

Poprawa efektywności cieplnej istniejących budynków w świetle wymagań dyrektywy UE 2010/31/UE w Polsce

Streszczenie:

W dzisiejszych czasach kwestia oszczędzania energii staje się coraz ważniejsza. Zarówno gospodarstwa domowe, jak i duże obiekty użyteczności publicznej, takie jak szkoły, przedszkola, ośrodki zdrowia, centra handlowe czy rekreacyjne, wdrażają systemy oszczędzania energii. Aby zacząć oszczędzać, należy najpierw zidentyfikować miejsca, w których występują największe straty energii. W tym celu przeprowadza się audyty energetyczne. Wyniki audytu pozwalają na wdrożenie niezbędnych zmian, w tym wymianę starych systemów grzewczych na nowoczesne, energooszczędne urządzenia o takim samym, a nawet lepszym efekcie grzewczym. W artykule przedstawiono badania przeprowadzone w dwóch budynkach użyteczności publicznej, tj. Szkole Podstawowej w Powroźniku w powiecie muszyńskim oraz Miejskim Ośrodku Sportu i Rekreacji w Dębicy w Polsce. Badania przeprowadzono zgodnie z Dyrektywą 2010/31/UE (z późniejszymi zmianami: dyrektywa 2012/27/UE i (UE)2018/844). Uzyskane wyniki potwierdziły konieczność przeprowadzenia kompleksowych modernizacji cieplnych w obu budynkach. Celem badań było opracowanie metody zmierzającej do osiągnięcia niemal zeroenergetycznego budynku w sektorze publicznym. Budynki tej kategorii charakteryzują się zazwyczaj dużą kubaturą i powierzchnią grzewczą, jednak funkcje budynków mogą być bardzo różnorodne. Może to być biuro administracyjne, szkoła, basen, lodowisko, szpital itp. Artykuł pokazuje, że pomimo różnych funkcji budynków można opracować pewne wspólne metody skutecznej termomodernizacji. Generalnie w dużych budynkach użyteczności publicznej

* Autor korespondencyjny: Tadeusz Olkuski, Katedra Zrównoważonej Energii i Paliw, Wydział Energetyki i Paliw, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, Polska, e-mail: olkuski@agh.edu.pl

należy wdrażać kompleksowe rozwiązania. Należą do nich odzysk ciepła za pomocą pomp ciepła w systemach wentylacyjnych, odnawialne źródła energii, takie jak fotowoltaika, pompy ciepła, lub skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej i energii do ogrzewania pomieszczeń w kogeneracji, systemy zarządzania budynkami, które dostosowują dostarczane ciepło do warunków atmosferycznych, oraz systemy oświetleniowe.

1 Wstęp

Świadomość ekologiczna na świecie rośnie z roku na rok. Coraz więcej osób dostrzega potrzebę racjonalnego wykorzystania paliw i energii, dbania o środowisko naturalne, oszczędzania powietrza, wody i zasobów ziemi. Rozwijający się ruch ekologiczny zmusza rządy krajowe do uchwalania i wdrażania przepisów chroniących naszą planetę przed dewastacją. Aby zapobiec katastrofie klimatycznej, różne kraje podejmują działania mające na celu ograniczenie wykorzystania paliw kopalnych i przejście na odnawialne źródła energii (OZE). Obejmują one między innymi zobowiązania podjęte w ramach Porozumienia paryskiego [1-6]. Od lat Unia Europejska jest na czele działań mających na celu dekarbonizację gospodarek krajowych i osiągnięcie neutralności klimatycznej, poprzez tzw. Europejski Zielony Ład [7]. Trwają również intensywne prace nad rewizją pakietu „Czysta energia dla wszystkich Europejczyków” [8], Europejskiego prawa klimatycznego [9] i mechanizmu dostosowywania cen na granicach z uwzględnieniem emisji dwutlenku węgla [10], a także nad wzmocnieniem unijnego systemu handlu uprawnieniami do emisji (ETS) na następną dekadę (rewizja EU ETS na fazę 4 [2021–2030]) [11] i mechanizmu sprawiedliwej transformacji [12].

W Europie wiodącym krajem w zakresie energii odnawialnej są Niemcy. Kraj, który już w maju 2011 r. przyjął pakiet Energiewende mający na celu przejście na energię odnawialną [13–18]. Między innymi w sektorze budowlanym planuje się redukcję emisji CO₂ z 209 mln ton w 1990 r. do 70–72 mln ton w 2030 r., co stanowi redukcję o 66–67% [19]. Rząd federalny będzie wspierał modernizację istniejących budynków i wdrażać wysokie standardy efektywności energetycznej. Zapotrzebowanie na ogrzewanie i chłodzenie będzie pokrywane ze źródeł odnawialnych.

Konieczność ochrony klimatu jest dostrzegana przez polityków i obywateli większości krajów świata. To znak czasów, że Stany Zjednoczone ponownie przystąpiły do Porozumienia paryskiego [20] 21 stycznia 2021 r.

2 Uwarunkowania prawne

Polska przyjęła ustawę o OZE [21], ustawę o efektywności energetycznej [22] i Krajowy Plan Ochrony Powietrza [23], których celem jest poprawa jakości powietrza w Polsce. Jest to szczególnie ważne na obszarach o najwyższym stężeniu zanieczyszczeń powietrza i dużych skupiskach ludności. Jednym z najnowszych dokumentów regulujących kwestie energetyczne i środowiskowe w Polsce jest Polityka Energetyczna Polski do 2040 roku, przyjęta w lutym br. [24]. W Polsce na przestrzeni lat przyjęto również liczne dokumenty rządowe, takie jak ustawy i rozporządzenia dotyczące budynków, ogrzewania, chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji [25–31]. Ponadto na szczeblu lokalnym podejmowane są działania zachęcające do realizacji termomodernizacji budynków użyteczności publicznej. Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Krakowie dofinansowuje termomodernizację budynków, przy założeniu minimalnej powierzchni 600 m². Dotacje takie przysługują następującym podmiotom [32]:

- * Szpitalom lub podmiotom leczniczym (do 30%).
- * Hospicjom (do 60%).
- * Instytucjom kultury (państwowym i samorządowym; do 20%).
- * Kościelnym osobom prawnym (do 30%).
- * Instytutom naukowo-badawczym i publicznym uczelniom wyższym (do 20%).
- * Parkom narodowym (do 20%).

Pożyczki, które udzielane są do 100% kwalifikowanych kosztów netto, mają preferencyjne oprocentowanie. Podobne działania prowadzą również inne fundusze wojewódzkie, takie jak Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Warszawie [33], Lublinie [34], Łodzi [35], Wrocławiu [36], Poznaniu [37], Gdańsku [38], Katowicach [39] i wielu innych miastach wojewódzkich.

Oprócz strachu przed katastrofą ekologiczną, która może być wynikiem nadmiernej eksploatacji zasobów planety, rośnie pokolenie, które dostrzega potencjalne negatywne skutki takiego zarządzania. Jak

wskazuje Fücks [40], w bogatych społeczeństwach istnieje tendencja odchodzenia od gromadzenia dóbr materialnych na rzecz zaspokajania innych potrzeb, takich jak samorealizacja czy poznawanie siebie i otaczającego świata. Powyżej pewnego progu dobrobytu nie chodzi już o „więcej”, ale o „lepiej”. Takie podejście do życia daje nadzieję, że środowisko może być zachowane, aby zapewnić przyszłym pokoleniom funkcjonowanie na poziomie nie gorszym niż obecnie.

