



UNIWERSYTET SZCZECIŃSKI
INSTYTUT EKONOMII
I FINANSÓW

Wielokryterialne wspomaganie wyboru lokalizacji w procesie kompletacji towarów – wyniki badań symulacyjnych

Krzysztof Dmytrów
Uniwersytet Szczeciński
Instytut Ekonomii i Finansów

Wirtualne Seminarium z Badań Operacyjnych

Uniwersytet WSB Merito/MS Teams, 5 czerwca 2023

Tło badawcze:

- Czas kompletacji jest najważniejszym parametrem wyznaczającym jej efektywność.
- Czas kompletacji zależy od bardzo wielu czynników takich, jak:
 - liczba towarów,
 - sposób przechowywania,
 - sposób wyboru lokalizacji,
 - sposób wyznaczania trasy magazyniera,
 - kształt magazynu,
 - wysokość regałów w magazynie,
 - rodzaj magazynu (czy jest to magazyn typu *człowiek do towaru*, czy *towar do człowieka*),
 - i wiele innych.

Cel badania:

Wyznaczenie długości drogi pokonywanej przez magazyniera oraz czasu kompletacji towarów w magazynie niskiego składowania typu *człowiek do towaru* za pomocą metod symulacyjnych dla różnych metod wielokryterialnego podejmowania decyzji.

Zastosowane metody badawcze:

- Metody symulacyjne do wygenerowania zamówień dla różnych sposobów przechowywania towarów.
- Wielokryterialny wybór lokalizacji dla przechowywania współdzielonego za pomocą metod:
 - COPRAS,
 - TOPSIS,
 - TMAL zakładającą ważoną odległość od wzorca,
 - TMAL zakładającą ważoną odległość od antywzorca.
- Wyznaczenie drogi do pokonania przez magazyniera i czasu kompletacji.
- Porównanie wyników z wynikami dla przechowywania dedykowanego.

Założenia:

- Założono prosty, prostokątny magazyn, w którym było 1000 lokalizacji. Magazyn posiadał dwa korytarze główne oraz 20 alejek bocznych. W każdym regale znajdowało się 25 lokalizacji.
- Założono pięć sposobów rozmieszczenia towarów w magazynie:
 - losowy,
 - według klasy ABC i porządku przechowywania *across aisle*.
 - według klasy ABC i porządku przechowywania *within aisle*,
 - według klasy ABC i porządku przechowywania *diagonal*,
 - według klasy ABC i porządku przechowywania *perimeter*.
- Towary były przechowywane w sposób współdzielony i, w celach porównawczych, dedykowany.
- Każde zamówienie składało się z pięciu towarów.
- Dla przechowywania współdzielonego każdy towar występował w:
 - dwóch lokalizacjach,
 - czterech lokalizacjach,
 - sześciu lokalizacjach,
 - w zmiennej liczbie lokalizacji (od 1 do 10).

Założenia, c.d.:

- Dostępne ilości towaru w każdej lokalizacji zawierały się od pojedynczej jednostki do ilości pokrywającej zapotrzebowanie podwójnie.
- Każdą lokalizację, w której występował kompletowany towar, opisano za pomocą pięciu kryteriów:
 - czas przechowywania towaru (c_1),
 - odległość od punktu odkładczego (c_2),
 - stopień zaspokojenia zapotrzebowania (c_3),
 - liczba pełnych jednostek (opakowań) przechowywanego towaru (c_4),
 - liczba innych kompletowanych towarów znajdująca się w tej samej alejce bocznej (c_5).
- Zastosowano strategię wyboru lokalizacji regulacją ilości zakładającą, że pierwszeństwo mają te lokalizacje, w których zapotrzebowanie na towar jest zaspokojone w największym stopniu.

Założenia, c.d.:

- Zastosowano trzy heurystyki wyznaczania trasy magazyniera:
 - *s-shape*,
 - *return*,
 - *midpoint*.
- Czas kompletacji był sumą czasu przemieszczania się magazyniera i czasu pobierania towarów z lokalizacji. Na podstawie oszacowanych norm czasu w transporcie wewnętrznym (Fijałkowski, 2003) przyjęto, że czas pokonania jednostki odległości (szerokości półki) wynosił 2 sekundy, a czas pobierania towaru z lokalizacji – 15 sekund.
- Dla każdej heurystyki, sposobu przechowywania oraz liczby lokalizacji przypadających na jeden towar w zamówieniu wygenerowano 1000 zamówień.

Wagi przypisane kryteriom:

c_1	c_2	c_3	c_4	c_5
0,05	0,05	0,8	0,05	0,05

- Kryterium c_2 – odległość od punktu odkładczego jest kryterium typu „strata”.
- Pozostałe kryteria są kryteriami typu „zysk”.

Omówienie metod COPRAS oraz TMAL:

- Punktem wyjścia każdej metody wielokryterialnego podejmowania decyzji opierającej się na skonstruowaniu zmiennej syntetycznej jest macierz \mathbf{X} postaci:

$$\mathbf{X} = [x_{ij}] = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix}$$

gdzie:

x_{ij} – wartość j -tego kryterium w i -tym wariantcie decyzyjnym ($i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$),

m – liczba kryteriów,

n – liczba wariantów decyzyjnych.

Omówienie metod COPRAS oraz TMAL:

- Kolejnym etapem jest normalizacja macierzy \mathbf{X} .
- Wykorzystano jedno z przekształceń ilorazowych:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

- W wyniku normalizacji wartości kryteriów otrzymamy macierz \mathbf{Z} postaci:

$$\mathbf{Z} = [z_{ij}] = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1m} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \cdots & z_{nm} \end{bmatrix}$$

gdzie z_{ij} – znormalizowana wartość j -tego kryterium w i -tym wariantcie decyzyjnym ($i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$).

Omówienie metod COPRAS oraz TMAL:

Metoda COPRAS

- Metoda COPRAS (*COmplex PROportional Assessment*) została zaproponowana przez Zavadskasa i innych (1994).
- Zakłada ona, że każdy wariant decyzyjny jest wprost proporcjonalny do ważonej sumy znormalizowanych kryteriów typu „zysk” i odwrotnie proporcjonalny do ważonej sumy znormalizowanych kryteriów typu „strata”.
- Znormalizowane wartości kryteriów mnożymy przez ich wagi:

$$t_{ij} = w_j z_{ij}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$$

gdzie w_j – waga przypisana j -emu kryterium, spełniająca warunki:

$$w_j \in [0, 1], j = 1, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1$$

Omówienie metod COPRAS oraz TMAL:

Metoda COPRAS

- Obliczenie ważonych sum dla kryteriów typu „zysk” (S_i^+) oraz „strata” (S_i^-) dla wszystkich wariantów decyzyjnych:

$$S_i^+ = \sum_{j \in J^+} t_{ij}, i = 1, \dots, n$$

$$S_i^- = \sum_{j \in J^-} t_{ij}, i = 1, \dots, n$$

gdzie J^+ – kryteria typu „zysk”, J^- – kryteria typu „strata” ($j = 1, \dots, m$).

- Obliczenie wartości zmiennej syntetycznej:

$$q_i^{COPRAS} = S_i^+ + \frac{\sum_{i=1}^n S_i^-}{S_i^- \sum_{i=1}^n \frac{1}{S_i^-}}, i = 1, \dots, n$$

- $\max_i \{q_i^{COPRAS}\}$ – najlepszy wariant decyzyjny, $\min_i \{q_i^{COPRAS}\}$ – najgorszy wariant decyzyjny.

Omówienie metod COPRAS oraz TMAL:

Metoda TMAL

- Metoda TMAL (*Taksonomiczna Miara Atrakcyjności Lokalizacji*) jest odmianą Syntetycznego Miernika Rozwoju Z. Hellwiga.
- Wykorzystano jej wariant wykorzystujący odległości od wzorca (oznaczony przez $TMAL^+$) oraz od antywzorca (oznaczony przez $TMAL^-$).

