

ANALIZA ENERGOCHŁONNOŚCI ORAZ KOSZTÓW OGRZEWANIA BUDYNKU JEDNORODZINNEGO W ŚWIETLE ZMIENIAJĄCYCH SIĘ WYMAGAŃ PRAWNYCH

Piotr Wichowski

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Stanisław Banaszek

Streszczenie. W artykule przedstawiono historię (od 1946 roku do chwili obecnej) przepisów prawnych związanych z ochroną cieplną budynków. Na przykładzie wybranego domu jednorodzinnego wykonano obliczenia obciążenia cieplnego oraz sezonowego zapotrzebowania na ciepło w okresach obowiązywania zmieniających się wymagań dotyczących izolacyjności termicznej przegród budowlanych i energochłonności budynku. Następnie oszacowano koszty ogrzewania analizowanego obiektu spełniającego te wymagania dla poszczególnych okresów. W analizie uwzględnione zostały koszty ogrzewania przy wykorzystaniu węgla, gazu ziemnego, ciepła sieciowego oraz oleju opałowego. Praca kończy się podsumowaniem i wnioskami wyciągniętymi z uzyskanych wyników obliczeń i przeprowadzonej ich analizy.

Słowa kluczowe: współczynnik przenikania ciepła, obciążenie cieplne, sezonowe zapotrzebowanie na ciepło, energochłonność, dom jednorodzinny

WSTĘP

Jednym z głównych problemów, przed którym staje współczesny świat, jest ograniczanie konsumpcji energii. Należy zmniejszać popyt na energię poprzez oszczędniejszą gospodarkę [Babiarz i Szymański 2010]. Użytkowanie budynków w Europie pochłania 37% energii, którą mieszkańcy i użytkownicy spożytkowują na ich ogrzanie i wentylację, chłodzenie, przygotowanie ciepłej wody oraz oświetlenie [Perez-Lombard

Adres do korespondencji – Corresponding author: Piotr Wichowski, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Inżynierii Budowlanej, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, e-mail: piotr_wichowski@sggw.pl

i in. 2008]. Przystępując do Unii Europejskiej, Polska charakteryzowała się największą średnią zużycia energii grzewczej oraz największą emisją zanieczyszczeń do atmosfery [Balaras i in. 2005]. Zwiększenie efektywności energetycznej budynków jest jednym z priorytetów Unii Europejskiej. Zagadnienia związane z promowaniem budownictwa niskoenergetycznego w krajach UE określają dyrektywy związane z charakterystyką energetyczną budynków, z których pierwszą była Dyrektywa z dnia 16 grudnia 2002 r., zwana Dyrektywą EPBD – Energy Performance of Buildings Directive [2002/91/WE], a następnie jej nowelizacja uchwalona 19 maja 2010 r. [2010/31/UE]. Celem powyższych dyrektyw była poprawa parametrów energetycznych budynków za pomocą instrumentów informacyjnych i regulacyjnych. Głównym wymogiem informacyjnym jest obowiązek przedstawiania danych na temat parametrów energetycznych budynku. Wymogi tych dyrektyw uwzględniła Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej [Dz.U. z 2015 r. poz. 376].

Duży odsetek budynków nie spełnia obecnych wymogów dotyczących izolacyjności termicznej przegród budowlanych. Eksploatacja takich budynków wiąże się z wyższymi kosztami, ponoszonymi przede wszystkim na ich ogrzanie [Wiśniewski i Zalesiński 2014]. Celem przeprowadzonej analizy było określenie energochłonności wybranego budynku jednorodzinne spełniającego wymagania dotyczące ochrony cieplnej obowiązujące w Polsce od II wojny światowej do chwili obecnej. Na tej podstawie oszacowano koszty ogrzania analizowanego budynku przy wykorzystaniu wybranych nośników energii dla cen bieżących.

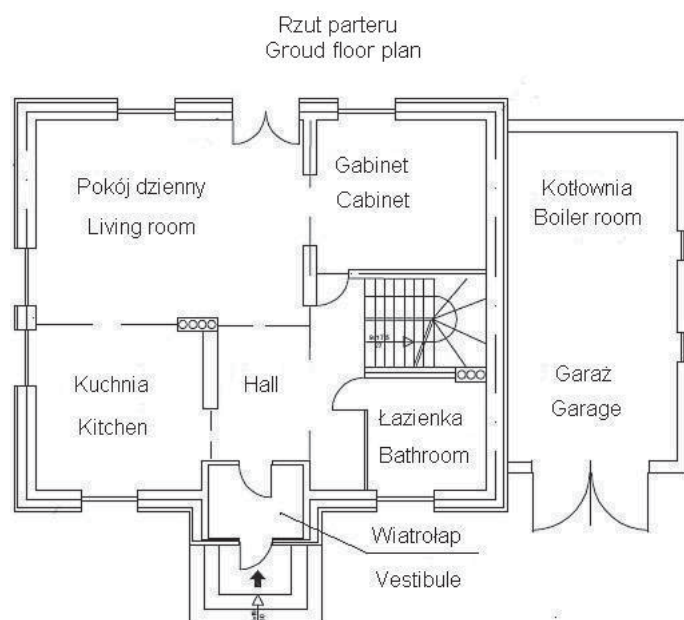
MATERIAŁ I METODA BADAŃ

Analizowany obiekt, będący podstawą przeprowadzonych porównań, to niepodpiwniczony dom jednorodzinny, wolnostojący, z poddaszem użytkowym, przeznaczony do zamieszkania przez cztery osoby. Zlokalizowany jest w miejscowości Garbatka-Letnisko, koło Radomia.

