

Efektywność energetyczna w budownictwie



autor: Jerzy Żurawski

- maj 2013 -

Spis treści

TEMAT: "Efektywność energetyczna w budownictwie"	3
1. Wprowadzenie.....	3
1.1 Klasyfikacja energetyczna budynków.	5
1.1.1 Energia użytkowa EU.....	6
1.1.2 Energia końcowa EK.....	6
1.1.3 Energia nieodnawialna pierwotna EP	6
1.2 Elementy mające wpływ na zużycie energii w budynku	7
2. Budynki ujęciu Dyrektywy 2010/31/UE.	9
2.1 Definicje:	9
2.2 Polski klimat	13
3. Budynek optymalny	15
4. Budynki o pasywnej charakterystyce energetycznej.....	18
4.1 Dom pasywny – definicja.	18
4.2 Wymagania stawiane budynkom pasywnym.	20
Wymagania szczegółowe:	20
4. Projektowanie i wykonywanie budynków o radykalnie niskiej charakterystyce energetycznej.....	21
4.1 Wprowadzenie.....	21
4.2 ETAP I. Przygotowanie wymagań przetargowych.....	21
4.2.1 Parametry izolacyjne przegród budowlanych.....	22
4.2.2 Wymagania w zakresie zapotrzebowania na ciepło.	22
4.2.3 Instalacja grzewcza i chłodnicza.....	23
4.2.4 Oświetlenie pomieszczeń.....	23
4.3 ETAP 2. Realizacja inwestycji	23
4.4 Charakterystyka energetyczna wybudowanej szkoły	25
4.5 Montaż istotnych elementów budynku.....	26
5. Budynki o optymalnej charakterystyce energetycznej.....	31
6. Podsumowanie	35
Literatura	36

TEMAT: "Efektywność energetyczna w budownictwie"

1. Wprowadzenie.

Ostatnio w wielu media poruszana jest tematyka budownictwa energooszczędnego, szczególnie modne są budynki pasywne. Trudno się dziwić skoro potocznie mówi się, że budownictwo pasywne nie wymaga ogrzewania. Koncepcja domów energooszczędnych cieszy się aktualnie największym zainteresowaniem. Trudno się dziwić. Przy szybkim wzroście cen nośników energii szukamy rozwiązań, które zmniejszą zapotrzebowanie na energię, czyli koszty. W ramach badań naukowych powstały różnego rodzaju energooszczędne budynki: pasywne zeroenergetyczne, samowystarczalne (fot.1)



Zdjęcie 1. Dom helioaktywny samowystarczalny.

Ostatnie trzy lata potwierdzają zwiększone zainteresowanie inwestorów budownictwem energooszczędnym i pasywnym. Przyczyną rosnącego zainteresowania inwestorów budownictwem energooszczędnym jest szybki wzrostem cen energii.

W Polsce, jak i w większości krajów Unii Europejskiej można zaobserwować stopniowe prawne ograniczanie zużycia energii w budynkach nowych oraz poddawanych remontom i modernizacji. W ramach Unii Europejskiej w ostatnich latach wprowadzono szereg dyrektyw mających poprawić efektywność energetyczną budynków. Do najważniejszych należą:

1. Dyrektywa 2004/8/WE z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie wspierania kogeneracji w oparciu o zapotrzebowanie na ciepło użytkowe na rynku wewnętrznym energii. [1]
2. Dyrektywa 2006/32/WE z dnia 5 kwietnia 2006 r, w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych. [2]
3. Dyrektywa 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych. [3]
4. Dyrektywa 2009/125/WE z dnia 21 października 2009 r. ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów związanych z energią. [4]
5. Dyrektywa UE 2010/30/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie wskazania poprzez etykietowanie oraz standardowe informacje o produkcie, zużycia energii oraz innych zasobów przez produkty związane z energią. [5]
6. **Dyrektywa 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.** [6]

W dyrektywie 2010/32/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków oszacowano, że budownictwo odpowiada za 41% całkowitego zużycia energii (wykres 1). Ograniczenie zużycia energii oraz wykorzystywanie energii ze źródeł odnawialnych w sektorze budynków stanowią istotne działania konieczne do ograniczenia uzależnienia energetycznego Unii i emisji gazów cieplarnianych [3]. Rada Europy podkreśla konieczność poprawy efektywności energetycznej w krajach Unii, tak aby osiągnąć cel, jakim jest obniżenie do 2020 r. zużycia energii przez Unię o 20 %. W opracowanym „Planie działania na rzecz racjonalizacji zużycia energii: sposoby wykorzystania potencjału” wskazano istotne możliwości zaoszczędzenia energii w sposób opłacalny ekonomicznie w sektorze budynków.

Energia używana przez budynek, to:

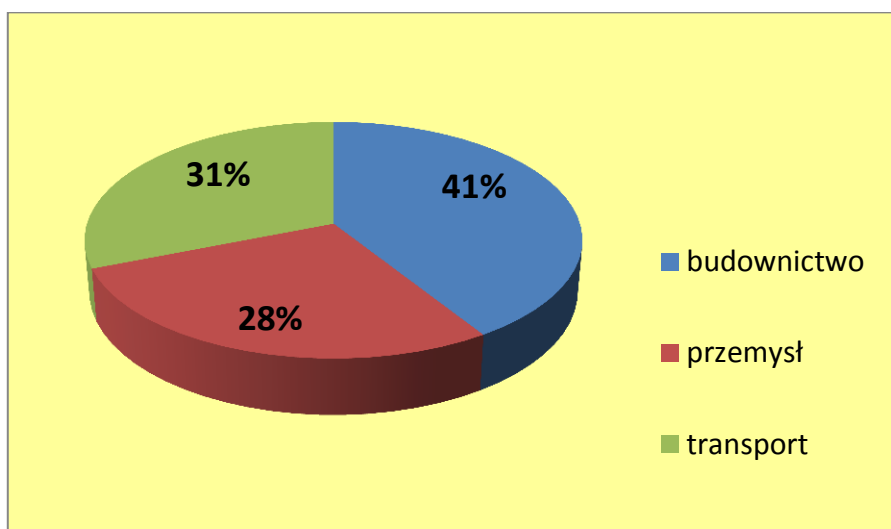
energia wbudowana, czyli energia skumulowana w budynku w czasie jego wznoszenia, w postaci energii zużytej do produkcji materiałów, transportu, procesów wbudowywania oraz energia niezbędna do przeprowadzenia remontów i konserwacji;

energia eksploatacyjna, czyli energia używana w czasie użytkowania na ogrzewanie, wentylację, klimatyzację, oświetlenie oraz energię używaną podczas wykonywania remontu;

energia przetworzenia, czyli energia niezbędna w procesie rozbiórki obiektu i zagospodarowania odpadów.

Przykładowo dla trzech różnych typów budynków wyznaczono w okresie 50 lat eksploatacji średnie zużycie energii na etapie wznoszenia, które wyniosło około 11,3% na etapie eksploatacji 88,4% (z czego na użytkowanie około 83,9%). Ewentualna rozbiórka po okresie 50 lata pochłonięłaby tylko 0,4% energii (tabela 1).

Wykres 1. Procentowe zużycia energii w sektorze budownictwa, przemysłu i transportu.



Zużycie energii w okresie eksploatacji w budynku spełniającym aktualne wymagania prawne przedstawia się w następująco:

na c.o. i wentylacjęokoło 50%-60%

na c.w.u. około 20%- 25%

na oświetlenie około 10%-15%

energia elektryczna na inne cele ok. 5% do 10%

Na cele grzewcze na c.o. i c.w.u. zużywa się ok 75%-80% energii, w cyklu życia budynku stanowi to ok 67 % całkowitej energii zużywanej na etapie budowy, eksploatacji oraz rozbiórki.

Tabela 1. Zużycie energii w cyklu „życia” tj. na etapie budowy, eksploatacji oraz rozbiórki w budynków o różnej konstrukcji

Etapy istnienia	Budynek 1		Budynek 2		Budynek 3		Średnie zużycie energii dla poszczególnych etapów życia budynku
	kWh/m ² 50 lat	%	kWh/m ² 50 lat	%	kWh/m ² 50 lat	%	
Wytwarzanie							
wytwarzanie materiałów	900	10,5	870	9,9	730	9,6	10,0
transport materiałów	40	0,5	40	0,5	30	0,4	0,5
wzniesienie	80	0,9	70	0,8	50	0,7	0,8
Razem procentowy udział zużycia energii na etapie wytwarzania							11,3
Użytkowanie							
użytkowanie	7100	82,9	7400	84,4	6400	84,4	83,9
remonty (materiały)	390	4,6	370	4,2	330	4,4	4,4
remonty (transport)	10	0,1	10	0,1	10	0,1	0,1
Razem procentowy udział zużycia energii na etapie eksploatacji							88,4
Rozbiórka							
demontaż	10	0,1	10	0,1	10	0,1	0,1
transport	30	0,4	20	0,2	20	0,3	0,3
Razem procentowy udział zużycia energii na etapie rozbiórki							0,4
Energia całkowita kWh/m²	8560	100,0	8790	100,0	7580	100	100

Stopniowe zaostrzenie wymagań pranych dotyczących energochłonności budownictwa spowodowało obniżanie jego energochłonności. Aktualnie budowane budynki spełniające wymagania prawne wg polskiego prawa charakteryzują się zapotrzebowaniem na energię użytkową na c.o. i wentylację, wahającą się w przedziale od 75-149 kWh/m²rok. Energia na ciepłą wodę zależy od przeznaczenia budynku. W budownictwie mieszkaniowym wielorodzinnym zapotrzebowanie na energię użytkową na c.w.u. wynosi aktualnie ok. 40 kWh/m²rok a w budownictwie jednorodzinym ok 25 kWh/m²rok. W tej sytuacji można być pewnym, że w istnieją duże możliwości w zakresie poprawy efektywności energetycznej budownictwa. Zagadnienie jednak jest złożone i zależy od wielu czynników.

1.1 Klasyfikacja energetyczna budynków.

Podział na klasy energetyczne budynków nie został nigdy ostatecznie zdefiniowany. W różnych krajach obowiązują różne definicje w zależności do punktu odniesienia. Znane są budynki opisane przez zużycie odpowiedniej dla klasy energetycznej np. ilości oleju np. Znaleźć tu można budynki nazwane jako trzylitrowe co oznacza że zużywają 3 litry oleju na 1 m² powierzchni. W tabeli 2 zamieszczono wyjaśnienie co oznacza dom trzy czy pięciolitrowy w odniesieniu do jednostki kWh/m²rok. Podział ten jest czytelny dla inwestora, łatwo umożliwia przeliczyć koszty eksploatacji rocznej na 1 m² powierzchni użytkowej.


Tabela 2. Klasyfikacja domów ze względu na zużycie oleju opałowego o wartości opałowej 36 MJ/l

Dom	olej op.	EK
	l	kWh/m ² K
Wg aktualnych wymagań prawnych WT2009	12	120
Dom pięciolitrowy	5	50
Dom trzylitrowy	3	30
Dom półtoralitrowy (pasywny)	1,5	15

Inny podział na klasy energetyczne przedstawia klasyfikacja wg Stowarzyszenia na Zrównoważonego Rozwoju zamieszczono w tabeli 3, w którym wyróżniono następujące grupy budynków: zeroenergetyczny, pasywny, niskoenergetyczny, energooszczędny, według aktualnych wymagań prawnych, energochłonny i wysokoenergetyczny. Odniesieniem klasyfikacji jest wskaźnik energii

użytkowej, który odnosi się do zapotrzebowania na energię użytkową EU dla budynku bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego.

Tabela 3. Klasyfikacja energetyczna budynków wg Stowarzyszenia na Zrównoważonego Rozwoju

Klasyfikacja energetyczna budynków wg  STOWARZYSZENIE NA RZECZ ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU		
Klasa energetyczna	rodzaj budynku	Wskaźnik EU [kWh/m ² rok]
A++	Zeroenergetyczny	≤ 10
A+	Pasywny	do 15
A	Niskoenergetyczny	od 15 do 45
B	Energooszczędny	45 do 80
C	Średnio energooszczędny	80 do 100
D	Minimum prawne (spełniający aktualne wymagania prawne)	100 do 150
E	Energochłonny	150 do 250
F	wysoko energochłonny	ponad 250

1.1.1 Energia użytkowa EU.

Zapotrzebowanie na energię użytkową EU [kWh/m²rok] określa roczna ilość energii dla ogrzewania (ewentualnie chłodzenia), wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej. Jest ona obliczana dla standardowych warunków klimatycznych i standardowych warunków użytkowania i jest miarą efektywności energetycznej budynku. Jest to energia, jaką potrzebuje budynek, uwzględniająca wszystkie straty ciepła przez przegrody i wentylację oraz zyski ciepła. Duża wartość EU oznacza, że budynek jest energochłonny.

1.1.2 Energia końcowa EK.

Zapotrzebowanie na energię końcowa EK [kWh/m²rok] określa roczną ilość energii dla ogrzewania (ewentualnie chłodzenia), wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz oświetlenia wbudowanego z uwzględnieniem sprawności systemów. Jest ona obliczana dla standardowych warunków klimatycznych i standardowych warunków użytkowania i jest miarą efektywności energetycznej budynku i jego techniki instalacyjnej. Zapotrzebowanie na energię końcową to ilość energii bilansowana na granicy budynku, która powinna być dostarczona do budynku przy standardowych warunkach z uwzględnieniem wszystkich strat, aby zapewnić utrzymanie obliczeniowej temperatury wewnętrznej, niezbędnej wentylacji, oświetlenie wbudowane i dostarczenie ciepłej wody użytkowej. Duża wartość EK oznacza, że:

- albo budynek jest energochłonny
- albo instalacja charakteryzuje się niezadowalającą sprawnością
- albo oświetlenie jest energochłonne

1.1.3 Energia nieodnawialna pierwotna EP

Zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną EP [kWh/m²rok] określa efektywność całkowita budynku. Uwzględnia ona, obok energii końcowej, dodatkowe nakłady nieodnawialnej energii

pierwotnej na dostarczenie do granicy budynku każdego wykorzystanego nośnika energii (np. oleju opałowego, gazu, energii elektrycznej, energii odnawialnych itp.). Uzyskane małe wartości wskazują na nieznaczne zapotrzebowanie i tym samym wysoką efektywność i użytkowanie energii nieodnawialnej pierwotnej chroniące zasoby i środowisko. Duża wartość EP oznacza, że:

- albo budynek jest energochłonny
- albo instalacja charakteryzuje się niezadowalającą sprawnością
- albo oświetlenie jest energochłonne
- albo wykorzystywane jest źródło nieodnawialne energii np. energia elektryczna przygotowywana z paliw kopalnych
- z reguły występuje kilka wyżej wymienionych przyczyn naraz.

