

dr inż. Arkadiusz Węglarz*

Narzędzia wspomagające proces rewitalizacji budynków publicznych zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju

Obecnie przychodzi czas na szersze działania remontowe mające wpływ na zmianę oddziaływania modernizowanego budynku na środowisko i poprawę warunków życia społeczeństwa, czyli zrównoważony rozwój. W procesach rewitalizacyjnych w okresie początkowym wzorcową rolę będzie odgrywał sektor publiczny po stronie inwestora, a małe i średnie przedsiębiorstwa po stronie wykonawców robót budowlanych. Warto, aby wykonawcy i projektanci mieli odpowiednie narzędzia wspomagające. W artykule zaprezentuję propozycje dwóch procedur, które powinny znaleźć praktyczne zastosowanie w biurach projektowych oraz w firmach przygotowujących wnioski do funduszy celowych na sfinansowanie ekologicznej rewitalizacji.

Procedura zastępowania typowych materiałów i wyrobów budowlanych używanych podczas remontu materiałami „przyjaznymi” dla człowieka i środowiska. Proponowana ekologiczna ocena materiałów budowlanych użytych w procesie rewitalizacji polega na wykonaniu szczegółowych ocen wg następujących kryteriów środowiskowo-zdrowotnych:

- kryterium I – Wykorzystanie surowców naturalnych (tabela 1);
- kryterium II – Poziom toksycznej emisji do środowiska w fazie produkcji (tabela 2);
- kryterium III – Zużycie energii końcowej w cyklu życia materiału (tabela 3);
- kryterium IV – Zużycie paliw kopalnych w procesie produkcji materiału (tabela 4);
- kryterium V – Bezpieczeństwo biologiczne (tabela 5);
- kryterium VI – Oszczędność energii w okresie eksploatacji obiektu z użytym materiałem (tabela 6);

Tabela 1. Kryterium I – Wykorzystanie surowców naturalnych

Wartość kryterium oceny	Ocena
Do produkcji materiału użyto wyłącznie surowców odnawialnych	5
Do produkcji materiału użyto 75% surowców odnawialnych możliwych do odzyskania	4
Do produkcji materiału użyto 50% surowców odnawialnych możliwych do odzyskania	3
Do produkcji materiału użyto 50% surowców odnawialnych niemożliwych do odzyskania	2
Do produkcji materiału użyto surowców nieodnawialnych niemożliwych do odzyskania	1
Do produkcji materiału użyto wyłącznie surowców nieodnawialnych, niemożliwych do odzyskania z dużą ilością odpadów produkcyjnych	0

* Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, KAPE S.A.

Tabela 2. Kryterium II – Poziom toksycznej emisji do środowiska w fazie produkcji

Wartość kryterium oceny	Ocena
Brak toksycznej emisji do środowiska w każdej fazie produkcji	5
Poziom toksycznej emisji do środowiska w wysokości 25% wartości dopuszczalnej przez przepisy krajowe	4
Poziom toksycznej emisji do środowiska w wysokości 50% wartości dopuszczalnej przez przepisy krajowe	3
Poziom toksycznej emisji do środowiska w wysokości 75% wartości dopuszczalnej przez przepisy krajowe	2
Poziom toksycznej emisji do środowiska w wysokości około 100% wartości dopuszczalnej przez przepisy krajowe	1
Możliwość znacznej wielkości toksycznej emisji w czasie awarii linii produkcyjnej	0

Tabela 3. Kryterium III – Zużycie energii końcowej w cyklu życia materiału

Wartość kryterium oceny	Ocena
Na poziomie najniższym dla danej klasy materiałów	5
Na poziomie o 80% niższym od poziomu referencyjnego dla danej klasy materiałów	4
Na poziomie o 60% niższym od poziomu referencyjnego dla danej klasy materiałów	3
Na poziomie o 40% niższym od poziomu referencyjnego dla danej klasy materiałów	2
Na poziomie o 20% niższym od poziomu referencyjnego dla danej klasy materiałów	1
Na poziomie najwyższym dla danej klasy materiałów – referencyjnym	0

Tabela 4. Kryterium IV – Zużycie paliw kopalnych w procesie produkcji materiału

Wartość kryterium oceny	Ocena
Proces produkcyjny nie wymaga zużycia paliw kopalnych	5
20% paliw użytych w procesie produkcyjnym to paliwa kopalne	4
40% paliw użytych w procesie produkcyjnym to paliwa kopalne	3
60% paliw użytych w procesie produkcyjnym to paliwa kopalne	2
80% paliw użytych w procesie produkcyjnym to paliwa kopalne	1
100% paliw użytych w procesie produkcyjnym to paliwa kopalne	0

