

Zastosowanie metody AHP do wyboru wózka widłowego w przedsiębiorstwie produkcyjnym

Natalia Sturgulewska

Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania

e-mail: natalia.sturgulewska.107067@student.pb.edu.pl

Marta Jarocka 

Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania

e-mail: m.jarocka@pb.edu.pl

DOI: 10.24427/az-2023-0046

Streszczenie

Metoda AHP (ang. Analytic Hierarchy Process) jest narzędziem wielokryterialnej analizy problemów decyzyjnych, opracowanym przez T.L. Saaty'ego w 1980 roku. Metoda ta jest uniwersalna pod względem kryteriów, co oznacza, że badacz może wziąć pod uwagę zarówno kryteria jakościowe, jak i ilościowe. Po uwzględnieniu wszystkich składników złożonego problemu decyzyjnego, możliwe jest obiektywne podjęcie decyzji. Metoda AHP jest stosowana do rozwiązywania problemów w wielu dziedzinach, między innymi w logistyce. Głównym celem pracy jest wskazanie możliwości zastosowania metody AHP do wyboru wózka widłowego w przedsiębiorstwie produkcyjnym. W opracowaniu wzięto pod uwagę cztery różne modele wózków widłowych: model RT 4040 marki Crown, model ECE 225 marki Jungheinrich, model BT Levio Seria S marki Toyota oraz model N20 C LX marki Linde. Wózki widłowe oceniono pod względem ośmiu kryteriów. Należą do nich: długość wideł, wysokość podnoszenia, udźwig, długość całkowita, promień skrętu, pojemność baterii, maksymalna prędkość oraz pozycja kierowania wózkiem. W wyniku przeprowadzonej analizy podjęto decyzję o wyborze modelu wózka marki Crown. Na kolejnych miejscach listy rankingowej uplasowały się kolejno wózki marki Jungheinrich, Toyoty i Linde. Ponadto w artykule szczegółowo opisano procedurę prezentowanej metody.

Słowa kluczowe

metoda AHP, wielokryterialna analiza problemów decyzyjnych, wózek widłowy, transport wewnętrzny

Wstęp

Rozwiązywanie zagadnień wielokryterialnych nazywane jest w literaturze wielokryterialną analizą decyzyjną – MCDA (ang. Multi-Criteria Decision Analysis) lub wielokryterialnym podejmowaniem decyzji – MCDM (ang. Multi-Criteria Decision-Making). Metody MCDA można podzielić ze względu na sposób, w jaki wyrażony jest cel analizy. Pierwszą grupę stanowią metody docelowego wspomaganie decyzji, w których zbiór wariantów jest ciągły i zawiera nieskończoną liczbę wariantów do rozwiązania. Druga grupa to metody wieloatrybutowe wspomaganie decyzji, w których liczba wariantów jest ograniczona, a decyzję podejmuje się na podstawie ustalonych kryteriów. Do tej grupy metod MCDA zalicza się między innymi metodę AHP [Czerwiński, 2020, s. 67].

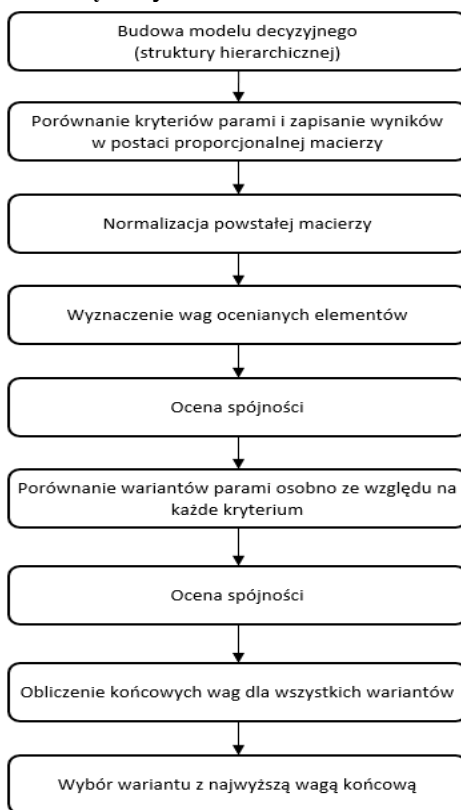
Metoda AHP (ang. Analytic Hierarchy Process) znajduje zastosowanie w podejmowaniu decyzji w wielu dziedzinach, takich jak zarządzanie środowiskiem, ekonomia, inżynieria lub przemysł [Bera i in., 2023, s. 2]. Nowoczesne metody wspomaganie podejmowania decyzji są coraz częściej wykorzystywane także do realizacji procesów logistycznych [Waściński i Bartoszewicz, 2017, s. 13]. Metoda AHP może wspierać przedsiębiorców w podejmowaniu decyzji takich jak wybór optymalnej lokalizacji centra logistycznego [Stević i in., 2015, s. 87], wybór odpowiedniego dostawcy materiału [Hruška i in., 2014, s. 196] lub wybór rodzaju transportu [Kumru i Kumru, 2014, s. 984]. Metoda ta może być zatem wykorzystana także do podjęcia decyzji w kwestii wyboru wózka widłowego.

