ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1966
Seria: BUDOWNICTWO z. 19 Nr kol. 170

WŁODZIMIERZ ZARĘBSKI

O PROJEKTOWANIU PRZEGRÓD BUDOWLANYCH POD WZGLĘDEM TERMICZNO-EKONOMICZNYM W WARUNKACH POLSKICH

Streszczenie. W artykule podano sposób dobierania przegród budowlanych pod względem termiczno-ekonomicznym w dostosowaniu do polskich warunków. Określono przedział ekonomicznego współczynnika przewodności cieplnej przegrody w zależności od: kosztów przegrody i dostarczonego ciepła, temperatury zewnętrznej i wewnętrznej, własności termicznych przegrody i okresu ogrzewczego, czasu trwania budowy, eksploatacji budynku i stopy oprocentowania kapitału. Wskazano na drugorzędny wpływ okresu amortyzacji na efekt ekonomiczny przegrody w budynkach mieszkalnych i komunalnych.

1. Wstęp

Przegroda budowlana powinna spełniać wymagania użytkowe pod względem funkcji, wytrzymałości, fizyki[1)] i ekonomii. Polskie normy i przepisy budowlane nie w pełni uwzględniają powyższe wymagania, m.in. warunku nadmiernej utraty ciepła przez przegrodę. PN-57/B-02405 wprowadza jedynie górną granicę współczynnika przenikania ciepła k w za-

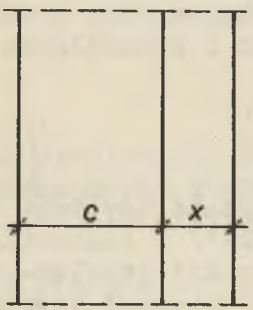
---

1) Fizyka obejmuje: przenikanie ciepła i rozkład temperatur w przegrodzie oraz stateczność cieplną budynku; skraplanie się wilgocie na powierzchni i wewnątrz przegrody; zawilgocenie przegrody wodą (wilgocią) pochodzącą: z okresu budowy, z opadów atmosferycznych, gruntu, uszkodzonych instalacji i warstw ochronnych, technologii użytkowania itp.; akustykę.

leżności od strefy klimatycznej kraju, rodzaju i usytuowania przegrody. Nie podaje natomiast współczynnika k minimalnego oraz kryteriów jego ustalania. Stan ten jest przyczyną częstego doboru przegrody ekonomicznie nieuzasadnionej, ponieważ ekonomiczne k zależy od: kosztów przegrody i dostarczanego ciepła, temperatury zewnętrznej i wewnętrznej, właściwości termicznych przegrody i okresu ogrzewczego, czasu trwania budowy i eksploatacji budynku, stopy oprocentowania kapitału i dokładności ustalenia kosztów (wskaźników) rzeczywistych.

Racjonalnie zaprojektowana przegroda powinna więc czynić zadość wymaganiom przytoczonym na początku przy minimalnych bezpośrednich nakładach inwestycyjnych i ekonomicznym współczynniku przenikania ciepła k. Kryteria ustalenia tego współczynnika podajemy w dalszej części opracowania.

2.1. Rozpatrzmy przegrodę składającą się z dwóch zastępczych warstw o grubości "c" i warstwy izolacji termicznej o grubości x.



Rys. 1

Warstwy grubości "c" wymagające minimalnych nakładów bezpośrednich muszą być zastosowane ze względów konstrukcyjnych, funkcjonalnych, fizycznych; w ich skład należy zaliczyć również warstwy ochronne, fakturowe itp., które muszą być wykonane (np. tynk, tapeta, oblicówka itp.) oraz przewidywane pustki powietrzne wewnątrz przegrody.

Warstwa "x" jest niezbędną dodatkową izolacją termiczną dla uzyskania ekonomicznego współczynnika k, powinna być wykonana z materiału o dominujących własnościach izolacyjnych. Jest ona na tyle cienka i założona na zewnątrz przegrody "c", że nieznacznie wpływa na zmniejszenie powierzchni użytkowej pomieszczenia.

