

**Paweł Hanczar, Izabela Dziaduch**

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu  
e-mail: pawel.hanczar@ue.wroc.pl

---

**PLANOWANIE DOSTAW PALIW DO STACJI  
BENZYNOWYCH WEDŁUG KONCEPCJI  
ZAPASÓW STEROWANYCH PRZEZ PRZEWOŹNIKA –  
PODEJŚCIE OPTYMALIZACYJNE**

---

**PLANNING OF FUEL SUPPLY TO FUEL STATIONS  
ACCORDING TO VENDOR MANAGED INVENTORY  
CONCEPTS – OPTIMIZATION APPROACH**

---

DOI: 10.15611/pn.2018.505.22

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono problem wyznaczania tras przepływu zapasów, jaki pojawia się w procesie planowania dostaw paliw do sieci stacji benzynowych. Przedyskutowano także najczęściej spotykane KPI, jakie są wykorzystywane we współpracy pomiędzy dostawcą i zleceniodawcą usług transportu paliw. W głównej części pracy zaproponowano model decyzyjny planowania dostaw w horyzoncie 7-dniowym. Pracę kończy ocena możliwości wykorzystania przedstawionego sformułowania do planowania dostaw w praktyce.

**Słowa kluczowe:** dystrybucja paliw, zapasy sterowane przez dostawcę, optymalizacja dyskretna.

**Summary:** The issue of determining the routes of inventory, which appears in the process of fuel supply to fuel stations planning, has been presented in the paper. Key Performance Indicators (KPI), used in co-operation between the supplier and the recipient of fuel transport services, are pointed out. Decision model of supply planning in the 7-day horizon is defined. The article contains also the evaluation of opportunities of using the model in the process of planning fuel supply in real life applications.

**Keywords:** fuel distribution, vendor managed inventory, discrete optimization.

## 1. Wstęp

Jedną z realizacji koncepcji zarządzania określanej jako zapasy zarządzane przez dostawcę (*Vendor Managed Inventory* – VMI) jest w branży transportowej zarządzanie zapasami przez przewoźnika (*Carrier Managed Inventory* – CMI). Firmy zajmujące się dystrybucją produktów oczekują od przewoźnika nie tylko realizacji specjali-

stycznej usługi transportowej, ale także opracowania planów dostaw do odbiorców końcowych zapewniających osiągnięcie zadanych poziomów wybranych wskaźników (*Key Performance Indicators* – KPI). Przykładem branży szeroko wykorzystującej takie rozwiązanie jest dystrybucja paliw. Z jednej strony koncerny będące właścicielami sieci stacji paliw narzucają firmom transportowym funkcjonowanie zgodnie z CMI jako warunek konieczny we współpracy. Z drugiej – firmy transportowe akceptują takie podejście, zdając sobie sprawę, że przejęcie dodatkowego zakresu obowiązków skutkować będzie wyższym poziomem wykorzystania floty transportowej oraz w przyszłości utrudni zleceniodawcy zmianę dostawcy usług transportowych.

Firmy transportowe decydujące się na świadczenie usług zgodnie z koncepcją CMI stają przed poważnym problemem przygotowania planów gwarantujących zachowanie odpowiednich poziomów wskaźników określonych przez zleceniodawcę. W zależności od zakresu tych wymagań planowanie tras może być realizowane w sposób intuicyjny, w oparciu o wiedzę ekspercką i doświadczenie własne planistów. Niestety pełne wykorzystanie potencjału, jakie daje CMI, możliwe jest dopiero po zastosowaniu zaawansowanych metod planowania, takich jak optymalizacja dyskretna. Metody te są także niezbędne w sytuacji gdy liczba KPI oraz złożoność ich wyznaczania rosną.

