

Damian Kociemba *  <https://orcid.org/0000-0002-6604-858X>

e-mail: kociemba.damian.kd@gmail.com

Solver jako narzędzie wspomagające dystrybucję zasobów oraz optymalizację magazynowania

https://doi.org/10.25312/2391-5129.33/2021_12dk

Celem artykułu jest pokazanie możliwości wykorzystania dodatku Solver pod kątem optymalizacji wielu procesów logistycznych. Zaprezentowane zostały dwa różne przypadki, które dotyczyły: dystrybucji zasobów oraz minimalizacji kosztów magazynowania wraz z idącą za tym optymalizacją zapasów. Każda z analizowanych sytuacji została wzbogacona o teoretyczny opis problemu w celu zminimalizowania ryzyka zrozumienia niniejszej publikacji jako zbioru oderwanych od siebie zagadnień. Całość została napisana w oparciu o doświadczenie autora oraz polskojęzyczną literaturę.

Słowa kluczowe: Solver, optymalizacja procesów logistycznych, dystrybucja, minimalizacja kosztów magazynowania

Wstęp

Optymalizacje dokonywane za pomocą narzędzia Solver nie są nowością, a jego użycie nie ogranicza się wyłącznie do logistyki. Narzędzie to jest wykorzystywane w wielu dziedzinach, takich jak ekonomia, inżynieria, biznes. Cel ich wykorzystania zawsze pozostaje niezmienny i służy między innymi do maksymalizacji zysków, minimalizacji kosztów, minimalizacji całkowitej przebytej odległości czy też minimalizacji całkowitego czasu realizacji wybranego przedsięwzięcia. Dla każdego problemu powinien zostać sformułowany opis (model) matematyczny, składający się z następujących elementów (Chandrankantha, 2014: 42):

* Damian Kociemba – inż., absolwent kierunku transport na Wydziale Techniki i Informatyki Akademii Humanistyczno-Ekonomicznej w Łodzi.

- zmiennych decyzyjnych – to decyzje dotyczące problemu, przedstawiane za pomocą różnych symboli bądź słów, które reprezentują nieznaną ilość, takie jak niezbędną ilość towaru, współrzędne geograficzne,
- funkcji celu – oznaczającej wyrażenie matematyczne podlegające minimalizacji lub maksymalizacji, na przykład maksymalizacji zysku, minimalizacji kosztów, odległości, czasu,
- ograniczeń – wymagań problemu wyrażanych jako nierówności lub równania w zmiennych decyzyjnych.

Celem artykułu jest przedstawienie optymalizacji procesów logistycznych wyszczególnionych poniżej z wykorzystaniem programu Excel oraz bezpłatnego dodatku optymalizującego Solver:

1. Dystrybucja zasobów.
2. Minimalizacja kosztów magazynowania oraz związana z tym optymalizacja zapasów.

Niniejsza publikacja ma charakter przeglądowy i jest próbą wypełnienia istniejącej luki w polskojęzycznej literaturze.

Dystrybucja zasobów

Mianem dystrybucji, jak wskazuje M. Kadłubek (2012: 482), w najprostszym ujęciu określa się działania związane z ruchem towarów od producenta do finalnego odbiorcy. Ich celem jest doprowadzenie i zaoferowanie gotowego produktu konsumentowi zgodnie z jego potrzebami, to znaczy z uwzględnieniem miejsca i czasu, gdzie jest on oczekiwany przez nabywcę. W ocenie autora definicję tę należałoby uzupełnić o wystąpienie ekonomicznie uzasadnionego poziomu kosztów transportu. Podobne stanowisko reprezentowane jest przez A. Żurawską i E. Kulińską (2015: 977), które zauważają, że dystrybucja jest integratorem wszystkich fizycznych procesów i strumieni występujących w sferze zbytu i sprzedaży, łącząc je w jeden system zarządzania, którego głównym celem jest minimalizacja kosztów sprzedaży przy maksymalnym zaspokojeniu różnych potrzeb klientów. Aby przedsiębiorstwo mogło odnieść sukces, towar musi zostać dostarczony w taki sposób, aby koszty nie były uciążliwe dla żadnej ze stron, ponieważ działanie takie stwarza możliwość budowania przewagi konkurencyjnej. W celu wyboru odpowiedniego modelu dystrybucji od dostawców do odbiorców konieczne jest zgromadzenie danych o generowanym popycie, możliwościach podażowych oraz stawce transportowej od każdego dostawcy do każdego z odbiorców.

