Źródło: opracowanie własne na podstawie danych rzeczywistych.*

Zatrudnienie pracownika na stanowisku kierowcy powoduje, że pracodawca musi dopełnić wobec niego szeregu obowiązków wynikających nie tylko z Kodeksu pracy, ale również z ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o czasie pracy kierowców (Dz. U. z 2012 r. poz. 1155), a niekiedy z ustawy z dnia 6 września 2001 r. o transporcie drogowym (Dz. U. z 2012 r. poz. 1265). [źródło: <http://www.gofin.pl/prawo-pracy>] W tabeli zostały zapisane koszty zatrudnienia kierowcy na trasie jednego pustego przebiegu. Podobnie jak w przypadku ceny paliw uwzględniona została również masa podróżującego samochodu. W skład takiego kosztu zatrudnienia wchodzi dodatkowo m.in. dieta żywieniowa, utrzymanie pojazdu w czystości oraz czynności spedycyjne i obsługę codzienną pojazdów i przyczep.

**Tabela 9**

*Koszty jednego pustego przebiegu (z podziałem na pojazdy 8-tonowe i 20-tonowe)*

Pojazdy 8-tonowe	Stąporków	Dzierżoniów	Ciechanów	Pilawa
Racibórz	338,77	236,75	545,44	485,27
Wrząca	580,75	438,18	423,79	557,21
Bielsko-Biała	323,08	349,24	542,82	483,96
Tychy	279,91	306,07	499,66	446,03
Pojazdy 20-tonowe	Stąporków	Dzierżoniów	Ciechanów	Pilawa
Racibórz	552,19	385,89	889,04	790,97
Wrząca	946,61	714,22	690,77	908,23
Bielsko-Biała	526,60	569,24	884,78	788,84
Tychy	456,25	498,89	814,42	727,01

*Źródło: opracowanie własne na podstawie danych rzeczywistych.*

W tabeli został zestawiony całkowity koszt pustego przebiegu z uwzględnieniem pojazdów o mniejszej i większej ładowności. Na koszt składa się zarówno koszt zużycia paliwa na danej trasie pomiędzy poszczególnymi zakładami spółki Henkel oraz wspomniane przy wcześniejszej tabeli zatrudnienie kierowcy ciężarówki.

## 4. Model matematyczny

Problem rozwiązać można za pomocą programowania liniowego przy użyciu dodatkowych tabelek w arkuszu oraz zastosowania modułu Solver do poszukiwania optymalnego rozwiązania.

Na zadanie programowania liniowego składają się następujące etapy:

**1. Dobór zmiennych decyzyjnych** – zmiennymi decyzyjnymi jest w naszym wypadku, liczba pustych środków transportu  $x_{ij}$  jaka powinna być przemieszczona z i-tego punktu transportowego do j-tego punktu transportowego.

**2. Określenie funkcji celu** – Przedsiębiorstwo Henkel Polska Z.o.o dąży naturalnie do minimalizacji wystąpienia pustych środków transportu, a co za tym idzie do minimalizacji całkowitego kosztu przewozu towarów pomiędzy poszczególnymi zakładami spółki. Funkcja celu jest sumą dwóch iloczynów: kosztów jednego pustego przebiegu (z podziałem na pojazdy 8-tonowe i 20-tonowe) oraz liczby pustych środków transportu na danych trasach (także z podziałem na pojazdy 8 i 20-tonowe).

**3. Zdefiniowanie warunków ograniczających** - dla całej sieci transportowej, w tym także poszczególnych zakładów przedsiębiorstwa (dostawców i odbiorców) liczba środków transportu obsługujących wywóz ładunku musi się równać liczbie środków transportu wykorzystywanych do realizacji przywozu ładunku.

