

Metodologia zrównoważonej oceny efektywności kosztowej dla programów wsparcia transformacji energetycznej





Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A. (KAPE) jest firmą konsultingową działającą w obszarze efektywnego zarządzania energią. Na rynku istnieje od 1994 roku. Firma oferuje m.in. kompleksowe, niezależne doradztwo w zakresie optymalizacji produkcji i zużycia energii oraz wykonuje audyty dla branży przemysłowej i budownictwa. Prowadzi krajowe i międzynarodowe projekty edukacyjne oraz świadczy usługi dla jednostek samorządu terytorialnego, związane z realizacją gospodarki niskoemisyjnej. KAPE promuje europejskie standardy w zakresie prawidłowego gospodarowania energią oraz wspiera przedstawicieli biznesu we wdrażaniu strategii dekarbonizacji.



Projekt Ensmov PLUS wspomaga kraje członkowskie Unii Europejskiej w monitorowaniu, zmienianiu, udoskonalaniu i wdrażaniu polityk efektywności energetycznej poprzez opracowanie materiałów na temat praktycznych i strategicznych zagadnień wiążących się z realizacją Artykułu 8 dyrektywy w sprawie efektywności energetycznej (EED).

Autorzy:

dr inż. Paweł Gilewski

Michał Kaczmarek

dr hab. inż., prof. uczelni Arkadiusz Węglarz

mgr inż. Marek Zaborowski

mgr Karolina Loth-Babut



Współfinansowane przez Unię Europejską w ramach projektu nr 101076098. Wyrażone poglądy i opinie są wyłącznie poglądami autorów i niekoniecznie odzwierciedlają poglądy Unii Europejskiej lub CINEA. Ani Unia Europejska, ani organ finansujący nie ponoszą za nie odpowiedzialności.



Autorzy:

**Paweł Gilewski, Michał Kaczmarek, Arkadiusz Węglarz,
Marek Zaborowski, Karolina Loth-Babut**

Metodologia zrównoważonej oceny efektywności kosztowej dla programów wsparcia transformacji energetycznej.



Opracowanie w ramach projektu Ensmov Plus

Warszawa, listopad 2025

Spis treści

1.	Wprowadzenie do analizy systemów wsparcia efektywności energetycznej.....	6
1.1.	Kontekst polityki energetycznej i wyzwania metodologiczne	6
1.2.	Cel pracy i zakres metodologiczny	7
2.	Założenia metodologiczne i kwantyfikacja wskaźników	8
2.1.	Obliczenie stopy trwałości efektu klimatycznego.....	8
2.1.1.	Spadek efektywności technologicznej	8
2.1.2.	Kapitalizacja klimatyczna	9
2.1.3.	Stopa dyskontowa trwałości projektu (sumaryczna)	10
2.2.	Wieloperspektywiczność kosztu – trzy wskaźniki referencyjne	12
2.2.1.	Perspektywa gospodarki.....	13
2.2.2.	Perspektywa państwa – korygowany koszt publiczny	13
2.2.3.	Perspektywa inwestora – wkład własny	13
2.3.	Kwantyfikacja wsparcia publicznego i rynkowa cena TOE.....	13
2.4.	Macierz korzyści pozaenergetycznych i wskaźnik finalny	14
2.4.1.	Uzasadnienia kategorii i wag macierzy	14
2.4.2.	Jednostkowy koszt finalny.....	15
3.	Białe Certyfikaty	15
3.1.	Mechanizm finansowy Białych Certyfikatów.....	16
3.2.	Charakterystyka projektów pilotażowych i zakres danych	16
3.3.	Weryfikacja efektu - skumulowane oszczędności (podwójna korekta).....	18
3.4.	Analiza wieloperspektywiczności kosztu i efekt opłaty zastępczej	19
3.5.	Ocena finalna i korzyści pozaenergetyczne.....	20
4.	Ustawa termomodernizacyjna	21
4.1.	Mechanizm finansowy Ustawy Termomodernizacyjnej.....	21

4.2.	Charakterystyka projektów pilotażowych i zakres danych	22
4.3.	Weryfikacja efektu – skumulowane oszczędności (podwójna korekta)	25
4.4.	Analiza wieloperspektywiczności kosztu	26
4.5.	Ocena finalna i korzyści pozaenergetyczne.....	28
5.	Kredyt Ekologiczny.....	30
5.1.	Mechanizm finansowy Kredytu Ekologicznego	30
5.2.	Charakterystyka projektów pilotażowych i zakres danych	30
5.3.	Weryfikacja efektu – skumulowane oszczędności (podwójna korekta)	33
5.4.	Analiza wieloperspektywiczności kosztu	34
5.5.	Ocena finalna i korzyści pozaenergetyczne.....	36
6.	Podsumowanie wnioski.....	38
6.1.	Rozważania metodologiczne implikacje systemowe	38
6.1.2.	Kwestia aktualizacji vs. dyskontowanie efektu energetycznego.....	39
6.1.3.	Implikacje metodologii dla systemu raportowania krajowego	40
6.2.	Rekomendacji dotyczące metody wyznaczania stopy dyskontowej trwałości efektu.....	40
6.3.	Porównanie efektywności kosztowej analizowanych programów	41
6.4.	Wnioski dla polityki publicznej.....	42
6.4.1.	Rekomendacje dotyczące Białych Certyfikatów.....	42
6.4.2.	Rekomendacje dotyczące ustawy termomodernizacyjnej	42
6.5.	Rekomendacje dotyczące Kredytu Ekologicznego.....	43
6.6.	Ograniczenia metodologii i dalsze kierunki badań.....	43
Aneks Przykład: wymian kompresora na nowy (wybór energooszczędnego)		
roku 2015 po 10 latach (rok 2025)		44

1. Wprowadzenie do analizy systemów wsparcia efektywności energetycznej

1.1. Kontekst polityki energetycznej i wyzwania metodologiczne

Globalne i unijne cele klimatyczno-energetyczne, zwłaszcza w ramach pakietu Fit for 55 i ambicji osiągnięcia neutralności klimatycznej, narzucają państwom członkowskim Unii Europejskiej konieczność osiągnięcia znaczących oszczędności energii finalnej. W Polsce cel ten jest realizowany poprzez szeroki wachlarz instrumentów wsparcia finansowego skierowanych do wielu sektorów gospodarki (przemysł, usługi, budownictwo, sektor publiczny).

Proponowane podejście ma charakter kompleksowy – uwzględniający efekty:

- a) Ilościowe (kumulowanie i dyskontowanie techniczne),
- b) Klimatyczne (kapitalizacja klimatyczna),
- c) Społeczno- ekonomiczne - macierz korzyści pozaenergetycznych.

Niniejsze opracowanie koncentruje się na weryfikacji i porównaniu efektywności trzech kluczowych mechanizmów wsparcia funkcjonujących w polskim systemie:

1. **System zobowiązań do efektywności energetycznej (Białe Certyfikaty, BC)** – mechanizm rynkowy, działający głównie w sektorach przemysłu i usług.
2. **Instrumenty wsparcia dla termomodernizacji** – wsparcie wynikające z kryteriów zawartych w ustawie o wspieraniu termomodernizacji i remontów (np. Fundusz Termomodernizacji i Remontów).
3. **Wsparcie kredytowe i dotacyjne dla przedsiębiorców** – instrumenty finansowane ze środków europejskich, takie jak np. Kredyt Ekologiczny, który jest realizowany w ramach Funduszy Europejskich dla Nowoczesnej Gospodarki (FENG) i zarządzany przez Bank Gospodarstwa Krajowego (BGK), wspierający kompleksową transformację energetyczną przedsiębiorstw.

Tradycyjne metody oceny efektywności tych programów, oparte na prostej efektywności rocznej, pomijają kluczowe czynniki ekonomiczne i technologiczne, zniekształcając obraz realnego kosztu społecznego inwestycji. Do głównych wyzwań w zakresie metodologicznym należą:

1. **Homogenizacja czasu i ryzyka (podwójna korekta)** – konieczność obiektywnego porównania projektów o skrajnie różnej trwałości (np. 5 lat dla urządzeń przemysłowych vs. 30 lat dla termomodernizacji). Aby to było możliwe należy rozdzielić dwa aspekty:
 - Zróżnicowaną degradację technologiczną (d) – wskaźnik ten musi być dostosowany do ryzyka technicznego i złożoności technologii.

- Kapitalizacja klimatyczna (k) - to roczne tempo wzrostu wartości unikniętej energii lub emisji CO₂, wynikające z przewidywanego wzrostu cen energii, kosztów emisji i rosnącej rzadkości łatwych do osiągnięcia oszczędności, to stopa, z jaką rośnie wartość efektywności energetycznej w czasie
2. **Urealnienie kosztu publicznego (wieloperspektywiczność kosztów)** – wymaga to oddzielenia:
 - Realnego kosztu bazowego (perspektywa gospodarki) – całkowity koszt inwestycji.
 - Kosztów publicznych – ustalenie, ile państwo faktycznie płaci za pozyskanie 1 TOE. W systemie BC kluczowe jest np. uwzględnienie mechanizmu Opłaty Zastępczej, która wyznacza cenę rynkową i może prowadzić do zjawiska nadmiernego subsydiowania.
 3. **Kwantyfikacja korzyści niematerialnych** – włączenie do analizy wartości pozaenergetycznych (środowiskowych, społecznych), które mogą całkowicie zmienić ocenę programu. Należy stworzyć obiektywny mechanizm (macierz oceny korzyści), który pozwala na finansowe przeliczenie wpływu na zdrowie, redukcję ubóstwa energetycznego czy bezpieczeństwo energetyczne na jednostkę kosztu.

1.2. Cel pracy i zakres metodologiczny

Cel niniejszej pracy jest dwutorowy. Celem głównym jest opracowanie i weryfikacja transparentnej i akceptowalnej procedury (metodologii) oceny efektywności działań na rzecz oszczędzania energii. Ma to umożliwić obiektywne określenie najefektywniejszych interwencji oraz ujednolicone raportowanie uzyskanych efektów. Celem szczegółowym jest implementacja tej procedury, która pozwala na zrównoważone porównanie projektów realizowanych w ramach różnych systemów wsparcia. Metodologia ta ma służyć stworzeniu syntetycznego wskaźnika Jednostkowego Kosztu Finalnego ($J.K._{Finalny}$).

Szczegółowa metodyka została przedstawiona w rozdziale 2. Jej główne filary to:

1. Podwójna korekta efektu – rozdzielenie zróżnicowanej degradacji technologicznej (d_t) i kapitalizacji klimatycznej (k).
2. Wieloperspektywiczność kosztu – analiza Kosztu Jednostkowego z trzech perspektyw (gospodarka, państwo, inwestor) w celu identyfikacji nadmiernego subsydiowania i nieefektywności alokacyjnej.
3. Kwantyfikacja korzyści pozaenergetycznych – implementacja macierzy korzyści pozaenergetycznych (premia P_{PNE}), która koryguje bazowy koszt projektu o jego wartość społeczną.

Metodologia została zweryfikowana na podstawie trzech niezależnych studiów przypadku. W rozdziale 3 – analiza systemu Białych Certyfikatów, rozdziale 4 –

programy wsparcia w ramach ustawy termomodernizacyjnej i rozdziale 5 – analiza mechanizmu wsparcia dla przedsiębiorstw, a konkretnie Kredyt Ekologiczny.

2. Założenia metodologiczne i kwantyfikacja wskaźników

2.1. Obliczenie stopy trwałości efektu klimatycznego

Konwencjonalne metody oceny efektywności energetycznej opierają się na nominalnej oszczędności osiągniętej w skali roku (TOE_{roczne}) pomnożonej przez okres trwałości efektu (T). Takie podejście ignoruje ryzyko związane z techniczną implementacją danego rozwiązania, a także aspekt ekonomiczny związany ze zmianą wartości efektu w czasie.

W proponowanej metodologii wprowadzona zostaje podwójna korekta efektu, która ma na celu urealnienie skumulowanych oszczędności energii ($TOE_{\text{skum. zdysk.}}$) i jest wdrażana w dwóch etapach:

1. **Korekta technologiczna (d_t)** – ujęcie ryzyka degradacji sprawności operacyjnej.
2. **Korekta klimatyczna (k)** – ujęcie zmiany wartości efektu (oszczędności energii, zmniejszenie emisji dwutlenku węgla) w czasie. Jak do tej pory ta korekta ma charakter aprecjacji, np. koszt emisji dwutlenku węgla w cenach nominalnych wzrósł w latach 2017 – 2023 szesnastokrotnie – z poziomu 5 €/tCO₂ w 2017 r. do 83 €/tCO₂ w roku 2023 (w cenach stałych ok. czternastokrotnie).

Mechanizm ten został zilustrowany praktycznym przykładem wymiany kompresora na nowy (zobacz Aneks).

2.1.1. Spadek efektywności technologicznej

Wskaźnik degradacji technologicznej (d_t) to parametr różnicujący, który zależy od dwóch aspektów – typu technologii (oraz intensywności eksploatacji, która nie jest brana pod uwagę w niniejszym opracowaniu). Zastosowanie tego wskaźnika ma na celu zniwelowanie ryzyka, że zakładany roczny efekt nie zostanie w pełni osiągnięty biorąc pod uwagę różne przyczyny techniczne (np. zużycie, korozję, osadzanie się zanieczyszczeń).

Wzór na skumulowany efekt po korekcie technologicznej:

$$TOE_{\text{skum. (po } d_t)} = \sum_{i=1}^T (TOE_{\text{roczne}} \times (1 - d_t)^t)$$

gdzie:

$TOE_{skum.(po\ d_t)}$ – skumulowana ilość zaoszczędzonej energii skorygowana o spadek efektywności energetycznej [toe],

$\sum_{i=1}^T$ – suma oszczędności liczona od pierwszego ($t = 1$) do ostatniego roku trwałości projektu (T),

t – kolejny rok eksploatacji, w którym osiągana jest oszczędność,

T – okres trwałości efektu [lata],

TOE_{roczne} – roczna oszczędność energii finalnej zakładana na pierwszy rok eksploatacji [toe],

d_t – roczny wskaźnik degradacji technologicznej (spadku sprawności/wydajności) [%].

W przypadku analizy ilościowej należy stosować jedynie dyskontowanie technologiczne (bez np. kapitalizacji klimatycznej).

2.1.2. Kapitalizacja klimatyczna

Kapitalizacja klimatyczna opisuje zjawisko, w którym wartość jednostkowa efektu energetycznego lub klimatycznego rośnie w czasie, mimo że sam fizyczny efekt może pozostawać stały. Oznacza to, że jedna zaoszczędzona kWh lub uniknięta tona CO_2 w przyszłości ma (jak na razie) wyższą wartość niż ta sama oszczędność dziś. Jest to proces o kierunku przeciwnym do dyskontowania technicznego.

Wprowadzenie kapitalizacji klimatycznej wprowadza nowy, ważny element – pozwala nie tylko odpowiedzieć na pytanie „ile” (czynnik kwantytatywny), ale również „jak bardzo” – kwalitatywny).

Ponieważ kapitalizacja klimatyczna jest pojęciem nowym, poświęcono jej nieco więcej uwagi niż oczywistemu dyskontowaniu technicznemu czy finansowemu.

Mechanizm kapitalizacji klimatycznej wynika z trzech strukturalnych czynników:

1. Rosnące ceny energii w ujęciu realnym

W długich horyzontach analitycznych (20–30 lat) ceny energii wykazują tendencję do wzrostu po skorygowaniu o inflację — m.in. z powodu kosztów sieci, transformacji energetycznej, bilansowania i modernizacji infrastruktury. Oznacza to, że wartość unikniętej kWh rośnie niezależnie od technologii.

2. Rosnący koszt emisji CO_2

Wartość uniknięcia emisji rośnie z czasem w systemach regulacyjnych (np. ETS) oraz w analizach kosztu społecznego węgla (SCC). Oznacza to, że każda uniknięta t CO_2 staje się obiektywnie bardziej wartościowa, a więc także wartość całego efektu energetycznego rośnie.

3. Malejąca dostępność „łatwych oszczędności energii”

W miarę postępu modernizacji energetycznej coraz trudniej jest uzyskać kolejne oszczędności. Zjawisko to zwiększa wartość jednostkową tych oszczędności, ponieważ stają się one „rzadszym” i bardziej pożądanym zasobem. W języku ekonomii oznacza to rosnącą marginalną wartość unikniętej kWh.

Formalna definicja kapitalizacji klimatycznej

Kapitalizacja klimatyczna (k) to *roczna stopa wzrostu wartości jednostkowej efektu energetycznego*, wynikająca ze wzrostu cen energii, kosztu emisji CO₂ oraz ekonomicznej rzadkości kolejnych oszczędności.

$$TOE_{\text{skum. (po } d_t)} = \sum_{t=1}^T (TOE_{\text{roczne}} \cdot (1 - d_t)^t)$$

Jeżeli dyskontowanie techniczne opisujemy wzorem:

$$TOE_{\text{skum. (po } k)} = \sum_{t=1}^T (TOE_{\text{roczne}} \cdot (1 + k)^t)$$

to kapitalizacja klimatyczna jest lustrzanym odbiciem tego procesu, ale dotyczy wartości jednostkowej efektu, nie jego wielkości fizycznej. Odpowiada jej strukturalnie identyczna forma, lecz ze stopą wzrostu, a nie degradacji:

Przykład

Do oszacowania kapitalizacji klimatycznej CO₂ (zatem nie oszczędności energii) w latach 2017–2023 wykorzystano zmianę średniej rocznej ceny uprawnień do emisji CO₂ w systemie EU ETS jako miernik wzrostu wartości efektu klimatycznego. W 2017 r. przeciętna cena EUA wynosiła około 5 €/tCO₂, natomiast w 2024 r. osiągała już poziom około 65 €/tCO₂. Oznacza to wzrost trzynastokrotny w ciągu siedmiu lat. Przeliczenie tej zmiany na tempo średnioroczne daje kapitalizację klimatyczną rzędu około **44% rocznie**. Innymi słowy, wartość unikniętej tony CO₂ rosła w tym okresie przeciętnie o ponad czterdzieści procent rocznie.

Rzeczywista wartość parametrów w kolejnych latach będzie zależała od wielu czynników, a efekt wynikający ze zmniejszenia zużycia energii może różnić się od kapitalizacji odnoszonej wyłącznie do wartości CO₂ — między innymi ze względu na rosnący udział odnawialnych źródeł energii w miksie energetycznym.

2.1.3. Stopa dyskontowa trwałości projektu (sumaryczna)

Trwałość efektu energetycznego lub klimatycznego w czasie nie zależy wyłącznie od jednej zmiennej, lecz jest wynikiem nakładania się dwóch przeciwstawnych procesów. Z jednej strony, każda technologia zużywa się i traci część swojej pierwotnej sprawności – opisuje to dyskontowanie techniczne (degradacja d). Z drugiej strony, wartość jednostkowa tego samego efektu – czy to w postaci zaoszczędzonej energii, czy unikniętych emisji CO₂ – rośnie w czasie, w wyniku wzrostu cen energii, rosnących kosztów emisji oraz narastającej trudności osiągnięcia kolejnych oszczędności. To zjawisko określamy jako **kapitalizację klimatyczną (k)**.

Połączenie tych dwóch procesów powoduje, że rzeczywista „waga”, „znaczenie” lub **wartość netto efektu** uzyskiwanego przez daną technologię nie jest ani czysto malejąca (jak w samym dyskoncie technicznym), ani czysto rosnąca (jak w kapitalizacji klimatycznej). Właściwy obraz otrzymujemy dopiero wtedy, gdy oba efekty uwzględnimy jednocześnie.

Właśnie temu służy obliczanie **stopy dyskontowej trwałości efektu**. Parametr ten pozwala w sposób spójny i formalny przeliczyć zmianę wartości efektów energetycznych w kolejnych latach – oraz jak pozwala łączyć je do klasycznych modeli oceny projektów, takich jak NPV, LCC czy łączna suma efektów wyrażona np. w TOE.

Aby uprościć dalsze obliczenia i włączyć trwałość efektu do standardowych metod analizy (np. sumowania wartości rocznych, NPV czy bilansów efektów energetycznych), warto wyrazić łączne oddziaływanie degradacji i kapitalizacji w postaci **jednej, skonsolidowanej stopy rocznej**.

Stopa została nazwana **stopą dyskontową trwałości efektu** i oznaczona jako r_{trw} . Jest to **stopa dyskontowa**, czyli „roczna zmiana wartości efektu”, uwzględniająca jednocześnie:

- spadek efektywności technicznej (czynnik $(1 - d)$),
- wzrost wartości jednostkowej efektu klimatycznego (czynnik $(1 + k)$).

Łączny wpływ na „efekt netto” w roku opisuje iloczyn tych dwóch procesów, podniesiony do potęgi t :

$$(1 - d)^t \cdot (1 + k)^t = [(1 - d)(1 + k)]^t$$

Jednoroczny mnożnik efektu netto (czyli to, co **zostaje** po „obcięciu” stopą dyskontową) możemy zapisać w standardowej postaci:

$$1 - r_{trw}$$

Zatem:

$$1 - r_{trw} = (1 - d)(1 + k)$$

co po przekształceniu daje:

$$r_{trw} = 1 - (1 - d)(1 + k)$$

więc równoważnie:

$$r_{trw} = d + dk - k$$

Jest to **formalny wzór na stopę dyskontową trwałości efektu** – stopę, która łączy w jednej liczbie zarówno dyskontowanie techniczne (d), jak i kapitalizację klimatyczną (k).

Na tej podstawie sumaryczny efekt projektu w horyzoncie lat, przy rocznym efekcie można zapisać jako:

$$TOE_{skum} = \sum_{t=1}^T (TOE_{roczne} \cdot (1 - r_{trw})^t)$$

W praktyce, dla typowych wartości d i k (kilka procent), wyraz r_{trw} jest bardzo mały, więc obliczenie można **uproszczyć** do:

$$r_{trw} \approx d - k$$

Dokładanie kolejnych stóp dyskontowych wymaga policzenia **pełnego równania**. Uproszczenie liniowe w rodzaju pomija wszystkie efekty interakcji między czynnikami i daje zauważalnie inne wyniki niż pełne obliczenie – zwłaszcza przy dłuższych okresach dyskontowania. Dlatego w analizach techniczno-ekonomicznych należy korzystać z pełnego wzoru.

Jeśli do degradacji technicznej i korekty warunków pracy dokładamy jeszcze stopę dyskontową wartości pieniądza (np. realną stopę dyskontową), to otrzymujemy:

$$1 - r_{trw} = (1 - d)(1 + k)(1 - d_f)$$

$$\begin{aligned} 1 - r_{trw} &= (1 + k - d - d * k)(1 - d_f) \\ &= (1 + k - d - d * k) - d_f * (1 + k - d - d * k) \\ &= 1 + k - d - d * k - d_f - k * d_f + d * d_f + d * k * d_f \end{aligned}$$

zatem

$$\begin{aligned} r_{trw} &= 1 - (1 + k - d - d * k - d_f - k * d_f + d * d_f + d * k * d_f) \\ &= d + d_f - k + d * k + k * d_f - d * d_f - d * k * d_f \end{aligned}$$

2.2. Wieloperspektywiczność kosztu – trzy wskaźniki referencyjne

W tym rozdziale jest przedstawione podejście do obliczania Jednostkowego Kosztu Skumulowanego Zdyskontowanego (J.K.) z trzech odrębnych perspektyw. Analiza ta jest niezbędna do prawidłowej oceny, ponieważ efektywność projektu różni się w zależności od tego, która strona rynku ponosi koszt.

Jednostkowy koszt jest definiowany jako stosunek kosztu poniesionego przez daną perspektywę (licznik) do realnego efektu (mianownik), który stanowi wspólny mianownik efektywności ($TOE_{skum. zdysk.}$) obliczony w punkcie 2.1.2:

$$J.K. = \frac{\text{Koszt poniesiony przez daną perspektywę}}{TOE_{skum. \text{ zdysk.}}}$$

2.2.1. Perspektywa gospodarki

Przedstawia realny koszt bazowy, odzwierciedlający całkowite poniesione nakłady inwestycyjne (100% kosztu modernizacji). Jest to jedyny miarodajny wskaźnik porównawczy, który mierzy bazową efektywność technologiczną projektu, niezależną od mechanizmów wsparcia:

$$J.K._{Gosp.} = \frac{\text{Koszt modernizacji}}{TOE_{skum. \text{ zdysk.}}}$$

2.2.2. Perspektywa państwa – korygowany koszt publiczny

Ta perspektywa jest kluczowa do oceny efektywności wydatkowania środków publicznych. Licznik musi odzwierciedlać realny koszt, jaki system wsparcia ponosi za jednostkę oszczędności.

$$J.K._{Pań. (Kor.)} = \frac{\text{Wartość wsparcia publicznego} + \text{Koszty administracyjne}}{TOE_{skum. \text{ zdysk.}}}$$

Wartość wsparcia publicznego jest zmienna programowo. W systemie Białych Certyfikatów przyjmuje wartość rynkową (Opłata Zastępcza). W przypadku przedsięwzięć realizowanych w ramach wsparcia przewidzianego ustawą o wspieraniu termomodernizacji i remontów, wysokość wsparcia uzależniona jest od całkowitego kosztu inwestycji oraz od jej zakresu. Premia ekologiczna na spłatę części kapitału w kredycie ekologicznym może zależeć od rodzaju wydatku, wielkości przedsiębiorstwa czy lokalizacji inwestycji.

2.2.3. Perspektywa inwestora – wkład własny

Mierzy opłacalność z punktu widzenia beneficjenta, tj. realny wkład własny inwestora na jednostkę zaoszczędzonej energii:

$$J.K._{Inwestora} = J.K._{Gosp.} - \text{Wartość wsparcia publicznego} \left[\frac{PLN}{TOE} \right]$$

Uwaga: w przypadku uzyskania wartości ujemnej, oznacza to, że wartość otrzymanego wsparcia przekracza bazowy koszt modernizacji, generując zysk (nadmierne subsydiowanie). Ten aspekt jest bardzo ważny w ocenie motywacji rynkowej.

2.3. Kwantyfikacja wsparcia publicznego i rynkowa cena TOE

Ważnym elementem analizy jest ustalenie wartości wsparcia publicznego, jaką Państwo (lub system publiczny) przekazuje beneficjentowi za uzyskanie jednostki oszczędności energii (TOE_{zdysk}). Wartość ta różni się w zależności od mechanizmu prawnego programu.

Wartość wsparcia jest kluczowym elementem licznika w formule zdefiniowanej w punkcie 2.2.2. Dla każdego z rozpatrywanych programów przyjmuje inne wartości:

- Białe Certyfikaty - wartość wsparcia jest wyznaczana przez aktualną cenę rynkową Białego Certyfikatu (Cena BC/TOE), która jest limitowana przez Opłatę Zastępczą (K_{OZ}). W metodologii ta cena (np. 2225 PLN/TOE) stanowi *de facto* koszt publiczny na jednostkę TOE.
- Ustawa termomodernizacyjna – wysokość wsparcia może wynosić od 26 do 41% kosztów inwestycji. Dodatkowo na inwestycje w OZE można uzyskać grant w wysokości 50% kosztów.
- Kredyt ekologiczny – poziom dopłat do spłaty części kapitału wypłacanych przez BGK różni się w zależności od projektu. Może wynieść od 15 do nawet 80% w zależności od rodzaju wydatku, wielkości przedsiębiorstwa czy lokalizacji inwestycji.

W przypadku systemu Białych Certyfikatów, Opłata Zastępcza jest kluczowa, ponieważ wyznacza rynkowy koszt – stanowi górną granicę dla ceny BC, dzięki czemu cena rynkowa jest urealniona, a także ustanawia stały koszt publiczny – niezależnie od faktycznego, bazowego kosztu projektu, Państwo ponosi stały koszt za każdą zaoszczędzoną TOE, co prowadzi do zjawiska nadmiernego subsydiowania w projektach o niskim

2.4. Macierz korzyści pozaenergetycznych i wskaźnik finalny

Wprowadzenie mechanizmu Premii Pozaenergetycznej (P_{PNE}) w celu kwantyfikacji i uwzględnienia korzyści niematerialnych (środowiskowych, społecznych), które nie są wycenione w oszczędnościach TOE. Uwzględnienie P_{PNE} jest kluczowe dla uzyskania finalnej, zrównoważonej oceny projektu.

2.4.1. Uzasadnienia kategorii i wag macierzy

Macierz opiera się na czterech uniwersalnych kategoriach, które odzwierciedlają cele statutowe NFOŚiGW oraz szersze korzyści makroekonomiczne. Maksymalna łączna waga to 10 punktów.

Tabela 1. Macierz oceny korzyści pozaenergetycznych.

Kategoria	Waga [pkt]	Kryterium oceny i progi punktowe
I. Stabilność technologiczna i strategiczna	3	3 punkty – budowa nowego, zintegrowanego, wysokosprawnego źródła (np. kogeneracja). 2 punkty – modernizacja kluczowej instalacji zapewniająca niezawodność procesu. 1 punkt – prosta wymiana/modernizacja starego źródła zwiększająca niezawodność systemu (np. wymiana kotła).
II. Korzyści środowiskowe	3	3 punkty – projekt prowadzący do całkowitej eliminacji wysokoemisyjnego paliwa stałego (np. węgla) na rzecz paliw niskoemisyjnych/OZE. 2 punkty – Znaczna redukcja emisji zanieczyszczeń dzięki poprawie sprawności. 1 punkt – standardowa modernizacja/poprawa sprawności redukująca emisje wtórne.
III. Skala inwestycji/ rozwój	2	2 punkty – inwestycja wartości > 8,3 ¹ mln PLN wprowadzająca nową technologię/ znaczącą optymalizację procesu (konkurencyjność). 1 punkt – inwestycja o wartości 2,2 ² mln PLN lub projekt poprawiający kluczowe wskaźniki efektywności operacyjnej.
IV. Wpływ społeczny	2	2 punkty – projekt ukierunkowany na sektor wrażliwy ³ (np. gospodarstwa domowe zagrożone ubóstwem energetycznym, placówki zdrowotne). 1 punkt – projekty budynkach użyteczności publicznej lub komunalnej (np. urzędy, obiekty sportowe).

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

2.4.2. Jednostkowy koszt finalny

Premia jest obliczana poprzez przeliczenie sumy uzyskanych punktów na ekwiwalent pieniężny, który następnie koryguje bazowy koszt społeczny ($J.K._{Gosp.}$). W ten sposób uzyskujemy syntetyczny i ostateczny wskaźnik efektywności.

Przyjęto następujące parametry kwantyfikacji:

- 1 punkt w macierzy odpowiada 5 PLN za jednostkę $TOE_{skum. \text{ zdysk.}}$ (szacunek ekspercki),
- premia pozaenergetyczna to iloczyn sumy punktów i kosztu 1 punktu.

Finalnie jednostkowy koszt finalny prezentuje się następująco:

$$J.K._{Finalny} = J.K._{Gosp.} - P_{PNE}$$

Im niższa wartość $J.K._{Finalny}$, tym projekt jest bardziej efektywny makroekonomicznie i systemowo (koszt bazowy jest niski, a korzyści społeczne wysokie).

3. Białe Certyfikaty

Metodologia opisana w rozdziale 2 została zweryfikowana na zróżnicowanej próbie czterech projektów zrealizowanych w ramach systemu Białych Certyfikatów. W niniejszym rozdziale przedstawiono weryfikację efektywności kosztowej tych programów w ujęciu systemowym.

¹ Średnia wartości inwestycji zgłoszonych w ramach Białych Certyfikatów obliczona na podstawie bazy danych KAPE S.A.

² Mediana wartości inwestycji zgłoszonych w ramach Białych Certyfikatów obliczona na podstawie bazy danych KAPE S.A.

³ Przez sektor wrażliwy rozumiemy podmioty oraz beneficjentów, dla których oszczędność energii ma bezpośredni wpływ na jakość życia, zdrowie lub podstawowe funkcjonowanie społeczne.

3.1. Mechanizm finansowy Białych Certyfikatów

System Białych Certyfikatów jest rynkowym mechanizmem zobowiązań do efektywności energetycznej, działającym głównie w sektorach przemysłu i usług. W odróżnieniu od programów dotacyjnych, jest on finansowany poprzez rynek, a jego wartość i funkcjonalność są bezpośrednio zależne od Opłaty Zastępczej. Podmioty zobowiązane do uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw efektywności energetycznej mają alternatywę - mogą zapłacić Opłatę Zastępczą na rzecz Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Opłata ta ma dwojakie znaczenie:

- Wyznacza górną granicę cenową dla białych certyfikatów na giełdzie. W rezultacie rynkowa cena BC oscyluje blisko wartości Opłaty Zastępczej,
- Cena BC (w analizie przyjęta jako 2225 PLN/TOE) jest realnym miernikiem wartości wsparcia publicznego za każdą zaoszczędzoną jednostkę energii.

To połączenie mechanizmu zobowiązań z rynkową wyceną jest kluczowe dla interpretacji Jednostkowego Kosztu Państwa w zastosowanej metodologii, ponieważ implikuje stały koszt publiczny dla każdej uzyskanej TOE.

3.2. Charakterystyka projektów pilotażowych i zakres danych

Projekty pilotażowe zostały wybrane na podstawie ich zróżnicowania pod względem skali operacyjnej, klasy przedsięwzięcia, wydajności energetycznej oraz poziomu ryzyka technologicznego. W tabeli poniżej przedstawiono kluczowe parametry projektów objętych analizą.

Tabela 2. Parametry wejściowe projektów pilotażowych w ramach systemu Białych Certyfikatów

Lp.	Typ Inwestycji	Sektor	Koszt mod. (PLN)	TOE _{roczne}	Trwałość (T)	Stopa dyskontowa trwałości projektu (r_{trw})
A	Modernizacja linii technologicznej	Przemysł	1 156 400	1 410	10 lat	1,0%
B	Modernizacja źródła ciepła	Przemysł	3 030 000	582	15 lat	0,5%
C	Wymiana źródła ciepła	Usługi	990 000	13	10 lat	0,3%
D	Budowa kogeneracji	Przemysł	37 052 545	1 447	20 lat	1,5%

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Dane wykorzystane do realizacji analizy zostały pozyskane z trzech źródeł: faktycznych danych projektowych, aktualnych wartości rynkowych oraz autorytatywnych szacunków eksperckich, przedstawiono je w poniższej tabeli. Taka kompilacja ma na celu zapewnienie maksymalnej reprezentatywności symulacji, uwzględniając jednocześnie specyfikę kontekstu rynkowego i typowe ryzyko.

Tabela 3. Źródła danych projektowych i założeń metodologicznych do analizy systemu Białych Certyfikatów.

Typ danych	Szczegółowe informacje/Źródło
Dane projektowe	Roczna oszczędność (TOE_{roczne}) i koszt modernizacji (PLN). Dane historyczne z zestawień projektów Białych Certyfikatów (BC) przygotowanych przez KAPE S.A..
Trwałość efektu	Trwałość (T) w latach. Dane z audytów powykonawczych dla projektów A, C i D. Dla projektu B przyjęto założenie eksperckie.
Ryzyko technologiczne	Wskaźniki degradacji technologicznej (dt). Szacunki eksperckie, oparte na ryzyku eksploatacyjnym i złożoności technologii.
Wartość wsparcia Publicznego	Cena BC/TOE na Towarowej Giełdzie Energii (TGE). W analizie przyjęto aktualną wartość ~2225 PLN/TOE, limitowaną przez Opłatę Zastępczą.
Koszty administracyjne	Szacunek ekspercki.
Stopa dyskontowa	Stopa dyskontowa ($r = 3\%$). Szacunek ekspercki, wzorowany na metodykach międzynarodowych (np. CUMAC).
Korzyści pozaenergetyczne	Ustalane na podstawie analiz korzyści społecznych i środowiskowych. Kwantyfikowane ze pomocą macierzy oceny i przeliczane na premię pieniężną.

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Przyjęte w niniejszej analizie wartości rocznej degradacji wydajności technologicznej (współczynnik dyskontowania technicznego) opierają się na następujących założeniach operacyjnych i eksploatacyjnych:

- **2% (wysoka intensywność degradacji)** - najwyższy parametr dotyczy instalacji kogeneracyjnych, zawierających turbiny gazowe lub silniki. Złożoność konstrukcyjna i wymagająca eksploatacja indukują szybszą degradację elementów mechanicznych i cieplnych (np. wymienników, sprężarek, turbin), co silnie determinuje obniżenie sprawności całkowitej.
- **1,5 % rocznie (średnia intensywność degradacji)** - wartość ta została przypisana dla systemów opartych na liniach technologicznych (np. instalacje pary/powietrza). Obserwuje się, że akumulacja zanieczyszczeń, procesy korozyjne oraz zużycie komponentów dynamicznych (np. pomp) prowadzą do stopniowej redukcji sprawności operacyjnej.
- **1 % rocznie (niska intensywność degradacji)** - stopień ten został zastosowany do projektów modernizacji kotłowni gazowych lub olejowych. Charakteryzują się one wyższą stabilnością sprawności w długim okresie, pod warunkiem utrzymania reżimu regularnych prac serwisowych. W konsekwencji, przyjęto minimalistyczne założenie degradacyjne.
- **0.8% (relatywnie niewielka degradacja)** - najniższa wartość w zestawieniu, zarezerwowana dla systemów grzewczych w sektorze budynków usługowych. Mniejsza intensywność eksploatacji w porównaniu do zastosowań przemysłowych oraz regularne interwencje serwisowe znacząco minimalizują spadek efektywności.

Współczynniki te mają charakter demonstracyjny, dokładne wartości powinny zostać określone w osobnym opracowaniu.

Wartość kapitalizacji efektu (k) przyjęto arbitralnie na poziomie 0,5%, jest to wartość demonstracyjna przyjęta w celu demonstracji mechanizmu obliczeń.

Zatem stopy dyskontowe efektu

$$r_{trw} = d - k$$

Wynoszą odpowiednie

- **1,5% (wysoka intensywność degradacji)**
- **1,0 % rocznie (średnia intensywność degradacji)**
- **0,5 % rocznie (niska intensywność degradacji)**
- **0.3% (relatywnie niewielka degradacja)**

3.3. Weryfikacja efektu - skumulowane oszczędności (podwójna korekta)

Zgodnie z metodologią, miarodajny wskaźnik efektywności wymaga zastosowania podwójnej korekty do nominalnych oszczędności. Pierwsza korekta urealnia długoterminowy efekt poprzez uwzględnienie zróżnicowanego spadku sprawności technicznej, co jest szczególnie istotne dla złożonych systemów (np. kogeneracja). Druga korekta sprowadza te oszczędności do wartości bieżącej i determinuje mianownik efektywności. W poniższej tabeli przedstawiono wyniki obliczeń dla efektu skumulowanego i redukcji wartości dla poszczególnych projektów.

Tabela 4. Skumulowany efekt i redukcja wartości (po korekcie d_t i r).

Lp.	TOE _{skumulowane} (nominalne)	TOE _{skumulowane} (Po d_t)	Spadek trwałości efektu [%]	TOE _{skumulowane} zdyskontowane (finalny efekt)	Redukcja ogółem [%]
A	14 103	13 479	~ 4.4	11 673	~ 17.3
B	8 726	8 410	~ 3.6	6 738	~ 22.8
C	133	131	~ 1.7	112	~ 15.6
D	28 947	24 939	~ 13.9	18 971	~ 34.5

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Wyniki potwierdzają, że najbardziej złożone i długoterminowe projekty są obarczone największą utratą wartości. Najwyższą redukcję nominalnych oszczędności zaobserwowano dla projektu kogeneracyjnego. Ta skrajna utrata jest konsekwencją najwyższego ryzyka technicznego, wynikającego ze złożoności instalacji, oraz najdłuższego okresu trwałości, który podlega największemu dyskontowaniu. Potwierdziła się zasadność wprowadzania zróżnicowania wskaźnika redukcji technologicznej, gdzie stabilny projekt C traci znacznie mniej na degradacji technologicznej, co projekt D. Uwypukla to konieczność metodycznego rozdzielenia ryzyka technicznego od ryzyka ekonomicznego, związanego z długoterminową pewnością oszczędności.

3.4. Analiza wieloperspektywiczności kosztu i efekt opłaty zastępczej

Analiza finansowa systemu wsparcia wymaga rozróżnienia ról uczestników. Jednostkowy Koszt Gospodarki ($J.K._{Gosp.}$) jest miarą bazową, odzwierciedlającą realny koszt społeczny interwencji (całkowity koszt modernizacji podzielony przez urealniony efekt $TOE_{skum.zdysk.}$). Dopiero porównanie $J.K._{Gosp.}$ z wartością wsparcia publicznego (ceną białego certyfikatu) pozwala na ocenę skuteczności alokacyjnej programu BC. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli poniżej.

Tabela 5. Jednostkowy Koszt dla Gospodarki - realny koszt bazowy.

Lp.	$TOE_{skum.zdysk.}$ (finalny efekt)	Koszt modernizacji [PLN]	$J.K._{Gosp.}$ [PLN/TOE]
A	11 673	1 156 400	99
B	6 738	3 030 000	450
C	112	990 000	8 384
D	18 971	37 052 545	1 953

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Jak widać w powyższej tabeli, projekty wykazują ekstremalne dysproporcje w bazowej efektywności – od 99 PLN/TOE (Projekt A) do 8 388 PLN/TOE (Projekt C). W kontekście systemu BC, wsparcie publiczne jest określane przez wartość rynkową białego certyfikatu, która ma charakter dynamiczny. Należy zaznaczyć, że choć Opłata Zastępcza (K_{OZ}) wyznacza teoretyczny sufit cenowy, faktyczna wartość białego certyfikatu na rynku zazwyczaj jest od niej wyższa. Na potrzeby niniejszej analizy przyjęto jednak stałą, uśrednioną roczną wartość białego certyfikatu (bazującą na parametrach regulacyjnych), która służy jako miernik jednostkowego kosztu publicznego ($J.K._{Państwa}$). Wyniki w poniższej tabeli zestawiają ten stały koszt publiczny (po skorygowaniu o koszty administracyjne) z realnym kosztem bazowym, mierząc jednocześnie opłacalność dla inwestora ($J.K._{Inwestora}$).

Tabela 6. Jednostkowy Koszt Państwa i Inwestora (w kontekście opłaty zastępczej).

Lp.	$J.K._{gosp}$ [PLN/TOE]	Cena BC (rynkowa) [PLN/TOE]	Koszty administracyjne [PLN/TOE]	$J.K._{Państwa (kor.)}$ [PLN/TOE]	$J.K._{Inwestora}$ [PLN/TOE]
A	99	2225	10	2235	-2126
B	450	2225	10	2235	-1775
C	8 384	2225	10	2235	6 613
D	1 953	2225	10	2235	-272

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Ujemny J.K. Inwestora (dla projektów A, B, D) jest efektem nadmiernego subsydiowania, gdzie rynkowa cena BC przewyższa realny koszt projektu. Z kolei J.K._{Państwa} jest stały (2235 PLN/TOE), co potwierdza nieefektywność alokacyjną/ Państwo płaci tę samą kwotę za jednostkę oszczędności, niezależnie od tego, czy jej realny koszt społeczny wynosi 99 PLN czy 1953 PLN.

3.5. Ocena finalna i korzyści pozaenergetyczne

Finalny wskaźnik efektywności (J.K._{Finalny}) uzyskano poprzez skorygowanie realnego kosztu społecznego (J.K._{Gosp.}) o wartość korzyści pozamaterialnych (Premię pozaenergetyczną, P_{PNE}). Premię obliczono się za pomocą macierzy (rozdział 2), nagradzając projekty za stabilność, środowisko i skalę. Wyniki oceny premii pozaenergetycznej przedstawiono w tabeli poniżej.

Tabela 7. Kwantyfikacja premii pozaenergetycznej dla projektów obejmujących Białe Certyfikaty.

Lp.	I. Stabilność technologiczna i strategiczna	II. Korzyści środowiskowe	III. Skala inwestycji/rozwój	IV. Wpływ społeczny	Suma [pkt]	Premia pozaenergetyczna [PLN/TOE]
A	2	1	1	0	4	20
B	1	1	1	0	3	15
C	1	1	0	0	2	10
D	3	3	2	0	8	40

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Wyznaczona wartość premii pozaenergetycznej jest kluczowym elementem korekcyjnym. Premia ta, wyrażona w ekwiwalencie pieniężnym na jednostkę oszczędności, jest odejmowana od bazowego Jednostkowego Kosztu Gospodarki. W rezultacie otrzymujemy Jednostkowy Koszt Finalny, który stanowi ostateczny, zrównoważony wskaźnik porównawczy uwzględniający zarówno efektywność kosztową, jak i wartość społeczną projektu - wyniki zostały przedstawione w poniższej tabeli.

Tabela 8. Jednostkowy Koszt Finalny dla projektów obejmujących Białe Certyfikaty.

Lp.	J.K. Gospodarki	Premia pozaenergetyczna	J.K. _{Finalny} [PLN/TOE]
A	99	20	79
B	450	15	435
C	8 384	10	8 328
D	1 953	40	1 913

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Na podstawie przeanalizowanej próby badawczej można stwierdzić, że inwestycje w optymalizację procesów technologicznych stanowią najbardziej efektywny kosztowo sposób redukcji zużycia energii w skali makroekonomicznej. W przeciwieństwie do tego, projekt dotyczący wymiany źródła ciepła w sektorze usług, pozostaje fundamentalnie nieefektywny, a jego skrajnie wysoki koszt bazowy tylko w nieznacznym stopniu jest korygowany przez premię pozaenergetyczną. Ta znaczna dysproporcja dowodzi, że alokacja środków publicznych do inwestycji o tak wysokim koszcie jest nieuzasadniona z perspektywy kosztu społecznego. Kluczową rolę w kompleksowej ocenie odgrywa premia pozaenergetyczna, która poprzez uwzględnienie korzyści związanych z eliminacją węgla i bezpieczeństwem energetycznym, równoważy wysoki koszt bazowy projektu kogeneracyjnego i klasyfikuje go jako projekt zrównoważony i akceptowalny w ujęciu zintegrowanym.

4. Ustawa termomodernizacyjna

Metodologia opisana w rozdziale 2 została zweryfikowana na zróżnicowanej próbie siedmiu projektów poprawy efektywności energetycznej budynków. Projekty te przygotowano do realizacji ze wsparciem premii i grantów, które są przewidziane dla przedsięwzięć spełniających określone kryteria w ustawie o wspieraniu termomodernizacji i remontów.

4.1. Mechanizm finansowy Ustawy Termomodernizacyjnej

Ustawa o wspieraniu termomodernizacji i remontów oraz o centralnej ewidencji emisyjności budynków określa zasady finansowania ze środków Funduszu Termomodernizacji i Remontów części kosztów przedsięwzięć termomodernizacyjnych i remontowych, przedsięwzięć niskoemisyjnych oraz zakupu, montażu, budowy lub modernizacji instalacji odnawialnego źródła energii.

Ustawa skierowana jest do właścicieli lub zarządców budynków chcących wprowadzić usprawnienia doprowadzające budynek do standardów niskoemisyjnych oraz zmniejszenia zapotrzebowania na energię dostarczaną na potrzeby ogrzewania i podgrzewania wody użytkowej. Spełniając odpowiednie kryteria dotyczące zmniejszenia rocznego zapotrzebowania na energię i poprawy efektywności energetycznej, inwestorowi przysługują:

- Premia termomodernizacyjna w wysokości 26% kosztów przedsięwzięcia termomodernizacyjnego bądź 31% łącznych kosztów w przypadku, gdy realizowane jest również przedsięwzięcie polegające na zakupie, montażu, budowie albo modernizacji instalacji OZE,
- Grant termomodernizacyjny stanowiący 10% kosztów przedsięwzięcia w przypadku, gdy z audytu energetycznego wynika, że nastąpi zmniejszenie

wartości wskaźnika EP budynku do nie większej niż określona w przepisach Prawobudowlanelubprzegrodyiwyposażenietechnicznebudynkuodpowiadać będą wymaganiom izolacyjności cieplnej określonym w tych przepisach. Grant termomodernizacyjny zwiększa premię termomodernizacyjną.

Dodatkowo, inwestorowi niepublicznemu realizującemu przedsięwzięcie polegające na zakupie, montażu, budowie lub modernizacji instalacji odnawialnego źródła energii w budynku mieszkalnym, przysługuje grant OZE na pokrycie 50% kosztów tego przedsięwzięcia.

4.2. Charakterystyka projektów pilotażowych i zakres danych

W niniejszym rozdziale przedstawiono weryfikację efektywności kosztowej mechanizmów wsparcia przewidzianych w ustawie termomodernizacyjnej w ujęciu systemowym. Tabela 9 przedstawia charakterystykę budynków wyselekcjonowanych do analizy.

Tabela 9 Charakterystyka projektów pilotażowych "realizowanych w ramach ustawy o wspieraniu termomodernizacji i remontów"

Lp.	Typ Inwestycji	Typ budynku	Rok budowy	Technologia wykonania	Powierzchnia reg. temp. [m²]
A	kompleksowa termomodernizacja + montaż PV	mieszkalny wielorodzinny	1993	Tradycyjna murowana z elementami uprzemysłowionymi	7 039
B	kompleksowa termomodernizacja	mieszkalny wielorodzinny	1973	Prefabrykowana - wielokopłytowa	3 882
C	kompleksowa termomodernizacja + montaż PV	mieszkalny wielorodzinny	1968	Prefabrykowana - Rama H	8 560
D	kompleksowa termomodernizacja + montaż PV	mieszkalny wielorodzinny	1977	Prefabrykowana - żelbetowa - murowana	4 661
E	kompleksowa termomodernizacja + montaż PV	mieszkalny wielorodzinny	1972	Wielkoblokowe prefabrykaty typu "Żerań"	6 379
F	kompleksowa termomodernizacja	użyteczności publicznej (budynek poradni szpitalnej)	b.d.	Tradycyjna murowana	163
G	kompleksowa termomodernizacja + montaż PV	opieki zdrowotnej (ZOL)	1968	Tradycyjna murowana	2 976

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Projekty wytypowane do weryfikacji metodologii zostały dobrane w sposób mający odzwierciedlać zróżnicowanie zarówno zakresu realizowanych usprawnień, jak

i samych budynków pod względem ich wieku, funkcji użytkowej, technologii wykonania oraz wielkości (powierzchni o regulowanej temperaturze).

W ramach jednego projektu składającego się na termomodernizację budynku, zazwyczaj realizowane są różne działania usprawniające. Zatem aby prawidłowo dokonać korekty efektu w czasie, należy przeanalizować każde z nich z osobna oraz uwzględnić to, za jak dużą część oszczędności odpowiadają. Tabela 10 przedstawia rozpatrywane w niniejszej analizie usprawnienia, przypisane im wartości okresów trwałości (T), wskaźników degradacji technologicznej (d_t) oraz pokazuje w jakim zakresie realizowano poszczególne projekty (A - G).

Tabela 10 Zestawienie analizowanych usprawnień wraz z przyjętymi wskaźnikami trwałości i degradacji oraz zakres modernizacji poszczególnych projektów.

Zakres inwestycji	Budynek							T [lat]	d_t [%]
	A	B	C	D	E	F	G		
Modernizacja instalacji systemu CO/CWU	x	x	x	x	x	x	x	25	0,1
Docieplenia przegród zewnętrznych (ściany, stropy, dachy)	x	x	x	x	x	x	x	30	0,1
Wymiana stolarki okiennej	x	x	x	x	x	x	x	20	1,5
Wymiana stolarki drzwiowej	x	x	x	x		x	x	25	2,0
Modernizacja systemu wentylacji						x	x	15	0,7
Montaż instalacji PV	x		x	x	x		x	25	0,8

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Dane wykorzystane do realizacji analizy zostały pozyskane z trzech podstawowych źródeł: faktycznych danych projektowych, aktualnych wartości rynkowych oraz autorytatywnych szacunków eksperckich. Taka kompilacja ma na celu zapewnienie maksymalnej reprezentatywności symulacji, uwzględniając jednocześnie specyfikę kontekstu rynkowego i typowe ryzyko.

Tabela 11 Źródła danych projektowych i założeń metodologicznych do analizy projektów realizowanych w ramach mechanizmów wsparcia ustawy termomodernizacyjnej.

Typ danych	Szczegółowe informacje/Źródło
Dane projektowe	Roczna oszczędność (TOE_{roczne}) i koszt modernizacji (PLN). Dane historyczne z zestawień audytów energetycznych budynków (AEB) przygotowanych przez KAPE S.A..
Trwałość efektu	Trwałość (T) w latach. Dane przyjęto na podstawie przeglądu specyfikacji oraz badań popularnych materiałów i urządzeń oraz założeń eksperckich.
Ryzyko technologiczne	Wskaźniki degradacji technologicznej (d_t). Szacunki eksperckie, oparte na ryzyku eksploatacyjnym i złożoności technologii.
Wartość wsparcia Publicznego	Wyliczana na podstawie zapisów obowiązującej ustawy z dnia 21 listopada 2008 r. o wspieraniu termomodernizacji i remontów oraz o centralnej ewidencji emisyjności budynków.
Koszty administracyjne	Szacunek ekspercki.

Stopa dyskontowa	Stopa dyskontowa ($r = 3\%$). Szacunek ekspercki, wzorowany na metodykach międzynarodowych (np. CUMAC).
Korzyści pozaenergetyczne	Ustalane na podstawie analiz korzyści społecznych i środowiskowych. Kwantyfikowane ze pomocą macierzy oceny i przeliczane na premię pieniężną.

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Przyjęte w niniejszej analizie wartości rocznej degradacji wydajności technologicznej (współczynnik dyskontowania technicznego) opierają się na następujących założeniach operacyjnych i eksploatacyjnych:

- **2,0 - 2,5% rocznie (wysoka intensywność degradacji)** - najwyższe parametry dotyczą stolarki okiennej i drzwiowej. Ze względu na obecność elementów wymagających systematycznej konserwacji i regulacji (uszczelki, ościeżnice) oraz praktyce wskazującej na powszechne zaniedbania w tym zakresie, istnieje wysokie ryzyko znaczącego pogorszenia parametrów izolacyjnych w okresie eksploatacji.
- **1,2 - 1,3% rocznie (średnia intensywność degradacji)** - wartość ta została przypisana dla instalacji wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła oraz instalacji fotowoltaicznych. W przypadku wentylacji mechanicznej ryzyko technologiczne na takim poziomie związane jest z możliwym wystąpieniem zabrudzeń, nieszczelności, zużyciem wentylatorów czy nieregularną wymianą filtrów. W przypadku instalacji PV tempo degradacji technologicznej jest dobrze opisane zarówno przez producentów jak i niezależnie zbadane.
- **0,6% rocznie (niska intensywność degradacji)** - wartość przypisana materiałom izolacyjnym, zarówno wykorzystywanym do ocieplania przegród jak i izolacji oraz uszczelniania wewnątrzbudynkowych instalacji grzewczych. Niska wartość wskaźnika wynika z relatywnie dużej odporności nowoczesnych materiałów izolacyjnych na zmianę parametrów w czasie, przy założeniu, że ich montaż został przeprowadzony w sposób prawidłowy. W tym przypadku degradacja technologiczna wynika głównie ze starzenia się chemicznego materiałów.

Współczynniki te mają charakter demonstracyjny, dokładne wartości powinny zostać określone w osobnym opracowaniu.

Wartość kapitalizacji efektu (k) przyjęto arbitralnie na poziomie 0,5%, jest to wartość demonstracyjna przyjęta w celu demonstracji mechanizmu obliczeń.

Zatem stopy dyskontowe efektu

$$r_{trw} = d - k$$

wynoszą odpowiednio:

- **1,5 - 2,0% rocznie (wysoka intensywność degradacji),**
- **0,7 - 0,8% rocznie (średnia intensywność degradacji),**
- **0,1% rocznie (niska intensywność degradacji).**

4.3. Weryfikacja efektu – skumulowane oszczędności (podwójna korekta)

Zgodnie z metodologią, miarodajny wskaźnik efektywności wymaga zastosowania podwójnej korekty do nominalnych oszczędności. Pierwsza korekta urealnia długoterminowy efekt poprzez uwzględnienie zróżnicowanego spadku sprawności technicznej, co jest szczególnie istotne dla złożonych rozwiązań (np. instalacje PV). Druga korekta sprowadza te oszczędności do wartości bieżącej i determinuje mianownik efektywności.

Celem obliczenia wartości $TOE_{skumulowane}$ (nominalne), $TOE_{skumulowane}$ (po d_t) oraz $TOE_{skumulowane\ zdyskontowane}$ (finalny efekt) danego projektu dla zastosowanych w nim rozwiązań, zsumowano kolejno niniejsze wartości dla poszczególnych usprawnień. Tabela 12 pokazuje przykładowe dane i wyniki takiej analizy. Ze względu na jego najszerszy zakres, jako przykład wybrano projekt G.

Tabela 12 Wyniki obliczeń oszczędności nominalnych i skorygowanych o d_t poszczególnych składowych przykładowego projektu termomodernizacyjnego (G).

Rodzaj usprawnienia	TOE_{roczne}	$TOE_{skumulowane}$ (nominalne)	$TOE_{skumulowane}$ (po d_t)	Zmiana trwałości efektu [%]	$TOE_{skumulowane\ zdyskontowane}$ (finalny efekt)	Redukcja ogółem [%]
Modernizacja instalacji systemu CO/CWU	16.8	419.6	414.2	~ - 1.3	288.9	~ 31.1
Docieplenia przegród zewnętrznych (ściany, stropy, dachy)	27.3	819.5	806.9	~ - 1.5	528.3	~ 35.5
Wymiana stolarki okiennej	4.3	86.1	73.7	~ - 14.3	55.6	~ 35.3
Wymiana stolarki drzwiowej	0.2	4.9	3.8	~ - 22.3	2.8	~ 44.2
Modernizacja systemu wentylacji	8.3	123.8	117.1	~ - 5.4	93.6	~ 24.4
Montaż instalacji PV	3.9	98.1	88.5	~ - 9.8	62.4	~ 36.4
Cały projekt	60.8	1 552.0	1 504.3	~ - 3.1	1 031.7	~ 33.5

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Analogiczne postępowanie przeprowadzono dla pozostałych projektów. W kolejnej tabeli przedstawiono wyniki tych obliczeń dla efektu skumulowanego i redukcji wartości dla poszczególnych projektów.

Tabela 13. Skumulowany efekt i redukcja wartości (po korekcie d_t i r).

Lp.	Koszt mod. (PLN)	TOE _{skumulowane} (nominalne)	TOE _{skumulowane} (Po dt)	Zmiana trwałości efektu [%]	TOE _{skumulowane zdyskontowane} (finalny efekt)	Redukcja ogółem [%]
A	6 685 359	1 694	1 666	~ - 1.6	1 116	~ 34.1
B	2 282 593	324	309	~ - 4.7	204	~ 37.2
C	3 817 874	862	826	~ - 4.1	573	~ 33.5
D	2 343 979	377	353	~ - 6.2	246	~ 34.7
E	2 960 475	501	473	~ - 5.7	328	~ 34.5
F	212 018	196	191	~ - 2.7	130	~ 33.7
G	4 489 526	1 552	1 504	~ - 3.1	1 032	~ 33.5

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Wyniki wskazują na stosunkowo niedużą rozpiętość redukcji oszczędności nominalnych. W większości projektów wskaźnik ten nie odbiega o więcej niż 1 punkt procentowy od wartości średniej dla próby. Taki stan rzeczy jest odzwierciedleniem faktu, że w analizowanych projektach większość oszczędności energii uzyskiwane jest z tytułu wykorzystania materiałów izolacyjnych (zarówno do ocieplenia przegród jak i instalacji wewnątrzbudynkowych). Redukcja wynikająca z dyskontowania trwałości efektu jest zatem stosunkowo niewielka (rzędu 0,1% rocznie), natomiast wpływ korekty sprowadzającej oszczędności do wartości bieżącej względnie duża (trwałość na poziomie 30 lat). W przypadku projektu B, który charakteryzuje się największą utratą wartości, nie zdecydowano się ani na montaż instalacji PV, ani na modernizację systemu wentylacji. Oba te działania cechuje dość wysoki poziom trwałości i znaczący udział w uzyskiwanych oszczędnościach, co pozwala podnieść ogólną trwałość inwestycji.

4.4. Analiza wieloperspektywiczności kosztu

W pierwszej kolejności zbadano realny koszt całkowity interwencji, tj. całkowity koszt modernizacji podzielony przez urealniony efekt $TOE_{skum.zdysk.}$. Jest to miara odzwierciedlająca realny koszt społeczny interwencji. Następnie celem ustalenia skuteczności alokacyjnej wsparcia publicznego przewidzianego w ustawie termomodernizacyjnej, porównano jednostkowy koszt gospodarki z wysokością tego wsparcia. Tabela 14 przedstawia wyniki obliczeń.

Tabela 14 Jednostkowy Koszt dla Gospodarki - realny koszt bazowy.

Lp.	TOE _{skum.zdys.} (finalny efekt)	Koszt modernizacji [PLN]	J.K. _{Gosp} [PLN/TOE]
A	1 116	6 685 359	5 990
B	204	2 282 593	11 211
C	573	3 817 874	6 662
D	246	2 343 979	9 530
E	328	2 960 475	9 024
F	130	212 018	1 628
G	1 032	4 489 526	4 352

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Analiza jednostkowego kosztu dla gospodarki wykazała znaczne dysproporcje w bazowej efektywności analizowanych projektów. Stwierdzono, że najbardziej efektywnym kosztowo projektem jest modernizacja budynku F, dla którego odnotowano koszt na poziomie 1 628 PLN/TOE. W tym projekcie zdecydowana większość oszczędności uzyskiwana jest z wykorzystania materiałów izolacyjnych (zarówno do docieplenia przegród zewnętrznych jak i zmniejszenia strat ciepła w instalacji grzewczej), które pozwoliły uzyskać istotne oszczędności niskim kosztem jednostkowym. W znacznym kontraście, koszt realizacji projektu B jest niemal siedmiokrotnie wyższy i wynosi 11 211 PLN/TOE. Wynika to z faktu, że zaproponowane docieplenia przegród w tym projekcie są stosunkowo drogie do jednostki oszczędzonej energii oraz że projekt zakłada uzyskanie około 25% rocznych oszczędności energii w wyniku wymiany stolarki drzwiowej i okiennej, również charakteryzującej się wysokim współczynnikiem kosztu jednostkowego. Nie bez znaczenia pozostaje też dysproporcja w wielkości budynków: stosunek powierzchni o regulowanej temperaturze budynków B do F wynosi blisko 24 do 1. W kontekście ustawy termomodernizacyjnej, wysokość wsparcia jest uzależniona od kosztu całkowitego inwestycji. Wyniki w kolejnej tabeli zestawiają ten zmienny koszt publiczny z realnym kosztem bazowym oraz mierzą opłacalność dla inwestora (J.K.Inwestora).

Tabela 15 Jednostkowy Koszt Państwa i Inwestora.

Lp.	J.K. _{Gosp} [PLN/TOE]	Całkowita wysokość wsparcia [PLN]	Wysokość wsparcia [PLN/TOE]	Koszty administracyjne [PLN/TOE]	J.K. _{Państwa (kor.)} [PLN/TOE]	J.K. _{Inwestora} [PLN/TOE]
A	5 990	1 748 694	1 567	10	1 577	4 423
B	11 211	751 288	3 690	10	3 700	7 521
C	6 662	1 317 673	2 299	10	2 309	4 362
D	9 530	808 200	3 286	10	3 296	6 244
E	9 024	789 176	2 406	10	2 416	6 618
F	1 628	55 125	423	10	433	1 205
G	4 352	1 102 277	1 068	10	1 078	3 444

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Analiza jednostkowego kosztu dla Państwa systemu wsparcia przedsięwzięć termomodernizacyjnych pokazuje, że pozostaje on w ścisłym powiązaniu z rzeczywistym kosztem bazowym projektu dla każdej zwalidowanej jednostki energii. Wyraźnie widoczna jest zależność polegająca na tym, że wysokość kosztu publicznego znajduje odzwierciedlenie w faktycznym koszcie oszczędności energii. Można zatem wnioskować, że Państwo osiąga relatywnie optymalną efektywność w minimalizowaniu kosztu publicznego. W przypadku wszystkich projektów, zryczałtowane koszty administracyjne stanowią znikomy ułamek (~ 0,1 – 0,6%) ich realnego kosztu bazowego, co stanowi poziom adekwatny do osiągniętych efektów.

Analiza jednostkowego kosztu dla inwestora wykazuje, iż aktualna konstrukcja zapisów Ustawy sprawdza się w sposób zgodny z jej założeniami, tj. poziom faktycznego wsparcia jest mniej więcej na podobnym poziomie, i różni się w zależności od zakresu i stopnia zaawansowania projektu. Tym samym, możliwe do uzyskania premie oraz granty stanowią racjonalne źródło pozyskania finansowania wkładu własnego. Analiza projektów nie ujawniła ujemnego jednostkowego kosztu inwestycyjnego, co implikuje, iż nominalna wartość uzyskanego wsparcia nie przewyższa rzeczywistych kosztów modernizacji. W ramach obowiązujących programów nie występuje zatem ryzyko nadmiernego subsydiowania. Mechanizm ten stymuluje realizację projektów o wysokiej efektywności technicznej, poprawiając wskaźniki finansowe planowanych przedsięwzięć oraz zmniejszając bariery kosztowe dla projektów o długich okresach zwrotu, znacząco ułatwiając sfinansowanie całego przedsięwzięcia.

4.5. Ocena finalna i korzyści pozaenergetyczne

Finalny wskaźnik efektywności ($J.K._{Finalny}$) uzyskano poprzez skorygowanie realnego kosztu społecznego ($J.K._{Gosp.}$) o wartość korzyści pozamaterialnych (Premię pozaenergetyczną, P_{PNE}). Premię obliczono za pomocą macierzy (rozdział 2), nagradzając projekty za stabilność, środowisko i skalę. Wyniki oceny premii pozaenergetycznej przedstawiono w tabeli poniżej.

Tabela 16 Kwantyfikacja premii pozaenergetycznej dla projektów realizowanych w ramach ustawy termomodernizacyjnej.

Lp.	I. Stabilność technologiczna i strategiczna	II. Korzyści środowiskowe	III. Skala inwestycji/rozwój	IV. Wpływ społeczny	Suma [pkt]	Premia pozaenergetyczna [PLN/TOE]
A	1	2	1	2	6	30
B	2	1	1	2	6	30
C	2	2	1	2	7	35
D	2	2	1	2	7	35
E	1	2	1	2	6	30
F	2	1	1	2	6	30
G	2	2	1	2	7	35

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Wyznaczona wartość premii pozaenergetycznej jest kluczowym elementem korekcyjnym. Premia ta, wyrażona w ekwiwalencie pieniężnym na jednostkę oszczędności, jest odejmowana od bazowego Jednostkowego Kosztu Gospodarki. W rezultacie otrzymujemy Jednostkowy Koszt Finalny, który stanowi ostateczny, zrównoważony wskaźnik porównawczy uwzględniający zarówno efektywność kosztową, jak i wartość społeczną projektu - wyniki zostały przedstawione w kolejnej tabeli.

Tabela 17 Jednostkowy Koszt Finalny dla projektów realizowanych w ramach ustawy termomodernizacyjnej.

Lp.	J.K. Gospodarki	Premia pozaenergetyczna	J.K. _{Finalny} [PLN/TOE]
A	5 990	30	5 960
B	11 211	30	11 181
C	6 661	35	6 626
D	9 530	35	9 495
E	9 024	30	8 994
F	1 628	30	1 598
G	4 352	35	4 317

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Po przeanalizowaniu wyników obliczeń premii pozaenergetycznej dla rozpatrywanej próby badawczej można stwierdzić, że nie różnią się one znacznie między sobą. Takiego stanu rzeczy można upatrywać w fakcie, iż projekty poprawy efektywności energetycznej budynków, mimo zróżnicowania pod kątem zakresu stosowanych usprawnień, przynoszą bardzo podobne efekty. W kwestii stabilności technologicznej i strategicznej, w większości przypadków mamy do czynienia z już wydajnym i sprawnym źródłem (węzeł cieplny), natomiast ingerencja w instalację grzewczą koncentruje się na jej modernizacji i poprawie niezawodności. Korzyści środowiskowe w przeanalizowanych projektach sprowadzają się do redukcji emisji poprzez standardowe modernizacje i poprawę sprawności. W niektórych projektach uzyskuje się dodatkową korzyść poprzez montaż odnawialnego źródła energii, które, zaspokajając zapotrzebowanie na część energii zużywanej w budynku, obniża jego emisyjność. Ocena projektów pod kątem ich skali oraz rozwoju może się w tym przypadku okazać niezasadna, gdyż inwestorzy, mając na względzie dobro odbiorców końcowych (wysokość rachunków za energię), wybiorą rozwiązania sprawdzone i niosące minimalne ryzyko. Nie ma tu również zastosowania kryterium zwiększenia konkurencyjności bądź efektywności operacyjnej. W kwestii oceny wpływu społecznego, charakter mechanizmu wsparcia co do zasady w większości koncentruje się na sektorze wrażliwym, zatem różnicowanie projektów bazując na tym kryterium również może być niezasadne.

5. Kredyt Ekologiczny

Metodologia opisana w rozdziale 2 została zweryfikowana na zróżnicowanej próbie czterech przedsiębiorstw starających się o uzyskanie dotacji do kredytu ekologicznego na 9 projektów poprawy efektywności energetycznej wykorzystywanych do swojej działalności budynków.

5.1. Mechanizm finansowy Kredytu Ekologicznego

Kredyt ekologiczny jest mechanizmem wsparcia inwestycji przedsiębiorstw, w którym część kapitału kredytu zaciągniętego w banku komercyjnym jest spłacana z programu Fundusze Europejskie dla Nowoczesnej Gospodarki (FENG), Środki te przydziela Bank Gospodarstwa Krajowego organizując nabory, w których kryteria wyboru inwestycji i wysokość ostatecznego wsparcia oparte są o wiele czynników, takich jak zakres projektów czy ich lokalizacja. Kluczowym kryterium udziału w naborze jest osiągnięcie 30% redukcji zużycia energii pierwotnej. Dodatkowo, w naborze trwającym od 24 października 2025 r. do 8 stycznia 2026 r., o wsparcie mogą ubiegać się projekty, w których kwota wydatków kwalifikowanych jest nie mniejsza niż 2 mln PLN.

5.2. Charakterystyka projektów pilotażowych i zakres danych

Poniżej zamieszczono informacje dotyczące zakresu przedsięwzięć poprawiających efektywność energetyczną budynków przewidzianych do realizacji przez wytypowane przedsiębiorstwa w ramach programu dopłat do spłaty części kredytu ekologicznego.

Tabela 18 Charakterystyka projektów pilotażowych realizowanych w ramach dotacji do Kredytu Ekologicznego.

Lp.	Nr budynku	Typ Inwestycji	Typ budynku
A	A.1.	termomodernizacja + montaż pompy ciepła	budynek przemysłowy
	A.2.	ocieplenie dachu + montaż pompy ciepła	budynek magazynowy
	A.3.	termomodernizacja + montaż pompy ciepła	budynek przemysłowy
B	B.1.	termomodernizacja + wymiana kotła parowego + montaż PV	budynek produkcyjny
C	C.1.	termomodernizacja + montaż pompy ciepła + PV	budynek biurowy
	C.2.	termomodernizacja + montaż pompy ciepła + PV	budynek przemysłowy
	C.3.	termomodernizacja + montaż pompy ciepła + PV	budynek magazynowy
	C.4.	termomodernizacja	budynek przemysłowy
D	D.1.	termomodernizacja + PV	budynek produkcyjny

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Przedsiębiorstwa wytypowane do weryfikacji metodologii zostały dobrane w sposób mający odzwierciedlać zróżnicowanie ich wielkości profilu prowadzonej działalności, zakresu realizowanych przez nie usprawnień oraz charakteru budynków będących w ich użytkowaniu.

Dwa spośród czterech wybranych przedsiębiorstw dysponują więcej niż jednym budynkiem kwalifikującym się do modernizacji. Są to przedsiębiorstwa A (trzy budynki) oraz C (cztery budynki). W ramach jednego projektu składającego się na termomodernizację budynku, zazwyczaj realizowane są różne działania usprawniające. Zatem aby prawidłowo dokonać korekty efektu w czasie, należy przeanalizować każde z nich z osobna oraz uwzględnić to, za jaką część oszczędności odpowiadają. Tabela 19 przedstawia rozpatrywane w niniejszej analizie usprawnienia, przypisane im wartości okresów trwałości (T), wskaźników degradacji technologicznej (d_t) oraz pokazuje w jakim zakresie modernizowano poszczególne budynki (A.1. – D.1.).

Tabela 19 Zestawienie analizowanych usprawnień wraz z przyjętymi wskaźnikami trwałości i degradacji oraz zakres modernizacji poszczególnych projektów.

Zakres inwestycji	Budynek									T [lat]	d_t [%]
	A.1.	A.2.	A.3.	B.1.	C.1.	C.2.	C.3.	C.4.	D.1.		
Docieplenia przegród zewnętrznych (ściany, stropy, dachy)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	30	0,1
Wymiana stolarki okiennej	x		x	x	x	x	x	x	x	20	1,5
Wymiana stolarki drzwiowej i / lub bram	x		x	x	x	x	x	x	x	25	2,0
Montaż instalacji PV				x	x	x	x		x	25	0,8
Wymiana źródła na pompę ciepła powietrze-woda	x	x	x		x	x	x			20	1,0
Wymiana gazowego kotła parowego				x						25	0,6

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Dane wykorzystane do realizacji analizy zostały pozyskane z trzech podstawowych źródeł: faktycznych danych projektowych, aktualnych wartości rynkowych oraz autorytatywnych szacunków eksperckich. Taka kompilacja ma na celu zapewnienie maksymalnej reprezentatywności symulacji, uwzględniając jednocześnie specyfikę kontekstu rynkowego i typowe ryzyko.

Tabela 20 Źródła danych projektowych i założeń metodologicznych do analizy projektów realizowanych w ramach dotacji do Kredytu Ekologicznego.

Typ danych	Szczegółowe informacje/Źródło
Dane projektowe	Roczna oszczędność (TOE_{roczne}) i koszt modernizacji (PLN). Dane historyczne z zestawień audytów energetycznych budynków (AEB) wykonywanych dla przedsiębiorstw ubiegających się o dotację do Kredytu Ekologicznego.
Trwałość efektu	Trwałość (T) w latach. Dane przyjęto na podstawie przeglądu specyfikacji oraz badań popularnych materiałów i urządzeń oraz założeń eksperckich.
Ryzyko technologiczne	Wskaźniki degradacji technologicznej (d_t). Szacunki eksperckie, oparte na ryzyku eksploatacyjnym i złożoności technologii.
Wartość wsparcia Publicznego	Przyjęta na średnim poziomie wynoszącym 65% kosztów kwalifikowanych przedsięwzięcia objętego wsparciem. Szacunek ekspercki.
Koszty administracyjne	Szacunek ekspercki.
Stopa dyskontowa	Stopa dyskontowa ($r = 3\%$). Szacunek ekspercki, wzorowany na metodykach międzynarodowych (np. CUMAC).
Korzyści pozaenergetyczne	Ustalane na podstawie analiz korzyści społecznych i środowiskowych. Kwantyfikowane ze pomocą macierzy oceny i przeliczane na premię pieniężną.

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Przyjęte w niniejszej analizie wartości rocznej degradacji wydajności technologicznej (współczynnik dyskontowania technicznego) opierają się na następujących założeniach operacyjnych i eksploatacyjnych:

- **2,0 – 2,5% rocznie (wysoka intensywność degradacji)** - najwyższe parametry dotyczą stolarki okiennej i drzwiowej. Ze względu na obecność elementów wymagających systematycznej konserwacji i regulacji (uszczelki, ościeżnice) oraz praktyce wskazującej na powszechne zaniedbania w tym zakresie, istnieje wysokie ryzyko znaczącego pogorszenia parametrów izolacyjnych w okresie eksploatacji.
- **1,1 – 1,5% rocznie (średnia intensywność degradacji)** - wartość ta została przypisana dla urządzeń grzewczych, takich jak pompy ciepła czy kotły parowe oraz instalacji fotowoltaicznych. W przypadku pomp ciepła ryzyko technologiczne na takim poziomie związane jest z możliwym zużyciem sprężarki, starzeniem się wymienników, pojawianiem się mikronieszczelności i stopniowym ubytkiem czynnika chłodniczego czy starzeniem się wentylatora bądź pomp obiegowych. W przypadku instalacji PV tempo degradacji technologicznej jest dobrze opisane zarówno przez producentów jak i niezależnie zbadane.

- **0,6% rocznie (niska intensywność degradacji)** – wartość przypisana materiałom izolacyjnym, zarówno wykorzystywanym do ocieplania przegród jak i izolacji oraz uszczelniania wewnątrzbudynkowych instalacji grzewczych. Niska wartość wskaźnika wynika z relatywnie dużej odporności nowoczesnych materiałów izolacyjnych na zmianę parametrów w czasie, przy założeniu, że ich montaż został przeprowadzony w sposób prawidłowy. W tym przypadku degradacja technologiczna wynika głównie ze starzenia się chemicznego materiałów.

Współczynniki te mają charakter demonstracyjny, dokładne wartości powinny zostać określone w osobnym opracowaniu.

Wartość kapitalizacji efektu (k) przyjęto arbitralnie na poziomie 0,5%, jest to wartość demonstracyjna przyjęta w celu demonstracji mechanizmu obliczeń.

Zatem stopy dyskontowe efektu

$$r_{trw} = d - k$$

wynoszą odpowiednio:

- **1,5 – 2,0% rocznie (wysoka intensywność degradacji),**
- **0,6 – 1,0% rocznie (średnia intensywność degradacji),**
- **0,1% rocznie (niska intensywność degradacji).**

5.3. Weryfikacja efektu – skumulowane oszczędności (podwójna korekta)

Zgodnie z metodologią, miarodajny wskaźnik efektywności wymaga zastosowania podwójnej korekty do nominalnych oszczędności. Pierwsza korekta urealnia długoterminowy efekt poprzez uwzględnienie zróżnicowanego spadku sprawności technicznej, co jest szczególnie istotne dla złożonych rozwiązań (np. instalacji PV, pomp ciepła, kotłów parowych). Druga korekta sprowadza te oszczędności do wartości bieżącej i determinuje mianownik efektywności.

Celem obliczenia wartości $TOE_{skumulowane}$ (nominalne), $TOE_{skumulowane}$ (po d_t) oraz $TOE_{skumulowane\ zdyskontowane}$ (finalny efekt) danego projektu dla zastosowanych w nim rozwiązań, zsumowano kolejno niniejsze wartości dla poszczególnych usprawnień. Schemat postępowania jest analogiczny do przedstawionego w rozdziale 4.3 (Tabela 12). Analogiczne postępowanie przeprowadzono dla pozostałych projektów. W kolejnej tabeli przedstawiono wyniki tych obliczeń dla efektu skumulowanego i redukcji wartości dla poszczególnych przedsięwzięć realizowanych przez wytypowane przedsiębiorstwa.

Tabela 21 Skumulowany efekt i redukcja wartości (po korekcie d_t i r).

Lp. / nr bud.	Koszt mod. (PLN)	TOE _{skumulowane} (nominalne)	TOE _{skumulowane} (Po dt)	Zmiana trwałości projektu [%]	TOE _{skumulowane zdyskontowane} (finalny efekt)	Redukcja ogółem [%]
A	2 579 126	2 133	1 964	~ - 8.0	1 382	~ 35.2
A.1.	823 182	684	629	~ - 8.0	445	~ 35.0
A.2.	357 018	536	487	~ - 9.3	359	~ 33.0
A.3.	1 398 926	913	848	~ - 7.1	578	~ 36.7
B	2 382 850	302	274	~ - 9.0	193	~ 36.1
C	2 620 024	1 289	1 210	~ - 6.1	845	~ 34.5
C.1.	665 245	369	343	~ - 7.1	243	~ 34.0
C.2.	604 593	283	258	~ - 9.0	188	~ 33.7
C.3.	870 872	344	323	~ - 6.3	226	~ 34.5
C.4.	479 315	293	287	~ - 2.0	189	~ 35.7
D	4 263 270	977	885	~ - 9.5	623	~ 36.2

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Podobnie jak w przypadku projektów w ramach ustawy termomodernizacyjnej, wyniki wskazują na stosunkowo niedużą rozpiętość redukcji oszczędności nominalnych. Różnica między kolejnymi wynikami a ich wartością średnią nie przekracza 2 punktów procentowych. Taki stan rzeczy jest odzwierciedleniem faktu, że w analizowanych projektach większość oszczędności energii uzyskiwane jest z tytułu wykorzystania materiałów izolacyjnych (zarówno do ocieplenia przegród jak i instalacji wewnątrzbudynkowych). Redukcja z tytułu uwzględnienia spadku trwałości projektu (dyskontowanie efektu) jest zatem stosunkowo niewielka (rzędu 0,1% rocznie), natomiast wpływ korekty sprowadzającej oszczędności do wartości bieżącej względnie duża (trwałość na poziomie 30 lat). W przypadku budynku A.3., który charakteryzuje się największą utratą wartości, większość oszczędności energii pochodzi z wymiany źródła ciepła na pompę ciepła powietrze-woda, czyli rozwiązania o relatywnie długim okresie trwałości oraz wysokim współczynniku redukcji technologicznej. Pozostała część przypada na docieplenia przegród oraz w istotnej części również na wymianę stolarki okiennej.

5.4. Analiza wieloperspektywiczności kosztu

W niniejszym rozdziale przedstawiono rezultat analizy realnego kosztu całkowitego interwencji, tj. całkowitego kosztu modernizacji odniesionego do urealnionego efektu $TOE_{skum.zdysk.}$. Dzięki temu uzyskano obraz realnego kosztu społecznego inwestycji. Kolejno, porównano jednostkowy koszt gospodarki z wysokością zakładanego wsparcia w ramach kredytu ekologicznego. Pozwoliło to ustalić skuteczność alokacyjną tego rodzaju wsparcia publicznego.

Tabela 22 Jednostkowy Koszt dla Gospodarki - realny koszt bazowy.

Lp. / nr bud.	TOE _{skum.zdys.} (finalny efekt)	Koszt modernizacji [PLN]	J.K. _{Gosp} [PLN/TOE]
A	1 382	2 579 126	1 866
A.1.	445	823 182	1 851
A.2.	359	357 018	994
A.3.	578	1 398 926	2 419
B	193	2 382 850	12 354
C	845	2 620 024	3 100
C.1.	243	665 245	2 734
C.2.	188	604 593	3 223
C.3.	226	870 872	3 862
C.4.	189	479 315	2 541
D	623	4 263 270	6 839

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Analiza jednostkowego kosztu dla gospodarki, podobnie jak w przypadku projektów realizowanych w ramach ustawy termomodernizacyjnej, wykazała znaczne dysproporcje w bazowej efektywności analizowanych projektów. Stwierdzono, że najbardziej efektywnym kosztowo projektem jest modernizacja budynku A.2., dla którego odnotowano koszt na poziomie 994 PLN/TOE. Przyczyną tego stanu rzeczy może być fakt, że w projekcie tym nie zaproponowano wysokokosztowych dociepleń przegród, a oszczędność bierze się głównie z wymiany źródła ciepła. Najmniej efektywna kosztowo okazała się modernizacja budynku B z kosztem na poziomie 12 354 PLN/TOE, gdzie największy, blisko 63-procentowy udział w kosztach ma wymiana gazowego kotła parowego na bardziej efektywny. Alternatywne źródła, takie jak pompy ciepła, często są w stanie zaoferować taki sam a nawet większy udział w oszczędnościach energii przy kilkukrotnie niższym koszcie inwestycyjnym dla inwestycji o podobnej skali i zakresie.

Podobnie jak w przypadku ustawy termomodernizacyjnej, wysokość wsparcia również jest uzależniona od kosztu całkowitego inwestycji. W kolejnej tabeli zestawiono koszt publiczny z realnym kosztem bazowym i opłacalnością dla inwestora (J.K._{Inwestora}). W przypadku kosztów administracyjnych przyjęto, że są one ponoszone od pojedynczej inwestycji, a nie od liczby obsłużonych podmiotów.

Tabela 23 Jednostkowy Koszt Państwa Inwestora.

Lp.	J.K. _{gosp} [PLN/TOE]	Całkowita wysokość wsparcia [PLN]	Wysokość wsparcia [PLN/TOE]	Koszty administracyjne [PLN/TOE]	J.K. _{Państwa (kor.)} [PLN/TOE]	J.K. _{Inwestora} [PLN/TOE]
A	1 866	1 362 953	986	30	1 016	880
A.1.	1 851	435 015	978	10	988	873
A.2.	994	188 668	525	10	535	469
A.3.	2 419	739 270	1 279	10	1 289	1 141
B	12 354	1 373 545	7 121	10	7 131	5 233
C	3 100	1 384 566	1 638	40	1 678	1 462
C.1.	2 734	351 552	1 445	10	1 455	1 289
C.2.	3 223	319 500	1 703	10	1 713	1 520
C.3.	3 862	460 217	2 041	10	2 051	1 821
C.4.	2 541	253 296	1 343	10	1 353	1 198
D	6 839	2 252 948	3 614	10	3 624	3 225

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Analiza jednostkowego kosztu w programie dopłat do kredytu ekologicznego pokazuje ścisły związek między kosztem publicznym a rzeczywistym kosztem bazowym projektu. Wysokość wsparcia koresponduje z faktycznym kosztem uzyskania oszczędności energii, co wskazuje na relatywnie optymalną efektywność wykorzystania środków publicznych. Zryczałtowane koszty administracyjne są niewielkie (~0,1–1,6% kosztu bazowego) i proporcjonalne do osiągniętych efektów.

Po stronie inwestora obecna konstrukcja programu działa zgodnie z założeniami: poziom wsparcia jest tych samych rzędów wielkości, a różnice wynikają z zakresu i zaawansowania projektu. Nie stwierdzono ujemnego jednostkowego kosztu inwestycyjnego, co oznacza, że wsparcie nie przewyższa kosztów modernizacji i nie dochodzi do nadmiernego subsydiowania. Mechanizm dopłat do spłaty części kapitału kredytu ekologicznego sprzyja realizacji technicznie efektywnych projektów, poprawia ich opłacalność i zmniejsza bariery kosztowe przy długich okresach zwrotu.

5.5. Ocena finalna i korzyści pozaenergetyczne

Finalny wskaźnik efektywności ($J.K._{Finalny}$) uzyskano poprzez skorygowanie realnego kosztu społecznego ($J.K._{Gosp.}$) o wartość korzyści pozamaterialnych (Premię pozaenergetyczną, P_{PNE}). Premię obliczono za pomocą macierzy (rozdział 2), nagradzając projekty za stabilność, środowisko i skalę. Wyniki oceny premii pozaenergetycznej przedstawiono w tabeli poniżej.

Tabela 24 Kwantyfikacja premii pozaenergetycznej dla projektów realizowanych w ramach dofinansowania do kredytu ekologicznego.

Lp. / nr bud.	I. Stabilność technologiczna i strategiczna	II. Korzyści środowiskowe	III. Skala inwestycji/rozwój	IV. Wpływ społeczny	Suma [pkt]	Premia pozaenergetyczna [PLN/TOE]
A	2	3	0	0	5	25
A.1.	2	3	0	0	5	25
A.2.	2	3	0	0	5	25
A.3.	2	3	0	0	5	25
B	1	1	0	0	2	10
C	1,75	2,5	0	0	4,25	21,25
C.1.	2	3	0	0	5	25
C.2.	2	3	0	0	5	25
C.3.	2	3	0	0	5	25
C.4.	1	1	0	0	2	10
D	1	2	1	0	4	20

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Wyniki Jednostkowego Kosztu Finalnego, czyli Jednostkowego Kosztu Gospodarki z uwzględnieniem ekwiwalentu pieniężnego wynikającego z potencjalnych korzyści, które generuje projekt, zestawiono w kolejnej tabeli.

Tabela 25 Jednostkowy Koszt Finalny dla projektów realizowanych w ramach dofinansowania do kredytu ekologicznego. Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Lp. / nr bud.	J.K. Gospodarki	Premia pozaenergetyczna	J.K. _{Finalny} [PLN/TOE]
A	1 866	25	1 841
A.1.	1 851	25	1 826
A.2.	994	25	969
A.3.	2 419	25	2 394
B	12 354	10	12 344
C	3 100	21,25	3 079
C.1.	2 734	25	2 709
C.2.	3 223	25	3 198
C.3.	3 862	25	3 837
C.4.	2 541	10	2 531
D	6 839	20	6 819

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Wysokość premii pozaenergetycznej jest najkorzystniejsza w przypadku przedsiębiorstw, które postawiły na rozwiązania wykorzystujące odnawialne źródła energii. Dodatkowo, najwyższą premię uzyskały firmy realizujące inwestycje w kilku budynkach, co łącznie daje szerszą paletę implementowanych rozwiązań i lepiej wpływa na poprawę stabilności strategicznej i technologicznej.

6. Podsumowanie wnioski

6.1. Rozważania metodologiczne implikacje systemowe

6.1.1. Skumulowany efekt energetyczny – bazowa miara trwałości projektu

W zaproponowanej metodologii porównawczej, kluczowe dla obiektywnej oceny jest pojęcie skumulowanej ilości zaoszczędzonej energii ($TOE_{skum.}$), która jest sumą efektów osiągniętych w całym okresie życia rozwiązania (trwałości T). Z perspektywy systemu, interesuje nas łączny, narastający efekt, a nie tylko efekt w pojedynczym roku (TOE_{roczne}).

W najprostszym przypadku (pomijając korekty technologiczne i ekonomiczne), bazową skumulowaną ilość oszczędności po T latach można zapisać jako:

$$TOE_{skum.} = T \times TOE_{roczne}$$

Przykład – założmy, że modernizacja oświetlenia w budynku przynosi rocznie oszczędność na poziomie:

$$TOE_{roczne} = 20 TOE$$

a trwałość efekty wynosi:

$$T = 5 \text{ lat}$$

Jeżeli przyjmiemy brak degradacji sprawności, to po 5 latach skumulowana ilość zaoszczędzonej energii wyniesie:

$$TOE_{skum.} = 5 \times 20 TOE = 100 TOE$$

Ten prosty przykład dobrze ilustruje różnicę między roczną oszczędnością a skumulowanym efektem. Dopiero na tej bazie wprowadzamy dwie korekty: technologiczną (d_t) i ekonomiczną (r), które "urealniam" wartość skumulowanych oszczędności w długim okresie.

6.1.2. Kwestia aktualizacji vs. dyskontowanie efektu energetycznego

W niektórych systemach międzynarodowych, w tym w metodologii francuskiej CUMAC (kWh cumulés actualisés), przyszłe oszczędności energii podlegają aktualizacji ekonomicznej. Polega to na tym, że roczne efekty energetyczne są mnożone przez zadany współczynnik dyskonta, co pozwala sprowadzić całe strumienie oszczędności do jednej porównywalnej wielkości. Jest to podejście nieco podobne do dyskontowania używanego w finansach – jednak rezultat może oznaczać wzrost wartości uzyskanego z upływem czasu.

W niniejszym opracowaniu zachowujemy ideę korygowania efektu w czasie, jednak zaproponowany mechanizm uwzględnia nie tylko degradację techniczną ale również aprecjację wartości efektu w przyszłości:

- korektę techniczną (d) – opisuje fizyczny spadek efektywności technologii w kolejnych latach,
- korektę klimatyczno-wartościową (k) – opisuje zmianę wartości jednostkowej efektu w czasie (m.in. z powodu zmian cen energii i kosztów CO₂).

Oddzielenie tych dwóch procesów ma kluczową zaletę: pozwala na przejrzyste i niezależne modelowanie tego, jak technologia się starzeje oraz jak zmienia się wartość jej efektu w przyszłości. Dopiero na końcu oba procesy są łączone w jedną, skonsolidowaną miarę – stopę dyskontową trwałości efektu:

$$r_{trw} = 1 - (1 - d)(1 + k)$$

lub, przy typowych wartościach (kilka procent):

$$r_{trw} \approx d - k.$$

W tej logice przyszłe efekty energetyczne są dyskontowane, ale stopa dyskonta nie jest stała ani arbitralna – wynika ze struktury technologii i realnych uwarunkowań ekonomiczno-klimatycznych. Dzięki temu:

- technologie szybko degradujące się (duże d) są silniej dyskontowane,
- technologie o rosnącej wartości efektu (duże k) są dyskontowane słabiej,
- a technologie długowieczne o dużym znaczeniu systemowym (np. głęboka termomodernizacja) zachowują wyższą wagę w odległych latach.

Tak zdefiniowana stopa dyskontowa trwałości efektu r_{trw} w przejrzysty sposób urealnia wartość efektu w całym okresie życia projektu i może zostać bezpośrednio zastosowana w klasycznych metodach wyceny, takich jak:

- LCC (Life Cycle Costing),
- ekonomiczna ocena inwestycji,
- porównywanie technologii alternatywnych,
- obliczanie sumarycznych efektów energetycznych w TOE lub MWh.

Metoda ta charakteryzuje się elastycznością i przede wszystkim przejrzystością pozwalającą na rzeczywiste odwzorowanie różnic między technologiami oraz między ich wartością dziś i w przyszłości.

Pozwala również, w przypadku analizy polityk i programów, na łatwą analizę wrażliwości uzyskania efektu.

6.1.3. Implikacje metodologii dla systemu raportowania krajowego

Wskaźnik jednostkowego kosztu finalnego ($J.K._{Finalny}$) stanowiący kompleksową miarę efektywności, nadaje się do wykorzystania w krajowym systemie raportowania, zwłaszcza w kontekście zobowiązań wobec Komisji Europejskiej. Do miejsca, w którym określono $J.K._{Finalny}$, metodologia jest w pełni gotowa do implementacji. Kluczową implikacją jest jej zdolność do wsparcia raportowania na strategicznym poziomie zarządzania.

Agregacja na poziomie programów

Metodologia została zaprojektowana tak, aby dane z każdego projektu mogły być agregowane i raportowane na poziomie programu, a nie indywidualnych przedsięwzięć. Jest to podejście bardziej efektywne i strategiczne, które umożliwia:

- **porównywanie programów** - umożliwia zestawienie średnich wartości $J.K._{Finalny}$ dla różnych instrumentów wsparcia (np. Białe Certyfikaty vs. Kredyt Ekologiczny), co jest niezbędne dla strategicznej alokacji środków publicznych.
- **uzasadnienie kosztów społecznych** - wskaźnik ten pozwala na obronę i uzasadnienie wyższych kosztów projektów strategicznych lub społecznych (np. ukierunkowanych na walkę z ubóstwem energetycznym) poprzez kwantyfikację wartości pozaenergetycznych. Jest to szczególnie istotne przy rozliczaniu środków europejskich i prezentacji efektów przed Komisją Europejską.
- **przewaga nad obecnym raportowaniem** - proponowany system, bazujący na ujednoliconym i zrównoważonym mierniku $J.K._{Finalny}$, oferuje przewagę nad konwencjonalnymi metodami raportowania (opartymi na nominalnym PLN/TOE), które nie uwzględniają ani ryzyka technologicznego, ani korzyści społecznych.

Skupienie raportowania na poziomie programu, przy jednoczesnym wykorzystaniu $J.K._{Finalny}$ jako kluczowego miernika, umożliwia skuteczną i transparentną komunikację efektywności polskiej polityki energetycznej na forum międzynarodowym

6.2. Rekomendacji dotyczące metody wyznaczania stopy dyskontowej trwałości efektu

Określenie stopy dyskontowej trwałości efektu (zakresu oraz wielkości) ma kluczowe znaczenie dla określenia zmian wartości efektu w czasie (dyskontowanie technologiczne i kapitalizacja klimatyczna).

Zatem konieczne są dalsze prace mające na celu:

- a) Określenia stopy dyskontowej technicznej dla najważniejszych grup projektów,
- b) określenie metodologii wyznaczania współczynnika kapitalizacji klimatycznej. W praktyce powinien on być wyznaczany raz w roku, albo nawet raz na kilka lat, na podstawie danych historycznych i analizy przyszłych zmian.

Warto podkreślić, że proponowana metoda nie powinna ograniczać się jedynie do projektów/programów dotyczących efektywności energetycznej, ale do projektów mających na celu przeciwdziałaniu zmianom klimatycznym (kapitalizacja wartości CO₂).

6.3. Porównanie efektywności kosztowej analizowanych programów

Główny algorytm opisanej metodologii pozwala na porównanie efektywności kosztowej analizowanych programów. W przypadku niniejszego opracowania przeanalizowano trzy różne mechanizmy wsparcia efektywności energetycznej i wysnuto następujące wnioski.

W przypadku systemu Białych Certyfikatów (BC) problem zróżnicowania efektywności kosztowej jest dwupoziomowy. W środowisku BC często mamy do czynienia z ekstremalnym rozstrzałem kosztów bazowych, gdzie jednostkowy koszt gospodarki (J.K. Gosp.) dla niektórych projektów jest akceptowalny, a dla innych jest astronomicznie wysoki. W takich przypadkach premia pozaenergetyczna (PPNE) jest zbyt niska, by zmienić fundamentalny wniosek o nieefektywności interwencji, spełniając jedynie rolę ewidencyjną. Jednakże, wprowadzanie PPNE nabiera pełnego sensu i znaczenia decyzyjnego w obszarach, gdzie bazowe efekty są zbliżone, na przykład przy porównywaniu dwóch programów dotacyjnych lub alokacji środków między dwoma projektami o zbliżonym, akceptowalnym koszcie. W tych sytuacjach PPNE staje się jedynym kluczem do rekomendacji finansowania, ponieważ wskazuje, który z projektów o podobnej efektywności finansowej lepiej realizuje priorytety strategiczne państwa, takie jak transformacja przemysłowa czy cele środowiskowe.

Zwiększenie wagi czynników pozaenergetycznych jest kluczowe, aby metodologia mogła skutecznie rozróżniać programy o zbliżonej bazowej efektywności finansowej. W przypadkach, gdy jednostkowy koszt gospodarki (J.K. Gosp.) dla różnych mechanizmów, takich jak ustawa termomodernizacyjna i Kredyt Ekologiczny, jest zbliżony, sama analiza PLN/TOE traci moc decyzyjną. Kluczem do rekomendowania finansowania staje się wówczas zrównoważenie celu transformacji i realizacji priorytetów społecznych (np. walka z ubóstwem energetycznym) z efektywnością kosztową. Uczynienie macierzy oceny korzyści głównym filtrem alokacyjnym, a nie tylko drobną korektą finansową, jest konieczne, by metodologia odzwierciedlała realne cele strategiczne państwa, a nie wyłącznie minimalizację kosztów.

- Koszt finalny dla projektów realizowanych w ramach Systemu Białych Certyfikatów zawiera się dla analizowanych projektów w przedziale od 79 PLN/toe do 8828 PLN/toe.
- Koszt finalny dla projektów realizowanych w ramach Ustawy termomodernizacyjnej zawiera się dla analizowanych projektów w przedziale od 1508 PLN/toe do 11 181 PLN/toe.
- Koszt finalny dla projektów realizowanych w ramach kredytu ekologicznego zawiera się dla analizowanych projektów w przedziale: od 1866 PLN/toe do 12 344 PLN/toe.

6.4. Wnioski dla polityki publicznej

6.4.1. Rekomendacje dotyczące Białych Certyfikatów

Analiza finansowa systemu BC wykazała, że rynkowa cena świadectw efektywności energetycznej, limitowana przez Opłatę Zastępczą, prowadzi do nieefektywności alokacyjnej i nadmiernego subsydiowania, co skutkuje tzw. „windfall profit”. Państwo ponosi stały, wysoki koszt publiczny – około 2235 PLN za każdą zaoszczędzoną jednostkę energii – niezależnie od jej rzeczywistego kosztu bazowego. W efekcie projekty o bardzo niskim koszcie, na przykład 99 PLN za jednostkę, otrzymują subsydium wielokrotnie przewyższające koszt inwestycji, podczas gdy budżet państwa pozostaje niewrażliwy na to, czy finansuje taniej, czy drogą interwencję. Jednocześnie metodologia wykazała konieczność rozróżniania zróżnicowanego ryzyka technologicznego, wskazując, że kogeneracja jest obciążona realnie wyższym ryzykiem utraty efektu niż prostsze systemy.

Kompleksowy miernik finalny, który uwzględnia ryzyko i wartość społeczną, umożliwia miarodajne porównanie efektywności programu BC z innymi instrumentami wsparcia. Dzięki temu państwo może ustalać benchmarki, czyli akceptowalne progi kosztowe, oraz kierować alokacją środków publicznych na podstawie zrównoważonej, a nie tylko bazowej, efektywności kosztowej. Proponowana metodologia daje tym samym przewagę nad obecnymi metodami raportowania, dostarczając ujednoliconego, zrównoważonego miernika, który jest kluczowy dla strategicznego zarządzania polityką efektywności energetycznej.

6.4.2. Rekomendacje dotyczące ustawy termomodernizacyjnej

Przeprowadzone analizy pozwalają wysnuć wniosek, że aktualne zapisy Ustawy o wspieraniu termomodernizacji i remontów oraz CEEB są korzystne zarówno z punktu widzenia społecznego jak i beneficjentów. Poziom realnego wsparcia jest w zasadzie dla większości projektów na podobnym poziomie i różni się w zależności od zakresu i stopnia komplikacji projektu. Wynika to z przyjętych metod optymalnego

wyboru częściowych przedsięwzięć termomodernizacyjnych wchodzących w skład poszczególnego projektu termomodernizacyjnego. Analiza audytów energetycznych według przyjętej metodologii nie pokazała ujemnego jednostkowego kosztu inwestycyjnego, czyli nie występuje ryzyko nadmiernego subsydiowania. Wielokrotnie poprawiany od 1998 roku mechanizm wydaje się właściwy do wspierania realizacji o długich okresach zwrotu, znacząco ułatwiając ich sfinansowanie oraz zmniejszając bariery finansowe w procesie termomodernizacji budynków. Niestety w ostatnich czasach do podstawowego mechanizmu jakim jest premia termomodernizacyjna dołączono wiele składników uzupełniających podstawowy mechanizm finansowy takich jak: premia MZG, premia powodziowa czy dodatkowe wsparcie na zakup i montaż kotew. Konieczne jest więc przeanalizowanie przy pomocy wyżej opisanej metodologii przypadków inwestycji gdzie zastosowane dodatkowe składniki premii termomodernizacyjnej. Warto by również przeanalizować inwestycje oparte o audyt remontowy i składniki premii remontowej. Wtedy będzie można podać rekomendacje o uproszczeniu systemu wsparcia.

6.5.Rekomendacje dotyczące Kredytu Ekologicznego

W przypadku Kredytu Ekologicznego podobnie jak Ustawy termo nie stwierdzono ujemnego jednostkowego kosztu inwestycyjnego, co oznacza, że wsparcie nie przewyższa kosztów modernizacji i nie dochodzi do nadmiernego subsydiowania. Mechanizm dopłat do spłaty części kapitału kredytu ekologicznego sprzyja realizacji technicznie efektywnych projektów, poprawia ich opłacalność i zmniejsza bariery kosztowe przy przedsięwzięciach o długich okresach zwrotu.

6.6.Ograniczenia metodologii i dalsze kierunki badań

Aby poznać ograniczenia metodologii konieczne jest przeprowadzenie analizy większej ilości projektów, które zostały wsparte w ramach poszczególnych omawianych wyżej mechanizmów finansowania efektywności energetycznej. Próbkę do analiz powinny liczyć co najmniej 30 audytów lub wniosków o finansowania tak aby można było wysnuć wnioski dla całej populacji.

Dalsze kierunki badań powinny dotyczyć innych dostępnych systemów wsparcia wzrostu efektywności energetycznej takich jak Program Czyste Powietrze, ulga termomodernizacyjna, fundusze regionalne itp. konieczne są też badania wartości parametrów przyjętych przez ekspertów i rozbudowa metodyki wyznaczania korzyści pozaenergetycznych.

Zaproponowana metoda (kumulowanie i dyskontowanie) pozwala na transparentne porównywanie efektywności inwestycji i wsparcia (co powinno służyć do definiowania narzędzi finansowych) a uwzględnienie korzyści społecznych pozwoli na wyłonienie projektów które mają największy potencjał społeczny.

Uwzględnienie aprecjacji efektu w czasie jest podejściem autorskim i nowatorskim – autorzy opracowania nie znaleźli opisu podobnego mechanizmu w literaturze, pozwalającym na uwzględnienie rzeczywistego wzrostu wartości efektu.

Określenie współczynnika kapitalizacji klimatycznej dla Polskiej gospodarki i próba znalezienia wskaźnika uśrednionego, możliwego do zastosowania we wszystkich inwestycjach mających na celu zmniejszenie zużycia energii (podobnie jak we Francji stopa dyskontowa została określona arbitralnie na 4%) powinno być przedmiotem osobnego opracowania.

Aneks

Przykład: wymiana kompresora na nowy (wybór energooszczędnego) w roku 2015 i po 10 latach (rok 2025)

Poniższy przykład ilustruje sposób wyznaczania efektu energetycznego oraz kosztu jego uzyskania dla modernizacji sprężarkowni, przy zastosowaniu stałych cen (ceny realne, skorygowane o inflację do wspólnego roku odniesienia). Wybrano hipotetyczny przykład, w którym trwałość inwestycji określana jest na 10 lat (po 10 latach jest wymieniane).

Parametry techniczne i ekonomiczne – rok 2015

Rozpatrywana jest inwestycja w sprężarkowni przemysłowej, w której pracuje sprężarka śrubowa olejowa o mocy 75 kW i ciśnieniu roboczym ok. 7,5–8 bar. Sprężarka zasila instalację sprężonego powietrza w trybie ciągłym: 24 godziny na dobę przez 5 dni w tygodniu, co odpowiada ok. 6 240 godzin pracy w roku. Dla takich warunków eksploatacji przyjmuje się wydajność objętościową rzędu 14 m³/min, co daje roczną ilość sprężonego powietrza na poziomie około 5,24 mln m³.

W roku 2015 przedsiębiorstwo stoi przed wyborem pomiędzy zakupem sprężarki „standardowej” a sprężarką „energooszczędną” o tej samej wydajności. Dla sprężarki standardowej przyjmuje się specyficzne zużycie energii elektrycznej 8,5 kWh/100 m³, co przy rocznym wolumenie 5,24 mln m³ odpowiada rocznemu zużyciu energii ≈ 445 536 kWh/rok.

Dla sprężarki energooszczędnej zakłada się poprawę sprawności o ok. 25% (w stosunku do standardowej), co odpowiada specyficznemu zużyciu 6,5 kWh/100 m³, a więc rocznemu zużyciu energii ≈ 340 704 kWh/rok.

Roczny efekt energetyczny wynikający z wyboru wariantu energooszczędnego zamiast standardowego wynosi zatem:

$$\Delta E = E_{\text{std}} - E_{\text{eco}} \approx 445\,536 - 340\,704 \approx 105\,000 \text{ kWh/rok.}$$

W dalszej analizie, dla przejrzystości obliczeń, roczny efekt energetyczny w pierwszym roku eksploatacji przyjmuje się w zaokrągleniu jako **$\Delta E = 105\,000 \text{ kWh/rok}$** .

Zakłada się, że sprężarka ma okres ekonomicznej i technicznej eksploatacji wynoszący 10 lat (po tym czasie wymaga wymiany lub generalnego remontu, wykraczającego poza zakres analizowanego projektu). Oznacza to, że strumień oszczędności energii w wysokości ok. 105 MWh/rok będzie występował przez 10 kolejnych lat, przy czym w dalszej części opracowania uwzględniany jest zarówno spadek efektywności technicznej urządzenia, jak i zmiana wartości jednostkowej oszczędności energii w czasie.

Ceny urządzeń i ceny energii – stałe ceny (ceny realne)

W analizie przyjmuje się, że ceny urządzeń wyrażone są w **cenach stałych**, tj. w wartościach skorygowanych o inflację do wspólnego roku odniesienia. Oznacza to, że poziom cen z 2015 roku jest interpretowany jako równoważny dzisiejszej sile nabywczej.

Dla rozpatrywanego przykładu przyjmuje się następujące ceny realne:

- cena sprężarki standardowej: **80 000 zł**,
- cena sprężarki energooszczędnej: **110 000 zł**.

Dodatkowy nakład inwestycyjny związany z wyborem sprężarki energooszczędnej wynosi więc:

$$\Delta CAPEX = 110\,000 \text{ zł} - 80\,000 \text{ zł} = 30\,000 \text{ zł.}$$

Równocześnie zakłada się, że w roku 2015 cena energii elektrycznej dla analizowanego odbiorcy (np. taryfa C11) wynosi w ujęciu realnym **1,08 zł/kWh**. W kolejnych częściach opracowania cena ta traktowana jest jako wartość początkowa, która może rosnąć w czasie, natomiast wszystkie wielkości finansowe są wyrażane w stałych cenach – tak, aby możliwe było porównywanie projektów realizowanych w różnych latach bez wpływu ogólnego poziomu inflacji.

Tabela 26 Roczne oszczędności energii, wartości efektu i jednostkowe koszty – projekt 2015 (parametry: spadek techniczny $d = 1,04\%$ rocznie; wzrost wartości jednostkowej oszczędności $k = 7,18\%$ rocznie)

Rok	Energia bez spadku [kWh]	Oszczędność ze spadkiem efektywności	Wzrost wartości (k) – efekt pieniężny	Wartość roczna (d-k)	Roczna wartość rozłożonej dopłaty CAPEX [zł]	Jednostkowa wartość zmniejszenia [zł/kWh]
1	105 000	103 908	111 327	111 405	2 265	0,0218
2	105 000	102 827	118 035	118 201	2 404	0,0234
3	105 000	101 758	125 148	125 411	2 550	0,0251
4	105 000	100 699	132 689	133 061	2 706	0,0269

5	105 000	99 652	140 684	141 178	2 871	0,0288
6	105 000	98 616	149 162	149 790	3 046	0,0309
7	105 000	97 590	158 150	158 927	3 232	0,0331
8	105 000	96 575	167 679	168 621	3 429	0,0355
9	105 000	95 571	177 783	178 907	3 638	0,0381
10	105 000	94 577	188 496	189 821	3 860	0,0408
Suma	1 050 000	991 775	—	1 475 321	30 000	—

Źródło: Opracowanie własne KAPE S.A.

Opis tabeli

Tabela przedstawia szczegółowe obliczenia dziesięcioletniego efektu energetycznego (oszczędność w kWh) wraz ze zmianami wartości:

1. **Spadku efektywności technicznej sprężarki (kolumna 3)** Roczne oszczędności energii maleją o **1,04%** rocznie. Łącznie, w horyzoncie 10 lat, efekt energetyczny wynosi **991 775 kWh**, względem **1 050 000 kWh**, jakie uzyskano by przy braku degradacji.
2. **Zmiany wartości jednostkowej oszczędności energii (kolumna 4)** Wartość każdej zaoszczędzonej kWh rośnie w czasie z powodu rosnącej ceny energii oraz kosztów emisji CO₂. Przyjęto wzrost wartości o **k = 7,18% rocznie**.

W efekcie roczna wartość oszczędności wzrasta z 111 tys. zł w roku 1 do prawie 190 tys. zł w roku 10.

3. **Rocznej wagi efektu (kolumna 5)** Kolumna „d-k” przedstawia zdyskontowaną wartość rocznych efektów, z uwzględnieniem jednoczesnego spadku spowodowanego degradacją techniczną (d) i wzrostu wartości wynikającej z tego, że inwestor w roku 2025 za oszczędności energii musi zapłacić dwukrotnie większą cenę (k).
4. **Rozłożenia dodatkowego nakładu inwestycyjnego (30 000 zł) proporcjonalnie do wagi efektu w poszczególnych latach (kolumna 6)** Dzięki temu możliwe jest wyznaczenie rocznego i jednostkowego kosztu uzyskania efektu.
5. **Jednostkowej wartości zmniejszenia (kolumna 7)** Wartość ta przedstawia koszt przypadający na 1 kWh oszczędności w danym roku, liczony jako:

$$\text{koszt jednostkowy}_t = \frac{\text{roczna część dopłaty CAPEX}_t}{105\,000 \text{ kWh}}$$

Wartość jednostkowa rośnie w czasie z powodu kumulacji efektu k.

W horyzoncie 10 lat łączna zaktualizowana wartość efektu wynosi **1 475 321 zł**, natomiast łączny koszt dodatkowy pozostaje równy **30 000 zł**, co przekłada się na relatywnie niski koszt uzyskania jednostki efektu.

Przykład obliczeniowy – modernizacja sprężarkowni (w roku 2025)

W roku 2025 przedsiębiorstwo ponownie ma kupić sprężarkę (poprzednia nadaje się na złom) i analizuje możliwość dalszej poprawy efektywności energetycznej sprężarkowni. W instalacji pracuje sprężarka zakupiona 10 lat wcześniej (około 2015 r.) – wówczas była to nowoczesna jednostka energooszczędna, której parametry znacznie przewyższały standard techniczny sprężarek dostępnych na rynku. Po dziesięciu latach eksploatacji urządzenie uległo naturalnemu zużyciu technicznemu, a jego efektywność spadła o ok. 10% (co zostało uwzględnione w postaci dyskontowania rechnologicznego).

Jednocześnie w roku 2025 rynek sprężarek znacząco się zmienił. Rozwiązania, które w 2015 r. były określane jako „energooszczędne”, stały się de facto **nowym standardem technicznym**. Oznacza to, że współczesna sprężarka standardowa z roku 2025 osiąga sprawność zbliżoną do tej, którą dziesięć lat wcześniej miała wersja premium. Jednocześnie, w roku 2025 różnica między „standardem” a „wersją bardzo energooszczędną” jest znacznie mniejsza (ze względu na coraz bardziej „wyśrubowane” rozwiązania, zbliżające się do granicy możliwości techniczno-termodynamicznych).

Parametry techniczne i ekonomiczne – rok 2025

Przyjmuje się następujące wartości odniesienia dla rynku roku 2025:

- **Wydajność sprężarki:** ok. 14 m³/min (analogicznie jak wcześniej),
- **Czas pracy:** 6 240 h/rok (24 h × 5 dni/tydzień),
- **Cena energii w ujęciu realnym:** 1,20 zł/kWh.

Sprawność sprężarek dostępnych na rynku roku 2025

1. **Nowy model standardowy (2025)** Osiąga już sprawność porównywalną urządzeniem „energooszczędnym” roku 2015:

$$SEC_{std,2025} \approx 6,5 \text{ kWh/100 m}^3.$$

2. **Nowy model energooszczędny (2025)** Zastosowane udoskonalenia technologiczne pozwalają obniżyć zużycie energii **jedynie ok. 10% względem „nowego standardu” (10 lat wcześniej efekt był dwukrotnie wyższy, bo technicznie osiągnięcie oszczędności było znacznie łatwiejsze):**

$$SEC_{eco,2025} \approx 5,8 \text{ kWh/100 m}^3.$$

Przy rocznym wolumenie ok. 5,24 mln m³ oznacza to:

- roczne zużycie energii przez sprężarkę standardową:

$$E_{std,2025} \approx 340\,700 \text{ kWh/rok},$$

- roczne zużycie przez sprężarkę w wersji energooszczędnej:

$$E_{eco,2025} \approx 288\,300 \text{ kWh/rok}.$$

Roczny efekt energetyczny wynosi zatem:

$$\Delta E_{2025} = E_{\text{std},2025} - E_{\text{eco},2025} \approx 52\,400 \text{ kWh/rok.}$$

W porównaniu do analogicznej różnicy w roku 2015 (ok. 105 000 kWh/rok), efekt energetyczny jest **blisko dwukrotnie mniejszy**.

Dlaczego efekt w roku 2025 jest dwukrotnie niższy?

1. Poziom technologiczny rynku przesunął się do przodu

W roku 2015 wybór sprężarki energooszczędnej oznaczał przeskok technologiczny rzędu 25% względem standardu. W roku 2025 — dzięki naturalnemu rozwojowi technologii — **ten sam poziom sprawności stał się rynkowym standardem**. Nowe urządzenia dostępne „z półki” są tak samo efektywne, jak modele premium sprzed dekady.

2. „Dystans technologiczny” między standardem a wersją premium znacząco się zmniejszył

W 2015 r.:

- sprężarka standardowa: 8,5 kWh/100 m³,
- sprężarka energooszczędna: 6,5 kWh/100 m³,
- różnica: **≈ 25%**,
- efekt: **105 MWh/rok**.

W 2025 r.:

- standard: 6,5 kWh/100 m³,
- wersja energooszczędna: 5,8 kWh/100 m³,
- różnica: **≈ 10%**,
- efekt: **52 MWh/rok**.

Różnica w oszczędności energii jest proporcjonalna do różnicy sprawności. Ponieważ nowy standard „dogonił” dawną wersję premium, dodatkowa oszczędność energii możliwa dzięki wyborowi najnowszego modelu energooszczędnego jest mniejsza.

3. **Tasama dopłata inwestycyjna kupuje dziś mniejszy „bonus efektywnościowy”**

W obu latach, w omawianym hipotetycznym przykładzie) różnica cen wynosi 30 000 zł. Jednak w roku 2025 za tę samą kwotę można „kupić” tylko połowę oszczędności energii, ponieważ:

- rynek już jest bliżej optimum efektywności,
- nowe technologie przynoszą mniejsze przyrosty sprawności w stosunku do standardu.

Przybliżona wartość jednostkowej oszczędności obliczona dla inwestycji wykonanej w roku 2025 wynosi ok. 0,04 PLN /kWh. Jest to wartość równa wartości obliczonej dla ostatniego roku eksploatacji urządzenia kupionego w roku 2015 przy wykorzystaniu metodologii dyskontowania technologicznego i kapitalizacji klimatycznej).



**Opracowanie powstało w ramach projektu
Ensmov Plus (LIFE21-CET-POLICY-ENSMOV-Plus/101076098)**



Wydawca:

Krajowa Agencja Poszanowania Energii
S.A.
Al. Jerozolimskie 65/79
00-697, Warszawa

Redakcja:

Adam Ślusarz
(Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A.)

Opracowanie graficzne i skład:

Radostaw Szydłowski - [LJ](#)

Autorzy:

dr inż. Paweł Gilewski
Michał Kaczmarek
dr hab. inż., prof. uczelni Arkadiusz
Węglarz
mgr inż. Marek Zaborowski
mgr Karolina Loth-Babut

Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A.

Aleje Jerozolimskie 65/79, 00-697 Warszawa

 **+48 (22) 626 09 10**

 **kape@kape.gov.pl**

 **www.kape.gov.pl**

 **www.kape.gov.pl/ensmovplus**

 **www.linkedin.com/company/kape-sa/**