

Spis treści

Recenzenci 2014 – Podziękowania Recenzentom <i>Reviewers 2014 – Editorial Acknowledgment</i>	5
Ryszard J. GRABOWSKI Obliczanie długości uzwojenia w słupach żelbetowych <i>Calculation of the winding length in the reinforced concrete poles</i>	7
Irena ICKIEWICZ Wpływ śniegu na naturalne pole temperatury gruntu <i>Impact of snow on the natural temperature field in the subsoil</i>	11
Emilia POGORZELSKA Analiza akustyczna stropów drewnianych w technologii modułów prefabrykowanych <i>Sound analysis of wooden floors made in prefabricated modular technology</i>	17
Beata SADOWSKA Wskaźniki EU, EK, EP a jakość (klasa) energetyczna budynków <i>EU, EK, EP indexes and energy standard of buildings</i>	25
Wiesław SAROSIEK Świadectwa energetyczne budynków - aspekt ekologiczny <i>Energy certificates of buildings – ecological aspects</i>	31
Robert STACHNIEWICZ Metoda wyznaczania efektywnej grubości izolacji termicznej w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej przy uwzględnieniu źródła ciepła <i>Method of determination of thermal insulation effective thickness in residential and public buildings when considering the heat source</i>	37
Adam ŚWIĘCICKI Wskaźnik właściwości obudowy budynku jako kryterium wymagań ochrony cieplnej <i>Indicator properties of housing in the building as a criterion of heat protection requirements</i>	41

OBLICZANIE DŁUGOŚCI UZWOJENIA W SŁUPACH ŻELBETOWYCH

Ryszard J. GRABOWSKI*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Opracowano sposoby obliczania długości uzwojenia w słupach żelbetowych o przekroju prostokątnym, kołowym i eliptycznym. Problem ten jest dość ogólnikowo ujęty w literaturze i w zaleceniach normowych. Przedstawione w pracy sposoby obliczeń mogą być zastosowane w praktyce.

Słowa kluczowe: słupy żelbetowe, długość uzwojenia, zbrojenie spiralne.

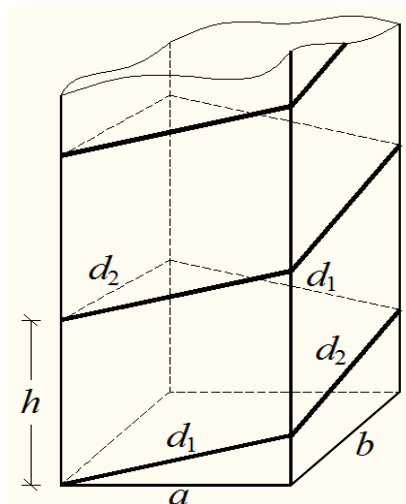
1. Wprowadzenie

Obliczenia długości zastosowanego zbrojenia w konstrukcjach żelbetowych, jest zagadnieniem łatwym do zrealizowania jeśli elementy użyte w postaci prętów stalowych mają kształt liniowy. W przypadku innych stosowanych kształtów, głównie spiralnych, zagadnienie jest niekiedy bardziej skomplikowane. Najczęściej elementami żelbetowymi, w których wykorzystuje się zbrojenie spiralne, są słupy żelbetowe. Warto zaznaczyć, że w badaniach doświadczalnych wykazano, że elementy ściskane z uzwojeniem spiralnym mają większą nośność niż elementy ze strzemionami (Knauff, 2012; Korzeniowski, 2003; Łapko, 2003). Z tych względów uzwojenia tego typu mają ważne znaczenie w budownictwie. W niniejszych rozważaniach, uwaga zostanie poświęcona obliczeniom długości uzwojenia w słupach żelbetowych o przekroju prostokątnym, kołowym i eliptycznym. Szczegółowe rozważania dotyczące obliczania nośności słupów uzwojonych można znaleźć przykładowo w pracy Korzeniowskiego (2003).

2. Zbrojenie spiralne słupa o przekroju prostokątnym

Nośność słupów o przekroju kwadratowym można obliczać jak w przypadku uzwojonych rdzeni o przekroju kołowym, wpisanym w kwadratowy obrys przekroju słupów. W takich słupach zbrojenie poprzeczne stanowi pręt w kształcie spirali okalającej pręty zbrojenia głównego. W słupach o przekroju prostokątnym zbrojenie poprzeczne stanowi pręt w kształcie spirali okalającej pręty zbrojenia głównego. W słupach o przekroju prostokątnym zbrojenie poprzeczne tradycyjnie realizuje się w postaci zamkniętych strzemion. Można także wykonywać zbrojenie poprzeczne w postaci spirali, ale wtedy nośność oblicza się jak dla słupów nieuzwojonych.

Schemat zbrojenia spiralnego w słupie o przekroju prostokątnym przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Zbrojenie spiralne na słupie prostopadłościennym

Wyznamy długość zbrojenia nawiniętego na słupie o podstawie prostokąta o wymiarze boków a i b i skoku h . Długość uzwojenia d na odcinku słupa h (jednego zwoju) składa się z czterech segmentów $d = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 = 2d_1 + 2d_2$, ponieważ nawinięcia na dłuższym boku prostokąta $d_1 = d_3$, i na krótszym $d_2 = d_4$.

Przyjmując podstawę słupa jako poziom zerowy, wysokości kolejnych wierzchołków nawinięcia na krawędziach prostopadłościanu wyniosą $a/(2a + 2b) \cdot h$, $(a + b)/(2a + 2b) \cdot h$, $(2a + b)/(2a + 2b) \cdot h$, h . Korzystając z twierdzenia Pitagorasa otrzymamy

$$d_1 = a \sqrt{1 + \left(\frac{h}{2a + 2b} \right)^2}$$

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: r.grabowski@pb.edu.pl

oraz

$$d_2 = b \sqrt{1 + \left(\frac{h}{2a + 2b}\right)^2}.$$

Zatem długość jednego zwoju liczona w osi pręta wyniesie

$$d = (2a + 2b) \sqrt{1 + \left(\frac{h}{2a + 2b}\right)^2} = \sqrt{(2a + 2b)^2 + h^2} \quad (1)$$

lub ze wzoru przybliżonego

$$d \approx (2a + 2b) \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{h}{a + b}\right)^2 \right] \quad (2)$$

gdzie $h/(a + b) \leq 2$.

Przykład 1. Obliczmy długość jednego zwoju dla $a = 60$ cm, $b = 40$ cm i $h = 30$ cm. Ze wzoru (1) mamy $d = 202,24$ cm, zaś zastosowanie wzoru przybliżonego (2) daje wynik $d = 202,25$ cm. Należy zauważyć, że długość jednego zwoju o skoku $h = 30$ cm w stosunku do obwodu prostokąta jest większa o 2,2 cm.

W przypadku zastosowania pręta stalowego o średnicy $2r_0$, należy uwzględnić jeszcze jego grubość, to znaczy należy dodać do boków prostokąta $2r_0$, wtedy

$$d = \sqrt{(2a + 2b + 8r_0)^2 + h^2} \quad (3)$$

W praktyce zamiast uwzględniać średnicę pręta, wygodniej jest zwiększyć boki prostokąta – a i b o $2r_0$ i zastosować wzór (1).

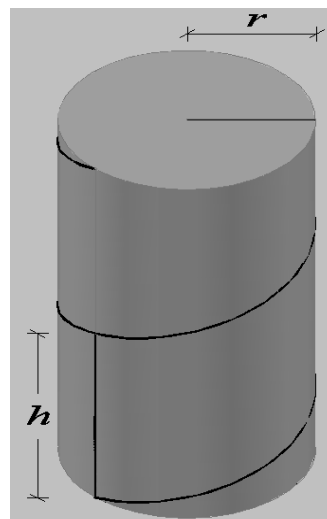
Wzór (1) dla słupa o przekroju kwadratowym o boku a , przyjmie postać

$$d = 4a \sqrt{1 + \left(\frac{h}{4a}\right)^2} = \sqrt{16a^2 + h^2} \quad (4)$$

Przykład 2. Obliczmy długość pojedynczego zwoju w słupie o przekroju kwadratowym o boku $a = 50$ cm i skoku $h = 40$ cm. Stosując wzór (4) otrzymamy, $d = 203,96$ cm, a zatem wydłużenie spirali na prostopadłościanie, względem obwodu prostokąta wynosi 4 cm.

3. Zbrojenie spiralne słupa o przekroju kołowym

Przekrój kołowy słupów uzwojonych jest najbardziej racjonalny w porównaniu z innymi kształtami przekrojów, gdyż poza otuliną zbrojenia pozostały przekrój betonu słupa jest uwzględniony podczas określania nośności słupa. Schemat zbrojenia spiralnego na powierzchni rdzenia słupa o przekroju kołowym przedstawiono na rysunku 2. Zbrojenie spiralne tworzy linię śrubową.



Rys. 2. Zbrojenie spiralne na słupie o przekroju kołowym

Jeżeli przyjmijemy promień walca o promieniu r i skoku spirali h , to równanie parametryczne tej krzywej można zapisać w postaci

$$\begin{aligned} x &= r \cos t \\ y &= r \sin t \\ z &= h t \end{aligned} \quad (5)$$

gdzie parametr $t \in \langle 0, \pi \rangle$ dla jednego pełnego zwoju. Jeżeli skok h pojedynczego zwoju ustalony jest jako określona długość, to trzecie równanie w (5) należy rozumieć jako $z = (h t) / 2\pi$, gdzie t jest wyrażone w mierze łukowej. Długość krzywej w układzie współrzędnych xyz wyznacza się według wzoru

$$s = \int_{\alpha}^{\beta} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} dt \quad (6)$$

w którym uwzględniając (5) otrzymamy

$$s_r = \sqrt{r^2 + h^2} \int_0^{2\pi} dt = 2\pi \sqrt{r^2 + h^2} \quad (7)$$

Jeżeli założymy stałą wartość promienia, to dla różnych skoków nawinięcia można obliczyć jego długość ze wzoru

$$s_r = 2\pi r \sqrt{1 + \left(\frac{h}{r}\right)^2} \quad (8)$$

Korzystając z rozwinięcia funkcji w szereg potęgowy

$$\sqrt{1 + \left(\frac{h}{r}\right)^2}$$

dla $(h/r)^2 \leq 1$, to jest dla $h \leq r$ szereg jest zbieżny, otrzyma się wzór przybliżony

$$s_r \approx \pi \frac{2r^2 + h^2}{r} = \pi r \left[2 + \left(\frac{h}{r}\right)^2 \right] \quad (9)$$

Zakładając grubość pręta spirali o promieniu r_0 , długość jednego zwoju liczona wzdłuż jego osi wyniesie

$$s_r = 2\pi\sqrt{(r+r_0)^2 + h^2} \approx \pi \frac{2(r+r_0)^2 + h^2}{r+r_0} \quad (10)$$

Z tablicy 1 wynika, że przy zachowaniu stałego stosunku skoku spirali do promienia pręta (h/r), wzrost jego długości o ustaloną wartość, powoduje stały wzrost długości pojedynczego zwoju. Ustalenie tego wzrostu dla dwóch promieni r i $r + \Delta$ (gdzie Δ oznacza dowolny obrany przyrost promienia) pozwala w prosty sposób obliczyć długość pojedynczego nawinięcia dla dowolnego promienia $r + n\Delta$, ze wzoru

$$s_{r+n\Delta} = s_{r+\Delta} + (n-1)(s_{r+\Delta} - s_r)$$

gdzie $n \geq 2$. Opisana zależność wynika ze wzoru (8), przy zachowaniu stałej wartości ilorazu h/r .

Łatwo zauważyć, porównując w tabeli 1 długości w nawiasach obliczone ze wzoru przybliżonego i bez nawiasów wyznaczone ze wzoru ścisłego, że różnice te rosną w miarę zwiększania promienia słupa. Przy wymaganej dokładności co najmniej 2 cm nie jest wskazane korzystanie ze wzoru przybliżonego, dla $h/r > 1/2$ i $r > 50$ cm.

Aby uzyskać pełniejszą odpowiedź na zastępowalność wzoru ścisłego wzorem przybliżonym należy obliczyć

$$s_{przybl} - s_r = s_m = \pi r \left[2 + \left(\frac{h}{r}\right)^2 - 2\sqrt{1 + \left(\frac{h}{r}\right)^2} \right] \quad (11)$$

$$\approx \frac{\pi r}{4} \left(\frac{h}{r}\right)^4 \left[1 - \frac{1}{4} \left(\frac{h}{r}\right)^2 \right]$$

przy $(h/r)^2 \leq 1$.

Dla założonej dokładności s_m i przyjętym ilorazie h/r , można wyznaczyć promień słupa, który wymaganą dokładność s_m zabezpiecza

$$r = \frac{4s_m}{\pi \left(\frac{h}{r}\right)^4 \left[1 - \frac{1}{4} \left(\frac{h}{r}\right)^2 \right]} \quad (12)$$

Tab. 1. Długość pojedynczego zwoju (w cm) dla $r_0 = 0$

Promień słupa r [cm]	$h = \frac{1}{4}r$	$h = \frac{1}{2}r$	$h = \frac{3}{4}r$	$h = r$	s_m dla $\frac{h}{r} = 1$
10	64,76 (65,80)	70,25 (70,69)	78,54 (80,50)	88,86 (94,25)	5,89
20	129,53(129,59)	140,50(141,37)	157,08(161,01)	177,72(188,50)	11,78
30	194,30(194,39)	210,74(212,06)	235,62(241,51)	266,57(282,74)	17,67
40	259,06(259,18)	280,99(282,74)	314,16(322,01)	355,43(376,99)	23,56
50	323,83(323,98)	351,24(353,43)	392,70(402,52)	444,29(471,24)	29,45

W tablicy 1 podano wartości s_m dla krańcowego dopuszczalnego przypadku $h/r = 1$.

4. Zbrojenie spiralne słupa o przekroju eliptycznym

Rozpatrzmy nawinięcie pręta stalowego na słup o przekroju elipsy o półosiach: dużej o długości a i małej o długości b , ze skokiem stałym h .

Równanie kanoniczne elipsy ma postać

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (13)$$

zaś jej równanie parametryczne

$$\begin{aligned} x &= a \sin t \\ y &= b \cos t \end{aligned} \quad (14)$$

gdzie $t \in \langle 0, 2\pi \rangle$. Równanie spirali eliptycznej będzie miało postać

$$\begin{aligned} x &= a \sin t \\ y &= b \cos t \\ z &= h t \end{aligned} \quad (15)$$

Wykorzystując wzór (6) oraz (15) otrzymuje się całkę eliptyczną zupełną drugiego rodzaju

$$\begin{aligned} s_e &= \int_0^{2\pi} \sqrt{a^2 \cos^2 t + b^2 \sin^2 t + h^2} dt \\ &= \sqrt{a^2 + h^2} \int_0^{2\pi} \sqrt{1 - \frac{a^2 - b^2}{a^2 + h^2} \sin^2 t} dt \\ &= 4\sqrt{a^2 + h^2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 t} dt \end{aligned} \quad (16)$$

przy czym

$$k = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2 + h^2}}, \quad (|k| \leq 1).$$

Warunek ten jest spełniony, gdy $b \geq h$, to znaczy skok spirali nie powinien być większy od b – małej półosi elipsy. Aby przeanalizować osiągane praktyczne wartości współczynnika k , rozważmy jego zmienność w zależności od wartości a , b i h . W tabelicy 2 podano zakres zmienności k dla przyjętych wartości b i h spełniającego warunek $0 \leq h \leq b$.

Tab. 2. Zakres zmienności k dla przyjętych wartości b

b	$0,9a$	$0,8a$	$0,7a$	$0,6a$	$0,5a$
k max.	0,44	0,60	0,71	0,80	0,87
k min.	0,32	0,46	0,59	0,69	0,65

Zmieniając zmienną całkowania poprzez podstawienie

$$u = \sin t, \quad (du = \cos t \, dt = \sqrt{1 - \sin^2 t} \, dt = \sqrt{1 - u^2} \, dt)$$

wzór (16) wyrazić można także w postaci

$$s_e = 4\sqrt{a^2 + h^2} \int_0^1 \frac{\sqrt{1 - k^2 u^2}}{\sqrt{1 - u^2}} du = 4\sqrt{a^2 + h^2} E(k) \quad (17)$$

gdzie $k = \sin \alpha$. W tabelicy 3 zestawiono, wykorzystując (Bronsztejn i Siemiendajew, 2015), wartości całki $E(k)$ dla podstawowego zakresu stosowności $k \in \langle \sin 16^\circ, \sin 60^\circ \rangle$.

Łatwo zauważyć, porównując wzory (7) i (16), że różnica długości jednego zwoju na słupie o przekroju koła, jest większa niż w przekroju elipsy, przy $r = a$ i tym samym skoku spirali h . Wynosi ona

$$\Delta s = s_r - s_e = 2\sqrt{a^2 + h^2} (\pi - 2E) \quad (18)$$

Stąd wynika, że długość pojedynczego zwoju eliptycznego można obliczyć ze wzoru

$$\begin{aligned} s_e &= s_r - \Delta s = s_r \frac{2E}{\pi} \\ &= 2\pi \sqrt{a^2 + h^2} \frac{2E}{\pi} = 4\sqrt{a^2 + h^2} E \end{aligned} \quad (19)$$

Zatem przy stałej wartości promienia okręgu a (półos duża elipsy) i tym samym skoku h w obu przekrojach, można długość jednego zwoju dla okręgu (długość linii śrubowej) pomnożyć przez współczynnik korygujący $2E/\pi$, aby otrzymać długość tego zwoju dla przekroju eliptycznego.

Przykład 3. Rozważmy słup żelbetowy o przekroju kołowym, o promieniu $r = a = 40$ cm i skoku spirali $h = 30$ cm, wtedy długość jednego zwoju zgodnie ze wzorem (7) wyniesie $s_r = s_a = 314,16$ cm, (obwód okręgu wynosi 251,33 cm), zaś dla słupa o przekroju elipsy $a = 40$ cm, $b = 0,8a = 32$ cm i $h = 30$ cm, obliczamy najpierw współczynnik.

$$k = \sqrt{\frac{40^2 - 32^2}{40^2 + 30^2}} = 0,48$$

Odpowiada to kątowi w podziale stopniowym 28,6854, którego sinus wynosi 0,48. Dla obliczonego k , wykorzystując tabelę 3, po wykonaniu interpolacji otrzymamy $E = 1,4760 \cdot (2E/\pi) = 0,93965$. Zatem długość jednego zwoju eliptycznego wyniesie $s_e = 314,159 \cdot 0,93965 = 295,20$ cm. Wykorzystanie wzoru (16) daje oczywiście ten sam wynik.

Warto zwrócić uwagę, że jeżeli $b \rightarrow 0$, to w granicy obwód zwoju bez uwzględnienia skoku ($h = 0$) wyniesie $4a$, co wynika także ze wzoru (16). Jeżeli uwzględnimy skok spirali h , przy $b \rightarrow 0$, to długość graniczna jednego pełnego zwoju wyniesie

$$2\sqrt{(2a)^2 + \left(\frac{h}{2}\right)^2} = \sqrt{16a^2 + h^2}.$$

Tab. 3. Wartość całki eliptycznej dla różnych wartości k

$\alpha^\circ k = \sin \alpha$	E	$2E/\pi$	$\alpha^\circ k = \sin \alpha$	E	$2E/\pi$	$\alpha^\circ k = \sin \alpha$	E	$2E/\pi$
0	1,5708	1,0000						
(15) 0,25882	1,5442	0,9831	(30) 0,50000	1,4675	0,4392	(45) 0,70711	1,3506	0,8598
(16) 0,27564	1,5405	0,9807	(31) 0,51504	1,4608	0,9300	(46) 0,71934	1,3418	0,8542
(17) 0,29237	1,5367	0,9783	(32) 0,52992	1,4539	0,9256	(47) 0,73135	1,3329	0,8486
(18) 0,30902	1,5326	0,9757	(33) 0,54464	1,4469	0,9211	(48) 0,74314	1,3238	0,8428
(19) 0,32557	1,5283	0,9729	(34) 0,55919	1,4397	0,9165	(49) 0,75471	1,3147	0,8370
(20) 0,34202	1,5238	0,9701	(35) 0,57358	1,4323	0,9118	(50) 0,76604	1,3055	0,8311
(21) 0,35837	1,5191	0,9671	(36) 0,58779	1,4248	0,9071	(51) 0,77715	1,2963	0,8253
(22) 0,37461	1,5141	0,9639	(37) 0,60182	1,4171	0,9022	(52) 0,78801	1,2870	0,8193
(23) 0,39073	1,5090	0,9607	(38) 0,61566	1,4092	0,8971	(53) 0,79864	1,2776	0,8133
(24) 0,40674	1,5037	0,9573	(39) 0,62932	1,4013	0,8921	(54) 0,80902	1,2681	0,8073
(25) 0,42262	1,4981	0,9537	(40) 0,64278	1,3931	0,8869	(55) 0,81915	1,2587	0,8013
(26) 0,43837	1,4924	0,9501	(41) 0,65606	1,3849	0,8817	(56) 0,82904	1,2492	0,7953
(27) 0,45990	1,4864	0,9463	(42) 0,66913	1,3765	0,8763	(57) 0,83867	1,2397	0,7892
(28) 0,46947	1,4803	0,9424	(43) 0,68200	1,3680	0,8709	(58) 0,84805	1,2301	0,7831
(29) 0,48481	1,4740	0,9384	(44) 0,69466	1,3594	0,8654	(59) 0,85717	1,2206	0,7771
(30) 0,50000	1,4675	0,9342	(45) 0,70711	1,3506	0,8598	(60) 0,86603	1,2111	0,7710

5. Podsumowanie

Obliczenia długości zbrojenia krzywoliniowego słupów można łatwo wyznaczyć stosując odpowiednie formuły matematyczne odpowiadające właściwej formie spirali. Oczywiście jest, że całkowita długość krzywoliniowej spirali w słupie, równa jest iloczynowi długości pojedynczego zwoju oraz ilości pełnych zwojów (przy założeniu braku resztovek). W powyższych rozważaniach pominięto zalecenia normowe dotyczące zbrojenia podłużnego i poprzecznego. Zgodnie z Eurokodem 2 – EN 1992-1-1:2008 *Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków*, pręty podłużne powinny mieć średnicę nie mniejszą niż zlecona w normie. Liczba prętów podłużnych w słupie o przekroju kołowym nie powinna być mniejsza od czterech, zaś średnica uzbrojenia poprzecznego nie powinna być mniejsza od 6 mm i od jednej czwartej maksymalnej średnicy prętów podłużnych. Skok linii śrubowej uzwojenia może spełniać warunki podane w normie PN-B-03624:2002 *Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone – obliczenia statyczne i projektowanie*. W normach technicznych strona obliczenia długości uzwojenia jest potraktowana dość ogólnikowo. Nierzadko spotykamy się z pytaniem jak należy je obliczyć samodzielnie. W tym świetle rozważania, przeprowadzone w jednolitym ujęciu, mogą być bardzo pomocne w praktyce.

Literatura

- Bronsztejn I. N., Siemiendajew K. A. (2015). *Matematyka, Poradnik matematyczny*. PWN, wyd. 20, Warszawa.
- Knauff M. (2012). *Obliczanie konstrukcji żelbetowych według Eurokodu 2*. PWN, Warszawa.
- Korzeniowski P. (2003). *Słupy uzwojone. Komentarz naukowy do PN-B-03264:2002, Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone, tom I*. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.
- Łapko A. (2003). *Projektowanie konstrukcji żelbetowych*. Wyd. Arkady, Warszawa.

CALCULATION OF THE WINDING LENGTH IN THE REINFORCED CONCRETE POLES

Abstract: The ways of calculating the length of the winding in the reinforced concrete poles with rectangular, circular and elliptical section were developed. This problem is quite generally described in literature and standard recommendations. The presented methods of calculation may be used in practice.