1. Charakterystyka metody AHP

Metoda AHP została przedstawiona przez T.L. Saaty’ego w 1980 roku i polega na wielokryterialnej analizie problemów decyzyjnych [Bera i in., 2023, s. 1]. Łączy ona ze sobą skomplikowane zagadnienia matematyczne i psychologiczne, przez co jej wykorzystanie jest czasochłonne. Jednakże, liczne zalety metody AHP, takie jak porównywanie par elementów, nadawanie im słownych preferencji czy subiektywne ocenianie eksperckie, przyczyniają się do jej nieustannego rozwoju i wzrostu jej popularności [Stoltmann, 2015, s. 187]. Wyróżnia ją także uniwersalność pod względem kryteriów, ponieważ osoba z niej korzystająca może wziąć pod uwagę zarówno kryteria jakościowe, jak i ilościowe [Cabała, 2018, s. 24]. Po uwzględnieniu mierzalnych i niemierzalnych składników problemu, metoda AHP umożliwia opracowanie rozwiązania ilościowego, które wspomaga proces podejmowania świadomej decyzji. Dzięki tej metodzie badacz dowiadyuje się, która z możliwych decyzji jest najlepsza, ale także rozumie, dlaczego należy ją wybrać.

Metoda AHP jest dynamicznie rozwijającą się metodą matematyczną, dlatego istnieje jej wiele różnych odmian, składających się z nieco różniących się od siebie działań. Jednakże, w ogólnym ujęciu, można wymienić jej pięć elementarnych etapów. Pierwszym z nich jest stworzenie modelu ukazującego strukturę rozpatrywanego problemu decyzyjnego. Model ten ma postać drzewa hierarchii czynników. Następnie, przeprowadza się ocenę modelu hierarchicznego i określa się ważność, czy też istotność poszczególnych kryteriów. Dokonuje się tego poprzez porównanie kryteriów parami, z wykorzystaniem określonej skali rang. W kolejnym kroku metody AHP szacuje się wartości wag dla wszystkich kryteriów. W celu weryfikacji ocen oblicza się współczynnik spójności, a w końcowym kroku przeprowadza się analizę wrażliwości [Górski, 2019, s. 109].

W celu zastosowania metody AHP badacz powinien postępować zgodnie z procedurą badawczą przedstawioną na rysunku 1.



Rys. 1. Etapy metody AHP

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Cabała, 2018, s. 24-28].

Początkowym etapem metody AHP jest stworzenie struktury hierarchicznej problemu decyzyjnego. Cel ogólny projektu umieszcza się na najwyższym poziomie hierarchii. Następnie jest on dekomponowany na poszczególne kryteria oceny wybrane przez decydenta, które stanowią kolejny poziom hierarchii. Hierarchia ta może być wielopoziomowa, ponieważ wybrane kryteria oceny można podzielić na podkryteria, które mogą podlegać następnemu podziałowi. Na najniższym poziomie umieszcza się rozpatrywane warianty decyzyjne [Trzaskalik, 2014, s. 242].

Drugim krokiem metody AHP jest porównanie wszystkich kryteriów wyboru parami, tj. każde z każdym. Pomiar ten ma charakter subiektywny, a w celu jego ujednolicenia stosuje się skalę porównawczą (tab. 1).

Tab. 1. Skala porównań

Ocena słowna	Ocena numeryczna
Jednakowe znaczenie	1
Słaba lub umiarkowana przewaga	3
Duża przewaga	5
Bardzo duża przewaga	7
Absolutna przewaga	9
Oceny pośrednie dla porównań pomiędzy powyższymi	2, 4, 6, 8

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Stoltmann, 2015, s. 187].

Im wyższa jest liczba punktów, tym dane kryterium jest ważniejsze od drugiego. Stosuje się tu jednak zasadę odwrotności preferencji, co oznacza, że jeśli pierwszy element jest istotniejszy od drugiego, to element drugi jest proporcjonalnie mniej istotny od pierwszego. Wyróżnia się trzy możliwe sytuacje:

- pierwszy i drugi element są tak samo ważne (ocena: 1),
- pierwszy element jest istotniejszy od drugiego (ocena: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9),
- drugi element jest istotniejszy od pierwszego (ocena: 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9).

Oceny zapisywane są w postaci proporcjonalnej macierzy kwadratowej $\mathbf{A} = [a_{ij}]$, której elementy stanowią wyrażone liczbowo preferencje.

Kolejnym krokiem w metodzie AHP jest normalizacja macierzy $\mathbf{A}$, czyli przekształcenie jej w macierz $\mathbf{B} = [b_{ij}]$ (wzór 1).

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, \quad (1)$$

gdzie:

n – liczba kryteriów,

a – element macierzy **A**,

b – element macierzy **B**.