TMAL⁺

- Określenie współrzędnych wariantu idealnego (A_b^{TMAL}):

$$A_b^{TMAL} = \left\{ \left(\max_i z_{ij} \mid j \in J^+ \right), \left(\min_i z_{ij} \mid j \in J^- \right) \mid i = 1, \dots, n \right\} = z_{bj}, j = 1, \dots, m$$

- Wyznaczenie kwadratów odległości euklidesowych znormalizowanych wartości kryteriów od punktu idealnego (d_{ijb}^2):

$$d_{ijb}^2 = (z_{ij} - z_{bj})^2, j = 1, \dots, m$$

Omówienie metod COPRAS oraz TMAL:

TMAL⁺

- Obliczenie ważonej odległości każdego wariantu decyzyjnego od punktu idealnego (d_{ib}^{TMAL}):

$$d_{ib}^{TMAL} = \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j d_{ijb}^2}, i = 1, \dots, n$$

- Obliczenie wartości zmiennej syntetycznej:

$$q_i^{TMAL^+} = 1 - \frac{d_{ib}}{\max_i \{d_{ib}\}}, i = 1, \dots, n$$

- $q_i^{TMAL^+} \in [0,1]$, $\max_i \{q_i^{TMAL^+}\}$ – najlepszy wariant decyzyjny, $\min_i \{q_i^{TMAL^+}\}$ – najgorszy wariant decyzyjny.

Omówienie metod COPRAS oraz TMAL:

TMAL-

- Określenie współrzędnych wariantu anty-idealnego (A_b^{TMAL}):

$$A_w^{TMAL} = \left\{ \left(\min_i z_{ij} \mid j \in J^+ \right), \left(\max_i z_{ij} \mid j \in J^- \right) \mid i = 1, \dots, n \right\} = z_{wj}, j = 1, \dots, m$$

- Wyznaczenie kwadratów odległości euklidesowych znormalizowanych wartości kryteriów od punktu anty-idealnego (d_{ijw}^2):

$$d_{ijw}^2 = (z_{ij} - z_{wj})^2, j = 1, \dots, m$$

- Obliczenie ważonej odległości każdego wariantu decyzyjnego od punktu anty-idealnego (d_{iw}^{TMAL}):

$$d_{iw}^{TMAL} = \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j d_{ijw}^2}, i = 1, \dots, n$$

Omówienie metod COPRAS oraz TMAL:

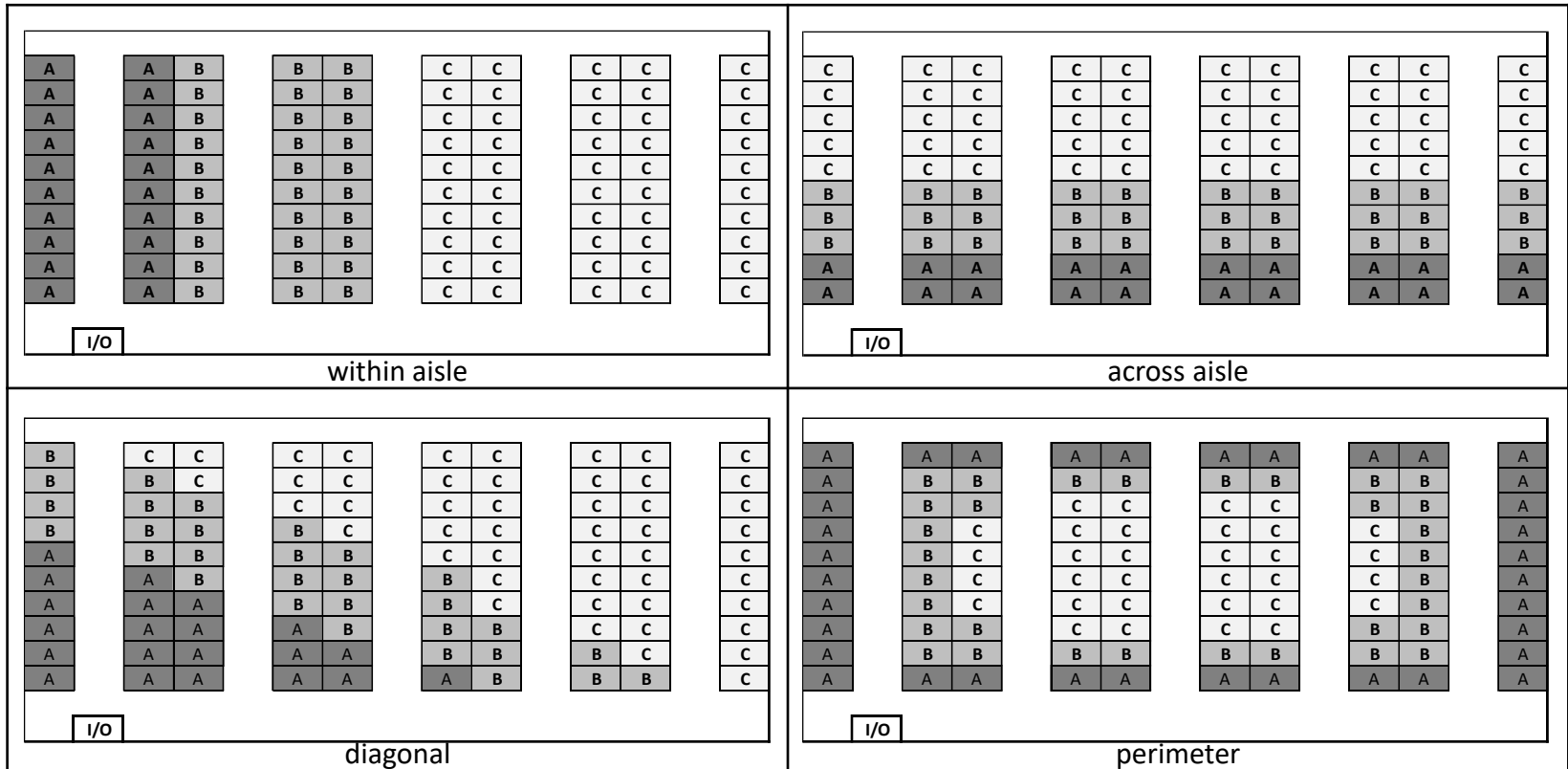
TMAL-

- Obliczenie wartości zmiennej syntetycznej:

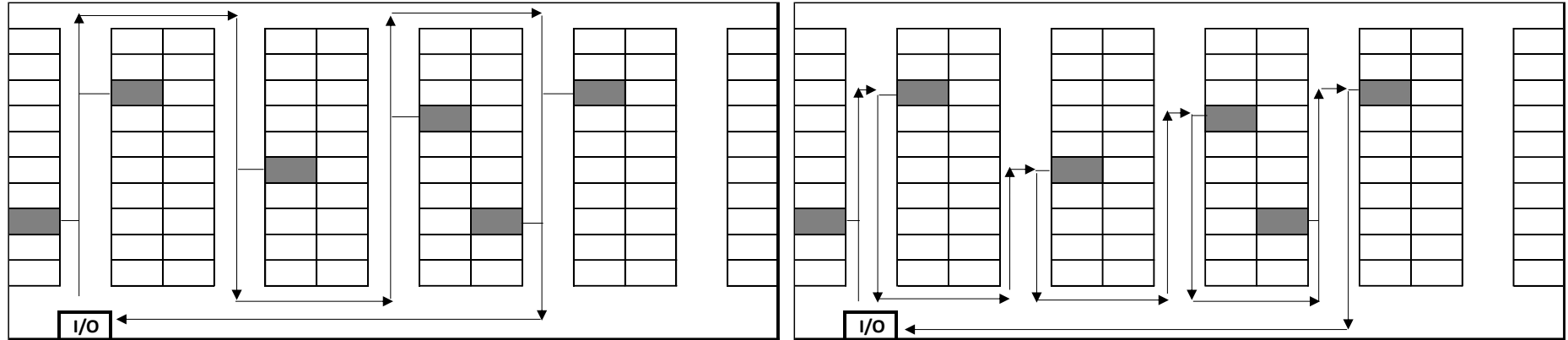
$$q_i^{TMAL^-} = \frac{d_{iw}^{TMAL}}{\max_i \{d_{iw}\}}, i = 1, \dots, n$$

- $q_i^{TMAL^-} \in [0,1]$, $\max_i \{q_i^{TMAL^-}\}$ – najlepszy wariant decyzyjny, $\min_i \{q_i^{TMAL^-}\}$ – najgorszy wariant decyzyjny.