WPLYW ŚNIEGU NA NATURALNE POLE TEMPERATURY GRUNTU

Irena ICKIEWICZ*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Naturalne pole temperatury gruntu jest funkcją czasu i głębokości, występuje z dala od różnego rodzaju źródeł ciepła. Wpływ na naturalne pole temperatury mają wahania temperatury powietrza zewnętrznego i średnie temperatury roczne. Pomiarów pola temperatur w gruncie wykonywane przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMiGW) są prowadzone na otwartej przestrzeni, stąd też uzyskane w okresie zimy wyniki obarczone są błędem spowodowanym izolacją cieplną gruntu w postaci warstwy śniegu. Aby można było wykorzystać ogromny zasób danych dotyczących rozkładu temperatury w gruncie (w tym głębokości przemarzania gruntu) będących w zasobach IMiGW, należałoby ocenić wpływ zmiennej izolacji termicznej w postaci warstwy śniegu na otrzymane z pomiarów wartości. Próbę takiej oceny zamieszczono w niniejszym referacie.

Słowa kluczowe: naturalne pole temperatury w gruncie, izolacja termiczna gruntu, głębokość przemarzania.

1. Wprowadzenie

Naturalne pole temperatury gruntu jest funkcją czasu i głębokości, występuje z dala od różnego rodzaju źródeł ciepła takich jak przykładowo budynki, linie wysokich napięć, kanalizacja, rurociągi, magistrale ciepłownicze.

Wpływ na naturalne pole temperatury mają wahania temperatury powietrza zewnętrznego i średnie temperatury roczne. Stąd pod powierzchnią ziemi można wyróżnić 3 zasadnicze strefy: strefa wahań dobowych do głębokości 0,8-1,0m, wahań sezonowych do głębokości 5-8 m i wahań rocznych do głębokości 15-20 m. W strefie wahań dobowych naturalne pole temperatury gruntu zależy również od rodzaju pokrycia jego powierzchni, na przykład trawnik, płyty betonowe, a w okresie zimy śnieg.

Pomiary wartości temperatur w strefie wahań dobowych, najczęściej na głębokościach 5, 10, 20, 50 i 100 cm wykonują stacje meteorologiczne Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMiGW). Pomiarów te wykonywane są na otwartej przestrzeni, stąd w okresie zimy uzyskane wyniki dotyczą rozkładu temperatur w gruncie ze „zmienną” izolacją cieplną w postaci warstwy śniegu.

2. Analiza wpływu grubości śniegu na rozkład temperatury w gruncie

Aby dane wartości temperatur w gruncie uzyskane z pomiarów bezpośrednich wykonywanych przez IMiGW można było wykorzystywać do innych celów, na przykład

prognozowania głębokości przemarzania gruntu, ale bez warstwy izolacji w postaci śniegu, należałoby określić wpływ tej warstwy albo jej braku na otrzymany wynik.

Do przeprowadzenia analizy wpływu pokrywy śnieżnej na rozkład temperatury w gruncie w pięciu punktach pomiarowych, wybrano trzy zimy charakteryzujące się wysokim wskaźnikiem mrozowym F_d i zróżnicowanymi opadami śniegu. Dane IMiGW przyjęto dla miasta Białystok (temperatury oraz grubości warstwy śniegu w funkcji czasu). Były to zimy:

- 1986/1987 o $F_d = 765$ stopniodni,
- 1995/1996 o $F_d = 787$ stopniodni,
- 2005/2006 o $F_d = 601$ stopniodni.

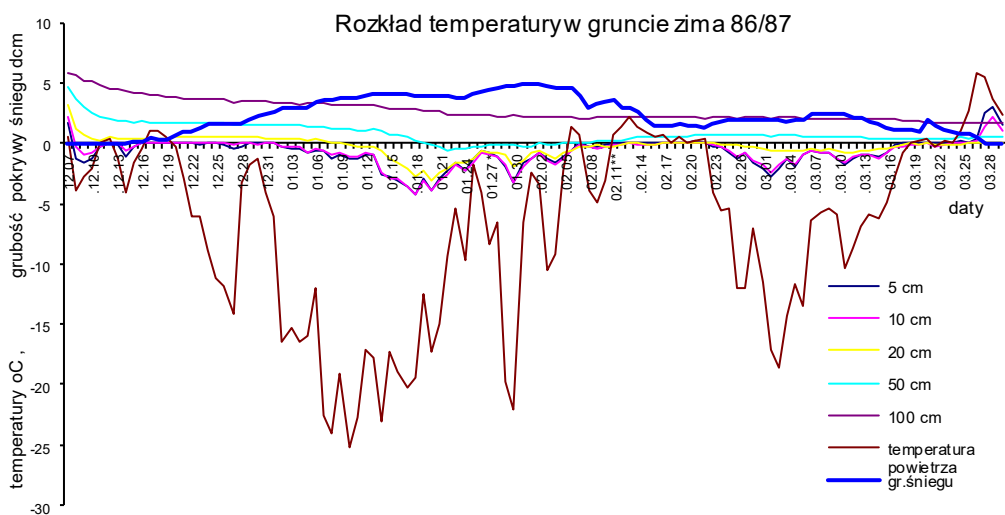
Wartości temperatur oraz grubości pokrywy śnieżnej dla zim 1985/1986, 1995/1996 i 2005/2006 pokazano na wykresie rysunkach 1, 2 i 3.

Wartości średnie temperatur w poszczególnych punktach pomiarowych 1-5, z okresów od pierwszego dnia z opadami do dnia z najniższą temperaturą, dla wybranych dni, zestawiono w tabeli 1.

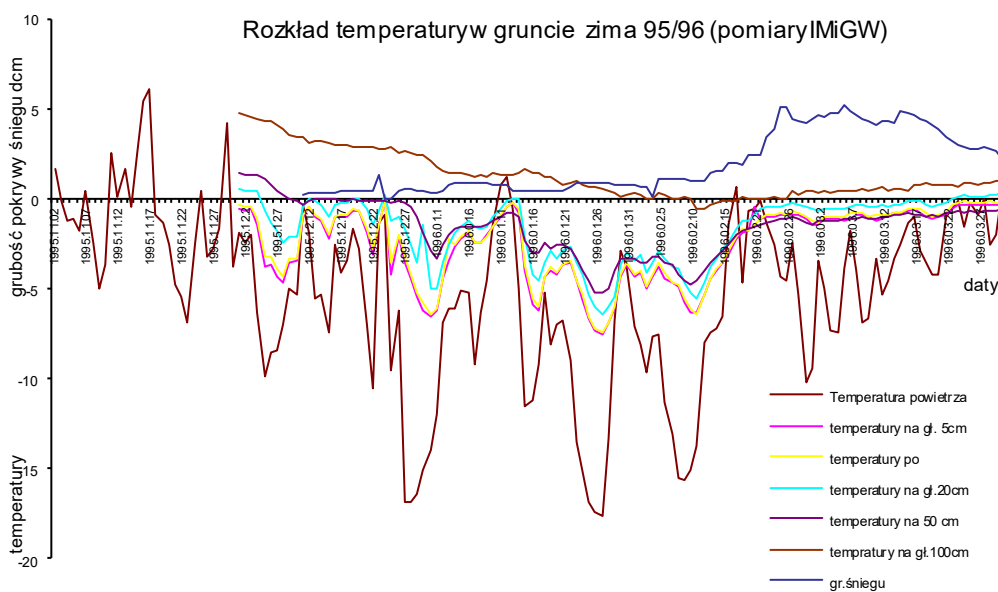
2.1. Obliczenia rozkładu temperatury w gruncie z uwzględnieniem i bez uwzględnienia warstwy śniegu

Obliczenie rozkładu temperatur w gruncie w okresie zimy wykonano korzystając za pomocą programu numerycznego HEAT 2. Program HEAT2 służy do obliczania dwu-wymiarowych zadań zarówno w stanie ustalonym, jak i przejściowym. Program ten został stworzony pod kątem rozwiązania zadań związanych z fizyką budowli, w tym obliczania pól temperatur (Blomberg, 2000 i 2001).

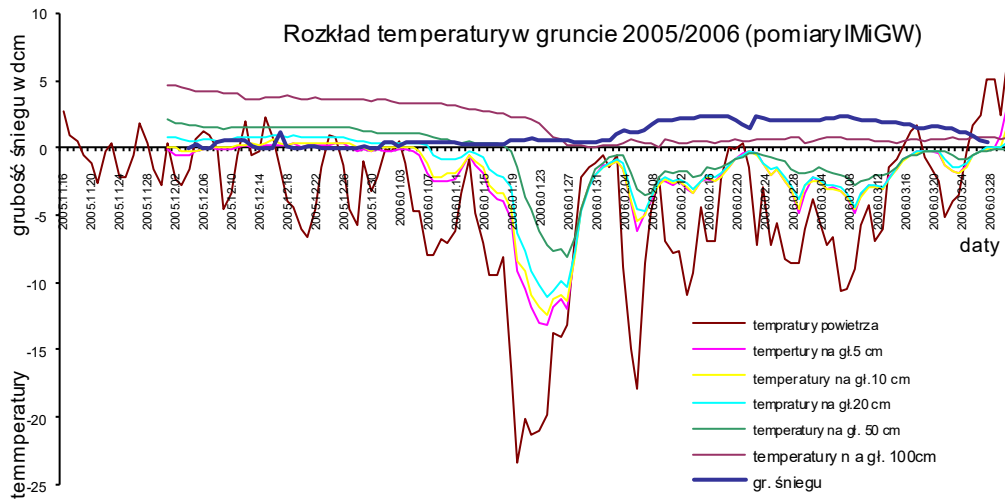
* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: i.ickiewicz@pb.edu.pl



Rys. 1. Rozkłady temperatury powietrza zewnętrznego dla zimy 1986/1987 oraz temperatur w gruncie na 5 głębokościach (5, 10, 20, 50, 100 cm) + grubość pokrywy śniegu



Rys. 2. Rozkłady temperatury powietrza zewnętrznego dla zimy 1995/1996 oraz temperatur w gruncie na 5 głębokościach (5, 10, 20, 50, 100 cm) + grubość pokrywy śniegu



Rys. 3. Rozkład temperatury powietrza zewnętrznego dla zimy 2005/2006 oraz temperatura w gruncie na 5 głębokościach (5, 10, 20, 50, 100 cm) + grubość pokrywy śniegu

Tab. 1. Wartości temperatur w 5 punktach pomiarowych temperatur w gruncie oraz grubości warstwy śniegu według IMiGW-Białystok

Zimy	Minimalne temperatury w gruncie na głębokości [cm]					F _d [stopnio- dni]	Średnia grubość śniegu [cm]	Dni ze śniegiem	Dni z najniższą temperaturą
	5	10	20	50	100				
1986/1987 F _d = 765	-2,2	-2,2	-1,5	-0,4	2,4	486	26,5	41	24.01.87
	-3,2	-3,2	-1,9	-0,1	2,4	548	28,9	47	30.01.87
	0,0	-0,1	-0,2	0,3	2,2	594	31,8	59	11.02.87
	0,2	0,1	-0,1	0,5	1,8	765	25,2	105	25.03.87
1995/1996 F _d = 787	-5,7	-5,3	-4,2	-4,0	0,8	428	7,4	44	24. 01.96
	-3,2	-4,2	-3,7	-3,3	0,1	503	7,5	50	30. 01.96
	-6,3	-6,4	-5,5	-4,5	-0,5	624	7,9	62	11.02.96
	-0,3	-0,1	0,3	-0,6	1,0	787	19,9	110	30.03.96
2005/2006 F _d = 601	-13,2	-12,5	-11,1	-7,3	1,2	276	4,1	34	24.01.06
	-2,7	-2,8	-2,9	-2,7	0	327	4,3	40	30.01.06
	-2,7	-2,6	-2,4	-1,8	0,5	403	6,3	52	11.02.06
	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	601	12,0	96	29.03.06

Podstawowe równanie różniczkowe opisujące przewodzenie ciepła w dwóch kierunkach w funkcji temperatury $T(x,y,t)$ wykorzystane w programie HEAT2 ma postać:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial x} \right) + I(x, y, t) = C \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

gdzie: I jest to „wskaźnik” wewnętrznych źródeł ciepła w W/m^3 , λ_x i λ_y są to odpowiednio przewodność cieplna na kierunku x i y w W/mK , a C jest objętościową pojemnością cieplną w J/m^3K .

Warunki graniczne (brzegowe i początkowe) w przypadku dwu- i trój- kierunkowego przepływu ciepła są niezmiennie. Mogą być one stosowane dla powierzchni granicznych (b.s.) (Hagentoft, 1988; Ickiewicz, 2004). Warunki te przedstawiono poniżej:

Warunek brzegowy uwzględnia temperaturę otoczenia $T_{b,s}(t)$ oraz opór powierzchni R [m^2K/W].

$$T_{b,s}(t) - T|_{surf} = R \cdot (-\lambda) \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{surf} \quad (2)$$

gdzie $\partial T / \partial n$ jest pochodną w normalnym kierunku.

Warunek początkowy określono jako rozkład temperatury w czasie $t = t_{start}$ w dwóch kierunkach jako $T(x, y, t_{start})$.

Dane do obliczeń:

- średnia grubość pokrywy śniegu 24,7 cm utrzymująca się przez okres 108 dni (zima 1986/1987);
- współczynnika przewodzenia ciepła śniegu $\lambda = 0,2$ W/mK (wartość uśredniona) według EN 12524:2000 *Obliczeniowe wartości współczynników przewodzenia ciepła*;

– średnie temperatury powietrza – zima 1986/1987 według danych IMiGW.

Wyniki obliczeń, jak i dane z pomiarów bezpośrednich, pokazano na wykresach (rys. 4-6) oraz tabeli 2.

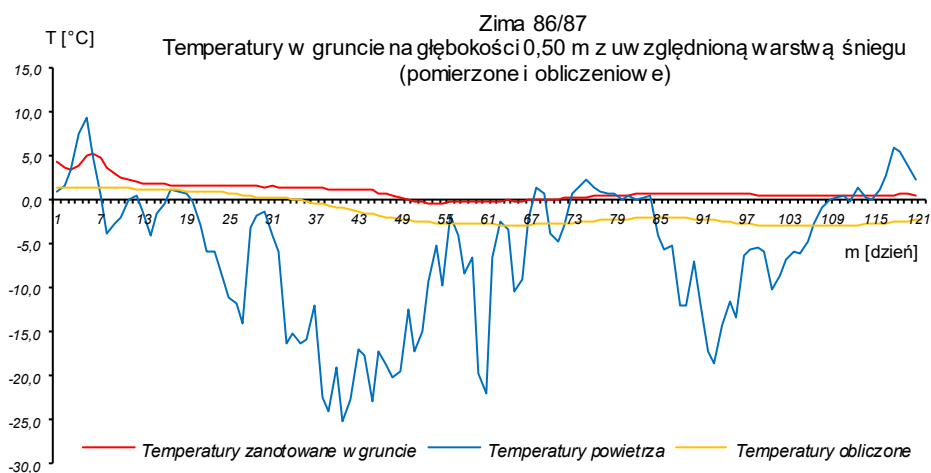
Tab. 2. Zestawienie temperatur obliczeniowych w gruncie na zadanych głębokościach z dnia 27.12.1987, wykonane przy wspomaganium numerycznym programem HEAT 2 5.01

Głębokości, na których wykonywano pomiary	Pomierzone temperatury w gruncie	Obliczeniowe temperatury w gruncie bez warstwy śniegu	Obliczeniowe temperatury w gruncie z warstwą śniegu*
5 cm	-0,4	-10,0	0,59
10 cm	-0,1	-7,90	-0,15
20 cm	0,5	-5,10	0,58
50 cm	1,6	-0,90	1,80
100 cm	3,4	1,60	2,80

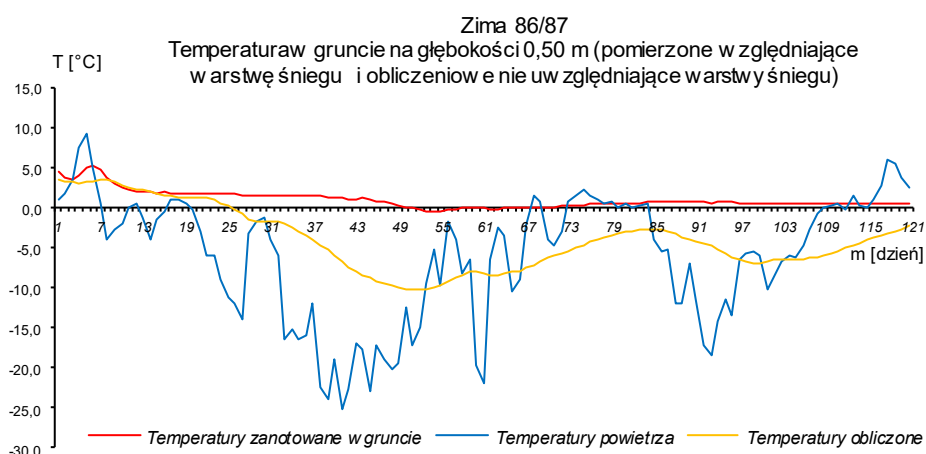
* średnia grubość pokrywy śniegu do 27.12.87 wynosiła 10 cm

3. Analiza otrzymanych wyników

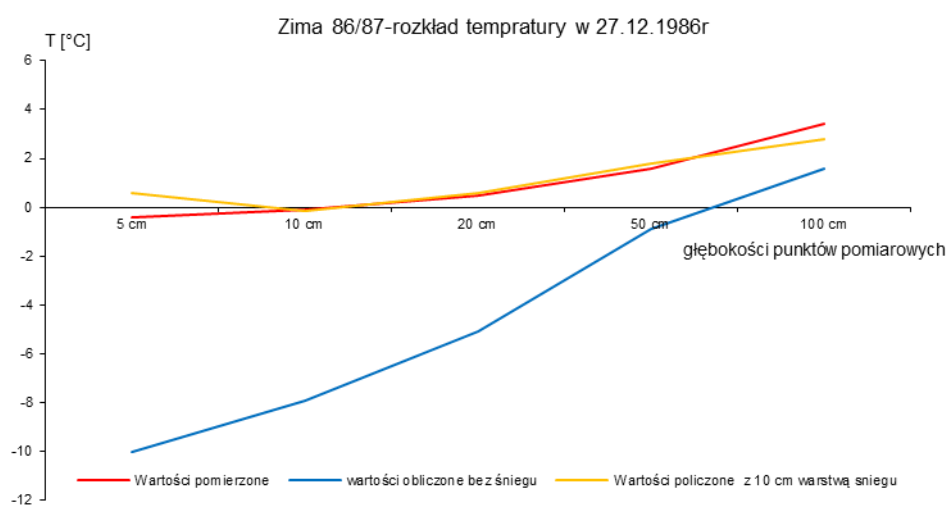
Analizując zestawione w tabelach 1 i 2 oraz na wykresach (rys. 1-5) wartości temperatur w zamrażających gruntach na różnych głębokościach, uzyskane z pomiarów bezpośrednich, jak i z obliczeń można stwierdzić, że grubość pokrywy śnieżnej ma istotny wpływ na wartość tych temperatur zwłaszcza w strefie wahań dobowych (od 0,8 do 1,0 m).



Rys. 4. Pomierzone (dane IMiGW) i obliczeniowe (HEAT2) wartości temperatur w gruncie na głębokości 50 cm z uwzględnioną warstwą śniegu



Rys. 5. Pomierzone (dane IMiGW) i obliczeniowe (HEAT2) wartości temperatur w gruncie na głębokości 50 cm bez uwzględnionej warstwy śniegu



Rys. 6. Wartości obliczeniowe (HEAT 2) i pomierzone (IMiGW) temperatur na głębokości 5, 10, 20, 50 i 100cm z uwzględnieniem i bez uwzględnienia warstwy śniegu

Tab. 3. Porównanie najniższych wartości temperatur na głębokości 50 cm dla 3 wybranych zim

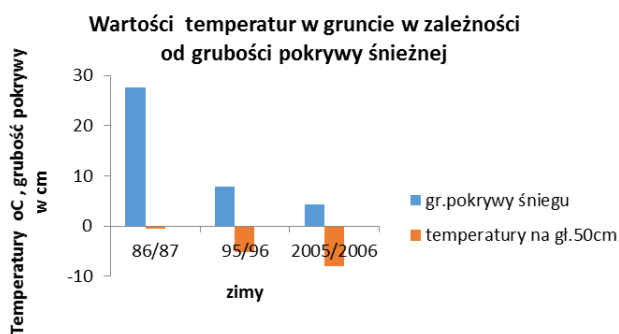
Zima	Wskaźnik mrozowy F_d		Średnia grubość śniegu	Ilość dni z pokrywą śniegu	Najniższa temperatura na głębokości [°C]	
	do 27.01.06	maksymalny			50 cm	100 cm
1986/1987	500	657	24,7 (27,6)*	108 (44)**	-0,5	1,8
1995/1996	480	787	19,9 (7,9)*	110 (48)**	-5,2	0,0
2005/2006	317	601	12,3 (4,3)*	97 (38)**	-8,1	0,0

Objaśnienia: * grubości średniej pokrywy śniegu do dnia najniższych temperatur jakie wystąpiły w czasie zimy,

** liczba dni do dnia najniższych temperatur jakie wystąpiły w czasie zimy.

Na podstawie danych zamieszczonych w tabeli 3 stwierdzono, że podczas zim o podobnych wskaźnikach mrozowych: 1986/1987 ($F_d = 765$), 1995/1996 ($F_d = 787$) i 2005/2006 ($F_d = 601$), najniższe temperatury w gruntach na głębokości 50 cm różniły się radykalnie. Podobnie grubości pokrywy śnieżnej dla 3 analizowanych zim różniły się znacznie, przykładowo dla zimy 1986/1987 przy średniej grubości pokrywy śnieżnej wynoszącej 27,6 cm temperatura minimalna na głębokości 50 cm wynosiła $-0,5^{\circ}\text{C}$, natomiast dla zimy 2005/2006 przy średniej grubości pokrywy śniegu 4,3 cm (6,5 krotnie mniejszej) temperatura w gruncie na tej samej głębokości wynosiła $-8,1^{\circ}\text{C}$ (16-krotnie niższa). Tak duże rozbieżności w wyników potwierdzają wcześniejsze spostrzeżenia o znaczącym wpływie warstwy śniegu na rozkład temperatury.

Otrzymane wyniki z obliczeń numerycznych (HEAT2) pokazane na rysunkach 4-7, dają dobrą zgodność z wartościami otrzymanymi z pomiarów bezpośrednimi wykonanymi przez IMiGW.



Rys. 7. Wartości najniższych temperatur w gruncie na głębokości 50 cm dla 3 zim

Wyniki rozkładu temperatury zamieszczone na rysunku 5 na głębokości 50 cm dla zimy 1986/1987 (śnieżnej) otrzymane z obliczeń numerycznych są średnio o $3,0^{\circ}\text{C}$ niższe w stosunku do wyników z pomiarów bezpośrednich. Przyczyną rozbieżności otrzymanych wyników jest przyjęcie stałej (uśrednionej) grubości pokrywy śniegu dla całej zimy. Zima ta charakteryzowała dużą ilością opadów śniegu. Już po 10 dniach występowania temperatur ujemnych warstwa śniegu zaczęła szybko zwiększać swoją grubość i po kolejnych 7 dniach wynosiła już 40 cm. Niestety program nie posiada opcji wprowadzanie zmiennej grubości izolacji termicznej (w funkcji czasu). Z logicznego punktu

widzenia jest to uzasadnione.

Za poprawnym działaniem programu HEAT 2 świadczy fakt, że w przypadku braku izolacji (pierwsze kilka dni zimy) wykresy temperatur obliczeniowych i pomierzonych pokrywają się (rys. 4).

W celu sprawdzenia czy rzeczywiście uśrednienie grubości pokrywy śnieżnej z całej zimy (rys. 4) miało wpływ na wynik, przeprowadzono dodatkowe obliczenia przy przyjęciu średniej grubości pokrywy śniegu dla małego okresu czasu (w pierwszym miesiącu). Wyniki zestawiono w tabeli 2 oraz na rysunku 6. Z analizy otrzymanych wyników można stwierdzić dużo większą zgodność (na wszystkich głębokościach) niż w przypadku obliczeń ze średnią grubością pokrywy ze znacznie większego okresu czasu (3 miesiące).