W Polsce węgiel jest nadal głównym źródłem energii do ogrzewania gospodarstw domowych. Aż 87% węgla spalanego w UE na indywidualne cele grzewcze jest zużywane w Polsce [41]. Jednak sytuacja ta ulegnie zmianie wraz z postępującą dekarbonizacją sektora energetycznego. Podobny trend rozwija się w ogrzewaniu pomieszczeń. Według analizy przeprowadzonej przez Forum Energii, do 2030 roku w Polsce można by zainstalować około 1,5 miliona pomp ciepła, co umożliwiłoby zastąpienie prawie połowy obecnie stosowanych pieców i kotłów węglowych. Autorzy niniejszego raportu uważają, że Polsce potrzebna jest wizja transformacji sektora ciepłowniczego i strategia, która osiągnie cele czystego powietrza, zwiększonej efektywności energetycznej i zminimalizowanego wpływu sektora energetycznego na klimat. Istotnym zagadnieniem jest również zarządzanie energią w budynkach. Istnieje wiele systemów zarządzania energią w budynkach, a najskuteczniejsze są systemy zarządzania energią w budynkach (ang. Building Management Systems, w skrócie BMS), czyli zaawansowane rozwiązania techniczne, których celem jest efektywne sterowanie instalacjami w budynku, takimi jak instalacje elektryczne, wentylacyjne, grzewcze i chłodnicze, oraz dostosowywanie ich pracy do zmieniających się warunków [42,43].

Poprawa efektywności cieplnej będzie realizowana w takim tempie, aby do 2050 r. osiągnąć cel budynków zeroemisyjnych [44]. Jest to istotne, ponieważ większość Polaków mieszka i pracuje w budynkach niedostatecznie ocieplonych. Szacuje się, że problem ten dotyczy 72% domów jednorodzinnych (ok. 3,6 mln), 50% budynków wielorodzinnych i ok. 70% budynków niemieszkalnych [45]. Obecnie w Polsce realizowany jest program „Czyste Powietrze” [46]. Jest to program skierowany do właścicieli i współwłaścicieli domów jednorodzinnych. W ramach tego programu możliwe jest uzyskanie dotacji na wymianę starych i nieefektywnych źródeł ciepła na paliwo stałe na nowoczesne źródła ciepła spełniające najwyższe standardy oraz przeprowadzenie

niezbędnej termomodernizacji budynku. Maksymalna kwota dotacji wynosi do 30 tys. zł dla podstawowego poziomu finansowania i 37 tys. zł dla podwyższonego poziomu finansowania. Łączna kwota przeznaczona na ten cel wynosi 103 mld zł. Według badań przeprowadzonych przez Instytut Badań Rynkowych i Społecznych [47] aż 70% mieszkańców Krakowa chciałoby, aby energia elektryczna w budynkach użyteczności publicznej pochodziła ze źródeł odnawialnych. Co drugi respondent oczekiwałby od gminy komunikatów na temat jakości powietrza, a blisko 43% chciałoby, aby gmina informowała mieszkańców o przepisach dotyczących ochrony powietrza.

Wymiana starych nieefektywnych urządzeń na nowe energooszczędne i termomodernizacja budynków są kosztowne, ale przynoszą długoterminowe korzyści. Te kwestie podejmowało wielu autorów w Polsce [48–51], ale każdy przypadek wymaga indywidualnej analizy i kalkulacji. Podobne problemy występują także w innych krajach [52,53] i należy je analizować w każdym przypadku osobno.

Ustawa o charakterystyce energetycznej budynków [54] i inne przepisy [55] związane ustawą wymagają, aby energia zużywana na ogrzewanie pomieszczeń i ciepłą wodę użytkową w nowym budynku będącym własnością rady gminy po 2020 r. nie przekraczała wartości $EP_{H+W} = 45 \text{ kWh/m}^2$. Podobnie niskie wartości są ustalane dla oświetlenia ($E_{PL} = 50 \text{ kWh/m}^2$) i chłodzenia ($E_{PC} = 25 \text{ kWh/m}^2$). Te limity stwarzają te same problemy dla projektantów, ponieważ limity są ustalane dla 1 m^2 niezależnie od wysokości budynku. Na przykład, jeśli wewnętrzna wysokość kondygnacji wynosi 2,5 m, to $EP_{H+W} = 45 \text{ kWh/m}^2$ oznacza 18 kWh/m^3 . W przypadku wysokości kondygnacji 16 m (jak w halach sportowych) ten sam współczynnik wynosi $2,81 \text{ kWh/m}^3$ (rysunek 1).

Aby osiągnąć tak niski współczynnik, często nie wystarczy ocieplić ścian i dachu, nawet według standardu domów pasywnych, i zastosować okna niskoemisyjne. Większość energii w ocieplonych budynkach przeznaczona jest na ogrzewanie powietrza podczas procesu wentylacji, zwłaszcza jeśli kubatura budynku jest znaczna, na przykład w halach sportowych.

W tym przypadku współczynnik energii pierwotnej E_p został przekroczony we wszystkich aspektach (ogrzewanie pomieszczeń, ciepła woda użytkowa, klimatyzacja i oświetlenie), chociaż izolacje ścian i stropów, okna, a także lampy z diodami elektroluminescencyjnymi (LED) zostały

zaprojektowane zgodnie ze standardami domów pasywnych. Ponadto system wentylacji został wyposażony w wymiennik ciepła o sprawności 68%.

Rysunek 2 pokazuje, że kluczem do rozwiązania problemu wykorzystania energii pierwotnej ponad limit ogrzewania pomieszczeń jest zmniejszenie strat wentylacyjnych. Rozwiązaniem, do którego dążono i które opracowano w audycie energetycznym, jest wprowadzenie jednostki wentylacyjnej wyposażonej nie tylko w pasywny wymiennik ciepła, ale także w pompę ciepła powietrze/powietrze. Zwiększa to wydajność rekuperacji o ponad 95% w ciągu przeciętnego sezonu grzewczego. To rozwiązanie nie tylko odzyskuje ciepło, ale również zmniejsza zużycie energii na klimatyzację. Dwa problemy wydawały się być rozwiązane przez jedną jednostkę. Niestety pompy ciepła wykorzystują energię elektryczną, a roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną przez system wentylacyjny wzrasta. Energia elektryczna w Polsce ma swój współczynnik nakładu energii pierwotnej nieodnawialnej równy $w_p=2,5$, ponieważ nasze elektrownie są w większości zasilane węglem. Energia elektryczna wytwarzana w ten sposób jest równa jednej trzeciej energii chemicznej węgla, a dwie trzecie to ciepło odpadowe. Po uwzględnieniu udziału OZE w produkcji energii wartość ta rośnie z jednej trzeciej do ok. 40% w stosunku do zużytej energii pierwotnej nieodnawialnej. Daje to w przeliczeniu współczynnik nakładu energii pierwotnej nieodnawialnej równy $w_p=1/40\%=2,5$. Stąd, chociaż końcowe zużycie energii przez pompy ciepła jest bardzo ograniczone ze względu na bardzo dobry współczynnik efektywności (COP) pompy ciepła, to zużycie energii pierwotnej jest nadal wysokie.

