

# Metody optymalizacji

Stepan Yurtsiv, 246437

11 kwietnia 2022r.

## 1 Wstęp

Celem danej listy zadań jest rozwiązanie wybranych problemów, które można przekształcić do problemów programowania liniowego, a później rozwiązać ich za pomocą pakietu GLPK (GNU Linear Programmin Kit). W poniższych sekcjach przedstawiono definicje oraz rozwiązania optymalne zadań.

## 2 Niedokładność algorytmów LP

Celem danego zadania jest pokazanie, że algorytmy LP mogą dawać niedokładne wyniki dla źle uwarunkowanych zadań, np. jeżeli macierz  $A$  jest macierzą Hilberta.

### 2.1 Model

Funkcja celu

$$\min \mathbf{c}^T \mathbf{x}$$

przy warunkach

$$A\mathbf{x} = \mathbf{b}, \mathbf{x} \geq \mathbf{0}$$

gdzie

$$a_{ij} = \frac{1}{i+j-1}, i, j = 1, \dots, n,$$
$$c_i = b_i = \sum_{j=1}^n \frac{1}{i+j-1}, i, j = 1, \dots, n$$

Wiadomo że rozwiązaniem tego zadania jest wektor  $\mathbf{x}$ ,  $x_i = 1, i = 1, \dots, n$

## 2.2 Wyniki

W tabeli poniżej przedstawione są błędy względne wyników dla  $n = 2, \dots, 10$

$n$	$\frac{\ x-x_0\ _2}{\ x\ _2}$
2	5.6e-16
3	5.2e-16
4	5.6e-13
5	1.2e-11
6	3.4e-11
7	2.1e-08
8	0.725
9	0.592
10	0.731

## 2.3 Podsumowanie

Z wyników widać, że GLPK bardzo źle radzi sobie z danym problemem dla  $n > 7$ . Dla  $n \leq 7$  wynik jest prawie dokładny (więcej niż 2 cyfry po przecinku).

## 3 Problem przemieszczania kamperów

W danym zadaniu proszono nas o ułożenie optymalnego planu przemieszczania nadmiarowych kamperów dla firmy, która operuje w różnych miastach Europy środkowej. Minimalizujemy koszt transportu, zależny od odległości pomiędzy miastami oraz typu kampera (*Standard* i *VIP*)

### 3.1 Model

Funkcja celu jest następująca:

$$\min \sum_{m_1, m_2 \in M, k \in K} x_{m_1, m_2, k} d_{m_1, m_2} c_k$$

gdzie  $M$  to zbiór miast,  $K = \{Standard, VIP\}$  - typy kamperów,  $x_{m_1, m_2, k}$  - liczba kamperów typu  $k$  do przemieszczenia z miasta  $m_1$  do miasta  $m_2$ ,  $d_{m_1, m_2}$  - dystans pomiędzy miastem  $m_1$  a  $m_2$ ,  $c_k$  - mnożnik kosztu przemieszczania kampera typu  $k$  ( $Standard = 1$ ,  $VIP = 1.15$ ).

Zmienne decyzyjne mają następujące ograniczenia:

- $x_{m_1, m_2, k} \geq 0$ ,  $m_1, m_2 \in M$ ,  $k \in K$

- $\sum_{m_2 \in M} x_{m_1, m_2, k} = excess_{m_1, k}$ , gdzie  $m_1 \in M$ ,  $k \in K$ , a  $excess_{m_1, k}$  - to nadmiar kamperów typu  $k$  w mieście  $m_1$ . To ograniczenie zapewnia, że przemieścimy wszystkie nadmiarowe kampery
- $\sum_{m_1 \in M} x_{m_1, m_2, s} \geq deficit_{m_2, s}$ , gdzie  $m_2 \in M$ ,  $s$  - to typ kampera, którym można zamienić każdy inny typ (w typm przypadku  $s = VIP$ ), a  $deficit_{m_2, s}$  - to niedobór kamperów typu  $s$  w mieście  $m_2$ . Dane ograniczenie pozwala na przemieszczenie większej liczby *VIP* kamperów, aniż jest ich nideobór w danym mieście.
- $\sum_{m_1 \in M, k \in K} x_{m_1, m_2, k} = \sum_{k \in K} deficit_{m_2, k}$ , gdzie  $m_2 \in M$ . Dane ograniczenie zapewnia zerowy niedobór we wszystkich miastach.