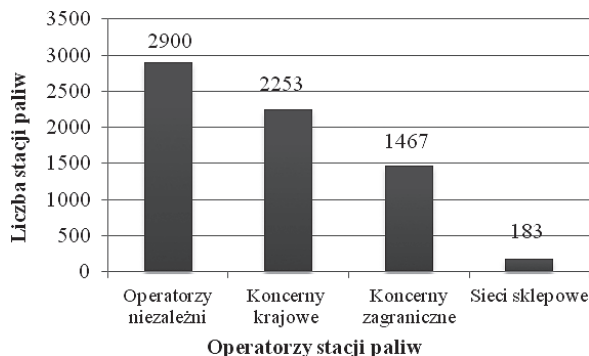
W niniejszym artykule przedstawiono problem wyznaczania tras przepływu zapasów, jaki pojawia się w procesie planowania dostaw paliw do sieci stacji benzynowych. Przedyskutowano także najczęściej spotykane KPI, jakie są wykorzystywane we współpracy pomiędzy dostawcą i zleceniodawcą usług transportu paliw. W głównej części pracy zaproponowano model decyzyjny planowania dostaw w horyzoncie 7-dniowym. Pracę kończy ocena możliwości wykorzystania przedstawionego sformułowania do planowania dostaw w praktyce.

## 2. Dostawy paliw do sieci stacji

### 2.1. Rynek usług transportu paliw do sieci stacji

Detaliczna sprzedaż paliw realizowana jest przez sieć stacji paliw, która – według pozyskanych przez Polską Organizację Przemysłu i Handlu Naftowego danych, dotyczących ogólnodostępnych obiektów realizujących sprzedaż paliw – na koniec roku 2016 liczyła 6803 punkty tankowania<sup>1</sup>. Z danych przedstawionych na rys. 1 wynika, że 33% rynku stacji należy do krajowych koncernów, tzn. Grupy PKN Orlen S.A. oraz Grupy Lotos S.A. Do koncernów zagranicznych, tj. AS24, BP, IDS, Lukoil, Shell, Statoil, Total, należy 21% stacji, natomiast 43% stacji stanowi własność operatorów niezależnych. Stacje paliw działające przy sieciach sklepowych stanowią 3% rynku stacji.

<sup>1</sup> [http://www.popihn.pl/stacje\\_paliw.php?news\\_id=174](http://www.popihn.pl/stacje_paliw.php?news_id=174)



**Rys. 1.** Liczba stacji paliw w Polsce w 2016 r. z uwzględnieniem operatorów

Źródło: file:///C:/Users/pc/Downloads/Stacje\_paliw\_za\_2016\_rok%20(3).pdf.

Zaopatrzenie stacji paliw odbywa się z baz paliw, które specjalizują się w ich magazynowaniu i przeładunku. Obecnie na rynku polskim istnieje kilkadziesiąt baz paliwowych (rys. 2). Najwięcej baz paliw płynnych posiada Operator Logistyczny Paliw Płynnych Sp. z o.o., Grupa PKN Orlen S.A., Grupa Lotos S.A., TanQuid oraz J&S Energy<sup>2</sup>.

Dostawy paliw na stacje paliw odbywają się za pomocą cystern. Są one napełniane w rozlewniach paliw, zlokalizowanych zazwyczaj w pobliżu rafinerii lub terminali kolejowych, do których dojeżdżają wagony bezpośrednio zza granicy wschodniej. Paliwa magazynowane są w dużych cylindrycznych zbiornikach spełniających surowe normy, m.in. dotyczące materiałów niebezpiecznych (ADR).

Łącznie dystrybucja na terenie kraju jest realizowana do około 6800 stacji paliw z prawie 50 baz paliwowych. W celu zapewnienia dostępności paliw w krajowej sieci stacji pojazdy dziennie przejeżdżają około 260 tys. km<sup>3</sup>, a łączny poziom zapasu paliw wynosi około 165 mln litrów paliwa, co przy średniej cenie 4 PLN/litr daje wartość zapasu na poziomie 0,75 mld PLN.