Budynek został podzielony na część dzienną i nocną. W skład pierwszej, zlokalizowanej na parterze, wchodzi: wiatrołap, kuchnia, przestronny pokój dzienny, gabinet z rozsuwanymi drzwiami, łazienka, klatka schodowa oraz kotłownia i garaż. Pokój dzienny posiada wyjście na przylegający do budynku taras. Rozkład pomieszczeń przedstawia rysunek 1.

Część nocną domu (zlokalizowaną na poddaszu) stanowią trzy sypialnie o różnej powierzchni, garderoba i łazienka. Z dwóch sypialni istnieje możliwość wyjścia na balkon poprzez drzwi balkonowe, pełniące jednocześnie funkcję okien. Rozmieszczenie pomieszczeń na tej kondygnacji przedstawia rysunek 2. Sumaryczna powierzchnia przestrzeni ogrzewanej budynku wynosi 197,9 m², natomiast kubatura – 522,5 m³.

Obliczenia obciążenia cieplnego budynku (Φ_{HL}) przeprowadzono za pomocą darmowej wersji programu komputerowego „Purmo OZC” wersja 4.0 firmy Sankom. Dla analizowanego budynku jednorodzinne wykonano 9 wariantów obliczeń dla „historycznych” wartości współczynników przenikania ciepła (U) zestawionych w tabeli 1. Obliczenia przeprowadzono według norm PN EN ISO 6946:2008 oraz PN-EN 12831:2006.



Rys. 1. Rzut parteru z układem pomieszczeń [Murator Projekt S.A.]

Fig. 1. Ground floor plan of arrangement of the rooms



Rys. 2. Rzut poddasza z układem pomieszczeń [Murator Projekt S.A.]

Fig. 2. First floor plan of arrangement of the rooms

Do obliczenia rocznego zapotrzebowania na ciepło (Q_h) oraz wskaźników sezonowego zapotrzebowania na ciepło (E_A i E_V) również wykorzystano wymienione wyżej oprogramowanie (dla różnych okresów, dla których obowiązywały określone wartości współczynnika przenikania ciepła, U), według normy PN-B-02025.

Znając wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię, dokonano obliczeń oraz analizy kosztów ogrzewania budynku, przy zmiennych wymaganiach dotyczących współczynnika przenikania ciepła przez przegrody budowlane (U) dla różnych nośników energii. W analizie uwzględniono węgiel, gaz ziemny, olej opałowy oraz ciepło sieciowe. Do obliczeń wykorzystano wartości opałowe poszczególnych nośników energii, ceny ich zakupu wraz z opłatami taryfowymi związanymi z ich przesyłem oraz sprawność urządzeń do wytwarzania energii. Sprawność urządzeń grzewczych dla poszczególnych okresów przyjęto według rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Rozwoju [Dz.U. z 2015 r. poz. 376].

HISTORIA PRZEPISÓW PRAWNYCH ZWIĄZANYCH Z OCHRONĄ CIEPLNĄ BUDYNKÓW

Podstawowym parametrem określającym w przepisach prawnych i charakteryzującym zapotrzebowanie budynku na ciepło jest współczynnik przenikania ciepła przegród budowlanych, nazywany współczynnikiem k . Obecnie współczynnik ten oznaczany jest symbolem U .

Początkowo wartości współczynnika przenikania ciepła zamieszczane były w Prawie budowlanym [Dz.U. z 1994 r. nr 89, poz. 414], później w polskich normach, a od 2002 roku w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [Dz.U. z 2002 r. nr 75, poz. 690 z późniejszymi zmianami].

W latach 1945–1966 brak było szczegółowych przepisów określających ochronę cieplną budynków (obowiązywało wówczas Prawo budowlane). Jako kryterium ochrony cieplnej dla ścian zewnętrznych przyjmowano ścianę wykonaną z cegieł pełnych palonych o grubości 450 mm. W okresie powojennym nastąpił szybki rozwój budownictwa mieszkaniowego, związany z realizacją dwuletniego planu odbudowy kraju ogłoszonego w 1946 roku. Na okres ten przypada również początek budownictwa z wielkiej płyty. Przykładowo w 1966 roku w Warszawie powstało 24,6% mieszkań wykonanych w tej technologii.

W 1967 roku pojawiają się pierwsze przepisy związane z wymogami izolacyjności przegród zewnętrznych budynków zawarte w normie PN-64/B-03404, która obowiązywała do 01.01.1976 roku. Następnie weszła w życie norma PN-74/B-03404.