1.2 Elementy mające wpływ na zużycie energii w budynku

Obliczeniowe lub rzeczywiste zużycie energii w budynkach zależy od wielu czynników. Wszystkie mają wpływ na jakość energetyczną budynku. Czynniki te można podzielić na zewnętrzne i wewnętrzne, zależą one od:

- lokalizacji budynku w odniesieniu do strefy klimatycznej,
- usytuowania względem stron świata,
- sposobu eksploatacji,
- wyposażenia w różnego rodzaju urządzenia emitujące podczas użytkowania ciepło,
- czynników urbanistycznych do których należy również miejscowy plan zagospodarowania terenu, determinujących usytuowanie budynku względem stron świata, wysokość, zacienie od otaczających budynków,
- zieleni i elementów małej architektury,
- przyjętych rozwiązań projektowych.

Od projektanta, od jego umiejętnego wykorzystywania lokalnych warunków klimatycznych i urbanistycznych, zależać będzie w dużej mierze czy budynek będzie energooszczędny. Podczas projektowania budynków o radykalnie obniżonej charakterystyce należy zwrócić uwagę na wiele czynników mających wpływ na jakość energetyczną budynku. Jednak aby prawidłowo dobrać rozwiązania techniczne należy zapoznać się z lokalnym klimatem oraz ustalić sposób eksploatacji budynku.

Klimat zewnętrzny. Projektowanie budynku wymaga dostosowania rozwiązań technicznych do panującego klimatu. Decydujące czynniki klimatyczne, na jakie powinien zwrócić zespół projektowy szczególną uwagę, to:

- minimalne temperatury w zimie, okres występowania oraz czas ich trwania,
- średnia temperatura w okresie grzewczym,
- dominujące wiatry w okresie grzewczym,
- maksymalne temperatury w okresie letnim, czas trwania oraz okres ich występowania (miesiąc), nachylenie słońca w tym okresie,
- opady i wilgotność,
- temperatury minimalne w lecie oraz w okresach mocnych,

Standardowe użytkowanie budynku. Projektowanie budynków energooszczędnych narzuca konieczność dokładnego analizowania wewnętrznych zysków ciepła, ich trwania, maksymalnego obciążenia przez użytkowników i wynikających z tego konsekwencji. Pominięcie tego zagadnienia może doprowadzić do dużych problemów eksploatacyjnych związanych z zapewnieniem odpowiedniego klimatu wewnętrznego w pomieszczeniach.

Ograniczenia urbanistyczne – otoczenie. Ograniczenia urbanistyczne wiążą się z ramami prawnymi narzuconymi przez plany w zakresie zagospodarowania przestrzennego, strategię energetyczne dla regionu oraz uwarunkowania istniejącej w otoczeniu miejsca planowanej inwestycji.

Klimat wewnętrzny narzucony jest przez funkcje budynku i poszczególnych pomieszczeń. Do podstawowych czynników (środowiskowych) wpływających na poczucie komfortu lub dyskomfortu człowieka należą:

- temperatura powietrza
- prędkość powietrza
- wilgotność względna powietrza
- czystość powietrza
- temperatura promieniowania powierzchni
- asymetria rozkładu temperatury w pomieszczeniu
- hałas
- oświetlenie

Na podstawie uzyskanych i przeanalizowanych danych zewnętrznych oraz klimatu wewnętrznego w dalszej pracy projektowej należy założyć zużycie energii w budynku z uwzględnieniem wpływu warunków zewnętrznych. Przy projektowaniu budynków energooszczędnych należy pamiętać o podstawowych zasadach dotyczących:

1. **Geometrii budynku.** Budynek powinien być zwarty, o odpowiednim rozmieszczeniu stolarki i pomieszczeń wewnątrz budynku.
2. **Izolacyjności termicznej przegród zewnętrznych.** Parametry izolacyjne przegród powinny być wyznaczone z uwzględnieniem skutków dla klimatu wewnętrznego w całym roku oraz w oparciu o optymalizację z uwzględnieniem trwałości rozwiązań.
3. **Parametrów efektywności energetycznej przegród przezroczystych.** Przegrody przezroczyste powinny się charakteryzować się optymalną izolacyjnością termiczną oraz zmiennymi parametrami przepuszczalności energii słonecznej.
4. **Rozwiązania detali połączeń minimalizując wpływ mostków cieplnych** i słabych miejsc konstrukcyjnych przegród z punktów widzenia fizyki budowli.
5. **Szczelności budynku.** Budynki powinny być szczelne, co pozwala eliminować niekontrolowane straty ciepła przez przecieki powietrza.
6. **Wentylacji.** Wentylacja hybrydowa, mechaniczna z odzyskiem ciepła w z wymiennikiem gruntowym działająca okresowo.
7. **Systemu grzewczego.** Wysokosprawny system grzewczy umożliwiający wykorzystanie energii ze źródeł energii, współpracujący z GWC.
8. **Systemu chłodniczego.** Minimalizacja energii na chłodzenie przez wykorzystanie freecoolingu, GWC, oraz zastosowanie bezpośredniego chłodzenia na wymiennik z dolnego źródła pompy ciepła.
9. **Pojemności cieplnej.** Projektowanie budynków z uwzględnieniem pojemności cieplnej.

- 10. Inteligentnego zarządzania energią i budynkiem.** Zarządzanie energią i budynkiem powinno umożliwić wykorzystanie energii z OZE (wymyenniki gruntowe, słoneczne panele termiczne) w pierwszej kolejności, odpowiednio dostosowując pracę systemu do charakterystyki energetycznej budynku z uwzględnieniem pojemności cieplnej.
- 11. Zielenią wokół i na budynku.** Budynek wykorzystujący zieleń zewnętrzną i wewnętrzną wspomagającą efektywność energetyczną budynku oraz poprawiającą klimat wewnętrzny.
- 12. Energią odnawialną produkującą energię dla potrzeb budynku lub do sieci.** Produkcja energii elektrycznej z OZE na budynku lub w pobliżu, umożliwiającego zbilansowanie energetyczne dostarczanej i pobieranej z sieci energii.

2. Budynki ujęciu Dyrektywy 2010/31/UE.

Znowelizowana w 2010 roku dyrektywa 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków przedmiotowo poświęcona jest znaczącej poprawie charakterystyki energetycznej budynków oraz wymagań dotyczących klimatu wewnętrznego i opłacalności ekonomicznej. Przewidziano, że sukcesywnie kraje członkowskie będą stopniowo ograniczać zużycie energii w budynkach tak aby w 2021 wszystkie nowe budynki były zero lub niemal zeroenergetyczne.

Dla budynków istniejących przewidziano również stopniową poprawę efektywności energetycznej, Celem jest zapewnienie, aby przy wykonywaniu ważniejszej renowacji budynków charakterystyka energetyczna budynku (lub jego części poddawana renowacji) została poprawiona tak, aby spełniała minimalne wymagania dotyczące charakterystyki energetycznej. Wymagania te będą dotyczyć budynku, jak i modułu budynku poddawanych renowacji jako całość a także poszczególnych elementów budynków poddawanych renowacji.

Należy jednak pamiętać, że państwa członkowskie mogą podjąć decyzję o niestosowaniu wymagań budowy budynków zeroenergetycznych (ZEB) w konkretnych i usprawiedliwionych przypadkach, jeżeli wynik analizy kosztów i korzyści ekonomicznego cyklu życia danego budynku jest negatywny. Oznacza to możliwość ustalenia innych standardów energetycznych budynków, jeżeli nie ma to uzasadnienia ekonomicznego.

Podsumowując, do 2020 roku w krajach UE określone zostaną wymagania ogólne dotyczące budynków o zerowej charakterystyce energetycznej lub bliskiej zero energetycznej oraz wymagania szczegółowe efektywności energetycznej ekonomicznie uzasadnione dla elementów budynków takich jak: przegrody budowlane, systemy grzewcze, wentylacyjne, klimatyzacyjne oraz oświetleniowe.

2.1 Definicje:

Podstawą prawną dla sprecyzowania definicji budynku zeroenergetycznego jest dyrektywa 2010/31/UE oraz odpowiednie normy. Kraje członkowskie powinny opracować własne standardy budynku ZEB z uwzględnieniem warunków klimatycznych zewnętrznych i wewnętrznych oraz zagadnień opłacalności ekonomicznej. W Polsce nie stworzono jeszcze własnej definicji w zakresie ZEB.

Definicja budynku zeroenergetycznego lub niemal zero energetycznego w ujęciu dyrektywy 2010/31/UE stanowi, że jest to budynek o niemal zerowym zużyciu energii. Oznacza to budynek o bardzo wysokiej charakterystyce energetycznej obejmującą liczbowy wskaźnik zużycia energii pierwotnej wyrażony w kWh/m² na rok. Niemal zerowa lub bardzo niska ilość wymaganej energii powinna pochodzić w bardzo wysokim stopniu z energii ze źródeł odnawialnych, w tym energii ze źródeł odnawialnych wytwarzanej na miejscu lub w pobliżu.

Definicja ta nie precyzuje, czy budynek powinien być samowystarczalny energetycznie co oznacza, że dopuszczone jest bilansowanie energii produkowanej na miejscu i wyeksportowanej do sieci oraz dostarczanej z sieci, co jest zgodne z zapisami zamieszczonymi w normach EN 15603:2008 oraz EN 15316-1:2007.

Pojawia się nowa definicja – budynek netto zero energetyczny (nZEB), którego bilans energii produkowanej na miejscu lub w pobliżu oraz energii pobieranej z sieci w odniesieniu do energii pierwotnej będzie co najmniej 0 kWh/(m²·rok).

Niezbędne jest też zdefiniowanie budynku o niemal zerowym zużyciu energii. Zgodnie z zawartą w dyrektywie regułą kosztów optymalnych niemal netto zero energetyczny budynek (nnZEB) zdefiniowany jest jako budynek którego zużycie energii określony przy wykorzystaniu reguły krajowego kosztu optymalnego używający więcej niż 0 kWh/(m²·a) energii pierwotnej. Ten typ budownictwa można też nazwać optymalnym pod względem kosztów. Każdy kraj powinien określić minimalne dopuszczalne zużycie energii pierwotnej. W celu sprecyzowania ogólnej definicji niezbędne będzie określenie wartości współczynników nakładu energii pierwotnej i w jaki sposób powinny zostać wykorzystane w obliczeniach wskaźnika energii pierwotnej budynku.

Definicja budynku niemal netto zero energetycznego zgodnie normą EN 15603:2008 oznacza energię netto będącą różnicą energii dostarczonej do budynku i wyeksportowanej odniesioną do danego nośnika energii.

Konieczne jest zatem określenie co należy rozumieć pod hasłem energia dostarczana, wyeksportowana i pierwotna. Energia dostarczona wg EN 15603:2008 jest to energia odniesiona do danego nośnika energii, dostarczana do systemów technicznych budynku spoza granicy bilansowej, niezbędna do zaspokojenia potrzeb (np. ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, przygotowania ciepłej wody, oświetlenia, urządzeń itp.) lub do produkcji energii elektrycznej.

Energia wyeksportowana wg EN 15603:2008 to energia odniesiona do danego nośnika energii, dostarczana przez systemy techniczne budynku poza granicę bilansową i używana poza nią.

Energia dostarczona netto (EN 15603:2008) – różnica pomiędzy energią dostarczoną a wyeksportowaną wyrażonych w odniesieniu do nośnika energii.

Energia pierwotna (nowelizacja dyrektywy EPBD) – energia ze źródeł odnawialnych i nieodnawialnych, która nie została poddana żadnemu procesowi przemiany lub transformacji.

Kolejnym uzupełniającym pojęciem jest definicja granicy bilansowej oraz techniczne sprecyzowanie pojęcia „w pobliżu” zawartego w dyrektywie. Granica systemu wg normy EN 15603:2008 oznacza granicę zawierającą wszystkie obszary związane z budynkiem (zarówno wewnątrz jak i na zewnątrz budynku), gdzie używana lub produkowana jest energia. Wszystkie obszary związane z budynkiem zazwyczaj oznaczają budynek i przynależną do niego działkę. Zaproponowane granice systemu mają uwzględniać w energii dostarczonej netto wszystkie rodzaje energii używanej zgodnie z definicją budynku niemal netto zero energetycznego a więc zużycie energii używaną do ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, oświetlenia i urządzeń elektroenergetycznych (gospodarstwa domowego oraz inne), co wykracza poza zakres dyrektywy [3].

Niezbędne do sprecyzowania są definicje charakterystyki energetycznej budynku oraz definicje odnawialnych źródeł energii. Charakterystyka energetyczna budynku wg dyrektywy oznacza obliczoną lub zmierzoną ilość energii pierwotnej potrzebnej do zaspokojenia zapotrzebowania na energię związanego z typowym użytkowaniem budynku, która obejmuje m.in. energię na potrzeby ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, ciepłej wody i oświetlenia [3].

Charakterystyka energetyczna budynku wg normy EN 15316-1:2007 – jest to obliczona lub zmierzona ilość dostarczonej i wyeksportowanej energii aktualnie używana lub oszacowana na potrzeby

zaspokojenia różnych potrzeb związanych ze standardowym użytkowaniem budynku, które może obejmować m.in.: energię na ogrzewanie, chłodzenie, wentylację, ciepłą wodę i oświetlenie. W oryginalnej definicji z normy EN 15316-1:2007 uwzględniono również sprzęt elektroenergetyczny, który nie pojawia się wprost w dyrektywie [3].

Również według normy EN 15603:2008 powinno się uwzględniać wykorzystanie energii przez urządzenia gospodarstwa domowego oraz inne. Jednak zgodnie z dyrektywą [3] energia elektryczna zużywana przez urządzenia gospodarstwa domowego oraz wyposażenia w innych rodzajach budynków nie musi być objęta oceną. Wszystkie inne rodzaje energii związane z pozostałymi potrzebami są obowiązkowo uwzględniane.