Model matematyczny jest następującej postaci:

### Funkcja celu:

$$338,77x_{RS8} + 236,75x_{RD8} + 545,44x_{RC8} + 485,27x_{RP8} + 580,75x_{WS8} + 438,18x_{WD8} + 423,79x_{WC8} + 557,21x_{WP8} + 323,08x_{BS8} + 349,24x_{BD8} + 542,82x_{BC8} + 483,96x_{BP8} + 279,91x_{TS8} + 306,07x_{TD8} + 499,66x_{TC8} + 446,03x_{TP8} + 552,19x_{RS20} + 385,89x_{RD20} + 889,04x_{RC20} + 790,97x_{RP20} + 946,61x_{WS20} + 714,22x_{WD20} + 690,77x_{WC20} + 908,23x_{WP20} + 526,60x_{BS20} + 569,24x_{BD20} + 884,78x_{BC20} + 788,84x_{BP20} + 456,25x_{TS20} + 498,89x_{TD20} + 814,42x_{TC20} + 727,01x_{TP20} \rightarrow \min$$

### Warunki ograniczające:

a) dotyczące zakładów – dostawców

$$x_{RS8} + x_{RD8} + x_{RC8} + x_{RP8} = 11$$

$$x_{WS8} + x_{WD8} + x_{WC8} + x_{WP8} = 1$$

$$x_{BS8} + x_{BD8} + x_{BC8} + x_{BP8} = 12$$

$$x_{TS8} + x_{TD8} + x_{TC8} + x_{TP8} = 7$$

$$x_{RS20} + x_{RD20} + x_{RC20} + x_{RP20} = 4$$

$$x_{WS20} + x_{WD20} + x_{WC20} + x_{WP20} = 3$$

$$x_{BS20} + x_{BD20} + x_{BC20} + x_{BP20} = 9$$

$$x_{TS20} + x_{TD20} + x_{TC20} + x_{TP20} = 5$$

b) dotyczące zakładów – odbiorców

$$X_{RS8} + X_{WS8} + X_{BS8} + X_{TS8} = 11$$

$$X_{RD8} + X_{WD8} + X_{BD8} + X_{TD8} = 12$$

$$X_{RC8} + X_{WC8} + X_{BC8} + X_{TC8} = 3$$

$$X_{RP8} + X_{WP8} + X_{BP8} + X_{TP8} = 5$$

$$X_{RS20} + X_{WS20} + X_{BS20} + X_{TS20} = 8$$

$$X_{RD20} + X_{WD20} + X_{BD20} + X_{TD20} = 6$$

$$X_{RC20} + X_{WC20} + X_{BC20} + X_{TC20} = 4$$

$$X_{RP20} + X_{WP20} + X_{BP20} + X_{TP20} = 3$$

### **Warunki znakowe**

$$x_{ijk} \geq 0 \text{ dla } i = \{R, W, B, T\}, j = \{S, D, C, P\}, k = \{8, 20\}$$

$$x_{ijk} \in C \text{ dla } i = \{R, W, B, T\}, j = \{S, D, C, P\}, k = \{8, 20\}$$

Ograniczenia dotyczą również samych zmiennych decyzyjnych. Każda z nich, czyli liczba pustych środków transportu o masie zarówno 8 i 20 ton musi być większa lub równa 0. Ze względu na specyfikę naszego problemu, wygenerowanie raportu wrażliwości było niemożliwe, ponieważ występuje w zadaniu warunek dotyczący przynależności wartości zmiennych decyzyjnych do zbioru liczb całkowitych.