- kryterium VII – Poziom zużycia wody w procesie produkcyjnym i wbudowywania materiału (tabela 7);
- kryterium VIII – Trwałość materiału (tabela 8);
- kryterium IX – Zachowanie materiału w przypadku katastrofy (tabela 9);
- kryterium X – Odzysk materiału (tabela 10);
- kryterium XI – Minimalizacja odpadów przy wbudowywaniu (tabela 11);
- kryterium XII – Składowanie odpadów (tabela 12).

Tabela 5. Kryterium V – Bezpieczeństwo biologiczne

Wartość kryterium oceny	Ocena
Brak zagrożeń biologicznych podczas produkcji i po wbudowaniu materiału, pozytywny wpływ na samopoczucie i zdrowie człowieka	5
Brak zagrożeń biologicznych podczas produkcji i po wbudowaniu materiału	4
Brak zagrożeń biologicznych po wbudowaniu materiału	3
Brak zagrożeń biologicznych podczas produkcji	2
Dopuszczalne zagrożenia w wyniku niewłaściwego użytkowania materiału	1
Możliwość wystąpienia zagrożeń biologicznych	0

Tabela 6. Kryterium VI – Oszczędność energii w okresie eksploatacji obiektu z użytym materiałem

Wartość kryterium oceny	Ocena
Najwyższa w danej klasie materiałów o tej samej grubości	5
Wyższa o 80% niż najniższa w danej klasie materiałów o tej samej grubości	4
Wyższa o 60% niż najniższa w danej klasie materiałów o tej samej grubości	3
Wyższa o 40% niż najniższa w danej klasie materiałów o tej samej grubości	2
Wyższa o 20% niż najniższa w danej klasie materiałów o tej samej grubości	1
Najniższa w danej klasie materiałów o tej samej grubości	0

Tabela 7. Kryterium VII – Poziom zużycia wody w procesie produkcyjnym i wbudowywania materiału

Wartość kryterium oceny	Ocena
Proces produkcyjny nie wymaga zużycia wody	5
Zużycie wody na poziomie o 75% niższym od poziomu średniego dla danej grupy materiałów	4
Zużycie wody na poziomie o 50% niższym od poziomu średniego dla danej grupy materiałów	3
Zużycie wody na poziomie o 25% niższym od poziomu średniego dla danej grupy materiałów	2
Zużycie wody na poziomie średnim dla danej grupy materiałów	1
Zużycie wody na poziomie o 25% wyższym od poziomu średniego dla danej grupy materiałów	0

Tabela 8. Kryterium VIII – Trwałość materiału

Wartość kryterium oceny	Ocena
Żywotność materiału ponad 50 lat bez utraty właściwości, możliwość powtórnego stosowania	5
Żywotność materiału od 30 do 50 lat bez utraty właściwości, możliwość powtórnego stosowania	4
Żywotność materiału od 30 do 50 lat bez utraty właściwości, bez możliwości powtórnego stosowania	3
Żywotność materiału od 20 do 30 lat bez utraty właściwości, możliwość powtórnego stosowania	2
Żywotność materiału od 20 do 30 lat bez utraty właściwości, bez możliwości powtórnego stosowania	1
Żywotność materiału poniżej prostego okresu zwrotu nakładów na niego poniesionych	0

W procesie oceny konkretnego materiału budowlanego przyporządkowana jest mu wartość liczbowa w skali 0 – 5 punktów.

Procedura zastępowania istniejących materiałów materiałami ekologicznymi polega na: ocenie zastępowanego materiału wg wyżej wymienionych kryteriów, wyborze kilku

Tabela 9. Kryterium IX – Zachowanie materiału w przypadku katastrofy

Wartość kryterium oceny	Ocena
Materiał niepalny, nieulegający rozkładowi podczas powodzi lub huraganu	5
Materiał palny (nierozprzestrzeniający ognia), nieulegający rozkładowi podczas powodzi lub huraganu, brak zagrożenia toksyczną emisją	4
Materiał palny, ale brak zagrożenia toksyczną emisją	3
Materiał niepalny, ulegający rozkładowi podczas powodzi lub huraganu	2
Materiał palny, nieulegający rozkładowi podczas powodzi lub huraganu, istnieje możliwość zagrożenia toksyczną emisją	1
Materiał palny, ulegający rozkładowi podczas powodzi lub huraganu, występuje toksyczna emisja w czasie pożaru lub powodzi	0

Tabela 10. Kryterium X – Odzysk materiału

Wartość kryterium oceny	Ocena
Łatwy demontaż lub rozbiórka, z możliwością powtórnego użycia materiałów rozbiórkowych	5
Demontaż lub rozbiórka za pomocą narzędzi elektrycznych z możliwością powtórnego użycia materiałów rozbiórkowych	4
Demontaż lub rozbiórka za pomocą narzędzi elektrycznych bez możliwości powtórnego użycia materiałów rozbiórkowych, ale z możliwością wykorzystania odpadów	3
Demontaż lub rozbiórka za pomocą narzędzi elektrycznych bez możliwości powtórnego użycia materiałów rozbiórkowych	2
Trudny demontaż lub rozbiórka z koniecznością użycia ciężkiego sprzętu zażywającego znaczne ilości energii lub paliwa, z możliwością powtórnego użycia materiałów rozbiórkowych	1
Trudny demontaż lub rozbiórka z koniecznością użycia ciężkiego sprzętu zażywającego znaczne ilości energii lub paliwa, bez możliwości powtórnego użycia materiałów rozbiórkowych	0

Tabela 11. Kryterium XI – Minimalizacja odpadów przy wbudowaniu

Wartość kryterium oceny	Ocena
Technologia bezodpadowa	5
Około 5% zakupionego materiału stanowi odpad powstały w procesie budowy	4
Około 10% zakupionego materiału stanowi odpad powstały w procesie budowy	3
Około 20% zakupionego materiału stanowi odpad powstały w procesie budowy	2
Około 25% zakupionego materiału stanowi odpad powstały w procesie budowy	1
Ponad 30% zakupionego materiału stanowi odpad powstały w procesie budowy	0

Tabela 12. Kryterium XII – Składowanie odpadów w zwykłych warunkach bez konieczności tworzenia specjalnych składowisk

Wartość kryterium oceny	Ocena
Brak konieczności składowania odpadów	5
Możliwość wykorzystania odpadów w procesie produkcyjnym tego samego materiału	4
Możliwość wykorzystania odpadów w procesie produkcyjnym innych materiałów	3
Składowanie odpadów w zwykłych warunkach bez konieczności tworzenia specjalnych składowisk	2
Składowanie odpadów w zwykłych nietypowych warunkach (opakowania) bez konieczności tworzenia specjalnych składowisk	1
Składowanie odpadów w warunkach specjalnych z koniecznością tworzenia specjalnych składowisk	0

wariantów materiałowych, które mogą zastąpić dany materiał oraz dokonaniu porównań i wyborze materiału o najwyższej ocenie (istnieje możliwość nadania wag dla każdego kryterium). Opracowano odpowiedni arkusz kalkulacyjny w programie Excel. W celu przedstawienia działania procedury oceny materiału w tabeli 13 porównano cegłę pełną ceramiczną z cegłą pełną silikatową.

Tabela 13. Porównanie cegły pełnej ceramicznej z cegłą pełną silikatową

Kryteria	Wagi	Cegła pełna ceramiczna	Cegła pełna silikatowa
Kryterium I – Wykorzystanie surowców naturalnych	0,1	1	1
Kryterium II – Poziom toksycznej emisji do środowiska w fazie produkcji	0,05	2	3
Kryterium III – Zużycie energii końcowej w cyklu życia materiału	0,1	2	4
Kryterium IV – Zużycie paliw kopalnych w procesie produkcji materiału	0,05	1	1
Kryterium V – Bezpieczeństwo biologiczne	0,1	5	5
Kryterium VI – Oszczędność energii w okresie eksploatacji obiektu z użytym materiałem	0,1	1	1
Kryterium VII – Poziom zużycia wody w procesie produkcyjnym i wbudowywania materiału	0,1	1	1
Kryterium VIII – Trwałość materiału	0,1	5	5
Kryterium IX – Zachowanie materiału w przypadku katastrofy	0,1	5	5
Kryterium X – Odzysk materiału	0,1	4	4
Kryterium XI – Minimalizacja odpadów przy wbudowaniu	0,05	3	3
Kryterium XII – Składowanie odpadów	0,05	3	3
Ocena łączna	1	2,85	3,1

Źródło: Obliczenia własne

Procedura wyboru najlepszych rozwiązań technicznych i organizacyjnych w procesie rewitalizacji budynku. Przy wyborze najlepszych rozwiązań technicznych i organizacyjnych w procesie rewitalizacji budynku wykorzystuje się metodę optymalizacji wielokryterialnej. Wielokryterialne zadanie optymalizacyjne będzie rozwiązywane metodą sumy ważonej, czyli przez sprowadzenie go do zadania jednokryterialnego dzięki nadaniu wag poszczególnym kryteriom cząstkowym. Suma wag powinna wynosić 1. Algorytm wyboru najlepszych rozwiązań technicznych i organizacyjnych w procesie rewitalizacji budynku składa się z:

■ **krok 1: określenie listy rozważanych działań rewitalizacyjnych w budynku i jego otoczeniu. Oto przykładowa lista działań:**

- prace konserwatorskie, odnawianie fasad i dachów budynku o wartości architektonicznej;
- termomodernizacja budynku;
- modernizacja oświetlenia wewnętrznego;
- remont, przebudowa instalacji w budynku: grzewczych, elektrycznych, gazowych i wodno-kanalizacyjnych;
- adaptacja pomieszczeń budynku na cele edukacyjne;
- adaptacja pomieszczeń budynku na cele usługowe (biurowe);

- adaptacja budynku na cele kulturalne (biblioteka + galeria sztuki);
- zagospodarowanie przyległego terenu (budowa, remont, przebudowa małej architektury, ogrodzeń);
- wyburzenie budynku;

■ **krok 2: ustalenie kryteriów cząstkowych optymalizacji, którymi mogą być:**

- oszczędność energii pierwotnej;
- zmniejszenie emisji CO₂ w cyklu życia budynku;
- minimum kosztów eksploatacyjnych budynku;
- minimum odpadów powstających w procesie eksploatacji obiektu;
- estetyka budynku (ocena ekspertów);
- minimum interwencji w konstrukcję;
- maksymalny poziom wykorzystanie materiałów z recyklingu;

■ **krok 3: ustalenie ograniczeń w przypadku funkcji kryteriów**, np. koszt inwestycji nie może przekroczyć określonej kwoty 10 mln zł;

■ **krok 4: wyznaczenie zbioru rozwiązań dopuszczalnych.** Określone są rozwiązania dopuszczalne spełniające ograniczenie funkcji kryterium, np. warianty inwestycji, dla których łączny koszt jest mniejszy lub równy wartości określonej w kroku 3. (10 mln zł);

■ **krok 5: obliczenie wartości funkcji kryteriów dla wszystkich wariantów rozwiązań dopuszczalnych;**

■ **krok 6: normalizacja wartości funkcji kryteriów.** Ponieważ każda z funkcji kryterium (f_1, \dots, f_n) określana jest w innej jednostce miary, aby wyznaczyć minimum lub maksimum funkcji, ich wartości muszą być bezwymiarowe. Normalizacji wartości funkcji kryteriów można dokonać, dzieląc wartości funkcji przez największą wartość dla danej funkcji kryterium;

■ **krok 7: określenie wartości wag dla zastosowanych kryteriów.** Aby obliczyć, który wariant jest najlepszy wg przyjętych kryteriów, należy ustalić wagi (w_1, \dots, w_n), których suma wszystkich wag jest zawsze równa 1;

■ **krok 8: obliczenie sum ważonych dla rozwiązań dopuszczalnych;** dla każdego wariantu inwestycji oblicza się je wg wzoru: $\text{suma}_i = w_1 \cdot f_{1i} + \dots + w_n \cdot f_{ni}$;

■ **krok 9: wybór optymalnego rozwiązania spośród rozwiązań dopuszczalnych.** Ostatecznie zagadnienie optymalizacji sprowadza się do wyznaczenia minimum lub maksimum funkcji $F = \min(\text{suma}_1, \dots, \text{suma}_n)$ i wyboru wariantu inwestycji odpowiadającego określonej wartości suma_i .

Przykład zastosowania procedury wyboru najlepszych rozwiązań technicznych i organizacyjnych w procesie rewitalizacji budynku publicznego. Ze względu na niż demograficzny zlikwidowano szkołę podstawową. Inwestor rozważa zmianę funkcji budynku szkoły na: wariant I – budynek mieszkalny, wariant II – przychodnię lekarską, wariant III – ośrodek kultury, wariant IV – budynek biurowy. Przyjęto następujące kryteria cząstkowe optymalizacji:

- I – minimum interwencji w konstrukcję budynku określanych przez projektanta w kolejności wariantów od najmniejszej interwencji w konstrukcję istniejącego budynku – ocena 1, do największych zmian w konstrukcji – ocena 4;
- K – minimalny koszt rewitalizacji budynku, (PLN);
- O – minimalna ilość odpadów komunalnych powstających (miesięcznie) w procesie eksploatacji budynku (Mg/miesiąc);
- P – maksimum preferencji inwestora określanych przez niego w kolejności wariantów od najbardziej preferowanych

CANASTOL

Woda pod kontrolą



- środki hydrofobizujące do układów cementowych (tynki, zaprawy klejowe, szpachle)
- redukcja wykwitów (tynki, fugi)
- optymalizacja kosztów związanych z hydrofobizacją układu

RETENMAIER Polska Sp. z o.o.  Włókna prosto z natury

www.jrs.pl

Al. Jerozolimskie 181, Ochota Office Park, 02-222 Warszawa
tel. centrala: (022) 608 51 00, fax: (022) 608 51 51 • www.jrs.pl

(ocena 1) do najmniej pożądanego (ocena 4). Przez zastosowanie takiego sposobu oceny zagadnienie maksymalizacji preferencji inwestora sprowadza się do minimalizacji funkcji oceny.

Wyniki oceny wg kryteriów: E, K, O, P dla wszystkich wariantów rewitalizacji budynku szkoły zestawiono w tabeli 14. Dokonano normalizacji przez ustawienie wariantów w zależności od wartości poszczególnych funkcji kryterium: przypisując im kolejność od 1 do 4. Wyniki normalizacji zestawiono w tabeli 15.

Tabela 14. Warianty rewitalizacji budynku szkoły

Wariant	Opis wariantu	I [ocena eksperta]	K [PLN]	O [Mg]	P [ocena eksperta]
I	Budynek mieszkalny	3	8 000 000	2	2
II	Przychodnia lekarska	4	10 000 000	2,7	3
III	Ośrodek kultury	1	4 000 000	1,5	4
IV	Budynek biurowy	2	6 000 000	2,5	1

Źródło: Obliczenia własne

Tabela 15. Wyniki normalizacji

Wariant	Opis wariantu	I	K	O	P
I	Budynek mieszkalny	3	3	2	2
II	Przychodnia lekarska	4	4	4	3
III	Ośrodek kultury	1	1	1	4
IV	Budynek biurowy	2	2	3	1

Źródło: Obliczenia własne

Ostatecznie zagadnienie optymalizacji sprowadza się do wyznaczenia minimum funkcji:

$$F = w_1 * I(\text{wariant}) + w_2 * K(\text{wariant}) + w_3 * O(\text{wariant}) + w_4 * P(\text{wariant})$$

gdzie:

w_1, \dots, w_4 – wagi ustalane przez projektanta i inwestora spełniające warunek: $w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$ oraz wartości funkcji cząstkowych kryteriów: I (wariant), K (wariant), O (wariant), P (wariant) podane dla każdego wariantu techniczno-materiałowego rewitalizacji budynku w tabeli 15.

W tabeli 16 pokazano sposób rozwiązania zadania optymalizacji wielokryterialnej metodą sumy ważonej. Wariantem optymalnym wyznaczonym zgodnie z algorytmem metody sumy ważonej jest wariant III, czyli inwestor powinien przebudować budynek szkoły na ośrodek kultury.

Tabela 16. Wyznaczenie wariantu optymalnego metodą sumy ważonej

Wariant	Opis wariantu	I	K	O	P	Ocena wariantów (F)	Uzeregowanie wariantów
I	Budynek mieszkalny	3	3	2	2	2,6	3
II	Przychodnia lekarska	4	4	4	3	3	4
III	Ośrodek kultury	1	1	1	4	1,4	1
IV	Budynek biurowy	2	2	3	1	1,6	2
	Wagi – stopień ważności kryterium	0,2	0,4	0,2	0,2		

Źródło: Obliczenia własne

Artykuł powstał w ramach projektu „Naukowcy dla gospodarki Mazowska” współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.