Przechowywanie według klasy ABC i wybranych porządków:

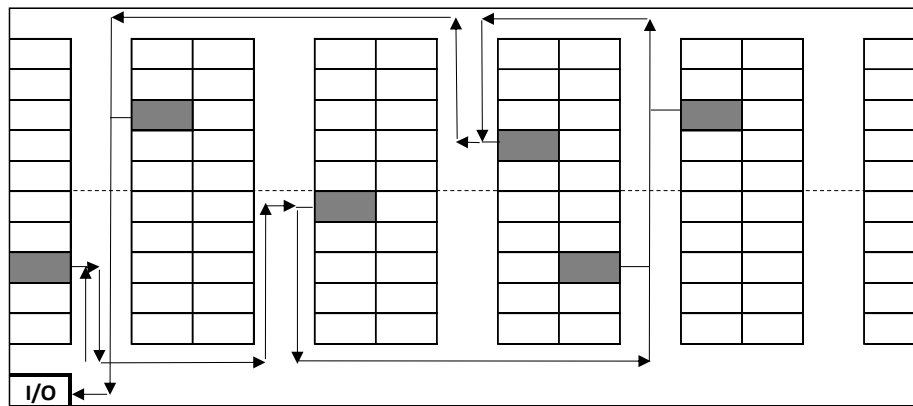


Heurystyki *s-shape*, *return* i *midpoint*



Heurystyka *s-shape*

Heurystyka *return*



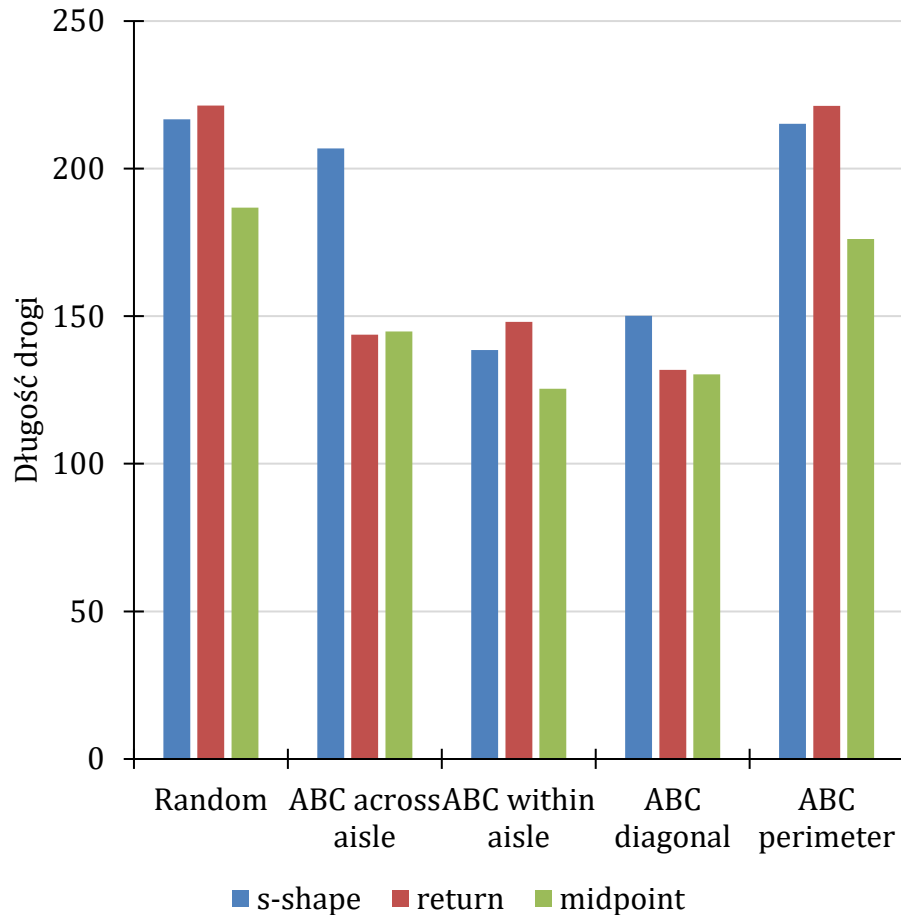
Heurystyka *midpoint*

Wyniki:

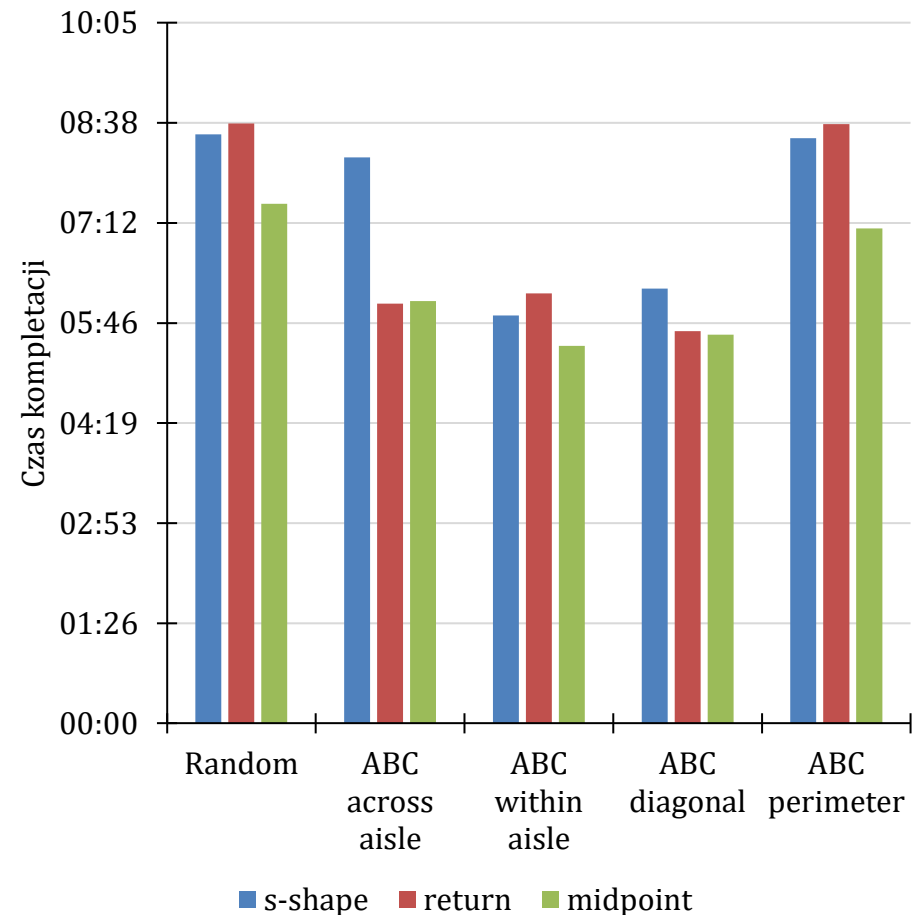
- porównanie wyników dla wszystkich sposobów rozmieszczenia towarów w magazynie i wszystkich heurystyk,
- porównanie wyników dla przechowywania dedykowanego i dla zastosowanych metod wielokryterialnego podejmowania decyzji dla sytuacji, w których produkty w zamówieniu były przechowywane w:
 - 1-10 lokalizacji,
 - 2 lokalizacjach,
 - 4 lokalizacjach,
 - 6 lokalizacjach,
- porównanie wyników pomiędzy poszczególnymi metodami wielokryterialnego podejmowania decyzji.