Aby rozwiązać kolejny problem, konieczne jest zmniejszenie zużycia energii elektrycznej, na przykład za pomocą instalacji fotowoltaicznych (PV). System PV zmniejsza zapotrzebowanie na energię pierwotną poprzez wykorzystanie OZE bezpośrednio ze słońca.

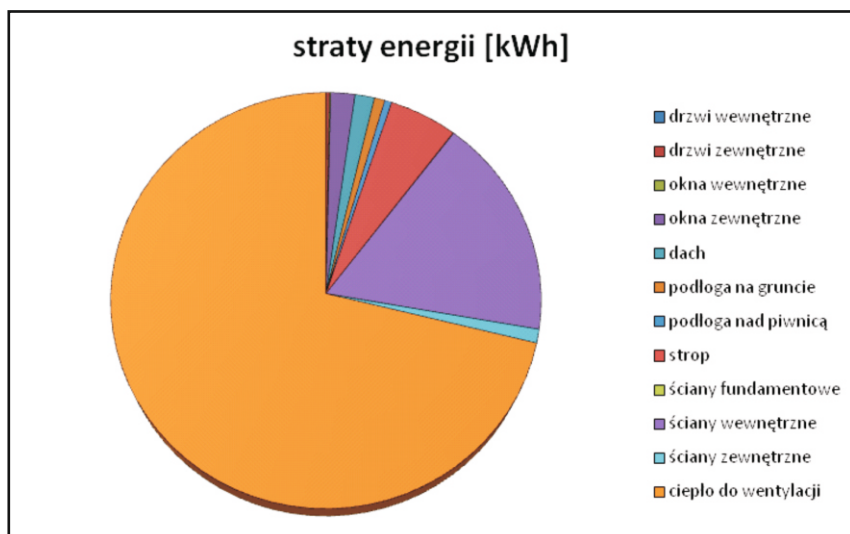
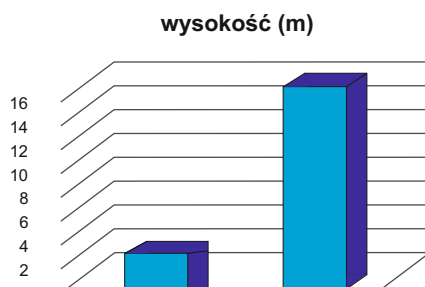


$$EP_{H+W} = 45 \text{ kWh/m}^2 \approx 18 \text{ kWh/m}^3$$



$$EP_{H+W} = 45 \text{ kWh/m}^2 \approx 2,81 \text{ kWh/m}^3$$

Rysunek 1: Limit energii pierwotnej w zależności od wysokości budynku [56].



Rysunek 2: Straty energii do ogrzewania pomieszczeń (źródło: na podstawie wcześniejszego badania [56]).

3 Metoda

Dyrektywa 2010/31/UE [57] w artykule 7 (budynki istniejące) stanowi: „Państwa członkowskie podejmują niezbędne środki celem zapewnienia, aby przy wykonywaniu ważniejszej renowacji budynków charakterystyka energetyczna tego budynku lub jego części poddawanej renowacji została poprawiona tak, aby spełniała minimalne wymagania dotyczące charakterystyki energetycznej określone zgodnie z art. 4, na ile jest to możliwe pod względem technicznym, funkcjonalnym i ekonomicznym.”. Oznacza to, że istniejący budynek nie musi spełniać wymogu $EP_{H+W} = 45 \text{ kWh/m}^2$, jak w przykładzie powyżej, ale ważne jest zrównoważenie kosztów i wyników, aby nie robić rzeczy, które są niewykonalne ekonomicznie.

3.1 Przypadek 1: szkoła podstawowa w gminie Powroźnik Muszyna

Szkoła podstawowa w gminie Powroźnik w Muszynie to budynek z lat 70. XX wieku. Powierzchnia grzewcza wynosi $3\,511,41 \text{ m}^2$ (rysunek 3). Około 10 lat temu budynek został ocieplony styropianem o grubości 5 cm, dzięki czemu współczynnik przenikania ciepła ścian wynosił $U = 0,3 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$. Współczynnik przenikania ciepła dachu wynosił $U = 0,6 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$, a okien $U = 2,6$. Wymieniono kotły i zastosowano już instalacje kolektorów słonecznych. System wentylacji jest naturalny, a system ogrzewania oparty jest na kotłach gazowych. Zużycie energii przez budynek szkoły przedstawiono w tabeli 1, a obliczenie współczynnika E_p przedstawiono w tabeli 2.

Na podstawie wyników audytu energetycznego zaproponowano następujące rozwiązania:

- (1) Izolacja dachu wełną mineralną o $\lambda = 0,035 \text{ (W/[m}\cdot\text{K])}$ i grub. 14 cm
- (2) Izolacja ścian zewnętrznych styropianem 8 cm o $\lambda = 0,036 \text{ (W/[m}\cdot\text{K])}$
- (3) Izolacja podłogi na parterze styropianem 10 cm o $\lambda = 0,036 \text{ (W/[m}\cdot\text{K])}$
- (4) Wymiana okien na nowe o $U < 0,9 \text{ (W/[m}^2\cdot\text{K])}$
- (5) Wdrożenie systemu wentylacji mechanicznej z wykorzystaniem central wentylacyjnych wyposażonych w wirniki jako wymienniki ciepła oraz zintegrowaną pompę ciepła jako drugi stopień odzysku energii.



Rysunek 3: Szkoła Podstawowa w Powroźniku (źródło: Tomasz Sumera).

(6) Kaskada trzech nowych kotłów gazowych kondensacyjnych i dwóch pomp ciepła absorpcyjnych zasilanych gazem ziemnym. Łączna moc zestawu wynosi 179,8 kW. Same pompy ciepła około 70 kW.

(7) System sterowania energią na podstawie prognozy pogody.

W zakresie energii elektrycznej:

(1) Nowe źródła światła w technologii LED wewnątrz i na zewnątrz budynku.

(2) System PV o mocy 39,73 kWp.

Dodatkowo zastosowano BMS monitorujący energię na potrzeby ogrzewania pomieszczeń, ciepłej wody użytkowej, oświetlenia i pozostałej energii elektrycznej. Oznacza to, że 2 liczniki ciepła(c.o. i c.w.u.) oraz 2 liczniki energii elektrycznej zintegrowano z programem sterującym. Wyniki przedstawiają się następująco:

Pojedynczy wzrost o energię pomocniczą pochodzi z pomp ciepła pracujących w systemie wentylacyjnym, który jest tylko częściowo kompensowany przez system PV. Ogólnie rzecz biorąc, redukcja zapotrzebowania na energię budynku sięga 75%.