2.2. W celu wyznaczenia ekonomicznego współczynnika k i jemu odpowiadającej grubości warstwy "x" stosuje się znaną zasadę, aby skapitalizowane koszty 1 m^2 przegrody, na które składają się koszty budowy i utraconego ciepła w jednym roku

użytkowania były minimalne. Wielu jednak badaczy między innymi [1] i [5] słusznie krytykuje powyższą zasadę jako poprawną jedynie pod względem matematycznym, ponieważ w otoczeniu ekstremum krzywa kosztów jako funkcja k jest prawie płaska, a więc przy dość przybliżonych parametrach określanie k na podstawie absolutnego minimum może niepotrzebnie doprowadzić do przeinwestowania budynku.

2.2.1. W niniejszym opracowaniu za ekonomiczny przyjmuje się współczynnik k odpowiadający niewielkiemu przyrostowi funkcji kosztów, który jest istotnie większy od minimalnego teoretycznego współczynnika k_m i znacznie wpływa na obniżenie nakładów inwestycyjnych. Takie założenie pozwoli uniknąć w wielu przypadkach dodatkowych warstw przegrody, a więc na znaczne obniżenie nakładów inwestycyjnych. Minimalne zwiększenie obliczeniowych rocznych kosztów całkowitych przegrody na korzyść znacznego zmniejszenia nakładów inwestycyjnych nie musi wpłynąć na rzeczywiste ich podwyższenie, a to z powodu: nieproporcjonalnego do pracochłonności ustalenia cen (wskaźników), rozrzutów naturalnych współczynników przewodności cieplnej materiałów, niedokładności w ustaleniu stopy oprocentowania nakładów i tendencji do jej zwiększania się, niedokładności rachunkowych i zmniejszenia nakładów przez obniżenie kosztów bezpośrednich. Istnieje zatem przedział, w którym zawarte współczynniki k dają praktycznie jednakowy efekt ekonomiczny przegrody, należy więc przyjmować grubości warstw przegrody odpowiadające największemu współczynnikowi przewodności cieplnej tego przedziału, czyli najmniejszym z możliwych nakładom inwestycyjnym.

2.3. Skapitalizowane nakłady całkowite w jednym roku amortyzacyjnym 1 m^2 przegrody wynoszą:

$$N = H\,k\,e + a + s \qquad (1)$$

gdzie:

$$H = 24.d.\Delta t = 24.d(t_w - t_z) \qquad (2)$$

d - ilość dni opałowych w roku,

t_w - przewidziane temperatura we wnętrzu pomieszczenia,

t_z - średnia ważona zewnętrzna temperatura okresu opałowego

$$t_z = \frac{1}{d} \int_0^d t(i)\, di, \quad t(i) = \frac{1}{24} \int_0^{24} t(j)\, dj$$

t(i) - temperatura "i" doby okresu opałowego d,

t(j) - " "j" godziny doby "i",

e - cena 1 kcal dostarczonego ciepła.

W wielkość, "e" należy wkalkulować: koszty opału, obsługi kotłowni i strat przesyłania energii skapitalizowane nakłady inwestycyjne na budowę kotłowni, remonty, konserwacje itp. Zgodnie z [8] można przyjąć, że "e" nie zależy od izolacyjności przegrody budynku (od zapotrzebowania na ciepło), strefy klimatycznej kraju i systemu ogrzewania, zależy natomiast od kosztów, opału, sposobu wytwarzania ciepła (kotłownia domowa, osiedlowa, elektrociepłownia), rodzaju, wyposażenia i wielkości agregatów wytwarzających ciepło. Tak więc dla danego sposobu wytwarzania ciepła można ustalić w obrębie osiedla czy miasta stałą wielkość "e":

s - nakłady na konserwację 1 m^2 przegrody w 1 roku amortyzacyjnym.