Wyniki rozkładu temperatury na głębokości 50 cm otrzymane z obliczeń numerycznych zamieszczone na rysunku 3 można uważać za poprawne. Podobne wartości otrzymano z pomiarów bezpośrednich dla prawie bezśnieżnej zimy 2005/2006 o podobnym wskaźniku stopniodni temperatur ujemnych (F_d).

Otrzymane z obliczeń numerycznych wyniki rozkładu temperatury w gruncie bez pokrywy śniegu dają możliwość oszacowania „inżynierskiego” jakie mogą być temperatury w gruncie na poszczególnych głębokościach. Uzyskane w ten sposób dane pozwalają między innymi na oszacowanie głębokości przemarzania gruntu w konkretnych warunkach pogodowych, ale bez warstwy śniegu.

4. Podsumowanie i wnioski

Dane na temat rozkładu temperatur na wybranych głębokościach, uzyskane z pomiarów bezpośrednich wykonywanych przez IMiGW, uwzględniają grubość pokrywy śniegu zmienną w czasie.

Wyników „obarczonych” zmienną izolacją cieplną w postaci warstwy śniegu w żaden sposób nie można uzależniać tylko od stopniodni temperatur ujemnych panujących w czasie analizowanej zimy (na przykład z 50-letnim okresem powrotu).

Aby można było wykorzystać ogromy zasób danych, dotyczących rozkładu temperatury wykonywanych przez IMiGW do oceny maksymalnej głębokości przemarzania gruntów, należałoby ocenić wpływ zmiennej izolacji termicznej w postaci warstwy śniegu na rozkład temperatury w gruncie. Próbę takiej oceny zamieszczone

w niniejszym artykule.

Otrzymane wyniki rozkładu temperatury w gruncie zarówno z pomiarów bezpośrednich, jak i wartości obliczeniowych, umożliwiają taką ocenę dla konkretnej zimy.

Niestety przy tak nieprzewidywalnych zmiennych losowych, jak: grubość warstwy śniegu, czas utrzymywania się tej warstwy, odwilże (wpływające na „puszystość” warstwy śniegu, a tym samym na współczynnik przewodzenia ciepła λ), czy nasłonecznienie, jest praktycznie niemożliwe uogólnienie określenia wpływu zmiennej warstwy śniegu na rozkład temperatury (na przykład w postaci współczynnika czy w jakiegokolwiek innej formie). Jedynie dane z pomiarów bezpośrednich pozwalają na bezpośrednią ocenę wpływu warstwy śniegu na rozkład temperatury w gruncie dla konkretnej zimy.

W przypadku obliczeń przy pomocy programu HEAT 2, otrzymane wyniki rozkładu temperatury, zweryfikowane doświadczalnie, potwierdzają poprawność działania programu do tego typu zadań. Jednak program powinien zawierać dodatkową opcję ze zmienną w czasie izolacją termiczną (warstwą śniegu). Uzyskane w ten sposób wyniki dałyby większą zgodność z wartościami rzeczywistymi.

Literatura

- Blomberg T. (2000). HEAT 2. A PC-program for heat transfer in two dimensions. Manual with brief theory and examples. *Lund-Gothenburg Group for Computational Building Physics*, Lund University and MIT, Lund.
- Blomberg T. (2001). HEAT 3. A PC-program for heat transfer in three dimensions. *Lund-Gothenburg Group for Computational Building Physics*, Lund University and MIT, Lund.
- Hagentoft C.-E. (1988). Heat loss to the ground from a building slab on the ground and cellar. *Department of Building Technology*, Raport TVBH-1004, Lund Institute of Technology, Lund.
- Ickiewicz I. (2004). Analiza możliwości obliczeń rozkładu temperatury w gruncie w otoczeniu budynku przy pomocy programów numerycznych. *Materiały konferencyjne VII Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej Energodom 2004*, Kraków, 129-136.

IMPACT OF SNOW ON THE NATURAL TEMPERATURE FIELD IN THE SUBSOIL

Abstract: Natural temperature field in the subsoil is a function of time and depth, it occurs away from various sorts of heat sources. Fluctuations of the outside air temperature and the average annual temperature have an impact on the natural temperature field. Measurements of the temperature field in the soil carried out by the IMiGW are conducted in an open area, hence results gained in winter are subject to error due to the thermal insulation of soil in the form of a layer of snow. To be able to use the huge amount of data on the temperature distribution in the subsoil (including the depth of frost penetration) held in IMiGW resources, we should assess the impact of the variable thermal insulation in the form of a layer of snow on the values obtained from the measurements. An attempt of such an assessment is described in this paper.

ANALIZA AKUSTYCZNA STROPÓW DREWNIANYCH W TECHNOLOGII MODUŁÓW PREFABRYKOWANYCH

Emilia POGORZELSKA*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Artykuł dotyczy izolacyjności akustycznej stropu drewnianego wykonanego w technologii modułów prefabrykowanych. Przeprowadzono badania terenowe izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych i uderzeniowych stropu w trzech wariantach materiałowych: z zastosowaniem dwóch typów podkładek elastomerowych oraz przy braku podkładek akustycznych. Celem badań był wybór rozwiązania najbardziej korzystnego pod względem izolacyjności akustycznej. Do przeprowadzenia badań terenowych zastosowano metody określone w polskich normach. Otrzymane wartości wskaźników jednoliczbowych izolacyjności akustycznej porównano z wartościami granicznymi określonymi w normach norweskich (docelowy kraj montażu budynku). Wyniki analiz wskazały na poprawę warunków akustycznych w przypadku braku zastosowania w konstrukcji stropu tłumiących podkładek elastomerowych.

Słowa kluczowe: izolacyjność akustyczna stropów, budynki drewniane modułowe.

1. Wprowadzenie

Klimat akustyczny wewnątrz, który oznacza szereg uwarunkowań dźwiękowych występujących w pomieszczeniach, z biegiem lat staje się coraz bardziej istotnym elementem wpływającym na komfort mieszkańców. Ma na to wpływ rosnąca świadomość ludzi na temat wymagań akustycznych, spowodowana narastającym i wszechobecnym hałasem docierającym do mieszkań. Wraz ze wzrostem cen lokali, rosną również wymagania klientów – przyszłych użytkowników, którzy poza trwałością konstrukcji oczekują komfortu przebywania w mieszkaniu.

Kształtowanie odpowiednich warunków akustycznych jest niezwykle ważne nie tylko ze względów zdrowotnych, lecz również stanowi wyzwanie w obliczu idei zrównoważonego rozwoju budownictwa. Zrównoważony rozwój zakłada tanie i szybko dostępne budownictwo mieszkaniowe, które realizowane jest poprzez stosowanie lekkich konstrukcji i lekkich elementów, umożliwiających zastosowanie zmian w zależności od potrzeb użytkowników. Tego typu indywidualne rozwiązania, są pod względem akustycznym znacznie trudniejsze, od stosowanych w budynkach masywnych. Lekkie połączenia stają się miejscem powstawania trudnych do wyeliminowania mostków akustycznych. Większe znaczenie mają w tym przypadku szczegóły konstrukcyjne oraz właściwe wykonanie elementów.

Konstrukcje drewniane niejednokrotnie stają się „wyzwaniem” dla projektantów pod względem zapewnienia wymaganych warunków akustycznych.

Jest to spowodowane charakterystyczną sztywnością materiału jakim jest drewno oraz ciągłą jego pracą w obiekcie. Konieczne jest precyzyjne wykonanie każdego elementu oraz właściwy dobór materiałów dźwiękoizolacyjnych, aby ustrzec strop drewniany przed skrzypieniem, dudnieniem czy nadmiernym przenoszeniem hałasów bytowych, na które bardzo często uskarżają się mieszkańcy domów drewnianych. Wyniki badań izolacyjności akustycznej przegród budynków drewnianych są obszernie opisane w publikacji Nitki (2013). Autor przedstawia różnorodne warianty budowy przegród o konstrukcji szkieletu drewnianego oraz odpowiadające im parametry izolacyjności dźwiękowej.

Stosunkowo nową technologią budownictwa drewnianego, jest budowa prefabrykowanych konstrukcji modułowych. Jest to system stosowany głównie w krajach skandynawskich, jednak „fabryki domów” z drewna znajdują się też w Polsce. W jednej z takich firm przeprowadzono analizę rozwiązań materiałowych stropu międzykondygnacyjnego oraz stropu ostatniej kondygnacji, pełniącego funkcję tarasu. Firma realizuje swoje obiekty mieszkalne głównie na rynku skandynawskim. Z tego względu ważne jest spełnienie przez przegrody przede wszystkim wymagań akustycznych stawianych w docelowym miejscu montażu konstrukcji, obecnie głównie w Norwegii (Pogorzelska, 2015).

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: emilia.pogorzelska72@gmail.com

2. Stropy drewniane o konstrukcji modułowej

2.1. Strop pomiędzy mieszkaniami

Wspomniane moduły składają się z paneli wytwarzanych w hali przemysłowej przez nowoczesne maszyny sterowane komputerowo. Panelami są prefabrykowane ściany, stropy oraz dachy, z wbudowaną stolarką okienną i drzwiową, wykończoną elewacją oraz wnętrzem przygotowanym pod malowanie lub tapetowanie. Wymiary pojedynczego modułu dochodzą do 14 m długości i 4,2 m szerokości, mogą więc tworzyć pojedyncze mieszkanie. Wykończenie wewnętrzne modułu w hali produkcyjnej zależy od preferencji zamawiającego, możliwe jest też wykończenie „pod klucz” z meblami łazienkowymi, kuchennymi i oświetleniem.

Konstrukcja przegród, a więc i stropów, opiera się na szkieletie drewnianym wypełnionym wełną mineralną. Szczegół połączenia modułów przy ścianie zewnętrznej wraz z opisem budowy stropu przedstawia rysunek 1.

Przekrój stropu (rys. 1) złożony jest z dwóch części: górną część należy do stropu dolnego i podłogi modułu wyższej kondygnacji, zaś dolna część przekroju opisuje układ warstw sufitowych oraz stropu górnego kondygnacji niższej. Konstrukcję nośną części górnej tworzą belki drewniane o przekroju teowym i wysokości 300 mm. W części dolnej funkcję tę pełnią belki o przekroju prostokątnym o wysokości 150 mm, w rozstawie co 450 mm. Przestrzeń między belkami oraz pomiędzy modułami wypełnia wełna mineralna o łącznej grubości 530 mm. Cały strop ma wysokość około 700 mm w zależności od zastosowanej konstrukcji podłogowej, która jest różna dla pomieszczeń „mokrych”, takich jak kuchnie i łazienki. Różnica ta wynika z konieczności zastosowania w tych pomieszczeniach płytek ceramicznych jako wierzchniej warstwy podłogowej,

ułożonych na warstwie kleju oraz odizolowanych folią PE od płyt drewnopochodnych. W pomieszczeniach „suchych” (salon, sypialnia) na płytach Fermacell (gipsowo-włóknowych) układana jest bezpośrednio wierzchnia warstwa – panele lub parkiet.

Na rysunku 1 oznaczono miejsce występowania podkładki akustycznej na połączeniu modułu dolnego i górnego. W ramach badań izolacyjności akustycznej stropu, w miejsce podkładki zastosowano dwa rodzaje podkładki elastomerowej oraz jako trzeci wariant – strop bez podkładki akustycznej.

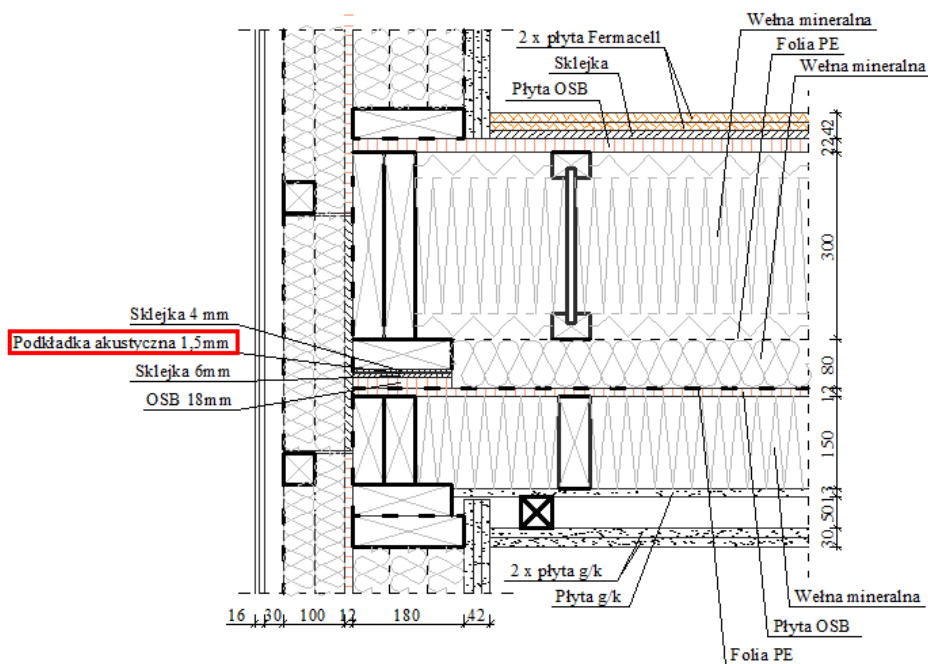
2.2. Poddane badaniom podkładki akustyczne

Pierwszy wariant materiałowy stropu drewnianego poddane badaniom izolacyjności akustycznej, przewiduje zastosowanie przekładki tłumiącej dźwięki. W badaniach wykorzystano przekładkę elastomerową typu SD produkowaną przez BETOMAX Polska SA.

Jest to niezbrojona, jednorodna podkładka profilowana, przeznaczona głównie do elementów prefabrykowanych oraz izolacji akustycznej biegów schodowych, podestów, łączników oraz pomostów łączących. Produkowana jest w formie ryflowanych pasów i dostarczana na budowę w rolkach, które pokazane są na rysunku 2.



Rys. 2. Podkładka Typu SD: a) ryflowane pasy, b) zwoje



Rys. 1. Szczegół połączenia modułów

Rolki mają standardową długość 10 mb i szerokość 200 mm. Posiadają nacięcia, które umożliwiają odrywanie pasów o szerokości 50, 100 lub 150 mm, co znacznie ułatwia ułożenie podkładki.

Podkładka typu SD ogranicza przenoszenie dźwięków uderzeniowych pomiędzy elementami konstrukcyjnymi. Ze względu na swoją sprężystość, bardzo dobrze tłumi drgania w budynku. Dodatkową zaletą podkładki SD jest zdolność do przenoszenia obciążeń o wartości do 10 N/mm^2 oraz odkształceń nie przekraczających 4 mm (przy grubości przekładki równej 10 mm) lub 2 mm (dla przekładki grubości 5 mm). Przekładka chroni krawędzie materiałów, przy których jest wbudowana, przed uszkodzeniami (Karta produktu, 2014a).

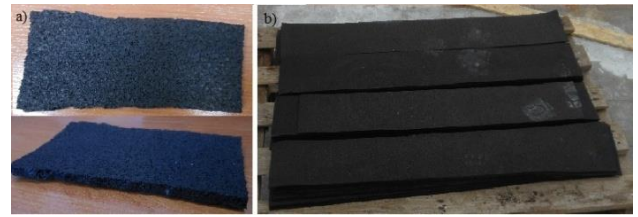
W drugim wariancie badań izolacyjności akustycznej stropu wykorzystano podkładkę elastomerową wyrównującą. Była to podkładka niezbrojona Typu R5, której producentem również jest BETOMAX Polska S.A.

Podkładka Typu R5 wykonana jest z elastomeru, czyli kompozytu poliuretanowo-gumowego z obiema powierzchniami gładkimi. Może być stosowana w miejscach nie narażonych na wpływ warunków pogodowych oraz promieni nadfioletowych. Ten typ przeznaczony jest do stosowania w konstrukcjach prefabrykowanych, gdzie nie występują procesy mokre. Główną funkcją podkładki jest wyrównanie powierzchni oraz przeniesienie obciążeń pod belkami, stropami, podciągami, dźwigarami i innymi elementami wymagającymi elastycznego podparcia, ułożonego w linii ciągłej lub punktowo. Znajdują one zastosowanie w budynkach budownictwa ogólnego oraz konstrukcjach przemysłowych (Karta produktu, 2014b).

Podkładki wytwarzane są w kształcie płytek kwadratowych, prostokątnych lub okrągłych z otworami lub bez. Możliwe jest również wykonanie podkładek liniowych. Dostępne są cztery ich grubości: 5 mm, 10 mm, 15 mm i 20 mm.

W badaniach wykorzystano pasma podkładki o grubości 5 mm, szerokości 18 cm oraz długości 1,00 m. Są one układane liniowo na obwodzie pomiędzy

modułami o konstrukcji drewnianej. Próbkę materiału oraz zastosowane pasma przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Podkładka elastomerowa Typu R5: a) próbka materiału, b) zastosowane pasma podkładki

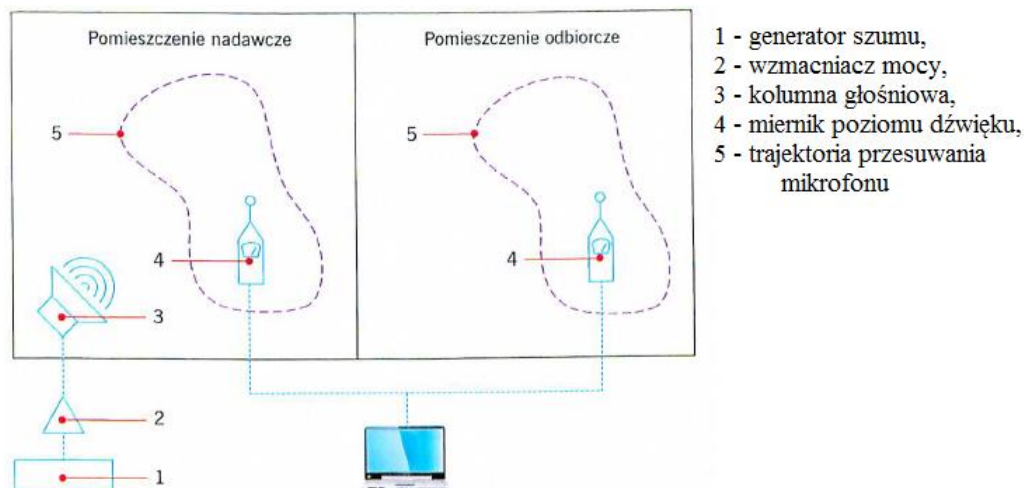
Producent podkładki elastomerowej Typu R5 nie przedstawia parametrów jej izolacyjności akustycznej oraz wpływu na ograniczenie przenoszenia dźwięków w pomieszczeniach. Element ten zastosowano w stropie ze względów konstrukcyjnych.

Trzecim wariantem badań stropu międzykondygnacyjnego była konstrukcja bez podkładki akustycznej. Zdecydowano o zbadaniu izolacyjności dźwiękowej stropu bez podkładek tłumiących w celach porównawczych oraz jako punkt odniesienia do pozostałych wariantów.

3. Opis przebiegu badań izolacyjności akustycznej

3.1. Badanie izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych

Procedurę przeprowadzania badań terenowych izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych reguluje norma PN-EN ISO 16283-1:2014-05 *Akustyka – Pomiarы terenowe izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych*. Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono obrazowo na rysunku 4.



Rys. 4. Układ pomiarowy przy pomiarach izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych (Gil, 2015)

Po wykonanych pomiarach dane z miernika przesyłane były do komputera. Obliczony został uśredniony poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu nadawczym (L_1) oraz odbiorczym (L_2). Różnica między L_1 a L_2 , oznacza jaka część hałasu została pochłonięta przez przegrodę. Należy również uwzględnić pole powierzchni przegrody oraz warunki akustyczne w pomieszczeniu odbiorczym, co pozwoli na dokładne określenie wyniku badań. W badaniach terenowych, w przeciwieństwie do badań laboratoryjnych, nie jest możliwe wyeliminowanie przenoszenia bocznego dźwięków, dlatego pozwalają one na określenie izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej R'_w , obliczanej zgodnie ze wzorem podanym w pozycji (Budownictwo ogólne, 2008):

$$R'_w = L_1 - L_2 + \frac{10 \lg S}{A} \quad (1)$$

gdzie: S jest powierzchnią przegrody w m^2 , a A jest równoważnym polem powierzchni dźwiękochłonnej pomieszczenia po stronie odbiorczej w m^2 .

3.2. Badanie izolacyjności akustycznej od dźwięków uderzeniowych

Procedurę badań terenowych izolacyjności akustycznej od dźwięków uderzeniowych reguluje norma PN-EN ISO 140-7:2000 *Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiar terenowy izolacyjności od dźwięków uderzeniowych stropów*.

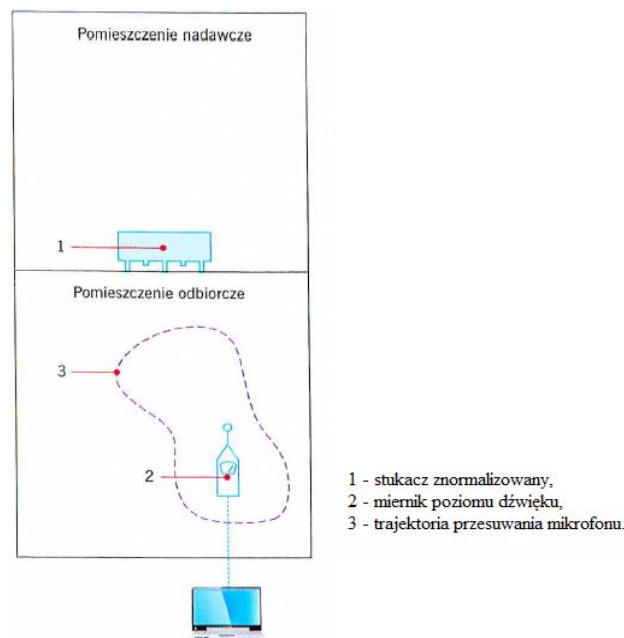
Badanie to polega na pomiarze poziomu ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym podczas pracy znormalizowanego stukacza. Stukacz wyposażony jest w pięć odważników, które uderzając kolejno o przegrodę z ustaloną prędkością, wywołują energię akustyczną wchodzącą bezpośrednio w strop, dlatego poziom dźwięku w pomieszczeniu nadawczym nie odgrywa ważnej roli. Ważne jest, aby podczas badania stropów drewnianych, stukacz ustawić pod kątem 45° do kierunku ułożenia belek, aby uniknąć zjawiska rezonansu (Gil, 2015; PN-EN ISO 140-7:2000). Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 5.

Wynikiem pomiarów izolacyjności akustycznej od dźwięków uderzeniowych jest znormalizowany poziom uderzeniowy L'_n wyrażany wzorem (Budownictwo ogólne, 2008):

$$L'_{n,w} = L_i + \frac{10 \lg A}{A_0} \quad (2)$$

gdzie: L_i jest poziomem średniego ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3 oktaowych w pomieszczeniu odbiorczym w dB, A jest równoważnym polem powierzchni dźwiękochłonnej pomieszczenia po stronie odbiorczej, w m^2 , a A_0 jest polem powierzchni dźwiękochłonnej odniesienia, przyjmuje się $A_0 = 10 m^2$.

Otrzymane wartości dla częstotliwości pomiarowych 100-3150 Hz powinny być podane z dokładnością do jednego miejsca po przecinku.