Wartości przedstawione w tabelach są wynikami obliczeń wykonanych w ramach audytu energetycznego w oparciu o metodę miesięczną. Rzeczywiste zużycie gazu do ogrzewania pomieszczeń w roku 2018 wyniosło 530 896 kWh, co stanowi ok. 11% mniej niż wartość obliczona. Obliczenia wykonano przy użyciu temperatur w standardowym sezonie

grzewczym, zgodnie z definicją Ministerstwa Infrastruktury. Rok 2018 był cieplejszy od wartości standardowych. Przykładowo, według Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowego Instytutu Badawczego [58], temperatura stycznia 2018 r. była o ok. 3°C wyższa od średniej wartości w latach 1971–2000.

Tabela 1: Zapotrzebowanie budynku na energię

Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną w budynkach użyteczności publicznej [kWh/rok]						
opis	ogrzewanie i wentylacja	ciepła woda użytkowa	chłodzenie	oświetlenie	energia pomocnicza	razem
1 2	3	4	5	6	7	8
Szkoła przed modernizacją	590,219	71,500	0	73,323	5,832	740,874

Źródło: własne badanie.

Tabela 2: Współczynniki: EP_{H+W} , E_{PL} i E_{PH+W+L} (kWh/m³)

Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną w budynkach użyteczności publicznej [kWh/rok]					
opis	razem ogrzewanie + ciepła woda użytkowa	powierzchnia ogrzewana (m ²)	wskaźnik E_{PH+W}	wskaźnik E_{PL}	wskaźnik E_{PH+W+L}
1 2	3 + 4	9	10	11	12
Szkoła przed modernizacją	667,551	3 511,41	190,11	20,88	210,99

Źródło: opracowanie własne.

Różnice temperatury zewnętrznej rzeczywistej oraz sezonu standardowego wyjaśniają różnicę między wartościami obliczonymi, a zmierzonymi przez licznik gazu.

3.2 Przypadek 2: Odzysk ciepła ze sztucznego lodowiska

Kompleks sportowy w Dębicy składa się z lodowiska i basenów. Wszystko rozmieszczone jest w jednej dużej hali podzielonej na dwie części (rysunek 4). Istniejący sprzęt został rozdzielony przed rozpoczęciem audytu energetycznego. Lodowisko chłodzone było starą maszyną chłodzącą, która oddawała ciepło z chłodzenia do atmosfery. Basen był jednak zasilany energią z sieci ciepłowniczej. Pomysł wykorzystania ciepła odzyskanego z lodowiska do ogrzewania basenu został rozpatrzony w audycie energetycznym przeprowadzonym przez Tomasza Sumere. W projekcie rozważono pompę ciepła dużej mocy o mocy chłodniczej 403 kW i mocy grzewczej 560 kW.



Rysunek 4: Miejski Ośrodek Sportu i Rekreacji w Dębicy (źródło: Tomasz Sumera).

Pompa ciepła wykorzystująca czynnik chłodniczy CO_2 (R744) jest również lepsza dla środowiska i zdrowia ludzi niż stary system wykorzystujący amoniak.

4 Wyniki i dyskusja

Oba przykłady pokazują rosnącą rolę prawidłowego użytkowania i zachowania wewnętrznych zysków ciepła budynku. Aby osiągnąć cel, jakim jest niemal zerowe lub bardzo niskie zapotrzebowanie na energię na budynek, należy stosować coraz bardziej wyrafinowane metody i urządzenia. Pierwszy przypadek pokazuje, że oszczędzanie energii w budynku może być czasami najskuteczniejszym sposobem na jej

redukcję niż korzystanie z OZE. System wentylacji odgrywa bardzo ważną rolę w redukcji zapotrzebowania budynku na energię. Wysokoefektywna jednostka wentylacyjna składa się z obrotowego wymiennika ciepła o maksymalnej sprawności około 80%, a także pompy ciepła powietrze/powietrze, która pracuje z bardzo wysokim poziomem COP powyżej pięciu i ogrzewa powietrze wlotowe po obrotowym wymienniku ciepła, wykorzystując energię uzyskaną z powietrza wywiewanego. Oczywiście zwiększa to zapotrzebowanie budynku na energię elektryczną, ponieważ nowe jednostki wentylacyjne wymagają zasilania elektrycznego, a poprzedni system wentylacji był naturalny. System fotowoltaiczny zmniejsza zapotrzebowanie na energię elektryczną. Aby odzyskać 100% energii cieplnej oddawanej przez jednostki wentylacyjne, wewnętrzne pompy ciepła w systemie wentylacji wykorzystują energię elektryczną na poziomie tylko około 20% odzyskanej energii cieplnej. Jest to możliwe dzięki $COP > 5$ pomp ciepła pracujących w systemie wentylacji. W takim przypadku pokrycie dodatkowego zapotrzebowania na energię elektryczną przez system fotowoltaiczny jest bardzo wydajnym rozwiązaniem. Zmniejsza on zewnętrzne zapotrzebowanie na energię elektryczną do poziomu niemal zerowego. Równocześnie odzysk ciepła w systemie wentylacyjnym zmniejsza zapotrzebowanie na energię cieplną do poziomu, którego nie można by osiągnąć ze względu na izolację samego budynku (Tabela 3). Drugi przypadek - odzysk energii z lodowiska wykazuje duży potencjał oszczędzania energii poprzez odzysk ciepła z jednej części budynku do drugiej lub nawet pomiędzy dwoma oddzielnymi budynkami znajdującymi się w pobliżu.

Tabela 3: Oszczędność energii po modernizacji

Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną w budynkach użyteczności publicznej [kWh/rok]						
opis	ogrzewanie i wentylacja	ciepła woda użytkowa	chłodzenie	oświetlenie	energia pomocnicza	razem
1 2	3	4	5	6	7	8
Szkoła przed modernizacją [kWh/rok]	590,219	71,500	0	73,323	5,832	740,874
Szkoła po modernizacji [kWh/rok]	82,684	54,017	0	39,381	8,303	184,384

Redukcja [kWh/rok]	507,536	17,483	0	33,942	-2,471	556,490
zużycia energii [%]	85,99	24,45	0	46,29	-42,37	75,11

Źródło: badanie własne.