Następnie, wyznacza się wagi ocenianych elementów (w_i), które stanowi średnia arytmetyczna wartości w wierszach macierzy **B** (wzór 2).

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n b_{ij}, \quad (2)$$

gdzie:

w – waga elementu,

n – liczba kryteriów,

b – element macierzy **B**.

W celu sprawdzenia rzetelności porównania dokonanego w macierzy **A**, weryfikuje się jego spójność. Do oceny spójności wykorzystuje się dwie miary. Pierwszą z nich jest indeks spójności CI (wzór 3), rosnący wraz ze wzrostem niespójności szacunków.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, \quad (3)$$

gdzie:

CI – indeks spójności,

λ_{max} – maksymalna wartość własna macierzy **A**,

n – liczba kryteriów.

Drugą miarą jest wskaźnik spójności CR (wzór 4), który stanowi stosunek CI do średniej wartości indeksów spójności losowych porównań parami r .

$$CR = \frac{CI}{r} = \frac{\lambda_{max} - n}{r(n - 1)} 100\%, \quad (4)$$

gdzie:

CI – indeks spójności,

r – średnia wartość indeksów spójności losowych porównań parami,

λ_{max} – maksymalna wartość własna macierzy $\mathbf{A}$,
 n – wymiar macierzy.

Oceny eksperta są spójne, jeśli stosunek CR do r jest nie większy niż 0,1. Wartość r jest różna w zależności od wymiaru macierzy n . Przyjmuje się zazwyczaj stabilizowane wartości r (tab. 2).

Tab. 2. Średnia wartość indeksów spójności losowych porównań parami

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
r	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Prusak i in., 2013, s. 179].

Pierwszym krokiem badania spójności jest obliczenie maksymalnej wartości własnej (λ_{max}) macierzy $\mathbf{A}$ (wzór 5).

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{(Aw)_i}{w_i}, \quad (5)$$

gdzie:

n – liczba kryteriów,

w – waga kryterium,

Aw – iloczyn elementu macierzy i wagi.

Kolejnym krokiem metody AHP jest porównanie wariantów parami ze względu na każde kryterium osobno oraz weryfikacja spójności wyników. Obliczeń tych dokonuje się przez zastosowanie takich samych wzorów, których używa się do porównania kryteriów.

Kończącym etapem procedury jest sprawdzenie, który wariant będzie najlepszy, biorąc pod uwagę kryteria i wagi wszystkich elementów struktury hierarchicznej. Decyzji tej dokonuje się na podstawie obliczenia sumy iloczynów wag wszystkich kryteriów i równorzędnym wagom wariantów (wzór 6).

$$u_i = \sum_{j=1}^n w_j v_{ij}, \quad (6)$$

gdzie:

n – liczba kryteriów,

u_i – końcowa waga i -tego wariantu,

w_j – waga j -tego kryterium,

v_{ij} – waga i -tego wariantu względem j -tego kryterium.

Wariant z najwyższą oceną powinien zostać wybrany w procesie decyzyjnym.

2. Zastosowanie metody AHP w świetle literatury

Wielokryterialne podejmowanie decyzji jest zagadnieniem popularnym w literaturze dotyczącej wielu dziedzin, w tym logistyki. Autorzy opisują różne metody MCDM i podają przykłady ich zastosowania.

Przykład wykorzystania metody AHP do optymalizacji procesów decyzyjnych związanych z realizacją przedsięwzięć logistycznych został przedstawiony w artykule D. Skorupki i A. Duchaczka. Autorzy zobrazowali problem wyboru odbudowy mostu w postaci struktury hierarchicznej, przyjmując cztery kryteria oraz cztery warianty rozwiązania problemu. Wszystkie obliczenia oraz porównanie kryteriów zostały wykonane natomiast przy użyciu aplikacji komputerowej. Wyniki przedstawiono w postaci wykresów kołowych, radarowych i słupkowych [Skorupka i Duchaczek, 2010, s. 57-60].

Badaczka A. Czupryna-Nowak zaprezentowała z kolei przykład poszukiwania systemu informatycznego dla przedsiębiorstwa produkcyjno-handlowego. W swojej pracy opisała rozbudowany proces decyzyjny obejmujący siedem kryteriów wyboru oraz pięć wariantów systemu informatycznego. Porównanie kryteriów parami zostało przeprowadzone przez zespół ekspertów przy wykorzystaniu skali od 1 do 9. Następnie, porównano warianty systemów oddzielnie dla każdego z siedmiu kryteriów i obliczono wektor końcowy służący do wyznaczenia hierarchii systemów. Dodatkowo, do każdego porównania wyznaczono wskaźnik zgodności macierzy porównań CI. Przy każdym porównaniu wskaźnik ten miał wartość mniejszą od 0,1, co oznacza, że stałość preferencji nie została naruszona [Czupryna-Nowak, 2016, s. 238-243].