Porównanie wyników dla sposobów rozmieszczenia towarów i heurystyk:

Długości drogi dla przechowywania dedykowanego

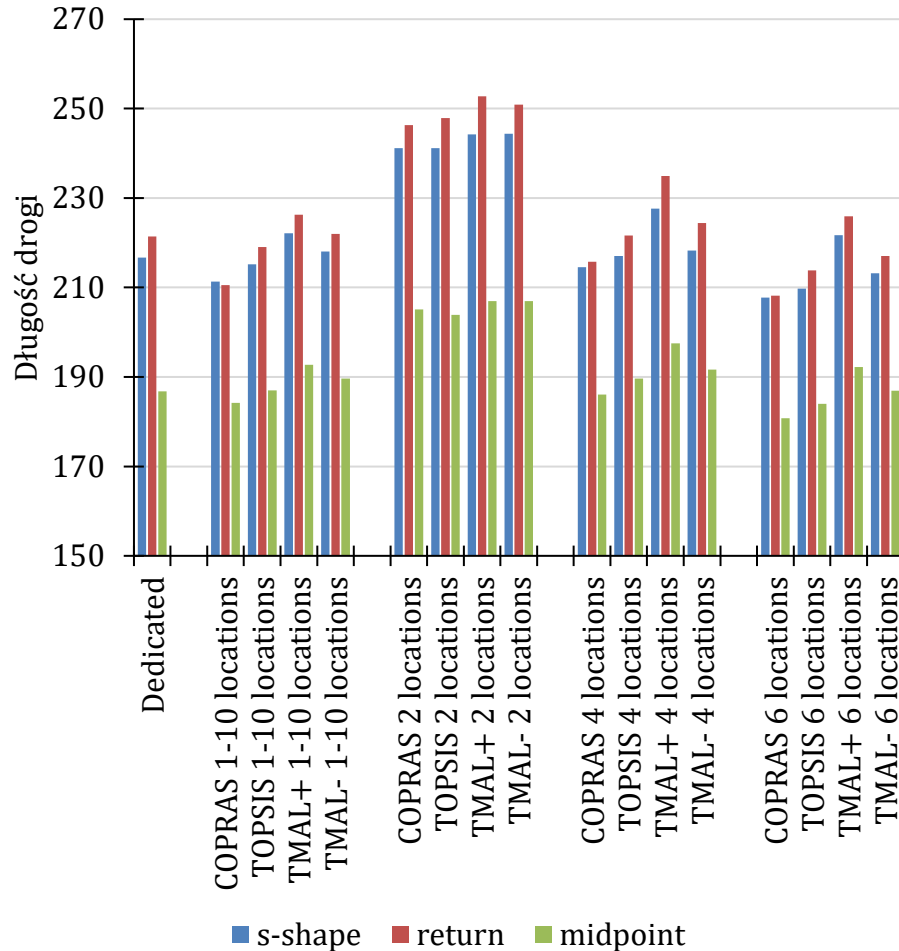


Czasy kompletacji dla przechowywania dedykowanego

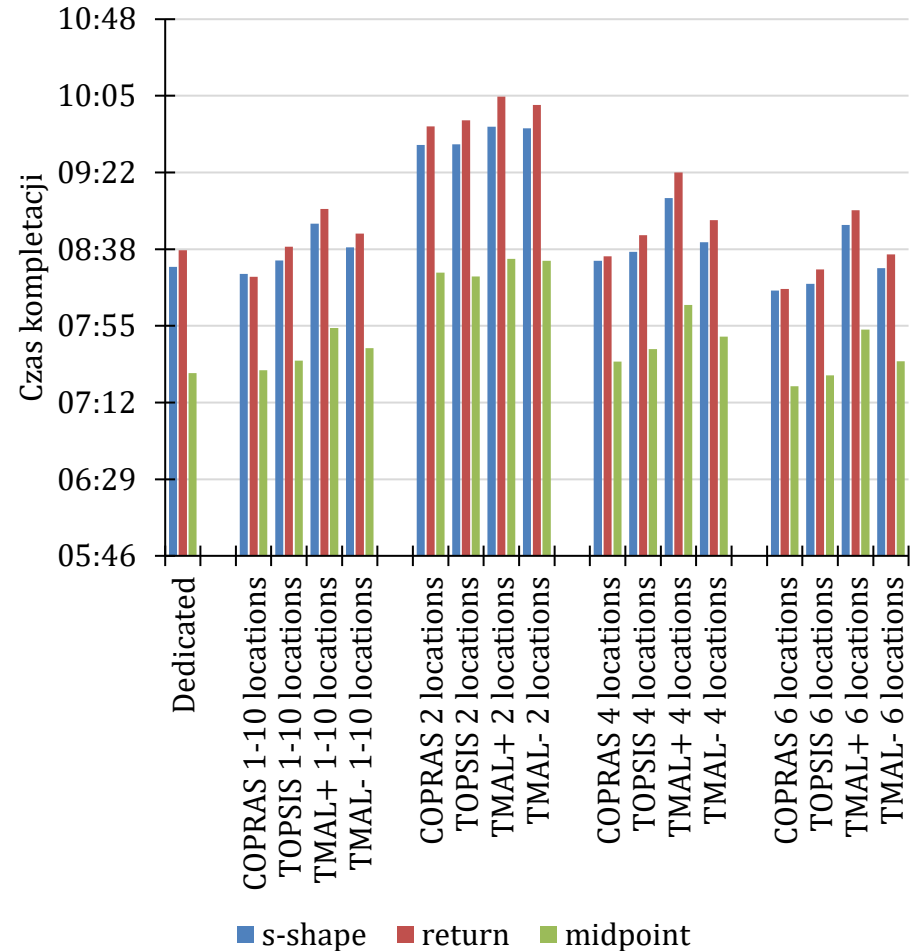


Porównanie wyników dla przechowywania losowego:

Długość drogi

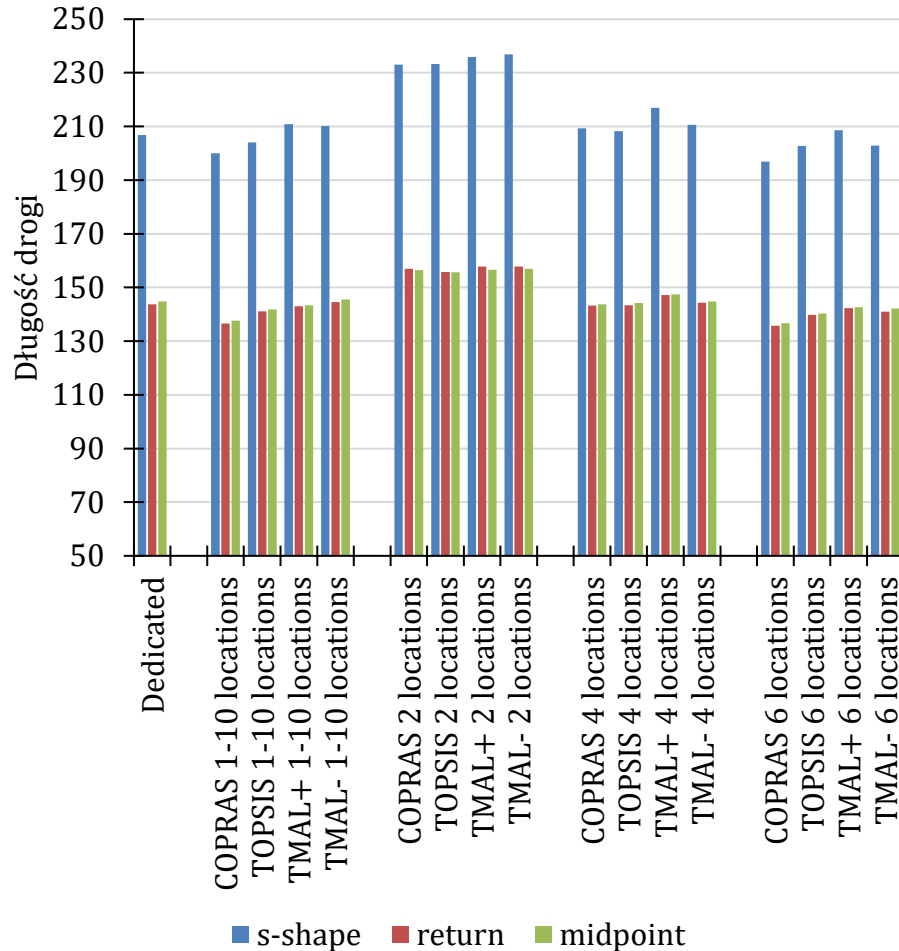


Czas kompletacji

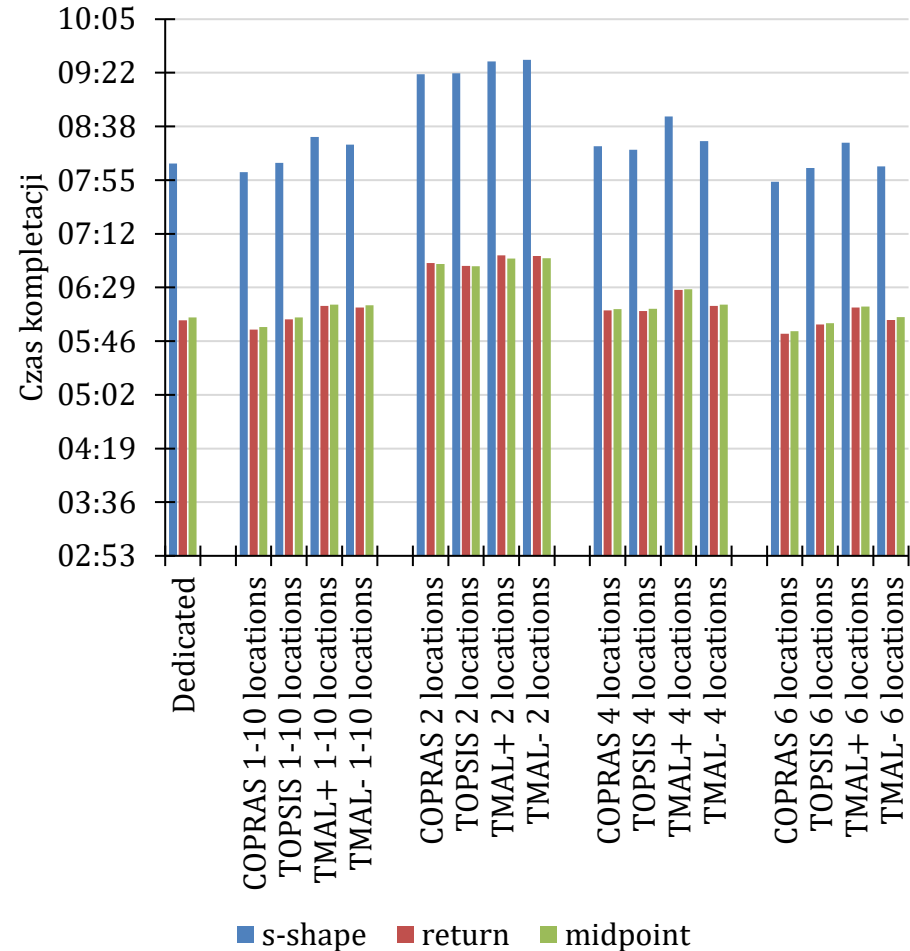


Porównanie wyników dla sposobu przechowywania ABC *across aisle*:

Długość drogi

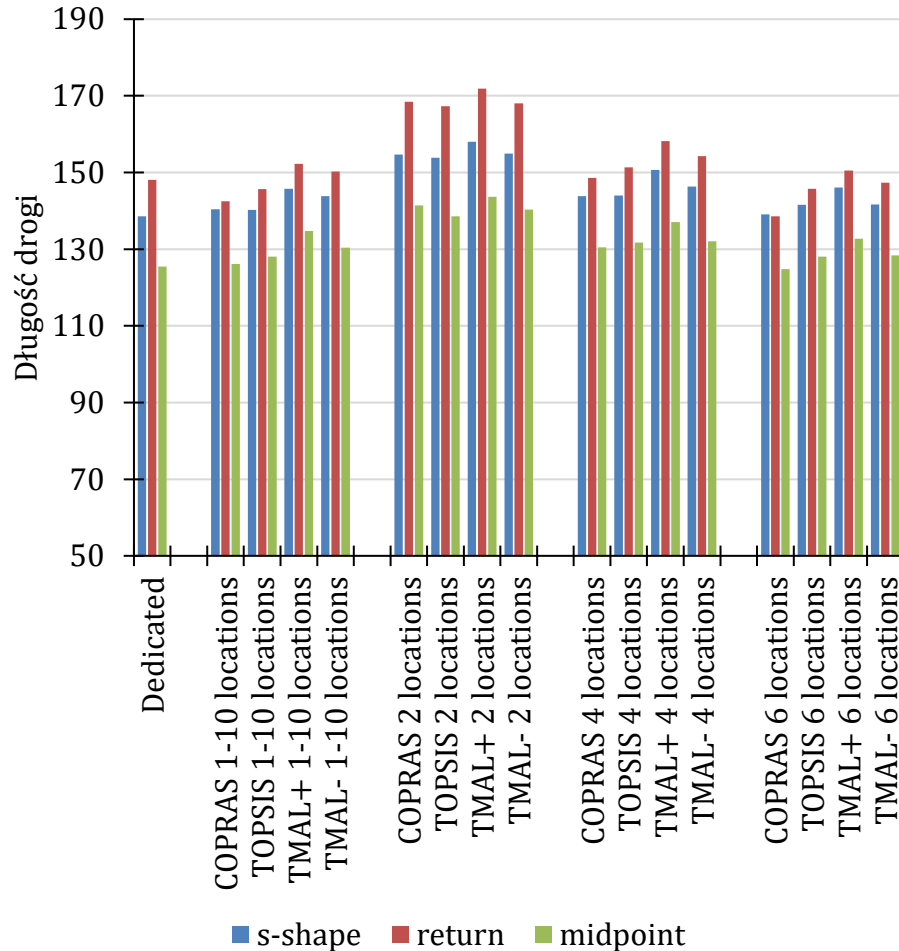


Czas kompletacji

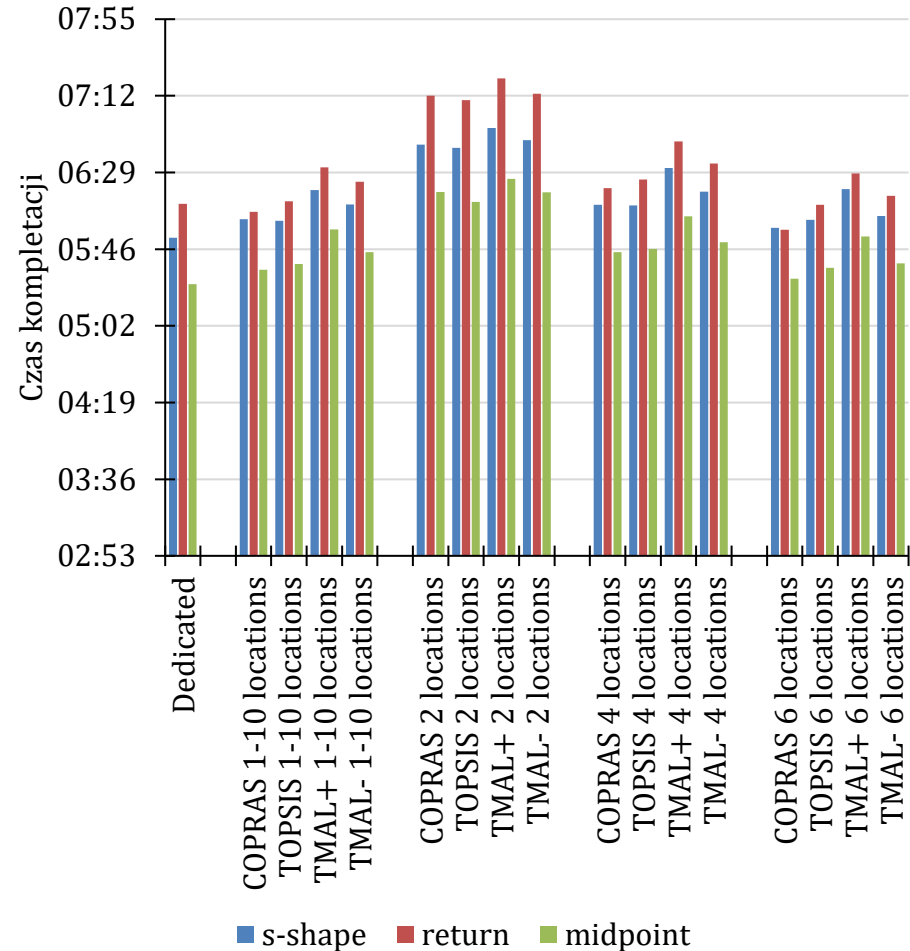


Porównanie wyników dla sposobu przechowywania ABC *within aisle*:

Długość drogi

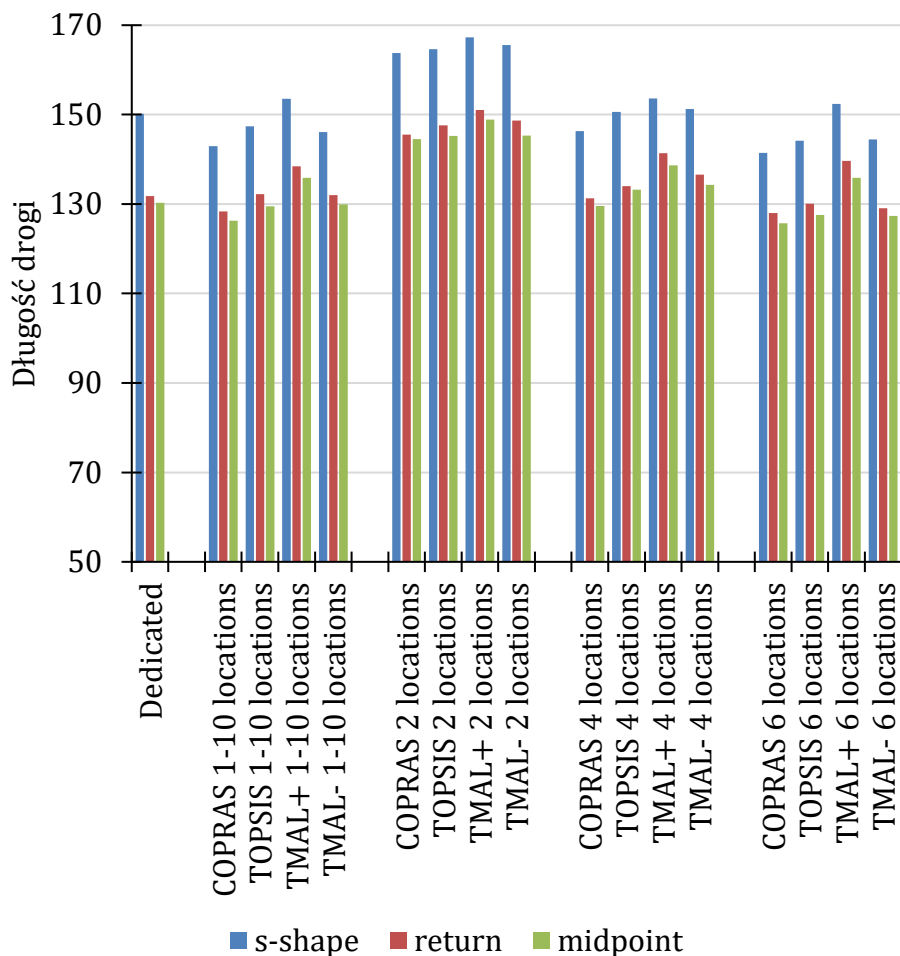


Czas kompletacji

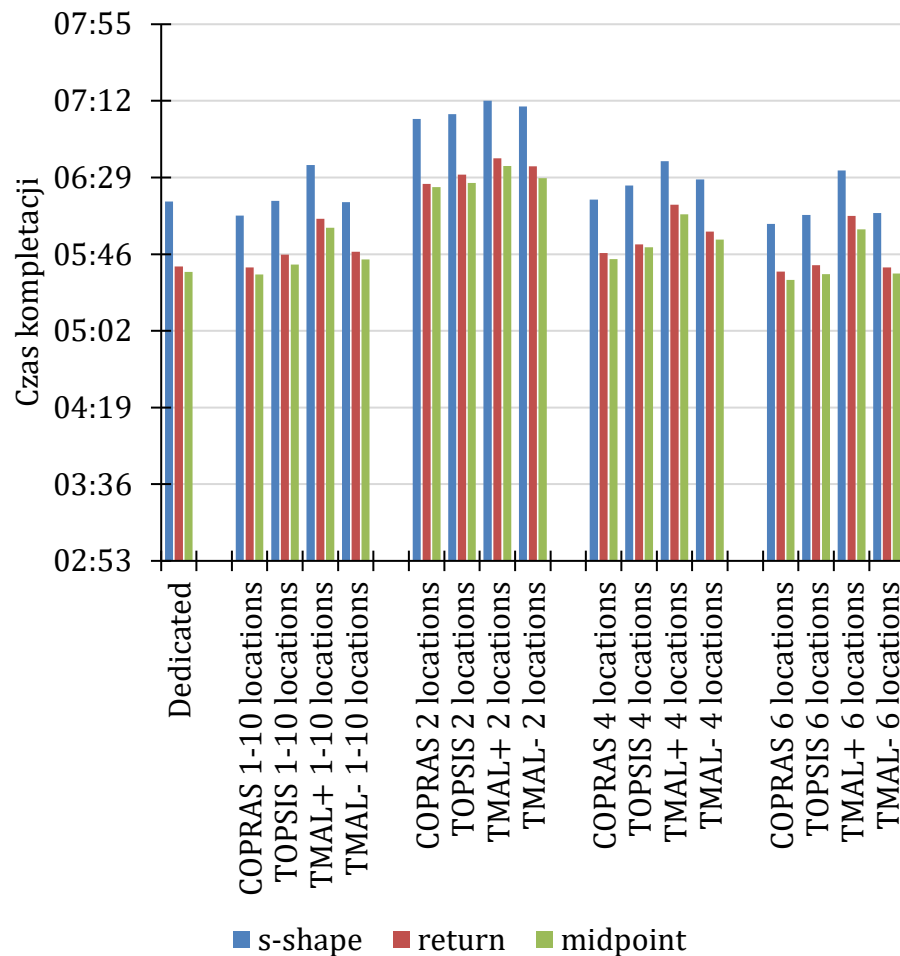


Porównanie wyników dla sposobu przechowywania ABC diagonal:

Długość drogi

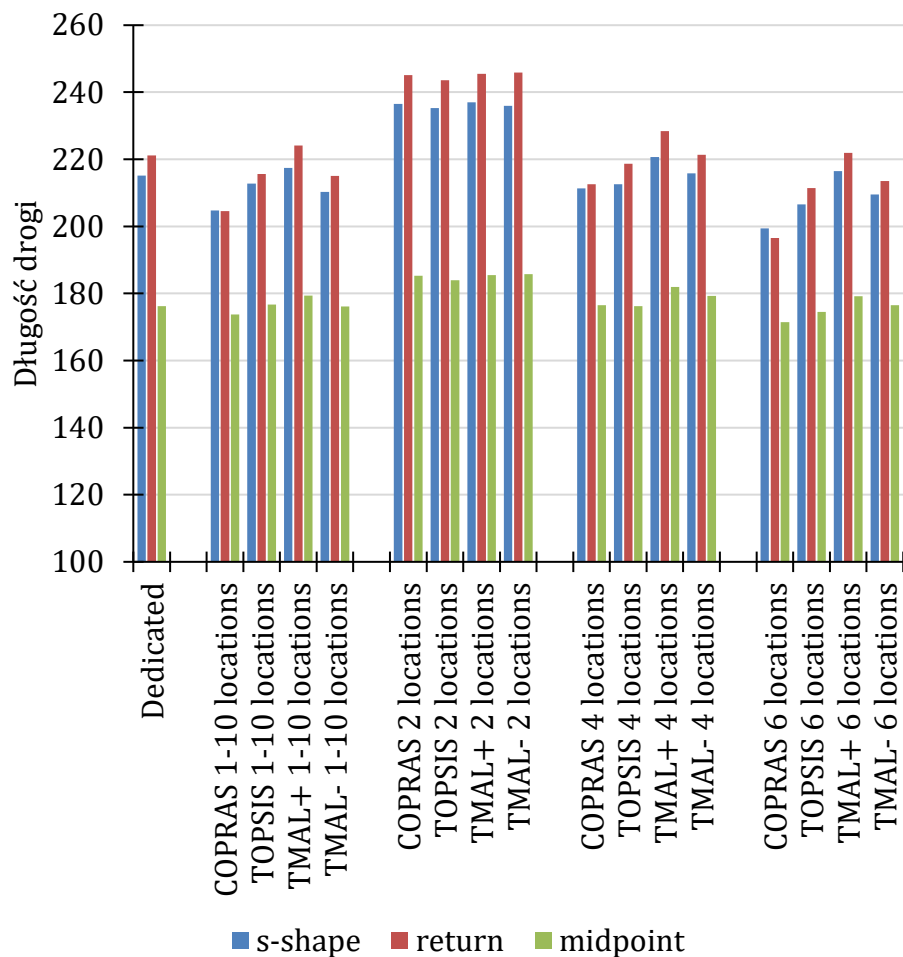


Czas kompletacji

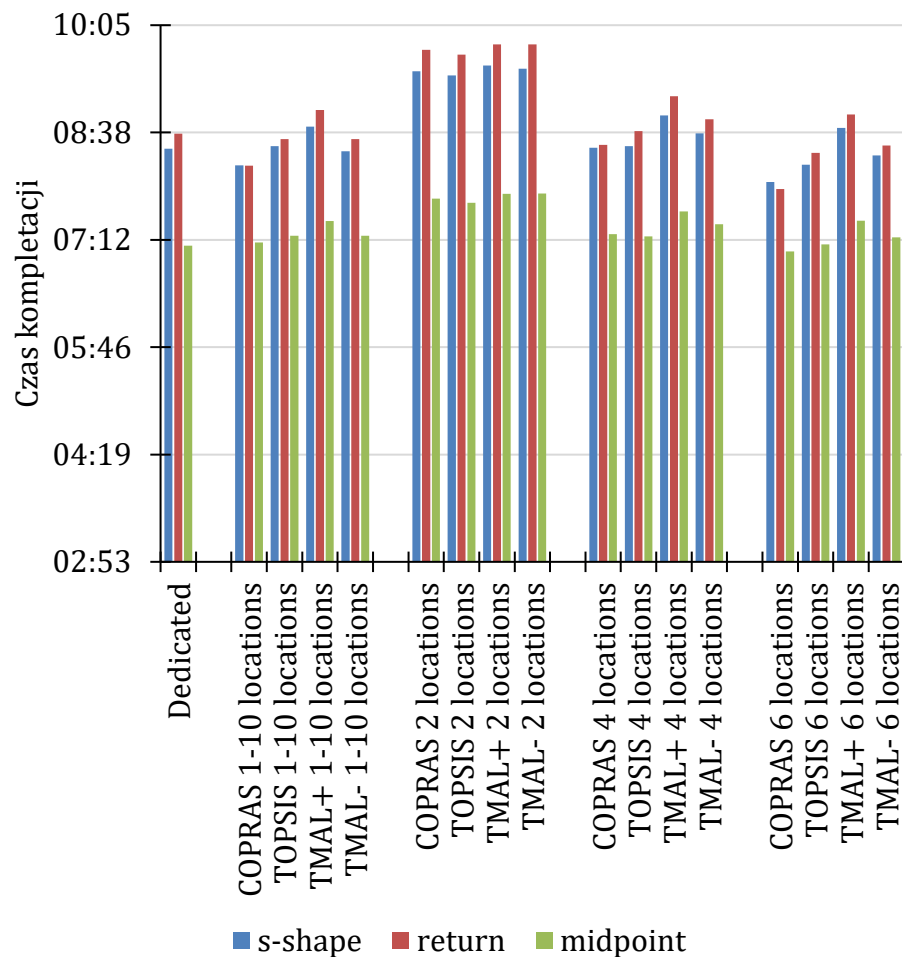


Porównanie wyników dla sposobu przechowywania ABC *perimeter*:

Długość drogi



Czas kompletacji



Porównanie metod wielokryterialnego podejmowania decyzji dla przechowywania losowego (metoda COPRAS jest bazą porównań):

Metoda	<i>s-shape</i>		<i>return</i>		<i>midpoint</i>	
	długość drogi	czas kompletacji	długość drogi	czas kompletacji	długość drogi	czas kompletacji
1 – 10 lokalizacji na towar						
TOPSIS	1,84%	1,52%	4,03%	3,35%	1,51%	1,21%
TMAL ⁺	5,11%	5,62%	7,48%	7,60%	4,63%	5,28%
TMAL ⁻	3,19%	2,96%	5,42%	4,83%	2,97%	2,76%
2 lokalizacje na towar						
TOPSIS	-0,01%	0,03%	0,64%	0,58%	-0,59%	-0,43%
TMAL ⁺	1,28%	1,76%	2,60%	2,86%	0,90%	1,53%
TMAL ⁻	1,32%	1,61%	1,86%	2,06%	0,90%	1,31%
4 lokalizacje na towar						
TOPSIS	1,16%	0,99%	2,73%	2,31%	1,90%	1,58%
TMAL ⁺	6,11%	6,89%	8,87%	9,20%	6,16%	7,03%
TMAL ⁻	1,74%	2,05%	4,01%	3,95%	3,00%	3,12%
6 lokalizacji na towar						
TOPSIS	0,98%	0,77%	2,73%	2,24%	1,77%	1,39%
TMAL ⁺	6,72%	7,46%	8,51%	8,97%	6,33%	7,23%
TMAL ⁻	2,61%	2,54%	4,26%	3,92%	3,40%	3,18%

Porównanie metod wielokryterialnego podejmowania decyzji dla sposobu przechowywania ABC *across aisle* (metoda COPRAS jest bazą porównań):

Metoda	<i>s-shape</i>		<i>return</i>		<i>midpoint</i>	
	długość drogi	czas kompletacji	długość drogi	czas kompletacji	długość drogi	czas kompletacji
1 – 10 lokalizacji na towar						
TOPSIS	2,05%	1,54%	3,26%	2,30%	3,04%	2,13%
TMAL ⁺	5,44%	5,84%	4,63%	5,37%	4,17%	5,01%
TMAL ⁻	5,10%	4,59%	5,84%	4,98%	5,73%	4,89%
2 lokalizacje na towar						
TOPSIS	0,12%	0,11%	-0,70%	-0,52%	-0,58%	-0,43%
TMAL ⁺	1,23%	1,80%	0,57%	1,51%	0,02%	1,09%
TMAL ⁻	1,65%	2,07%	0,59%	1,41%	0,30%	1,18%
4 lokalizacje na towar						
TOPSIS	-0,51%	-0,57%	0,10%	-0,13%	0,33%	0,05%
TMAL ⁺	3,65%	4,75%	2,74%	4,43%	2,59%	4,31%
TMAL ⁻	0,62%	0,78%	0,75%	0,94%	0,80%	0,97%
6 lokalizacji na towar						
TOPSIS	2,99%	2,38%	2,97%	2,15%	2,58%	1,86%
TMAL ⁺	5,94%	6,64%	4,84%	6,03%	4,34%	5,64%
TMAL ⁻	3,03%	2,64%	3,88%	3,16%	3,96%	3,22%

Porównanie metod wielokryterialnego podejmowania decyzji dla sposobu przechowywania ABC *within aisle* (metoda COPRAS jest bazą porównań):

Metoda	<i>s-shape</i>		<i>return</i>		<i>midpoint</i>	
	długość drogi	czas kompletacji	długość drogi	czas kompletacji	długość drogi	czas kompletacji
1 – 10 lokalizacji na towar						
TOPSIS	-0,12%	-0,22%	2,22%	1,60%	1,51%	1,00%
TMAL ⁺	3,86%	4,52%	6,84%	6,82%	6,85%	6,83%
TMAL ⁻	2,47%	2,29%	5,46%	4,62%	3,38%	2,96%
2 lokalizacje na towar						
TOPSIS	-0,54%	-0,45%	-0,71%	-0,59%	-1,97%	-1,52%
TMAL ⁺	2,14%	2,32%	2,03%	2,23%	1,60%	1,93%
TMAL ⁻	0,18%	0,61%	-0,27%	0,24%	-0,76%	-0,06%
4 lokalizacje na towar						
TOPSIS	0,14%	-0,08%	1,86%	1,27%	0,94%	0,51%
TMAL ⁺	4,73%	5,58%	6,46%	6,91%	5,05%	5,88%
TMAL ⁻	1,74%	1,99%	3,87%	3,65%	1,19%	1,60%
6 lokalizacji na towar						
TOPSIS	1,75%	1,24%	5,19%	3,91%	2,63%	1,86%
TMAL ⁺	4,99%	6,09%	8,57%	8,88%	6,37%	7,24%
TMAL ⁻	1,84%	1,86%	6,29%	5,32%	2,86%	2,63%

Porównanie metod wielokryterialnego podejmowania decyzji dla sposobu przechowywania ABC *diagonal* (metoda COPRAS jest bazą porównań):