Zdecydowana większość stacji w kraju (około 85%) jest wyposażona w automatyczny system pomiaru przesyłania informacji o poziomie zapasów, potocznie nazywanym telemetrią. W celu zapewnienia realizacji dostaw zgodnie z CMI firma transportowa uzyskuje dostęp do odczytów z telemetrii, który pozwala na bieżąco i bez konieczności uzyskania dodatkowych informacji opracowywać plany dostaw. W zależności od sieci odczyty telemetryczne są realizowane co najmniej raz i nie więcej niż cztery razy na dobę. Stacje nieposiadające systemu telemetrii to najczęściej małe stacje, na które dostawy realizowane są stosunkowo rzadko. Dostawy do takich stacji realizowane się zgodnie z klasycznym podejściem, w którym stacja składa zamówienie na dostawę określonych rodzajów i wielkości paliw w konkretnym dniu. Taki sposób

<sup>2</sup> <http://www.nafta-polska.pl/przemys%C5%82-naftowy/zbiorniki-magazynowe/>

<sup>3</sup> Oszacowano na podstawie wzoru zaproponowanego w pracy [Daganzo 1984, s. 331–350].



Rys. 2. Lokalizacja baz paliw w Polsce

Źródło: opracowanie własne.

realizacji dostaw powoduje, że firma transportowa jest odpowiedzialna wyłącznie za realizację zamówienia, a nie za zagwarantowanie odpowiednich poziomów KPI, stąd poziom zapasu oraz dystrybucja mogą być planowane oddzielnie.

## 2.2. Organizacja dostaw

W dystrybucji paliw są stosowane specjalistyczne cysterny dopuszczone do transportu ADR. Najczęściej spotykane są zestawy transportowe: ciągnik siodłowy i 20-tonowa naczepa-cysterna, do której jednorazowo można załadować ok. 36 tys. litrów paliw. Poszczególne rodzaje paliw są przewożone w komorach o pojemnościach od 2 tys. do 9 tys. litrów. Nie realizuje się więcej niż jednej dostawy z paliwa z jednej komory, co oznacza, że łączna dostawa na stacji musi być zaokrąglana do pełnych pojemności komór, które wybrany zestaw posiada.

Podstawowym sposobem organizacji dostaw paliw jest dostawa wszystkich rodzajów paliw za pomocą jednego zestawu do jednej stacji. W celu maksymalizacji wykorzystania pojemności komór suma różnych rodzajów paliw dostarczana w dostawie do jednej stacji musi być równa maksymalnej pojemności pojazdu. Drugim, jednak rzadziej stosowanym, podejściem są kursy określane jako *multi-split*, w których jeden zestaw może dostarczać paliwa do więcej niż jednej stacji. Jednak liczba stacji obsługiwanych w takim podejściu w zdecydowanej większości przypadków nie przekracza 3 i jest znacznie mniejsza niż liczba stacji obsługiwanych w jednej dostawie gazu LPG.

### 2.3. KPI

Ostatnim elementem w realizacji dostaw w koncepcji CMI jest ustalenie KPI, jakie firma transportowa będzie zapewniać w całym okresie realizowania usługi. Podstawowym KPI jest dostępność paliw na stacjach. W zdecydowanej większości umów sytuacje, w których na stacji wystąpił brak paliwa, nie mogą mieć miejsca, co oznacza, że przewoźnik zobowiązany jest do zachowania 100% dostępności paliw na stacjach w czasie współpracy. Z brakiem zapewnienia dostępności paliw na stacji związane są wysokie kary pieniężne naliczane firmom transportowym.

