



Ignacy BOMBA, Katarzyna KWIECIEN

# ZASTOSOWANIE DODATKU SOLVER APLIKACJI MS EXCEL W PROJEKTOWANIU JEDNOSTKI PALETOWEJ

### *Streszczenie*

*W artykule zaprezentowano zagadnienia związane z wykorzystaniem narzędzia SOLVER w optymalnym projektowaniu paletowej jednostki ładunkowej. Określona została funkcja celu. Kryteria ograniczające poszukiwane rozwiązanie przyjęto na bazie dopuszczalnych parametrów wymiarów i masy ładunków jednostkowych, zbiorczych oraz jednostki paletowej. Procedura optymalizacji została zweryfikowana dla ładunków umieszczonych na palecie EUR o wymiarach 800x1200x144mm.*

### WSTĘP

Proste wersje komputerowych solverów są dostępne m.in. w arkuszach kalkulacyjnych (np. MS Excel), zaawansowane solvery występują jako samodzielne. Wykorzystywane są do rozwiązywania równań, w tym również w wyznaczaniu rozwiązań optymalnych. Po wprowadzeniu równania funkcji celu i podaniu wartości wszystkich ograniczeń poszukiwanego rozwiązania, program wyznacza wartość zmiennej lub zmiennych – dla których funkcja celu osiąga założoną wartość.

Realizując procesy przewozowo-przeładunkowe, dąży się do ich optymalizacji. Cel ten jest osiągany między innymi przez ujednoczenie postaci transportowej ładunków – w efekcie stosowania znormalizowanych opakowań i jednostek ładunkowych. Ponadto bazując na tzw. module (400x600mm) zbudowany został system wymiarowy, który wiąże standardowe wymiary podstawy ładunków, powierzchni ładunkowej środków transportu i powierzchni składowania magazynów.

Opakowaniami w rozumieniu Ustawy „O opakowaniach i odpadach opakowaniowych” są wprowadzone do obrotu wyroby, przeznaczone do przechowywania, ochrony, przewozu, dostarczania lub prezentacji wszelkich produktów, od surowców do towarów przetworzonych.

Ładunki w opakowaniach transportowo-magazynowych są najczęściej formowane w jednostki ładunkowe.

Jednostką ładunkową jest określona ilość ładunku zestawionego w jedną całość, z wykorzystaniem pomocniczych środków wiążących lub urządzeń transportowych, w sposób zapewniający trwałość jej kształtu, wymiarów i zawartości od miejsca jej zestawienia poprzez cały łańcuch transportowy aż do chwili rozformowania, umożliwiającą pełną mechanizację przeładunków na drodze swego przebiegu, z zachowaniem warunków bezpieczeństwa i higieny pracy przy przewozie, przeładunkach i składowaniu [1].

Jedną z form jednostki ładunkowej jest paletowa jednostka ładunkowa. W praktyce najczęściej formowane są jednostki ładunkowe z wykorzystaniem palety EUR.

## 1. LITERATURA PRZEDMIOTU

Przygotowując artykuł dokonano przeglądu dostępnej literatury przedmiotu, którego efektem jest stwierdzenie, iż są krajowe i zagraniczne ośrodki, które zajmują się zagadnieniami dotyczącymi projektowania jednostek ładunkowych.

Teoretycznymi aspektami racjonalnego formowania jednostek ładunkowych zajmuje się Instytut Logistyki i Magazynowania w Poznaniu, wynikiem tych działań są między innymi publikacje:

- Korzeń Z.: Logistyczne systemy transportu bliskiego i magazynowania , IliM, Poznań 2003,
- Korzeniowski A., Szyszka G., Skrzypek M.: Opakowania w systemach logistycznych, IliM, Poznań 2010.

Na arenie międzynarodowej znaczącym jest Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). TAPPI stanowi forum dla specjalistów zaangażowanych w przemyśle. Publikuje artykuły, normy i książki. Czasopisma wydawane przez TAPPI obejmują między innymi:

- Journal of Pulp and Paper Science ,
- TAPPI Journal.