Rozwiązanie tego przypadku należy zacząć od stworzenia tabeli z możliwościami podażowymi dostawców oraz zapotrzebowaniem zgłoszonym przez odbiorców (ciemniejsze pola zawierające w kolumnie cyfry od 1 do 8 oraz litery od B do H w wierszu odpowiadają tym znajdującym się w arkuszu kalkulacyjnym).

Tabela 1. Możliwości podażowe dostawców oraz zapotrzebowanie odbiorców

1	B	C	D	E	F	G	H
2		Dostawca 1	Dostawca 2	Dostawca 3	Dostawca 4	Przydzielona ilość towaru	Zapotrzebowanie
3	Odbiorca 1					0	26
4	Odbiorca 2					0	34
5	Odbiorca 3					0	12
6	Odbiorca 4					0	13
7	Przydzielona ilość towaru	0	0	0	0	SUMA	85
8	Możliwości podażowe	20	25	30	10	85	

Źródło: opracowanie własne.

W komórkach od C7 do F7 oraz od G3 do G6 za pomocą formuły =SUMA(liczba1; liczba2...) należy zsumować wszystkie komórki występujące odpowiednio w kolumnach oraz wierszach. Ze względu na brak liczb takie działanie spowoduje wyświetlenie wartości zerowych. W komórkach od C8 do F8 oraz od H3 do H7 należy wpisać możliwości podażowe każdego z dostawców oraz zapotrzebowanie każdego z odbiorców. Wartości te stanowią ograniczenia.

Kolejnym krokiem jest sprawdzenie całkowitej sumy możliwości podażowych oraz zapotrzebowania. W omawianym przykładzie wartości są identyczne, w związku z czym jest to tak zwane zagadnienie transportowe zamknięte (zbilansowane). Dostawcy sprzedadzą cały oferowany towar odbiorcom, spełniając w całości ich oczekiwania.

Następnie należy stworzyć tabelę zawierającą zestawienie jednostkowego kosztu transportu od dostawców do odbiorców (tab. 2).

Tabela 2. Koszty transportu od dostawców do odbiorców

9	B	C	D	E	F
10		Dostawca 1	Dostawca 2	Dostawca 3	Dostawca 4
11	Odbiorca 1	10	25	27	30
12	Odbiorca 2	30	35	34	35
13	Odbiorca 3	45	25	45	35
14	Odbiorca 4	37	42	50	45

Źródło: opracowanie własne.

Niezbędne jest również obliczenie sumy iloczynów z poszczególnych dostaw oraz ich kosztów. Bazując na tych dwóch tabelach, formuła ta przyjmie taką oto formę: =SUMA.ILOCZYNÓW(C3:F6;C11:F14) i wyświetli wartość zerową (tab. 3)

Tabela 3. Suma iloczynów z możliwości podażyowych dostawców, zapotrzebowania odbiorców oraz kosztów jednostkowych dostaw

16	B	C
17	Koszt całkowity	0

Źródło: opracowanie własne.

Na tym etapie zdefiniowana została komórka celu (C17) oraz komórki zmienne (C3:F6), które powinny zostać wprowadzone do dodatku Solver w następującej postaci:

Ustaw cel: \$C\$17
Na: *Min*
Przez zamienianie komórek zmiennych: \$C\$3:\$F\$6
 \$C\$7 <= \$C\$8
 \$D\$7 <= \$D\$8
 \$E\$7 <= \$E\$8
 \$F\$7 <= \$F\$8
Podlegających ograniczeniom:
 \$G\$3 = \$H\$3
 \$G\$4 = \$H\$4
 \$G\$5 = \$H\$5
 \$G\$6 = \$H\$6
Zaznaczyć: *Ustaw wartości nieujemne dla zmiennych bez ograniczeń*
Wybierz metodę rozwiązywania: *LP simpleks^a*

^a Metoda LP simpleks używana jest do rozwiązywania przypadków o charakterze liniowym.

Ustawiony cel oraz wartość na min sugeruje Solverowi, że komórka celu musi dążyć do minimum. Jest to związane z optymalizacją, której założeniem jest minimalizacja kosztów alokacji asortymentów. Po zakończeniu działania dodatku Solver można przywrócić wartości pierwotne bądź je zachować. Opcjonalnie można wygenerować trzy raporty (wyników, wrażliwości i granic). Przykładowo w raporcie wyników można zauważyć wzrost kosztu całkowitego o 2374, tak jak zostało to przedstawione poniżej.

Komórka celu (Min)			
Komórka	Nazwa	Wartość początkowa	Wartość końcowa
\$C\$17	Koszt całkowity C	0	2374

Można ponadto prześledzić wskazanie optymalnego rozdysponowania towarów od dostawców do odbiorców, biorąc pod uwagę jednostkowy koszt dostaw, możliwości podażyowe każdego z dostawców oraz zapotrzebowanie odbiorców:

Komórki zmiennych

Komórka	Nazwa	Wartość początkowa	Wartość końcowa	Całkowite
\$C\$3	Odbiorca 1 Dostawca 1	0	20	Ciągle
\$D\$3	Odbiorca 1 Dostawca 2	0	0	Ciągle
\$E\$3	Odbiorca 1 Dostawca 3	0	6	Ciągle
\$F\$3	Odbiorca 1 Dostawca 4	0	0	Ciągle
\$C\$4	Odbiorca 2 Dostawca 1	0	0	Ciągle
\$D\$4	Odbiorca 2 Dostawca 2	0	0	Ciągle
\$E\$4	Odbiorca 2 Dostawca 3	0	24	Ciągle
\$F\$4	Odbiorca 2 Dostawca 4	0	10	Ciągle
\$C\$5	Odbiorca 3 Dostawca 1	0	0	Ciągle
\$D\$5	Odbiorca 3 Dostawca 2	0	12	Ciągle
\$E\$5	Odbiorca 3 Dostawca 3	0	0	Ciągle
\$F\$5	Odbiorca 3 Dostawca 4	0	0	Ciągle
\$C\$6	Odbiorca 4 Dostawca 1	0	0	Ciągle
\$D\$6	Odbiorca 4 Dostawca 2	0	13	Ciągle
\$E\$6	Odbiorca 4 Dostawca 3	0	0	Ciągle
\$F\$6	Odbiorca 4 Dostawca 4	0	0	Ciągle

W przypadku zachowania rozwiązania dodatku Solver będzie to miało następującą postać:

Tabela 4. Zoptymalizowane dostawy od dostawców do odbiorców

1	B	C	D	E	F	G	H
2		Dostawca 1	Dostawca 2	Dostawca 3		Przydzielona ilość towaru	Zapotrzebowanie
3	Odbiorca 1	20	0	6	0	26	26
4	Odbiorca 2	0	0	24	10	34	34
5	Odbiorca 3	0	12	0	0	12	12
6	Odbiorca 4	0	13	0	0	13	13
7	Przydzielona ilość towaru	20	25	30	10		
8	Możliwości podaży	20	25	30	10		

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie porównania danych zawartych w wierszu 7 oraz kolumnie G z tymi widocznymi w wierszu 8 i kolumnie H można stwierdzić, że warunki ograniczeń zostały spełnione, ponieważ wartości te są sobie równe.

Minimalizacja kosztów magazynowania oraz optymalizacja zapasów

Magazyn, jak wskazuje Kostrzewski (2013: 9), jest jednym z kluczowych elementów łańcucha dostaw. Według szacunków toczące się w nim procesy generują od 20% do 50% całkowitych kosztów funkcjonowania magazynu. W kontekście znaczenia logistycznego mianem magazynu określana jest budowla zaprojektowana do celów przyjmowania, składowania, przemieszczania oraz przygotowywania do wysyłki materiałów. Według innej definicji jest to zespół organizacyjny-funkcjonalny, mający odrębną przestrzeń, urządzenia techniczne, ewidencyjne oraz personel przeszkolony z ich obsługi (Rut, Wołczański, 2015: 882). Celem ostatecznym magazynowania jest zapewnienie optymalnego, a przez to racjonalnego przechowywania dóbr materialnych. Wspomniana optymalizacja organizacji gospodarki magazynowej ma pozwolić między innymi na uporządkowanie struktury, skrócenie czasu realizacji danej usługi czy też zmniejszenie wysiłku zatrudnionego personelu. Optymalizacji całkowitych kosztów magazynowania można dokonać chociażby poprzez optymalizację zapasów magazynowych i ograniczenie czasu ich składowania. W tym celu konieczne jest zebranie danych dotyczących zapasu bezpieczeństwa, zapasu, miesięcznych dostaw, popytu, możliwości produkcyjnych dostawców, kosztu magazynowania jednej sztuki asortymentu.