Tabela 4: Oszczędność energii dzięki odzyskowi ciepła na lodowisku

M-c	Zużycie energii elektrycznej przez pompę ciepła [Mwh]	Odzysk energii cieplnej przez pompę ciepła		Zużycie energii cieplnej obiekt MOSiR w Dębicy przy ul. Piłsudskiego 19 na podstawie faktur				Oszczędność energii cieplnej z MPEC ^c dzięki zastosowaniu pompy ciepła [GJ]
		[Mwh]	[GJ]	c.o. lodowiska + basen [GJ]	c.o. baseny [GJ]	c.w.u. lodowisko + basen [GJ]	Razem obiekty MOSiR ul. Piłsudskiego 19 [GJ]	
1	83,160	248,648	895,132	909,000	516,000	208,000	1 633,000	895,132
2	47,600	142,324	512,367	805,000	468,000	201,000	1 474,000	512,367
3	62,472	186,790	672,444	789,000	420,000	168,000	1 377,000	672,444
8	96,240	287,757	1 035,925	13,700	91,500	16,900	122,100	122,100
9	65,008	194,373	699,743	164,300	156,200	109,400	429,900	429,900
10	64,791	193,725	697,411	569,400	337,300	138,000	1 044,700	697,411
11	60,000	179,401	645,843	655,300	390,000	156,700	1 202,000	645,843
12	62,622	187,241	674,066	743,800	424,600	168,500	1 336,900	674,066
suma	541,892	1 620,259	5 832,931	4 649,500	2 803,600	1 166,500	8 619,600	4 649,263

1) MOSiR, Miejski Ośrodek Sportu i Rekreacji oraz 2) MPEC, Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyczne. Źródło: opracowanie własne. Obliczenia wykonane podczas audytu energetycznego wykazały, że właściwe wykorzystanie wewnętrznych zysków ciepła, poprzez transfer ze strefy, w której są one bezużyteczne, do strefy, w której energia jest potrzebna, może być bardziej efektywne niż proste izolowanie obudowy budynku lub wykorzystanie OZE. Przykłady przedstawiono w poniższej tabeli. Obliczenia wykonano w oparciu o poziom cen polskich.

Odzysk ciepła przedstawiony w tabeli 4 wynosi $4649,263/8619 = 54\%$.

W sezonie chłodniczym pompa ciepła zużyje $106,637 \text{ MW h} = 383,9 \text{ GJ}$ energii elektrycznej, więc końcowa redukcja zużycia energii przez budynek wyniesie $(4649,263 - 383,9)/8619 = 49,1\%$.

Zużycie energii cieplnej obiektu sportowego podane w tabeli 4 (lodowisko i basen) zliczane jest za pomocą odpowiednich liczników energii. Zużycie energii elektrycznej i ciepło wytworzone przez pompę ciepła obliczono w audycie energetycznym. Wybór pompy ciepła został oparty na wydajności chłodniczej istniejącego sprzętu, ponieważ wydajność

chłodnicza starego systemu była wystarczająca i właściwa (co zostało potwierdzone około 20-letnim okresem eksploatacji), a jedynie efektywność energetyczna starych maszyn była niska.

W obu przypadkach (1 i 2) obliczenia modernizacji zostały wykonane w programie MS Excel przy użyciu formuł zaimplementowanych przez autora. Zapotrzebowanie na energię w każdym wariancie osobno zostało obliczone przez polskie programy do obliczania charakterystyki energetycznej budynków. Opracowanie własnych formuł było konieczne, ponieważ norma [59] nie podaje rozwiązań do obliczania wewnętrznych zysków energii, które mogą być przenoszone do innego budynku lub oddzielnej sekcji budynku w inny sposób niż przez ściany, stropy, lub system wentylacyjny. Nasze formuły opierają się na podstawowym prawie zachowania energii i parametrach technicznych pomp ciepła użytych w obliczeniach (takich jak współczynnik COP, wydajność grzewcza i wydajność chłodnicza). Obliczenia zostały skonfrontowane z energią mierzoną przez odpowiednie liczniki i osiągnęły odpowiednią dokładność.

Czas zwrotu inwestycji obliczono w tabelach według wzoru. Prosty czas zwrotu inwestycji (SPBT) = $N_U / \Delta O_{ru}$, (Tabela 5):

gdzie N_U - koszt wdrożenia modernizacji. Roczne oszczędności kosztów $\Delta O_{ru} = (Q_{0U} - Q_{1U})O_z + 12(q_{0U} - q_{1U})Om$

Najlepszy wariant termomodernizacji ścian budynku przy użyciu styropianu wykazuje 73,2-letni czas zwrotu (Tabela 6).

Powyższy przykład pokazuje czas zwrotu instalacji fotowoltaicznej. Odzysk ciepła przez instalację pompy ciepła obliczono w Tabeli 4. Poziom odzysku ciepła wynosi 4649,263 GJ (54% zapotrzebowania na ciepło basenu; Tabela 7).

Przykłady pokazują, że system odzysku ciepła obliczony w audycie energetycznym daje dwie korzyści:

- (1) najlepszy czas zwrotu z modernizacji rozważanych powyżej i
- (2) najwyższy poziom energii uzyskany przez system.

Poprzednie normy techniczne i obecna: PN-EN ISO 52016-1:2017-09P Energetyczne właściwości użytkowe budynków 4- Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i chłodzenia, wewnętrzne temperatury oraz jawne i utajone obciążenia cieplne - Część 1: Procedury obliczania¹ [60]. opisują sposób obliczania energii przekazywanej z innych stref przez ściany i inne

elementy budynku. Nie ma gotowej procedury, jak uwzględnić w obliczeniach zysk ciepła przenoszony z jednej części budynku do drugiej w inny sposób niż naturalne przejście przez elementy budynku. Naszym zdaniem należy to uwzględnić, przeglądając normę.

Tabela 5: Czas zwrotu izolacji ścian zewnętrznych budynku lodowiska.

Lp.	Omówienie	Jednostka	Stan przed termomodernizacją	Warianty			
				1	2	3	4
1	Grubość dodatkowej warstwy izolacji termicznej $g=$	m		0,02	0,05	0,08	0,12
2	Zwiększenie oporu cieplnego ΔR	mK/W		0,6	1,6	2,5	3,8
3	Opór cieplny R	mK/W	3,46	4,1	5,0	6,0	7,2
4	$Q_{out}, Q_{in} = 8,6410^{-3} SdAU_c$	GJ/a	9,1	7,7	6,3	5,3	4,4
5	$q_{out}, q_{in} = 10^{-6} A(t_{in}-t_{out})U_c$	MW	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
6	Roczna oszczędność kosztów $\Delta O_{in} = (Q_{out} - Q_{in}) O_{\pm 12} (q_{out} - q_{in}) O_m$	zł/a		72,80	145,60	234,23	244,40
7	Cena jednostkowa usprawnienia	zł/m ²		143,00	153,00	158,30	175,50
8	Koszt realizacji usprawnienia N_u	zł		15486,90	16569,90	17143,89	19006,65
9	$SPBT = N_u / \Delta O_{in}$	lata		212,7	113,8	73,2	77,8
10	U_c	W/mK	0,29	0,24	0,20	0,17	0,14

Źródło: opracowanie własne.

Norma przyjęta przez Polski Komitet Normalizacyjny. Jednak polskie przepisy wykonawcze nadal odwołują się do normy poprzedniej. Dlatego w Polsce norma ta nadal nie jest stosowana.

Tabela 6: Czas zwrotu inwestycji w fotowoltaikę na lodowisku

Lp.		Jednostka	Stan aktualny	Stan po modernizacji
1	Roczne zużycie energii elektrycznej	kWh/a	547,423	547,423
2	Roczna produkcja energii elektrycznej	kWh/a	0,000	117,850
3	Udział OZE	%	0,0	21,5
4	Koszt energii elektrycznej	zł/a	180 841,32	141 909,57
5	Roczna oszczędność kosztów	zł/a		38 931,75
6	Koszt modernizacji	zł		1 048 770,96
7	SPBT	lata		26,9

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 7: Czas zwrotu z odzysku ciepła z lodowiska do basenu

Oszczędność energii cieplnej	4 649,263	GJ/rok
Oszczędność finansowa energii cieplnej	241 761,70	zł/rok
Wzrost zużycia energii elektrycznej	106,637	MWh/rok
Koszt energii elektrycznej	35 227,69	zł/rok
Łączna oszczędność finansowa	206 534,01	zł/rok
Koszt inwestycji	3 037 691,15	zł
SPBT	14,7	lat

Źródło: opracowanie własne.

5. Wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że audyt energetyczny w budynkach użyteczności publicznej może być skomplikowany, zwłaszcza jeśli chce się spełnić wymagania Dyrektywy 2010/31/UE (z późniejszymi zmianami: Dyrektywa 2012/27/UE [60] i (UE) 2018/844 [61]).

Aby rozwiązać ten problem, konieczne jest kompleksowe rozwiązanie, obejmujące, ale nie ograniczające się do odzysku ciepła za pomocą pomp ciepła w systemach wentylacyjnych, OZE, takich jak fotowoltaika, pompy ciepła lub systemy ogrzewania i chłodzenia do ogrzewania pomieszczeń, system zarządzania budynkiem, który automatycznie steruje ogrzewaniem pomieszczeń na podstawie prognozy pogody i oświetlenie w zależności od naturalnego poziomu światła słonecznego w budynku. W miarę możliwości można wykorzystać odzysk ciepła z innych źródeł; na przykład ciepło odpadowe z produkcji przemysłowej może być wykorzystywane do ogrzewania pomieszczeń w budynkach fabrycznych, a ciepło odzyskane ze sztucznych lodowisk może być wykorzystywane do ogrzewania basenów itp.

Osiągnięcie celu wyznaczonego przez dyrektywę 2010/31/UE (z późniejszymi zmianami: dyrektywa 2012/27/UE i (UE) 2018/844) wymaga zatem, aby audytor energetyczny myślał w sposób bardziej interdyscyplinarny. Przykład lodowiska pokazuje, że przesyłanie wewnętrznych zysków ciepła z jednej części budynku do drugiej lub nawet między dwoma budynkami położonymi w pobliżu może poprawić efektywność energetyczną i zmaksymalizować współczynnik zysków ciepła wewnętrznego w obu budynkach. Przeglądając normy dotyczące

charakterystyki energetycznej budynków, należy rozważyć ten problem i potencjalne aktualizacje normy.

Podsumowując, należy stwierdzić, że w wielu krajach, zwłaszcza w UE, podejmowane są działania mające na celu zmniejszenie zużycia energii chemicznej zawartej w paliwach kopalnych. Efekty tych działań są widoczne w danych pokazujących końcowe zużycie energii. Spadek zużycia energii jest szczególnie widoczny w krajach wysoko rozwiniętych, takich jak Wielka Brytania, Niemcy, Francja i Włochy [62].

Dzięki pracom przeprowadzonym w dwóch budynkach użyteczności publicznej w Polsce i przedstawionym w tym artykule, następuje zmniejszenie zużycia energii chemicznej zawartej w paliwach kopalnych, co z kolei zmniejsza emisję CO₂ i pomaga chronić klimat Ziemi.

Uchwalona 24 kwietnia 2024 r. nowa dyrektywa UE 2024/1275 [63] idzie jeszcze dalej w kierunku redukcji emisji CO₂. Przewiduje m.in. wprowadzenie klas energetycznych budynków, oraz termomodernizację budynków a najniższych klasach energetycznych. Dyrektywa mówi ponadto (pkt 20, str. 4) „Wszystkie nowe budynki powinny do 2030 r. być budynkami bezemisyjnymi, a istniejące budynki powinny zostać przekształcone w budynki bezemisyjne do 2050 roku.” Spowoduje to pośrednio dalsze zaostreżenie wymagań oszczędności energii w budynkach, oraz odejście od emisyjnych źródeł ogrzewania.

Informacje o finansowaniu: Przygotowanie artykułu zostało częściowo sfinansowane ze środków dotacji naukowej AGH nr 16.16.210.476.

Wkład autorów: Konceptualizacja – T.S. i T.O.; Gromadzenie danych – T.S. i T.O.; Analiza formalna – T.S. i T.O.; Pozyskiwanie funduszy – T.S. i T.O.; Badania – T.S. i T.O.; Metodologia – T.S. i T.O.; Administrowanie projektem – T.S. i T.O.; Zasoby – T.S. i T.O.; Oprogramowanie – T.S. i T.O.; Nadzór – T.S. i T.O.; Walidacja – T.S. i T.O.; Wizualizacja – T.S. i T.O.; Oryginalny test – T.S. i T.O.; Recenzja i edycja – T.S. i T.O.

Konflikt interesów: Autorzy deklarują brak konfliktu interesów. Zgoda etyczna: Przeprowadzone badania nie są związane z wykorzystaniem ludzi ani zwierząt. Oświadczenie o dostępności danych: Wszystkie dane wygenerowane lub przeanalizowane w trakcie tego badania są zawarte w tym opublikowanym artykule.

Odniesienia:

[1] Porozumienie paryskie 2015.

https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en.

Dostęp 20 marca 2021.

[2] Pakiet klimatyczny Katowic: Making The Paris Agreement Work For All. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/katowice-climate-package>. Dostęp 20.03.2021.

[3] Katowice Rulebook – główne zasady dokumentu,

<https://cop24.gov.pl/news/news-details/news/the-katowice-rulebook-main-principles-of-the-document/>.

[4] COP24 zakończył się sukcesem

<https://www.gov.pl/web/klimat/cop24-zakonczony-sukcesem>, Dostęp 20.03.2021.

[5] Pakiet klimatyczno-energetyczny 2020.

https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en Dostęp 18 kwietnia 2021 r.

[6] Czysta energia dla wszystkich Europejczyków plik:

//C:/Users/olkus/AppData/Local/Temp/MicrosoftEdgeDownloads/82ed772b-c226-4a07-bb79-ad55e3882571/MJ0319092ENN.en.pdf. Dostęp 18 kwietnia 2021 r.

[7] Europejski Zielony Ład. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en. Dostęp 28 kwietnia 2021 r.

[8] Czysta energia dla wszystkich Europejczyków.

<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/b4e46873-7528-11e9-9f05-01aa75ed71a1/language-en>. Dostęp 28 kwietnia 2021 r.

[9] Europejskie prawo klimatyczne. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020PC0080>. Dostęp 27 kwietnia 2021 r.

[10] Mechanizm dostosowania granicznego emisji dwutlenku węgla.

<https://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.cfm?do=groupDetail.groupMeetingDoc&docid=45168>. Dostęp 28 kwietnia 2021 r.

[11] Rewizja dla fazy 4 (2021–2030).

https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/revision_en. Dostęp: 12 kwietnia 2021 r.

[12] Mechanizm sprawiedliwej transformacji: upewnienie się, że nikt nie zostanie pozostawiony w tyle.

<https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu/just-przejście-mechanizm>. Dostęp: 27 kwietnia 2021 r.