TAPPI Journal jest najczęściej cytowanym czasopismem, z zakresu produkcji opakowań. Można w nim znaleźć informacje dotyczące badań wytrzymałościowych materiałów stosowanych do produkcji opakowań, np.:

- Fibre Box Association „Edge Crush Test, Application and Reference Guide for Combined Board”, September 2008;
- Eriksson L., E.: Cutting and laboratory effects on the ECT for corrugated board, December 1982.

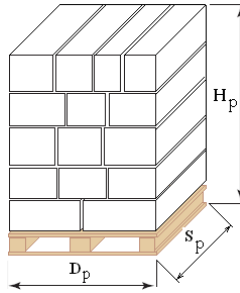
Zdobytą wiedzę z wymienionych przykładowych źródeł oraz polskich norm, wykorzystano w zaproponowanej procedurze rozwiązania zagadnienia technicznego.

Przez opracowanie funkcji celu i wyznaczenie wielu nowych ograniczeń poszukiwanego rozwiązania, artykuł jest uzupełnieniem wiedzy z zakresu optymalnego projektowania jednostek ładunkowych. Ponadto nowym jest wskazanie możliwości zastosowania dodatku MS Solver w procedurze optymalizacji.

## 2. WYZNACZENIE FUNKCJI CELU

W artykule zaprezentowano optymalizację jednostki ładunkowej formowanej z ładunków w opakowaniach jednostkowych i zbiorczych (wykonanych z kartonu i tektury) na palecie EUR (rys.1), o wymiarach zewnętrznych:

- $D_p$  - długość,
- $S_p$  - szerokość,
- $H_p$  - wysokość.



Rys. 1. Wymiary gabarytowe jednostki paletowej

Dla wyznaczenia funkcji celu wykorzystano z PN-89/O-79021 wzór na teoretyczny zewnętrzny wymiar opakowania jednostkowego:

$$l_j = l + \Delta l + b + \frac{c}{k} + \frac{f}{k} \quad (1)$$

gdzie:

- $l_j$  - teoretyczny zewnętrzny wymiar opakowania jednostkowego (długość, szerokość, wysokość) [mm],
- $l$  - wewnętrzny wymiar opakowania jednostkowego (długość, szerokość, wysokość) [mm],
- $\Delta l$  - sumaryczna wielkość deformacji napełnionego opakowania [mm],
- $b$  - sumaryczna grubość ścianek opakowania z uwzględnieniem elementów zwiększających jego wymiary (burty, rączki, itp.) [mm],
- $c$  - wielkość luzu niezbędnego do układania opakowań [mm],
- $f$  - łączny wymiar elementów uzupełniających (przekładki, przegródki, itp.) [mm],
- $k$  - liczba opakowań jednostkowych w rzędzie dla jednego wymiaru wewnętrznego opakowania transportowego [sztuk].

Jako zadanie optymalizacyjne przyjęto znalezienie maksimum funkcji, która opisuje liczbę ładunków zbiorczych umieszczonych na paletcie:

$$f(A, B, H, K_D, K_S, K_H) \rightarrow \max \quad (2)$$

gdzie:

- $K_D$  - liczba opakowań zbiorczych w rzędzie (wzdłuż boku  $D_p$ ) [sztuk],
- $K_S$  - liczba opakowań zbiorczych w rzędzie (wzdłuż boku  $S_p$ ) [sztuk],
- $K_H$  - liczba opakowań zbiorczych w kolumnie (wzdłuż wysokości  $H_p$ ) [sztuk].
- $A$  - szerokość opakowania zbiorczego [mm],
- $B$  - długość opakowania zbiorczego [mm],
- $H$  - wysokość opakowania zbiorczego [mm].

Korzystając ze wzoru (1) i dokonując odpowiednich przekształceń otrzymujemy funkcję celu w postaci:

$$f(A, B, H, K_D, K_S, K_H) = \frac{[K_S(A + \alpha_1) + \alpha_5] \cdot [K_D(B + \alpha_2) + \alpha_6] \cdot [K_H(H + \alpha_3) + \alpha_7]}{S_p \cdot D_p \cdot (H_p - h_p)} \quad (3)$$

gdzie:

- $\alpha_1$  - sumaryczna wielkość deformacji ścianek wyznaczona dla szerokości opakowania zbiorczego [mm];
- $\alpha_2$  - sumaryczna wielkość deformacji ścianek wyznaczona dla długości opakowania

zbiorczego [mm];