## **5. Rozwiążanie optymalne**

Rozwiążanie optymalne uzyskane za pomocą dodatku Solver określa plan pustych przebiegów, który minimalizuje koszty:

**Minimalny koszt całkowity wynosi 22 001 zł 10 gr (rozwiążanie optymalne).**

**Tabela 10**

*Optymalna liczba pustych przebiegów z podziałem na pojazdy 8-tonowe i 20-tonowe:*

Pojazdy 8-tonowe	Stąporków	Dzierżoniów	Ciechanów	Pilawa
Racibórz	0	11	0	0
Wrzaca	0	0	1	0
Bielsko-Biała	4	1	2	5
Tychy	7	0	0	0
Pojazdy 20-tonowe	Stąporków	Dzierżoniów	Ciechanów	Pilawa
Racibórz	0	4	0	0
Wrzaca	0	0	3	0
Bielsko-Biała	3	2	1	3
Tychy	5	0	0	0
Wszystkie pojazdy	Stąporków	Dzierżoniów	Ciechanów	Pilawa
Racibórz	0	15	0	0
Wrzaca	0	0	4	0
Bielsko-Biała	7	3	3	8
Tychy	12	0	0	0

*Źródło: opracowanie własne na podstawie danych rzeczywistych.*

Powyższa tabela przedstawia finalny plan przewozu towarów przez przedsiębiorstwo z podziałem na samochody 8-tonowe, 20-tonowe oraz całkowitą liczbę pustych środków transportu na przestrzeni całego planu transportowego. Narzędzie stworzone w celu

minimalizacji kosztu przewozu towarów pomiędzy 8 zakładami firmy Henkel pozwala stwierdzić, iż należy łącznie wyekspediować:

- 15 niezaładowanych samochodów na trasie Racibórz – Dzierżoniow,
- 4 niezaładowane samochody na trasie Wrząca – Pilawa,
- 7 niezaładowanych ciężarówek na trasie Bielsko-Biała – Stąporków,
- 3 puste samochody ciężarowe na trasie Bielsko-Biała – Dzierżoniów oraz na trasie Bielsko-Biała – Ciechanów,
- 8 opróżnionych z towaru samochodów na dystansie Bielsko-Biała – Pilawa,
- 12 niezaładowanych pojazdów ciężarowych na trasie Tychy – Stąporków.

## 6. Podsumowanie

Podsumowując, sytuacja pustych przebiegów nie jest korzystna i prowadzi do zwiększenia kosztów działalności przedsiębiorstwa. Problem ten dotyczy zwłaszcza podmiotów wykonujących przewozy na własne potrzeby i we własnym zakresie, a także mniejszych przewoźników wykonujących niewielkie usługi logistyczne.

W tym kontekście warto zauważać przydatność skonstruowanego przez autorów pracy narzędzia planowania przewozu towarów pomiędzy poszczególnymi zakładami produkcyjnymi. Wykazana została jego efektywność, która pomaga minimalizować problem pustych przebiegów, a tym samym przyczynia się do poprawy sytuacji firmy przewozowej. Pozwala ono również na dynamiczne dostosowywanie się działalności przedsiębiorstwa do zmiennych warunków mikro oraz makroekonomicznych. Tym samym stanowi doskonałą metodę optymalizacji decyzji menedżerskich.

## 7. Bibliografia

1. „Badania operacyjne”, Praca zbiorowa pod red. Edmundego Ignasiaka, PWE, Warszawa, 2001,
2. Zbigniew Jędrzejczyk, Karol Kukuła, Jerzy Skrzypek, „Badania operacyjne w przykładach i zadaniach”, pod red. K. Kukuła, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004,
3. „Badania operacyjne w transporcie. Przykłady i zadania.” Praca zbiorowa pod red. Jerzego Kubickiego, Uniwersytet Gdańsk, 1998,
4. Szymczak M., „Decyzje logistyczne z Excelem”, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2011,
5. „Ekonometria z Excelem”, Marcin Anholcer, Artur Owczarkowski, Helena Gaspars-Wieloch, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu 2010,
6. <http://www.info.clicktrans.pl/> (dostęp na dzień 20.05.2017),
7. <http://www.logistyka.net.pl/> (dostęp na dzień 20.05.2017),
8. <http://www.gofin.pl/prawo-pracy> (dostęp na dzień 20.05.2017),
9. <https://www.transport-expert.pl> (dostęp na dzień 20.05.2017).