W latach 1986–1992 obowiązywały już bardziej zaostrzone przepisy dotyczące izolacyjności, zawarte w PN-82/B-02020, według której wartość U dla ścian zewnętrznych nie mogła przekraczać $0,75 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$.

W wyniku przemian ustrojowych z przełomu lat 80. i 90. ubiegłego wieku nastąpił zmierzch budownictwa z wielkiej płyty (ze względu na znaczny spadek inwestycji), co przekładało się na opłacalność produkcji. Wraz w napływie inwestorów zagranicznych wprowadzone zostały nowe materiały i technologie, które umożliwiały tańsze i energooszczędne budowanie.

W latach następnych, obejmujących okres 1993–1997, norma PN-91/B02020 określała wartość współczynnika U na poziomie $0,55 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$ dla ścian zewnętrznych.

Od 2002 do 2008 roku w załączniku rozporządzenia Ministra Infrastruktury [Dz.U. z 2002 r. nr 75, poz. 690 z późniejszymi zmianami] zawarte zostały wymagania związane z ochroną cieplną budynków oraz wymagania dotyczące oszczędzania energii. I tak dla zewnętrznych ścian jednowarstwowych współczynnik U nie powinien przekraczać wartości $0,5 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$. Dla przegród zewnętrznych dwu- i trzywarstwowych wartość współczynnika U powinna wynosić maksymalnie $0,3 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$. W okresie od 2009 do 2014 roku obowiązującym wskaźnikiem był współczynnik przenikania ciepła (U) dla przegród lub wskaźnik zapotrzebowania budynku na nieodnawialną energię pierwotną [Rozporządzenie Ministra Infrastruktury, Dz.U. z 2008 r. nr 201, poz. 1238]. Od 2014 roku do chwili obecnej obowiązują wskaźniki wprowadzone kolejną nowelizacją rozporządzenia [Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej, Dz.U. z 2013 r. poz. 926].

Aby ograniczyć zapotrzebowanie budynku na energię pierwotną, w ostatnich latach zaczęto zwracać większą uwagę na wyposażenie instalacyjne budynku. Coraz częściej stosuje się wysokosprawne źródła ciepła, na przykład kotły kondensacyjne oraz izolowanie instalacji grzewczej prowadzonej przez pomieszczenia nieogrzewane. Istotne są również rozwiązania architektoniczne budynku. Należy projektować budynki o zwartej bryle, aby przy określonej powierzchni użytkowej budynku ograniczyć powierzchnię przegród zewnętrznych [Górecka 2012].

Wartości współczynnika przenikania ciepła (U) oraz przepisy i akty prawne obowiązujące w wymienionych wyżej okresach ilustrują tabele 1 i 2.

Tabela 1. Wartość współczynnika przenikania ciepła według PN
Table 1. The value of thermal transmittance by Polish standards

Polska norma oraz okres obowiązywania Polish standards on periods	Współczynnik przenikania ciepła, U [$\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$] Thermal transmittance				
	Ściany zewnętrzne Exterior wall	Stropodach Flat roof	Strop nad nieogrzewaną piwnicą The ceiling above anheated cellar	Dach lub strop pod nieogrzewanym poddaszem The roof or ceiling into an anheated attic	Okna i drzwi balkonowe Windows and balcony doors
PN-57/B-03404 ¹ 1958–1967	1,16; 1,42 ³	0,87	1,16	1,04; 1,16 ³	–
PN-64/B-03404 ¹ 1968–1975	1,16	0,87	1,16	1,04; 1,16 ³	–
PN-74/B-03404 ² 1976–1982	1,16	0,70	1,16	0,93	–
PN-82/B-02020 ² 1983–1991	0,75	0,45	1,16	0,40	2,0; 2,6 ³
PN-91/B-02020 ² 1992–2001	0,55; 0,70 ⁴	0,30	0,60	0,30	2,0; 2,6 ³

Objaśnienia/Explanation:

1 – dla temperatury/temperature $T_w = 18^\circ\text{C}$,

2 – dla temperatury/temperature $T_w = 20^\circ\text{C}$,

3 – w zależności od strefy klimatycznej/depending on climate zone,

4 – w zależności od rodzaju ściany – z otworami lub bez/depending on the type of wall – with or without openings.