- [13] Jahresbericht der Bundesregierung 2011/2012. ENERGIA DER ZUKUNFT. DIE ENERGIEWENDE.
https://www.bundesregierung.de/statisch/jb11-12/Webs/Breg/DE/Themen/Jahresbericht_2011_2012/03_Energie/1_Energiewende/_node.html (w języku niemieckim). Dostęp: 19.04.2021 r.
- [14] Energiewende – die Gesetze. Archivum bundesregierung.de. Die Bundesregierung. <https://archiv.bundesregierung.de/archiv-de/energiewende-die-gesetze-419168#:~:text=Gesetz%%20Neuregelung%%20energiewirtschaftsrechtlicher%20Vorschriften%220%28EnWG%C3%84ndG%29%20Kernst%C3%BCck%20des,von%20den%20Wettbewerbsbereichen%20Erzeugung%20und%20Vertrieb%20von%20Energie>. Freitag, 5 sierpnia 2011 (w języku niemieckim). Dostęp: 19 kwietnia 2021 r.
- [15] Raport Niemiecka transformacja energetyczna. Trudne początki. (Niemiecki raport dotyczący transformacji energetycznej. Trudny początek). Czerwony. Anna Kwiatkowska-Drożdż. Ośrodek Studiów Wschodnich im. Marka Karpia. Warszawa; 2012 (w języku polskim).
- [16] Szymalski W. Niemiecka Transformacja Energetyczna. Fakty. (Fakty o transformacji energetycznej w Niemczech). Heinrich Böll Stiftung. Warszawa; 2015 (w języku polskim).
- [17] Od streszczenia do zwyczajności. Federalne Ministerstwo Środowiska, Ochrony Przyrody i Bezpieczeństwa Jądrowego.
<https://www.bmu.de/en/report/from-the-abstract-to-the-ordinary/>
Opublikowano 17 października 2017 r.
- [18] Kuittinen H, Velte D. Polityki badań i innowacji zorientowane na misję: pogłębione studia przypadków. Sprawozdanie ze studium przypadku Energiewende. Komisja Europejska; styczeń 2018 r.
- [19] Amelang S, Wehrmann B, Wettengel J. Niemiecki plan działań na rzecz klimatu 2050. Clean Energy Wire. 21 marca 2019 r.
<https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-climate-action-plan-2050>. Dostęp: 19 kwietnia 2021 r.
- [20] ONZ z zadowoleniem przyjmuje oświadczenie USA o ponownym przystąpieniu do porozumienia paryskiego. <https://unfccc.int/news/un-welcomes-us-announcement-to-rejoin-paris-agreement>. Dostęp: 15 kwietnia 2021 r.
- [21] Ustawa o źródłach energii (Ustawa o odnawialnych źródłach energii). <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download>.

[xsp/WDU20150000478/U/D20150478Lj.pdf](http://isap.wdu20150000478/U/D20150478Lj.pdf) (w języku polskim).

[22] Ustawa o efektywności energetycznej.

[http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu20160000831&ty](http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu20160000831&type=2)
pe=2 (w języku polskim).

[23] Krajowy Program Ochrony Powietrza do roku 2020 (z perspektywą do 2030) . Ministerstwo Środowiska, Departament Ochrony Powietrza; Warszawa 2015 (w języku polskim).

[24] Polityka energetyczna Polski do 2040 r. (PEP2040). Ministerstwo Klimatu i Środowiska. Załącznik do uchwały nr 22/2021 Rady Ministrów z dnia 2 lutego 2021 r. Warszawa 2021. (Polityka energetyczna Polski do 2040 r. (EPP2040) Ministerstwo Klimatu i Środowiska Załącznik do uchwały nr 22/2021 Rady Ministrów z 2 lutego 2021 r., Warszawa 2021 r.). [https://www.gov.pl/web/klimat/ polityka-energetyczna-polski](https://www.gov.pl/web/klimat/polityka-energetyczna-polski), Dostęp: 1 marca 2021 r.

[25] Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, które mogą być odpowiedzialne za korzystanie i ich użytkowanie. Załącznik 2. Wymagania izolacyjności cieplnej i inne wymagania dotyczące oszczędzania energii (Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich lokalizacja Załącznik nr 2. Wymagania termoizolacyjne i inne wymagania związane z oszczędzaniem energii. Dz. U. 2015, poz. 1422).

[26] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 20 grudnia 2016 r. rozporządzenie w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej lub części użytkowej oraz charakterystyki energetycznej. Dz.U. 2017, poz. 22 (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 20 grudnia 2016 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie sposobu ustalania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej. Dz. U. 2017, poz. 22).

[27] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w przypadku warunków technicznych, które mogą wystąpić w ich lokalizacjach. Dz.U. 2002 Nr 75, poz.690 (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków

technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz.U. 2002; Nr 75, poz. 690).

[28] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 21 stycznia 2008 r. w aplikacji znajdują się szkolenia oraz dostępne dla osób ubiegających się o uprawnienie do uzyskania świadectwa charakterystyki budynku, użytkowego oraz części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową. Dz.U. 2008 Nr 17, poz. 104 (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 21 stycznia 2008 r. w sprawie przeprowadzania szkoleń i egzaminów dla osób ubiegających się o prawo do sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej budynku, mieszkania i części budynku stanowiących samodzielną całość techniczno-użytkową. Dz. U. 2008; Nr 17, poz. 104).

[29] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zabezpieczenie w przypadku warunków technicznych, które może spowodować uszkodzenie i ich użycie. Dz.U. 2008 Nr 201, poz. 1238 (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz. U. 2008 nr 201, poz. 1238).

[30] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. rozporządzenie rozporządzeniem w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego. Dz.U. 2008 Nr 201, poz. 1239 (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu i formy przedsięwzięcia budowlanego. Dz. U. 2008 nr 201, poz. 1239).

[31] Ustawa z dnia 27 sierpnia 2009 r. o nowelizacji ustawy – Prawo budowlane oraz ustawa o ochronie nieruchomości. Dz.U. 2009 Nr 161, poz. 1279 (Ustawa z dnia 27 sierpnia 2009 r. o zmianie ustawy – Prawo budowlane oraz ustawy o gospodarce nieruchomościami. Dz.U. 2009; Nr 161, poz. 1279).

[32] Termomodernizacja. Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Krakowie
<https://www.wfos.krakow.pl/oferty/termomodernizacja-5/> Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Krakowie.
Dostęp: 24 kwietnia 2021 r.

[33] Termomodernizacja – jak otrzymać wsparcie finansowe.

Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Warszawie, <https://wfosigw.pl/termomodernizacja-jak-otrzymac-wsparcie-finansowe/#> (W języku polskim). Dostęp: 24 kwietnia 2021 r.

[34] Czyste powietrze. Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Lublinie. <http://www.wfos.lublin.pl/czyste-powietrze.html>. Dostęp: 24 kwietnia 2021 r.

[35] Program Czyste Powietrze – rozliczenie dotacji, wniosek o płatność. Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Łodzi (Program Czyste Powietrze – rozliczenie dotacji, wniosek o płatność. Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Łodzi).

<https://www.wfosigw.lodz.pl/aktualnosci/612-program-czyste-powietrze-rozliczenie-dotacji-wniosek-o-platnosc-2>. Dostęp: 24 kwietnia 2021 r.