Rys. 5. Schemat układu pomiarowego do badania izolacyjności akustycznej od dźwięków uderzeniowych (Gil, 2015)

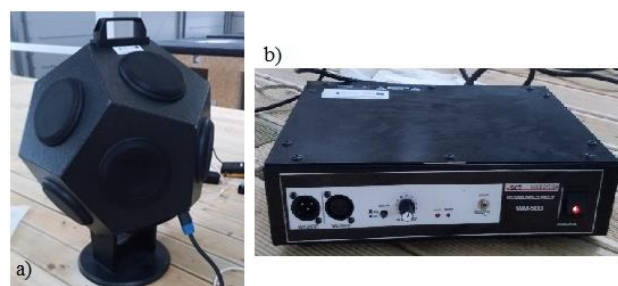
3.3. Sprzęt pomiarowy

Do przeprowadzenia pomiarów izolacyjności akustycznej wykorzystano całkujący miernik poziomu dźwięku DSA-50. Zaś jako źródło hałasu w czasie pomiarów zastosowano:

- generator szumu i wzmacniacz mocy,
- głośniki nadawcze,
- stukacz normowy.

Głośniki nadawcze

Jako źródło dźwięku w badaniach izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych zastosowano głośnik o kształcie dwunastościanu foremnego wraz z zasilaczem i wzmacniaczem mocy, które przedstawiono na rysunku 6. Przed przystąpieniem do pomiarów, wskazane jest zbadanie kierunkowości źródła dźwięku. W tym celu należy dokonać pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego w odległości około 1,5 m od źródła, w polu swobodnym. Głośnik dwunastościanowy zapewnia najlepsze wszechkierunkowe rozprzestrzenianie się dźwięku, jak nakazuje norma PN-EN ISO 16283-1:2014-05.



Rys. 6. Źródło hałasu w badaniach izolacyjności od dźwięków powietrznych: a) głośnik dwunastościanowy, b) generator szumu i zasilacz mocy

Stukacz normowy

Stukacz znormalizowany, stosowany jako źródło hałasu w czasie badania izolacyjności akustycznej stropów od dźwięków uderzeniowych, powinien posiadać pięć młotów usytuowanych w jednej linii. Każdy młot powinien mieć wagę 500 g. Młotki spadają swobodnie z wysokości 40mm z prędkością 0,033 m/s w kierunku prostopadłym do badanej powierzchni z dopuszczalną odchyłką $\pm 0,5^\circ$. Stukacz znormalizowany wykorzystany w badaniach stropów drewnianych przedstawia rysunek 7.



Rys. 7. Kalibracja stukacza znormalizowanego

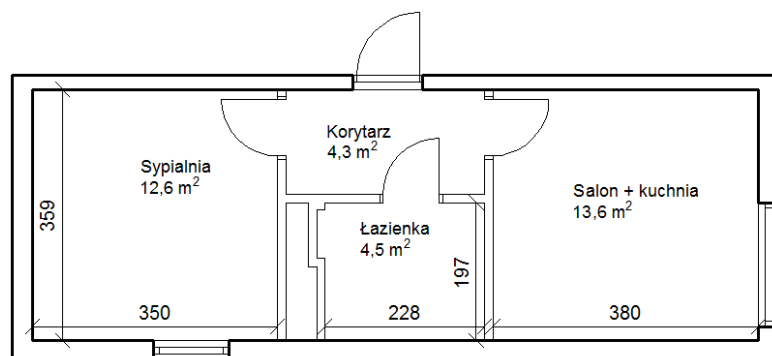
Urządzenie jest przystosowane do sterowania radiowego. Przed rozpoczęciem pomiaru, po włączeniu stukacza należy dokonać jego kalibracji za pomocą tachometru poprzez unormowanie prędkości poruszania się wału napędzającego uderzenia młotka, która powinna być równa 120 obrotów/min. Czynność tę przedstawiono na rysunku 7.

Opisane urządzenia do wytworzenia hałasu oraz jego pomiarów zostały wykorzystane podczas badań terenowych izolacyjności akustycznej stropów drewnianych od dźwięków powietrznych i uderzeniowych.

3.4. Pomiary terenowe

Modułowa konstrukcja budynków umożliwia wykonanie pomiarów izolacyjności akustycznej stropu jedynie na dwóch segmentach, wchodzących w skład obiektu. W celu wskazania materiału zapewniającego najlepszą ochronę przeciwdźwiękową spośród zaproponowanych wariantów, nie jest konieczne przeprowadzanie badań w zmontowanym budynku wielorodzinnym, gdyż budowa stropu jest powtarzalna w każdym segmencie. Powtarzalność ta jest zapewniona przez wysoki stopień prefabrykacji przegród.

Badanie stropu międzykondygnacyjnego przedstawionego na rysunku 1 zostało wykonane na modułach o układzie pomieszczeń jak na rysunku 8. Moduły ustawiono jeden na drugim, tak by tworzyły pełną konstrukcję stropu. Na rysunku 9 zaprezentowano ustawienie modułów podczas przeprowadzania badań izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych i uderzeniowych.



Rys. 8. Schemat modułu poddanego badaniom – strop I



Rys. 9. Ustawienie modułów podczas badania izolacyjności akustycznej stropu I

Jako pomieszczenie nadawcze przy badaniach izolacyjności od dźwięków powietrznych wybrano salon z aneksem kuchennym o powierzchni 13,6 m². Źródło dźwięku umieszczono w module usytuowanym poniżej. Głośnik ustawiono na podwyższeniu, aby zapewnić lepsze rozproszenie dźwięku. Pomieszczeniem odbiorczym był salon o takiej samej powierzchni w module górnym. Salon górnego modułu jest również miejscem, w którym ustawiono stukacz, podczas badań izolacyjności od dźwięków uderzeniowych.

4. Wyniki przeprowadzonych badań izolacyjności akustycznej

Wyniki pomiarów izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych i uderzeniowych należy odnieść do klasyfikacji akustycznej budynków obowiązującej w Norwegii, jako kraju docelowego montażu budynku modułowego. Klasyfikacja ta zawarta jest w normie norweskiej NS 8175:2008. Opis klas akustycznych według tej normy jest następujący:

- klasa A – odpowiada szczególnie dobremu warunkom, w których użytkownicy wyjątkowo narażenia są na hałas i inne dźwięki;
- klasa B – odpowiada wyraźnie lepszym warunkom akustycznym niż dla minimalnych granic klasy C, uznawana jest za dobry standard akustyczny;

użytkownicy mogą być narażeni na dźwięki i hałas tylko w pewnym stopniu;

- klasa C – określa wartości graniczne dla nowych budynków, odpowiadające intencjom w zakresie minimalnych wymagań przepisów technicznych do ustawy TEK (1997); do 20% użytkowników może być narażonych na dźwięki i hałas w mieszkaniach;
- klasa D – określa wartości graniczne, gdzie duża część użytkowników może być narażona na dźwięki i hałas.

Tabela 1 przedstawia najniższe wartości izolacyjności od dźwięków powietrznych dla poszczególnych klas akustycznych w odniesieniu do budynków mieszkalnych wielorodzinnych, jednorodzinnych, szeregowych i innych połączonych ze sobą budynków mieszkalnych. Norma NS 8175:2008 zaleca również aby dyskoteki, dancingi, centra sportowe, itp., nie były lokalizowane w budynkach przeznaczonych jako mieszkalne. Izolacyjność dźwiękowa od dźwięków powietrznych wyrażona jest poprzez ważony wskaźnik izolacyjności akustycznej R'_w .

Wartości graniczne w odniesieniu do hałasu uderzeniowego w budynkach mieszkalnych zawiera tabela 2. Izolacyjność wyrażona jest poprzez wskaźnik ważony poziomu uderzeniowego znormalizowanego $L'_{n,w}$.

Wymagania TEK (1997), uważa się za spełnione jeżeli budynek odpowiada wartościom granicznym klasy C. Im lepsza klasa akustyczna budynku, tym warunki komfortu akustycznego są bardziej zadowalające.

Tab. 1. Klasy akustyczne dla mieszkań – najniższe wartości graniczne ważonego wskaźnika izolacyjności akustycznej R'_w (NS 8175:2008)

Rodzaj pomieszczenia użytkowego	Klasa A [dB]	Klasa B [dB]	Klasa C [dB]	Klasa D [dB]
Wzajemnie między mieszkaniami oraz między mieszkaniami a powierzchniami wspólnymi (korytarz/kryte przejście (galeria), klatka schodowa/schody itp.)	63	58	55	50
Między mieszkaniami i krytym przejściem (galerią), schodami zewnętrznymi, gdzie są pomieszczenia z oknami skierowanymi na nie bezpośrednio	53	48	45	40
Między mieszkaniami a działalnością handlowo-usługową, garażem itp.	68	63	60	55
Wzajemnie między pomieszczeniami w tym samym mieszkaniu (minimum do jednego pomieszczenia w jednostce mieszkalnej).	48	43	–	–

Tab. 2. Klasy akustyczne dla mieszkań – maksymalne wartości graniczne ważonego wskaźnika poziomu uderzeniowego znormalizowanego $L'_{n,w}$ (NS 8175:2008)

Rodzaj pomieszczenia użytkowego	Klasa A [dB]	Klasa B [dB]	Klasa C [dB]	Klasa D [dB]
Między mieszkaniami; między mieszkaniami a powierzchniami wspólnymi (korytarz/kryte przejście (galeria), klatka schodowa/schody itp.)	43	48	53	58
Między mieszkaniem a działalnością handlowo-usługową, garażem, wspólnym tarasem na dachu, itp.	38	43	48	53
Między mieszkaniem a toaletą, łazienką, pomieszczeniem gospodarczym itp., jak również z balkonem itp. w innym mieszkaniu	48	53	58	63
Między pomieszczeniami wewnątrz mieszkania (minimum w jednym pomieszczeniu w jednostce mieszkalnej).	58	63	–	–

4.1. Wyniki pomiarów izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych

R'_w (C) = 55 dB oznacza minimalną wartość wskaźnika ważonego izolacyjności akustycznej, określoną w wymaganiach dla klasy C izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych przegród budynków, obowiązującej w Norwegii. W wyniku przeprowadzonych badań izolacyjności od dźwięków powietrznych otrzymano następujące wyniki dla danych wariantów przekładek akustycznych:

- wariant pierwszy – podkładka elastomerowa tłumiąca Typu SD: $R'_w = 66,0$ dB,
- wariant drugi – podkładka elastomerowa wyrównująca Typu R5: $R'_w = 66,0$ dB,
- wariant trzeci – brak podkładki akustycznej: $R'_w = 67,0$ dB.

Wszystkie badane warianty spełniają wymagania stawiane w Norwegii budynkom klasy C, która określa wartości graniczne dla nowych budynków. Spełniają nawet wymagania klas A, o najbardziej restrykcyjnych wymaganiach, w której wskaźnik R'_w , powinien być na poziomie 63dB.

4.2. Wyniki pomiarów izolacyjności akustycznej od dźwięków uderzeniowych

Uzyskaną wartość ważonego poziomu uderzeniowego $L'_{n,w}$ należy porównać z wymaganiami stawianymi klasie akustycznej C, obowiązującymi w Norwegii. Maksymalny wskaźnik $L'_{n,w}$ (klasa C) = 53 dB. W wyniku przeprowadzonych badań izolacyjności od dźwięków uderzeniowych otrzymano następujące wyniki dla danych wariantów przekładek akustycznych:

- wariant pierwszy – podkładka elastomerowa tłumiąca Typu SD: $L'_{n,w} = 48,0$ dB,
- wariant drugi – podkładka elastomerowa wyrównująca Typu R5: $L'_{n,w} = 49,0$ dB,
- wariant trzeci – brak podkładki akustycznej: $L'_{n,w} = 47,0$ dB.

Podobnie jak przy dźwiękach powietrznych, wszystkie badane warianty spełniają wymagania stawiane w Norwegii dla stropów w budynkach klasy C.

5. Wnioski

Przeprowadzone badania terenowe izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych i uderzeniowych stropu dały zbliżone wyniki we wszystkich wariantach budowy przegrody. W przypadku dźwięków powietrznych podkładki elastomerowe zapewniają izolacyjność

na poziomie $R'_w = 66,0$ dB. Lepszą ochronę od dźwięków powietrznych zapewni strop bez podkładki ($R'_w = 67,0$ dB). Wariant budowy stropu bez podkładki akustycznej jest też najlepszym rozwiązaniem ochrony od dźwięków uderzeniowych. Badania wykazały, że wariant ten charakteryzuje się poziomem uderzeniowym $L'_{n,w} = 47,0$ dB. Wynik ten jest o 2-4% korzystniejszy w porównaniu, do pozostałych rozwiązań stropu. Niższa izolacyjność akustyczna w konstrukcji z podkładkami elastomerowymi może być spowodowana zbyt dużym obciążeniem podkładek, przez co mogły one ulec deformacji i utraciły swoje właściwości izolacyjne. Wszystkie proponowane rozwiązania materiałowe spełniły wymagania akustyczne stawiane budynkom klasy C. Poddane badaniom podkładki elastomerowe nie dały jednak tak zadowalających wyników jak wariant stropu bez podkładki akustycznej.

Literatura

- Gil J. (2015) Izolacyjność akustyczna w budownictwie mieszkaniowym. Praktyczny poradnik. *GRUPA MEDIUM*, Warszawa.
- Karta produktu (2014a). Podkładka elastomerowa tłumiąca Typ SD. *BETOMAX Polska SA*.
- Karta produktu (2014b). Podkładka elastomerowa wyrównująca Typu R5. *BETOMAX Polska SA*.
- Budownictwo ogólne (2008). Tom 2. Fizyka budowli. Red. P. Klemm, *ARKADY*, Warszawa.
- Nitka W. (2013). Szkieletowy dom drewniany. *Centrum Budownictwa Drewnianego*, Gdańsk.
- NS 8175:2008. Acoustic conditions in buildings. Sound classification of various types of buildings. *Standard Norge*, Oslo.
- Pogorzelska E. (2015). Analiza akustyczna stropów drewnianych od dźwięków powietrznych i uderzeniowych. Praca dyplomowa magisterska, *Politechnika Białostocka*, Białystok.
- TEK (1997). Ustawa o planowaniu przestrzennym i budownictwie. Norwegia.

SOUND ANALYSIS OF WOODEN FLOORS MADE IN PREFABRICATED MODULAR TECHNOLOGY

Abstract: The aim of this article is to analyze the solutions of wooden ceilings in terms of changing sound insulation materials. Field research was conducted on floors in buildings made in wooden frame modular technology. To carry out field research the methods defined in the Polish Standards were used. The results of the analysis showed improved acoustic conditions in floors without any acoustic pads in comparison to constructions with elastomeric insulation.

WSKAŹNIKI EU, EK, EP A JAKOŚĆ (KLASA) ENERGETYCZNA BUDYNKÓW

Beata SADOWSKA*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: W pracy zaprezentowano analizę wskaźników energetycznych obliczanych w świadectwach energetycznych różnych budynków oraz przydatność przyjętych wskaźników do oceny jakości termicznej budynków.

Słowa kluczowe: certyfikacja energetyczna budynków, wskaźniki energetyczne, jakość termiczna.

1. Wprowadzenie

Wzrost cen paliw i energii powoduje zainteresowanie problematyką racjonalizacji użytkowania energii. Dotyczy to wszystkich sektorów życia i aktywności człowieka. Miejszem największych możliwości oszczędzania energii jest budownictwo i sektor komunalno-bytowy, ze względu na bardzo duży udział w jej krajowym zużyciu. Energia zużywana na cele eksploatacyjne zapewnia odpowiedni do przeznaczenia obiektu mikroklimat, ciepłą wodę oraz oświetlenie.

Ważnym, a często podstawowym elementem oszczędnego gospodarowania energią w budownictwie jest wiedza o energetycznych cechach budynku. Z tego względu, świadectwa energetyczne wprowadzone w bieżącym roku powinny stać się istotnym elementem „budowlanej codzienności”. Poprzez energetyczną charakterystykę budynku rozumiemy często tylko energię na potrzeby ogrzewania i wentylacji. Rozwiązania przyjęte w świadectwach energetycznych przewidują w budynkach mieszkalnych energię na potrzeby ogrzewania, wentylacji, ciepłej wody użytkowej, energię pomocniczą oraz na potrzeby chłodzenia – jeśli występuje. Natomiast dla budynków innych niż mieszkalne oprócz wymienionych powyżej składników uwzględnia się także energię na oświetlenie wbudowane.

Zadaniem świadectw energetycznych jest pokazanie, jaki pod względem energetycznym jest dany budynek (określenie jego klasy energetycznej) oraz wskazanie, co można zrobić, aby jego jakość energetyczną poprawić. Wbrew różnym obiegowym opiniom zadaniem świadectwa energetycznego nie jest egzekwowanie zmian, a jedynie informowanie o jakości energetycznej budynku i możliwościach poprawy istniejącego stanu (Pogorzelski i Sarosiek, 2008).

Zgodnie z dyrektywą (2002/91/EC) Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 16 grudnia 2002, na podstawie której wprowadzono certyfikowanie budynków (lokali), świadectwo energetyczne powinno prezentować w sposób przejrzysty standard energetyczny budynku (lokalu). Poniższym tekstem autorka starała się odpowiedzieć na pytanie czy wprowadzone w naszym Kraju świadectwa energetyczne spełniają te założenia.

2. Cele certyfikacji energetycznej budynków

Certyfikacja energetyczna budynków z założenia powinna przyczyniać się do poprawy jakości termicznej budynków oraz obniżenia emisji zanieczyszczeń (głównie CO₂) wprowadzanych do atmosfery w wyniku spalania paliw w kotłach energetycznych. Poprawa ta nie wynika z bezpośredniego nakazu, lecz z wiedzy o stanie budynków nowych i modernizowanych (także podlegających obrotowi gospodarczemu) oraz związanej z tą wiedzą świadomości ponoszenia niepotrzebnych kosztów na utrzymanie nieefektywnych energetycznie obiektów. Wiedza o jakości energetycznej budynku (lokalu) powinna spowodować dostosowanie cen zakupu lub dzierżawy do tej jakości (zasada: lepsza jakość – niższe koszty eksploatacji – wyższa cena sprzedaży lub wynajmu). Ważnym elementem każdego świadectwa energetycznego są wytyczne informujące o możliwościach podniesienia jakości energetycznej budynku.

Aby przedstawione wyżej założone cele certyfikacji zostały zrealizowane w praktyce, wskaźniki używane do prezentacji wyników obliczeń przeprowadzanych na potrzeby świadectwa, powinny być jednoznaczne, zrozumiałe (Żurawski, 2009) i służyć najlepiej celowi, dla którego zostały wyznaczone.

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: b.sadowska@pb.edu.pl

Poniżej na podstawie analizy dwudziestu świadectw energetycznych wykonanych dla różnych budynków (w trzech przypadkach części budynków) zastanawiano się nad wypełnianiem wyżej wymienionych celów przez krajowy system certyfikacji energetycznej budynków opartych na wskaźnikach energii końcowej (EK) i energii pierwotnej (EP). W krajowym systemie świadectw energetycznych (Pogorzelski i Świącicki, 2009) nie określa się klasy energetycznej budynku, poprzestając na wymienionych wskaźnikach rocznego zapotrzebowanie na energię.

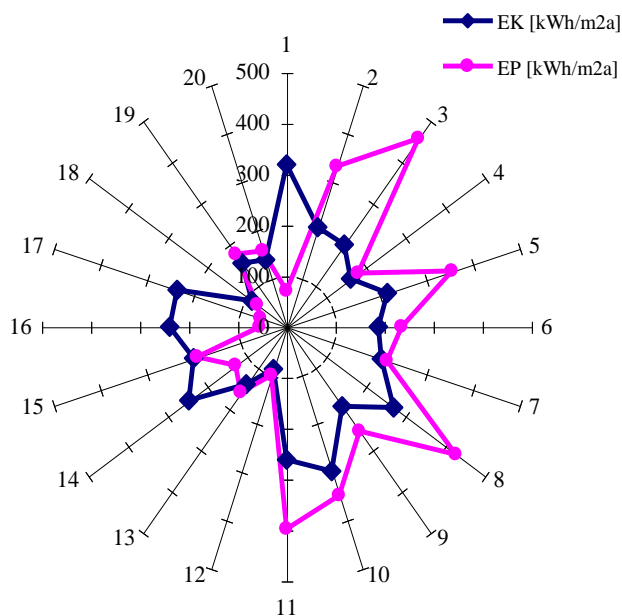
3. Opis analizowanych obiektów

Do analizy w niniejszym artykule losowo wybrano budynki, spośród kilkudziesięciu, dla których, z udziałem autorki, zostały wykonane świadectwa energetyczne. Podstawowe parametry tych dwudziestu budynków zamieszczono w tablicy 1.

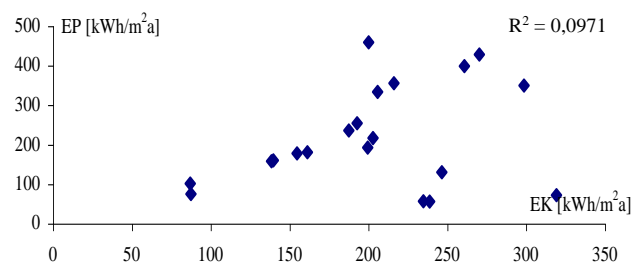
4. Obliczenia i analiza wyników

Obliczenia wielkości wykorzystywanych w niniejszym artykule wykonane zostały na potrzeby świadectw energetycznych zgodnie z metodologią świadectw (Dz. U. 2008 r. Nr 201 poz. 1240; Dz. U. 2015 r. poz. 376; NAPE, 2008). Na potrzeby artykułu dokonano przeliczenia jednostek oraz wyliczeń umożliwiających prezentację w innej formie tych samych wielkości. Wyniki zamieszczono na wykresach różnych typów, aby lepiej umożliwić analizę poszczególnych wielkości.

Na rysunku 1 przedstawiono wskaźniki energii pierwotnej (EP) i końcowej (EK) dla wszystkich 20-tu rozpatrywanych budynków. Z kształtu obszarów zakreślonych liniami łączącymi poszczególne punkty wykresu widać, iż wielkości przedstawione na wykresach nie są ze sobą skorelowane. Rysunek 2 przedstawia nieudaną próbę znalezienia korelacji pomiędzy rozpatrywanymi wskaźnikami, gdzie $R^2 = 0,0971$. Oznacza to, iż oba wskaźniki niosą różne informacje od siebie niezależne. O ile wskaźnik energii końcowej (EK) bez wątpliwości mówi o ilości energii zużywanej przez budynek (i jego instalacje), to ze wskaźnikiem energii pierwotnej (EP) liczoną na potrzeby świadectw, sprawa nie jest już taka prosta. Wartości współczynnika w_H przeliczającego jeden wskaźnik na drugi powodują, iż EP praktycznie przestaje informować o faktycznym zużyciu energii przez budynek, a zaczyna być wskaźnikiem mówiącym o obciążeniu, jakie rozpatrywany budynek stanowi dla środowiska naturalnego. Z innych analiz wykonanych przez autorów wynika, iż tę funkcję omawiany wskaźnik również pełni w sposób nie do końca przejrzysty.

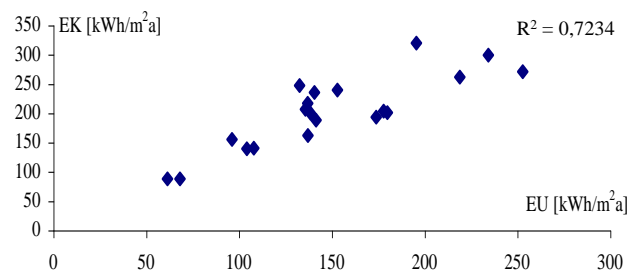


Rys. 1. Wskaźniki energii końcowej EK i energii pierwotnej EP dla rozpatrywanych budynków



Rys. 2. Wskaźniki EP i EK dla analizowanych budynków

Natomiast rysunek 3 wskazuje na zależność wskaźników EU i EK, gdzie $R^2 = 0,7234$. Oba wskaźniki ilustrują zużycie energii budynku – wskaźnik EU mówi o jakości samego budynku, zaś EK o budynku wraz z instalacją centralnego ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej.