Załącznik 1 znowelizowanej dyrektywy EPBD zawiera ogólne wytyczne obliczania charakterystyki energetycznej budynków. Zawarte są w nim następujące wymagania, które muszą zostać uwzględnione w metodyce: *Charakterystykę energetyczną budynku wyraża się w sposób przejrzysty i zawiera ona wskaźnik charakterystyki energetycznej oraz wskaźnik liczbowy zużycia energii pierwotnej na podstawie wskaźników nakładu energii pierwotnej na każdy nośnik energii, które mogą opierać się na krajowych lub regionalnych średnich ważonych lub konkretnej wartości dla produkcji na miejscu.*

Odnawialne źródła energii wg [3] oznaczają energię pochodzącą z niekopalnych źródeł odnawialnych, a mianowicie energię wiatru, energię promieniowania słonecznego, energię aerotermalną, geotermalną i hydrotermalną, energię oceanów, hydroenergię, energię pozyskiwaną z biomasy, gazu pochodzącego z wysypisk śmieci, oczyszczalni ścieków i ze źródeł biologicznych (biogaz) [3], przy czym definicje poszczególnych rodzajów zgodnie z dyrektywą 2009/28/WE przedstawiają się następująco:

- „energia aerotermalna” oznacza energię magazynowaną w postaci ciepła w powietrzu w danym obszarze;
- „energia geotermalna” oznacza energię składowaną w postaci ciepła pod powierzchnią ziemi;
- „energia hydrotermalna” oznacza energię składowaną w postaci ciepła w wodach powierzchniowych;
- „biomasa” oznacza ulegającą biodegradacji część produktów, odpadów lub pozostałości pochodzenia biologicznego z rolnictwa (łącznie z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi), leśnictwa i związanych działów przemysłu, w tym rybołówstwa i akwakultury, a także ulegającą biodegradacji część odpadów przemysłowych i miejskich;

Współczynnik emisji CO₂ wg normy EN 15603:2008 określany jest danego nośnika energii i oznacza ilość CO₂ emitowanego do atmosfery na jednostkę energii dostarczanej. Współczynnik emisji CO₂ może zawierać równoważną emisję innych gazów cieplarnianych (np. siarki, tlenków azotu, metanu oraz innych gazów cieplarnianych...).

Określenie definicji niemal netto zero energetycznego (nnZEB) zapotrzebowania na energię pierwotną zostaje przedmiotem krajowych decyzji które powinny uwzględniać następujące zagadania:

- koszt optymalny i technicznie racjonalnie osiągalne zużycie energii pierwotnej;
- procent zapotrzebowania na energię pierwotną pokrywaną ze źródeł odnawialnych;
- przyjęcie odpowiedniego poziomu definicji.

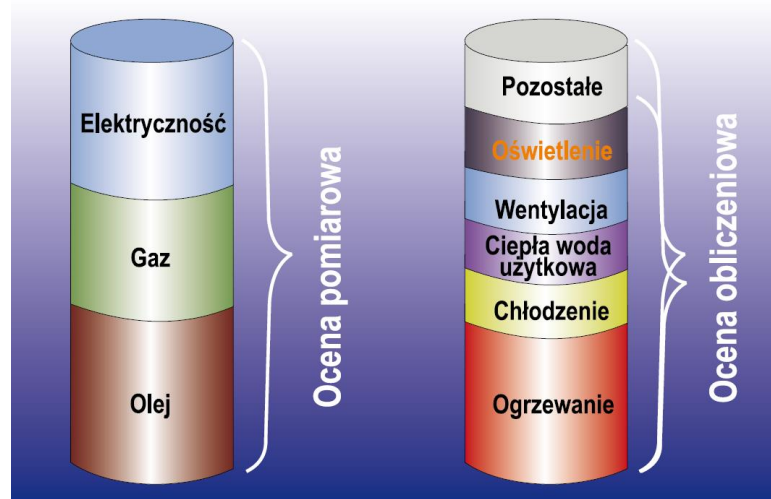
Krajowa definicja niemal netto zero energetycznych (nnZEB) budynków, powinna określać graniczne wartości energii dla każdego typu budynku, a przynajmniej tych wymienionych w nowelizacji dyrektywy EPBD. Bilans energii pierwotnej można obliczyć zgodnie z równaniem [1]:

$$E = \sum_i (E_{del,i} \cdot f_{del,i}) - \sum_j (E_{exp,j} \cdot f_{exp,j}) \quad (1)$$

$E_{del,i}$ – energia dostarczona z danego nośnika energii i;

$E_{exp,j}$ – energia wyeksportowana z danego nośnika energii j;

$f_{del,i}$ – współczynnik nakładu na energię pierwotną dla energii dostarczonej z danego nośnika energii i ;
 $f_{exp,j}$ – współczynnik nakładu na energię pierwotną dla energii wyeksportowanej z danego nośnika energii j .

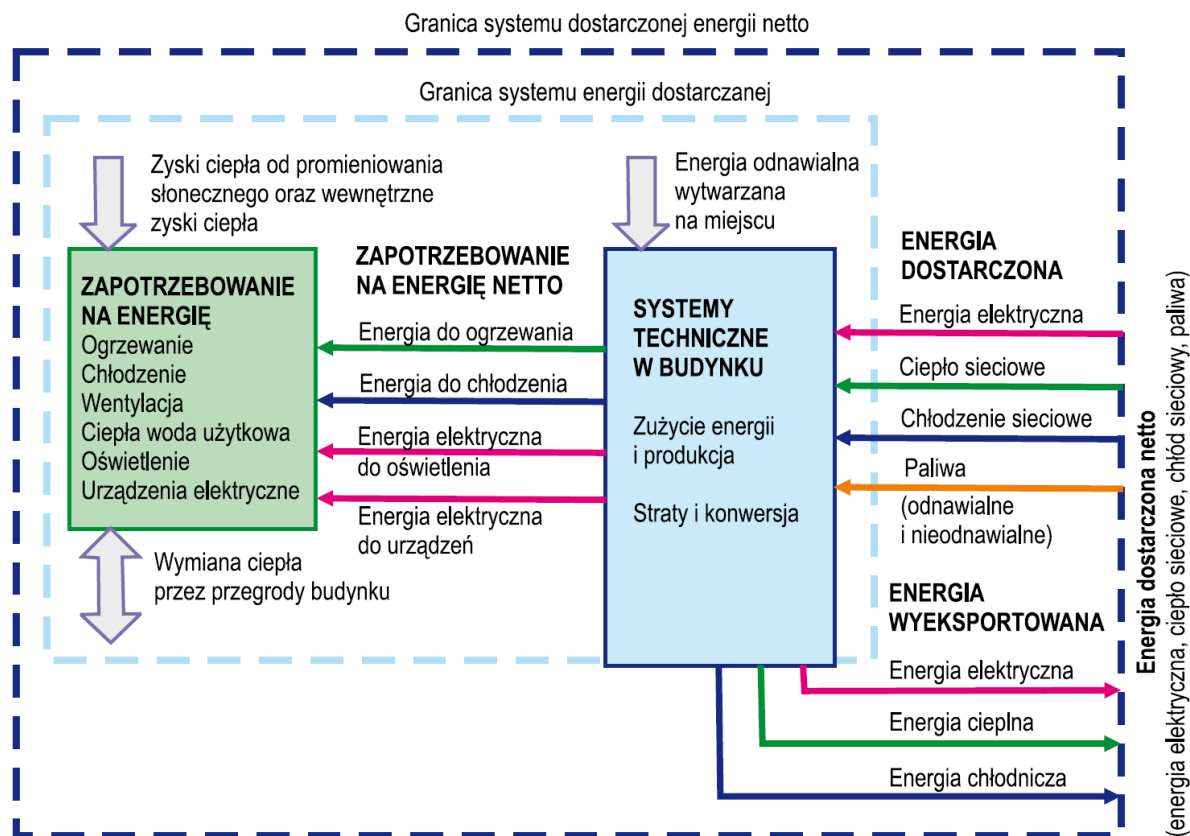


Rysunek 1. W pomiarowych ocenach eksploatacyjnych zazwyczaj mierzy się wszystkie strumienie energii.

Norma PN-EN ISO 15603:2008 stwierdza, że dla aktywnych systemów słonecznych i systemów energetyki wiatrowej trzeba uwzględnić w bilansie energetycznym energię dostarczaną z miejscowej produkcji i energię pomocniczą zużywaną na potrzeby tej produkcji (nie są brane pod uwagę np. energia kinetyczna wiatru). Na poziomie krajowym należy zdecydować czy energia kinetyczna stanowi część energii dostarczonej czy nie (definicja 3.3.4.). Właściwie jest to w sprzeczności z nowelizacją dyrektywy EPBD, która stanowi, że energia wytwarzana na miejscu jest traktowana jako energia dostarczona (co oznacza, że nie ma różnicy pomiędzy energią elektryczną wytworzoną na miejscu z energii słonecznej a energią elektryczną z sieci oraz że energia elektryczna wytworzona na miejscu z energii słonecznej nie zmniejsza ilości energii elektrycznej dostarczonej z sieci). W tym przypadku istnieje konflikt normy z nowelizacją dyrektywy EPBD (załącznik 1), w którym jest mowa, że pozytywny wpływ aktywnych systemów słonecznych i innych odnawialnych źródeł energii powinien zostać wzięty pod uwagę. Wynika z tego konieczność wprowadzenia zmian w normie EN 15603:2008, ponieważ decyzja na szczeblu krajowym nie jest wiążąca.

Proponowane pojęcie granicy bilansowej energii stanowi modyfikację definicji z normy EN 15603:2008. Zgodnie z nowelizacją dyrektywy EPBD energia odnawialna wytwarzana w danym miejscu nie jest traktowana jako część energii dostarczonej a jej pozytywny wpływ na bilans energii uwzględniany jest w ocenie (rysunek 3). Zapotrzebowanie budynku na energię obejmuje zapotrzebowanie energii do ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, przygotowania ciepłej wody użytkowej, oświetlenia oraz urządzeń gospodarstwa domowego i innego wyposażenia (jeśli urządzenia znajdują się wewnątrz granicy bilansowej zgodnie z zaproponowaną definicją). Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania stanowi różnicę pomiędzy stratami ciepła a zyskami od promieniowania słonecznego oraz wewnętrznymi zyskami ciepła. Zapotrzebowanie na energię netto to różnica pomiędzy zapotrzebowaniem na energię a zyskami ciepła (czyli energia cieplna bez strat systemu potrzebna do utrzymania wymaganych warunków wewnętrznych). W systemie oświetlenia i do zasilania urządzeń niezbędna jest energia elektryczna. Systemy technicznego wyposażenia budynku mają za zadanie dostarczenie energii netto do ogrzewania, chłodzenia oraz energii elektrycznej. Przy dostarczeniu do systemu odpowiedniej ilości energii występują straty energii oraz niektóre rodzaje energii muszą zostać zamienione (np. konwersja energii w pompach

ciepła i ogniowach paliwowych). Energia zużywana na poszczególne potrzeby w budynku pochodzi z energii dostarczonej do budynku oraz energii wytworzonej na miejscu ze źródeł odnawialnych (bez zastosowania paliw konwencjonalnych). Energia dostarczona do budynku pochodzi z sieci elektroenergetycznej, sieci ciepłowniczej, sieci chłodniczej oraz innych odnawialnych i nieodnawialnych źródeł energii. Energia wytworzona na miejscu, ze źródeł odnawialnych (bez zastosowania paliw konwencjonalnych), to energia pochodząca z aktywnych systemów słonecznych, systemów energetyki wiatrowej lub systemów energetyki wodnej jeżeli są dostępne. Odnawialne paliwa nie są uwzględnione w tej definicji, ponieważ są traktowane jako energia dostarczana do budynku, czyli energia wytworzona poza granicą bilansową.



Rysunek 2. Granica systemu bilansowego, zapotrzebowanie na energię przez systemy techniczne budynku, produkcja energii na miejscu ze źródeł odnawialnych, energia dostarczona i wyeksportowana. Zapotrzebowanie energii odnosi się do poszczególnych pomieszczeń w budynku i obie linie brzegowe systemu mogą być interpretowane jako granica bilansowa.

Za budynki bliskie zero-energetyczne aktualnie uznawane są budynki o pasywnej charakterystyce energetycznej wyposażone dodatkowo w urządzenia produkujące energię ze źródeł odnawialnych np. energię elektryczną z paneli fotowoltaicznych. Przeanalizujemy jakie są wymagania stawiane budynkom pasywnym i czy można stworzyć efektywne budynki nnZEB w oparciu o ideę budynków pasywnych.

2.2 Polski klimat

Klimat Polski należy do chłodniejszych w porównaniu z innymi krajami UE (wykres 2). Warunki klimatyczne mają istotny wpływ na zużycie energii. Jakość klimatu można opisać za pomocą wskaźnika Sd_n - ilość stopniodni grzewczych. Obliczenie stopniodni można wykonać zgodnie ze wzorem:

$$Sd = \sum_{m=1}^{L_g} [t_{wo} - t_e(m)] Ld(m) \text{ , [dzień} \cdot \text{K/rok]}$$

gdzie:

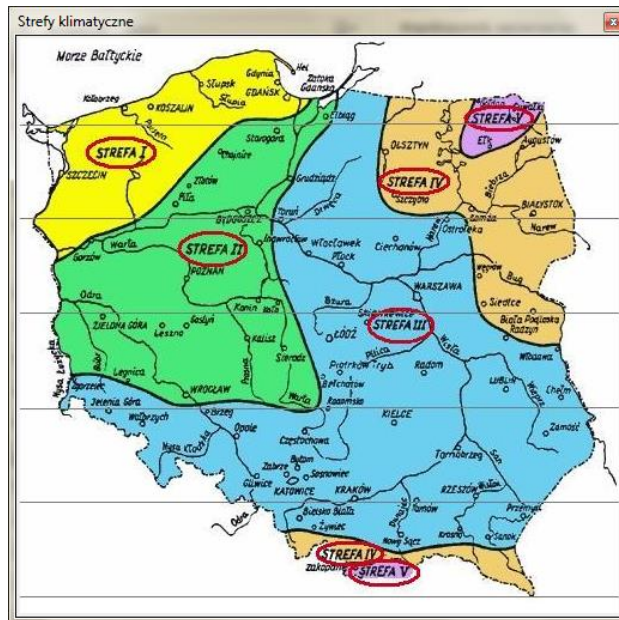
t_{wo} - obliczeniowa temperatura powietrza wewnętrznego, określona zgodnie z Polską Normą dotyczącą temperatur ogrzewanych pomieszczeń w budynkach, °C

$t_e(m)$ - średnia wieloletnia temperatura miesiąca m, a w przypadku stropów nad nieogrzewanymi piwnicami lub pod nie ogrzewanymi poddaszami - temperatura wynikająca z obliczeń bilansu cieplnego budynku, °C,

$Ld(m)$ - liczba dni ogrzewania w miesiącu m, przyjęta zgodnie z danymi klimatycznymi i charakterystyką budynku dla danej lokalizacji.

L_g - liczba miesięcy ogrzewania w sezonie grzewczym,

Terytorium Polski jest podzielone na pięć stref klimatycznych w których znajduje się 61 stacji meteorologicznych. Dla każdej stacji określone zostały dane klimatyczne tj.: nasłonecznienie oraz średnie miesięczne temperatury zewnętrzne, wilgotność...



Rysunek 3. Mapa stref klimatycznych Polski.

Tabela 4. Sezon i stopniodni grzewcze

m-c	t_e	t_w	Ld	Sd_H
	[°C]	[°C]	[dni]	[stopniodni]
styczeń	-1,3	20	31	660,7
luty	-1,4	20	28	599,9
marzec	2,9	20	31	529,8
kwiecień	7,1	20	30	387,6
maj	12,4	20	10,1	76,8
czerwiec	15,6	20	0	0
lipiec	17	20	0	0
sierpień	16,6	20	0	0
wrzesień	12,8	20	7,1	50,9
październik	8,1	20	31	370,4
listopad	2,9	20	30	512,6

grudzień	-0,2	20	31	627,4
Σ	7,71		229,2	3816,2

Wykres 2. Klimat Polski na tle innych krajów UE.