Druga grupa KPI dotyczy sugerowanych poziomów zapasu paliw na stacjach. Podstawowym parametrem z tej grupy jest zapas bezpieczeństwa. Firma transportowa powinna dążyć do utrzymania poziomu nie niższego niż ustalony zapas bezpieczeństwa. Drugim rodzajem poziomów sugerowanych jest sugerowany poziom docelowy na stacji, który z punktu widzenia stacji ma ograniczyć zbyt duży zapas paliwa na stacjach. Z punktu widzenia firmy transportowej określenie poziomów sugerowanych jest niekorzystne, gdyż ogranicza możliwość wykorzystania pełnej pojemności zbiorników na stacjach i przekłada się na większą pracę transportową. Pewnym rozwiązaniem pośrednim, które z jednej strony pozwoli ograniczyć zwiększanie poziomu paliw na stacjach, a z drugiej pozwoli lepiej wykorzystywać pojemności zbiorników, jest sugerowany zapas poszczególnych paliw w całej sieci. Z punktu widzenia firmy dystrybucyjnej istotny jest poziom we wszystkich stacjach, natomiast dla firmy transportowej istotne jest maksymalizowanie dostaw do jednej stacji. Tak zdefiniowany KPI, zdobywający coraz większą popularność, jest bardzo trudny do uwzględnienia podczas ręcznego planowania, natomiast – jak zostanie to pokazane w dalszej części pracy – jego uwzględnienie w modelu jest wyjątkowo proste. O ile brak paliwa, jak również przekroczenie pojemności maksymalnej są traktowane jako ograniczenia, których nieuwzględnienie jest niedopuszczalne (określane często mianem *hard*), to sugerowane zapasy są wykorzystywane jako dodatkowe podczas procesu planowania, a ich naruszenie nie powoduje takich skutków jak w przypadku braku paliwa na stacji.

Ostatnia omówiona grupa KPI to wskaźniki dotyczące poziomu usług, takie jak częstość dostaw w określonym okresie; odstęp między dostawami; czy dni, w których dostawy nie mogą lub powinny być realizowane. Jednak ze względu na

duże utrudnienia, jakie wprowadzają te wymagania do procesu planowania, a także uwzględniając fakt, że zdecydowana większość dostaw to dostawy do jednej stacji, KPI z tej grupy nie są często stosowane w praktyce.

Z punktu widzenia przewoźnika istotne jest zrealizowanie dostaw przy możliwie minimalnej liczbie pokonanych kilometrów. Jednak w ocenie i do porównywania planów wykorzystuje się wskaźnik określający liczbę przebytych kilometrów w celu dostarczenia 1 tys. litrów paliwa. Zastosowanie takiego podejście jest zasadne, gdyż wielkość dostarczonego paliwa dla różnych wariantów planu może być różna, stąd porównywanie wyłącznie liczby przejechanych kilometrów prowadzi do błędnych wniosków.

Koncepcja CMI daje ponadto firmie transportowej możliwość ograniczenia liczby pojazdów niezbędnych do realizacji dostaw dla danej sieci stacji. Duża zmienność liczby pojazdów niezbędnych do realizacji dostaw w kolejnych okresach jest bardzo niekorzystna dla wykorzystania zdolności transportowych.

### 3. Taktyczne planowanie dostaw paliw

Podstawowy sposób tworzenia planów dostaw paliw zgodnie z koncepcją CMI polega na analizie informacji o bieżących poziomach paliw na stacjach i planowaniu dostaw na kolejny dzień. Planista podczas przygotowywania planu musi uwzględnić wielkość dostaw w drodze oraz przewidywany popyt na stacjach. Niestety ten sposób funkcjonowania pozwala wyłącznie zapobiegać brakom paliw na stacji, ale nie pozwala na uwzględnienie pozostałych stosowanych w takich rozwiązaniach KPI. Takie istotne skrócenie horyzontu planowania nie pozwala także na ograniczenia liczby zestawów obsługujących dostawy.

W związku z powyższymi wadami planowania krótkookresowego (w praktyce planowanie wyłącznie na kolejny okres) firmy transportowe próbują wydłużyć horyzont planowania, tak aby z jednej strony skorzystać z możliwości, jakie daje CMI, a z drugiej wykazać zleceniodawcom, że uzyskanie odpowiednich poziomów KPI jest na poziomie planów zagwarantowane. Samo przygotowanie 7-dniowego planu dostaw dla sieci składającej się z 50 stacji, sprzedającej 5 rodzajów paliwa, wymaga określenia aż 1750 dostaw, nie mówiąc już o zapewnieniu niskich łącznych przejazdów oraz dodatkowych KPI wymaganych przez zleceniodawcę.