Konserwacja wszystkich przegród jest zazwyczaj jednakowa i ogranicza się do ich powierzchni (tynkowanie, malowanie, szpachlowanie itp.), można zatem uważać ją za stałą i niezależną od ich grubości czy budowy wewnętrznej.

a - nakłady inwestycyjne na 1 m^2 przegrody w 1 roku amortyzacyjnym z uwzględnieniem akumulacji można wyliczyć z równania:

$$a_1 \cdot g^z = a \cdot g^{z-1} + a \cdot g^{z-2} + \ldots + a \cdot g^2 + a \cdot g + a = a \frac{1 - g^z}{1 - g}$$

$$g = 1 + \frac{p}{100}; \qquad (3)$$

p - stopa oprocentowania nakładów, zawarta w granicach 5 ÷ 15%,

z - obliczeniowy okres amortyzacji inwestycji,

a_1 - poniesione nakłady na 1 m^2 przegrody do czasu ukończenia inwestycji z uwzględnieniem ich akumulacji.

Po "m" latach realizacji inwestycji "$a_1 \cdot F$" równe jest ostatniemu wyrazowi ciągu:

$$F_1\, b\, q,\ F_1\, b\, q\, g + F_2\, b\, q,\ (F_1\, b\, q\, g + F_2\, b\, q)g + F_3\, b\, q \ldots$$

i wynosi:

$$Fa_1 = b \cdot q \sum_{n=1}^{n=m} F_n\, g^{m-n}; \quad F = \sum_{n=1}^{n=m} F_n; \quad g > q > 1 + \frac{g - 1}{2} \qquad (4)$$

m - okres realizacji inwestycji w latach,

F_n - zbudowana powierzchnia przegrody w "n" roku,

$q = 1 + \frac{p_1}{100}$; p_1 - stopa oprocentowania nakładów realizowanych w ciągu roku akumulacyjnego,

$$b = R_c + x \cdot r, \qquad (5)$$

b = nakłady bezpośrednie na zbudowanie 1 m^2 przegrody o zastępczej grubości (c + x),

r - koszt bezpośredni na zbudowanie warstwy jednostkowej "x",

R_c - koszt bezpośredni na zbudowanie warstw "c".

Z dostateczną dokładnością dla praktyki inżynierskiej można założyć równomierność nakładów "$F_n \cdot b$" w okresie "m" czyli $F_1=F_2=F_n=F:m$, zatem z (4):

$$a_1 = \frac{b\,q}{m} \sum_{n=1}^{n=m} g^{m-n}, \qquad a_1 = b\,q\,\frac{1-g^m}{(1-g)\cdot m} \qquad (6)$$

Podstawiając do (3) (6) otrzymujemy:

$$b \cdot q\,\frac{1-g^m}{(1-g)\cdot m} \cdot g^z = a\,\frac{1-g^z}{1-g}$$

$$a = b \cdot q\,\frac{g^m-1}{m} \cdot \frac{g^z}{g^z-1} = b \cdot u^2 \cdot w^2 \qquad (7)$$

$$u^2 = q\,\frac{g^m-1}{m}\ ; \qquad w^2 = \frac{g^z}{g^z-1} \qquad (7a)$$

Dla zapasu równowartego kwartalnym nakładom na realizację przegrody współczynnik q wyliczymy w zależności:

$$p_1 = p\,\frac{t-y}{t}$$

$$b\,F_n\,q = \int_{-\frac{t}{4}}^{+\frac{3}{4}t} \frac{bF_n}{t} \cdot \frac{p}{100}\,\frac{t-y}{t}\,dy + b\,F_n = b\,F_n\left(1+\frac{3}{4}\cdot\frac{p}{100}\right)$$