$\alpha_3$  - sumaryczna wielkość deformacji ścianek wyznaczona dla wysokości opakowania zbiorczego [mm];

$\alpha_D$  - łączny wymiar luzu i elementów wypełniających między opakowaniami zbiorczymi, zastosowane wzdłuż długości palety [mm];

$\alpha_S$  - łączny wymiar luzu i elementów wypełniających między opakowaniami zbiorczymi, zastosowane wzdłuż szerokości palety [mm];

$\alpha_H$  - łączny wymiar luzu i elementów wypełniających między opakowaniami;  
 $h_p$  – wysokość palety.

### 3. OGRANICZENIA ZMIENNYCH DECYZYJNYCH

Często dziedziną funkcji celu jest ograniczona (tzn. że zmienne decyzyjne nie mogą przyjmować dowolnych wartości), mamy wtedy do czynienia z optymalizacją z ograniczeniami [2].

Przestrzeń poszukiwania wartości zmiennych decyzyjnych proponuję ograniczyć uwzględniając:

#### a) Wymiary jednostki paletowej:

$$K_S(A + \alpha_2) + \alpha_S \leq S_p, \quad (4)$$

$$K_D(B + \alpha_1) + \alpha_D \leq D_p \quad (5)$$

$$K_H(H + \alpha_3) + \alpha_H \leq H_p - h. \quad (6)$$

Za wymiary gabarytowe należy przyjąć znormalizowane wymiary jednostki ładunkowej, zawarte normach polskich (np. PN-89/O-79021 „Opakowania. System wymiarowy” i PN-93/M-78003 „Wielkości jednostek ładunkowych. Wymiary” – tłumaczenie normy ISO 3676:1983).

#### b) Ograniczenie masy opakowania zbiorczego:

$$\frac{(A - g_1)(B - g_2)(H - g_3)}{l_{jS} \cdot l_{jD} \cdot l_{jH}} \cdot m_j \leq m_Z \quad (7)$$

gdzie:

$g_1, g_2, g_3$  – łączne grubości ścianek opakowania zbiorczego [mm],

$l_{jS}, l_{jD}, l_{jH}$  - teoretyczne wymiary opakowania jednostkowego [mm],

$m_j$  - masa ładunku jednostkowego [kg],

$m_Z$  - masa ładunku zbiorczego [kg].

Za  $m_Z$  proponuję przyjąć 12kg, gdyż zgodnie z przepisami BHP ładunki o takiej masie mogą przenosić kobiety i mężczyźni w sposób ciągły, jest to istotne przy ręcznej kompletacji i dekompletacji ładunków.

#### c) Ograniczenie wynikające z nośności palety:

$$K_D \cdot K_S \cdot K_H \cdot \frac{(A - g_1)(B - g_2)(H - g_3)}{l_{jS} \cdot l_{jD} \cdot l_{jH}} \cdot m_j \leq M_{NP} \quad (8)$$

Nośność palety EUR wynosi  $M_{NP} = 1500 \text{ kg}$ .

#### d) Wymiary opakowań zgodne z zaleceniami norm:

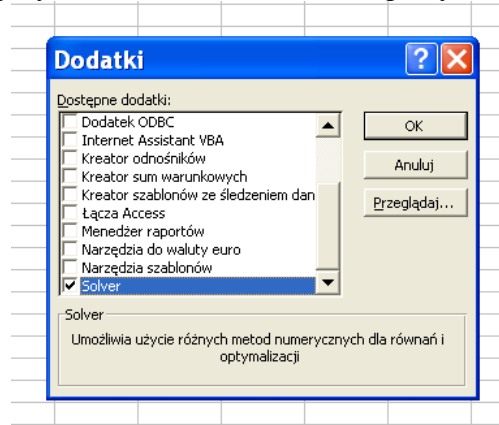
A i B – wymiary zewnętrzne podstawy opakowania zbiorczego – jako zbiór wartości z PN – 89/O - 79021.

#### e) Liczbę opakowań w warstwie:

$K_D, K_S, K_H$  - zaokrąglić w dół do najbliższej liczby całkowitej.