Podsumowując powyższe rozważania, w procesie planowania dostaw do sieci stacji paliw można wyróżnić dwa podstawowe rodzaje planowania: operacyjne i taktyczne. Planowanie operacyjne polega na przypisaniu konkretnych zestawów do dostaw w danym dniu oraz kolejności realizacji dostaw, uwzględniając poziomy zapasów uzyskane z systemów telemetrii. W ramach tego planowania należy uwzględnić także bieżące zmiany planów, mające na celu reagowanie na sytuacje nieprzewidziane. Planowanie taktyczne polega natomiast na określeniu wielkości dostaw i terminów dostaw do poszczególnych stacji, tak aby osiągnąć wymagane poziomy odpowiednich KPI i zrealizować dostawy, wykonując możliwie najmniejszą pracę przewozową.



W dalszej części pracy zostanie przedstawiona propozycja modelu, który pozwoli na planowanie wielkości i terminów dostaw do sieci stacji paliw z uwzględnieniem wymaganych poziomów zapasów oraz częstości dostaw. W planie nie będą natomiast uwzględnione kwestie operacyjne, takie jak szczegółowe pojemności komór zestawów czy kolejność realizacji dostaw w okresie. Te informacje są uwzględniane podczas tworzenia planów operacyjnych. Plan taktyczny jest nadrzędny w stosunku do planu operacyjnego i stanowi punkt wyjścia do jego konstrukcji. Jednak z uwagi na wysoką zmienność popytu na paliwa na stacjach oraz wiele dodatkowych czynników wymagających uwzględnienia na ostatnim etapie planowania szczegółowe plany dostaw muszą być modyfikowane na etapie operacyjnym.

#### 4. Model optymalizacyjny taktycznego planowania dostaw paliw do stacji

W modelu zapisanym wzorami od (1) do (8) symbolem  $T$  oznaczono zbiór okresów planowania, symbolem  $N$  oznaczono zbiór stacji, symbolem  $K$  zbiór dystrybuowanych produktów, natomiast symbol  $R$  oznacza zbiór rafinerii.

Zdefiniowano ponadto cztery grupy zmiennych decyzyjnych. Pierwsza z nich, oznaczona symbolem  $x_{n,k,r,t}$ , odpowiada wielkości dostawy do lokalizacji  $n$  produktu  $k$  z rafinerii  $r$  w okresie  $t$ . Kolejna grupa, oznaczona jako  $y_{n,r,t}$ , oznacza fakt zrealizowania dostaw do lokalizacji  $n$  z rafinerii  $r$  w okresie  $t$  i przyjmuje wartości binarne. Ostatnia, zapisana jako  $z_{n,k,t}$ , oznacza wielkość przekroczenia sugerowanego poziomu zapasu.

W sformułowaniu użyto 5 grup parametrów dotyczących wymaganych poziomów zapasów:  $s_{k,n}^{bo}$  – stan początkowy paliwa  $k$  na stacji  $n$ ,  $s_{k,n}^{\min}$  – minimalny zapas paliwa  $k$  na stacji  $n$ ,  $s_{k,n}^{\max}$  – maksymalny zapas paliwa  $k$  na stacji  $n$ ,  $s_{k,n}^{sug}$  – sugerowany zapas paliwa  $k$  na stacji  $n$  oraz  $s_k^{net}$  – maksymalny zapas paliwa  $k$  w całej sieci. Kolejna grupa parametrów, oznaczona jako  $m_{n,r}$ , określa odległość z rafinerii  $r$  do stacji  $n$ . Ostatnie trzy grupy parametrów, powiązane z dostępnością środków transportowych, określają maksymalną pojemność zestawu, liczbę zestawów dostępną w okresie  $t$  oraz maksymalną dzienną liczbę kilometrów dla jednego zestawu i zostały oznaczone odpowiednio  $c^{\max}$ ,  $v_t$ ,  $m^{\max}$ . Jako ostatni, techniczny parametr  $\alpha$  pozwalający na uwzględnienie preferencji decydentów w kontekście zagwarantowania poziomu sugerowanego.