t - dni 1 roku,

y - dzień dostaw materiałów

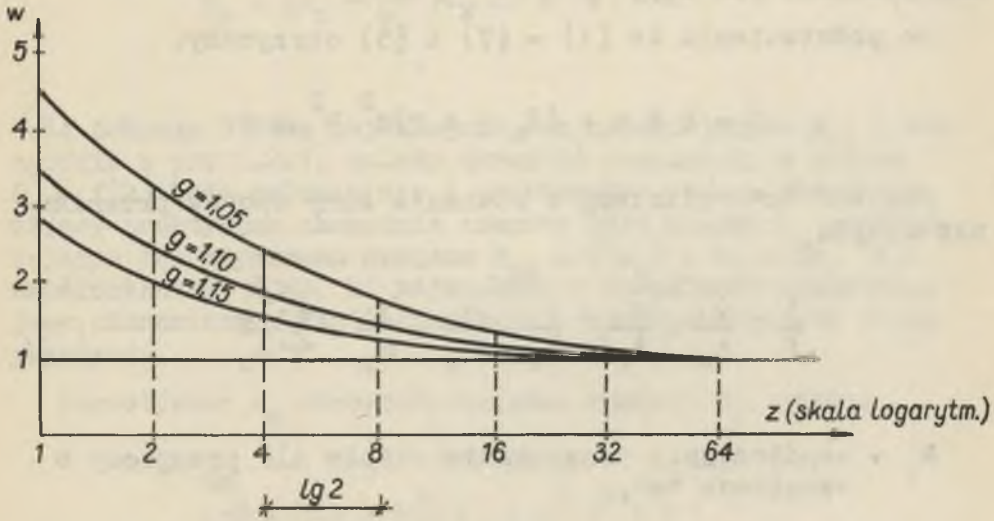
$$q = 1 + \frac{3}{4}\cdot\frac{p}{100} = 1 + \frac{3}{4}(g-1) \qquad (8)$$

Tablica I

Wartość współczynników "u"
uwzględniających zamrożenie nakładów

g	$q = 1 + \frac{3}{4} \cdot (g-1)$	m			
		1	2	3	4
1,05	1,0375	0,228	0,231	0,234	0,237
1,10	1,075	0,328	0,336	0,344	0,353
1,15	1,125	0,411	0,426	0,442	0,459

Jak widać z tablicy I dla danego g współczynniki "u" mieszczą się w dość małych granicach, a granice te zwiększają się dla większych g.



Rys. 2. Zależność współczynnika "w" od okresu amortyzacyjnego "z"

Jak wynika z rys. 2 wpływ okresu amortyzacyjnego na koszty przegrody w granicach z = 32-64 lat jest drugorzędny ponieważ współczynnik "w" jest bliski jedności, a budynki w tym czasie dobrze spełniają swoje zadanie.

W granicach powyższych "w" wynosi jak w tabl. II

Tablica II

z	g		
	1,05	1,10	1,15
32	1,13	1,03	1,005
64	1,02	1,00	1,00

W obliczeniach przegród można przyjmować stałe w = 1,02, gdyż zmniejszenie (zwiększenie) izolacyjność o ok. 1% nie ma praktycznie znaczenia, wobec większych rozrzutów naturalnych w przewodności materiałów, niedokładności rachunkowych itp.

Po podstawieniu do (1) - (7) i (5) otrzymamy:

$$N = H\,k\,e + (R_c + x\,r)u^2\,w^2 + s \qquad (9)$$

Grubość "x" wyliczamy z równania sumy oporów przenikania ciepła

$$\frac{1}{k} = \frac{x}{\lambda_x} + \frac{1}{k_o}; \quad \frac{1}{k_o} = \frac{1}{\alpha_o} + \frac{1}{\alpha_n} + \sum_1^n \frac{c_n}{\lambda_n} \qquad (10)$$

k_o - współczynnik przenikania ciepła dla przegrody o warstwach "c",

α_o, α_n - współczynniki napływu i odpływu ciepła,

λ_n - współczynnik przewodności cieplnej materiału "n" warstwy o grubości c_n,

$$x = \left(\frac{1}{k} - \frac{1}{k_o}\right) \lambda_x \tag{10a}$$

Wstawiając do (9) (10a) po przekształceniu otrzymamy:

$$N = N_z + N_s \tag{11}$$

nakłady zmienne

$$N_z = H\,k\,e + \frac{1}{k}\lambda_x\ r\,u^2\,w^2 \tag{11a}$$

nakłady stałe

$$N_s = \left(R_c - \frac{1}{k_o}\lambda_x r\right) u^2\,w^2 + s \tag{11b}$$

2.4. Nakłady N będą najmniejsze dla najmniejszych N_z, zatem zgodnie z pkt 2.2.1. należy określić przedział, w którym $N_z = f(k)$ będą najmniejsze i praktycznie stałe. Przedział mający praktyczne znaczenie zawarty jest między k_m odpowiadającym teoretycznemu minimum $N_{zm} = f(k_m)$ i $k_p = \beta k_m$ dla współczynnika $\beta > 1$, k_p największy w określonym przedziale jest ekonomicznym współczynnikiem przenikania ciepła przez przegrodę.

Teoretyczne k_m odpowiada minimum funkcji N_z, zatem:

$$\frac{dN_z}{d\,k} = H\,e - \frac{1}{k^2}\lambda_x\,r\,u^2\,w^2 = 0$$

$$k_m = u\,w\sqrt{\frac{\lambda_x \cdot r}{H\,e}} \tag{12}$$

Wstawiając $k = k_m$ do (11 a) otrzymamy:

$$N_{zm} = 2\,u\,w\sqrt{H\,e\,\lambda_x\,r} \tag{13}$$

Współczynnik β można wyliczyć z równania określającego płaskość $N_z = f(k)$ w otoczeniu ekstremum, czyli:

$$N_z - N_{zm} = \mu N_{zm} \tag{14}$$

μ - współczynnik dopuszczalnego teoretycznego zwiększenia rocznych kosztów całkowitych na rzecz jeszcze praktycznie korzystnego zwiększenia współczynnika k.

Podstawiając do (14) (11 a) i (13) otrzymamy następujące równanie wiążące k_p i μ:

$$H\,e\,k_p^2 - 2\,u\,w\sqrt{H\,e\lambda_x\,r_x}(1+\mu)k_p + \lambda_x\,r_x\,u^2\,w^2 = 0, \qquad k_p > 0,$$

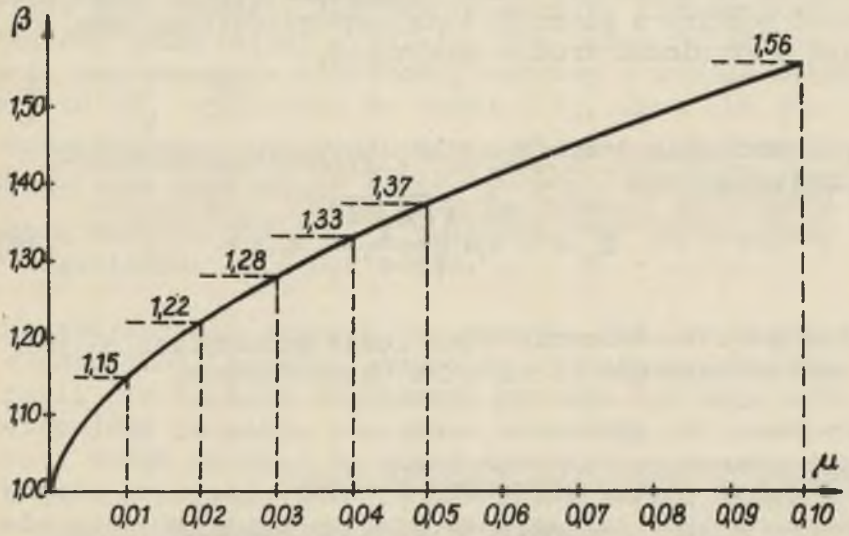
stąd:

$$k_p = u\,w\sqrt{\frac{\lambda_x\,r}{H\,e}}\left[1 + \mu + \sqrt{\mu(2+\mu)}\right] = k_m \cdot \beta$$

$$k_p = \beta k_m, \qquad \beta = k_p : k_m \tag{15}$$

$$\beta = 1 + \mu + \sqrt{\mu(2+\mu)} \tag{16}$$

$$\mu = 0{,}5\left(\beta + \frac{1}{\beta}\right) - 1 \tag{16a}$$



Rys. 3. Zależność β od μ

Z rys. 3 wynika, że przy niewielkim zwiększeniu zmiennych rocznych kosztów całkowitych teoretycznie minimalnych (np. o 2%; μ = 0,02) możliwe jest znaczne obniżenie teoretycznego współczynnika przewodności cieplnej km (o 22%; β = 1,22) przy praktycznie takim samym efekcie ekonomicznym zgodnie z pkt. 2.2.1, a więc przy znacznym zmniejszeniu lub zlikwidowaniu nakładów inwestycyjnych na dodatkową warstwę izolacyjną (x).

Celowe jest przyjęcie jako maksymalnego μ = 0,03 (3%), ponieważ mieści się on w granicach błędów obliczeniowych, a zwiększanie współczynnika "k_m" o więcej niż 28% (β = = 1,28 odpowiada μ = 0,03) rzadko ma praktyczne zastosowanie. Zawsze należałoby stosować co najmniej współczynnik μ = 0,01 (odp. β = 1,15), pozwalający znacznie (o 15%) zwiększyć współczynnik k bez żadnych strat finansowych. Ogólnie należałoby stosować współczynniki μ = 0,01-0,03; przy czym górny jeśli spowodowałby zlikwidowanie warstwy izolacyjnej (lub jednej podstawowej grubości), a pośrdnie stosować w celu wyboru technicznie możliwej cienkiej i potrzebnej warstwy dodatkowej. Gdyby dodatkowa warstwa ocieplająca była

kłopotliwa do wykonania można przyjąć $\mu = 0{,}04$ a nawet 0,05, ponieważ różnice w rocznych kosztach całkowitych będą również w granicach trudno uchwytnych.

2.5. Ekonomicznie uzasadniony współczynnik przewodności cieplnej przegrody

$$k_p = u\, w \beta \sqrt{\frac{\lambda_x\, r}{H\, e}} < k_o \qquad (17)$$

Jeśli $k_p \geqslant k_o$ to stosowanie dodatkowej warstwy izolacyjnej (x) jest niewskazane ze względów ekonomicznych.

3. Tok postępowania przy projektowaniu:

a) Przyjmujemy przegrodę z warunków konstrukcyjnych, funkcjonalnych fizycznych oraz trwałości i obliczamy dla niej ze wzoru (10) współczynnik przewodności cieplnej k_o.

b) Przyjmujemy rodzaj materiału ewentualnej dodatkowej warstwy termicznej (spełniającej warunki jak w "a") i ustalamy dla niej λ i r.

c) Ustalamy m, p oraz g i q, t_z i t_w, d, przyjmujemy $\beta = 1{,}15$ (odpowiadające $\mu = 0{,}01$) i w = 1,02,

d) Obliczamy "u" z (7a), H z (2) i k_p z (17).

I. Jeśli $k_p \geqslant k_o$ to dodatkowa warstwa "x" jest zbyteczna.

II. Jeśli zastosowanie dodatkowej warstwy "x" jest mało kłopotliwe (np. pogrubienie ściany wykonywanej w deskowaniu, ułożenie grubszej izolacji sypkiej itp.), a $k_p < k_o$ to stosujemy dodatkową warstwę

$$x = \left(\frac{1}{k_p} - \frac{1}{k_o}\right) \lambda_x \qquad (18)$$

III. Jeśli zastosowanie dodatkowej warstwy jest kłopotliwe [np. wymaga pogrubienia warstwy izolacyjnej lub przegrody jednorodnej o kolejny (za duży) "skok" jej grubości, zastosowania dodatkowej warstwy z innego materiału itp.] to k'_p wyliczamy ze wzoru (17), lecz dla $\beta = 1,28$ odpowiadającego $\mu = 0,03$. Gdy $k'_p \geqslant k_o$ do dodatkowa warstwa jest zbyteczna; jeśli $k'_p < k_o$ to stosujemy dodatkową warstwę jak w II i wyliczone "x" zaokrąglamy tak, aby odpowiadało $\mu = 0,01 \div 0,03$.