Pierwszym etapem jest stworzenie tabeli uwzględniającej zapas bezpieczeństwa, zapas zwykły, miesięczne dostawy oraz popyt. Dane te po zestawieniu powinny prezentować się następująco:

Tabela 5. Struktura zapasów, dostaw i popytu

1	B	C	D	E	F
2		Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień
3	Zapas bezpieczeństwa	40	40	40	40
4	Zapas początkowy	300	280	100	190
5	Dostawa miesięczna	400	400	400	400
6	Popyt	420	580	310	540

Źródło: opracowanie własne.

Mając te dane, jesteśmy w stanie obliczyć wartość zapasu końcowego. Nietrudno zauważyć, że jest to suma zapasu początkowego oraz dostawy miesięcznej pomniejszona o popyt. Dla pierwszego przypadku (czerwiec) zapis ten przybierze formę: $=C4+C5-C6$ (tab. 6).

Tabela 6. Struktura zapasu końcowego

7	B	C	D	E	F
8		Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień
9	Zapasy końcowe	280	100	190	50

Źródło: opracowanie własne.

Kolejnym krokiem jest stworzenie tabeli zawierającej wytyczne producenta towaru odnośnie do minimalnego zamówienia, maksymalnej ilości możliwej do zamówienia oraz kosztu produkcji jednej sztuki (tab. 7).

Tabela 7. Zestawienie wytycznych producenta

10	B	C	D	E	F
11		Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień
12	Produkcja minimalna	200	200	200	200
13	Produkcja maksymalna	600	600	600	600
14	Koszt produkcji jednej sztuki	49	45	46	47

Źródło: opracowanie własne autora.

Następnie należy stworzyć kolejną tabelę, w której zostanie przedstawiony koszt magazynowania jednej sztuki (tab. 8).

Tabela 8. Koszt magazynowania jednej sztuki

1	I	J
2	Koszt magazynowania jednej sztuki	2,7

Źródło: opracowanie własne.

W dalszej kolejności konieczne jest wyliczenie:

1. Uśrednionej wielkości dostawy dla każdego miesiąca (połowa z sumy zapasu początkowego oraz końcowego), dla przypadku pierwszego (czerwiec, C17) przybierze ona następującą postać: $= (C4 + C9) / 2$ (tab. 5).
2. Miesięcznego kosztu zapasu (mnożnik z uśrednionej wielkości dostawy dla każdego miesiąca oraz kosztu magazynowania jednej sztuki), dla przypadku pierwszego (czerwiec, C18) przybierze on następującą postać: $= C17 * J\$2$ (tab. 9).
3. Miesięcznego kosztu produkcji (mnożnik z ilości wyprodukowanej oraz kosztu produkcji jednej sztuki), dla przypadku pierwszego (czerwiec, C19) przybierze on następującą postać: $= C5 * C14$ (tab. 5).

W konsekwencji spowoduje to uzyskanie następującego wyglądu tabeli:

Tabela 9. Uśredniona wielkość dostaw oraz miesięczne koszty zapasu i produkcji

15	B	C	D	E	F
16		Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień
17	Średnia wielkość dostawy	290	190	145	120
18	Miesięczny koszt zapasu	783	513	391,5	324
19	Miesięczny koszt produkcji	19600	18000	18400	18800

Źródło: opracowanie własne.

Ostatnim krokiem jest obliczenie kosztu całkowitego z wykorzystaniem formuły =SUMA(C18:F19) (tab. 10).

Tabela 10. Suma kosztów całkowitych utrzymania zapasu oraz produkcji

20	B	C
21	Koszt całkowity	76811,5

Źródło: opracowanie własne.

Na tym etapie zostały zdefiniowane komórka celu (C21) oraz komórki zmienne (C5:F5). W celu optymalizacji zapasów należy wypełnić dodatek Solver w następujący sposób:

Ustaw cel: \$C\$21

Na: *Min*

Przez zamienianie komórek zmiennych: \$C\$5:\$F\$5

\$C\$5:\$F\$5 >= \$C\$12:\$F\$12

Podlegających ograniczeniom: \$C\$5:\$F\$5 <= \$C\$13:\$F\$13

\$C\$9:\$F\$9 >= \$C\$3:\$F\$3

Zaznaczyć: *Ustaw wartości nieujemne dla zmiennych bez ograniczeń*

Wybierz metodę rozwiązywania: *LP simpleks*

Po zakończeniu działania dodatku Solver można przywrócić wartości pierwotne bądź je zachować. Opcjonalnie można wygenerować trzy raporty (wyników, wrażliwości i granic). Przykładowo w raporcie wyników można zauważyć obniżenie kosztu całkowitego magazynowania oraz zamówień o 2180,5, jak pokazano poniżej:

Komórka celu (Min)			
Komórka	Nazwa	Wartość początkowa	Wartość końcowa
\$C\$17	Koszt całkowity C	76811,5	74631

Widoczne jest także obniżenie miesięcznego zamawiania towarów:

Komórki zmiennych				
Komórka	Nazwa	Wartość początkowa	Wartość końcowa	Całkowite
\$C\$4	Dostawa miesięczna Czerwiec	400	200	Ciągle
\$D\$4	Dostawa miesięczna Lipiec	400	540	Ciągle
\$E\$4	Dostawa miesięczna Sierpień	400	310	Ciągle
\$F\$4	Dostawa miesięczna Wrzesień	400	540	Ciągle

Tabela 11. Zoptymalizowana struktura zapasów, dostaw oraz popytu

1	B	C	D	E	F
2		Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień
3	Zapas bezpieczeństwa	40	40	40	40
4	Zapas początkowy	300	80	40	40
5	Dostawa miesięczna	200	540	310	540
6	Popyt	420	580	310	540

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 12. Zoptymalizowana uśredniona wielkość dostaw oraz miesięczne koszty zapasu i produkcji

15	B	C	D	E	F
16		Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień
17	Średnia wielkość dostawy	190	60	40	40
18	Miesięczny koszt zapasu	513	162	108	108
19	Miesięczny koszt produkcji	9800	24300	14260	25380

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie danych z wiersza 5 z tabeli 11 oraz po porównaniu ich z wierszem 5 z tabeli 5 możliwe jest zaobserwowanie zmniejszenia zamawianego asortymentu, a przy porównaniu z wierszem 12 i 13 z tabeli 7 – spełnienie warunków ograniczeń. Całkowity koszt produkcji wynosi 73 740, natomiast całkowity koszt utrzymania zapasu 891, dając w konsekwencji sumę 74 631.

Podsumowanie

Zaprezentowane w artykule dwa przypadki dotyczące kompletnie innych sfer mogą być rozwiązane w bardzo podobny sposób z wykorzystaniem narzędzia optymalizacyjnego, jakim jest Solver. Nie wymaga on nieszablonowego podejścia do każdego przypadku, ponieważ wszystkie one sprowadzają się do wprowadzania identycznych danych w zasadniczej kwestii, jaką jest dążenie do minimalizacji kosztów i maksymalizacji zysków. Nietrudno zauważyć, że w celu osiągnięcia korzyści wystarczy podstawowa znajomość interfejsu graficznego oraz kilku poleceń wpisywanych do komórek programu Excel i dodatku Solver. Położenie nacisku na poznanie podstaw optymalizacji z pewnością przyczyni się do zwiększenia potencjału firm, wpływając tym samym na budowanie lepszej pozycji. Autor żywi przekonanie, że publikacja ta choć w pewnym stopniu wypełni lukę obecną w polskojęzycznej literaturze poświęconej zagadnieniom optymalizacji dla dwóch omówionych przypadków, to jest dystrybucji towarów oraz minimalizacji kosztów magazynowania.

Bibliografia

- Chandrankantha L. (2014), *Using Excel Solver in optimization problems*, John Jay College of Criminal Justice of CUNY, Nowy Jork.
- Kadłubek M. (2012), *Zarządzanie procesami dystrybucji w przedsiębiorstwie. Cz. 1*, „Logistyka”, nr 5.
- Kostrzewski M. (2013), *Przegląd metod projektowania magazynów – poszukiwanie metody „ujednoliconej”*, https://www.researchgate.net/publication/303942640_Przegląd_metod_projektowania_magazynow_-_poszukiwanie_metody_ujednoliconej [dostęp: 28.03.2022].
- Rut J., Wołczański T. (2015), *Logistyka i bezpieczeństwo w procesie magazynowania*, „Logistyka”, nr 6.
- Żurawska A., Kulińska E. (2015), *Koszty logistyki dystrybucji – relacja: decyzja – ryzyko – koszt*, „Logistyka”, nr 6.

Summary**Solver as a tool supporting the distribution of resources and optimization of storage**

The purpose of this article is to show the possibility of using the Solver add-in to optimize many logistics processes. Two different cases are presented: resource distribution and minimization of storage costs, along with the resulting optimization of inventories. Each of the analysed situations is enriched with a theoretical description of the problem in order to minimize the risk of understanding this article as a set of disconnected issues. The article draws on the author's experience and Polish-language literature.

Keywords: Solver, optimization of logistics processes, distribution, minimization of storage costs