Kolejny przykład zastosowania metody AHP został przedstawiony w artykule A. Czerwińskiego, w którym opracowano ranking kryteriów oceny wiarygodności witryn internetowych. Autor skonstruował strukturę problemu uwzględniając trzy główne kryteria i dwadzieścia jeden subkryteriów. Ze względu na dużą liczbę kryteriów, na schemacie nie pokazano ewaluowanych witryn internetowych stanowią-

cych warianty decyzyjne. W przeprowadzonym badaniu udział wzięło pięciu ekspertów, którzy dokonali porównania kryteriów i subkryteriów parami. Oceny tej dokonano przy pomocy oprogramowania komputerowego. Program obliczył dodatkowo wartość własną macierzy porównań, średni błąd względny wag oraz współczynnik spójności. Po wyznaczeniu wag globalnych i lokalnych, uporządkowano subkryteria ze względu na ich wagę. Następnie, porównane zostały cztery serwisy internetowe, co umożliwiło stworzenie ich hierarchii [Czerwiński, 2020, s. 69-74].

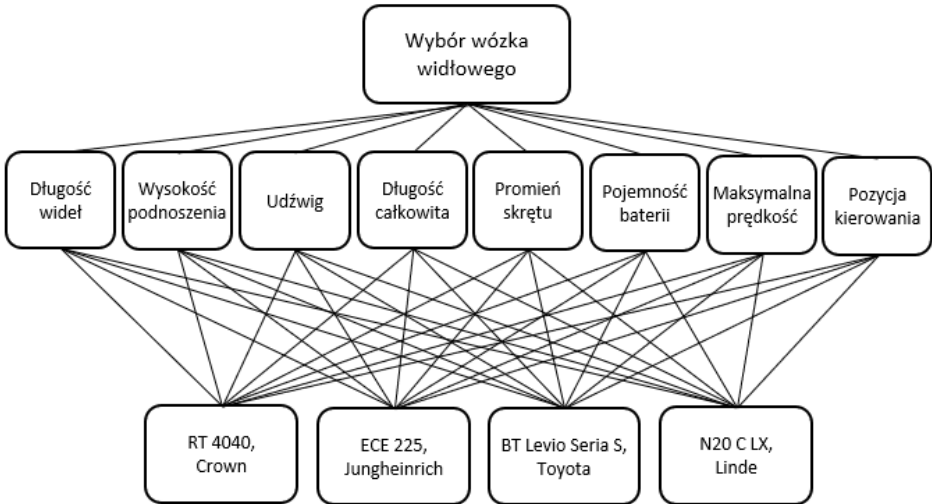
Inny badacz, K. Górski, wykorzystał metodę AHP do wyboru typu gospodarstwa agroturystycznego. W artykule pod uwagę wzięto cztery typy gospodarstw agroturystycznych, dwa kryteria i osiem subkryteriów. Poszczególnym subkryteriom przypisano symbole wykorzystywane do dalszej analizy. Wyznaczono też priorytety lokalne i globalne, a na wykresie przedstawiono wpływ rodzaju gospodarstwa na wartości subkryteriów. Ostateczne wartości priorytetów pokazano w postaci wykresu kolumnowego [Górski, 2019, s. 110-112].

Przytoczone przykłady dotyczą zupełnie innych zagadnień tematycznych, co pokazuje uniwersalność metody. Również schemat przeprowadzenia metody AHP różni się w zależności od tematu i autora badania.

W literaturze brakuje rozbudowanej analizy problemu decyzyjnego, jakim jest wybór wózka widłowego. Zagadnienie to dotyczy jednak dużej liczby przedsiębiorstw produkcyjnych oraz usługowo-handlowych, które wykorzystują środki transportu wewnętrznego.

3. Przykład wykorzystania metody AHP do wyboru wózka widłowego

Problemem decyzyjnym, do którego rozwiązania zaproponowano zastosowanie metody AHP, jest wybór wózka widłowego dla przedsiębiorstwa produkcyjnego. W strukturze hierarchicznej problemu decyzyjnego (rys. 2) uwzględniono osiem kryteriów wyboru oraz cztery warianty wyboru.



Rys. 2. Struktura hierarchiczna problemu wyboru wózka widłowego

Źródło: opracowanie własne.

Na pierwszym poziomie struktury znajduje się cel projektu, czyli wybór wózka widłowego. Drugi poziom składa się z wybranych wcześniej kryteriów, będących jednocześnie cechami charakteryzującymi wózki widłowe. Należą do nich: długość wideł (K1), wysokość podnoszenia (K2), udźwig (K3), długość całkowita (K4), promień skrętu (K5), pojemność baterii (K6), maksymalna prędkość (K7) oraz pozycja kierowania wózkiem (K8). Trzeci poziom struktury stanowią natomiast cztery warianty wózków, wybrane na podstawie przeglądu ofert producentów: model RT 4040 marki Crown (W1), model ECE 225 marki Jungheinrich (W2), model BT Levio Seria S marki Toyota (W3) oraz model N20 C LX marki Linde (W4). Zebrano informacje na temat powyższych modeli pod kątem kryteriów (tab. 3).