Metoda	<i>s-shape</i>		<i>return</i>		<i>midpoint</i>	
	długość drogi	czas kompletacji	długość drogi	czas kompletacji	długość drogi	czas kompletacji
1 – 10 lokalizacji na towar						
TOPSIS	3,11%	2,26%	3,02%	2,12%	2,50%	1,72%
TMAL ⁺	7,41%	7,72%	7,83%	8,07%	7,57%	7,87%
TMAL ⁻	2,17%	2,06%	2,86%	2,58%	2,85%	2,57%
2 lokalizacje na towar						
TOPSIS	0,50%	0,62%	1,42%	1,33%	0,50%	0,63%
TMAL ⁺	2,13%	2,44%	3,82%	3,75%	3,01%	3,13%
TMAL ⁻	1,06%	1,68%	2,16%	2,57%	0,53%	1,35%
4 lokalizacje na towar						
TOPSIS	2,94%	2,11%	2,07%	1,38%	2,83%	1,95%
TMAL ⁺	4,99%	5,76%	7,67%	7,85%	7,02%	7,37%
TMAL ⁻	3,39%	3,03%	4,02%	3,47%	3,64%	3,18%
6 lokalizacji na towar						
TOPSIS	1,96%	1,38%	1,58%	1,04%	1,48%	0,96%
TMAL ⁺	7,78%	8,29%	9,07%	9,31%	8,08%	8,56%
TMAL ⁻	2,13%	1,71%	0,83%	0,68%	1,32%	1,05%

Porównanie metod wielokryterialnego podejmowania decyzji dla sposobu przechowywania ABC *perimeter* (metoda COPRAS jest bazą porównań):

Metoda	<i>s-shape</i>		<i>return</i>		<i>midpoint</i>	
	długość drogi	czas kompletacji	długość drogi	czas kompletacji	długość drogi	czas kompletacji
1 – 10 lokalizacji na towar						
TOPSIS	3,92%	3,14%	5,40%	4,38%	1,70%	1,25%
TMAL ⁺	6,18%	6,33%	9,54%	9,12%	3,22%	3,96%
TMAL ⁻	2,67%	2,31%	5,13%	4,36%	1,38%	1,22%
2 lokalizacje na towar						
TOPSIS	-0,56%	-0,59%	-0,63%	-0,65%	-0,76%	-0,76%
TMAL ⁺	0,20%	0,81%	0,15%	0,75%	0,06%	0,83%
TMAL ⁻	-0,24%	0,36%	0,29%	0,78%	0,21%	0,85%
4 lokalizacje na towar						
TOPSIS	0,61%	0,28%	2,89%	2,18%	-0,18%	-0,41%
TMAL ⁺	4,41%	5,14%	7,47%	7,69%	3,09%	4,19%
TMAL ⁻	2,11%	2,30%	4,16%	4,02%	1,54%	1,87%
6 lokalizacji na towar						
TOPSIS	3,62%	2,89%	7,58%	6,18%	1,81%	1,32%
TMAL ⁺	8,59%	9,08%	12,92%	12,69%	4,54%	5,87%
TMAL ⁻	5,07%	4,47%	8,63%	7,43%	2,97%	2,70%

Wnioski – porównanie porządków przechowywania i heurystyk:

- Najkrótszą drogę pokonywaną przez magazyniera oraz najkrótszy czas kompletacji dla zamówień składających się z 5 towarów można osiągnąć stosując porządek przechowywania według klasy ABC i rozmieszczeniu towarów *within aisle* oraz *diagonal*.
- Dla pięciu towarów stosowanie porządku przechowywania ABC *perimeter* daje wyniki dużo gorsze od pozostałych porządków ABC i zbliżone do rozmieszczenia losowego.
- Zastosowanie porządku przechowywania ABC *across aisle* daje dobre wyniki dla heurystyk *return* i *midpoint*. Dla heurystyki *s-shape* wyniki są zbliżone do rozmieszczenia losowego.

Wnioski – porównanie przechowywania dedykowanego ze współdzielonym:

- Dla pięciu towarów w zamówieniu przewagę przechowywania współdzielonego widać szczególnie przy jak największej liczbie lokalizacji przypadających na jeden towar.
- Dla dwóch lokalizacji przypadających na towar przy podanych założeniach żaden porządek przechowywania współdzielonego oraz żadna heurystyka wyznaczania trasy magazyniera nie dawały wyników lepszych, niż przechowywanie dedykowane.
- Przewagę przechowywania współdzielonego widać dla liczby lokalizacji na towar wynoszącej 4, 6 oraz 1 – 10 ale tylko dla wyboru lokalizacji za pomocą metod COPRAS i TOPSIS.
- Dla pięciu towarów w zamówieniu zastosowanie obu odmian metody TMAL dało wyniki gorsze, niż dla przechowywania dedykowanego.
- Przewaga przechowywania współdzielonego wyrażała się głównie w długości drogi pokonywanej przez magazyniera.

Wnioski – porównanie metod zastosowanych do wyboru lokalizacji:

- Dla pięciu towarów w zamówieniu w większości przypadków najlepsze wyniki otrzymano dla metody COPRAS.
- Jedynie dla dwóch lokalizacji przypadających na jeden towar dla wszystkich porządków przechowywania i wszystkich heurystyk różnice pomiędzy metodą COPRAS, a TOPSIS na ogół nie przekraczały jednego procenta, co mieści się w granicach błędu.
- Dla większej liczby lokalizacji przypadających na jeden towar przewaga metody COPRAS nad pozostałymi na ogół rosła.
- Najgorsze wyniki dała metoda TMAL⁺.
- Metoda TMAL⁻ dała wyniki lepsze, niż TMAL⁺ ale gorsze, niż TOPSIS i COPRAS.

Wnioski – najlepsze warianty:

- porządek przechowywania ABC *within aisle*, 6 lokalizacji przypadających na towar, zastosowanie metody COPRAS do wyboru lokalizacji i heurystyki *midpoint* – średnia długość drogi wyniosła 124,8 jednostek, średni czas kompletacji 5 minut, 29 sekund,
- porządek przechowywania ABC *diagonal*, 6 lokalizacji przypadających na towar, zastosowanie metody COPRAS do wyboru lokalizacji i heurystyki *midpoint* – średnia długość drogi wyniosła 125,7 jednostek, średni czas kompletacji 5 minut, 31 sekund,
- porządek przechowywania ABC *within aisle*, przechowywanie dedykowane, zastosowanie heurystyki *midpoint* – średnia długość drogi wyniosła 125,4 jednostek, średni czas kompletacji 5 minut, 26 sekund.

Wnioski – najgorsze warianty:

- porządek przechowywania losowy, 2 lokalizacje przypadające na towar, zastosowanie metody TMAL⁺ do wyboru lokalizacji i heurystyki *return* – średnia długość drogi wyniosła 252,7 jednostek, średni czas kompletacji 10 minut, 4 sekundy,
- porządek przechowywania losowy, 2 lokalizacje przypadające na towar, zastosowanie metody TMAL⁻ do wyboru lokalizacji i heurystyki *return* – średnia długość drogi wyniosła 250,9 jednostek, średni czas kompletacji 10 minut,
- porządek przechowywania ABC *perimeter*, 2 lokalizacje przypadające na towar, zastosowanie metody TMAL⁻ do wyboru lokalizacji i heurystyki *return* – średnia długość drogi wyniosła 245,8 jednostek, średni czas kompletacji 9 minut, 49 sekund.

Wybrana literatura:

- Dmytrów, K. (2015). Taksonomiczne wspomaganie wyboru lokalizacji w procesie kompletacji produktów. *Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*, 248, 17–30.
- Dmytrów, K. (2018a). Comparison of the Order-Picking Route and Time Obtained by Using the TMAL Method with Results of Selected Take-Out Strategies. In K. Nermend & M. Łatuszyńska (Eds.), *Problems, Methods and Tools in Experimental and Behavioral Economics. Computational Methods in Experimental Economics (CMEE) 2017 Conference* (pp. 261–272). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99187-0_19.
- Dmytrów, K. (2018b). Comparison of Several Linear Ordering Methods for Selection of Locations in Order-picking by Means of the Simulation Methods. *Acta Universitatis Lodziensis. Folia Oeconomica*, 5(338), 81–96. <https://doi.org/10.18778/0208-6018.338.05>.
- Dmytrów, K. (2022). Analytical and simulation determination of order picking time in a low storage warehouse for shared storage systems. *Operations Research and Decisions*, 32(2), 34–51. <https://doi.org/10.37190/ord220203>.
- Fijałkowski, J. (2003). *Transport wewnętrzny w systemach logistycznych. Wybrane zagadnienia*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Tarczyński, G. (2019). *Optymalizacja procesów magazynowych. Wybrane modele i metody*. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu.
- Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., & Šarka, V. (1994). The new method of multicriteria complex proportional assessment projects. In E. K. Zavadskas & P. Linnert (Eds.), *Technological and economic development of economy. Volume 3. Business Management* (pp. 131–140). Vilnius, “Technika.”

Dziękuję za uwagę 😊