### 3.2 Wyniki

Po zaimplementowaniu powyższego modelu w GNU MathProg z wypełnionymi danymi  $(M, excess, deficit)$ , udało się znaleźć następujące rozwiązanie:

```

Move 14 Standard campers from Warszawa to Gdansk
Move 2 VIP campers from Gdansk to Gdansk
Move 4 Standard campers from Szczecin to Gdansk
Move 8 Standard campers from Szczecin to Berlin
Move 4 VIP campers from Szczecin to Berlin
Move 4 VIP campers from Wroclaw to Warszawa
Move 2 VIP campers from Wroclaw to Wroclaw
Move 4 VIP campers from Wroclaw to Krakow
Move 6 Standard campers from Krakow to Wroclaw
Move 4 Standard campers from Krakow to Koszyce
Move 2 VIP campers from Rostok to Berlin
Move 2 VIP campers from Rostok to Rostok
Move 3 VIP campers from Lipsk to Berlin
Move 3 VIP campers from Lipsk to Lipsk
Move 4 VIP campers from Lipsk to Praga
Move 3 Standard campers from Praga to Berlin
Move 7 Standard campers from Praga to Brno
Move 2 VIP campers from Brno to Brno
Move 4 VIP campers from Bratislava to Bratislava
Move 4 VIP campers from Bratislava to Budapeszt
Move 4 VIP campers from Koszyce to Krakow
Move 4 VIP campers from Budapeszt to Budapeszt
Overall cost: 19999.7

```

\* Przemieszczenie z miasta do tego samego miasta oznacza zastąpienie standardowych kamperów kamperami typu VIP.

### 3.3 Całkowitoliczbowe zmienne

Po ograniczeniu zmiennych decyzyjnych do liczb całkowitych, wynik się nie zmienił.

## 4 Problem optymalnej produkcji

W danym problemie musimy ułożyć optymalny plan produkcyjny czterech mieszanek, dwie z których są produktami podstawowymi, powstającymi jako mieszanki trzech surowców, a dwie inne wymagają pewnego surowca oraz odpadów z produkcji pierwszych dwóch.

### 4.1 Model

**Zmienne decyzyjne:**

$m_1, m_2, m_3$  - ilość surowca 1, 2 i 3 do zakupu  
 $A, B, C, D$  - wyprodukowana ilość mieszanek do sprzedaży  
 $A_t, B_t$  - ilość mieszanek  $A$  i  $B$  razem z wszystkimi odpadami  
 $A_{m_1}, A_{m_2}, A_{m_3}$  - ilość  $m_1, m_2$  i  $m_3$  przeznaczona na produkcję  $A$   
 $A_{l_1}, A_{l_2}, A_{l_3}$  - ilość odpadów 1, 2 i 3 przy produkcji  $A$   
 $A_{l_1d}, A_{l_2d}, A_{l_3d}$  - ilość odpadów 1, 2 i 3 (z produkcji  $A$ ) do likwidacji  
 $A_{l_1C}, A_{l_2C}, A_{l_3C}$  - ilość odpadów 1, 2 i 3 (z produkcji  $A$ ) przeznaczonych na produkcję  $C$   
 $B_{m_1}, B_{m_2}, B_{m_3}$  - ilość  $m_1, m_2$  i  $m_3$  przeznaczona na produkcję  $B$   
 $B_{l_1}, B_{l_2}, B_{l_3}$  - ilość odpadów 1, 2 i 3 przy produkcji  $B$   
 $B_{l_1d}, B_{l_2d}, B_{l_3d}$  - ilość odpadów 1, 2 i 3 (z produkcji  $B$ ) do likwidacji  
 $B_{l_1D}, B_{l_2D}, B_{l_3D}$  - ilość odpadów 1, 2 i 3 (z produkcji  $B$ ) przeznaczonych na produkcję  $D$   
 $C_{m_1}$  - ilość  $m_1$  przeznaczona na produkcję  $C$   
 $D_{m_2}$  - ilość  $m_2$  przeznaczona na produkcję  $D$

**Funkcja celu:**

$$\max(3A + 2.5B + 0.5C + 0.6D - (0.1A_{l_1d} + 0.1A_{l_2d} + 0.2A_{l_3d} + 0.05B_{l_1d} + 0.05B_{l_2d} + 0.4B_{l_3d} + 2.1m_1 + 1.6m_2 + m_3))$$