Tab. 3. Specyfikacja wózków widłowych

MODEL WÓZKA KRYTERIUM	RT 4040, Crown	BT Levio Serie S, Toyota	ECE 225, Jungheinrich	N20 C LX, Linde
Długość widel	2400 mm	2350 mm	2400 mm	2390 mm
Wysokość podnoszenia	211 mm	235 mm	125 mm	700 mm
Długość całkowita	3306 mm	3224 mm	3670 mm	3764 mm
Udźwig	2t	2t	2,5t	2t
Pojemność baterii	465 Ah	620 Ah	465 Ah	465 Ah
Max prędkość	12,5 km/h	10,5 km/h	12,5 km/h	12 km/h
Promień skrętu	2718 mm	3710 mm	2938 mm	2838 mm
Sposób kierowania	bokiem	bokiem	tyłem	tyłem

Źródło: opracowanie własne na podstawie specyfikacji wózków udostępnionych przez producentów Crown, Toyota, Jungheinrich oraz Linde.

W kolejnym kroku dokonano porównania kryteriów oceny parami, a wyniki zaprezentowano w postaci proporcjonalnej macierzy kwadratowej $A = [a_{ij}]$, którą dla łatwiejszego odbioru zaprezentowano w postaci tabeli (rys. 3).

Kryterium	Długość widel	Wysokość podnoszenia	Długość całkowita	Udźwig	Pojemność baterii	Max prędkość	Promień skrętu	Sposób kierowania
Długość widel	1	7	1	2	5	6	2	2
Wysokość podnoszenia	1/7	1	1/4	1/2	2	2	1/4	1/3
Długość całkowita	1	4	1	2	4	3	1	2
Udźwig	1/2	2	1/2	1	4	6	1/3	1
Pojemność baterii	1/5	1/2	1/4	1/4	1	1/3	1/6	1/5
Max prędkość	1/6	1/2	1/3	1/6	3	1	1/4	1/3
Promień skrętu	1/2	4	1	3	6	4	1	5
Sposób kierowania	1/2	3	1/2	1	5	3	1/5	1
suma	4,01	22,00	4,83	9,92	30,00	25,33	5,20	11,87

Rys. 3. Porównanie kryteriów parami

Źródło: opracowanie własne.

Analizując macierz można stwierdzić przykładowo, że długość wideł (K1) jest tak samo istotna jak długość całkowita wózka (K3), ale nieco istotniejsza od udźwigu (K4). Można również zauważyć, że macierz ta jest kwadratowa, a na jej przekątnej znajdują się elementy równe 1. Ponadto, jest ona proporcjonalna, gdyż wszystkie elementy położone powyżej przekątnej są odwrotnością elementów poniżej niej. Następnym krokiem procedury jest normalizacja macierzy **A**, czyli przekształcenie jej w macierz **B** = [b_{ij}] przy wykorzystaniu wzoru 1.

Macierz **B** (tab. 4), powstała w wyniku ilorazu każdego elementu macierzy i sumy elementów z kolumny, w której się on znajduje.

Tab. 4. Znormalizowana macierz porównań

Kryterium	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
K1	0,25	0,32	0,21	0,20	0,17	0,24	0,38	0,17
K2	0,04	0,05	0,05	0,05	0,07	0,08	0,05	0,03
K3	0,25	0,18	0,21	0,20	0,13	0,12	0,19	0,17
K4	0,12	0,09	0,10	0,10	0,13	0,24	0,06	0,08
K5	0,05	0,02	0,05	0,03	0,03	0,01	0,03	0,02
K6	0,04	0,02	0,07	0,02	0,10	0,04	0,05	0,03
K7	0,12	0,18	0,21	0,30	0,20	0,16	0,19	0,42
K8	0,12	0,14	0,10	0,10	0,17	0,12	0,04	0,08

Źródło: opracowanie własne.

W kolejnym kroku, przy użyciu wzoru 2, wyznaczono wagi ocenianych elementów. W celu wyznaczenia wag kryteriów obliczono najpierw sumy poszczególnych wierszy tabeli, a następnie podzielono je przez osiem, czyli przez liczbę kryteriów. Macierz **B** przedstawiono wraz z obliczonymi wagami kryteriów (tab. 5).

Tab. 5. Wagi poszczególnych kryteriów

Kryterium	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	suma	waga
K1	0,25	0,32	0,21	0,20	0,17	0,24	0,38	0,17	1,93	0,2416
K2	0,04	0,05	0,05	0,05	0,07	0,08	0,05	0,03	0,14	0,0506
K3	0,25	0,18	0,21	0,20	0,13	0,12	0,19	0,17	1,45	0,1816
K4	0,12	0,09	0,10	0,10	0,13	0,24	0,06	0,08	0,94	0,1173
K5	0,05	0,02	0,05	0,03	0,03	0,01	0,03	0,02	0,24	0,0306
K6	0,04	0,02	0,07	0,02	0,10	0,04	0,05	0,03	0,37	0,0457
K7	0,12	0,18	0,21	0,30	0,20	0,16	0,19	0,42	1,79	0,2234
K8	0,12	0,14	0,10	0,10	0,17	0,12	0,04	0,08	0,87	0,1091

Źródło: opracowanie własne.