$$\alpha \sum_{n \in N, k \in K, t \in T} z_{n,k,t} + \sum_{n \in N, r \in R, t \in T} 2m_{n,r} y_{n,r,t} \rightarrow \min \quad (1)$$

$$s_{k,n}^{bo} - \sum_{t' \in T, t' \leq t} d_{k,n,t'} + \sum_{t' \in T, t' \leq t} \sum_{r \in R} x_{k,n,r,t'} \geq s_{k,n}^{\min} \quad \forall k \in K, n \in N, t \in T \quad (2)$$

$$s_{k,n}^{bo} - \sum_{t' \in T, t' \leq t} d_{k,n,t'} + \sum_{t' \in T, t' \leq t} \sum_{r \in R} x_{k,n,r,t'} \leq s_{k,n}^{\max} \quad \forall k \in K, n \in N, t \in T \quad (3)$$

$$s_{k,n}^{bo} - \sum_{t' \in T, t' \leq t} d_{k,n,t'} + \sum_{t' \in T, t' \leq t, r \in R} x_{k,n,r,t'} - z_{n,k,t} \leq s_{k,n}^{sug} \quad \forall k \in K, n \in N, t \in T \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K} x_{k,n,r,t} = c^{\max} y_{n,r,t} \quad \forall r \in R, n \in N, t \in T \quad (5)$$

$$\sum_{n \in N, r \in R} 2m_{n,r} y_{n,r,t} \leq m^{\max} v_t \quad \forall t \in T \quad (6)$$

$$\sum_{n \in N} \left( s_{k,n}^{bo} - \sum_{t' \in T, t' \leq t} d_{k,n,t'} + \sum_{t' \in T, t' \leq t} \sum_{r \in R} x_{k,n,r,t'} \right) \leq s_k^{net} \quad \forall k \in K, t \in T \quad (7)$$

$$x_{k,n,r,t} \geq 0, z_{n,k,t} \geq 0, y_{n,r,t} \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, n \in N, r \in R, t \in T \quad (8)$$

Wartość funkcji celu wyrażona wzorem (1) pozwala na wyznaczenie rozwiązania, w którym suma łącznej liczby przebytych kilometrów oraz kar za przekroczenie stanu sugerowanego będzie najmniejsza. Wprowadzony tutaj parametr  $\alpha$  zagwarantuje, że przekroczenie stanu sugerowanego będzie realizowane tylko w koniecznych sytuacjach, np. gdy nie jest możliwa dostawa pełnego zestawu. Wartość tego parametru może być dobierana w zależności od preferencji decydentów, przy czym należy pamiętać, że małe wartości tego parametru są korzystne dla firmy transportowej, natomiast duże dla sieci stacji paliw.

Ograniczenie (2) zapewnia, że poziom paliw na wszystkich stacjach w całym horyzoncie planowania nie spadnie poniżej minimalnego. Analogicznie ograniczenie (3) zapewnia zachowanie stanu paliw poniżej maksymalnego. Ograniczenie (4) dotyczy poziomu sugerowanego. Z uwagi na to, że przekroczenie poziomu sugerowanego może być konieczne, ograniczenie to pozwala na przekroczenie wartości sugerowanej, ale w takich sytuacjach dzięki zmiennej decyzyjnej  $z_{n,k,t}$  nie pozostanie to bez wpływu na wartość funkcji celu. Ograniczenie (5) łączy zmienne decyzyjne  $x_{k,n,r,t}$  oraz  $y_{n,r,t}$  i zapewnia, że fakt dostawy będzie uwzględniony w funkcji celu. Ponadto ograniczenie to gwarantuje, że jeśli będzie realizowana dostawa, zostanie wykorzystana cała pojemność zestawu. Kolejne ograniczenie (6) gwarantuje, że zdolności przewozowe pojazdów nie zostaną przekroczone. Następnie ograniczenie (7) zapewnia, że poziom zapasu paliw w sieci nie przekroczy zadanego parametrem  $s_k^{net}$ . Jako ostatnie (8) ograniczenia brzegowe dla zmiennych decyzyjnych.