Rys. 3. Wskaźniki EK i EU dla analizowanych budynków

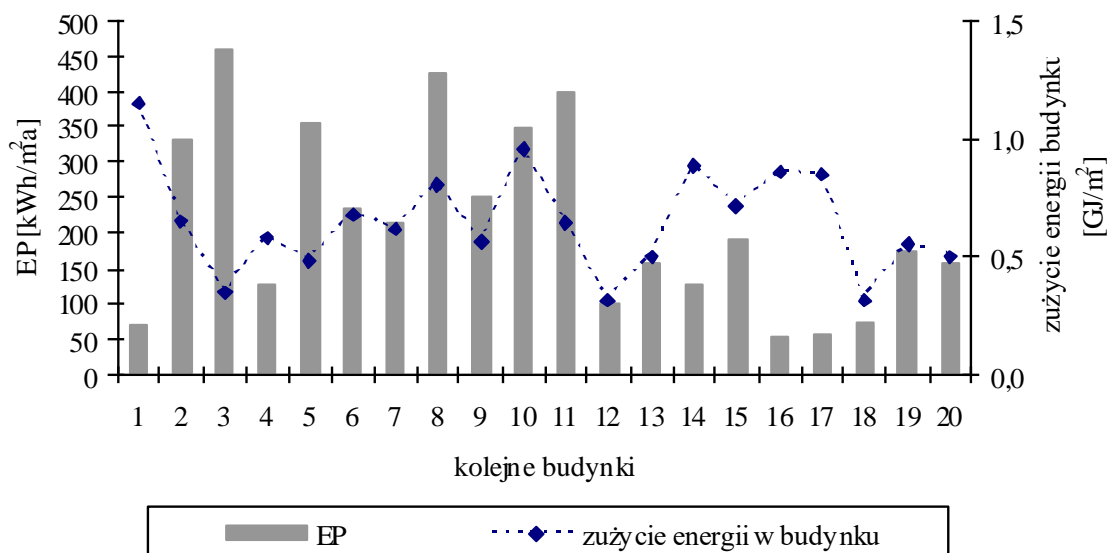
Wartości współczynników determinacji, R^2 (rys. 2 i 3), wskazują na brak zależności między wielkościami EP i EK oraz istniejącą zależność między EK i EU.

Tab. 1. Parametry budynków przyjętych do analizy

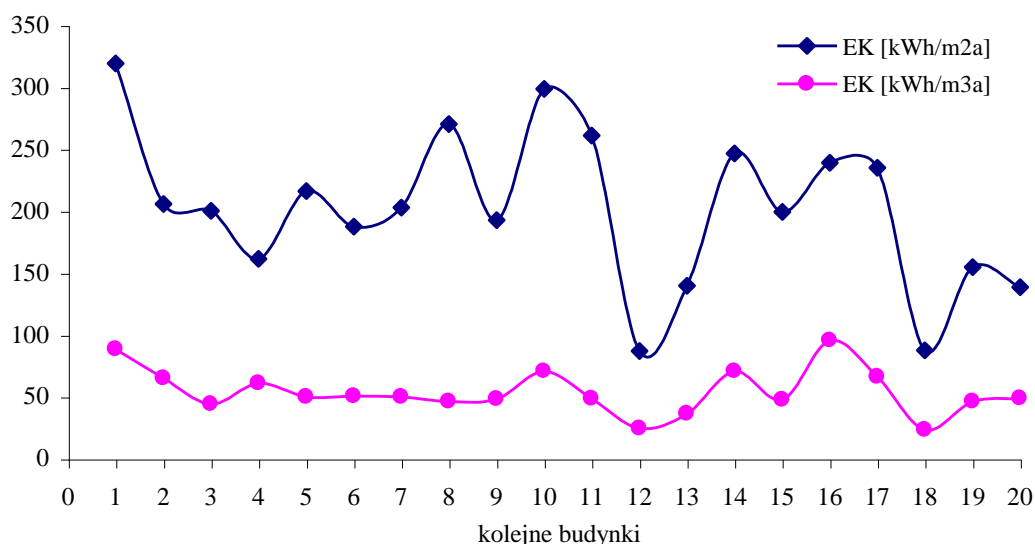
Lp.	Rodzaj budynku	Kubatura ogrzewana	Powierzchnia ogrzewana	A/V	Paliwo	Oświetlenie	Chłodzenie
1	Jednorodzinny	370,3	102,6	1,15	kotłownia indywidualna /drewno/	NIE	NIE
2	Hala sportowa	6.978,0	2.212,0	0,79	ciepłownia miejska /węgiel/	TAK	NIE
3	Część usługowa w budynku mieszkalnym	3.983,8	882,6	nie	ciepłownia miejska /węgiel/ (kogeneracja)	TAK	TAK
4	Część mieszkalna w budynku (poz.3)	3.584,8	1.357,6	0,62	ciepłownia miejska /węgiel/ (kogeneracja)	NIE	NIE
5	Część usługowa w budynku mieszkalnym	288,8	67,0	nie	ciepłownia miejska /węgiel/ (kogeneracja)	TAK	NIE
6	Jednorodzinny	536,5	144,4	0,93	kotłownia indywidualna /węgiel/	NIE	NIE
7	Zespół Szkół	8.650,9	2.129,2	0,45	kotłownia indywidualna /olej/	TAK	NIE
8	Handlowo-usługowy	6.350,0	1.087,1	0,49	ciepłownia miejska /węgiel/	TAK	TAK
9	Urząd statystyczny	5.787,4	1.448,0	0,33	ciepłownia miejska /węgiel/ (kogeneracja)	TAK	NIE
10	Użyteczności publicznej i zamieszkania zbiorowego	19.650,0	4.654,2	0,35	ciepłownia miejska /węgiel/ (kogeneracja)	TAK	NIE
11	Użyteczności publicznej /zamieszkania zbiorowego	33.263,7	6.187,0	0,52	ciepłownia miejska /węgiel/ (kogeneracja)	TAK	NIE
12	Jednorodzinny	819,0	230,6	0,79	kotłownia indywidualna /gaz/	NIE	NIE
13	Jednorodzinny	1.476,3	384,9	0,75	kotłownia indywidualna /gaz/	NIE	NIE
14	Jednorodzinny	417,6	119,6	0,87	kotłownia indywidualna /drewno/	NIE	NIE
15	Jednorodzinny	651,5	156,1	0,71	kotłownia indywidualna /olej80% i drewno 20% (kominek)	NIE	NIE
16	Jednorodzinny	362,5	145,0	1,48	kotłownia indywidualna /drewno/	NIE	NIE
17	Jednorodzinny	437,3	123,2	1,03	kotłownia indywidualna /drewno/	NIE	NIE
18	Jednorodzinny	796,0	212,7	0,89	kotłownia indywidualna /gaz 70% i drewno30% (kominek)/	NIE	NIE
19	Jednorodzinny	513,8	153,9	0,82	kotłownia indywidualna /ekogroszek/	NIE	NIE
20	Jednorodzinny /szeregowy	753,9	265,7	0,65	kotłownia indywidualna /gaz/	NIE	NIE

Podobnie można wnioskować z rysunku 4. Tutaj już wprost widoczne jest oderwanie jednostkowego zużycia energii od wskaźnika EP wyznaczonego dla poszczególnych budynków. Na rysunku 5 przedstawiono wskaźnik energii końcowej dla rozpatrywanych w budynków w postaci obliczanej w świadectwach energetycznych (w odniesieniu do powierzchni ogrzewanej) oraz w odniesieniu do kubatury ogrzewanej. Linie łączące punkty reprezentujące wartości wskaźników

dla poszczególnych budynków nie mają podobnego przebiegu. Szczególnie dobrze widać to w odniesieniu do budynków od numeru 2 do numeru 11 (przeważają w tej grupie budynki użyteczności publicznej i zamieszkania zbiorowego). Dla budynków o różnych wysokościach kondygnacji ogrzewanych nie powinno się dla celów porównawczych używać wskaźnika odniesionego do powierzchni ogrzewanej, ponieważ zniekształca to rzeczywisty stan termiczny budynku.



Rys. 4. Wskaźniki energii pierwotnej EP (świadectwa) i zużycie energii odniesione do m² powierzchni ogrzewanej dla analizowanych budynków



Rys. 5. Wskaźnik energii końcowej używany w świadectwach energetycznych (linia górna) i przeliczony na kubaturę ogrzewaną (linia dolna)

5. Podsumowanie i wnioski

Gromadzenie danych o obiektach miało dać niezbędną wiedzę o stanie budynków poszczególnych rodzajów i umożliwić porównywanie budynków między sobą, co z kolei dałoby podstawę do ustanawiania nowych standardów dla poszczególnych grup budynków. Wydaje się, iż ustawodawca rezygnując *de facto* ze stworzenia bazy danych z wykonanych świadectw zdawał sobie sprawę, iż przyjęta metodologia bardzo poważnie takie porównania ogranicza.

Ze wszystkich wskaźników obliczanych w świadectwach energetycznych, jakość energetyczną budynku najlepiej oddaje wskaźnik energii końcowej EK.

Wprowadzenie świadectw energetycznych przyczyniło się do zwiększenia wiedzy na temat jakości energetycznej certyfikowanych budynków. Niestety rezygnując z określania klasy energetycznej budynku i decydując o oparciu oceny na niejednoznacznych i nie do końca zrozumiałych wskaźnikach – dostęp do tej wiedzy bardzo utrudniono.

Literatura

Pogorzelski J. A., Sarosiek W. (2008). Kto się boi wdrożenia w Polsce Dyrektywy 2002/91/WE? cz.II. *Materiały Budowlane*, 1/2008, Warszawa, 4-10.

Pogorzelski J. A., Świącicki A. (2009). Co dalej z wdrażaniem Dyrektywy w sprawie charakterystyki energetycznej. *Materiały Budowlane*, 2/2009, 50-53.

Żurawski J. (2009). Obliczenia charakterystyki energetycznej w praktyce. *Izolacje*, 5/2009, 68-69.

Dyrektywa 2002/91/WE Parlamentu Europejskiego i Rady UE z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (Dz. U. WE L 1/65 z 4.1.2003 r.)

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 roku w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów Świadectw ich charakterystyki energetycznej. *Dz. U. 2008 r., Nr 201, poz. 1240*.

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku świadectw charakterystyki energetycznej. *Dz. U. 2015 r. poz. 376*.

NAPE (2008). Świadectwa energetyczne. *Materiały szkoleniowe NAPE S.A. i FPE*, praca zbiorowa, Warszawa.

EU, EK, EP INDEXES AND ENERGY STANDARD OF BUILDINGS

Abstract: The energy indexes evaluated based on energy certificates of different kinds of buildings were analysed. The usefulness of indicators used in energy certificates for assessment of the thermal standard of buildings was estimated.

ŚWIADECTWA ENERGETYCZNE BUDYNKÓW - ASPEKT EKOLOGICZNY

Wiesław SAROSIEK*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: W artykule analizowano podstawowe wskaźniki energetyczne zawarte w świadectwach charakterystyki energetycznej. Na przykładzie 20 różnych budynków wskazano na zależności pomiędzy poszczególnymi wskaźnikami oraz emisją podstawowych produktów spalania. Wskazano na możliwość modyfikacji podstawowych danych zawartych w świadectwach charakterystyki energetycznej.

Słowa kluczowe: świadectwo charakterystyki energetycznej, ekologia, wskaźniki EU, EK, EP.

1. Wprowadzenie

Rosnące ceny energii i jej nośników przyczyniają się do wzrostu zainteresowania problematyką racjonalizacji użytkowania energii. Wprowadzanie w gospodarce zasad zrównoważonego rozwoju (w tym również w budownictwie) wymaga ochrony środowiska naturalnego. Ze względu na bardzo duży udział budownictwa, wraz z sektorem gospodarki komunalno-bytowym, w krajowym zużyciu energii poszukiwanie oszczędności w tym właśnie miejscu jest szczególnie uzasadnione. Chodzi tu przede wszystkim o energię zużywaną w czasie eksploatacji na potrzeby zapewnienia odpowiedniego mikroklimatu, ciepłej wody oraz oświetlenia.

Ponieważ mniejsze zużycie energii powoduje automatycznie mniejszą emisję zanieczyszczeń do atmosfery (w tym CO₂) poprzez racjonalizację użytkowania energii najlepiej wpływa się na poprawę stanu środowiska naturalnego. Podstawowym i niezbędnym warunkiem sensownych działań oszczędnościowych jest wiedza o stanie energetycznym budynków. Jest ona szczególnie istotna z punktu widzenia indywidualnych dysponentów budynków już eksploatowanych. Taką wiedzę, a także informację o obciążeniu dla środowiska (na przykład poprzez wskaźnik emisji CO₂), powinno dostarczać świadectwo energetyczne budynku. Dlatego rola wprowadzonych w bieżącym roku świadectw energetycznych jest taka ważna (Dz. U. 2008 r. Nr 201 poz. 1240).

We wszystkich krajach, które wprowadziły energetyczne certyfikowanie budynków zaobserwowano dążenie do poprawy jakości cieplnej budynków zarówno nowych, jak i będących w użytkowaniu, co wpłynęło pozytywnie na stan środowiska naturalnego, w tym na zmniejszenie emisji CO₂ (Panek i Rucińska, 2009).

Oczekiwanie na podobne efekty również w naszym kraju wydaje się uzasadnione.

Podjęcie działań w zakresie poprawy jakości termicznej budynków zarówno istniejących, jak i dopiero projektowanych, należy wziąć pod uwagę, iż bardzo łatwo jest działaniami poprawiającymi bilans energetyczny budynku oraz jego walory ekologiczne (mniejsza emisja substancji szkodliwych) doprowadzić do pogorszenia komfortu użytkownika.

Istotną rolę zarówno podczas projektowania budynków nowych, jak i modernizacji budynków istniejących, powinien odgrywać także czynnik ekonomiczny. Z punktu widzenia inwestora znaczenie czynnika ekonomicznego jest decydujące, natomiast państwo ma nie tylko prawo, ale i obowiązek brać pod uwagę także inne istotne czynniki, na przykład ochronę środowiska lub szerzej wymagania zrównoważonego rozwoju. Umiejętne stosowanie dostępnych instrumentów polityki gospodarczej (w tym finansowej), powinny doprowadzić do sytuacji, w której inwestor w oparciu o przesłanki wyłącznie ekonomiczne podejmuje decyzje pożądane z punktu widzenia państwa. Taki stan byłby w polskim budownictwie bardzo pożądany. Niestety prawdą jest, iż dotychczas nie udało się go osiągnąć.

2. Świadectwa energetyczne – regulacje prawne przyjęte w kraju

Zgodnie z dyrektywą (2002/91/EC) Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 16 grudnia 2002 roku, świadectwo energetyczne powinno prezentować w sposób przejrzysty standard energetyczny budynku. Użyte wskaźniki mogą i powinny obejmować także wskaźnik emisji CO₂. Certyfikaty jakości energetycznej powinny poprawić działanie rynku i zachęcać inwestorów do oszczędzania energii poprzez dostarczanie

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: wsarosiek@op.pl

obiektywnych informacji na temat jakości energetycznej budynków na etapie ich budowy, sprzedaży i wynajmu.

Rozwiązania przyjęte w kraju w ustawie *Prawo budowlane* (Dz. U. 1994 Nr 89 poz. 414 z późn. zm.) pierwotnie nie wiązały bezpośrednio świadectwa z emisją CO₂. Dopiero wprowadzone obowiązujące od 2014 roku zmiany (Dz. U. z 2013 r. poz. 1409) spowodowały, iż emisja CO₂ będzie wprost podawana obok wskaźników dotychczas wyznaczanych. Najważniejsze wskaźniki energetyczne wyznaczone w świadectwach energetycznych to tak jak dotychczas:

- energia użytkowa EU,
- energia końcowa EK,
- energia pierwotna EP.

Ponadto podawany jest wskaźnik informujący o procentowym udziale energii odnawialnej w bilansie energetycznym budynku. Przed wejściem w życie świadectw energetycznych dwa pierwsze wskaźniki były obliczane w audytach energetycznych, lecz były inaczej nazywane: energii użytkowej odpowiadał wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na energię netto, natomiast energii końcowej wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na energię brutto (z uwzględnieniem sprawności).

Powiązanie w rozporządzeniach wykonawczych ustalających metodologię sporządzania świadectw energetycznych (Dz. U. z 2008 r. Nr 201 poz. 1240) energii pierwotnej z ekologią poprzez współczynnik w_H niesie ze sobą dwa skutki. Wskaźnik EP przestaje być dobrym wskaźnikiem energetycznej jakości budynku i niestety nie oddaje jednocześnie ekologicznych walorów budynku. Na przykładzie wybranych dwudziestu budynków i wykonanych dla nich świadectw energetycznych pokazano w artykule, że tak jest naprawdę.

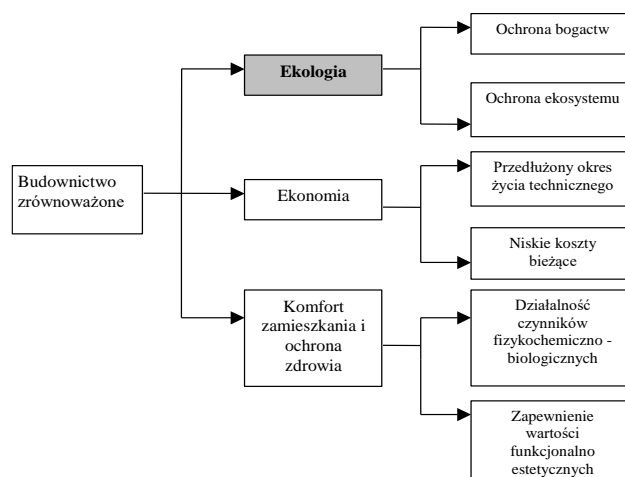
3. Zasady rozwoju zrównoważonego a ograniczenie emisji produktów spalania paliw

O spełnieniu zasad rozwoju zrównoważonego w gospodarce mówimy wtedy, gdy wykorzystywanie dóbr natury i korzystanie ze środowiska nie prowadzi do pogorszenia jego stanu w kolejnych latach. Zasady zrównoważonego rozwoju w budownictwie po raz pierwszy zostały zaprezentowane w 1998 roku na kongresie „Budowle i Środowisko”, który odbył się w Szwecji.

Zasady zrównoważonego rozwoju w gospodarce znalazły także odzwierciedlenie w Konstytucji RP z 1997 roku gdzie w artykule 5 zapisano, iż Rzeczpospolita Polska „zapewnia ochronę środowiska, kierując się zasadą zrównoważonego rozwoju”. Skonkretyzowanie nastąpiło w preambule znowelizowanej Ustawy o ochronie i kształtowaniu środowiska. Wymagania dla budownictwa zrównoważonego przedstawiono schematycznie na rysunku 1.

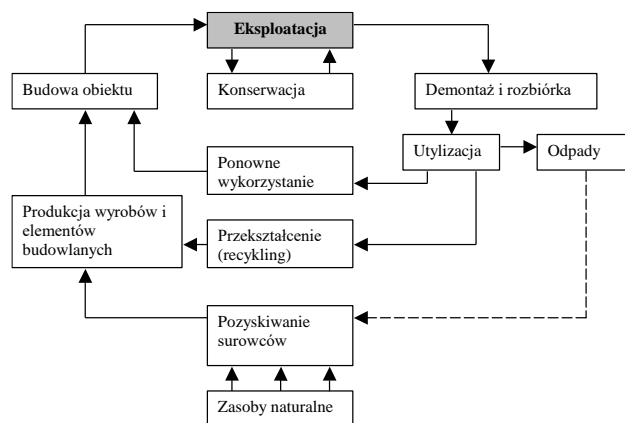
Zarówno z definicji, jak i podstawowych założeń rozwoju zrównoważonego w budownictwie wynika, iż najistotniejszym jego elementem jest ekologia rozumiana w tym przypadku jako drastyczne zmniejszenie

emisji zanieczyszczeń, czyli produktów spalania paliw na potrzeby ogrzewania i podgrzewu ciepłej wody podczas cyklu życia budynku.



Rys. 1 Wymagania rozwoju zrównoważonego w budownictwie (Stawicka-Wałkowska, 2001)

Na rysunku 2 przedstawiono cykl życia wyrobu budowlanego i budynku zgodnie z Stawicką-Wałkowską (2001). Minimalizacja energii powinna dotyczyć wszystkich widocznych tu etapów. Jednakże, jeśli całkowitą energię zużywaną na cały cykl życia uznamy za 100%, to wytwarzanie materiałów i wzniesienie budynku stanowi tylko około 10-12%, remonty i rozbiórka zaledwie 5% natomiast pozostałe 83-85% tej energii zużywa się podczas użytkowania budynku.



Rys. 2. Cykl życia technicznego obiektu i wyrobu budowlanego (Stawicka-Wałkowska, 2001)

Zarówno przemysł materiałów budowlanych, jak i eksploatacja budynku związana jest nierozdzielnie z zużyciem dużych ilości energii, co pociąga za sobą emisję do atmosfery szkodliwych związków. Dla spełnienia warunków zrównoważonego rozwoju istotne jest spojrzenie na budynek w fazie projektu, produkcji materiałów łącznie z ich transportem, wznoszenia budynku, jego eksploatacji, w tym remontów, a także rozbiórki oraz utylizacji odpadów. Przeważnie pomijany etap „przed budową” jest istotny z tego względu, iż nowoczesne technologie i pogoń za oszczędnością eksploatacyjną odbywa się często

kosztem wbudowywania materiałów i stosowania rozwiązań nie tylko energochłonnych na etapie ich produkcji, ale także trudnych do zagospodarowania po zakończeniu ich użytkowania. Łatwość powtórnego wykorzystania lub przerobu i wykorzystania ma tutaj duże znaczenie.

Co najmniej kilkudziesięcioletni okres eksploatacji budynku sprawia, iż największe skumulowanie efektów ekologicznych (oczywiście również energetycznych) uzyskuje się poprzez zapewnienie odpowiednio niskiej emisji zanieczyszczeń w całym okresie „życia” obiektu budowlanego.

4. Opis budynków wybranych do analizy

Współpraca z NAPE S.A. O/Białystok umożliwiła autorowi artykułu udział w sporządzaniu świadectw energetycznych różnych budynków.

Na potrzeby niniejszego artykułu wybrano 20 budynków, których podstawowe parametry zamieszczono w tabeli 1. Część z nich (dwanaście obiektów) były to budynki mieszkalne, w większości jednorodzinne, a część (osiem budynków) – to obiekty użyteczności publicznej. Budynki miały zróżnicowaną wielkość – kubatura ogrzewana od 288,8 m³ dla części usługowej w budynku mieszkalnym do 33.263,7 m³ dla budynku szkolnego z internatem. Wyodrębnienie obiektów innych niż mieszkalne jest niezbędne, ponieważ dla takich obiektów wskaźniki obliczane w świadectwie energetycznym zawierają energię na oświetlenie (również chłodzenie – jeśli w budynku taka energia występuje).

Istotnym elementem systemu grzewczego analizowanych budynków są źródła ciepła. Występują tu zarówno kotłownie indywidualne (gazowe, olejowe, węglowe i na biomase), jak i źródła zcentralizowane (w tym z produkcją skojarzoną energii cieplnej). W dwóch przypadkach wystąpiło uzupełnienie energii pochodzącej z kotłowni gazowej (olejowej) produkcją ciepła z kominka opalanego drewnem.

5. Obliczenia i analiza wyników

Na potrzeby artykułu wyznaczono wielkość zanieczyszczeń (CO₂, NO_x, SO₂ i pyły) emitowanych do atmosfery w wyniku zużycia określonych ilości energii przez budynki (tab. 1). Obliczenia wykonano przy pomocy arkusza kalkulacyjnego, wykorzystując wskaźniki unosu substancji zanieczyszczających powstających przy energetycznym spalaniu paliw (Sarosiek i Sadowska, 2009).