Tabela 2. Wartości współczynnika U_{\max} według warunków technicznych obowiązujących od 2002 rokuTable 2. The values of U_{\max} according to the technical specifications since 2002

Akt prawny oraz okres obowiązywania Legal act on periods	Współczynnik przenikania ciepła, U_{\max} [$W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$] Thermal transmittance				
	Ściany zewnętrzne Exterior wall $t_i > 16^\circ C$	Strop nad nieogrzewaną piwnicą The ceiling above anheated cellar	Dach lub strop pod nieogrzewanym poddaszem The roof or ceiling into an heated attic	Okna i drzwi balkonowe Windows and balconies doors	Drzwi wejściowe Front door
Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z 2002 r. (Dz.U. z 2002 r. nr 75, poz. 690) 2002–2008	0,3 – budowa warstwowa ply construction 0,5 – pozostałe other	0,6	0,3	2,6 I, II, III strefa klimatyczna climate zone 2,0 IV, V strefa klimatyczna climate zone	2,6
Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z 2008 r. (Dz.U. z 2008 r. nr 201, poz. 1238) 2009–2013	0,3	0,45	0,25	1,8 I, II, III strefa klimatyczna climate zone 1,7 IV, V strefa klimatyczna climate zone	2,6
Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z 2013 r. (Dz.U. z 2013 r. poz. 926) 2014–2016	0,25	0,25	0,2	1,3	1,7
Jw. 2017–2020	0,23	0,25	0,18	1,1	1,5
Jw. Od 2021 r.	0,2	0,25	0,15	0,9	1,3

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Wyniki obliczeń obciążenia cieplnego analizowanego budynku przedstawiono w tabeli 3. Obciążenie cieplne budynku, wzniesionego zgodnie z wymogami przepisów z 1946 roku, wynosi ponad 26 kW. Wraz ze zmieniającymi się przepisami wykazuje tendencję malejącą aż do 2014 roku, kiedy to wynosi 8,5 kW. Stanowi to ponad 3-krotny spadek mocy cieplnej związanej z ogrzewaniem przyjętego do rozważań budynku.

Tabela 3. Obciążenie cieplne budynku od 1946 do 2014 roku obliczone według normy PN-EN 12831:2006

Table 3. The heat load of the building since 1946 to 2014 calculated according to the PN-EN 12831:2006

Lp. No	Rozpatrywany okres [lata] Analyzed period [years]	Projektowe obciążenie cieplne budynku The design heat load of the building $\Phi_{HL}[\text{W}]$	Wskaźnik $\Phi_{HL A}$ odniesiony do po- wierzchni Indicator related to the surface [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]	Wskaźnik $\Phi_{HL V}$ odniesiony do kubatury Indicator related to the cubature [$\text{W}\cdot\text{m}^{-3}$]
1	1946–1957	26 684	134,8	51,1
2	1958–1967	23 720	119,8	45,4
3	1968–1975	22 969	116,0	44,0
4	1976–1982	21 744	109,9	41,6
5	1983–1991	15 138	76,5	33,5
6	1992–2001	1 396	70,4	26,5
7	2002–2008	12 691	76,1	24,1
8	2009–2013	9 992	50,5	19,1
9	2014 – obecnie present	8 499	42,9	16,3

Wyniki obliczeń rocznego zapotrzebowania na ciepło (Q_h) oraz wskaźników jednostkowych sezonowego zapotrzebowania na ciepło (E_A i E_V) przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania obliczone według normy PN-B-02025

Table 4. Heat demand for heating calculated according to PN-B-02025

Lp. No	Okres Period lata – years	Wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło Indicator of the annual space heating		Roczne zapotrze- bowanie na ciepło Annual space heating
		E_A [$\text{kWh}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{rok})^{-1}$]	E_V [$\text{kWh}\cdot(\text{m}^3\cdot\text{rok})^{-1}$]	Q_h [$\text{kWh}\cdot\text{rok}^{-1}$]
1	1946–1957	256,8	97,0	50 831
2	1958–1967	240,2	91,0	47 545
3	1968–1975	224,0	84,8	43 740
4	1976–1982	214,8	81,4	42 517
5	1983–1991	147,0	55,7	29 089
6	1992–2001	133,5	50,6	26 421
7	2002–2008	121,9	46,2	24 137
8	2009–2013	94,2	35,7	18 650
9	2014 – obecnie present	65,0	24,0	12 991

Na podstawie wyznaczonych wartości rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania (Q_h) obliczone zostały koszty związane z ogrzewaniem domu dla rozpatrywanych okresów dla następujących nośników: węgiel, ciepło sieciowe, olej opałowy i gaz ziemny.

Koszty ogrzewania węglem

Szacunkowe koszty ogrzewania analizowanego budynku węglem kamiennym przedstawiono w tabeli 5. Obliczenia wykonano na podstawie następujących założeń: średnia cena węgla na podstawie danych GUS w 2013 roku – 809,51 zł·t⁻¹ [GUS 2014], wartość opałowa węgla kamiennego – 26–30 MJ·kg⁻¹ – przyjęto 28 GJ·t⁻¹ [Kompania Węglowa S.A. 2014].

Tabela 5. Koszty ogrzewania węglem analizowanego budynku dla rozpatrywanych okresów
Table 5. Coal heating costs of the building analyzed for the respective periods

Lp. No	Lata Years	Roczne zapotrzebowanie na ciepło Annual space heating		Sprawość kotła Boiler effi- cency $\eta_{H, g}$ [%]	Ilość węgla The amount of carbon [t·rok ⁻¹]	Koszty Costs [zł·rok ⁻¹]	% w sto- sunku do 1946 r. % relative to 1946
		Q_h [kWh·rok ⁻¹]	Q_h [GJ·rok ⁻¹]				
1	1946–1957	50 831	182,99	0,50	13,07	10 580,87	100,00
2	1958–1967	47 545	171,16	0,51	11,99	9 702,78	91,70
3	1968–1975	43 740	157,40	0,55	10,22	8 273,19	78,19
4	1976–1982	42 517	153,06	0,60	9,11	7 375,21	69,70
5	1983–1991	29 089	104,72	0,65	5,65	4 657,80	44,02
6	1992–2001	26 421	95,12	0,73	4,90	3 767,15	35,60
7	2002–2008	24 137	86,89	0,82	3,78	3 063,52	28,95
8	2009–2013	18 650	67,14	0,82	2,92	2 367,18	22,37
9	2014 – obec- nie – present	12 991	46,77	0,82	2,04	1 648,99	15,58

Na podstawie danych z tabeli 5 wynika, że w pierwszym rozpatrywanym okresie – od 1946 roku, dla zapewnienia sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania potrzebne jest 13,07 ton węgla, co przy cenach z 2013 roku daje wartość ponad 10 500 zł. W miarę zaostrzania przepisów o ochronie cieplnej budynków dla poszczególnych okresów ilość węgla dla zapewnienia wymaganej wartości Q_h ulega stopniowemu zmniejszeniu, aż do wartości 2,04 tony węgla w 2014 roku – wartość opału około 1650 zł, co stanowi około 16% kosztu opału z pierwszego rozpatrywanego okresu.

Koszty ogrzewania dla ciepła sieciowego

Ze względu na lokalizację analizowanego budynku obliczenia dla ciepła sieciowego wykonane zostały na podstawie taryfy dla ciepła dla Radomskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej [RADPEC S.A. 2014]. Szacunkowe koszty ogrzewania budynku przedstawiono w tabeli 6.

Na podstawie danych z tabeli 6 wynika, że w pierwszym rozpatrywanym okresie – od 1946 roku, dla zapewnienia sezonowego zapotrzebowania na ciepło roczne koszty ogrzewania ciepłem sieciowym osiągają wartość ponad 13 300 zł. W następnych okresach, w miarę wzrostu izolacyjności przegród, koszty ulegają zmniejszeniu i dla obecnych standardów osiągają wartość około 3450 zł. Koszty ogrzewania ciepłem sieciowym są

Tabela 6. Koszty ogrzewania ciepłem sieciowym dla poszczególnych okresów
Table 6. Network heat heating costs for various periods

Lp. – No	Lata – Years	Roczne zapotrzebowanie na ciepło Annual space heating [GJ-rok ⁻¹]	Sprawność wymiennika ciepła Efficiency heat exchanger $\eta_{H,g}$ [%]	Roczne zapotrzebowanie Annual space $Q_H/\eta_{H,g}$ [GJ-rok ⁻¹]	Cena mocy netto The net power price [zł-kW ⁻¹]	Cena ciepła netto The net heat price [zł-GJ ⁻¹]	Oplata przesyłowa stała netto Net transmission fee (fixed) [zł-kW ⁻¹]	Oplata przesyłowa zmienna netto Net transmission fee (variable) [zł-GJ ⁻¹]	Koszty brutto Gross costs [zł-rok ⁻¹]	% w stosunku do 1946 r. % relative to 1946
1	1946–1957	182,99		201,09					13 358,40	100,00
2	1958–1967	171,16	bez obu-	188,09					12 337,60	92,36
3	1968–1975	157,40	dowy	172,96	79,97	28,03	23,50	12,25	11 492,55	86,03
4	1976–1982	153,06	without	168,20					11 100,18	83,09
5	1983–1991	104,72	housing	115,08					7 628,41	57,10
6	1992–2001	95,12	0,91	104,52					6 955,05	52,06
7	2002–2008	86,89	z obu-	88,66					6 007,63	44,97
8	2009–2013	67,14	dową	68,51	79,97	28,03	23,50	12,25	4 665,68	34,92
9	2014 – obecnie present	46,77	with a	47,72					3 446,04	25,80
			housing							
			0,98							

wyższe od indywidualnego ogrzewania węglem, pomimo że cena zakupu dla tego nośnika (miała) dla ciepłowni i elektrociepłowni jest znacznie niższa niż dla odbiorców indywidualnych. Zgodnie z prawem energetycznym odbiorca jest rozliczany z ilości pobranego ciepła oraz opłat za moc zamówioną (obciążenie cieplne budynku) i opłat związanych z przesyłem. Wszystko to ma wpływ na wysokość kosztów ogrzewania.

Koszty ogrzewania olejem opałowym

Obliczenia kosztów ogrzewania olejem opałowym lekkim zostały wykonane na podstawie następujących danych [Olej opałowy 2014]: cena oleju opałowego na dzień 25.02.2014 dla województwa mazowieckiego – 3,84 zł·dm⁻³ brutto, wartość opałowa lekkiego oleju opałowego (o gęstości 0,83 kg·dm⁻³) – 42 MJ·kg⁻¹ = 34,86 MJ·dm⁻³ = 34,86 GJ·m⁻³. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 7.

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że wielkości opłat związanych z ogrzewaniem wybranego budynku jednorodzinne olejem opałowym lekkim są dość wysokie. Dla budynku wybudowanego według standardów z 1946 roku wynoszą one około 23 500 zł, a dla spełniającego wymagania z 2014 roku kwota ta wynosi 5700 zł. Cena tego nośnika ciepła od lat 90. XX wieku uległa dużemu wzrostowi. Dlatego wiele kotłów korzystających z oleju opałowego zostało wymienionych na inne (np. węglowe, gazowe).

Tabela 7. Wyznaczenie ilości oleju opałowego oraz kosztów ogrzewania dla poszczególnych okresów

Table 7. Determination of amounts of fuel oil and heating costs for the various relevant periods

Lp. No	Lata Years	Roczne zapotrzebowanie na ciepło Annual space heating [GJ·rok ⁻¹]	Sprawość kotła olejowego Oil boiler efficiency $\eta_{H,g}$ [%]	Wartość opałowa oleju The calorific value of oil [GJ·m ⁻³]	Ilość oleju of oil [m ³ ·rok ⁻¹]	Koszty Costs [zł·rok ⁻¹]	% w stosunku do 1946 r. % relative to 1946
1	1946–1957	182,99	0,86		6,10	23 438,65	100,00
2	1958–1967	171,16	0,86		5,71	21 923,39	93,53
3	1968–1975	157,40	0,86		5,25	20 160,91	86,01
4	1976–1982	153,06	0,86		5,11	19 605,01	83,64
5	1983–1991	104,72	0,86		3,49	13 413,28	57,23
6	1992–2001	95,12	0,86	34,86	3,17	12 183,64	51,98
7	2002–2008	86,89	0,86		2,90	11 129,48	47,48
8	2009–2013	67,14	0,90		2,14	8 217,55	35,06
9	2014 – obecnie – present	46,77	0,90		1,40	5 724,38	24,42

Koszty ogrzewania gazem ziemnym

Zestawienie rocznych opłat za ciepło do ogrzewania budynku przy zasilaniu gazem sieciowym przedstawione zostało w tabeli 8. Na podstawie rocznej ilości zużywanego gazu określona została grupa taryfowa W-3.9. Na podstawie grupy taryfowej W-3.9 ustalona została cena za paliwo gazowe oraz stawka opłat abonamentowych [PGNiG 2014]. Gaz ziemny wysokometanowy (grupy E) posiada ciepło spalania (zgodnie z taryfą PGNiG) $39,50 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$, a wartość opałową $39,50 \times 0,9 = 35,65 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3} = 35,65 \text{ GJ}\cdot 1000 \text{ m}^{-3}$.

Dla budynku spełniającego standardy izolacyjności termicznej z 1946 roku koszty jego ogrzania gazem sieciowym wynoszą około 12 700 zł, a według standardów obecnych – około 3900 zł.

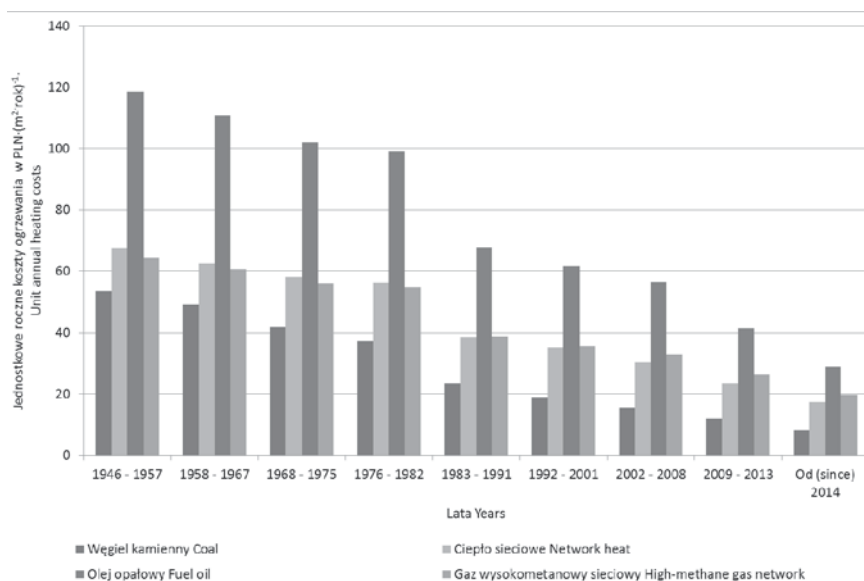
Na rysunku 3 przedstawiono w formie graficznej zestawienie kosztów jednostkowych odniesionych do powierzchni ogrzewanej dla poszczególnych okresów i dla przyjętych do analizy nośników ciepła.

Z zestawienia tego wynika, że najtańsze jest ogrzewanie budynku węglem kamiennym, a najdroższe – olejem opałowym lekkim. Koszty ogrzewania ciepłem sieciowym i gazem ziemnym są porównywalne.

W przeprowadzonej analizie skoncentrowano się na aspekcie ekonomicznym związanym z zakupem wybranych nośników energii niezbędnych do ogrzania analizowanego budynku. W kontekście wyboru odpowiedniego nośnika energii należy zwracać uwagę również na inne uwarunkowania, na przykład związane z wygodą eksploatacji, a także z emisją szkodliwych substancji do środowiska.

Tabela 8. Wyznaczenie ilości gazu oraz kosztów ogrzewania dla poszczególnych okresów
 Table 8. Determination of the amount of gas and heating costs for various periods examined

Lp. No	Lata Years	Roczne zapotrzebowanie na ciepło Annual space heating, Q_h [GJ·rok ⁻¹]	Sprawność kotła Boiler efficiency $\eta_{H,g}$ [%]	Roczne $Q_H/\eta_{H,g}$ [GJ·rok ⁻¹]	Ilość paliwa gazowego The amount of gas [m ³ ·rok ⁻¹ ·10 ³]	Koszty QK brutto Gross costs [zł·rok ⁻¹]	% w stosunku do 1946 r. % relative to 1946
1	1946–1957	182,99		212,78	5,968	12 732,71	100,00
2	1958–1967	171,16		199,02	5,583	11 969,11	94,00
3	1968–1975	157,40	0,86	183,02	5,134	11 078,58	87,01
4	1976–1982	153,06		177,98	4,992	10 796,94	84,79
5	1983–1991	104,72		121,77	3,416	7 671,14	60,24
6	1992–2001	95,12		110,60	3,102	7 048,36	55,35
7	2002–2008	86,89		101,03	2,834	6 516,81	51,18
8	2009–2013	67,14	0,9	78,07	2,190	5 239,52	41,15
9	2014 – obecnie – present	46,77		54,38	1,525	3 920,58	30,79



Rys. 3. Porównanie jednostkowych kosztów ogrzewania dla poszczególnych nośników ciepła w rozpatrywanych okresach

Fig. 3. Comparison of unit heating costs for individual carriers of heat in the analyzed periods

Stosowanie węgla kamiennego czy oleju opałowego wymaga wygospodarowania w obrębie nieruchomości miejsca do gromadzenia tych paliw. Z reguły poza sezonem użytkownicy gromadzą zapas paliwa przewidzianego na cały sezon grzewczy. Szczególnie magazynowanie znaczących ilości oleju opałowego skutkuje zwiększonym zagrożeniem pożarowym. Eksploatacja kotłów zasilanych węglem jest uciążliwa, gdyż wiąże się z regularnym uzupełnianiem paliwa bezpośrednio w kotle lub w zasobniku oraz usuwaniem popiołu.

Ze względu na zły stan jakości powietrza w Polsce oraz konieczność ograniczania emisji dwutlenku węgla do atmosfery należy się liczyć z możliwością wprowadzania lokalnych ograniczeń lub całkowitych zakazów ogrzewania budynków przy wykorzystaniu węgla kamiennego. Spalanie węgla wiąże się również ze znaczącą emisją tlenków i dwutlenków siarki i azotu oraz emisją pyłów, przyczyniając się w znaczny sposób do pogorszenia jakości powietrza, a także mając wpływ na kwaśne deszcze oddziałujące niekorzystnie na roślinność i gleby.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W Polsce wciąż jest eksploatowanych wiele budynków, które były budowane w okresie obowiązywania bardziej liberalnych przepisów odnośnie do ich ochrony cieplnej. Przedstawiona analiza wykazuje, że termomodernizacja budynków, zwłaszcza starszych, przynosi wymierny efekt ekonomiczny podczas ich eksploatacji. Należy mieć na uwadze, że wzrost wymogów dotyczących izolacyjności termicznej budynków będzie postępował. Zgodnie z projekcją zapisaną w Rozporządzeniu Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej [Dz.U. z 2013 r. poz. 926] kolejny wzrost wymagań nastąpi w 2017 oraz 2021 roku. Należy zatem rozważyć na etapie budowy budynku lub jego termomodernizacji, czy nie warto ponieść nieco wyższe koszty, aby budynek spełniał wymagania, które będą obowiązywały w przyszłości. Poniesione koszty zostaną zrekompensowane podczas eksploatacji budynku oraz wpłyną na większą wartość nieruchomości.

Na podstawie przeprowadzonej analizy można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Zmiana przepisów prawnych i związana z tym zmiana dopuszczalnej wartości współczynnika przenikania ciepła (U) na przestrzeni prawie 70 lat skutkowałą zmniejszeniem obciążenia cieplnego analizowanego budynku z 26,7 kW w 1946 roku do 8,5 kW w 2014 roku. Stanowi to ponad 3-krotne zmniejszenie mocy instalacji grzewczej dla budynku.

2. Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania w przeliczeniu na węgiel w 1946 roku wynosiło 13,07 tony, co przy cenie węgla z 2013 roku daje kwotę około 10 580 zł. Zapotrzebowanie na ciepło w 2014 roku w przeliczeniu na węgiel wynosi 2,04 tony, co odpowiada kwocie około 1650 zł i jest 6,4 razy mniejsze. W chwili obecnej analizowany budynek jest ogrzewany kotłem opalonym węglem.

3. Zgodnie z przeprowadzoną analizą można stwierdzić, że obecnie najtańszym z rozpatrywanych nośników energii jest węgiel kamienny, dla którego koszt sezonowego ogrzewania analizowanego budynku wykonanego według standardów obowiązujących od 2014 roku wyniósł około 1650 zł. Najdroższym nośnikiem okazał się olej opałowy,

dla którego koszty ogrzewania budynku wynoszą około 5700 zł i są około 3,5-krotnie wyższe.

4. Sezonowy koszt ogrzania analizowanego budynku gazem sieciowym wysokometanowym przy obecnych wymaganiach dotyczących izolacyjności termicznej przegród wynosi 3920 zł. Podobnie kształtują się koszty ogrzewania ciepłem sieciowym, które wynoszą około 3450 zł.

5. Ogrzewanie budynków przy wykorzystaniu węgla kamiennego, mimo że obecnie jest jednym z najtańszych źródeł energii, może się okazać w przyszłości nie do zaakceptowania ze względu na emisję szkodliwych substancji do atmosfery.

PIŚMIENNICTWO

- Babiarz, B., Szymański, W. (2010). Ogrzewnictwo. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
- Balaras, C., Drousta, K., Dascalaki, E., Kontoyiannidis, S. (2005). Heating energy consumption and resulting environmental impact of European apartment buildings. *Energy and Buildings*, 37 (5), 429–442.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków roku, zwana Dyrektywą EPBD – Energy Performance of Buildings Directive (2002/91/WE).
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 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 (2010/31/UE).
- Górecka, M. (2012). Główne zalecenia w projektowaniu niskoenergochłonnych domów wiejskich. *Acta Scientiarum Polonorum, Architectura*, 11 (2), 35–42.
- GUS 2014 (www.stat.gov.pl/gus).
- Kompania węglowa S.A. (2014) (www.kwsa.pl/sprzedaz_wegla/paliwa_kwalifikowane).
- MURATOR PROJEKT S.A. Projekt architektoniczno-budowlany D-44.W.M.
- Olej opałowy (2014) (www.olej-opalowy.pl).
- Perez-Lombard, L., Ortiz, J., Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40, 3, 394–398.
- PGNiG (2014) (www.pgnig.pl/dla_domu/twoja_taryfa).
- PN-57/B-03404 Współczynnik przenikania ciepła k .
- PN-64/B-03404 Współczynnik przenikania ciepła k dla przegród budowlanych.
- PN-74/B-03404 Współczynnik przenikania ciepła K dla przegród budowlanych.
- PN-82/B-02020 Ochrona cieplna budynków. Wymagania i obliczenia.
- PN-91/B-02020 Ochrona cieplna budynków. Wymagania i obliczenia.
- PN-B-02025 Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego.
- PN-EN 12831:2006 Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.
- PN-EN ISO 6946:2008 Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła.
- RADPEC (2014) (www.radpec.com.pl).
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. *Dz.U. z 2002 r. nr 75, poz. 690*.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. *Dz.U. z 2008 r. nr 201, poz. 1238*.

- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej. Dz.U. z 2015 r. poz. 376.
- 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. Dz.U. z 2013 r. poz. 926.
- Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane. Dz.U. z 1994 r. nr 89, poz. 414.
- Wiśniewski, K., Zalesiński, A. (2014). Wpływ stanu technicznego budynku na efektywność energetyczną i opłacalność termomodernizacji na przykładzie budynku jednorodzinnego. *Acta Scientiarum Polonorum, Architectura*, 13 (4), 69–79.

ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION AND THE COST OF HEATING IN SINGLE-FAMILY BUILDING IN THE LIGHT OF CHANGING LEGAL REQUIREMENTS

Abstract. The article presents the history (since 1946 to present) of legal provisions related to the thermal protection of buildings. On example of a selected one-family house was made calculations of heat load and seasonal heat demand during the periods still changing demands related to thermal insulation of building dividing wall and energy consumption. Then the heating costs for analysed object in individual period were estimated. The analysis included heating costs for the heat which is received from combustion coal, natural gas, heating network and fuel oil. The article ends with a summary and conclusions draw from the calculation results and analysis performed of these results.

Key words: thermal transmittance, thermal load, seasonal demand for heat, energy consumption, one-family house

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 28.09.2015

Cytowanie: Wichowski P., Banaszek, S. (2015). Analiza energochłonności oraz kosztów ogrzewania budynku jednorodzinnego w świetle zmieniających się wymagań prawnych. *Acta Sci. Pol., Architectura*, 14 (3), 79–92.