### Ograniczenia:

- wszystkie zmienne decyzyjne są większe lub równe 0
- $2000 \leq m_1 \leq 6000$
- $3000 \leq m_2 \leq 5000$
- $4000 \leq m_3 \leq 7000$
- $A_{m_1} + B_{m_1} + C_{m_1} \leq m_1$  - nie można zużyć więcej surowca 1 niż jest dostępnego
- $A_{m_2} + B_{m_2} + D_{m_2} \leq m_2$  - analogicznie dla surowca 2
- $A_{m_3} + B_{m_3} \leq m_3$  - analogicznie dla surowca 3
- $A_{m_1} + A_{m_2} + A_{m_3} = A_t$  - ilość mieszanki razem z odpadami to suma surowców wejściowych
- $A_{m_1} \geq 0.2A_t$  - ilość surowca 1 musi być co najmniej 20%
- $A_{m_2} \geq 0.4A_t$  - ilość surowca 2 musi być co najmniej 40%
- $A_{m_3} \leq 0.1A_t$  - ilość surowca 3 musi być co najwyżej 10%
- $A_{l_1} = 0.1A_{m_1}$  - ilość odpadów od surowca 1 to 10%
- $A_{l_2} = 0.2A_{m_2}$  - ilość odpadów od surowca 2 to 20%
- $A_{l_3} = 0.4A_{m_3}$  - ilość odpadów od surowca 3 to 40%
- $A_{l_1} = A_{l_1d} + A_{l_1C}$  - ilość odpadu 1 to suma ilości do likwidacji oraz ilości na produkcję  $C$
- $A_{l_2} = A_{l_2d} + A_{l_2C}$  - analogicznie dla odpadu 2
- $A_{l_3} = A_{l_3d} + A_{l_3C}$  - analogicznie dla odpadu 3
- $A = A_t - A_{l_1} - A_{l_2} - A_{l_3}$  - produkt końcowy to suma mieszanek minus odpady
- $B_{m_1} + B_{m_2} + B_{m_3} = B_t$  - ilość mieszanki razem z odpadami to suma surowców wejściowych

- $B_{m_1} \geq 0.2B_t$  - ilość surowca 1 musi być co najmniej 20%
- $B_{m_3} \leq 0.3B_t$  - ilość surowca 3 musi być co najwyżej 30%
- $B_{l_1} = 0.2B_{m_1}$  - ilość odpadów od surowca 1 to 20%
- $B_{l_2} = 0.2B_{m_2}$  - ilość odpadów od surowca 2 to 20%
- $B_{l_3} = 0.5B_{m_3}$  - ilość odpadów od surowca 3 to 50%
- $B_{l_1} = B_{l_{1d}} + B_{l_{1D}}$  - ilość odpadu 1 to suma ilości do likwidacji oraz ilości na produkcję  $D$
- $B_{l_2} = B_{l_{2d}} + B_{l_{2D}}$  - analogicznie dla odpadu 2
- $B_{l_3} = B_{l_{3d}} + B_{l_{3D}}$  - analogicznie dla odpadu 3
- $B = B_t - B_{l_1} - B_{l_2} - B_{l_3}$  - produkt końcowy to suma mieszanek minus odpady
- $C = C_{m_1} + A_{l_1C} + A_{l_2C} + A_{l_3C}$  - produkt końcowy to suma surowca 1 oraz odpadów od produkcji  $A$
- $C_{m_1} = 0.2C$  - ilość surowca 1 musi stanowić dokładnie 20% mieszanki
- $D = D_{m_2} + B_{l_{1D}} + B_{l_{2D}} + B_{l_{3D}}$  - produkt końcowy to suma surowca 2 oraz odpadów od produkcji  $B$
- $D_{m_2} = 0.3D$  - ilość surowca 2 musi stanowić dokładnie 30% mieszanki

## 4.2 Wyniki

Po zaimplementowaniu modelu, otrzymałem następujący wynik:

```
-- Total earnings --
```

```
5598
```

```
-- Products proudced --
```

```
Product A: 9646.112601
```

```
Product B: 0.000000
```

```
Product C: 2520.107239
```

```
Product D: 0.000000
```

```

-- Materials to buy --

Material 1: 6000.000000
Material 2: 5000.000000
Material 3: 4000.000000

-- Materials distribution --

For product A:

Material 1: 5495.978552
Material 2: 5000.000000
Material 3: 1166.219839

For product B:

Material 1: 0.000000
Material 2: 0.000000
Material 3: 0.000000

For product C:

Material 1: 504.021448

For product D:

Material 2: 0.000000

-- Leftovers distribution --

From A:

1:

overall: 549.597855
for product C: 549.597855
to destroy: 0.000000

2:

overall: 1000.000000

```

for product C: 1000.000000  
to destroy: 0.000000

3:

overall: 466.487936  
for product C: 466.487936  
to destroy: 0.000000

From B:

1:

overall: 0.000000  
for product D: 0.000000  
to destroy: 0.000000

2:

overall: 0.000000  
for product D: 0.000000  
to destroy: 0.000000

3:

overall: 0.000000  
for product D: 0.000000  
to destroy: 0.000000

### 4.3 Podsumowanie

Produkowanie  $B$  i  $D$  nie opłaca się, a surowiec 3 nie zostaje całkiem zużyty, więc ten minimum w 4000 jest za wysoki.

## 5 Problem planu zajęć

W danym zadaniu musimy ułożyć plan zajęć dla studenta, uwzględniając jego preferencje.