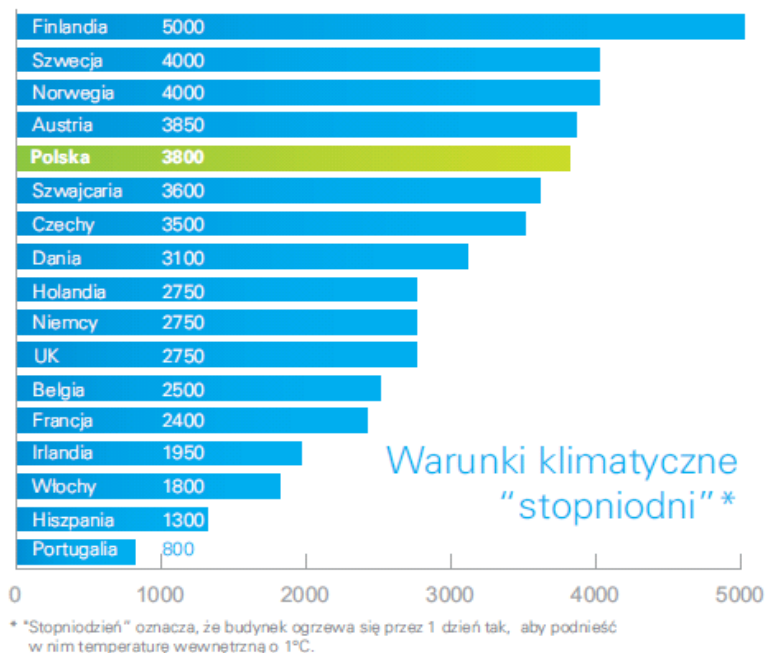


Tabela 5. Średnie wartości stopniodni $S_{d,h}$ dla różnych stref klimatycznych.

strefa	strefa I	strefa II	strefa III	strefa IV	strefa V	średnia dla Polski
Średnia wartość $S_{d,h}$	3238	3681	3879	4076	5032	3816

Porównanie klimatu różnych krajów UE nasuwa interesujące spostrzeżenia. Proponowane Polskim inwestorom różne energooszczędne filozofie wznoszenia budynków po uwzględnieniu różnic klimatycznych mogą wymagać daleko idących modyfikacji. Zmiany te przed ich wprowadzeniem powinny być poddane szczegółowym wielokryterialnym analizom. Dotyczy to szczególnie budynków o radykalnie niskim zapotrzebowaniu na ciepło, dla których proponowane szczegółowe wymagania w mają istotny wpływ również na konstrukcyjne, sposób eksploatacji oraz obsługi. Zagadnienia te nie są niestety należycie omawiane, a proponowane rozwiązania nie są dostosowane do polskich warunków klimatycznych. Problematyka ta jest niezwykle istotna ze względu na trwałość i bezpieczeństwo użytkowania obiektu. Jak się okazuje koszty usuwania błędnie podjętych decyzji są duże i spadają na inwestora, często publicznego.

3. Budynek optymalny

„Poziom optymalny pod względem kosztów” oznacza poziom charakterystyki energetycznej skutkujący najniższym kosztem w trakcie szacunkowego ekonomicznego cyklu życia, przy czym:

a) najniższy koszt jest określany z uwzględnieniem związanych z energią kosztów inwestycyjnych, kosztów utrzymania i eksploatacji (w tym kosztów energii i oszczędności, kategorii odnośnego budynku, zysków z wytworzonej energii – w stosownych przypadkach) oraz – w stosownych przypadkach – kosztów usunięcia; oraz z biomasy, gazu pochodzącego z wysypisk śmieci, oczyszczalni ścieków i ze źródeł biologicznych (biogaz);

b) szacunkowy ekonomiczny cykl życia określany jest przez każde państwo członkowskie. Odnosi się do pozostałego szacunkowego ekonomicznego cyklu życia budynku, jeżeli wymagania charakterystyki energetycznej określono dla budynku jako całości, lub do szacunkowego ekonomicznego cyklu życia elementu budynku, jeżeli wymagania charakterystyki energetycznej określono dla elementów budynku. Ze względu na różny trwałość elementów budynku wydaje się za właściwsze określanie trwałości poszczególnych elementów i wykonywanie analiz w oparciu o tak ustalone wartości.

Tabela 6. Trwałość elewacji w zależności od zastosowanej technologii wznoszenia.

Typ przegrody: ŚCIANY	Trwałość zależna od jakości zastosowanego materiały pod warunkiem realizacji procesów konserwacji i remontów		Zalecana wartość ekspozycji i niezbędna do obliczeń NPV
	[lat]		
Ścian z elewacyjną cegłą klinkierową technologie tradycyjne (ściany wielowarstwowe)	35	70	40
Ścian z elewacyjną cegłą klinkierową nowe technologie cienkowarstwowe	17	22	20
Ściana z elewacją z tynku cienkowarstwowego (system ETIKS, BSO)	25	30	25
Ściana jednowarstwowa tynk cienkowarstwowo	25	30	25
Ściana warstwowa tynk tradycyjny	20	25	20
Budownictwo szkieletowe drewniane	20	30	25

Tabela 7. Trwałość stolarki budowlanej.

Typ przegrody: OKNA	Trwałość zależna od jakości zastosowanego materiały pod warunkiem realizacji procesów konserwacji i remontów		Zalecana wartość ekspozycji i niezbędna do obliczeń NPV
	[lat]		
Stolarka PVC	18	22	20
Stolarka drewniana	20	25	20
Stolarka aluminium	30	50	30
Okna metalowe	40	70	40
Okna hybrydowe drewno-aluminium	30	50	40

Poziom optymalny pod względem kosztów leży w granicach poziomów charakterystyki energetycznej, jeżeli analiza kosztów i korzyści przeprowadzona dla szacunkowego ekonomicznego cyklu życia daje pozytywny wynik np. oczekiwaną stopę zwrotu poniesionych nakładów SPBT lub oczekiwaną wartość korzystania z efektów NPV,

$$NPV = -I_0 + \sum_{i=1}^n \Delta E_0 \frac{(1+s)^i}{(1+r)^i}$$

gdzie:

I_0 – nakłady początkowe

ΔE_0 - roczne korzyści

r – koszty pieniądza (stopa dyskonta lub inflacja)

s – wzrost cen nośników energii ponad inflację

i – czas ekspozycji

lub zadowalającą bezwymiarową wartość K obliczoną jako stosunek T-trwałości do czasu zwrotu poniesionych nakładów -SPBT:

$$K = \frac{T}{SPBT}, \quad SPBT = \frac{I_0}{\Delta E_0}$$

W nowych propozycjach UE zaproponowana została nowa metoda, która na pewno w niedługim czasie będzie powszechnie stosowaną metodą mającą na celu określanie parametrów optymalnych:

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \times R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right]$$

gdzie:

τ - czas dla którego wykonywana będzie analiza ekonomiczna

$C_g(\tau)$ - całkowity koszt w okresie τ

C_I - koszty inwestycyjne

$C_{a,i}(j)$ - całkowite koszty w roku i dla elementu j

$R_d(i)$ - współczynnik dyskontujący dla roku obliczany wg wzoru:

$V_{f,\tau}(j)$ - wartość dla końca okresu kalkulacyjnego elementu j-tego (zdyskontowana do okresu początkowego)

$$R_d(p) = \left(\frac{1}{1 + r / 100} \right)^p$$

r- stopa dyskonta

p - ilość lat dla których wykonywane są analizy

Przykład wyznaczenia optymalnej wartości izolacji termicznej dla ściany przy założeniu:

Trwałość rozwiązania – 20 lat, Koszt materiału izolacyjnego o $\lambda = 0,031$ W/mK – 200 zł,

Koszt robocizny 120 zł/m², Wzrost cen energii średnio w okresie 20 lat - 6% ,

Utrata wartości pieniądza średnia w czasie 20 lat – 4% , Dyskontowanie kosztów wnoszenie w oparciu o 4% wzrost cen. Wybór dokonano w oparciu o maksymalną wartość NPV:

Tabela 8. Wyznaczenie optymalnej pod względem kosztów dla izolacyjności termicznej ściany w oparciu o wskaźnik NPV.

Przeegroda: ściana zewnętrzna - mur z cegły ceramicznej pełnej gr. 25 cm z izolacją

Wykres NPV - grubość

d [cm]	U [W/(m ² ·K)]	Nu [zł/m ²]	NPV [zł/m ²]
17	0,167	16,45	23,01
18	0,158	18,80	24,00
19	0,150	21,15	24,66
20	0,143	23,50	25,05
21	0,137	25,85	25,19
22	0,131	28,20	25,12
23	0,126	30,55	24,87
24	0,121	32,90	24,45
25	0,117	35,25	23,89
26	0,112	37,60	23,20

Wykres NPV - czas

Czas [lat(a)]	NPV [zł]
16	2119,87
17	2575,07
18	3039,02
19	3511,90
20	3993,87
21	4485,11
22	4985,79
23	5496,10
24	6016,23
25	6546,36

Materiał izolacyjny

styropian 031

Współczynnik λ :	0,031 W/(m·K)
Optymalna grubość:	21 cm
Nakłady:	4098,52 zł

Straty przed

3776 kWh/rok

676,80 zł/rok

Straty po

1939 kWh/rok

347,52 zł/rok

Oszczędności

1837 kWh/rok

329,28 zł/rok

49 %

Efektywność ekonomiczna

SPBT: 12,4 lat(a)

DPBT: 11,1 lat(a)

NPV: 3993,87 zł

Wsp. przenikania ciepła - U [W/(m²·K)]

Stan projektowy: 0,267

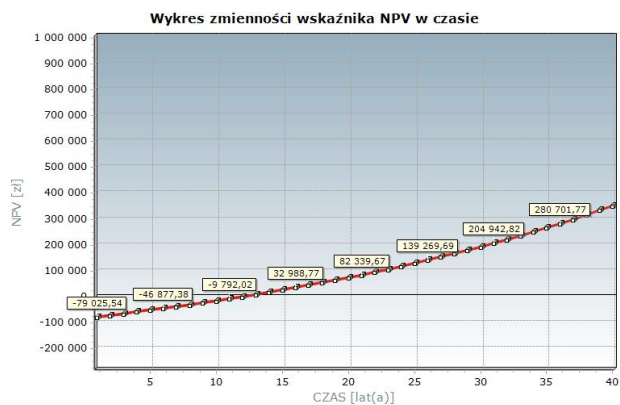
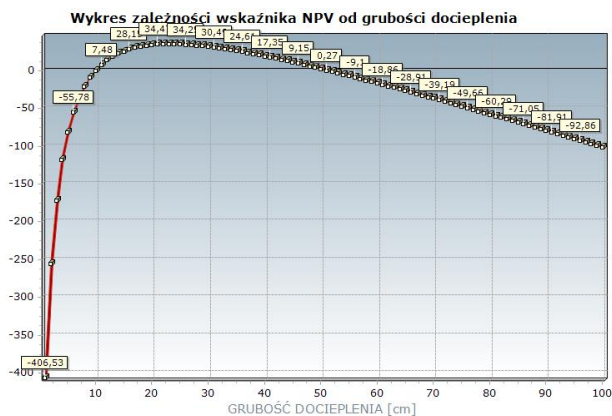
Maksymalny wg WT2008: 0,300

Z optymalnym dociepleniem: 0,137

Podsumowanie

Docieplenie przeegrody typu mur z cegły ceramicznej pełnej gr. 25 cm z izolacją materiałem styropian 031 o gr. 21 cm zamiast 10 cm przyniesie zmniejszenie strat ciepła przez przenikanie o 1837 kWh rocznie, tj. o 329,28 zł (49%), co przy jej zakładanej trwałości na poziomie 20 lat przyniesie 6585,60 zł oszczędności.

Dodatnia wartość NPV (3993,87 zł w kontekście całej przeegrody) - przy przyjętych parametrach technicznych i ekonomicznych - świadczy o ekonomicznej opłacalności przedsięwzięcia.

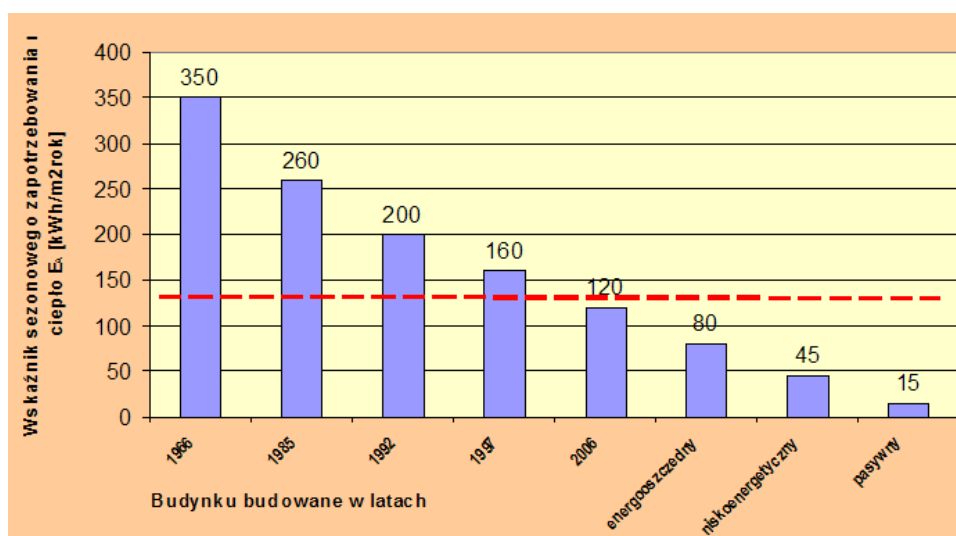


4. Budynek o pasywnej charakterystyce energetycznej.

Definicja domu pasywnego, ukształtowana została w latach 80-tych. W domu pasywnym nie stosuje się standardowych systemów grzewczych opartych na spalaniu paliw ze źródeł nieodnawialnych, a ewentualne straty ciepła uzupełnia się tak zwanymi pasywnymi „źródłami ciepła” (mieszkańcy, działające w domu urządzenia elektryczne, energia słoneczna, ciepło odzyskane z wentylacji). Standard domu pasywnego wyznaczył dr Wolfgang Feist. W 1988 roku on i prof., Bo Adamson na Uniwersytecie Lund.

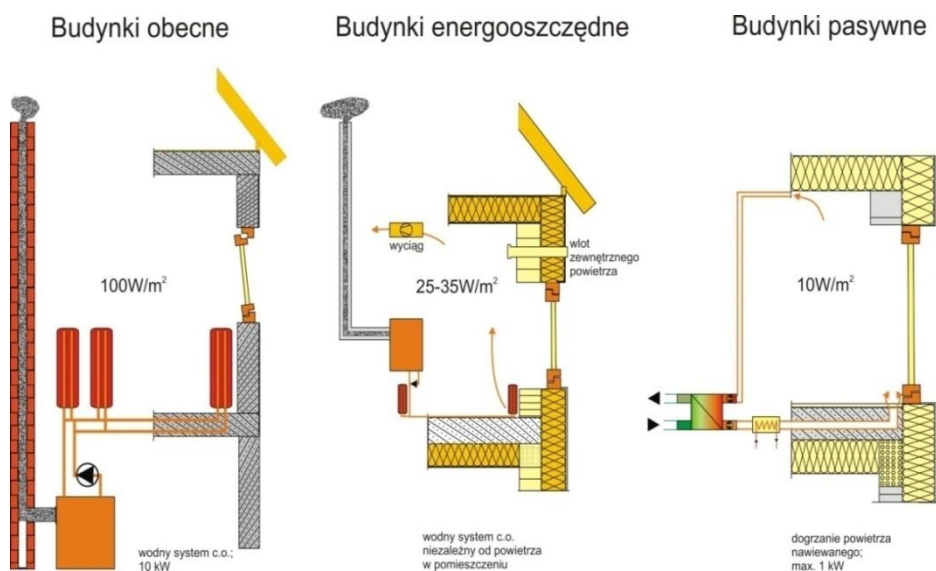
4.1 Dom pasywny – definicja.

Budynek pasywny to budynek, w którym komfort cieplny może być osiągnięty bez zastosowania dodatkowych aktywnych systemów grzewczych lub chłodniczych. Ogrzewanie i chłodzenie realizowany jest w sposób pasywny. Energia użytkowa nie przekracza wartości $EU = 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ (wykres 3)

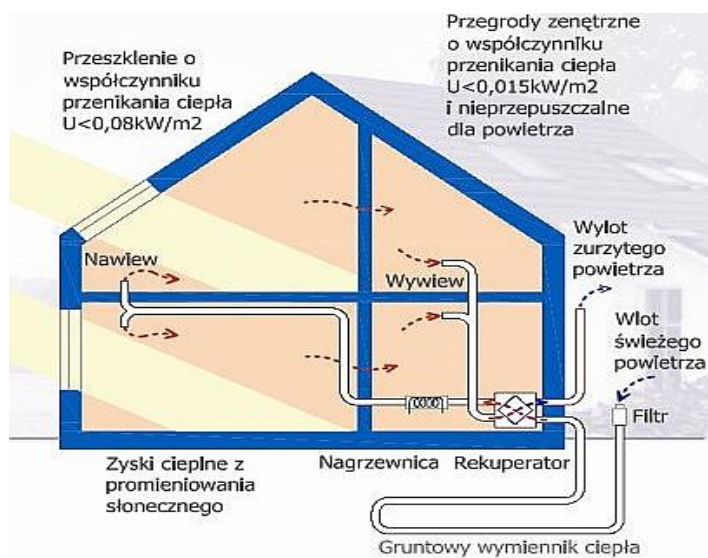


Wykres 3. Klasyfikacja energetyczna budynków wg Stowarzyszenia na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju.

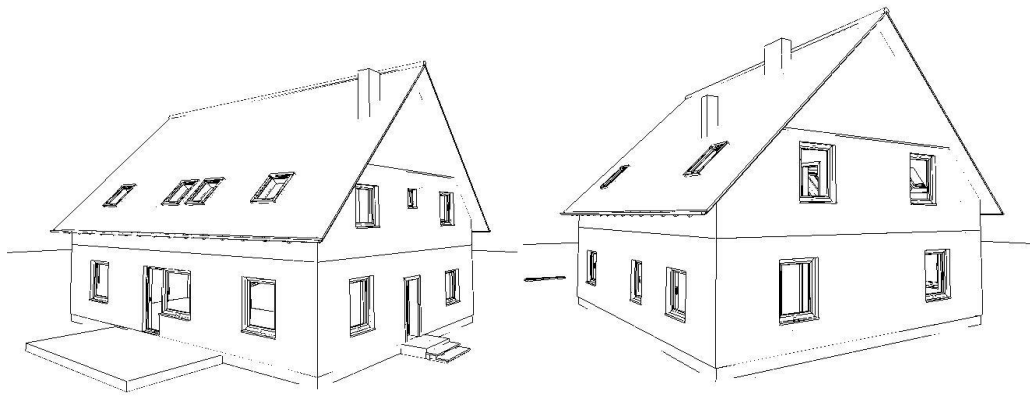
Oznacza to, że w czasie sezonu grzewczego do ogrzania jednego metra kwadratowego mieszkania potrzeba 15 kWh co odpowiada spaleniu $1,5 \text{ l}$ oleju opałowego, bądź $1,7 \text{ m}^3$ gazu, czy też $2,3 \text{ kg}$ węgla. Dla porównania, zapotrzebowanie na ciepło dla budynków konwencjonalnych budowanych obecnie wynosi $90 - 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.



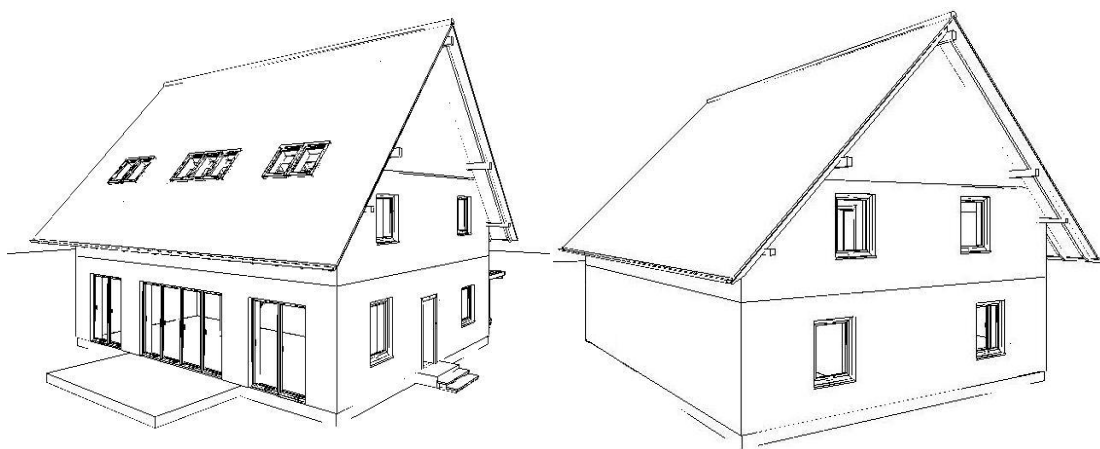
Rysunek 4. Komfort cieplny bez systemu ogrzewania: możliwy dzięki zastosowaniu efektywnego systemu grzewczego realizowanego przez wentylację.



Rysunek 5. Schemat ideowy budynku pasywnego



Rysunek 6. Elewacja budynku tradycyjnego



Rysunek 7. Elewacja budynku pasywnego [10]

4.2 Wymagania stawiane budynkom pasywnym.

Budynki pasywne są obiektami, których roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania jest tak małe, że można zrezygnować z osobnego aktywnego rozprowadzania ciepła do ogrzewania; mała ilość ciepła uzupełniającego może zostać dostarczana do pomieszczeń za pośrednictwem, skądinąd niezbędnego, powietrza doprowadzonego przez mechanicznym systemem wentylacyjny. W tym celu (rzeczywistego) wskaźnik zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania nie może być większy niż $15 kWh/(m^2 \cdot a)$

Wymagania szczegółowe:

Spełnienie wymagań szczegółowych obejmuje:

- średnia wartość współczynnika U przegród nieprzeźroczystych musi być poniżej $0,15 W/(m^2 \cdot K)$, a w niektórych przypadkach nawet poniżej $0,1 W/m^2K$
- Przegrody zewnętrzne muszą być wykonane najlepiej bez mostków cieplnych,
- Szczelność przegród zewnętrznych na przenikanie powietrza powinna być zweryfikowana za pomocą próby ciśnieniowej wg normy [3]; wskaźnik próby ciśnieniowej n_{50} przy $50 Pa$ nadciśnienia i podciśnienia nie powinien przekraczać $0,6 h^{-1}$,
- przegrody przeźroczyste powinny charakteryzować się współczynnikiem przenikania ciepła U_w o wartości poniżej $0,8 W/(m^2K)$ przy równoczesnym wysokim współczynniku

- przepuszczania całkowitej energii promieniowania słonecznego g tak, aby również w ziemi możliwie były zyski ciepła netto,
- instalacja wentylacji powinna być wyposażona w rekuperator o jak najwyższej efektywności pozwalający na odzysk ciepła z powietrza zużytego ($\eta_{oc} \geq 70\%$ zgodnie z pomiarami DIBT (Niemieckiego Instytut Techniki Budowlanej) [4] pomniejszonymi o 12%) przy jednoczesnym niskim zużyciu energii elektrycznej ($\leq 0,4 \text{ Wh/m}^3$, objętości dostarczanego powietrza),
 - instalacja przygotowania i rozprowadzenia ciepłej wody użytkowej powinna wykazywać jak najniższe straty ciepła, zatem położenie punktów czerpalnych powinny być zlokalizowane w pobliżu źródła ciepła
 - wykorzystanie energii elektrycznej stosowanej w gospodarstwie domowym powinno charakteryzować się wysoką efektywnością.

4. Projektowanie i wykonywanie budynków o radykalnie niskiej charakterystyce energetycznej.

Proces realizacji budowy budynku o pasywnej charakterystyce zostanie omówiony na podstawie inwestycji zrealizowanej w Budzowie gm. Stoszowice.

4.1 Wprowadzenie

W 2011 roku wójt niewielkiej, wiejskiej gminy Stoszowice k. Ząbkowic Śląskich, Pan Marek Janikowski wraz z zastępcą Panem Krzysztofem Nieoborą podjęli niezwykle odważną decyzję - budowy nowej szkoły o radykalnie obniżonym zużyciu energii. Założono, że będzie to co najmniej pod względem energetycznym wzorcowa szkoła. W poniższym artykule podjęto się próby analizy całego procesu inwestycyjnego, który będzie kolejnym głosem w dyskusji na temat budynków radykalnie obniżonej charakterystyce energetycznej

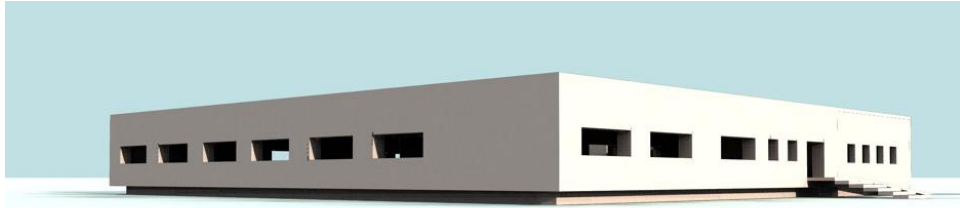
4.2 ETAP I. Przygotowanie wymagań przetargowych

Pierwsze decyzje.

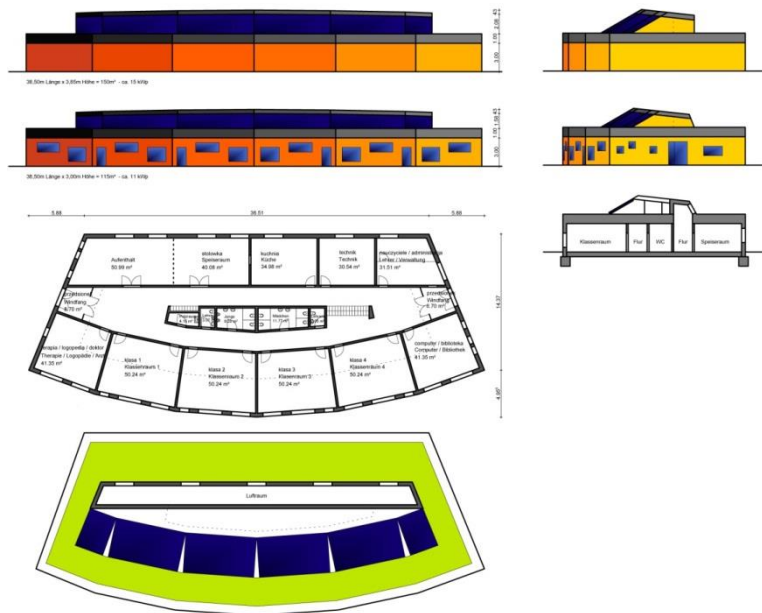
Odważna decyzja o budowie szkoły pasywnej wymagała opracowania specyfikacji przetargowej. Ze względu na dostępne materiały zadanie początkowo wydawało się nieskomplikowane. Opracowano dwie koncepcje architektoniczne i oszacowano koszty. Do realizacji inwestycji przyjęto formułę zaprojektuj i wybuduj, która wymaga bardzo precyzyjnego określenia wszystkich wymagań w specyfikacji istotnych warunków zamówienia - SIWZ.

ETAP I - przygotowanie wymagań przetargowych (SIWZ)

Do przygotowanie SIWZ opracowano szczegółowy program funkcjonalno-użytkowego (PFU), do określenia wymagań energetycznych wykorzystano materiały rozpowszechniane przez Polski Instytut Domów Pasywnych. Zaplanowano, że gminna szkoła podstawowa w Budzowie związana będzie z nauczaniem podstawowego w klasach I-III. W szkole kształcić się będzie ok. 150 uczniów pod opieką max 10 osób (nauczyciele i obsługa budynku). Inwestor zakłada budowę budynku jedno lub dwukondygnacyjnego. Łączna powierzchnia pomieszczeń szkoły wyniesie $758 \text{ m}^2 \pm 5 \%$.



Rysunek 8. Koncepcja 1 – szkoła parterowa.



Rysunek 9. Koncepcja 2 – szkoła parterowa ze świetlikiem.

4.2.1 Parametry izolacyjne przegród budowlanych

NA etapie przetargi w SIWZ określono wymagania wartości maksymalnych dla przegród zewnętrznych dotyczące zachowania współczynnika przenikania ciepła na następującym poziomie, z tego powodu projektant musiał spełnić poniższe wymagania:

- Ściany zewnętrzne – $U \leq 0,10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$,
- podłoga na gruncie – $U \leq 0,10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$,
- dach – $U = 0,10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$,
- stolarka okienna:
 - szklenie – $U \leq 0,60 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$,
 - ramy – $U \leq 0,80 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$,
- drzwi zewnętrzne (wejściowe- wytrzymałe) – $U \leq 0,80 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$,
- zastosowane w budynku rozwiązania detali konstrukcyjnych powinny być wolne od mostków cieplnych – $\Psi_e \leq 0,01 \text{ W/m} \cdot \text{K}$,
- szczelność budynku powinna spełniać warunek: $n_{50} \leq 0,6 \text{ 1/h}$

Decyzje podjęto na podstawie ogólnodostępnych wytycznych projektowych dotyczących domów pasywnych.

4.2.2 Wymagania w zakresie zapotrzebowania na ciepło.

Wyznaczona dla budynku charakterystyka energetyczna powinna potwierdzać osiągnięcie standardu pasywnego czyli:

- wskaźnik zapotrzebowania na energię użytkową EU do ogrzewania i wentylacji $EU \leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$
- wskaźnik zapotrzebowania na energię pierwotną EP do ogrzewania, przygotowania ciepłej wody użytkowej, klimatyzacji, pracy urządzeń pomocniczych, oświetlenia, sprzętów AGD i RTV oraz innych elementów wyposażenia budynku zużywających energię $EP \leq 120 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$

Na etapie projektowania przedstawiono obliczenia wykonane w programie PHPP, które potwierdziły spełnienie wymagań określonych w PFU.

Energia użytkowa wg obliczeń projektowych wynosi: $EU = 14,72 \text{ kWh/m}^2\text{rok} \leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$

Energia pierwotna wg obliczeń projektowych wynosi: $EP = 103 \text{ kWh/m}^2\text{rok} \leq 120 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$

4.2.3 Instalacja grzewcza i chłodnicza.

W obiekcie należało zaprojektować i wykonać instalacje ogrzewania i chłodzenia, wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła o sprawności powyżej 80%. Zaprojektowano system odzysku ciepła o sprawności średniorocznej 83%. Maksymalne zapotrzebowanie na moc grzewczą nie powinno przekraczać 10 W/m^2 . Budynek szkoły powinien być tak usytuowany, aby można było wykorzystać jak najwięcej zysków od słońca. Założenia tego nie spełniono, gdyż przyjęto usytuowanie przegród przezroczystych z ukierunkowaniem na wschód i zachód.

Przy projektowaniu budynków użyteczności publicznej od dużej dynamice wewnętrznych zysków ciepła jest zaprojektowanie i wykonanie zabezpieczenia budynku przed przegrzewaniem pomieszczeń w okresie letnim. W analizowanym budynku przewidziano się zastosowanie central wentylacyjnych z odzyskiem ciepła z wykorzystaniem najnowszych rozwiązań technicznych opartych o pracę pomp ciepła. System wentylacji jest systemem grzewczym w zimie, a w okresie letnim będzie umożliwiał schładzanie powietrza. Przyjęty system grzewczo-chłodniczy budzi wątpliwości. Samo schładzanie powietrza nie wystarczy, konieczne jest równoczesne regulowanie wilgotności.

4.2.4 Oświetlenie pomieszczeń

Oświetlenie w budynku pasywnym musi być bardzo energooszczędne. Wpływ oświetlenia na wartość EP jest istotny zwłaszcza, gdy przewidywana praca oświetlenia jest stosunkowo długa. Należy wziąć pod uwagę rozwiązania energooszczędne (np. LED). W omawianym przykładzie zastosowano nowoczesne świetlówki rurowe, których skuteczność świetlna jest stosunkowo duża, a jednocześnie nie generują podczas pracy dużej ilości ciepła. Podczas projektowania należy rozważać również wpływ oświetlenia na bilans zysków ciepła i konieczność chłodzenia latem.

4.3 ETAP 2. Realizacja inwestycji

W wyniku przetargu wyłoniono wykonawcę, który wykonał niezbędne projekty oraz rozpoczął we wrześniu 2011 roku prace wykonawcze. Wyzwaniem dla wykonawcy było prawidłowe wykonanie izolacji termicznych zwłaszcza w miejscu osłabień termicznych, takich jak połączenie ścian i okien, mocowanie łamaczy światła oraz konstrukcji wsporczych.

Ostatecznie zaprojektowano budynek o bardzo dużej pojemności cieplnej wynoszącej $C_m = 703 \text{ mln J/K}$ i stałej czasowej $\tau_{m,H} = 498 \text{ h}$ dla okresu grzewczego i 48 mln J/K i $\tau_{m,C} = 447 \text{ h}$. Co to może znaczyć dla pracy budynku? - budynek będzie się trudny w zarządzaniu energią. System zarządzania energią powinien być powiązany z systemem prognozowania pogody wybiegającym do przodu o co najmniej trzy a nawet cztery dni, co w przypadku zaprojektowanego systemu zarządzania jest niemożliwe.

Przegrody wykonano z cegły silikatowej, ocieplonej styropianem z dodatkiem grafitu ($\lambda = 0,031$ W/mK) o gr. 32 cm. Dach żelbetowy ocieplony styropianem o średniej grubości 50 cm. Parametry izolacyjne poszczególnych przegród wg projektu:

Tabela 9. Charakterystyka energetyczna parametrów izolacyjnych przegród szkoły pasywnej w Budzowie.

Rodzaj przegrody	U [W/m ² K]	A [m ²]	H _{tr} przegrody [W/K]	H _{tr} mostków liniowych [W/K]	H _{tr} łączne [W/K]	fR _{si} **
dach	0,067	537,16	35,99	1,90	37,89	0,99*
podłoga na gruncie	0,082	466,40	16,32	0,00	16,32	0,99*
strop nad przejazdem	0,085	39,00	3,32	0,00	3,32	0,99*
ściana zewnętrzna	0,092	727,44	66,92	-1,83	65,10	0,99*
ściana zewnętrzna	0,098	60,51	5,93	0,00	5,93	0,99*
RAZEM	0,082	1830,51	128,48	0,07	128,56	0,99*

Budynek pod względem izolacyjności termicznej został przez projektantów przewymiarowany. Efektem niekorzystnym tego działania były: wyższe koszty budowy budynku oraz zwiększone trudności w utrzymaniu komfortu w pomieszczeniach szkoły w okresie letnim.

Tabela 10. Charakterystyka energetyczna przegród przezroczystych szkoły pasywnej w Budzowie.

L.p.	U [W/m ² K]	g _c	A [m ²]	H _{tr} otworu [W/K]	H _{tr} mostków liniowych [W/K]	H _{tr} łączne [W/K]
1	0,750	0,55	7,02	5,26	0,47	5,74
2	0,800	0,50	123,35	98,68	12,14	110,82
3	1,000	0,55	11,52	11,52	0,82	12,34
4	1,500	0,64	0,64	0,96	0,32	1,28
RAZEM	0,817*	0,51*	142,53	116,42	13,75	130,18

Całkowity współczynnik strat ciepła przez przegrody wynosi:

$$H_{tr} = H_{tr,ścian} + H_{tr,okna} = 128,56 + 130,18 = 258,74 \text{ W/K. } H_{tr}/A = 258,74/821,46 = 0,315 \text{ W/m}^2\text{K}$$

i jest to wartość bardzo niska, świadcząca o bardzo dobrej izolacyjności termicznej jednak w stosunku do powierzchni ogrzewanej wartość ta nie jest już tak korzystna (tabela 1).

4.4 Charakterystyka energetyczna wybudowanej szkoły

Ostatecznie po dokładnej analizie zaprojektowano szkołę o radykalnie obniżonej charakterystyce energetycznej, nawet w stosunku do wymagań dla budynków pasywnych. Roczne jednostkowe zapotrzebowanie na energię użytkową przedstawia się następująco:

Tabela 11. Zestawienie wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową.

	Ogrzewanie i wentylacja	Chłodzenie	Ciepła woda użytkowa	Urządzenia pomocnicze	Oświetlenie wbudowane	Suma
Wartość [kWh/(m ² rok)]	3,16	27,83	16,92	-	-	47,91
Udział [%]	6,60	58,09	35,31	-	-	100,00

Tabela 12. Roczne jednostkowe zapotrzebowanie na energię końcową.

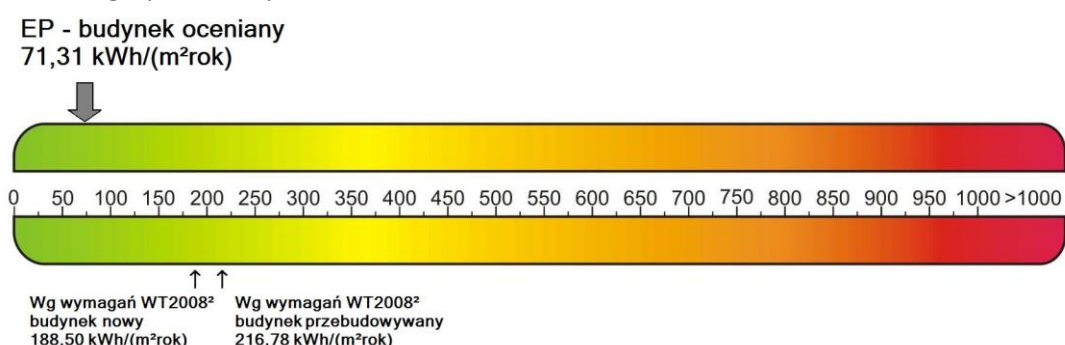
	Ogrzewanie i wentylacja	Chłodzenie	Ciepła woda użytkowa	Urządzenia pomocnicze	Oświetlenie wbudowane	Suma
Wartość [kWh/(m ² rok)]	0,92	8,38	5,29	4,84	4,34	23,77
Udział [%]	3,88	35,27	22,24	20,34	18,27	100,00

Tabela 13. Roczne jednostkowe zapotrzebowanie na energię nieodnawialną pierwotną.

	Ogrzewanie i wentylacja	Chłodzenie	Ciepła woda użytkowa	Urządzenia pomocnicze	Oświetlenie wbudowane	Suma
Wartość [kWh/(m ² rok)]	2,77	25,15	15,86	14,51	13,03	71,31
Udział [%]	3,88	35,27	22,24	20,34	18,27	100,00

Należy zauważyć, że urządzenia pomocnicze stanowią aż 20% całkowitego zużycia energii nieodnawialnej pierwotnej. Jest to stosunkowo duża wartość.

Etykieta energetyczna budynku:



Założenia przyjęte na etapie przetargu zostały spełnione. Pojawia się jednak pytanie - czy zdecydowane przewymiarowanie parametrów izolacyjnych budynku nie przyniesie niepożądanych skutków w zakresie chłodzenia? Wydaje się, że pierwsze dni września 2012 roku potwierdziły nasze obawy. Wielokrotnie zgłaszane były przez użytkowników spostrzeżenia o występowaniu nadmiernej temperaturze wewnętrznego powietrza oraz o obserwowanym „zaduchu”. Jednak wykonane w późniejszym okresie przez pracowników Politechniki Krakowskiej pomiary nie do końca potwierdziły nasze wątpliwości, z tym, że wykonywane były przy temperaturze zewnętrznej 17 st. C i przy maksymalnej wymianie powietrza (ok 4000 m³/h co stanowi średnio ok. 1,5 wym./h). Aby ostatecznie ocenić przyjęte założenia

projektowe należy przeprowadzić szczegółowe co najmniej roczne pomiary temperatury, wilgotności oraz innych czynników kształtujących klimat wewnętrzny.

Na podstawie wykonanych obliczeń stwierdzono, że okres grzewczy kończy się stosunkowo wcześnie, i wcześniej zaczyna się okres chłodniczy. Działanie systemu grzewczego i chłodniczego podano monitoringowi w ramach systemu zarządzania i monitorowania energetycznego budynku.

Tabela 14. Liczba dni grzewczych w poszczególnych miesiącach

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
31,0	14,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	31,0

Tabela 15. Liczba dni chłodniczych w poszczególnych miesiącach

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,0	0,0	30,8	30,0	31,0	30,0	0	0	30,0	31,0	3,4	0,0

4.5 Montaż istotnych elementów budynku.

Wybór rozwiązań projektowych wymagał od wykonawcy należytej staranności podczas realizacji inwestycji. Zaplanowano różne etapy weryfikacji jakości:

- szczegółowa weryfikacja projektu budowlanego,
- standardowa kontrola materiałów i robót w ramach nadzoru budowlanego,
- wstępna próba ciśnieniowa z wykorzystaniem gazu znacznikowego wraz z pomiarami termowizyjnymi,
- ostateczna próba ciśnieniowa z wykorzystaniem gazu znacznikowego,
- kontrolne pomiary termowizyjne jakości izolacji termicznej przegród zimą.

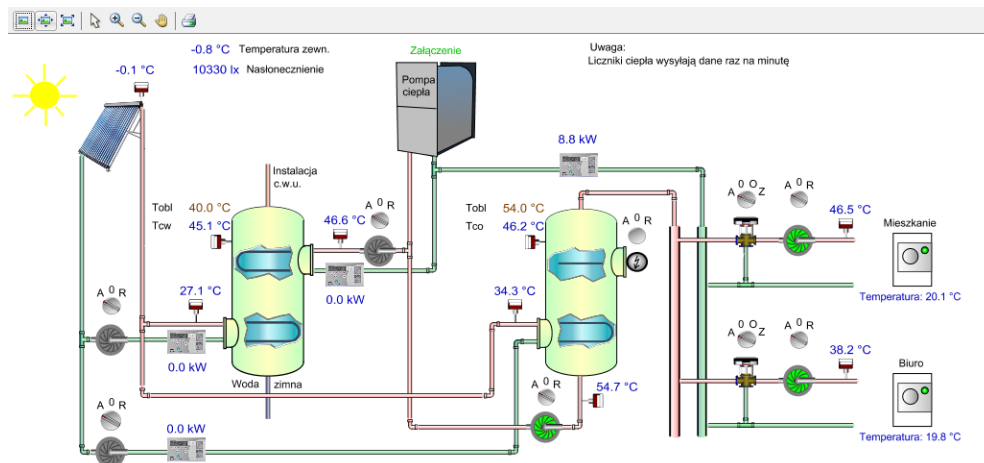
Szczególnie zwracano uwagę na szczelność budynku, którą projektanci na etapie projektowania założyli na bardzo niskim poziomie tj. próba szczelności dla n_{50} powinna być mniejsze od wartości 0,2 wym/h. Założenia dla domów pasywnych są znacznie łagodniejsze i wynoszą nie więcej niż 0,6 wym/h. Na etapie realizacji dopilnowano szczelności wszystkich przebić i przejść przez konstrukcję oraz należytego montażu stolarki. Szczególnie obawiano się montażu stolarki w zakresie szczelności oraz minimalizacji wpływu mostków termicznych występujących na połączeniu stolarki i ślusarki budowlanej z przegrodami nieprzeźroczystymi (szczegóły na fotografii 9).

Jednocześnie przy wyborze rozwiązań stolarki dla budynków pasywnych wykorzystano etykietowanie energetyczne, które pozwoliło wybrać rozwiązania najlepsze z pośród różnych ofert dostępnych w czasie budowy. Wybrano okna wykonane z profili Energeto 8000 o $U_f=0,79 \text{ W/m}^2\text{K}$, szyby Climatop LUX współczynnika przenikania ciepła $U_g=0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ z ramką dystansową Swisspacer o liniowym współczynnikiem przewodzenia ciepła $\psi = 0,032 \text{ W/mK}$. Ostatecznie wzorcowe okno charakteryzowało się współczynnikiem przenikania ciepła $U_w=0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$ i wartości $g = 0,7*0,62=0,43$. Wskaźnik energetyczny okna dodatni wynoszący $E= 49,5 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$ klasyfikuje okno w najwyższej klasie – A.

Podsumowanie.

W Polsce wykonano już kilka budynków o pasywnej charakterystyce energetycznej. Były to głównie budynki mieszkaniowe lub budynki o małej dynamice wewnętrznych zysków ciepła. W większości przedstawiane są jako rozwiązania niemal idealne. Dłuższe doświadczenia eksploatacyjne wykazują

jednak pewne mankamenty i nie chodzi tu o krytykowanie a o weryfikację przyjętych rozwiązań. Postawa taka w oczach zwolenników idei domów pasywnych jest oznaką zacofania, co wielokrotnie prezentowali podczas swoich wystąpień. Ale przecież nie o to nam chodzi, by uczyć się na własnych błędach. Należę do tych, którzy użytkują taki budynek, posiadający zarówno część biurową jak i mieszkalną. Budynek jest opomiarowany, (schemat 1). Dzięki temu mamy ciągły pomiar wszystkich niezbędnych do oceny parametrów budynku. W okresie zimowym, w części biurowej, zdarzają się dni podczas których temperatura wewnętrzna przekracza 24 st C, co łatwo można skorygować. Późną wiosną, w lecie oraz wczesną jesienią temperatura przekracza nawet 28 st. C. Potrzebne były dodatkowe rozwiązania, które pozwoliły poprawić komfort środowiska wewnętrznego. Zaprojektowana i wykonana szkoła o pasywnej charakterystyce energetycznej w Budzowie będzie dobrym poligonem doświadczalnym. Potrzeba co najmniej całorocznych obserwacji i doświadczeń w celu potwierdzenia poprawności przyjętych założeń bądź ich weryfikacji tak, aby w przyszłości budować budynki optymalne energetycznie, dostosowane do polskich warunków klimatycznych i zwyczajów użytkowników. Koszty budowy budynków pasywnych są wyższe o ok. 20%-30% i zależą od wielu czynników i w wielu wypadkach czas zwrotu poniesionych nakładów jest dłuższy niż trwałość ocenianych elementów (....). Należałoby więc wykonać ocenę LCA i rozważyć sensowność wprowadzania takich rozwiązań. Sprawa nie jest prosta a nasze stanowisko jest próbą zrównoważenia prezentowanych wszędzie tylko pozytywnych, często o zdecydowanie marketingowym zabarwieniu.



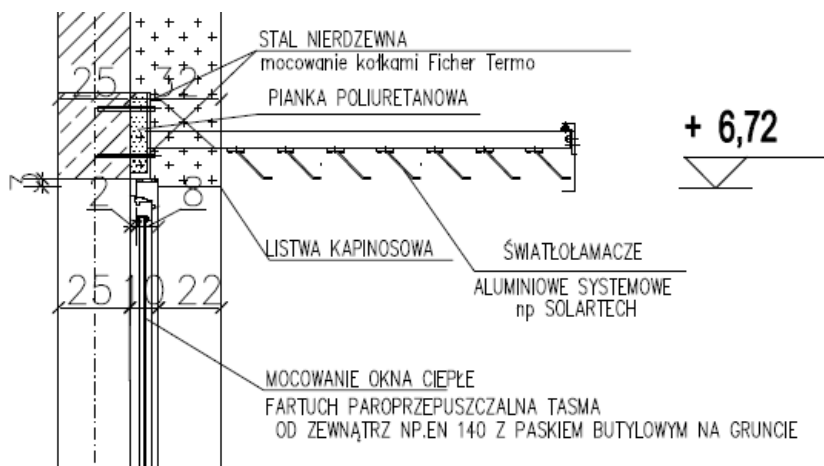
Rysunek 10. Schemat kotłowni w budynku biurowo-mieszkalnym o pasywnej charakterystyce energetycznej.



Zdjęcie 2. Wykonanie izolacji termicznej ściany fundamentowej.



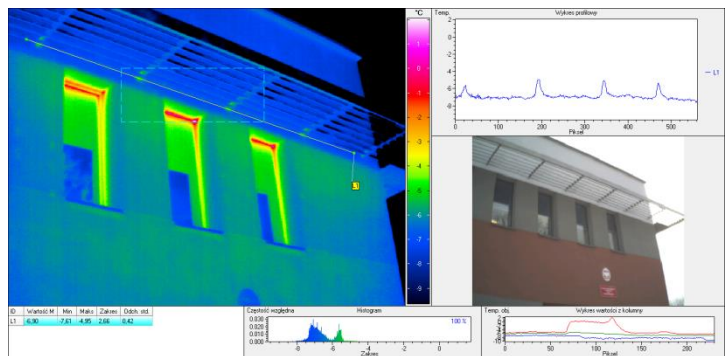
Zdjęcie 3. Widok z budowy szkoły pasywnej w Budzowie. Po lewej wójt gminy Stoszowice Pan Marek Janikowski, po prawej zastępca Pan Krzysztof Niebora.



Rysunek 11. Połączenie łamacy światła ze ścianą przechodzące przez izolację termiczną. Wątpliwości budzi przyjęte rozwiązanie i jej wpływ na miejscowe osłabienie termiczne.



Zdjęcie 4. "Ciepłe" mocowanie światłołamacy do ściany.



Termogram 1. Kontrola jakości energetycznej połączenia łamacy światła z konstrukcyjną częścią przegrody zewnętrznej.

Zdjęcie 5. Kontrola termowizyjna szczelności poszczególnych elementów budynku podczas próby szczelności.

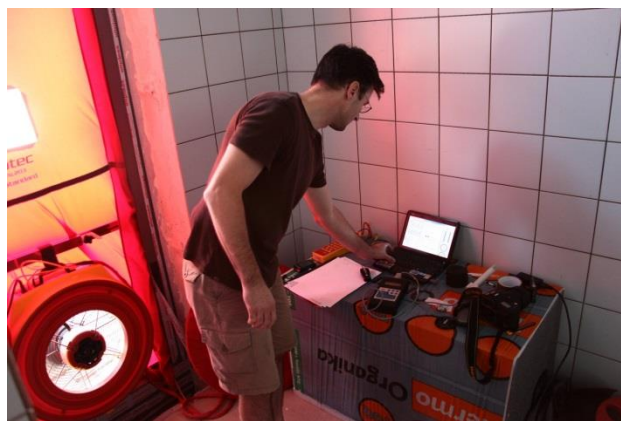


Zdjęcie 6. Kontrola szczelności rur ciśnieniowych przechodzących przez stropodach odprowadzających wodę z dachu

Zdjęcie 7. Mocowanie stolarki na konsolach wraz z taśmami uszczelniającymi jednowarstwowymi.

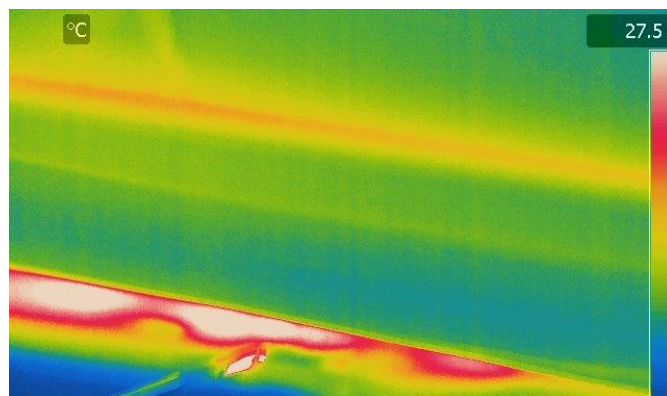


Zdjęcie 8. Wykonanie izolacji termicznej ściany – prace zapewniające ciągłość izolacji termicznej i likwidację mostków termicznych oraz parowych na połączeniu płyt termoizolacyjnych.



Zdjęcie 9. Prace kontrolne podczas wykonywania próby ciśnieniowej.

Zdjęcie 10. Warstwowe układanie izolacji termicznej dachu w celu likwidacji mostków termicznych i parowych występujących na połączeniach między płytowych.



Termogram 2. Wskazanie za pomocą kamery termowizyjnej nieszczelnych miejsc na połączeniu stolarki okiennej z zewnętrzną ścianą.

Porównano obliczeniowe zużycie energii końcowej i nieodnawialnej pierwotnej w analizowanej szkole o tej samej charakterystyce geometrycznej: spełniającej aktualnie obowiązujące wymagania prawne oraz o pasywnej charakterystyce energetycznej przedstawia się następująco:

Typ budynku	Energia końcowa EK					
	EK _{c.o.} na ogrzewanie i wentylację	EK _{Cool.} na chłodzenie	EK _{c.w.u.} na ciepłą wodę	EK _L na oświetlenie	EK _{pom} energia pomocnicza	ΣEP
	[kWh/rok]	[kWh/rok]	[kWh/rok]	[kWh/rok]	[kWh/rok]	[kWh/rok]
Szkoła zgodnie z minimalnymi wymaganiami prawnymi na węgiel	84170,0	1508,0	57743,0	24664,0	5743,0	173828,0
Koszty WT 2008	12726,5	829,4	8730,7	13565,2	3158,7	39010,5
Szkoła o pasywnej charakterystyce energetycznej	2309,0	2871,0	2245,0	10723,0	2871,0	21019,0
Koszty szkoły pasywnej	1270	1579	1235	5898	1579	11560
Zmniejszenie zużycia energii	97%	-90%	96%	57%	50%	88%
Zmniejszenie kosztów eksploatacji	11 457	-750	7 496	7 668	1 580	27 450
Zmniejszenie kosztów eksploatacji	90%	-90%	86%	57%	50%	70%

Typ budynku	Energia pierwotna EP					
	EP _{c.o.} na ogrzewanie i wentylację	EP _{Cool.} na chłodzenie	EP _{c.w.u.} na ciepłą wodę	EP _L na oświetlenie	EP _{pom} energia pomocnicza	ΣEP
	[GJ/rok]	[GJ/rok]	[GJ/rok]	[GJ/rok]	[GJ/rok]	[GJ/rok]
Szkoła zgodnie z minimalnymi wymaganiami prawnymi na węgiel	333,31	16,29	98,09	266,16	62,03	775,88
Szkoła o pasywnej charakterystyce energetycznej	24,94	46,80	24,25	115,81	31,01	242,81
Oszczędności energii [%]	93%	-187%	75%	56%	50%	69%

Reedukacja emisji CO₂ i innych gazów:

Nazwa/symbol emitowanego zanieczyszczenia	Stan istniejący [Mg/rok]	Stan projektowany [Mg/rok]	Efekt ekologiczny [Mg/rok]	Redukcja emisji [%]
SO ₂	1,355837	0,569028	0,786810	58,03
NO _x	0,295147	0,143833	0,151315	51,27
CO	1,319455	0,043217	1,276238	96,72
CO ₂	145,872367	62,575020	83,297347	57,10
Pył	0,332689	0,093863	0,238827	71,79
Sadza	0,049716	0,000171	0,049545	99,66
Benzo(a)piren	0,000254	0,000003	0,000250	98,67

Koszt termomodernizacji	830000,00 zł
Redukcja CO ₂	57,10 %
Wskaźnik kosztu redukcji CO ₂	9964,30 zł/Mg
Redukcja równoważnej emisji	91,17 %
Wskaźnik kosztu redukcji równoważnej emisji	94641,22 zł/Mg

5. Budynki o optymalnej charakterystyce energetycznej.

Inna propozycja poszukiwania energooszczędnych rozwiązań oparta jest proces optymalizacji. Powyższą metodę wykorzystano przy remoncie budynku fundacji ekologicznej. Istniejący zespół budynków zlokalizowanych we Wrocławiu poddano analizie ekonomiczno-technicznej w oparciu o zdyskontowaną wartość netto NPV przy założeniach, że:

$$NPV = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta E_0 (1+s)^i}{(1+r)^i}$$

gdzie:

I₀ – nakłady początkowe

ΔE₀ - roczne korzyści

r – koszty pieniądza (stopa dyskonta lub inflacja)

s – wzrost cen nośników energii

i – czas ekspozycji

r = 3,5 % rocznie

s = 6 % rocznie

i – trwałość 25 lat



Budynek był zasilany z kotłowni węglowej, w lecie ciepła woda przygotowywana elektrycznie.

Zdjęcie 11. Widok budynku centrum ekologicznego przed rozpoczęciem prac oraz widok projektowany elewacji.

Zapotrzebowanie na energię końcową i pierwotną

	EK [kWh/(m ² ·rok)]	EP [kWh/(m ² ·rok)]
Twój budynek	615,4	702,7
Budynek przebudowywany wg WT2008	brak wymagań	164,1

Projektowe obciążenie cieplne

Na ogrzewanie i wentylację	58,0 kW
Na ciepłą wodę użytkową	7,2 kW
Razem	65,2 kW

Koszty eksploatacji budynku

Roczny koszt ogrzewania	23883,53 zł
Miesięczny koszt ogrzewania	7,11 zł/m ²
Roczny koszt podgrzania wody użytkowej	1006,21 zł
Roczny łączny koszt energii	24889,75 zł

Wyniki optymalizacji.

Przeroda: ściana zewnętrzna - mur z cegły ceramicznej pełnej gr. 51 cm

d [cm]	U [W/(m ² ·K)]	Nu [zł/m ²]	NPV [zł/m ²]
15	0,176	150,00	196,81
16	0,166	152,35	197,75
17	0,158	154,70	198,36
18	0,150	157,05	198,68
19	0,143	159,40	198,75
20	0,137	161,75	198,61
21	0,131	164,10	198,28
22	0,126	166,45	197,79
23	0,121	168,80	197,16
24	0,116	171,15	196,39

Czas [lat(a)]	NPV [zł]
16	62264,22
17	73554,94
18	85172,94
19	97127,69
20	109428,95
21	122086,77
22	135111,48
23	148513,72
24	162304,43
25	176494,87

STYROPIAN

Materiał izolacyjny

styropian 031

Współczynnik λ: 0,031 W/(m·K)

Optymalna grubość: 19 cm

Nakłady: 80665,96 zł

Straty przed	Straty po
54943 kWh/rok	6461 kWh/rok
7872,27 zł/rok	925,79 zł/rok

Oszczędności
48481 kWh/rok
6946,48 zł/rok
88 %

Efektywność ekonomiczna
SPBT: 11,6 lat(a)
DPBT: 9,9 lat(a)
NPV: 109428,95 zł

Wsp. przenikania ciepła - U [W/(m²·K)]
Stan aktualny: 1,167
Maksymalny wg WT2008: 0,300
Z optymalnym dociepleniem: 0,143

Podsumowanie
 Docieplenie przegrody typu mur z cegły ceramicznej pełnej gr. 51 cm materiałem styropian 031 o gr. 19 cm przyniesie zmniejszenie strat ciepła przez przenikanie o 48481 kWh rocznie, tj. o 6946,48 zł (88 %), co przy jej zakładanej trwałości na poziomie 20 lat przyniesie 138929,60 zł oszczędności. Dodatnia wartość NPV (109428,95 zł w kontekście całej przegrody) - przy przyjętych parametrach technicznych i ekonomicznych - świadczy o ekonomicznej opłacalności przedsięwzięcia.

Przegroda: dach - stropodach niewentylowany starego typu - strop WPS

Wykres NPV - grubość

d [cm]	U [W/(m ² ·K)]	Nu [zł/m ²]	NPV [zł/m ²]
16	0,182	104,17	207,19
17	0,173	106,34	208,15
18	0,165	108,51	208,82
19	0,157	110,68	209,24
20	0,150	112,85	209,43
21	0,144	115,02	209,43
22	0,139	117,19	209,26
23	0,133	119,36	208,93
24	0,128	121,53	208,47
25	0,124	123,70	207,89

Wykres NPV - czas

Czas [lat(a)]	NPV [zł]
16	21686,07
17	24892,34
18	28191,55
19	31586,38
20	35079,62
21	38674,11
22	42372,79
23	46178,68
24	50094,88
25	54124,59

Materiał izolacyjny

włna mineralna 035

Współczynnik λ: 0,035 W/(m·K)

Optymalna grubość: 20 cm

Nakłady: 18902,38 zł

Straty przed: 16015 kWh/rok, 2294,65 zł/rok

Straty po: 2248 kWh/rok, 322,04 zł/rok

Oszczędności: 13767 kWh/rok, 1972,62 zł/rok, 86 %

Efektywność ekonomiczna: SPBT: 9,6 lat(a), DPBT: 8,4 lat(a), NPV: 35079,62 zł

Wsp. przenikania ciepła - U [W/(m²·K)]: Stan aktualny: 1,072, Maksymalny wg WT2008: 0,250, Z optymalnym dociepleniem: 0,150

Podsumowanie
 Docieplenie przegrody typu stropodach niewentylowany starego typu - strop WPS materiałem włna mineralna 035 o gr. 20 cm przyniesie zmniejszenie strat ciepła przez przenikanie o 13767 kWh rocznie, tj. o 1972,62 zł (86 %), co przy jej zakładanej trwałości na poziomie 20 lat przyniesie 39452,40 zł oszczędności.
 Dodatnia wartość NPV (35079,62 zł w kontekście całej przegrody) - przy przyjętych parametrach technicznych i ekonomicznych - świadczy o ekonomicznej opłacalności przedsięwzięcia.

Przegroda: podłoga na gruncie - podłoga na gruncie na podkładzie betonowym z posadzką z płytek ceramicznych

Wykres NPV - grubość

d [cm]	U [W/(m ² ·K)]	Nu [zł/m ²]	NPV [zł/m ²]
12	0,223	140,40	-5,15
13	0,210	142,35	-4,37
14	0,198	144,30	-3,89
15	0,188	146,25	-3,67
16	0,179	148,20	-3,66
17	0,170	150,15	-3,84
18	0,163	152,10	-4,17
19	0,156	154,05	-4,65
20	0,149	156,00	-5,25
21	0,143	157,95	-5,96

Wykres NPV - czas

Czas [lat(a)]	NPV [zł]
16	-18126,92
17	-17597,93
18	-17053,60
19	-16493,50
20	-15917,16
21	-15324,11
22	-14713,88
23	-14085,96
24	-13439,83
25	-12774,98

Materiał izolacyjny

styropian podłogowy

Współczynnik λ: 0,036 W/(m·K)

Optymalna grubość: 16 cm

Nakłady: 24823,50 zł

Straty przed: 3584 kWh/rok, 513,53 zł/rok

Straty po: 1313 kWh/rok, 188,07 zł/rok

Oszczędności: 2271 kWh/rok, 325,46 zł/rok, 63 %

Efektywność ekonomiczna: SPBT: 76,3 lat(a), DPBT: 40,1 lat(a), NPV: -15917,16 zł

Wsp. przenikania ciepła - U [W/(m²·K)]: Stan aktualny: 0,867, Maksymalny wg WT2008: 0,500, Z optymalnym dociepleniem: 0,179

Podsumowanie
 Docieplenie przegrody typu podłoga na gruncie na podkładzie betonowym z posadzką z płytek ceramicznych materiałem styropian podłogowy o gr. 16 cm przyniesie zmniejszenie strat ciepła przez przenikanie o 2271 kWh rocznie, tj. o 325,46 zł (63 %), co przy jej zakładanej trwałości na poziomie 20 lat przyniesie 6509,20 zł oszczędności.
 Niedodatnia wartość NPV (-15917,16 zł w kontekście całej przegrody) - przy przyjętych parametrach technicznych i ekonomicznych - świadczy o ekonomicznej nieopłacalności przedsięwzięcia.

Rodzaj wentylacji

Stan aktualny: przez nieszczelności okienne - nowe okna

Stan docelowy: mechaniczna z rekuperatorem o η=85%, działająca okresowo

	Stan aktualny	Stan docelowy	Różnica / oszczędność	
Efektywność energetyczna				
Wymiana powietrza:	1005,00 m ³ /h	938,00 m ³ /h	67,00 m ³ /h	7 %
Roczne straty ciepła:	30502 kWh	2349 kWh	28154 kWh	92 %
Roczne koszty energii:	4130,84 zł	320,91 zł	3809,93 zł	92 %

Efektywność ekonomiczna	
SPBT:	14,0 lat(a)
DPBT:	11,6 lat(a)
NPV:	50852,92 zł

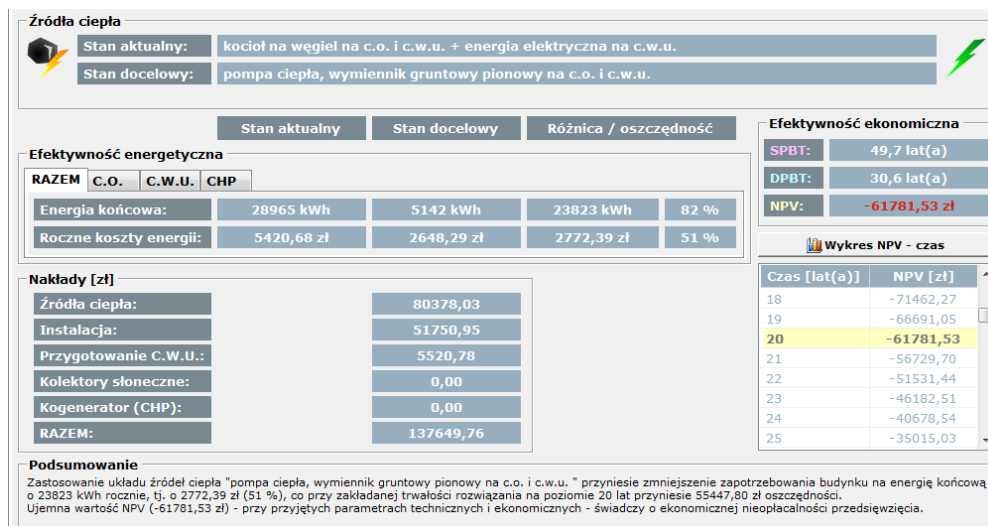
Nakłady [zł]

System:	12400,36
Kanały:	35285,60
Wymiennik gruntowy:	0,00
Czyszczenie instalacji:	5722,32
RAZEM:	53408,28

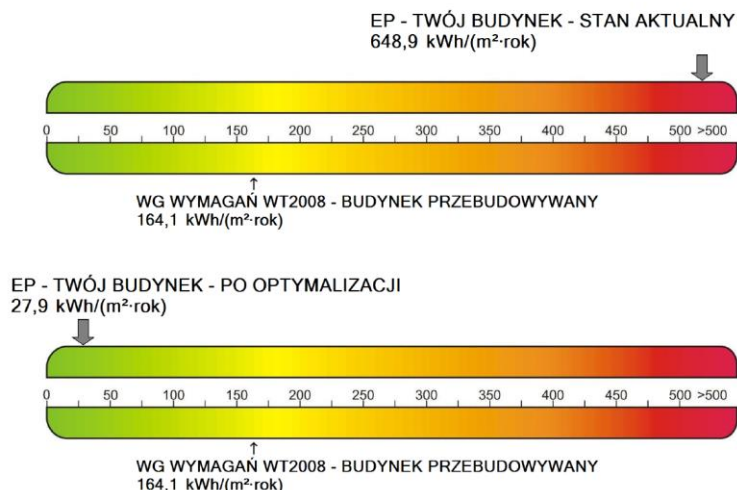
Wykres NPV - czas

Czas [lat(a)]	NPV [zł]
18	37549,25
19	44106,06
20	50852,92
21	57795,35
22	64939,00
23	72289,72
24	79853,50
25	87636,52

Podsumowanie
 Zastosowanie wentylacji typu "mechaniczna z rekuperatorem o η=85%, działająca okresowo" przyniesie zmniejszenie strat ciepła na wentylację budynku o 28154 kWh rocznie, tj. o 3809,93 zł (92 %), co przy zakładanej trwałości rozwiązania na poziomie 20 lat przyniesie 76198,60 zł oszczędności.
 Dodatnia wartość NPV (50852,92 zł) - przy przyjętych parametrach technicznych i ekonomicznych - świadczy o ekonomicznej opłacalności przedsięwzięcia.



W wyniku przeprowadzonej optymalizacji, zgodnie z dyrektywą 2010/31/WE otrzymano charakterystykę energetyczną spełniającą wymogi budynku niemal zero energetycznego. Energia użytkowa budynku niemal zeroenergetycznego oszacowano na poziomie 22,8 kWh/m²rok. Energia pierwotna na c.o. i c.w.u. wynosi 27,9 kWh/m²rok.



Wskaźniki zapotrzebowania na energię

	EUco [kWh/(m ² ·rok)]	EK [kWh/(m ² ·rok)]	EP [kWh/(m ² ·rok)]
Twój budynek - stan aktualny	348,2	567,7	648,9
Twój budynek - po optymalizacji	22,8	9,3	27,9
Budynek przebudowywany wg WT2008	brak wymagań	brak wymagań	164,1

Projektowe obciążenie cieplne

	Stan aktualny [kW]	Po optymalizacji [kW]	Oszczędność [kW]	Oszczędność [%]
Na ogrzewanie i wentylację	51,0	14,2	36,8	72 %
Na ciepłą wodę użytkową	7,2	7,2	-	-
Razem	58,2	21,3	36,8	63 %

Oszacowano też koszty eksploatacji modernizowanego budynku. Efekt ekonomiczny modernizacji jest bardzo interesujący. Poprawa efektywności energetycznej budynku przyniesie 95% oszczędności kosztów, które obniżono z 7,28 zł/m² do 0,27 zł/m².

Koszty eksploatacji budynku

	Stan aktualny	Po optymalizacji	Oszczędność	Oszczędność
Roczny koszt ogrzewania	24449,13 zł	909,76 zł	23539,37 zł	96 %
Miesięczny koszt ogrzewania	7,28 zł/m ²	0,27 zł/m ²	7,01 zł/m ²	96 %
Roczny koszt podgrzania wody użytkowej	1035,80 zł	432,49 zł	603,31 zł	58 %
Roczny łączny koszt energii	25484,93 zł	1342,26 zł	24142,68 zł	95 %

6. Podsumowanie

Budynki pasywny ograniczają radykalnie zużycie energii. W warunkach polskich działania te choć efektywne energetycznie nie są ekonomicznie uzasadnione. Czas zwrotu poniesionych nakładów wynosi 25-30 lat i często przekracza żywotność poszczególnych elementów budynku odpowiadających za efektywność energetyczną. Dostosowanie budynków pasywnych do standardu zeroenergetycznego wymaga zastosowania dodatkowo rozwiązań opartych o odnawialne źródła energii tj. kolektory PV, wiatraki, kolektory ciepłe, energię wodną co wiąże się dodatkowo ze wzrostem kosztów budowy, obniżających rentowność inwestycji.

Wydaje się, że właściwym rozwiązaniem w warunkach polskich jest budownictwo niemal zeroenergetyczne wyznaczone w oparciu o regułę kosztów optymalnych tj. budownictwo optymalne. Z doświadczenia autora wartości optymalne energii użytkowej występują najczęściej w przedziale 20-40 kWh/m²rok. Budynki o pasywnej charakterystyce energetyce aktualnie ze względów ekonomicznych są nieopłacalne. Warto jednak prowadzić projekty które pozwolą wdrożyć technologie ekonomicznie zasadne, tak aby uzyskać budynki zeroenergetyczne.

Literatura

- [1] Dyrektywa 2004/8/WE z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie wspierania kogeneracji w oparciu o zapotrzebowanie na ciepło użytkowe na rynku wewnętrznym energii.
- [2] Dyrektywa 2006/32/WE z dnia 5 kwietnia 2006 r, w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych.
- [3] Dyrektywa 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych.
- [4] Dyrektywa 2009/125/WE z dnia 21 października 2009 r. ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów związanych z energią.
- [5] Dyrektywa UE 2010/30/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie wskazania poprzez etykietowanie oraz standardowe informacje o produkcie, zużycia energii oraz innych zasobów przez produkty związane z energią.
- [6] Dyrektywa 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
- [7] Norma PN-EN ISO 15603:2008 – Energetyczne właściwości użytkowe budynków – Całkowite zużycie energii i definicja energii znamionowej;
- [8] Norma PN-EN ISO 15251:2007 – Kryteria środowiska wewnętrznego, obejmujące warunki cieplne, jakość powietrza wewnętrznego, oświetlenie i hałas;
- [9] Norma PN-EN ISO 15927-4:2007 – Ciepłno-wilgotnościowe właściwości użytkowe budynków – Obliczanie i prezentacja danych klimatycznych – Część 4: Dane godzinowe do oceny rocznego zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia;
- [10] Norma PN-EN 15316-1:2009 – Systemy ogrzewcze w budynkach – Metoda obliczania zapotrzebowania na energię i sprawności systemów – Część 1: Wymagania ogólne;
- [11] Seppänen O, Goeders G. Benchmarking Regulations on Energy Efficiency of Buildings. Executive summary. Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations – REHVA, 5 maj 2010.
- [12] Feist W., Schlagowski G., Schulze Darup B.: Podstawy budownictwa pasywnego, Polski Instytut Budownictwa Pasywnego, Gdańsk 2006.