Z obliczeń wynika, że najwyższą wagę przypisano kryterium K1 (0,2416), zaś następne odpowiednio K7 (0,2234), K3 (0,1816), K4 (0,1173), K8 (0,1091), K2 (0,0506) oraz K6 (0,0457), a najniższa waga została przypisana kryterium K5 (0,0306).

Aby sprawdzić rzetelność porównania dokonanego w macierzy **A**, zweryfikowano jego spójność.

Pierwszym krokiem badania spójności jest obliczenie maksymalnej wartości własnej (λ_{max}) macierzy **A**. Obliczenie λ_{max} rozbito na obliczenie Aw/w , które stanowi sumę iloczynów każdego elementu wiersza i wagi odpowiadającej kolumnie, w której się on znajduje, podzieloną przez wagę odpowiadającą temu wierszowi. Następnie wyznaczono λ_{max} poprzez iloraz sumy Aw/w i liczby kryteriów n , czyli 8. Wyniki tych obliczeń oraz sposób ich wykonania przedstawiono na rys. 4.

$$= (SUMA(C3*SC$12;D3*SD$12;E3*SE$12;F3*SF$12;G3*SG$12;H3*SH$12;I3*SI$12;J3*SJ$12))/K3$$

Kryterium	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	w	Aw/w
K1	1	7	1	2	5	6	2	2	0,2416	
K2	1/7	1	1/4	1/2	2	2	1/4	1/3	0,0506	8,5743
K3	1	4	1	2	4	3	1	2	0,1816	8,6015
K4	1/2	2	1/2	1	4	6	1/3	1	0,1173	8,6143
K5	1/5	1/2	1/4	1/4	1	1/3	1/6	1/5	0,0306	8,2722
K6	1/6	1/2	1/3	1/6	3	1	1/4	1/3	0,0457	8,2132
K7	1/2	4	1	3	6	4	1	5	0,2234	8,9175
K8	1/2	3	1/2	1	5	3	1/5	1	0,1091	8,4732
w	0,2416	0,0506	0,1816	0,1173	0,0306	0,0457	0,2234	0,1091		

$$\lambda_{max} = SUMA(L3:L10)/8 = 8,5472$$

Rys. 4. Obliczenie maksymalnej wartości własnej macierzy **A**

Źródło: opracowanie własne.

DŁUGOŚĆ WIDEŁ	W1	W2	W3	W4
W1	1	5	1	2
W2	1/5	1	1/5	1/3
W3	1	5	1	2
W4	1/2	3	1/2	1

macierz B						
DŁUGOŚĆ WIDEŁ	W1	W2	W3	W4	v	Av/v
W1	0,37	0,36	0,37	0,38	0,3682	4,0061
W2	0,07	0,07	0,07	0,06	0,0705	4,0011
W3	0,37	0,36	0,37	0,38	0,3682	4,0061
W4	0,19	0,21	0,19	0,19	0,1930	4,0034

λ_{max}	4,0042
CI	0,0014
CR	0,0016

WYSOKOŚĆ PODNOSZENIA	W1	W2	W3	W4
W1	1	1/2	3	1/6
W2	2	1	4	1/5
W3	1/3	1/4	1	1/8
W4	6	5	8	1

macierz B						
WYSOKOŚĆ PODNOSZENIA	W1	W2	W3	W4	v	Av/v
W1	0,11	0,07	0,19	0,11	0,1201	4,0306
W2	0,21	0,15	0,25	0,13	0,1866	4,1452
W3	0,04	0,04	0,06	0,08	0,0548	4,0405
W4	0,64	0,74	0,50	0,67	0,6385	4,2763

λ_{max}	4,1232
CI	0,0411
CR	0,0461

DŁUGOŚĆ CAŁKOWITA	W1	W2	W3	W4
W1	1	1/3	3	5
W2	3	1	6	8
W3	1/3	1/6	1	2
W4	1/5	1/8	1/2	1

macierz B						
DŁUGOŚĆ CAŁKOWITA	W1	W2	W3	W4	v	Av/v
W1	0,22	0,21	0,29	0,31	0,2560	4,0546
W2	0,66	0,62	0,57	0,50	0,5871	4,1079
W3	0,07	0,10	0,10	0,13	0,0991	4,0153
W4	0,04	0,08	0,05	0,06	0,0578	4,0132

λ_{max}	4,0477
CI	0,0159
CR	0,0179

UDŹWIG	W1	W2	W3	W4
W1	1	1	1/3	1
W2	1	1	1/3	1
W3	3	3	1	3
W4	1	1	1/3	1

macierz B						
UDŹWIG	W1	W2	W3	W4	v	Av/v
W1	0,17	0,17	0,17	0,17	0,1667	4,0000
W2	0,17	0,17	0,17	0,17	0,1667	4,0000
W3	0,50	0,50	0,50	0,50	0,5000	4,0000
W4	0,17	0,17	0,17	0,17	0,1667	4,0000