## 5. Eksperymenty obliczeniowe

Zaprezentowany model został wykorzystany do rozwiązania instancji zadań testowych opracowanych na podstawie danych zebranych z kilku sieci stacji paliw w Polsce. Łącznie sprawdzono 4 instancje, z których w pierwszej rozważono 100 stacji (małe sieci stacji, takie jak Lukoil czy Moya), w drugiej analizowano 300 stacji



(średnie sieci stacji, jak Statoil), w trzeciej znalazło się 900 stacji (duże sieci stacji, jak Lotos czy Shell) oraz 1800 (największa sieć stacji paliw Orlen). Wszystkie obliczenia zostały wykonane na komputerze z procesorem Intel i5 2.5MHz za pomocą optymalizatora CBC MILP Solver w wersji 2.9.7 uruchomionym w środowisku Linux. W celu ograniczenia czasu generowania rozwiązania akceptowalną różnicę względną pomiędzy przybliżeniem liniowym a uzyskanym rozwiązaniem (*mixed integer gap*) ustawiono na 5%.

Dla każdego zadania rozważono dwie długości horyzontu planowania oraz 4 warianty parametrów dodatkowych, takich jak sugerowany poziom paliwa oraz łączny poziom zapasu w sieci. Dla zadań zawierających 100 oraz 300 stacji przyjęto długość horyzontu planowania równą 7 dni, dla pozostałych dwóch typów zadań horyzont planowania skrócono do 30 dni. W kontekście sugerowanego poziomu paliwa na stacji rozważono 4 warianty. W pierwszym przyjęto, że sugerowany zapas jest równy połowie poziomu maksymalnego, w drugim ograniczono go do 0,7 poziomu maksymalnego. W kolejnych dwóch wariantach zamiast zapasu sugerowanego na stacjach rozważono ograniczenie poziomu paliw w sieci odpowiednio do 0,5 oraz 0,7 łącznej pojemności wszystkich stacji. Uzyskane wyniki (czas znajdowania rozwiązania oraz liczbę kilometrów przebytą w celu zrealizowania dostaw) przedstawiono w tabeli 1 i 2.

**Tabela 1.** Czasy wyznaczania rozwiązań dla instancji testowych w sekundach

Instancja	$s_{k,n}^{sug} = 0,5s_{k,n}^{\max}$	$s_{k,n}^{sug} = 0,7s_{k,n}^{\max}$	$s_k^{net} = 0,5 \sum_{n \in N} s_{k,n}^{\max}$	$s_k^{net} = 0,7 \sum_{n \in N} s_{k,n}^{\max}$
N100	92	89	120	93
N300	679	564	987	802
N900	4 923	4 762	6 748	5 887
N1800	16 547	12 435	23 124	17 654

Źródło: opracowanie własne na podstawie obliczeń

**Tabela 2.** Liczba kilometrów przebyta w celu zrealizowania dostaw

Instancja	$s_{k,n}^{sug} = 0,5s_{k,n}^{\max}$	$s_{k,n}^{sug} = 0,7s_{k,n}^{\max}$	$s_k^{net} = 0,5 \sum_{n \in N} s_{k,n}^{\max}$	$s_k^{net} = 0,7 \sum_{n \in N} s_{k,n}^{\max}$
N100	4 720	4 232	4 113	3 989
N300	12 839	11 239	10 779	10 435
N900	36 121	34 187	30 778	28 787
N1800	72 234	69 332	60 766	57 483

Źródło: opracowanie własne na podstawie obliczeń.

Analiza danych przedstawionych w tabeli 1 pokazuje, że im bardziej ciasne ograniczenie dotyczące zarówno sugerowanego poziomu zapasu, jak i poziomu

maksymalnego tym dłuższy czas rozwiązywania zadania. Ponadto optymalizator potrzebuje więcej czasu do wyznaczenia rozwiązania w sytuacji, gdy w modelu uwzględniono ograniczenie dotyczące łącznego zapasu w sieci.