[36] Czyste powietrze. Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej we Wrocławiu (Czyste powietrze. Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska Ochrony i Gospodarki Wodnej we Wrocławiu). <https://wfosigw.wroclaw.pl/czyste-powietrze/o-program>. Dostęp: 24 kwietnia 2021 r.

[37] Program priorytetowy czyste powietrze. Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Poznaniu. <https://www.wfosgw.poznan.pl/program-priorytetowy-czyste-powietrze/>, (w języku polskim). Dostęp: 24 kwietnia 2021 r.

[38] Czyste powietrze. Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Gdańsku.

https://wfos.gdansk.pl/czyste_powietrze_icon, dostęp 24.04.2021. Dostęp: 24 kwietnia 2021 r.

[39] Czyste powietrze. Oferta dla osób fizycznych. Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach. <https://www.wfosigw.katowice.pl/oferta-dla-osob-fizycznych/program-czyste-powietrze.html>. Dostęp: 24 kwietnia 2021 r.

[40] Fücks R. Zielona rewolucja (Tytuł oryginału w języku niemieckim: Intelligent Wachsen) Instytut Wydawniczy Książka i Prasa. Warszawa 2016 (w języku polskim).

[41] Projekt pomocy regulacyjnej Rosenow J.; Andrzej Rubczyński, Forum Energii; Piotr Kleinschmidt, Forum Energii. Elektryfikacja ciepłownictwa w Polsce. Droga do czystego ciepła. Forum Energii. <https://forum-energii.eu/pl/analizy/elektryfikacja-cieplownictwa>.

Opublikowano 26 stycznia 2021 r. (w języku polskim). Dostęp: 24 kwietnia 2021 r.

[42] Węglarz A. Systemy zasilacze również energooszczędne. Vademecum. Budownictwo energooszczędne, Systemy grzewcze, w tym energooszczędne. Vademecum. Energooszczędna konstrukcja. Edycja; 2014 (w języku polskim).

[43] Węglarz A. Głęboka termomodernizacja budynków w Polsce. Zarządzanie energią w budynkach energooszczędnych – budynki inteligentne. Rynek Instalacyjny 9/2015).

[44] Około 4 mln domów jednorodzinnych wymaga termomodernizacji. Skąd wziąć na środki? (Około 4 mln domów jednorodzinnych wymaga termomodernizacji. Gdzie znaleźć na to pieniądze?). Energetyka24. <https://www.energetyka24.com/około-4-mln-domow-jednorodzinnych-wymaga-termomodernizacji-skad-wziac-na-to-srodki>. Dostęp 3 marca 2021 r. (w języku polskim).

[45] Firląg S. Rynek termomodernizacji w Polsce. Rynek remontowy w Polsce. Rynek Instalacyjny 7-8/2016.

[46] Program czyste powietrze. (Program „Czyste powietrze”). <https://czystepowietrze.gov.pl/czyste-powietrze/> . Dostęp: 24 kwietnia 2021 r.

[47] Badanie opinii mieszkańców Małopolski na tematy działań prowadzonych przez zarząd województwa w zakresie ochrony środowiska. Raport informacyjny przez Instytut Badań Rynkowych i Społecznych IBRIS na zlecenie Urzędu Marszałkowskiego Województwa Małopolskiego. Kraków, list-topad 2020 (Badanie opinii mieszkańców Małopolski na temat działań Wojewódzkiego Zarządu Ochrony Środowiska. Raport przygotowany przez Instytut Badań Rynkowych i Społecznych IBRIS na zlecenie Urzędu Marszałkowskiego Województwa Małopolskiego. Kraków; listopad 2020) (po polsku).

[48] Pawlak U, Pawlak M. Termomodernizacja domu jednorodzinnego położonego w Górach Świętokrzyskich – studium przypadku. Sci Rev Eng Environ Sci. 2019;28(3):394–404. <http://iks.pn.sggw.pl>. doi: 10.22630/PNIKS.2019.28.3.37.

[49] Zender-Świercz E, Piotrowski JZ. Termomodernizacja budynku i jej wpływ na mikroklimat wnętrza. Struct Environ. 2013;5(3):37–40. <http://bc.tu.kielce.pl/231/1/> Zender-Swiercz_Thermomodernization_SaE_3_2013.pdf. Dostęp 2.04. 2021.

- [50] Firląg S. Optymalny kosztowo plus energetyczny budynek w zimnym klimacie. *Energies*. 2019;12:3841. doi: 10.3390/en12203841, Dostęp 14 marca 2021.
- [51] Basińska M, Kaczorek D, Koczyk H. Rozwiązanie termomodernizacji budynku oparte na wielo- obiektowa metoda optymalizacji. *Energies*. 2020;13(6):1433. doi: 10.3390/en13061433. Dostęp 14 marca 2021 r.
- [52] Zhao J, Du Y. A study on energy-saving technologies optimization towards nearly zero energy educational buildings in four major climatic regions of China. *Energies*. 2019;12:4734. doi: 10.3390 /en12244734.
file:///C:/Users/olkus/AppData/Local/Temp/MicrosoftEdgeDownloads/1009fd62-3a0b-47d2- a7d0-738f398ff93d/energies-12-04734-v2.pdf.
- [53] Cho K, Cho D, Kim T. Effect of bypass control and room control modes on fan energy savings in a heat recovery ventilation system. *Energies*. 2020;13:1815. doi: 10.3390/en13071815.
- [54] Ustawa z dnia 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce budynków energetycznych. (Ustawa z dnia 29 sierpnia 2014 r. Prawo o charakterystyce energetycznej budynków). Dz.U. poz. 1200 (w języku polskim).
- [55] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. rozporządzenie w sprawie warunków technicznych
Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie)
- [56] Sumera T. Audyt energetyczny przebudowy budynku do poziomu niskoenergetycznego, zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w użytkowaniu energii elektrycznej na bazie Hali Sportowej Jaskółka w Tarnowie (Audyt energetyczny dla konwersji budynku

na niski poziom energii, zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyka energetyczna budynków na przykładzie Hali Sportowej Jaskółka w Tarnowie), Przegląd Techniczny 6/2017.

[57] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków. [https://eur-](https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:EN:PDF)

[lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=](https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:EN:PDF)

[OJ:L:2010:153:0013:0035:EN:PDF](https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:EN:PDF)

[58] IMGW Warszawa: https://klimat.imgw.pl/pl/climate-maps/#Mean_Temperature/Monthly/2018/1/Winter. Dostęp: 9 czerwca 2021 r.

[59] PN-EN ISO 52016-1:2017-09P Energetyczne właściwości użytkowe budynków -- Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i chłodzenia, wewnętrzne temperatury oraz jawne i utajone obciążenia cieplne - Część 1:Procedury obliczania

[60] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylenia dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE /WE.

[61] Dyrektywa (UE) 2018/844 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej.

[62] Olkusi T, Suwała W, Wyrwa A, Zyśk J, Tora B. Zużycie energii pierwotnej w wybranych krajach UE na tle trendów światowych. Open Chem. 2021;19:503–10. doi: 10.1515/chem-2021-0046.

[63] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1275 z dnia 24 kwietnia 2024 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej poz. 2024/1275.