λ_{max}	4,0000
CI	0,0000
CR	0

POJEMNOŚĆ BATERII	W1	W2	W3	W4
W1	1	1/4	1	1
W2	4	1	4	4
W3	1	1/4	1	1
W4	1	1/4	1	1

macierz B						
POJEMNOŚĆ BATERII	W1	W2	W3	W4	v	Av/v
W1	0,14	0,14	0,14	0,14	0,1429	4,0000
W2	0,57	0,57	0,57	0,57	0,5714	4,0000
W3	0,14	0,14	0,14	0,14	0,1429	4,0000
W4	0,14	0,14	0,14	0,14	0,1429	4,0000

λ_{max}	4,0000
CI	0,0000
CR	0

MAKSYMALNA PRĘDKOŚĆ	W1	W2	W3	W4
W1	1	4	1	2
W2	1/4	1	1/4	1/3
W3	1	4	1	2
W4	1/2	3	1/2	1

macierz B						
MAKSYMALNA PRĘDKOŚĆ	W1	W2	W3	W4	v	Av/v
W1	0,36	0,33	0,36	0,38	0,3589	4,0290
W2	0,09	0,08	0,09	0,06	0,0819	4,0058
W3	0,36	0,33	0,36	0,38	0,3589	4,0290
W4	0,18	0,25	0,18	0,19	0,2003	4,0189

λ_{max}	4,0207
CI	0,0069
CR	0,0077

PROMIEN SKRĘTU	W1	W2	W3	W4
W1	1	9	6	4
W2	1/9	1	1/3	1/5
W3	1/6	3	1	2
W4	1/4	5	1/2	1

macierz B						
PROMIEN SKRĘTU	W1	W2	W3	W4	v	Av/v
W1	0,65	0,50	0,77	0,56	0,6190	4,4132
W2	0,07	0,06	0,04	0,03	0,0497	4,1771
W3	0,11	0,17	0,13	0,28	0,1703	4,3717
W4	0,16	0,28	0,06	0,14	0,1610	4,0315

λ_{max}	4,2484
CI	0,0828
CR	0,0930

SPOSÓB KIEROWANIA	W1	W2	W3	W4
W1	1	1	5	5
W2	1	1	5	5
W3	1/5	1/5	1	1
W4	1/5	1/5	1	1

macierz B						
SPOSÓB KIEROWANIA	W1	W2	W3	W4	v	Av/v
W1	0,42	0,42	0,42	0,42	0,4167	4,0000
W2	0,42	0,42	0,42	0,42	0,4167	4,0000
W3	0,08	0,08	0,08	0,08	0,0833	4,0000
W4	0,08	0,08	0,08	0,08	0,0833	4,0000

λ_{max}	4,0000
CI	0,0000
CR	0

Rys. 5. Oceny wariantów i badanie ich spójności

Źródło: opracowanie własne.

Z obliczenia CI według wzoru 3 oraz CR według wzoru 4 otrzymano następujące wyniki: $CI = 0,0782$, $CR = 0,0558$. Ze względu na to, że CR jest mniejsze od 0,1 można stwierdzić, że porównania kryteriów są spójne. Kolejnym krokiem metody AHP jest porównanie wariantów parami ze względu na każde kryterium osobno oraz weryfikacja spójności wyników. Obliczeń tych dokonano przez zastosowanie takich samych wzorów, których użyto do porównania kryteriów. Ostateczne wyniki zaprezentowano na rys. 5.

Z rysunku 5 można odczytać przykładowo, że ze względu na kryterium K1, jakim jest długość wideł, najlepsze oceny otrzymały warianty W1 i W3 – mają one taką samą długość wideł równą 2400mm. Wszystkie wyznaczone wskaźniki spójności CR są mniejsze niż 0,1, co oznacza, że macierz porównań parami jest spójna. W przypadku kryteriów K4, K5 oraz K8 maksymalne wartości własne macierzy λ_{max} są równe liczbie wariantów n . Świadczy to o tym, że pomiar elementów jest dokładny. Końcowym etapem wyboru wózka jest sprawdzenie, który model będzie najlepszy biorąc pod uwagę kryteria i wagi wszystkich elementów struktury hierarchicznej. Decyzji tej dokonano po obliczeniu końcowych wag wszystkich wariantów (rys. 6).

waga	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
	0,241604	0,050626	0,18155	0,117306	0,030617	0,045713	0,223436	0,109147

wagi wariantów względem kryteriów									
KRYTERIUM WARIANT	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	końcowa waga
W1	0,3682	0,1201	0,2560	0,1667	0,1429	0,3589	0,6190	0,4167	0,3656
W2	0,0705	0,1866	0,5871	0,1667	0,5714	0,0819	0,0497	0,4167	0,2304
W3	0,3682	0,0548	0,0991	0,5000	0,1429	0,3589	0,1703	0,0833	0,2363
W4	0,1930	0,6385	0,0578	0,1667	0,1429	0,2003	0,1610	0,0833	0,1676

Rys. 6. Obliczenie końcowych wag wariantów

Źródło: opracowanie własne.