Dla paliw stałych, ciekłych i gazowych ilości zanieczyszczeń (SO₂, NO_x, CO₂) obliczano ze wzoru:

$$E = B \cdot w \quad (1)$$

gdzie: B jest to ilość spalonego paliwa w Mg, a w jest wskaźnikiem emisji SO₂, NO_x, CO₂ na jednostkę spalonego paliwa w kg/Mg, kg/m³, kg/10⁶m³.

Ilość pyłu w przypadku spalania paliw stałych obliczano ze wzoru:

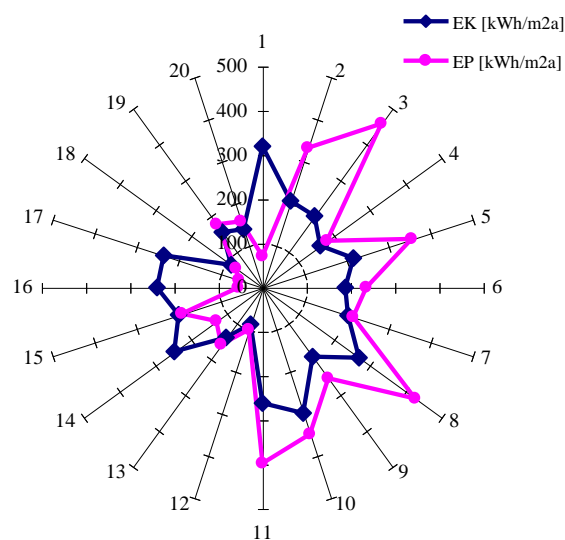
$$E_{pył} = B \cdot w_p \frac{(100 - \eta)}{(100 - k)} \quad (2)$$

gdzie: w_p jest wskaźnikiem unosu pyłu na jednostkę zużytego paliwa w kg/Mg, η jest sprawnością urządzeń odpylających w %, a k jest zawartością części palnych w pyłe w %.

Wartości wskaźników EP i EK pochodzą z wykonanych z udziałem autora świadectw charakterystyki energetycznej poszczególnych budynków (NAPE, 2006-2014).

Na rysunku 3 widoczne są wartości dwóch wskaźników prezentowanych w świadectwach charakterystyki energetycznej budynków (EK i EP w kWh/m²a). Z wykresu wynika generalny brak korelacji pomiędzy prezentowanymi wartościami wskaźników. Mogłoby to świadczyć o innym niż EK charakterze wskaźnika EP (pomimo tej samej jednostki). Brak korelacji pomiędzy wskaźnikiem energii końcowej EK i wskaźnikiem energii pierwotnej EP pozwala postawić pytanie, dlaczego wartość tego ostatniego jest w dalszym ciągu, pomimo zmian wprowadzonych w 2014 roku, najważniejszym elementem prezentowanym w świadectwie energetycznym, skoro nie odzwierciedla zużycia energii przez dany budynek (wskaźnikiem informującym o zużyciu energii budynku wraz z jego instalacją ogrzewczą jest z pewnością EK, natomiast w odniesieniu do samego budynku rolę taką spełnia wskaźnik EU).

Zgodnie z dyrektywą 2002/91/EC wprowadzającą znakowanie energetyczne budynków w świadectwach pojawił się wskaźnik uwzględniający emisję CO₂ (jest to nie tyle wskaźnik co ilość sumaryczna CO₂ w Mg, pochodząca ze wszystkich instalacji budynku i wszystkich spalanych paliw).



Rys. 3. Wskaźniki energii pierwotnej EP i energii końcowej EK dla analizowanych 20-tu budynków

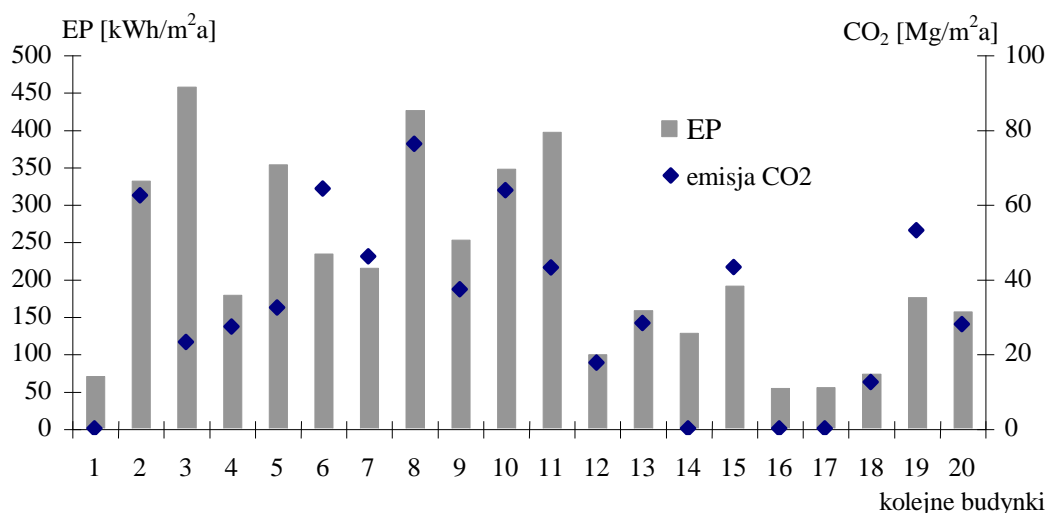
Tab. 1. Niektóre parametry budynków przyjętych do analizy

Lp.	Rodzaj budynku	Kubatura ogrzewana	Powierzchnia ogrzewana	A/V	Paliwo	Zużycie energii w budynku [GJ/a]
1	Jednorodzinny	370,3	102,6	1,15	kotłownia indywidualna /drewno/	117,94
2	Hala sportowa	6.978,0	2.212,0	0,79	ciepłownia miejska /węgiel/	1.450,90
3	Część usługowa w budynku mieszkalnym	3.983,8	882,6	nie	ciepłownia miejska /węgiel/ (kogeneracja)	307,26
4	Część mieszkalna w budynku (poz.3)	3.584,8	1.357,6	0,62	ciepłownia miejska /węgiel/ (kogeneracja)	556,18
5	Część usługowa w budynku mieszkalnym	288,8	67,0	nie	ciepłownia miejska /węgiel/ (kogeneracja)	32,56
6	Jednorodzinny	536,5	144,4	0,93	kotłownia indywidualna /węgiel/	97,57
7	Zespół Szkół	8.650,9	2.129,2	0,45	kotłownia indywidualna /olej/	1.306,90
8	Handlowo-usługowy	6.350,0	1.087,1	0,49	ciepłownia miejska /węgiel/	871,16
9	Urząd statystyczny	5.787,4	1.448,0	0,33	ciepłownia miejska /węgiel/ (kogeneracja)	810,59
10	Użyteczności publicznej i zamieszkania zbiorowego	19.650,0	4.654,2	0,35	ciepłownia miejska /węgiel/ (kogeneracja)	4.460,21
11	Użyteczności publicznej /zamieszkania zbiorowego	33.263,7	6.187,0	0,52	ciepłownia miejska /węgiel/ (kogeneracja)	4.002,49
12	Jednorodzinny	819,0	230,6	0,79	kotłownia indywidualna /gaz/	72,39
13	Jednorodzinny	1.476,3	384,9	0,75	kotłownia indywidualna /gaz/	193,71
14	Jednorodzinny	417,6	119,6	0,87	kotłownia indywidualna /drewno/	106,22
15	Jednorodzinny	651,5	156,1	0,71	kotłownia indywidualna /olej80% i drewno 20% (kominiek)	112,17
16	Jednorodzinny	362,5	145,0	1,48	kotłownia indywidualna /drewno/	124,76
17	Jednorodzinny	437,3	123,2	1,03	kotłownia indywidualna /drewno/	104,23
18	Jednorodzinny	796,0	212,7	0,89	kotłownia indywidualna /gaz 70% i drewno30% (kominiek)/	67,08
19	Jednorodzinny	513,8	153,9	0,82	kotłownia indywidualna /ekogroszek/	85,82
20	Jednorodzinny (szeregowy)	753,9	265,7	0,65	kotłownia indywidualna /gaz/	132,57

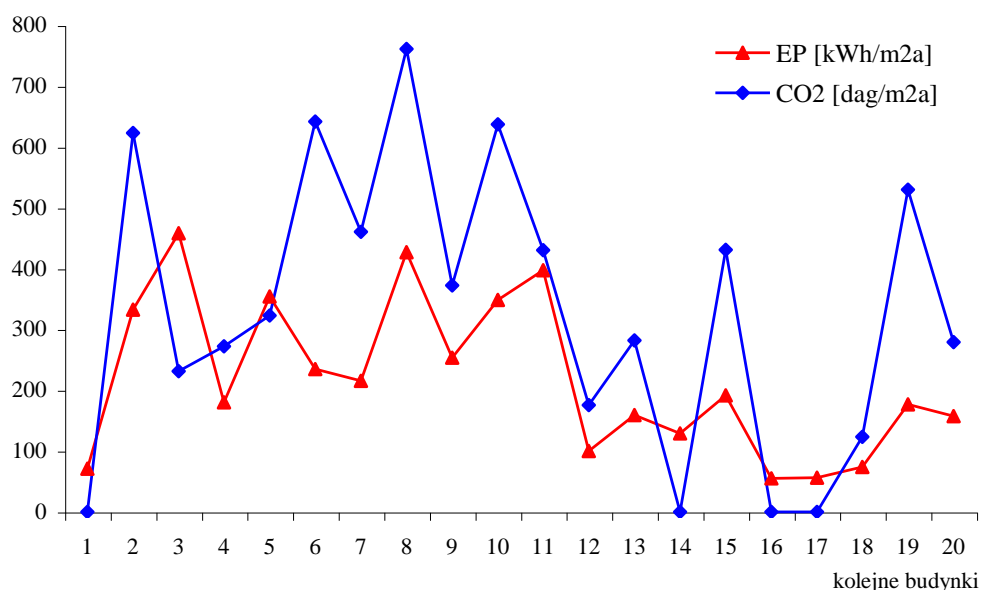
Na rysunku 4 zamieszczono zestawienie wartości wskaźników energii pierwotnej oraz wielkości rocznej emisji CO₂, odniesionej do powierzchni rozpatrywanych w artykule budynków. W przypadku tych wielkości korelacja jest bardziej widoczna niż pomiędzy wskaźnikami EK i EP, ale i w tym przypadku nie można powiedzieć, iż wskaźnik EP oddaje rzeczywistą emisję CO₂ do atmosfery. Widać to lepiej na rysunku 3, na którym zestawiono te same wartości w nieco innej formie. Dla budynków numer 7-10 wskaźniki energii pierwotnej są względnie skorelowane z obliczoną emisją CO₂. Są to obiekty o podobnym charakterze (użyteczność publiczna) zasilane z kotłowni indywidualnej olejowej lub miejskich węglowych). Najwyraźniejszy brak korelacji zauważyć można dla budynków od 2 do 6 i od 12 do 17. Budynki z pierwszej grupy to obiekty zasilane z podobnych lub identycznych źródeł, lecz o innym charakterze (użyteczność publiczna, mieszkalny, część

usługowa w budynku mieszkalnym). W budynkach innych niż mieszkalne uwzględnienie energii elektrycznej na oświetlenie (mnożnik $w_H = 3$) powoduje znaczną rozbieżność EP w stosunku do obliczonych wartości emisji CO₂. Budynki z grupy (od 12 do 17) są zasilane z różnych źródeł (w tym drewno lub z częściowym udziałem drewna) i pomimo, iż użytkowo są podobne, to ich wskaźniki emisji CO₂ i wskaźniki energii pierwotnej nie są ze sobą zbieżne (rys. 5).

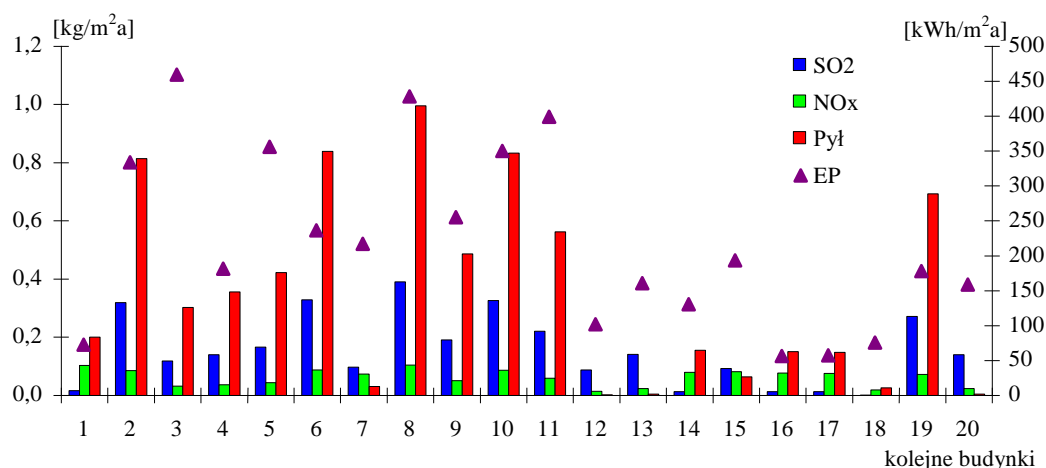
Na rysunku 6 zestawione zostały wartości pozostałych zanieczyszczeń powstających w procesie energetycznego spalania paliw emitowanych do atmosfery (SO₂, NO_x, pyły) oraz wskaźniki energii pierwotnej dla 20-tu analizowanych w artykule budynków. Brak jest tu widocznej korelacji pomiędzy wskaźnikiem energii pierwotnej a wielkościami emisji poszczególnych substancji.



Rys. 4. Wartości wskaźnika energii pierwotnej EP i emisji CO₂ dla analizowanych budynków



Rys. 5. Wartości wskaźnika energii pierwotnej EP i emisji CO₂ dla analizowanych budynków



Rys. 6. Wartości wskaźnika energii pierwotnej EP i emisji SO₂, NO_x i pyłu dla analizowanych budynków

6. Podsumowanie i wnioski

Wprowadzenie świadectw energetycznych miało przyczynić się między innymi do zwiększenia wiedzy na temat jakości ekologicznej i energetycznej budynków, a tym samym spowodować naturalne dążenie właścicieli do poprawy tych parametrów dla budynków o stwierdzonej słabej jakości. Aby takie efekty nastąpiły zamieszczane w świadectwach energetycznych wskaźniki powinny w czytelny sposób przekazywać powszechnie zrozumiałą informację. O ile czytelność prezentowania wskaźnika EP (główny element świadectwa energetycznego) nie budzi zastrzeżeń, o tyle treść przekazu jest już mało zrozumiała (niestety zdarza się że dotyczy to także autorów świadectw).

Wobec wprowadzenia w świadectwach w 2014 roku wielkości emisji CO₂ budynku świadczącej o ekologicznych walorach obiektu, może warto byłoby zastanowić się nad sensem wskaźnika EP jako głównego miernika jakości certyfikowanego budynku.

Wskaźnik energii pierwotnej EP nie do końca koresponduje z emisją CO₂ (także pozostałych substancji powstających w procesie spalania paliw w kotłach energetycznych) i w pewnych sytuacjach może być mylący jako miernik „wartości ekologicznej” budynku.

Wskaźnik energii pierwotnej EP jest niesłusznie, ale praktycznie powszechnie uważany przez inwestorów i właścicieli budynków za miernik jakości termicznej (energetycznej) budynku, podczas gdy tę funkcję dużo lepiej wypełniają wskaźniki EU w odniesieniu do samej bryły (struktury) budynku oraz EK w odniesieniu do budynku wraz z jego instalacjami ogrzewczymi.

Literatura

- Panek A., Rucińska J. (2009). Wdrażanie dyrektywy o charakterystyce energetycznej budynków w różnych krajach UE. *Materiały Budowlane*, 1/2009, 32-36.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 roku w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów Świadectw ich charakterystyki energetycznej. *Dz. U. 2008 r., Nr 201, poz. 1240*.
- Stawicka-Wałkowska M. (2001). Proces wdrażania zrównoważonego rozwoju w budownictwie. *Wydawnictwa Instytutu Techniki Budowlanej*, Warszawa.
- Sarosiek W., Sadowska B. (2009). Ekologiczne aspekty termomodernizacji wybranych budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej. *Materiały Budowlane*, 1/2009, 76-79.
- NAPE (2006-2014). Świadectwa energetyczne budynków. *NAPE S.A. O/Białystok*, 2006-2014.
- Ustawa Prawo budowlane. *Dz. U. 1994 Nr 89 poz. 414 z późn. zm.*
- Ustawa Prawo budowlane. *Dz. U. 2013 r. poz. 1409*.

ENERGY CERTIFICATES OF BUILDINGS – ECOLOGICAL ASPECTS

Abstract: The practicability of Primary Energy for ecological standard of buildings was presented in this paper. Divergences of ecological assessment that is founded on the energy certificates and the results of the calculations were demonstrated.

METODA WYZNACZANIA EFEKTYWNEJ GRUBOŚCI IZOLACJI TERMICZNEJ W BUDYNKACH MIESZKALNYCH I UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ PRZY UWZGLĘDNIENIU ŹRÓDŁA CIEPŁA

Robert STACHNIEWICZ*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę efektywnych grubości docieplenia w miejskich systemów grzewczo-budowlanych wykonaną na bazie Masterplanów w dziewiętnastu miastach. Wprowadzono podział systemów na trzy rodzaje: z deficytem mocy, zrównoważone i z nadwyżką mocy w źródle ciepła. Dla każdego z nich przedstawiono algorytm obliczeń efektywnej grubości docieplenia z uwzględnieniem dopasowania mocy źródła. Sformułowane algorytmy uwzględniają efekty unikniętych inwestycji w rozbudowę źródła ciepła oraz efekty ekologiczne. Wykorzystując opracowane algorytmy przeprowadzono obliczenia efektywności wybranych przedsięwzięć termomodernizacyjnych i analizę porównawczą z wynikami obliczeń optymalizacyjnych wykonanymi według obecnych aktów wykonawczych do ustawy o wspieraniu przedsięwzięć termomodernizacyjnych.

Słowa kluczowe: termomodernizacja budynków, system ciepłowniczy, efektywność inwestycji, ekologia.

1. Wprowadzenie

W 1989 roku zapoczątkowano w Polsce przemiany gospodarcze, zmierzające do gospodarki rynkowej. Działania te zaowocowały, między innymi, podażą na rynek nieograniczonej ilości materiałów izolacji cieplnej, jak również nowej techniki w zakresie instalacji wewnętrznych i ciepłownictwa. Następowo urealnianie kosztów surowców energetycznych i energii, stwarzając możliwość opłacalności inwestycji w oszczędzanie energii i zainteresowanie odbiorców końcowych oszczędnością energii. Od 1991 roku wprowadzono obowiązek wyposażania węzłów cieplnych w budynkach (lub tak zwanych węzłów cieplnych grupowych) w urządzenia do pomiaru ilości ciepła sprzedawanego przez dostawcę odbiorcy (na koszt dostawcy ciepła). Inwestowanie w rozwiązania techniczne obniżające zużycie energii na ogrzewanie i przygotowanie ciepłej wody użytkowej, stawało się opłacalne (zwrot kosztu inwestycji z przyszłych oszczędności był możliwy w stosunkowo krótkim czasie).

W ekspertyzie KILiW PAN i Fundacji Poszanowania Energii (1994) została przedstawiona koncepcja kredytów na termomodernizację. Na podstawie tej ekspertyzy trzy komisje sejmowe zwróciły się do rządu z dezyderatem opracowania programu działań zmierzających do racjonalizacji użytkowania energii w sektorze komunalno-bytowym. Program taki został w 1995 roku opracowany i zaakceptowany przez Sejm. Przewidywał on wspieranie przez państwo przedsięwzięć

termomodernizacyjnych finansowanych w drodze kredytów. Odpowiednia ustawa (Dz. U. 1998 r. Nr 162 poz. 1121) została uchwalona w grudniu 1998 roku (znowelizowana w lipcu 2001 roku).

Ustawa o wspieraniu przedsięwzięć termomodernizacyjnych dotyczy między innymi przedsięwzięć, które mają na celu zmniejszenie zużycia energii dostarczanej na potrzeby c.o. i c.w.u. do budynków mieszkalnych, budynków zamieszkania zbiorowego i budynków służących do wykonywania przez jednostki samorządu terytorialnego zadań publicznych (podobne uregulowania dotyczą źródeł ciepła i sieci cieplnych).

Algorytmy rachunku opłacalności, przyjęte w rozporządzeniach wykonawczych do ustawy termomodernizacyjnej, nie uwzględniają innych korzyści wynikających z termomodernizacji budynku, niż tylko obniżenie kosztu ogrzewania.

W latach 1994-2002 na zlecenie zarządów miast i gmin leżących na terenach wschodniej Polski, w ramach działalności Narodowej Agencji Poszanowania Energii (filia w Białymstoku) wykonano szereg opracowań dotyczących racjonalizacji użytkowania energii (tak zwane „Masterplany”), w których opracowaniu uczestniczył autor artykułu (Stempniak i in., 1994-2002).

Analizy w kilkunastu z tych miast wykazały istniejący lub mogący w niedalekiej przyszłości wystąpić (na skutek dalszej rozbudowy miasta) deficyt mocy w lokalnych źródłach ciepła. W miastach tych przy kompleksowej termomodernizacji, w tym dociepleniu budynków, można by zaniechać rozbudowy źródła ciepła lub przesunąć jego

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: r.stachniewicz@pb.edu.pl

rozbudowę na odleglejszy termin. Inwestycje w termomodernizację budynków mogą więc spowodować możliwość zaniechania inwestycji w źródło ciepła i wydatków na opłaty z tytułu użytkowania środowiska. Związane jest to z faktem termomodernizacji budynków i w konsekwencji zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło oraz moc w źródle ciepła, co daje możliwość przyłączenia do tego samego źródła ciepła dodatkowej liczby odbiorców. Wiąże się to także ze spadkiem opłat ponoszonych przez wytwórców ciepła za zanieczyszczenie środowiska naturalnego.

2. Konstrukcja modelu obliczeniowego efektywnej grubości izolacji termicznej dla budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej zasilanych z centralnego źródła ciepła

Przedstawione w artykule systemy grzewczo-budowlane (oznaczone w dalszej części jako SGB), dla których analizowano efektywne grubości docieplenia przegród zewnętrznych, zasilają w ciepło budynki na terenie zabudowy miejskiej. W systemach tych można było spotkać się z trzema przypadkami pokrycia zapotrzebowania na moc cieplną budynków podłączonych do źródła ciepła. Wyróżniono trzy przypadki: system zrównoważony (zapotrzebowanie na ciepło budynków równe możliwościom produkcyjnym źródła), z nadwyżką oraz deficytem mocy cieplnej.

Aby obliczyć efektywną grubość docieplenia zewnętrznych przegród pełnych w budynkach zasilanych z jednego źródła ciepła w SGB zmodyfikowano wzór na zaktualizowaną wartość netto inwestycji NPV, przedstawioną w instrukcji UNIDO (Behrens i Hawranek, 1991).

Podstawowa postać wzoru, na której bazuje algorytm oceny efektywności przedsięwzięć termomodernizacyjnych, przedstawia się następująco:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{\Delta E_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

gdzie: ΔE_t to roczne oszczędności eksploatacyjne w roku t , I_t są to nakłady inwestycyjne na przedsięwzięcie termomodernizacyjne, r jest stopą dyskonta, a n liczbą lat uwzględnionych w rachunku efektywności (okres „życia” inwestycji).

W artykule analizowane są przedsięwzięcia wpływające na zmianę wielkości deficytu w źródle ciepła, dlatego rozpatrywane przedsięwzięcia skupiają się na poprawie izolacyjności przegród zewnętrznych. Do przedsięwzięć tych można zaliczyć między innymi ocieplenie przegród zewnętrznych (stropodachów, dachów, ścian i stropów nad piwnicami nieogrzewanymi).

Uwzględniając fakt, że zabiegi termomodernizacyjne zmniejszają zapotrzebowanie na energię cieplną i moc cieplną, uzyskuje się w ten sposób oszczędność energii, a co za tym idzie zmniejszenie opłat za emisję szkodliwych związków do atmosfery przez źródło ciepła zasilające budynki. Oprócz tego, zmniejsza się także moc

ciepła potrzebna na pokrycie strat w budynkach poddanych procesowi termomodernizacji. Powoduje to, w źródłach z deficytem mocy cieplnej, zmniejszenie tego deficytu oraz możliwość uniknięcia jego rozbudowy (koszty uniknięte).

Uwzględniając koszty uniknięte rozbudowy źródła, wychodząc ze wzorów na koszt jednostki ciepła i mocy w opłacie dwuczłonowej otrzymuje się następujące zależności:

$$K_{jm} = A \cdot \left(\frac{K_{0u}}{N} + \frac{WOK}{MWOK \cdot \Delta N_{def}} \right) \quad (2)$$

$$K_{jc} = (1-A) \cdot \left(\frac{K_{0u}}{Q} + \frac{WOK}{MWOK \cdot \Delta Q_{def}} \right) \quad (3)$$

gdzie: K_{jm} to koszt jednostkowy stanowiący podstawę do ustalenia bazowej ceny za moc cieplną wyrażony w zł/MW, K_{0u} jest uzasadnionym kosztem w zakresie wytwarzania, przetwarzania i magazynowania ciepła związanym z dostarczaniem ciepła dla danej grupy odbiorców w zł, A wyraża wskaźnik udziału opłat za zamówioną moc cieplną w łącznych opłatach w roku dla danej grupy odbiorców (wartość może być przyjmowana w przedziale 0,3-0,4), N jest określoną w umowach sprzedaży ciepła mocą zamówioną przez daną grupę odbiorców w poprzednim roku lub średnią mocą cieplną, obliczoną jako średnia arytmetyczna mocy cieplnej zamówionej w kolejnych 12 miesiącach poprzedniego roku w MW, Q to ilość ciepła dostarczonej danej grupie odbiorców w poprzednim roku w GJ, WOK to wartość obecna kotłowni pokrywającej deficyt ciepła w systemie grzewczo-budowlanym wyrażona w zł, a $MWOK$ jest mnożnikiem wartości obecnej kotłowni służącym do ustalenia jej aktualnej wartości ze średnich rocznych kosztów związanych z nakładami inwestycyjnymi na modernizację lub jej rozbudowę $K_{sr.z}$, ΔN_{def} jest wyrażoną w MW mocą kotłowni pokrywającej deficyt, a ΔQ_{def} ilością ciepła w GJ jaką może wyprodukować kotłownia pokrywająca deficyt w standardowym sezonie grzewczym.

W celu uwzględnienia kosztu opłat za emisję szkodliwych związków do atmosfery posłużono się zaktualizowaną metodą Gaja (1991). Opłaty te uwzględniono w algorytmie poprzez dodanie do kosztu jednostki energii kosztów szkód ekologicznych wyrażonych wzorem:

$$K_{eko} = \frac{s_n}{W_p \cdot \eta} \quad (4)$$

gdzie: s_n jest współczynnikiem strat ekologiczno-ekonomicznych, W_p to średnia wartość opałowa nośnika energii używanego w źródle ciepła, a η to sprawność sezonowa źródła ciepła.

Precyzyjne określenie zdyskontowanych dla każdego roku (w okresie obliczeniowym) oszczędności energetycznych wymaga znajomości stopy dyskonta, obowiązującej przez cały okres trwania inwestycji. Na jej podstawie można określić współczynnik dyskonta a_t .

Wielkość stopy dyskontowej przyjmowana jest różnie w zależności od specyfiki analizowanego przedsięwzięcia i sposobu finansowania inwestycji. W przypadku gdy projekt inwestycyjny finansowany jest za pomocą funduszu obcego, stopę dyskontową przyjmuje się równą stopie procentowej płaconej od uzyskanego kredytu, bądź równą rynkowej stopie oprocentowania kredytów długookresowych lub średniookresowych (zależnie od wymaganego przez przedsięwzięcie okresu kredytowania). Tak przyjęta stopa dyskontowa oznacza koszt pozyskania kapitału na dane przedsięwzięcie inwestycyjne.

Przy założeniu oprocentowania kredytów długoterminowych (na przykład kredyty termomodernizacyjne) na poziomie 10% i średniej rocznej stopy inflacji na poziomie $i_i = 3,0\%$. Przy tym poziomie oprocentowania kredytu i stopie inflacji, otrzymuje się realną stopę dyskonta wynoszącą $r_{real} = 6,8\%$. Taką stopę dyskonta przyjęto do oceny efektywności przedsięwzięć termomodernizacyjnych w niniejszej artykule.

W sytuacji gdy obliczamy stopę dyskonta oraz współczynnik dyskontujący dla inwestycji związanych z użytkowaniem energii, na przykład termomodernizacja budynków, aby zwiększyć wagę kosztów energii w obliczeniach efektywności przyjmuje się wzrost tego kosztu ponad inflację o s wynoszące 2-3%. Do obliczeń przyjmuje się wówczas współczynnik dyskonta wyrażony wzorem:

$$a_t = \frac{(1+s)^t}{(1+r)^t} \quad (5)$$

Obliczenia efektywności za pomocą kryterium NPV obejmują wszystkie trzy przypadki poprzez uwzględnienie odpowiednich wielkości oszczędności rocznych. W każdym z 3 przypadków bilansu mocy cieplnej w systemie grzewczo-budowlanym algorytm przyjmuje różną postać, zależnie od czynników mogących wpłynąć na wysokość oszczędności rocznych. Oszczędności te są uzależnione od ceny energii cieplnej i mocy u końcowych jej odbiorców. Uwzględniają one efekt kosztów unikniętych na rozbudowę lub budowę nowego źródła pokrywającego deficyt mocy oraz efekty ekologiczne, wynikłe ze zmniejszenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery.

Ostatecznie zmodyfikowany wzór służący do określenia efektywnej grubości docieplenia zewnętrznych przegród pełnych dla przypadku miejskiego systemu grzewczo-budowlanego z deficytem mocy cieplnej przyjmuje postać:

$$NPV = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot (U_0 - U_1) \cdot \left[(t_{wo} - t_{zo}) \cdot A \cdot \left(\frac{K_{0u}}{N} + \frac{WOK}{MWOK \cdot \Delta N_{def}} \right) + 7,2 \cdot Sd \cdot \left(\frac{s_n}{W_p \cdot \eta} + (1-A) \cdot \left(\frac{K_{0u}}{Q} + \frac{WOK}{MWOK \cdot \Delta Q_{def}} \right) \right) \right] \cdot \sum_{t=1}^n \frac{(1+s)^t}{(1+r)^t} - I_o \quad (6)$$

gdzie: U_0 i U_1 są współczynnikami przenikania ciepła przegrody zewnętrznej przed i po termomodernizacji wyrażonymi w $W/(m^2 \times K)$, t_{wo} i t_{zo} to temperatury obliczeniowe wewnętrzne i zewnętrzne przyjęte według PN-82/B-02402 i PN-82/B-02403 w $^{\circ}C$, Sd jest wyrażoną w $K \times d/rok$ liczbą stopniodni w standardowym sezonie grzewczym, a I_o jest wysokością nakładów na termomodernizację zewnętrznych przegród pełnych, poniesionych w całości na początku projektu w zł.

W algorytmie obliczeń efektywnej grubości dodatkowej izolacji przegród zewnętrznych w systemach z nadwyżką mocy w źródle ciepła, na skutek braku deficytu mocy w SGB nie uwzględniony jest czynnik kosztów unikniętych rozbudowy tego źródła. Występują natomiast (jak w systemie z deficytem mocy w źródle) koszty szkód ekologicznych. Algorytm w takim przypadku przyjmuje następującą postać:

$$NPV = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot (U_0 - U_1) \cdot \left[(t_{wo} - t_{zo}) \cdot A \cdot \frac{K_{0u}}{N} + 7,2 \cdot Sd \cdot \left(\frac{s_n}{W_p \cdot \eta} + (1-A) \cdot \frac{K_{0u}}{Q} \right) \right] \cdot \sum_{t=1}^n \frac{(1+s)^t}{(1+r)^t} - I_o \quad (7)$$

W obliczeniach efektywnej grubości docieplenia, dla niektórych zrównoważonych systemów grzewczo-budowlanych, posłużono się algorytmem uwzględniającym koszty uniknięte rozbudowy źródła, ponieważ analizy perspektywiczne wykazały wystąpienie w niedalekiej przyszłości deficytu mocy cieplnej (rozbudowa istniejących zasobów mieszkalnych, likwidacja przestarzałych bądź wyeksploatowanych lokalnych źródeł ciepła o niskiej sprawności). W takim przypadku zastosować można wzór (6).

3. Efekty zastosowania stworzonych algorytmów

Wykonano obliczenia porównawcze stosując jednakowy poziom kosztów robocizny oraz jednakowe ceny materiałów termoizolacyjnych (Katalog cen jednostkowych robót, 2015). Do obliczeń ceny energii cieplnej przyjęto dla każdego systemu oddzielnie, według stawek opłat stosowanych przez wytwórcę lub dystrybutora ciepła.

Przyrost efektywnej grubości docieplenia w budynkach należących do systemu grzewczo-budowlanego, w którym występuje deficyt mocy, w odniesieniu do algorytmów optymalizacyjnych SPBT

(Dz.U. 2009 r. Nr 43 poz. 346) jest znaczący i wynosi odpowiednio:

- od 9 cm do 14 cm w przypadku stropodachów,
- od 4 cm do 8 cm w przypadku ścian zewnętrznych,
- od 10 cm do 13 cm w przypadku stropu nad piwnicą nieogrzewaną.

Przy uwzględnieniu dodatkowo kosztów szkód ekologicznych powstałych wskutek zanieczyszczenia powietrza podczas spalania nośników energii w źródle, przyrost efektywnej grubości docieplenia w odniesieniu do obliczeń według SPBT wynosi odpowiednio:

- od 14 do 18 cm w przypadku stropodachów,
- od 8 do 11 cm w przypadku ścian zewnętrznych,
- od 13 do 16 cm w przypadku stropu nad piwnicą nieogrzewaną.

4. Podsumowanie

Algorytm oceny efektywnej grubości docieplenia przegród zewnętrznych budynku powinien uwzględniać oszczędności wynikłe z unikniętych kosztów rozbudowy źródła ciepła i efektów ekologicznych. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że uwzględnienie kosztów zaniechania rozbudowy źródła ciepła w przypadku deficytu mocy w systemie ciepłowniczym podnosi znacznie efektywną grubość docieplenia przegród zewnętrznych. Uwzględnienie w rachunku efektywności, oprócz kosztów zaniechanych rozbudowy źródła ciepła (w systemach z deficytem mocy), efektów ekologicznych podnosi dodatkowo efektywną grubość dodatkowej izolacji termicznej nawet o 94% przy uwzględnieniu rzeczywistych strat ekologicznych, natomiast tylko o 3,7% przy uwzględnieniu opłat ekologicznych aktualnie stosowanych.

W przypadku tego samego właściciela budynków i źródła ciepła, przykładowo gmina (budynki komunalne i PEC) lub spółdzielnie mieszkaniowe posiadające własne kotłownie, celowe staje się rozpatrywanie docieplenia budynków łącznie ze źródłem ciepła. Uzyskuje się w ten sposób rzeczywistą efektywność ekonomiczną termomodernizacji poprzez uwzględnienie nie tylko efektów wynikających z docieplenia budynków, ale również tych osiągniętych w źródle ciepła.

Literatura

- Behrens W., Hawranek P.M. (1991). Manual for the Preparation of Industrial Feasibility Studies. *UNIDO*.
- Gaj H. (1991). Metodyka obliczania strat ekologiczno-ekonomicznych. *Gospodarka Paliwami i energia*, 9/1991, 10-13.
- Katalog cen jednostkowych robót i obiektów inwestycyjnych (2015). *Wolters Kluwer SA*, Warszawa.
- KILiW PAN, Fundacja Poszanowania Energii (1994). Zarys narodowego programu racjonalizacji użytkowania energii w sektorze bytowo-komunalnym. *KILiW PAN, Fundacja Poszanowania Energii*, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 17 marca 2009 roku w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego. *Dz.U. 2009 r. Nr 43 poz. 346*.
- Stempniak A., Sarosiek W., Ickiewicz I., Żukowski M., Stachniewicz R., Wydrycki J. (1994-2002). Koncepcje energooszczędnej modernizacji gospodarki cieplnej miast (Masterplany) oraz Projekty założeń do planu zaopatrzenia w ciepło miast. *NAPE S.A.*, Białystok.
- Ustawa z 18 grudnia 1998 roku o wspieraniu przedsięwzięć termomodernizacyjnych. *Dz.U. z 1998 r. Nr 162 poz. 1121, z późn. zm.*

METHOD OF DETERMINATION OF THERMAL INSULATION EFFECTIVE THICKNESS IN RESIDENTIAL AND PUBLIC BUILDINGS WHEN CONSIDERING THE HEAT SOURCE

Abstract: The paper presents an analysis of urban heat – building systems. The analysis was made on the basis of Masterplans in 19 towns. The division of systems into 3 types: a shortage of power, balanced power and surplus power in the source of heat was shown. The algorithm of efficiency of thermal modernization undertakings was given for systems mentioned above. The algorithm takes into consideration a lack of modernization investments in the thermal source and ecological effect. Efficiency of thermal modernization investments was calculated, which was the basis of comparative analysis for the results of calculation according to the law in force. The algorithm can be used to calculate the efficiency of thermal modernization undertakings if there is only one owner of buildings and thermal source.

WSKAŹNIK WŁAŚCIWOŚCI OBUDOWY BUDYNKU JAKO KRYTERIUM WYMAGAŃ OCHRONY CIEPLNEJ

Adam ŚWIĘCICKI*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Artykuł przedstawia propozycję definicji wymagań ochrony cieplnej budynków z użyciem zintegrowanego wskaźnika właściwości cieplnych obudowy. Jako kryterium oceny proponuje się zastosowanie uśrednionej wartości współczynnika przenikania ciepła granicy obliczeniowej strefy ogrzewanej budynku, której wartość graniczną uzależniono od założonego, docelowego poziomu zapotrzebowania na energię oraz klimatyczno-użytkowych czynników warunkujących zużycie ciepła do celów grzewczych i wentylacyjnych. W artykule przedstawiono również wyniki oceny grupy pięciu budynków testowych, których izolacyjność cieplną obudowy dobrano z wykorzystaniem omawianej metody.

Słowa kluczowe: ochrona cieplna budynków, izolacyjności cieplna budynków, reglamentacja zużycia energii w budynkach.

1. Wprowadzenie

Przyjęcie Polski do Unii Europejskiej w 2004 roku było uwieńczeniem długoletnich starań naszego kraju o formalne dołączenie do krystalizującej się „nowej” Wspólnoty Europejskiej. Ratyfikacja dokumentów akcesyjnych przez Polskę oznaczała między innymi przyjęcie zobowiązania do przestrzegania wszelkich zasad jakim podlegają państwa członkowskie, w tym w zakresie prawa budowlanego. Pierwszym krokiem było przyjęcie w 1994 ustawy *Prawo Budowlane* (Dz. U. z 1994 r. Nr 89 poz. 414, z późn. zm.). Zgodnie z ogólnosięciowym kierunkiem optymalizacji zarządzania energią i jej źródłami, silnie promowanym również i w UE, w art. 5 ustawy znalazł się zapis nakładający obowiązek zapewnienia oszczędności energii i odpowiedniej izolacyjności cieplnej przegród. W ślad za ustawą wydano w 1997 roku rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 30 września 1997 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 1997 r. Nr 132 poz. 878) oraz szereg norm, w tym z zakresu ochrony cieplnej budynków. Było to przełomowe posunięcie w historii polskich regulacji prawnych z zakresu racjonalizacji użytkowania energią, które wprowadziło nową formułę definiowania przepisów ochrony cieplnej – reglamentację zużycia energii na cele ogrzewcze. Za ustanowieniem przepisów nie poszła jednak egzekucja nowego prawa. Monitoring przestrzegania przepisów ochrony cieplnej w budownictwie mieszkaniowym prowadzony pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. J. A. Pogorzelskiego

w okresie pierwszej dekady obowiązywania nowych przepisów na terenie Polski północno-wschodniej (Pogorzelski, 2007), wykazał nagminne łamanie art. 5 *Prawa budowlanego*. Ze skontrolowanych projektów przedłożonych do uzyskania pozwolenia na budowę, jedynie niewielki procent spełniał obowiązujące wymagania ochrony cieplnej. Sprawdzeniu podlegała zgodność z regulacjami z ocenianego okresu ocenie, czyli przepisów zawartych w Warunkach technicznych z 1997 r. (Dz. U. z 1997 r. Nr 132 poz. 878) oraz ich nowelizacji z 2002 roku (Dz. U. z 2002 r. Nr 75 poz. 690). W przypadku wielorodzinnych budynków mieszkalnych i budynków zamieszkania zbiorowego obligatoryjne było wówczas spełnienie warunku:

$$E \leq E_0 \quad (1)$$

gdzie: E jest wskaźnikiem sezonowego zapotrzebowania na ciepło w kWh/(m³·rok), E_0 jest graniczną wartością wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło w kWh/(m³·rok).

Gdy budynki mieszkalne w zabudowie jednorodzinnej poddane były alternatywnej formule wymagań, czyli warunek (1) lub:

$$U_k \leq U_{k \max} \quad (2)$$

a dla przegród stykających się z gruntem:

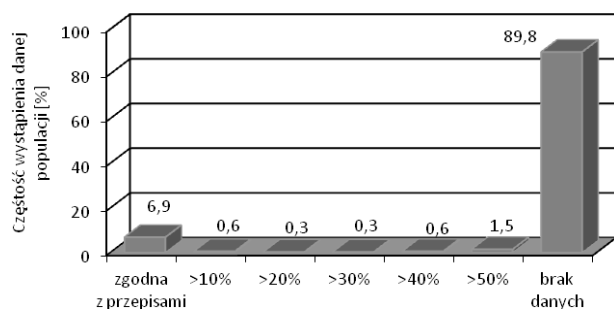
$$R_T \geq R_{\min} \quad (3)$$

gdzie: U_k jest współczynnikiem przenikania ciepła przegrody z uwzględnieniem mostków cieplnych

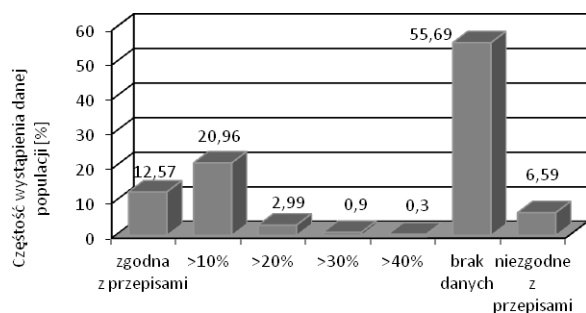
* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: a.swiecicki@pb.edu.pl

w $W/(m^2 \cdot K)$, U_{kmax} jest graniczną wartością współczynnika przenikania ciepła w $W/(m^2 \cdot K)$, R_T jest całkowitym oporem cieplnym przegrody w $(m^2 \cdot K)/W$, R_{min} jest wymaganym minimalnym oporem cieplnym przegrody w $(m^2 \cdot K)/W$.

Odsetek budynków wielorodzinnych, które w przeanalizowanej dokumentacji projektowej legitymowały się spełnieniem wymagań ochrony cieplnej wyniósł niecałe 7% (rys. 1), a dla grupy budynków jednorodzinnych około 13% (rys. 2). Należy przy tym zaznaczyć, że w przypadku budownictwa jednorodzinnego 45% projektów zawierało dane umożliwiające jakąkolwiek ocenę budynku, a przy zabudowie wielorodzinnej odsetek ten wyniósł jedynie 10%. Bez komentarza pozostawia się kwestię egzekucji zapisów ustawy *Prawo budowlane* i właściwych przepisów wykonawczych na etapie wydawania pozwoleń na budowę. Zaistniała dysproporcję na korzyść domów jednorodzinnych można tłumaczyć możliwością zadośćuczynienia przepisom, wykazując jedynie właściwy poziom izolacyjności cieplnej przegród określonych warunkami (2) i (3). Dla tego typu budynków, w zdecydowanej większości skontrolowanych projektów wybierano tę właśnie drogę weryfikacji, co zapewne wynika z jej prostoty i małej pracochłonności. Ocena zapotrzebowania na energię jest natomiast o wiele bardziej skomplikowanym i czasochłonnym procesem wymagającym dogłębnej analizy bilansu energetycznego budynku i uwzględnienia wpływu jego bezpośredniego otoczenia.



Rys. 1 Spełnianie wymagań w zakresie wskaźnika E – wielorodzinne budynki mieszkalne (Pogorzelski, 2007)



Rys. 2 Spełnianie wymagań w zakresie współczynnika U – jednorodzinne budynki mieszkalne (Pogorzelski, 2007)

Od momentu zaistnienia w polskich przepisach budowlanych formuły charakterystyki energetycznej

budynku przepisy ochrony cieplnej przeszły kilka znaczących nowelizacji. W ich obecnej postaci (Dz. U. z 2013 r. poz. 926) obowiązuje wymóg sprawdzania izolacyjności cieplnej przegród zgodnie z kryterium:

$$U_c \leq U_{c(max)} \quad (4)$$

gdzie: U_c jest współczynnikiem przenikania ciepła przegrody z uwzględnieniem ewentualnych poprawek ΔU , w $W/(m^2 \cdot K)$, a $U_{c(max)}$ jest graniczną wartością współczynnika przenikania ciepła w $W/(m^2 \cdot K)$.

Obligatoryjne wypełnienie kryterium energooszczędności definiowanego w postaci:

$$EP \leq EP_{dop} \quad (5)$$

gdzie: EP jest wskaźnikiem rocznego obliczeniowego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną w $kWh/(m^2 \cdot rok)$, a EP_{dop} jest graniczną wartością obliczeniowego wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną w $kWh/(m^2 \cdot rok)$.

Wartości graniczne $U_{c(max)}$ oraz EP_{dop} (obliczane dla występujących w budynku kierunków rozbioru energii, to jest ogrzewania i wentylacji, ciepłej wody użytkowej, chłodzenia lub wbudowanego oświetlenia) określa rozporządzenie w sprawie warunków technicznych z uwzględnieniem ich perspektywicznego zaostrożania w latach 2017 oraz 2021 (Dz. U. z 2013 r. poz. 926).

W dalszej części przedstawiono koncepcję definiowania wymagań ochrony cieplnej będącą niejako kompilacją metod weryfikacji parametrów cieplnych przegród oraz jakości energetycznej budynku. Jako kryterium oceny zaproponowano przyjęcie zintegrowanego wskaźnika właściwości obudowy strefy ogrzewanej budynku, którego wartość graniczną, gwarantującą uzyskanie założonego poziomu zapotrzebowania na energię, uzależniono od czynników determinujących zużycie energii w sezonie grzewczym. Na przykładzie pięciu budynków przedstawiono wyniki testów poprawności oceny według proponowanego warunku, przy założeniu różnych kombinacji lokalizacji i wentylacji budynku.

2. Propozycja kryterium oceny z użyciem wskaźnika właściwości obudowy U_{sr}

W ramach aktualnej wersji rozporządzenia w sprawie WT (Dz. U. z 2013 r. poz. 926) równolegle funkcjonują dwa kryteria ochrony cieplnej:

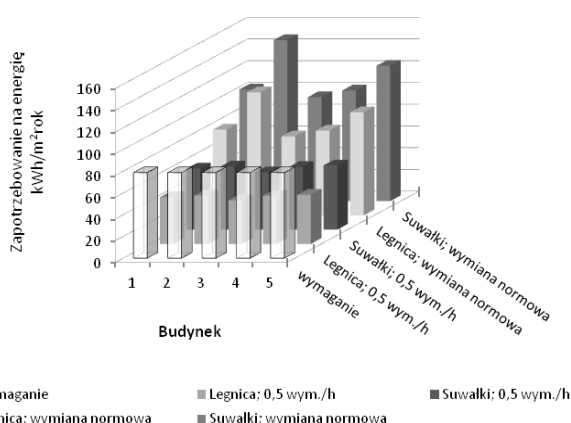
- izolacyjności termicznej poszczególnych typów przegród,
- zużycia nieodnawialnej energii pierwotnej.