## 5.1 Model

**Funkcja celu:**

$$\max \sum_{n \in N, s \in S} x_{n,s} p_{n,s}$$

gdzie  $N = \{1, 2, 3, 4\}$  - numery grup ćwiczeniowych,  $S = \{Algebra, Analiza, Fizyka, ChemiaOrg, ChemiaMin\}$  - przedmioty,  $x_{n,s} \in \{0, 1\}$  - zmienna decyzyjna, mówiąca czy grupa ćwiczeniowa  $n$  z przedmiotu  $s$  została wybrana,  $p_{n,s} \in \{0..10\}$  - jak bardzo preferowana jest grupa  $n$  z przedmiotu  $s$  (predefiniowane).

**Ograniczenia:**

- $\sum_{n \in N} x_{n,s} = 1, s \in S$  - można wybrać tylko jedną grupę dla danego przedmiotu
- $x_{1,Algebra} + x_{1,Analiza} \leq 1$  - nie można wybrać tych zajęć na raz
- $x_{1,ChemiaMin} + x_{1,ChemiaOrg} + x_{2,ChemiaMin} \leq 1$  - nie można wybrać tych zajęć na raz
- $x_{1,Fizyka} + x_{2,Algebra} + x_{2,Analiza} + x_{2,Fizyka} \leq 1$  - nie można wybrać tych zajęć na raz
- $x_{1,Algebra} + x_{1,Analiza} \leq 1$  - nie można wybrać tych zajęć na raz
- $x_{3,Algebra} + x_{3,Analiza} + x_{4,Algebra} \leq 1$  - nie można wybrać tych zajęć na raz
- $x_{4,ChemiaMin} + x_{4,ChemiaOrg} \leq 1$  - nie można wybrać tych zajęć na raz
- $x_{1,Algebra}d_{Algebra} + x_{1,Analiza}d_{Analiza} + x_{1,ChemiaMin}d_{ChemiaMin} + x_{1,ChemiaOrg}d_{ChemiaOrg} + x_{2,ChemiaMin}d_{ChemiaMin} + x_{2,ChemiaOrg}d_{ChemiaOrg} \leq 4$ ,  $d$  - czas trwania ćwiczeń dla poszczególnych przedmiotów. Ograniczenie na nie więcej niż 4 godziny ćwiczeń w poniedziałek
- $x_{1,Fizyka}d_{Fizyka} + x_{2,Algebra}d_{Algebra} + x_{2,Analiza}d_{Analiza} + x_{2,Fizyka}d_{Fizyka} \leq 4$  - analogicznie dla wtorku
- $x_{3,Algebra}d_{Algebra} + x_{3,Analiza}d_{Analiza} + x_{4,Algebra}d_{Algebra} \leq 4$  - analogicznie dla środy

- $x_{3,Fizyka}d_{Fizyka} + x_{3,ChemiaMin}d_{ChemiaMin} + x_{4,Analiza}d_{Analiza} + x_{4,Fizyka}d_{Fizyka} \leq 4$  - analogicznie dla czwartku
- $x_{3,ChemiaOrg}d_{ChemiaOrg} + x_{4,ChemiaMin}d_{ChemiaMin} + x_{4,ChemiaOrg}d_{ChemiaOrg} \leq 4$  - analogicznie dla piątku
- $x_{4,ChemiaMin} + x_{4,ChemiaOrg} + x_{3,ChemiaOrg} \leq 1$  - jest możliwość wyjścia na obiad w piątek (w inne dni zawsze jest możliwość)
- $x_{1,Algebra} + x_{1,Analiza} + x_{3,Algebra} + x_{3,Analiza} + x_{4,Algebra} + x_{3,Analiza} + x_{4,Algebra} \leq 1$  - da się trenować 2 razy w tygodniu (dla = 0 nie ma rozwiązań)

## 5.2 Wyniki

Po implementacji powyższego modelu otrzymałem następujący plan optymalny:

Algebra grupa 3  
 Analiza grupa 2  
 Fizyka grupa 4  
 ChemiaMin grupa 1  
 ChemiaOrg grupa 2  
 Suma preferencji: 37

Rozwiązań pozwalających ćwiczyć 3 razy w tygodniu nie istnieje. Powyższy plan nie jest zgrupowany w 3 dniach (pn., wt., cz.) i też nie wszystkie zajęcia odpowiadają preferencjom nie mniejszym niż 5. Po dodaniu odpowiednich ograniczeń, udało się znaleźć plan, odpowiadający tym założeniom:

Algebra grupa 1  
 Analiza grupa 4  
 Fizyka grupa 2  
 ChemiaMin grupa 3  
 ChemiaOrg grupa 2  
 Suma preferencji: 28