Ostatecznie, najwyższą ocenę otrzymał wariant pierwszy (W1), czyli model wózka RT 4040 marki Crown. Następne w kolejności są wózki marki Jungeinrich i Toyota, a na ostatnim miejscu uplasował się wózek N20 C LX marki Linde.

Podsumowanie

W artykule podjęto próbę wykorzystania metody AHP do wyboru wózka widłowego w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Przeprowadzona analiza zagadnienia prezentuje możliwość wykorzystania omawianej procedury do podejmowania decyzji związanej z wyborem infrastruktury logistycznej. Biorąc pod uwagę jej różne modele, dobierając kryteria wraz z ich wagami, możliwa jest budowa obiektywnego rankingu ocenianych środków transportu wewnętrznego, a tym samym podjęcie prawidłowej decyzji przez decydenta. Do zalet metody AHP zalicza się między innymi uniwersalność jej zastosowania, dopuszczalność uwzględnienia wielu kryteriów, zarówno jakościowych jak i ilościowych, oraz możliwość uzasadnienia wyboru dokonanego przez decydenta na podstawie wyniku liczbowego. Metoda ta jest dosyć skomplikowana i nie łatwa do zastosowania, natomiast istnieje wiele narzędzi wspomagających wykonywanie wszelkich obliczeń.

ORCID iD

Marta Jarocka: <https://orcid.org/0000-0002-2610-8007>

Literatura

1. Bera K., Bandyopadhyay J., Banik P. (2023), *Analytic Hierarchy Process (AHP) Applications in Watershed Management Plan, A Case Study of Sub-Watershed*, Analytic Hierarchy Process-Models, Methods, Concepts, and Applications. IntechOpen.
2. Cabała P. (2018), *Proces analitycznej hierarchizacji w ocenie wariantów rozwiązań projektowych*, Przedsiębiorstwo we Współczesnej Gospodarce – Teoria i Praktyka 24(1), s. 23-33.
3. Czerwiński A. (2020), *Zastosowanie metody AHP do tworzenia rankingu kryteriów oceny wiarygodności witryn internetowych*, e-mentor 87(5), s. 64-75.
4. Czupryna-Nowak A. (2016), *Wybór systemu informatycznego metodą AHP*, Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska 96, s. 235-245.
5. Górski K. (2019), *Zastosowanie metody AHP do wyboru typu gospodarstwa agroturystycznego*, Przegląd Budowlany 90(9), s. 108-112.
6. Hruška R., Průša P., Babić D. (2014), *The use of AHP method for selection of supplier*, Transport 29(2), pp. 195-203.
7. Kumru M., Kumru P. Y. (2014), *Analytic hierarchy process application in selecting the mode of transport for a logistics company*, Journal of Advanced Transportation 48(8), pp. 974-999.

8. Skorupka D., Duchaczek A. (2010), *Zastosowanie metody AHP w optymalizacji procesów decyzyjnych związanych z realizacją przedsięwzięć logistycznych*, Zeszyty Naukowe/Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych im. gen. T. Kościuszki 3, s. 54-62.
9. Stević Ž., Vesković S., Vasiljević M., Tepić G. (2015), *The selection of the logistics center location using AHP method*, 2nd Logistics International Conference, pp. 86-91.
10. Stoltmann A. (2015), *Zastosowanie metody AHP do porównania kryteriów wyboru lokalizacji budowy farmy wiatrowej*, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej 42, s. 187-190.
11. Trzaskalik T. (2014), *Wielokryterialne wspomaganie decyzji. Przegląd metod i zastosowań*, Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska 74, s. 239-263.

Application of the AHP method to forklift selection in a manufacturing company

Abstract

The AHP (Analytic Hierarchy Process) method is a tool for multi-criteria analysis of decision-making problems, developed by T.L. Saaty in 1980. This method is universal in terms of criteria, which means that the researcher can take into account both qualitative and quantitative criteria. Once all the components of a complex decision-making problem are considered, it is possible to make an objective decision. The AHP method is used to solve problems in many areas, including logistics.

The main purpose of the work is to indicate the possibility of using the AHP method to select a forklift in a production company. The study took into account four different forklift models: the RT 4040 model by Crown, the ECE 225 model by Jungheinrich, the BT Levio Series S model by Toyota and the N20 C LX model by Linde. Forklifts were assessed against eight criteria. These include: fork length, lifting height, lifting capacity, overall length, turning radius, battery capacity, maximum speed and driving position of the truck. As a result of the analysis, a decision was made to choose the Crown stroller model. The next places on the ranking list were taken by strollers from Jungheinrich, Toyota and Linde. Moreover, the article describes in detail the procedure of the presented method.

Key words

AHP method, multi-criteria analysis of decision problems, forklift, internal transport