Dualizm wymagań, obecnie rozszerzony na wszystkie typy budynków, nie daje już możliwości wyboru dogodniejszego wariantu. Problem polega jednak na braku korelacji pomiędzy jakością energetyczną budynku wyznaczaną obiema formułami. Może to prowadzić do sytuacji, w której ten sam budynek spełnia wszystkie kryteria izolacyjności termicznej przegród przekraczając jednocześnie wymaganie jednostkowego zapotrzebowania

na energię pierwotną. Ilustrują to wyniki porównania jednostkowego zapotrzebowania na energię pierwotną budynków testowych (rys. 3) o założonej izolacyjności cieplnej przegród równej wymaganiom (Dz. U. z 2013 r. poz. 926), z wartością graniczną EP_H . Wymaganie energooszczędności uwzględnia obecnie potrzeby ogrzewcze i ciepłej wody użytkowej EP_{H+W} . Można jednak, przy pewnych założeniach względem systemu c.w.u., dość prosto wyodrębnić składową odpowiedzialną jedynie za potrzeby ogrzewcze EP_H :

$$EP_H = EP_{H+W} - EP_W \quad (6)$$

gdzie: EP_W jest wskaźnikiem rocznego obliczeniowego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną na potrzeby ciepłej wody użytkowej w kWh/(m²·rok), EP_H jest wskaźnikiem rocznego obliczeniowego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną na potrzeby ciepłej ogrzewania i wentylacji w kWh/(m²·rok), a EP_{H+W} jest wskaźnikiem rocznego obliczeniowego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną na potrzeby ogrzewania, wentylacji i ciepłej wody użytkowej w kWh/(m²·rok).



Rys. 3 Relacja pomiędzy wymaganą izolacyjnością cieplną przegród a uzyskiwanym $EP_H = EU_H$ ($EP_H / EP_{H+W} = 0,75$, $w_H / \eta_{H,tot} = 1,0$)

Człon uwzględniający udział ciepłej wody w dopuszczalnej wartości EP_{H+W} można w przybliżeniu określić, bazując na metodologii sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Rozwoju w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz. U. z 2015 r. poz. 376), z zależności:

$$EP_W = \frac{Q_{W,nd} \cdot w_w}{\eta_{W,tot} \cdot A_f} + \frac{E_{el,pomW} \cdot w_{el}}{A_f} \quad (7)$$

gdzie: $Q_{W,nd}$ jest obliczeniowym zapotrzebowaniem na nieodnawialną energię pierwotną na potrzeby ciepłej wody użytkowej w kWh/(m²·rok), $E_{el,pom.W}$ jest rocznym zapotrzebowaniem na energię pomocniczą końcową dostarczaną do budynku lub jego części dla systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej, w kWh/(m²·rok), A_f jest powierzchnią o regulowanej temperaturze w m²,

$\eta_{w,tot}$ jest całkowitą sprawnością systemu ciepłej wody użytkowej, w_H i w_w są współczynnikami nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej odpowiednio dla ogrzewania i c.w.u.

Przy $EP_W = EU_W$, czyli na przykład pominięciu energii pomocniczej, przyjęciu sprawności systemu ciepłej wody użytkowej $\eta_{w,tot} = 1,00$ oraz współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej $w_w = 1,00$, dodatek na c.w.u. w wartości granicznej EP wynosi 24,4696 kWh/m²·rok. Stanowi on zatem około 25% udziału w wymaganiu wynoszącym 105 kWh/m²·rok (Dz. U. z 2013 r. poz. 926) sprowadzając tym samym EP_H do poziomu 78,75 kWh/m²·rok. Wartość ta jest również reprezentatywna, na przykład dla częstego przypadku zasilania budynków wielorodzinnych w ciepło sieciowe z kogeneracji przy wykorzystaniu węgla kamiennego lub gazu ($w_w = 0,80$) i przy sprawności systemu c.w.u. na poziomie 80%.

Zaprezentowana na rysunku 3 symulacja obnaża podstawową niedogodność metody regulacji parametrów cieplnych przegród, którą jest brak jakiegokolwiek przewidywalnej kontroli nad wynikowym zapotrzebowaniem budynku na energię. Obliczenia przeprowadzono dla lokalizacji budynków testowych w II (Legnica) i V (Suwałki) strefie temperaturowej według PN-EN 12831:2006 *Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego* przy dwóch wariantach obliczeniowych strumienia powietrza wentylacyjnego:

- równego połowie kubatury ogrzewanej (0,5 wym./h),
- określonego zgodnie z wytycznymi PN-83/B-03430/Az3:2000 *Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej – Wymagania* odnośnie wymaganego strumienia wentylacyjnego w systemach wentylacji grawitacyjnej.

Analiza przyczyn nagminnego ignorowania przepisów ochrony cieplnej, jak również wykazany brak spójności obowiązujących formuł wymagań, skłoniły autora do zastanowienia się nad możliwością zastosowania innego rozwiązania. Wykorzystano do tego celu obowiązującą metodologię obliczeń zapotrzebowania na energię cieplną według PN-EN ISO 13790:2009 *Ciepne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii do ogrzewania*. Zaproponowano metodę oceny budynków w oparciu o wartość średnią ważoną współczynników przenikania ciepła obudowy strefy ogrzewanej, gdzie wagą jest powierzchnia przegród:

$$\frac{\sum_i b_i \cdot A_i \cdot U_i + \sum_j b_j \cdot l_j \cdot \Psi_j + \sum_k b_k \cdot \chi_k}{\sum_i b_i \cdot A_i} \leq U_{sr.gr} \quad (8)$$

gdzie: b_i , b_j , b_k są czynnikami korekcyjnymi wyrażającymi stosunek obliczeniowej różnicy temperatur środowisk po obu stronach rozpatrywanej i -tej przegrody, j -tego liniowego lub k -tego punktowego mostka cieplnego ($\theta_i - \theta_u$) do obliczeniowej różnicy temperatur powietrza wewnętrznego θ_i i powietrza zewnętrznego θ_e :

$$b = \frac{\theta_i - \theta_u}{\theta_i - \theta_e} \quad (9)$$

gdzie: A_i jest polem powierzchni i -tego komponentu oddzielającego strefę ogrzewaną budynku od środowiska zewnętrznego, gruntu lub nieogrzewanej części budynku w m^2 , U_i jest współczynnikiem przenikania ciepła z uwzględnieniem mostków cieplnych w $W/(m^2 \cdot K)$, Ψ_j jest współczynnikiem przenikania ciepła w miejscu występowania j -tego liniowego mostka cieplnego w $W/(m \cdot K)$, χ_k jest współczynnikiem przenikania ciepła w miejscu występowania k -tego punktowego mostka cieplnego w W/K , a l_j jest długością j -tego liniowego mostka cieplnego w m.

Wychodząc z zależności (5) i zakładając jednorodność temperaturową w obrębie strefy ogrzewanej, wartość graniczną średniego współczynnika przenikania ciepła obudowy strefy ogrzewanej, stanowiącą kryterium warunku (8), można opisać równaniem:

$$U_{sr,gr} = 41,67 \cdot \frac{EP_H}{\left(w_H \cdot \frac{w_d \cdot w_t}{\eta_{H,tot}} - a \right) \cdot Sd} \cdot \frac{A_f}{\sum_i b_i \cdot A_i} + \frac{\sum_m \eta_m \cdot (86400 \cdot \Phi_i \cdot Ld_m + \sum_j I_{Sj,m} \cdot \sum_n A_{Snj})}{86400 \cdot Sd \cdot \sum_i b_i \cdot A_i} - 0,34 \cdot \frac{\dot{V}}{\sum_i b_i \cdot A_i} \quad (10)$$

gdzie: Sd jest liczbą stopniodni odpowiadającą założonej temperaturze wewnętrznej strefy ogrzewanej θ_i i warunkom klimatycznych właściwym dla przyjętej lokalizacji budynku (średnia miesięczna temperatura powietrza zewnętrznego $\theta_{e,m}$ według www.mir.gov.pl – „baza danych klimatycznych” oraz liczba Ld_m według Dz. U. z 2009 r. Nr 43 poz. 346 w K·d, η_m jest współczynnikiem wykorzystania zysków w m -tym miesiącu sezonu grzewczego, Φ_i jest strumieniem wewnętrznych zysków ciepła w m -tym miesiącu sezonu grzewczego w W , Ld_m jest liczbą dni w m -tym miesiącu zaliczanych do sezonu grzewczego w dniach, I_{Sj} jest jednostkowym zyskiem energii słonecznej dla j -tej orientacji powierzchni zbierającej w m -tym miesiącu sezonu grzewczego w J/m^2 , $\sum_n A_{Sn}$ jest efektywną powierzchnią zbierającą j -tej orientacji w m^2 , 0,34 jest mnożnikiem przeliczeniowym uwzględniającym średnią gęstość powietrza $\rho_a = 1,2 \text{ kg/m}^3$ oraz ciepło właściwe $c_a = 1020 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ w W/K , a \dot{V} jest strumieniem powietrza wentylacyjnego w m^3/h .

Proponowane rozwiązanie zakłada jednostrefowość budynku, to jest sytuację, gdy lokalne wahania temperatury w obrębie granic obliczeniowych ogrzewanej części budynku są na tyle niewielkie (do 4°C), że można przyjąć jednorodność temperaturową strefy przypisując jej jedną obliczeniową temperaturę wewnętrzną (PN-EN 12831:2006). W przypadku występowania większych wahań temperatury w kubaturze ogrzewanej (przekraczających 4°C), układ możemy sprowadzić również do przypadku jednostrefowego

wyznaczając średnią temperaturę strefy z zależności według PN-EN ISO 13790:2009:

$$\theta_i = \frac{\sum_z H_z \cdot \theta_{i,z}}{\sum_z H_z} \quad (11)$$

gdzie: $\theta_{i,z}$ jest temperaturą w obrębie z -tej strefy według PN-EN 12831:2006 w $^\circ\text{C}$, H_z jest współczynnikiem strat ciepła z -tej strefy temperaturowej w W/K .

Mając na względzie wykorzystanie proponowanego warunku w ocenie jakościowej, a nie ilościowej, można zrezygnować z sumowania zysków energii cieplnej po poszczególnych miesiącach sezonu grzewczego (metoda miesięczna) przyjmując roczny bilans zysków energii cieplnej (metoda sezonowa):

$$U_{sr,gr} = 41,67 \cdot \frac{EP_H}{(1-a) \cdot Sd} \cdot \frac{A_f}{\sum_i b_i \cdot A_i} + \frac{\eta \cdot (86400 \cdot \Phi_i \cdot Ld + \sum_j I_{Sj} \cdot \sum_n A_{Snj})}{86400 \cdot Sd \cdot \sum_i b_i \cdot A_i} - 0,34 \cdot \frac{\dot{V}}{\sum_i b_i \cdot A_i} \quad (12)$$

gdzie: Sd jest liczbą stopniodni charakterystyczna dla przyjętej lokalizacji budynku w K·d, η jest uśrednionym sezonowym współczynnikiem wykorzystania zysków, Ld jest długością sezonu grzewczego w dniach, a I_{Sj} jest jednostkowym rocznym zyskiem energii słonecznej dla j -tej orientacji powierzchni zbierającej w J/m^2 .

W analogiczny sposób można określić poziom izolacyjności obudowy strefy ogrzewanej mając na względzie jedynie potrzeby cieplne netto na cele ogrzewcze oraz wentylację w obrębie jej granic obliczeniowych (energię użytkową EU_H):

$$U_{sr,gr} = 41,67 \cdot \frac{EU_H}{\left(w_H \cdot \frac{w_d \cdot w_t}{\eta_{H,tot}} - a \right) \cdot Sd} \cdot \frac{A_f}{\sum_i b_i \cdot A_i} + \frac{\eta \cdot (86400 \cdot \Phi_i \cdot Ld + \sum_j I_{Sj} \cdot \sum_n A_{Snj})}{86400 \cdot Sd \cdot \sum_i b_i \cdot A_i} - 0,34 \cdot \frac{\dot{V}}{\sum_i b_i \cdot A_i} \quad (13)$$

gdzie EU_H jest wskaźnikiem obliczeniowego rocznego zapotrzebowania na ciepło (energię użytkową) w $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$.

3. Przykłady oceny budynków z wykorzystaniem wskaźnika właściwości obudowy U_{sr}

W dalszej części przedstawiono wyniki oceny poprawności doboru charakterystyki cieplnej obudowy każdego z 5 przykładowych budynków testowych, której wymagany poziom określono przy pomocy metody będącej tematem niniejszego artykułu. W tabeli 1 zamieszczono skróconą charakterystykę przyjętych budynków testowych, które oznaczono symbolami B1, B2, B3, B4 i B5.

Tab. 1. Skrócona charakterystyka budynków testowych

Budynek	A/V	Powierzchnia użytkowa	Kubatura ogrzewana	Przeszklenie	Liczba mieszkań	Liczba mieszkańców
	m^{-1}	m^2	m^3	[-]	jedn.	osób
1	2	3	4	5	6	7
B1	0,45	1 710,4	4 276	0,14	21	78
B2	0,50	2 357,5	5 880	0,21	50	107
B3	0,41	3 561,7	8 905	0,15	42	183
B4	0,40	6 761,2	17 078	0,15	81	238
B5	0,48	2 716,3	6 833	0,19	50	125

Tab. 2. Strumienie powietrza wentylacyjnego przyjęte w obliczeniach weryfikacyjnych

Budynek	Wariant I		Wariant II według PN-83/B-03430/Az3:2000			
	Całkowity strumień	Krotność wymian	Strefa II (Legnica)		Strefa V (Suwałki)	
			Całkowity strumień	Krotność wymian	Całkowity strumień	Krotność wymian
	m^3/h	$[h^{-1}]$	m^3/h	$[h^{-1}]$	m^3/h	$[h^{-1}]$
1	2	3	4	5	6	7
B1	2 139		4 642	1,09	4 046 ²⁾	0,95
B2	2 941		7 101 ¹⁾	1,21	5 550 ²⁾	0,94
B3	4 453	0,50	9 501	1,07	8 225 ²⁾	0,92
B4	8 540		17 874	1,05	16 162 ²⁾	0,95
B5	3 417		8 147 ¹⁾	1,19	6 371 ²⁾	0,93

Objaśnienia: ¹⁾ korekta strumienia powietrza wentylacyjnego w strefie mieszkalnej do 1,3 wym./h,

²⁾ korekta strumienia powietrza wentylacyjnego w strefie mieszkalnej do 1,0 wym./h.

Tab. 3. Wyniki obliczeń weryfikacyjnych

Budynek	Wariant I				Wariant II według PN-83/B-03430/Az3:2000			
	Legnica – strefa II		Suwałki – strefa V		Legnica – strefa II		Suwałki – strefa V	
	$U_{sr} = U_{sr,gr.}$	$EP_H/EP_{H,dop}$	$U_{sr} = U_{sr,gr.}$	$EP_H/EP_{H,dop}$	$U_{sr} = U_{sr,gr.}$	$EP_H/EP_{H,dop}$	$U_{sr} = U_{sr,gr.}$	$EP_H/EP_{H,dop}$
	$W/(m^2 \cdot K)$	[-]	$W/(m^2 \cdot K)$	[-]	$W/(m^2 \cdot K)$	[-]	$W/(m^2 \cdot K)$	[-]
1	2	3	4	5	6	7	8	9
B1	0,97	1,03	0,74	1,03	0,54	1,02	0,41 ¹⁾	1,03
B2	1,01	0,99	0,79*	1,00	0,54 ¹⁾	0,99	0,49 ¹⁾	0,99
B3	1,11	1,01	0,85	1,02	0,65	1,01	0,50 ¹⁾	1,01
B4	1,10	1,03	0,84	1,03	0,64	1,03	0,46 ¹⁾	1,03
B5	1,03	1,02	0,80*	1,01	0,54 ¹⁾	1,01	0,49 ¹⁾	1,02

Objaśnienia: ¹⁾ wartość wyznaczona przy obniżonym strumieniu powietrza wentylacyjnego.

Posługując się kryterium (8) dostosowano izolacyjność termiczną przegród definiujących strefę ogrzewaną poszczególnych budynków tak, aby $U_{sr.} = U_{sr.gr.}$. Okazało się jednak, że w niektórych przypadkach wyznaczone sumaryczne wartości obliczeniowego strumienia powietrza wentylacyjnego są na tyle duże, że uniemożliwiają osiągnięcie $U_{sr.gr.}$. W związku z powyższym w wariantach tych wprowadzono korektę zaleceń normowych. Ostatecznie przyjęte strumienie wentylacji zamieszczono w tabeli 2.

Określając wartość graniczną średniego współczynnika przenikania ciepła obudowy skorzystano z zależności (13), co wynika z przyjętego założenia pominięcia w obliczeniach sprawdzających procesu konwersji energii pierwotnej na energię użytkową, czyli ciepło. W analizie przyjęto zatem system ogrzewania pracujący w cyklu ciągłym ($w_d = w_t = 1$), bez odzysku ciepła ($a = 0$), „bezzstratnie” ($\eta_{H,tot} = 1,0$) oraz przy niedostępnym energii o $w_H = 1$.

Po zaprojektowaniu parametrów cieplnych przegród każdego z budynków, wykonano obliczenia wskaźnika EPH (w tym wypadku EU_H) wykorzystując do tego celu program ArCADia Termo. Dopuszczalną wartość wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię $EP_{H,dop}$ wyznaczono z uwzględnieniem 25% sumarycznego udziału członu ciepłej wody użytkowej EP_W i energii pomocniczej $E_{el,pom,w}$ i wyniosła ona 78,75 kWh/m²·rok.

Porównanie otrzymanych wskaźników z wartościami granicznymi zamieszczono w tabeli 3.

4. Wnioski

Przeprowadzone obliczenia weryfikacyjne potwierdzają możliwość wykorzystania przedstawionej metody doboru parametrów cieplnych przegród budynku jako formuły wymagań ochrony cieplnej lub jako kryterium pomocnego w przewidywaniu jakości energetycznej budynku – wynikowej przyjętych izolacyjności cieplnych przegród. Powiązanie poziomu izolacyjności termicznej obudowy z założonym pułapem zużycia energii wydaje się być trafnym rozwiązaniem, łączącym w sobie odpowiednią dokładność oszacowania z prostotą jego przeprowadzenia. W testowanej grupie obiektów maksymalna różnica pomiędzy jednostkowym zapotrzebowaniem na ciepło EP_H i wartością graniczną $EP_{H,dop}$ wyniosła 3%, a średnie odchylenie standardowe uzyskanych wyników wyniosło 0,014. Są to zachęcające rezultaty, świadczące o przydatności metody, która musi być potwierdzona dalszymi badaniami.

Sam wskaźnik właściwości obudowy strefy ogrzewanej, rozumiany jako średnia izolacyjność termiczna przegród składowych, nie może być wykorzystany do porównywania ze sobą różnych budynków. Należy jednak pamiętać, że odpowiada on konkretnemu założonemu jednostkowemu

zapotrzebowaniu na energię. Podając zintegrowaną charakterystykę termiczną budynku, wyrażoną średnim współczynnikiem przenikania ciepła z przywołaniem wartości jednostkowego zapotrzebowania na energię jakiemu odpowiada – otrzymuje się komplet danych do oceny jakościowej i ilościowej budynku.

W chwili obecnej prowadzone są dalsze testy na większej grupie budynków w kierunku uproszczenia procedury wyznaczania granicznego poziomu izolacyjności obudowy.

Literatura

- Pogorzelski J. A. (2007). Propozycja mechanizmu finansowego wdrożenia Dyrektywy 2006/32/WE w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii. ITB, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku 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 17 marca 2009 roku w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego. Dz. U. z 2009 r. Nr 43 poz. 346.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 roku w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej. Dz. U. z 2015 r. poz. 376.
- Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 30 września 1997 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz. U. z 1997 r. Nr 132 poz. 878.
- Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz. U. z 2013 r. poz. 926.
- Ustawa Prawo Budowlane z dnia 7 lipca 1994 roku. Dz. U. z 1994 r. Nr 89 poz. 414, z późn. zm.

INDICATOR PROPERTIES OF HOUSING IN THE BUILDING AS A CRITERION OF HEAT PROTECTION REQUIREMENTS

Abstract: The paper proposes a definition of protection requirements through an integrated thermal properties of the indicator housing. The limit value of conditional factors determining energy consumption for heating and ventilation purposes is proposed as a criterion to use the average heat transfer coefficient of the building housing the heated zone. The paper contains the results of calculations of verification of the proposed criterion, which has been tested on a group of five buildings.

Abstracts Vol. 6 No. 1

Ryszard J. GRABOWSKI

Calculation of the winding length in the reinforced concrete poles

The ways of calculating the length of the winding in the reinforced concrete poles with rectangular, circular and elliptical section were developed. This problem is quite generally described in literature and standard recommendations. The presented methods of calculation may be used in practice.

Irena ICKIEWICZ

Impact of snow on the natural temperature field in the subsoil

Natural temperature field in the subsoil is a function of time and depth, it occurs away from various sorts of heat sources. Fluctuations of the outside air temperature and the average annual temperature have an impact on the natural temperature field. Measurements of the temperature field in the soil carried out by the IMiGW are conducted in an open area, hence results gained in winter are subject to error due to the thermal insulation of soil in the form of a layer of snow. To be able to use the huge amount of data on the temperature distribution in the subsoil (including the depth of frost penetration) held in IMiGW resources, we should assess the impact of the variable thermal insulation in the form of a layer of snow on the values obtained from the measurements. An attempt of such an assessment is described in this paper.

Emilia POGORZELSKA

Sound analysis of wooden floors made in prefabricated modular technology

The aim of this article is to analyze the solutions of wooden ceilings in terms of changing sound insulation materials. Field research was conducted on floors in buildings made in wooden frame modular technology. To carry out field research the methods defined in the Polish Standards were used. The results of the analysis showed improved acoustic conditions in floors without any acoustic pads in comparison to constructions with elastomeric insulation.

Beata SADOWSKA

EU, EK, EP indexes and energy standard of buildings

The energy indexes evaluated based on energy certificates of different kinds of buildings were analysed. The usefulness of indicators used in energy certificates for assessment of the thermal standard of buildings was estimated.

Wiesław SAROSIEK

Energy certificates of buildings – ecological aspects

The practicability of Primary Energy for ecological standard of buildings was presented in this paper. Divergences of ecological assessment that is founded on the energy certificates and the results of the calculations were demonstrated.

Robert STACHNIEWICZ

Method of determination of thermal insulation effective thickness in residential and public buildings when considering the heat source

The paper presents an analysis of urban heat – building systems. The analysis was made on the basis of Masterplans in 19 towns. The division of systems into 3 types: a shortage of power, balanced power and surplus power in the source of heat was shown. The algorithm of efficiency of thermal modernization undertakings was given for systems mentioned above. The algorithm takes into consideration a lack of modernization investments in the thermal source and ecological effect. Efficiency of thermal modernization investments was calculated, which was the basis of comparative analysis for the results of calculation according to the law in force. The algorithm can be used to calculate the efficiency of thermal modernization undertakings if there is only one owner of buildings and thermal source.



Adam ŚWIĘCICKI

Indicator properties of housing in the building as a criterion of heat protection requirements

The paper proposes a definition of protection requirements through an integrated thermal properties of the indicator housing. The limit value of conditional factors determining energy consumption for heating and ventilation purposes is proposed as a criterion to use the average heat transfer coefficient of the building housing the heated zone. The paper contains the results of calculations of verification of the proposed criterion, which has been tested on a group of five buildings.