Analiza liczby kilometrów przebytych w celu zrealizowania dostaw zgodnie z przewidywaniami wskazuje, że im silniejsze ograniczenie zarówno poziomu zapasu sugerowanego, jak i poziomu maksymalnego w sieci, tym większa liczba kilometrów zrealizowanych w ramach tras pojazdów. Wyniki jednak wskazują, że ograniczenie dotyczące łącznego poziomu zapasu w sieci pozwala na zmniejszenie liczby kilometrów. Ten efekt jest bardzo istotny z punktu widzenia firmy transportowej realizującej dostawę w strategii CMI. Z jednej strony sugerowany poziom zapasu na stacji ma służyć ograniczeniu, z drugiej – rozważanie tej wartości na konkretnych stacjach istotnie ogranicza uzyskanie korzyści wynikających z efektu równoległego planowania dostaw i transportów.

## 6. Zakończenie

W artykule przedstawiono problem planowania dostaw paliw do sieci stacji benzynowych i uwzględniając potrzeby decydentów, rozważono zasadność wydłużenia horyzontu planowania. Następnie dla określonej sytuacji decyzyjnej zaproponowano model programowania liniowego pozwalający na wyznaczenie planów w horyzoncie dłuższym niż 1 dzień. Opracowane sformułowanie pozwala na uwzględnienie podstawowych KPI używanych przez przedsiębiorstwa realizujące usługi transportu paliw do sieci stacji.

W empirycznej części pracy wprowadzony model został użyty do rozwiązania czterech instancji zadań testowych, których wielkość została dopasowana do funkcjonujących na rynku krajowym sieci stacji paliw. W przypadku każdego wariantu zadania udało się uzyskać rozwiązanie, przy czym czas rozwiązania wynosił od 90 sekund do 20 h. Przeanalizowano także wpływ ograniczeń dotyczących poziomów zapasów na jakość rozwiązania. Zaproponowano ponadto nowy wariant ograniczenia poziomu zapasów (określony jako maksymalny zapas w sieci), który z jednej strony ograniczy poziom zapasów, z drugiej natomiast daje firmom transportowym większą swobodę w opracowywaniu planu dostaw.

Sformułowanie pozwoliło na wygenerowanie rozwiązań nawet dla największych zadań, ponieważ przyjęto w nim dwa podstawowe uproszczenia. Pierwsze z nich, polegające na oddzieleniu operacyjnego planu dostaw z uwagi na dużą zmienność popytu na paliwa na stacjach, nie ogranicza możliwości aplikacyjnych. Natomiast drugie założenie, eliminujące dostawy do więcej niż jednego odbiorcy, tzw. multi-splity, w przypadku małych sieci może istotnie ograniczać zakres zastosowania, stąd kolejnym etapem badań będzie usunięcie tego ograniczenia przy zachowaniu efektywności modelu rozumianej jako możliwość rozwiązywania zadań o tak dużych rozmiarach jak w przedstawionej pracy.

## Literatura

- Daganzo C.F., 1984, *The distance traveled to visit  $N$ -points with a maximum of  $C$ -stops per vehicle – an analytic model and an application*, Transportation Science, no. 18(4), s. 331–350.
- Hanczar P., 2011, *An inventory-distribution system with LTL Deliveries – Mixed integer approach*, Procedia – Social and Behavioral Sciences, vol. 20, s. 207–216.
- Hanczar P., Kaleta J., 2015, *Planowanie dostaw LPG do sieci stacji paliw – wykorzystanie programowania dyskretnego*, Logistyka, nr 2, s. 221–233.
- Hanczar P., Kaleta J., 2016, *Inventory Routing Problem in Rolling Horizon Planning Environment*, Transformations in Business & Economics, Kaunas Faculty of Humanities Vilnius University, vol. 15, no. 2A(38A), s. 373–388.
- Polska Nafta, 2016, Bazy paliw w Polsce, <http://www.nafta-polska.pl/przemys%C5%82-naftowy/zbiorniki-magazynowe/> (10.03.2017).
- Polska Organizacja Przemysłu i Handlu Naftowego, 2016, *Szacunkowa ilość stacji paliw w Polsce w latach 2009-2016*, file:///C:/Users/pc/Downloads/Stacje\_paliw\_za\_2016\_rok%20(3).pdf (15.03.2017).