## 4. OPIS DZIAŁANIA DODATKU SOLVER MS EXCEL

Solver dostępny jest w aplikacji MS Excel. Aktywujemy go poprzez zaznaczenie odpowiedniej opcji i użyciu przycisku „OK” w oknie dialogowym „Dodatki” (rys.2).



Rys. 2. Okno dialogowe „Dodatki”

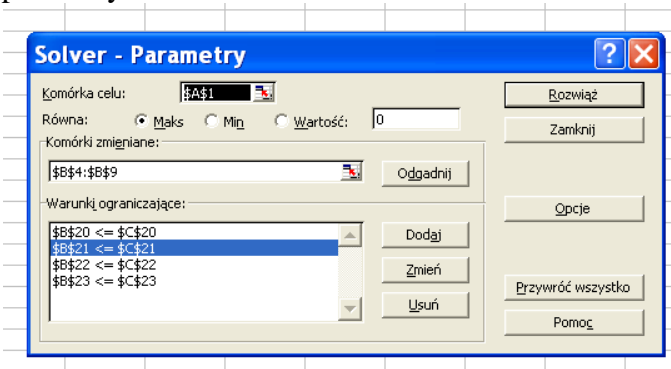
W celu wykonania obliczeń należy w pierwszej kolejności zakodować zawartość arkusza Excel. Zapisać w wybranej komórce formułę obliczania funkcji (3). Wartości parametrów funkcji oraz poszukiwane argumenty zakodować w komórkach wybranego zakresu arkusza. Ponadto zapisać formuły niezbędne do uwzględnienia w obliczeniach ograniczeń zmiennych.

Następnie wyświetlamy okno dialogowe Solver (rys.3), służy ono do określenia zależności niezbędnych do uzyskania rozwiązania.

W oknie odwołując się do adresów komórek wskazujemy:

- funkcję celu -  $\$A\$1$ ,
- poszukiwaną wartości funkcji celu – „Maks”,
- zakres poszukiwanych zmiennych -  $\$B\$4:\$B\$9$ ,
- zależności dotyczące warunków ograniczających.

Solver wykona obliczenia optymalizacyjne po wydaniu polecenia „Rozwiąż”, efektem będzie wyświetlony raport z wynikami.



Rys. 3. Okno dialogowe dodatku SOLVER

## PODSUMOWANIE

Zagadnienie maksymalizacji ilości ładunków jednostkowych, umieszczanych na paletach jest bardzo istotne z punktu widzenia racjonalnego wykorzystania możliwości ładunkowych środków transportu oraz magazynów. Na stopień wykorzystania możliwości przewozowej środków transportu oraz pojemności magazynów, znaczny wpływ mają optymalnie dobrane wymiary ładunków.

Prezentowane w artykule zagadnienia mogą być wykorzystane na zajęciach ze studentami, które dają podstawę wiedzy - możliwą do wykorzystania w późniejszej praktyce zawodowej.

W artykule ukazano możliwość zastosowania w obliczeniach dodatku SOLVER MS Excel. Narzędziem tym wykonane zostało testowanie zaproponowanej procedury optymalizacyjnej. Obliczenia wykonywano dla palety EUR, dla różnych ładunków jednostkowych (tzn. zmieniając wymiary i masę). Otrzymane wyniki potwierdziły trafność przyjętych założeń.

## **APPENDIX USAGE APPLICATION MS EXCEL SOLVER DESIGN UNITS THE PALLET**

### ***Abstract***

*The article presents the issues related to the use of the tool SOLVER the optimal design of the pallet load. Objective function is specified. Limiting criteria adopted sought a solution on the basis of acceptable parameters of size and weight of unit loads, bulk and pallet unit. Optimization procedure has been verified for loads placed on the EUR pallet with dimensions 800x1200x144mm.*

### **BIBLIOGRAFIA**

- 1 *Jakubowski L.: Technologia prac ładunkowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.*
- 2 *Stadnicki J.: Teoria i praktyka rozwiązywania zadań optymalizacji, Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne 2006.*
- 4 *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej „W sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy ręcznych pracach transportowych”, Dz.U.00.26.313 i Dz.U.02.127.1092.*

### ***Autorzy:***

**dr inż. Ignacy BOMBA** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu  
**mgr Katarzyna Kwiecień** – doktorant Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu