

dr inż. Edyta Dudkiewicz^{1*)}

ORCID: 0000-0002-6276-5290

dr inż. Natalia Fidorów-Kaprawy¹⁾

ORCID: 0000-0002-0162-5796

Analiza energetyczna wydajności stropu grzewczego na przykładzie budynku mieszkalnego w Niemczech, Polsce i Ukrainie

Energy analysis of the heating ceiling efficiency on the example of a residential building in Germany, Poland and Ukraine

DOI: 10.15199/33.2022.09.11

Streszczenie. Ocena wydajności systemu ogrzewania stropowego w budynku wymaga uwzględnienia temperatury zewnętrznej obliczeniowej i średniorocznej w pomieszczeniach oraz współczynników przenikania ciepła przegród. Przeanalizowano właściwości grzejne stropu DX-Therm na przykładzie budynku mieszkalnego zlokalizowanego w trzech sąsiadujących krajach europejskich. Rozwiązanie okazuje się energooszczędne i komfortowe we wszystkich mieszkaniach w Polsce i Niemczech. Poddano dyskusji możliwość dostosowania go do warunków ukraińskich. Scharakteryzowano cechy termoaktywnego stropu prefabrykowanego.

Słowa kluczowe: obciążenie cieplne; stropy grzewczo-chłodzące; temperatura projektowa.

Abstract. The assessment of the performance of a ceiling heating system in a building requires the consideration of room, external design and average annual temperature values and building envelope heat transfer coefficients. The DX-Therm ceiling heating properties have been analysed for three neighbouring European countries using an apartment building as an example. The solution proves to be energy efficient and comfortable in all apartments in Poland and Germany. The possibility of adapting it to the Ukrainian conditions is discussed. The features of the thermoactive prefabricated ceiling are characterised.

Keywords: heat load; heating-cooling ceiling; design temperature.

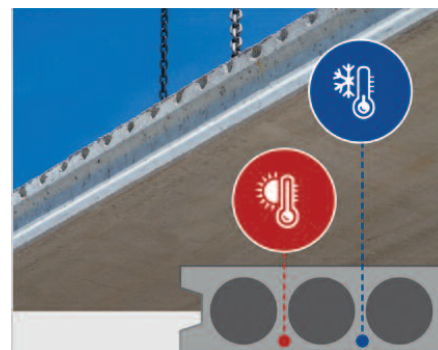
System ogrzewania płaszczyznowego z wykorzystaniem prefabrykowanych stropów aktywnych termicznie polega na przekazywaniu ciepła do pomieszczenia za pomocą elektromagnetycznych fal długich z zakresu podczerwieni (IR-C), podobnie jak w przypadku ogrzewania podłogowego czy ściennego. Zjawisko konwekcji w tym układzie praktycznie nie zachodzi, a powietrze ogrzewa się w sposób pośredni od elementów wyposażenia i powierzchni [1, 2].

Celem artykułu jest ocena wydajności systemu ogrzewania stropowego w budynku mieszkalnym, zlokalizowanym w różnych strefach klimatycznych w trzech krajach. Przeprowadzono analizę energetyczną w przypadku czterech stref temperaturowych w Niemczech, pięciu stref w Polsce i dwóch w Ukrainie. Obliczono zapotrzebowanie na moc grzewczą mieszkań, aby ocenić, czy system działa pra-

widłowo w różnych warunkach termicznych, czy też wymaga wsparcia i w jaki sposób, aby zapewnić wymagane parametry.

Charakterystyka stropów DX-Therm

Realizacja budowy z wykorzystaniem stropów prefabrykowanych daje wiele korzyści, wśród których najbardziej podkreślane są: krótki czas realizacji; prosty montaż i niska cena. Możliwość wykonania ich w funkcji grzewczo-chłodzącej jest dodatkową zaletą. W przypadku badanych prefabrykowanych stropów DX-Therm [3, 4] ze stropem żelbetonowym zintegrowane są wielowarstwowe rury o średnicy 16 x 2 (rysunek 1). Rura składa się z trzech warstw z różnych materiałów: dwóch z tworzyw sztucznych od strony zewnętrznej i wewnętrznej oraz warstwy metalowej (aluminium) między nimi, która ogranicza wydłużalność termiczną i zapewnia antydyfuzyjność, tj. brak przenikania do wody tlenu wywołującego korozję. Podczas układania rur w warstwach betonu (podłoga, sufit,



Rys. 1. Strop DX-Therm [3, 4]

Fig. 1. DX-Therm ceiling [3, 4]

ściany) nie stosuje się kształtek, gdyż plastyczność rury pozwala poprowadzić ją zgodnie z założeniem projektowym. W ogrzewaniu/chłodzeniu stropowym rury łączone są między płytami stropowymi i dalej prowadzone do rozdzielacza ciepła. Do połączeń między płytami nie ma późniejszego dostępu, gdyż są one w posadzkach następnego piętra. Każda płyta stropowa jest indywidualnie projektowana i produkowana pod względem konstrukcyjnym, a także wydajności ogrzewania i/lub chłodzenia w zależności od potrzeb budynku. Naj-

¹⁾ Politechnika Wroclawska; Wydział Inżynierii Środowiska

^{*)} Adres do korespondencji: edyta.dudkiewicz@pwr.edu.pl

częściej na 1 m² stropu montuje się średnio ok. 8 m rur w rozstawie co 16 cm. Długość przewodu w pętli grzewczej nie powinna przekraczać 85 m. Ogólnie przyjmuje się, że jedno pomieszczenie to jeden obieg, a w przypadku pomieszczeń o dużej powierzchni stosuje się 2 – 3 obiegi. Stosowanie maksymalnie długich pętli lub przekroczenie zalecanej długości może doprowadzić do nagrzania fragmentów stropów z powodu zbyt dużych oporów hydraulicznych. Ponadto sposób ułożenia rur w stropie powoduje, że ich długość jest ograniczona tak, aby różnica temperatury na wejściu i wyjściu nie była zbyt duża ze względu na nierównomierny rozkład temperatury na powierzchni [3].

Źródło ciepła i parametry pracy

W przypadku ogrzewania sufitowego można stosować każde źródło ciepła, które zapewni temperaturę czynnika grzewczego na poziomie 35 – 40°C (np. kocioł kondensacyjny lub pompa ciepła). W celu zwiększenia wydajności cieplnej można zastosować temperaturę zasilania stropu powyżej 40°C (dopuszczalna do 60°C). Niezbędne jest jednak zachowywanie temperatury powierzchni odpowiedniej do wysokości danego pomieszczenia. W przypadku, gdy źródłem ciepła będzie pompa ciepła, zwiększenie temperatury czynnika grzewczego wpłynie na pogorszenie jej efektywności.

Temperatura powierzchni stropu zależy od temperatury czynnika zasilającego, długości pętli, rozstawu rur w stropie, dodatkowego wykończenia stropu. W pomieszczeniu o wysokości 3 m maksymalna temperatura stropu nie powinna przekraczać 35°C. Na podstawie danych pomiarowych uzyskanych w instytucie RWTH Aachen [4] stwierdzono, że temperatura stropu DX-Therm jest niższa od średniej temperatury czynnika grzewczego o ok. 3K. W przypadku, gdy system używany jest również jako sufit chłodzący, działa on z rewersyjną pompą ciepła. Zastosowanie wówczas pompy ciepła zarówno do ogrzewania, jak i chłodzenia, może sprawić, że całkowite koszty inwestycyjne okażą się bardzo atrakcyjne, a w celu zapewnienia odpowiednich wa-

runków mikroklimatycznych będzie to jedno z najbardziej ekonomicznych rozwiązań eksploatacyjnych.

Wydajność q_h 1 m² powierzchni płyty została wyznaczona na podstawie badań w RWTH [4] i obliczona z zależności:

$$q_h = 4,64 \cdot \Delta t_a \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (1)$$

gdzie:

Δt_a – średnia różnica temperatury zasilania i powrotu oraz temperatury wewnątrz pomieszczenia, wyznaczana ze wzoru:

$$\Delta t_a = (t_z + t_p)/2 - t_o \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2)$$

gdzie:

t_z – temperatura zasilania [°C];

t_p – temperatura powrotu [°C];

t_o – temperatura wewnątrz pomieszczenia [°C].

System stropów aktywnych termicznie DX-Therm osiąga większą wydajność cieplną niż systemy ogrzewania podłogowego. Przy niższej temperaturze czynnika grzejącego osiągnięta jest taka sama temperatura powierzchni, co zapewnia mniejsze zużycie energii niż w przypadku ogrzewania podłogowego, a ponadto elementy wyposażenia nie ograniczają powierzchni.

Wytyczne dotyczące stosowania systemów płaszczyznowych, instalowanych w budynkach mieszkalnych i niemieszkalnych, podaje seria norm EN 1264, które koncentrują się na zapewnieniu komfortu cieplnego. Wymiarowanie wodnych wbudowanych systemów ogrzewania i chłodzenia płaszczyznowego zawarte jest w PN-EN 1264-3:2021-10 [5].

Zastosowanie stropów grzejnych

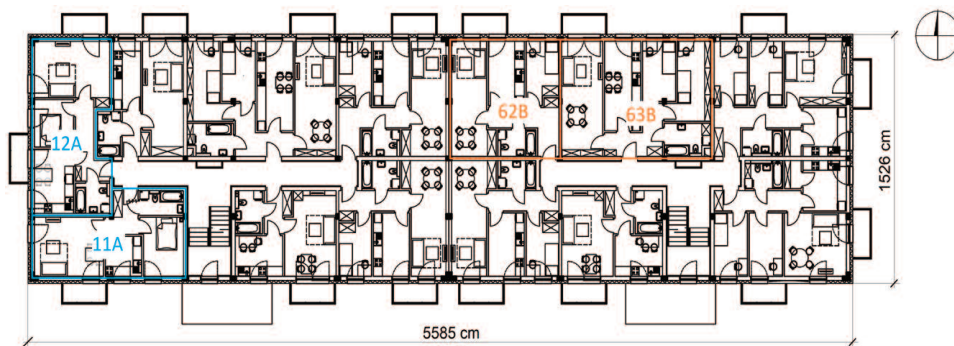
System prefabrykowanych stropów aktywnych termicznie jest znany od ponad 10 lat. W porównaniu z innymi płaszczyznowymi rozwiązaniami nie zajmuje on miejsca w pomieszczeniu, pozwala na swobodną aranżację wne-

trza, a jako rozwiązanie prefabrykowane (bez sufitów podwieszanych) pozwala zaoszczędzić kilka centymetrów na każdej kondygnacji w porównaniu ze standardowymi stropami monolitycznymi z sufitami podwieszanymi. Znajduje zastosowanie w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych i jednorodzinnych oraz użyteczności publicznej (szkołach, przedszkolach), a także w nowoczesnym budownictwie, w którym wykorzystuje się duże przeszklenia. Jest szczególnie polecany do miejsc z chłodzeniem płaszczyznowym. Stał się popularny w Polsce w budynkach należących do Towarzystw Budownictwa Społecznego (TBS), które oferują niedrogie mieszkania z dożywotnimi umowami najmu.

Analiza energetyczna

Analizie energetycznej poddano trzykondygnacyjny budynek mieszkalny TBS o kubaturze ogrzewanej 5545,7 m³ i wysokości 9,6 m, niepodpiwniczony, z dwiema klatkami schodowymi. Na każdej kondygnacji znajduje się 13 mieszkań, 7 w lewym segmencie (A) i 6 w prawym segmencie (B), które są jedno-, dwu- i trzypokojowe. Klatki schodowe są ogrzewane zyskami ciepła od pozostałych pomieszczeń. Na rysunku 2 przedstawiono rzut kondygnacji powtarzalnej budynku, na którym zaznaczono położenie mieszkań o najwyższych (obrys niebieski) i najniższych (obrys pomarańczowy) obciążeniach cieplnych. Mieszkania 11A i 12A znajdują się na parterze, a 62B i 65B na pierwszym piętrze.

W przypadku wszystkich stref klimatycznych trzech sąsiadujących krajów: Niemiec (cztery strefy z zewnętrzną



Rys. 2. Rzut kondygnacji budynku TBS

Fig. 2. The layout of TBS building

temperaturą projektową odpowiednio $-10 \div -16^\circ\text{C}$), Polski (pięć stref, temperatura $-16 \div -24^\circ\text{C}$) i Ukrainy (dwie strefy, temperatura -22 i -19°C) zostały obliczone obciążenia cieplne poszczególnych mieszkań w budynku przy użyciu programu Auditor OZC 7.0 Pro. Obliczenia wykonano zgodnie z normą PN-EN 12831 [6], uwzględniając wymianę ciepła pomiędzy strefami (mieszkaniami), natomiast obciążenie ciepłe całego budynku określono bez tej wymiany ciepła. Maksymalne wartości współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych, tzn. obowiązujące w danym kraju oraz założone do analizy, pokazano w tabeli 1. Minimalne wymagania izolacyjności termicznej przegród w Polsce są zdecydowanie ostrzejsze od obowiązujących w Niemczech oraz Ukrainie i zmuszają do przyjęcia w analizie przegród o optymalnie dobranych współczynnikach przenikania ciepła w przypadku danego kraju [7, 8].

W tabeli 2 zestawiono projektową temperaturę powietrza wewnętrznego wg norm obowiązujących w trzech krajach: DIN EN 12831 [9]; PN-EN 12831 [6] i DBN V. 2.5-67 [10]. W Niemczech i w Polsce te wartości temperatury są jednakowe, a w Ukrainie wyższe, co powoduje, że wyższa będzie średnia temperatura w pomieszczeniach mieszkalnych (tabela 3).

Tabela 1. Maksymalne i założone wartości współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych U [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$]

Table 1. Maximal and assumed heat transfer coefficients for building's envelopes U [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$]

Przegroda budowlana	Niemcy		Polska		Ukraina	
	U_{\max}	$U_{\text{przyjęte}}$	U_{\max}	$U_{\text{przyjęte}}$	U_{\max}	$U_{\text{przyjęte}}$
Ściana zewnętrzna	0,28	0,230	0,20	0,141	0,30	0,283
Dach	0,20	0,159	0,15	0,129	0,20	0,159
Podłoga na gruncie	0,35	0,245	0,30	0,187	0,20	0,187
Okno	1,30	1,100	0,90	0,760	1,33	1,100
Drzwi	1,80	1,500	1,30	0,850	1,67	1,500

Tabela 2. Projektowa temperatura powietrza wewnętrznego

Table 2. The design indoor air temperature

Pomieszczenie	Temperatura [$^\circ\text{C}$]		
	Niemcy	Polska	Ukraina
Kuchnia, przedpokój	20,0	20,0	19,5
Pokój dzienny, sypialnia	20,0	20,0	22,0
Łazienka	24,0	24,0	25,0

Tabela 3. Obciążenie cieplne (OC) budynku i mieszkań w różnych strefach klimatycznych

Table 3. Heat load (OC) of a building and apartments in various climatic zones

Charakterystyka badanych obiektów	Mieszkanie nr/powierzchnia/kondygnacja	Średnia temperatura w mieszkaniu t_{sr} [$^\circ\text{C}$]	Wydajność jednostkowa stropu q_n [W/m^2]	Strefa				
				I	II	III	IV	V
NIEMCY								
Temperatura proj. [$^\circ\text{C}$]				-10	-12	-14	-16	
Temperatura średnia roczna [$^\circ\text{C}$]				10,0	9,4	9,0	8,6	
OC budynku [kW]				61,8	65,9	69,9	73,9	
OC mieszkania o q_{\min} [W/m^2]	62B/49,1 m^2/Ip	20,3	63,6	34,4	36,6	38,6	40,6	
OC mieszkania o q_{\max} [W/m^2]	12A/48,6 m^2/Op	20,4	63,1	48,6	51,7	54,6	57,5	
POLSKA								
Temperatura proj. [$^\circ\text{C}$]				-16	-18	-20	-22	-24
Temperatura średnia roczna [$^\circ\text{C}$]				7,7	7,9	7,6	6,9	5,5
OC budynku [kW]				65,6	69,0	72,6	76,2	79,9
OC mieszkania o q_{\min} [W/m^2]	63B/67,8 m^2/Ip	20,4	63,1	38,8	40,0	41,8	43,9	46,7
OC mieszkania o q_{\max} [W/m^2]	12A/48,6 m^2/Op	20,4	63,1	51,9	53,9	56,3	59,2	62,7
UKRAINA								
Temperatura proj. [$^\circ\text{C}$]				-22	-19			
Temperatura średnia roczna [$^\circ\text{C}$]				8,8	11,8			
OC budynku [kW]				90	83,4			
OC mieszkania o q_{\min} [W/m^2]	62B/49,1 m^2/Ip	21,3	58,9	47,8	42,2			
OC mieszkania o q_{\max} [W/m^2]	11A/43,0 m^2/Op	21,7	57,1	68,8	62,4			

Wydajność stropu (q_n) została wyznaczona przy założeniu temperatury czynnika grzejnego $35/33^\circ\text{C}$. Wyniki obliczeń obciążenia cieplnego (OC) całego

stropu jest wystarczająca na pokrycie zapotrzebowania na ciepło w całym budynku we wszystkich mieszkaniach w Niemczech i w Polsce. W Ukrainie 15 mieszkań w I strefie i 6 mieszkań w II strefie ma większe zapotrzebowanie na ciepło niż jest możliwe do pokrycia przez strop. Niższe wymagania dotyczące współczynnika przenikania ciepła w Ukrainie i wyższa średnia temperatura wewnętrzna wpłynęły na wyższe zapotrzebowanie na ciepło, mimo że temperatura obliczeniowa wynosi -22°C w I strefie w Ukrainie i jest taka sama jak w IV strefie w Polsce. Stosując przyjętą izolacyjność przegród budowlanych w Ukrainie, niezbędnym rozwiązaniem w badanych mieszkaniach są dodatkowe elementy grzejne, np. grzejniki elektryczne, maty grzejne czy inne płaszczynowe systemy radiacyjne. Zmniejszenie strat ciepła np. przez zmniejszenie współczynnika przenikania ciepła U (poprawa izolacyjności przegród) spowodowałoby, że budynek byłby mniej energochłonny, a stropy aktywne

budynku i wybranych dwóch mieszkań o najmniejszym (q_{\min}) i największym (q_{\max}) obciążeniu cieplnym (rysunek 2) w poszczególnych strefach klimatycznych w trzech krajach przedstawiono w tabeli 3. Największe obciążenie cieplne budynku występuje w Ukrainie. Wyniki obliczeń zapotrzebowania na ciepło poszczególnych mieszkań wskazują, że wydajność cieplna $q_n = 63,1 \text{ W}/\text{m}^2$

termicznie miały wystarczającą efektywność. W analizowanym budynku możliwe jest również zwiększenie mocy grzewczej stropu i wzrost średniej temperatury czynnika grzewczego o 3 – 4°C, co zagwarantuje mieszkańcom komfort ciepły.

Stwierdzono, że w poszczególnych krajach mieszkania o najwyższym i najniższym obciążeniu cieplnym nie pokrywają się. W Ukrainie mieszkanie o największych stratach ciepła to 11A, podczas gdy w Polsce i w Niemczech 12A. Z kolei mieszkanie o najniższym obciążeniu to 62B w Niemczech i w Ukrainie, a w Polsce 63B (rysunek 2). Przyczyn takiego stanu można upatrywać w dwóch faktach. Jednym z nich jest niewątpliwie średnia temperatura wewnętrzna, która będzie identyczna w przypadku Polski i Niemiec, ale nieco wyższa w przypadku Ukrainy, co powoduje tam większe straty ciepła. Drugi fakt jest taki, że zarówno wymagane, jak i przyjęte współczynniki przenikania ciepła przegród budowlanych różnią się w analizowanych trzech krajach, dlatego też różnice w geometrii mieszkań i stosunku powierzchni okien do ścian zewnętrznych powodują różnice w obciążeniu cieplnym między mieszkaniami w tych krajach. Należy jednak podkreślić, że różnice w stratach ciepła między mieszkaniami 62B i 63B oraz 11A i 12A są niewielkie.

Wnioski

Dopuszczalna temperatura stropu w typowych pomieszczeniach mieszkalnych wymusza ograniczenie temperatury czynnika zasilającego przy ogrzewaniu stropowym do 40°C ze względu na komfort cieplny człowieka. Przestrzegając tego warunku oraz zakładając odpowiednią dla danego kraju izolację przegród budowlanych, wykonano analizę wydajności cieplnej stropu DX-Therm w przypadku budynków mieszkalnych zlokalizowanych we wszystkich strefach klimatycznych w Niemczech, Polsce i Ukrainie. Wydajność stropu została wyznaczona w zależności od różnicy średniej temperatury czynnika grzewczego i temperatury wewnętrznej (wyższej w Ukrainie niż w Polsce i Niemczech). Analiza wykazała istotne znaczenie

izolacji termicznej przegród budowlanych, która w Ukrainie ma wyższy współczynnik przenikania ciepła i dlatego w wielu mieszkaniach straty ciepła są niemożliwe do pokrycia przez strop w I strefie klimatycznej (o niższej temperaturze obliczeniowej). Wymagane jest w nich zamontowanie dodatkowego urządzenia grzejnego, poprawa izolacyjności przegród budowlanych bądź zwiększenie wydajności stropu przez zapewnienie wyższej temperatury zasilania.

Korzyści wynikające ze stosowania prefabrykowanych stropów grzewczych w budownictwie mieszkaniowym pozwalają wykorzystać potencjał, jakim dysponuje ta technologia. Niższa niż w przypadku innych systemów płaszczyznowych temperatura zasilania zapewnia dużą wydajność cieplną i komfort cieplny człowieka, dużą efektywność pompy ciepła i małe zużycie energii. Te cechy sprawiają, że system stropów DX-Therm jest interesującym rozwiązaniem w budynkach mieszkalnych jednorodzinnych i wielorodzinnych.

Literatura

- [1] Sinacka J. Stropy i sufity grzewczo-chłodzące o dużej pojemności cieplnej, Materiały Budowlane. 2019; doi: 10.15199/33.2019.01.10.
- [2] Wojtkowiak J, Amanowicz Ł. Badania wydajności cieplnej aluminiowego sufitowego panelu grzewczo-chłodzącego, COW. 2016; 10; doi: 10.15199/9.2016.10.4.
- [3] www.dennert.pl. [20.05.2022].
- [4] Kuhnhenne M. Dennert DX Therm Messung und Berechnung der thermischen Leistung, Aachen, 2018.
- [5] PN-EN 1264-3:2021-10 Wodne wbudowane systemy ogrzewania i chłodzenia płaszczyznowego. Część 3: Wymiarowanie.
- [6] PN-EN 12831 Charakterystyka energetyczna budynków.
- [7] Żurawski J. Warunki Techniczne do poprawy? www.oknonet.pl. [20.05.2022].
- [8] Kostka M, Zając A. Obliczeniowe i rzeczywiste temperatury powietrza zewnętrznego a efektywność ogrzewania i wentylacji. Rynek Instalacyjny. 2013; 4.
- [9] DIN EN 12831 Energetische Bewertung von Gebäuden.
- [10] DBN V.2.5-67 Отопление, вентиляция и кондиционирование.

Podziękowania: autorki dziękują firmie Dennert Baustoffwelt GmbH za pomoc w przygotowaniu artykułu.

Przyjęto do druku: 14.07.2022 r.



ARBOCEL P – The Power of Innovation

- nieograniczone możliwości regulacji konsystencji, – łatwe i szybkie mieszanie,
- zagęszczanie i stabilizacja tynków i farb przy jednoczesnej poprawie aplikacji



Rettenmaier Polska

Sp. z o.o.

Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7B

02-366 Warszawa

mobile +48 600 423 423

Tel + 48 22 608 51 00

e-mail: arbocel@jrs.pl