



WYZNACZANIE WAG KRYTERIÓW W ZINTEGROWANYCH OCENACH BUDYNKÓW

Aleksander PANEK*, Joanna RUCIŃSKA**

*Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska, Zakład Ciepłownictwa i Gazownictwa
ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa
e-mail: aleksander.panek@is.pw.edu.pl

** Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska, Zakład Klimatyzacji i Ogrzewnictwa
ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa
e-mail: joanna.rucinska@is.pw.edu.pl

Streszczenie: W niniejszym artykule scharakteryzowano metody służące do rozwiązywania problemów wielokryterialnych. Opisano także wybrane metody oceny wpływu budynków na środowisko oraz wagi przyjęte w tych systemach. Z przedstawionego przykładu widać, że istnieje rozbieżność w przyporządkowywaniu wag emisji otrzymywanych na podstawie kosztów emisji i wg metody analizy hierarchicznej.

Słowa kluczowe: analiza hierarchiczna, metody oceny wielokryterialnej

1. WSTĘP

Metody oceny mogą być formułowane jako narzędzia wspomagające decyzje. Ważnym elementem tych metod są odpowiednie wagi. Jeśli udało by się wyrazić wszystkie kryteria (które mogą wspomagać decyzję) w kategoriach ekonomicznych, to wtedy można by zrezygnować z ich ważenia. W takim przypadku na przykład należy umieć wycenić elementy środowiska lub skutki środowiskowe działalności człowieka. Te skutki to np. straty środowiska spowodowane eksploatacją zasobów naturalnych lub emisją zanieczyszczeń. Straty środowiska można wartościować kosztami rekultywacji lub z punktu widzenia człowieka kosztami leczenia lub liczbą dni niezdolności do pracy. Jednak metody waloryzujące środowiskowe skutki nie są powszechnie uznane i zawierają szereg elementów nieobiektywnych globalnie – tzn. mogą być one obiektywne dla danego regionu lub kraju, czyli silnie obciążone kontekstem.

2. PRZYKŁAD METOD WIELOKRYTERIALNYCH WSPOMAGAJĄCYCH DECYZJĘ

Istnieje wiele metod służących do rozwiązywania problemów wielokryterialnych. Poniżej wymieniono i scharakteryzowano niektóre z nich [1].

Metody nie wymagające informacji związanej z preferencjami dotyczącymi atrybutów.

- Metoda dominacji
- MAXIMIN
- MAXIMAX

Metody o zadanym standardowym poziomie atrybutów.

- Metoda grupowania.

W wielu przypadkach dany atrybut nie może być mniejszy od pewnej z góry założonej wielkości. Metoda grupowania polega na eliminacji wariantu w którym atrybut jest większy od założonej wartości. Stosowana jest np. do tworzenia podziałów na kategorie akceptowalne i nieakceptowalne. Metoda ta może być stosowana w hierarchicznym podejmowaniu decyzji w celu wyeliminowania wariantów, które nie mogą być zrealizowane ze względu na przekroczenie pewnych granicznych nieprzekraczalnych wielkości. Wariant usunięty na najniższym poziomie, powinien zostać usunięty z całego procesu decyzyjnego.

- Metoda wydzielenia.

W tej metodzie definiuje się najwyższą wartość atrybutu. Służy ona do wyboru wariantów, w których wartość danego atrybutu jest większa od założonego progu. Może być stosowana np. grupowania lub wstępnej selekcji wariantów.

Metody o porządkowej preferencji dotyczącej atrybutów.

– Metoda leksykograficzna

Metoda polega na uszeregowaniu atrybutów od najważniejszego do najmniej ważnego. Uszeregowanie odbywa się względem przyjętego schematu. Metoda ta może być stosowana do hierarchicznego podejmowania decyzji. Warto zwrócić uwagę, że wagi poszczególnych atrybutów nie muszą mieć postaci numerycznej, wystarczy, aby były uporządkowane.

– Metoda eliminacji

W tej metodzie zakładana jest minimalna wartość każdego atrybutu. Wybierany jest pierwszy atrybut i wszystkie pozostałe z atrybutem o wartości mniejszej niż zadana są usuwane. Wybór atrybutów dokonywany jest losowo. Z tego też powodu metoda może dawać w wyniku alternatywę „gorszą” od wyeliminowanych.

– Metoda permutacji

Metoda permutacji opiera się na zbiorze permutacji wszystkich możliwości. Poszczególnym atrybutom przypisane są wagi. Każdy z elementów zbioru permutacji ma sprawdzaną zgodność z uporządkowaniem i wybierane jest to o najlepszym (w sensie testu zgodności). Metoda permutacji może być zastosowana w hierarchicznym podejmowaniu decyzji jednak jest ona bardzo pracochłonna (wymaga bardzo wielu obliczeń).

Metody o numerycznie określonej preferencji dotyczącej atrybutów

– Metoda przypisania liniowego

Metoda przypisania liniowego polega na przypisaniu ważności alternatywie, odpowiadającej danemu atrybutowi. Następnie wszystkie atrybuty szeregowane są zgodnie z przypisaną rangą i obliczana jest ważona suma poszczególnych rozwiązań.

– Prosta addytywna metoda wagowa

Metoda wymaga dokonania normalizacji macierzy decyzyjnej. Następnie uszeregowanie alternatyw odbywa się poprzez przyporządkowanie każdej z nich sumy ważonej wartości atrybutów odpowiadających danej alternatywie. Może ona być stosowana w hierarchicznym podejmowaniu decyzji. Istnieje także nieliniowa wersja tej metody.

– Wielo-atrybutowa teoria użyteczności (MAUT)

– Metoda hierarchicznego procesu decyzyjnego (AHP)

Metoda hierarchicznego procesu decyzyjnego AHP (ang. Analytic Hierarchy Process) została wprowadzona przez Saaty'ego (1980). Pozwala na utworzenie tablicy decyzyjnej i wektora wag w oparciu o metodę porównywania parami. Obliczenie uszeregowania odbywa się za pomocą prostej addytywnej metody wagowej. Przyjmując odpowiednie założenia można ją stosować w sytuacji grupowego podejmowania decyzji w przypadkach, gdy ekspert odmówi oceny pary alternatyw. Utworzenie tablicy decyzyjnej polega na uszeregowaniu skończonej liczby alternatyw (obiektów) poprzez porównywanie ich parami.

– Metoda ELECTRE

Metoda ELECTRE (fr. Elimination et Choice Translating Reality) opiera się na pojęciu częściowego uporządkowania alternatyw oraz ich porównywaniu parami. Na tej podstawie tworzone są zbiory zgodności i niezgodności. W efekcie otrzymywany jest graf przedstawiający uporządkowanie alternatyw. W szczególnym przypadku można uzyskać uporządkowanie bez preferencji dotyczącej wybranych alternatyw. Ze względu na ten fakt metoda ta nie może być w sposób bezpośredni zastosowana w podejściu hierarchicznym.

– Metoda PROMETHEE

Metoda PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) została opracowana przez Brans, Mareschal w 1986 r. Obejmuje ona określenie funkcji preferencji dla każdego kryterium, wykorzystując informacje na temat różnic w wydajności. Funkcja preferencji opisuje intensywność preferencji opcji A nad opcją B w zależności od różnicy w ocenie tego kryterium. Kryteria wagi mogą być wprowadzone, ale tak jak w metodzie ELECTRE metody te wagi nie stanowią skalowania czynników, ale pewne wyobrażenie o światowym znaczeniu.

3. METODY OCENY BUDYNKÓW I WAGI

BREAM to brytyjski system oceny (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), który znalazł zastosowanie przy ocenie budynków głównie biurowych. Metoda jest powszechnie stosowana jako ocena oddziaływania na środowisko budynków. System został opracowany w Wielkiej Brytanii w roku 1990 w formie opisowych, w większości jakościowych, wytycznych. W swoim założeniu ma on wspierać rozwój przyjaznego środowiska budownictwa, poprzez dostarczanie właścicielom budynków oraz inwestorom informacji o tym, jaki jest wpływ ich budynku na środowisko i gdzie można szukać dróg poprawy aktualnego stanu. Obecnie opracowanych jest kilka wersji metody BREEAM dostosowanych do wybranych typów obiektów, które mogą być zastosowane zarówno do budynków już istniejących, jak też do budynków będących w fazie projektowania. W ocenie budynku wykorzystuje się trzy poziomy oddziaływania na środowisko - globalny, lokalny i wewnętrzny (uwzględniając konstrukcję obiektu, systemy techniczne, a dla istniejących budynków również system zarządzania i obsługi). Działy oraz przyporządkowane im punkty oraz wagi zaprezentowano w tabeli 1.

Tabela 1. Przykładowa tabela z wynikami z metody BREAM
Table 1. Example of BREAM results

Dział BREAM	Osiągnięte punkty	Maksymalna liczba punktów	Współczynnik wagi działu
Zarządzanie	7	11	0,120
Zdrowie i samopoczucie	11	14	0,150
Energia	10	21	0,190
Transport	5	10	0,080
Woda	4	6	0,060
Materiały	6	12	0,125
Odpady	3	7	0,075
Użytkowanie gruntów	4	10	0,100
Zanieczyszczenia	5	12	0,100
Innowacje	1	10	0,100
Wynik oceny BREAM			55,87%
Ocena BREAM			bardzo dobry

CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency) jest japońskim systemem oceny [2]. Powstał jako efekt współpracy pomiędzy rządem, przemysłem oraz środowiskiem naukowym w 2001 r. W ocenie środowiskowej budynku wykonywanej metodą CASBEE uwzględniane są jakość środowiska (Q) oraz wpływ budynku na środowisko zewnętrzne (L). Następnie obliczany jest kompleksowy wskaźnik efektywności ekologicznej (Q/L). Na bazie tej metody stworzono w 2006 r. system oceny oddziaływania, w którym ocenia się grupę budynków. Obecnie system ten może być stosowany do oceny zdefiniowanych celów, planowania, projektowania, budowy i eksploatacji budynków oraz miejskich kompleksów. Podział na działy i współczynniki wagi metody CASBEE znajdują się w tabeli 2.

Tabela 2. Przykładowe współczynniki wagi metody CASBE
Table 2. Example of weighting factors for CASBE method

Dział CASBE	Współczynnik wagi działu
1. Jakość środowiska	
1.1 Komfort, zdrowie i bezpieczne środowisko wewnętrzne	0,450
1.2 Zapewnienie długiej żywotności	0,300
1.3 Tworzenie bogatszego wizerunku i ekosystemu	0,250
2. Zmniejszenie obciążenia środowiska	
2.1 Ochrona energii i wody	0,350
2.2 Oszczędne użytkowanie zasobów i redukcja ilości odpadów	0,350
2.3 Wpływ na środowisko globalne, lokalne oraz otaczające środowisko	0,300

E-audyt to metoda oceny oddziaływania na środowisko E-audyt powstała w wyniku analizy metod ISO, GBC (Green Building Chalange) oraz innych, jako ekspercka propozycja, która mogłaby zostać prototypem oficjalnej metody

służącej do określenia jakości środowiskowej budynków [3]. Metoda ta jest oceną porównawczą w odniesieniu do przyjętego wzorca. Wzorzec stanowi hipotetyczny budynek, tzw. budynek referencyjny zaprojektowany i wykonany zgodnie z obowiązującymi normami i powszechną praktyką budowlaną oraz posiadający takie same parametry (wielkość, kubatura, liczba pomieszczeń i ich przeznaczenie, liczba użytkowników, położenie itp.), jak budynek oceniany. Budynek referencyjny ustalany jest odrębnie dla każdego ocenianego obiektu. Ocena prowadzona w częściach zwanych działami jest trzystopniowa. Najniższy stopień to ocena na poziomie subkryterium, następnie na poziomie kryterium i kategorii, które składają się na ocenę działu. Cechy ujęte we wspólnej składowej są spójne, tzn. dane zebrane na poziomie bardziej szczegółowym są źródłem danych dla poziomu wyższego. Subkryteria odnoszą się do oceny cech na najniższym szczegółowym, poziomie, po znormalizowaniu i przyporządkowaniu im wag są sumowane do poziomu wyższego – poziomu kryterium. W obrębie jednego kryterium mogą znaleźć się subkryteria, które mają te same miana, ale możemy mieć do czynienia z sytuacją, gdy subkryteria podporządkowane jednemu kryterium mają różne jednostki. Żeby możliwe było porównanie takich wartości, dąży się do ujednoczenia danych w obrębie danego poziomu oceny stosując normalizację wartości bezwzględnych oceny, którym przyporządkowuje się wartości z przyjętej skali. W obrębie danego subkryterium lub kryterium mogą znaleźć się takie cechy budynku, których nie obejmuje oceniany projekt. Subkryterium lub kryterium nie podlegające ocenie oznaczone zostaje jako N/R (nie rozpatrywane). Ocena danej składowej przeprowadzana jest przy użyciu odpowiednio dobranej skali, która gwarantuje obiektywność oceny oraz zgodność wyników na poszczególnych poziomach. W tabeli 3 przedstawiono wagi atrybutów oddziaływania na środowisko i mnożniki wagowe emisji zanieczyszczeń z metody E-Audyt.

Tabela 3. Mnożniki wagowe emisji zanieczyszczeń E-Audyt
Table 3. Emission weighting factors for E-Audyt method

Atrybuty	waga	Mnożnik wagowy emisji zanieczyszczeń				
		CO ₂	SO _x	NO _x	Pyły	Metan CFCs, HCFCs
nieodwracalność	0,60	0,50	0,30	0,10	0,10	N/R
czas trwania	0,15	0,40	0,40	0,10	0,10	N/R
zasięg	0,15	0,30	0,30	0,20	0,20	N/R
dynamika	0,10	0,25	0,25	0,25	0,25	N/R
		0,43	0,31	0,13	0,13	

4. STOSOWANIU

Wagi atrybutów oddziaływania na środowisko i mnożniki wagowe emisji zanieczyszczeń z metody E-Audyt zostały wyznaczone przy pomocy analizy hierarchicznej (AHP). Zgodnie z metodą skala oceny musi mieć ustaloną podziałkę. Przyjęta podziałka obejmuje swoim zasięgiem aktualny poziom budownictwa, a także umożliwia ocenę budynków wykraczających poza przyjęte normy i powszechnie stosowane rozwiązania technologiczne. Skala ma zasięg od (-2) do 5 punktów, przy czym (-2) reprezentuje budynek nie spełniający obowiązujących standardów budowlanych, a 5 jest najlepszym z możliwych rozwiązań. Wartość punktowa przypisana do danego subkryterium (lub kryterium) jest następnie ważona i sumowana. Ważenie odbywa się przez pomnożenie wartości punktowej wyznaczonej na skali oceny przez mnożnik wagowy właściwy dla danego kryterium lub danej kategorii. Mnożnik wagowy odpowiada ważności danej cechy, a do jego wyznaczenia wykorzystano metodę analizy hierarchicznej. Mnożnik wagowy wyznaczony zgodnie z zasadami analizy hierarchicznej i służy wprowadzeniu uporządkowania wśród cech. W przykładowej ocenie analizowano następujące atrybuty oddziaływania na środowisko: nieodwracalność, czas trwania, zasięg i dynamika. W przypadku gdy wpływ danej cechy jest nieodwracalny to należy przyjąć wyższą wartość mnożnika wagowego, niż dla tej, której wpływ na środowisko może zostać cofnięty. Wyższa wartość mnożnika wagowego zostanie przypisana do tej cechy, której czas trwania jest dłuższy. Waga atrybutu zasięgu działania zależy od liczebności populacji osób odczuwających negatywny wpływ czynnika na środowisko oraz rozległość oddziaływania (lokalny, regionalny lub globalny). Wyższa wartość mnożnika wagowego przypisana zostanie do tej cechy, której skutki odczuwa więcej osób i której negatywne działanie ma większy zasięg terytorialny. Dynamika działania obrazuje tempo zmiany danej cechy, jej impet do rozprzestrzeniania się i kumulowania negatywnych zmian w środowisku. Wyższy mnożnik wagowy przypadnie w udziale czesze bardziej dynamicznej. Mnożnik wagowy ustalany jest na poziomie kryterium dla ujednoczenia oceny z poziomu subkryterium i na poziomie kategorii do ujednoczenia oceny z poziomu kryterium. Suma wartości poszczególnych mnożników wagowych w obrębie kryterium lub kategorii zawsze wynosi jeden. Nie ustalamy mnożnika wagowego dla składowych zdefiniowanych jako nie rozpatrywane (N/R).

Procedura wyznaczania wag w metodzie AHP jest następująca:

- budowa schematu oceny (podział na kategorie (poziom 0, kryteria (poziom 1) i subkryteria (poziom 2)) (rysunek 1),
- stworzenie tabel służących do porównania kryteriów i subkryteriów,
- ekspercka ocena poszczególnych kryteriów względem wyznaczonego celu,

- normalizacja elementów tabeli,
- obliczenie wag na podstawie macierzy znormalizowanej (średnia arytmetyczna z wierszy),
- utworzenie tablicy z wynikami oceny.



Rys. 1. Schemat oceny

Fig. 1. Rating scheme

Wyznaczone przez ekspertów wagi atrybutów zapisywane zostały w macierzy porównań metody AHP (tabela 4). Elementy leżące na przekątnej macierzy są jedynekami, ponieważ ocena atrybutów względem nich samych wynosi 1. Macierz jest także odwrotnie symetryczna.

Tabela 4. Macierz porównań

Table 4. Comparisons matrix

atribut	nieodwracalność	czas trwania	zasięg	dynamika
nieodwracalność	1	4	5	5
czas trwania	0,25	1	1	2
zasięg	0,2	1	1	2
dynamika	0,2	0,5	0,5	1

W uproszczonej metodzie AHP po stworzeniu macierzy priorytetów dokonuje się normalizacji wyników w kolumnach (czyli po podzieleniu danego elementu macierzy przez sumę elementów w danej kolumnie). Następnie znormalizowane wartości sumuje się po wierszach i wyliczana jest średnia w wierszu. Średnia ta jest wagą danego kryterium. Przykład macierzy znormalizowanej przypadku z tabeli 4 zamieszczono w tabeli 5.

Tabela 5. Macierz znormalizowana

Table 5. Normalized matrix

	nieodwracalność	czas trwania	Zasięg	dynamika	waga
nieodwracalność	0,61	0,62	0,67	0,5	0,60
czas trwania	0,15	0,15	0,13	0,2	0,15
zasięg	0,12	0,15	0,13	0,2	0,15
dynamika	0,12	0,08	0,07	0,1	0,10

W niniejszej pracy wskaźniki wyznaczone metodą AHP porównano z wartościami uzyskanymi przy pomocy kryterium kosztów. Przeanalizowano emisję zanieczyszczeń powstających w wyniku spalania węgla, biomasy, oleju oraz gazu dla kotła o mocy 30 kW o zadanej sprawności.

Dane przedstawiono w tabeli 6. Wskaźniki emisji zanieczyszczeń poszczególnych paliw znajdują się w tabeli 7.

Tabela 6. Zapotrzebowanie na ciepło
Table 6. Heating demand

Nośnik energii	Moc kotła	Sprawność kotła	Czas	Ciepło
	kW	-	h	GJ
węgiel	30	0,82	2000	263,4
biomasa	30	0,6	2000	360,0
olej	30	0,86	2000	251,2
gaz	30	0,86	2000	251,2

Tabela 7. Wskaźniki emisji zanieczyszczeń w kg/GJ
Table 7. Pollutant emission factors in kg/GJ

Nośnik energii	jednostka	CO ₂	SO _x	NO _x	Pyły
węgiel	kg/GJ	100,00	0,35	0,70	0,05
biomasa	kg/GJ	110,0	0,0	0,1	0,1
olej opałowy	kg/GJ	77,0	0,1	0,3	0,0
gaz ziemny	kg/GJ	56,0	0,0	0,0	0,0

Na podstawie danych obliczono całkowitą emisję zanieczyszczeń w kg (tabela 8).

Tabela 8. Emisja
Table 8. Emission

Nośnik energii	jednostka	CO ₂	SO _x	NO _x	Pyły
węgiel	kg	26341,5	92,2	184,4	13,2
biomasa	kg	39600,0	5,4	32,4	18,0
olej opałowy	kg	19339,5	25,1	75,3	0,0
gaz ziemny	kg	14065,1	0,6	11,8	2,2

Koszty całkowite emisji zanieczyszczeń obliczono na podstawie stawki opłat za gazy lub pyły wprowadzane do powietrza (tabela 9) przyjęte z obwieszczenia Ministra Środowiska z 4 października 2010 r. w sprawie wysokości stawek opłat za korzystanie ze środowiska na rok 2011 (M.P. Nr 74, poz. 945) (Tabela G). Całkowite koszty zamieszczono w tabeli 10.

Tabela 9. Jednostkowe stawki opłat za gazy lub pyły wprowadzane do powietrza
Table 9. Charges for gas and dust emission

Zanieczyszczanie	CO ₂	SO _x	NO _x *	Pyły
zł/kg	0,00026	0,48	0,48	0,32

* w przeliczeniu na NO₂

Tabela 10. Opłaty za emisję zanieczyszczeń
Table 10. Gas and dust emission fee

Nośnik energii	jednostka	CO ₂	SO _x	NO _x	Pyły	Koszty całkowite
węgiel	zł	6,8	44,3	88,5	4,2	143,8
biomasa	zł	10,3	2,6	15,6	5,8	34,2
olej opałowy	zł	5,0	12,1	36,2	0,0	53,3
gaz ziemny	zł	3,7	0,3	5,7	0,7	10,3

Na podstawie danych z tabeli 10 obliczono procentowy udział opłat za emisję danego zanieczyszczenia powstałego w wyniku spalania węgla, biomasy, oleju opałowego oraz gazu i porównano z wartościami uzyskanymi przez ekspertów w metodzie E-Audyt (tabela 11).

Tabela 11. Udział opłat za emisję zanieczyszczeń
Table 11. Share of emission fees

Nośnik energii	CO ₂	SO _x	NO _x	Pyły
węgiel	4,80%	30,80%	61,50%	2,90%
biomasa	30,10%	7,60%	45,50%	16,80%
olej opałowy	9,40%	22,60%	67,90%	0,00%
gaz ziemny	35,40%	2,80%	54,90%	6,90%
Średnia	19,93%	15,95%	57,45%	6,65%
Metoda E-Audyt (tabela 3)	43,00%	31,00%	13,00%	13,00%

5. WNIOSKI

Opłaty za wprowadzanie do atmosfery substancji szkodliwych publikowane w rozporządzeniu Ministra Środowiska powinny być określone na podstawie szacunków kosztów przeciwdziałania i usuwania skutków tych emisji. Opłaty takie dotyczą w większości wytwórców energii elektrycznej i ciepła, znaczących emitentów zanieczyszczeń.

Z przedstawionej analizy wynika, że istnieje rozbieżność w przyporządkowywaniu wag emisji otrzymywanych na podstawie kosztów emisji i wg metody AHP. Rozbieżność ta może być spowodowana faktem niecałkowitego uwzględniania skutków środowiskowych w wysokości opłat zgodnie z rozporządzeniem, lub obciążenia opinii ekspertów na przykład naciskami różnych grup interesów.

Należałoby sprawdzić czy w innych krajach europejskich otrzymamy podobne wagi zanieczyszczeń jak w Polsce. Jeśli tak to oznaczałoby konieczność weryfikacji dotychczas przyjmowanych wartości wag i to nie tylko w metodzie E-Audyt, ale również w innych powszechnie stosowanych.

Do analizy w zależności od paliwa jakie jest zużywane w obiekcie na potrzeby ogrzewania mogą być stosowane wartości wag określone w Tabeli 11. Należy uwzględnić, że ważenie odnosi się do zużycia wyrażonego w energii końcowej.

DETERMINING OF WEIGHTS CRITERIA OF INTEGRATED BUILDING EVALUATIONS

Summary: This paper presents the methods for solving multicriteria problems, methods of assessment for building environment efficiency and the weights for these systems. The example shows that there is a discrepancy in attributing emissions weights based on the cost issue and according to the method of analytical hierarchy process.

Literatura

- [1] *Inger Andersen*, Multi-criteria decision-making. A survey of Methods., 1999
 - [2] CASBEE, Technical Manual 2007
 - [3] *Aleksander Panek*, Holistyczna metoda oceny oddziaływania obiektów budowlanych na środowisko naturalne uwzględniająca zasady rozwoju zrównoważonego, Raport końcowy projektu 8 T07G 004 21, 2005
- Determining of weights criteria of integrated building evaluations