e) Sprawdzamy czy przegroda z warstwą "x" (termicznie - ekonomiczna) spełnia pozostałe wymagania fizyczne; jeśli nie to albo zwiększamy grubość izolacji albo zastępujemy ją inną, względnie zmieniamy jej konstrukcję. Można również zmieniać konstrukcję w celu uniknięcia grubszej izolacji lub jeśli musimy konstrukcyjnie stosować dużo grubszą warstwę izolacyjną od wyliczonej.

f) Jeśli nakłady bezpośrednie na izolacyjną warstwę dodatkową nie zmieniają się proporcjonalnie do jej grubości to należy przyjąć możliwą grubość "x", obliczyć jej koszt, który podzielony przez "x" daje "r". Gdy dla tego "r" wyliczone "x" będzie różne od przyjętego to przyjąć ostatnie i obliczenia powtórzyć.

4. Przykłady obliczenia przegród pod względem termiczno-ekonomicznym.
(Po tych obliczeniach należy sprawdzić przegrodę jak w pkt. 3e).

4.1. Obliczyć grubość ściany zewnętrznej kat. I z gazobetonu $\gamma = 700$ kg/m^3 na zaprawie wapiennej.

Dane:

Przyjęto ścianę grubości 24 cm + 2 cm tynku zewnętrznego i 1,5 cm tynku wewnętrznego.

Dane:

$\alpha_o' = 20 \frac{kcal}{m^2\ h\ 1^oC}$, $r = 608,80$ zł/m

$\alpha_n = 7 \frac{kcal}{m^2\ h\ 1^oC}$, $e = 27$ gr/1000 kcal

$\lambda_g = \lambda_x = 0,20 \frac{kcal}{m\ h\ 1^oC}$, $m = 2$ lata

$\lambda_{tz} = 0,90 \frac{kcal}{m\ h\ 1^oC}$, $g = 1,10$, $q = 1,075$

$\lambda_{tw} = 0,65 \frac{kcal}{m\ h\ 1^oC}$, $t_z = +3^oC$

$\beta = 1,15$ $t_w = +18^oC$

$w = 1,02$ $d = 200$ dni

$$\frac{1}{k_o} = \frac{1}{20} + \frac{1}{7} + \frac{0,02}{0,90} + \frac{0,015}{0,65} + \frac{0,24}{0,20} = 0,235 + 1,20 = 1,435$$

$$k_o = 0,697 = \text{ok. } 0,70\ kcal/m^2\ h\ 1^oC$$

$$u = \sqrt{1,075\ \frac{1,10^2 - 1}{2}} = 0,336, \quad H = 24 \cdot 200(18-3) = 72000$$

$$k_p = 0,336 \cdot 1,02 \cdot 1,15 \sqrt{\frac{0,20 \cdot 608,80}{72000 \cdot 27 \cdot 10^{-5}}} = 0,98 \frac{kcal}{m^2 h 1^oC} > 0,70$$

$k_p > k_o$ - dodatkowa warstwa izolacyjna jest zbyteczna.

4.2. Zaprojektować warstwę izolacyjną ściany zewnętrznej z cegły wapienno-piaskowej na zaprawie marki 30 z supremy o $\gamma = 400\ kg/m^3$.
Dane jak w pkt. 4.1. z wyjątkiem:

$r = 10_2 6{,}00$ zł/m $\qquad \lambda_c = 0{,}85$

$\lambda_x = 0{,}09$

$$\frac{1}{k_o} = 0{,}235 + \frac{0{,}25}{0{,}85} = 0{,}529, \qquad k_o = 1{,}89$$

$u = 0{,}336, \qquad H = 72000$

$$k_p = 0{,}336 \cdot 1{,}02 \cdot 1{,}15\sqrt{\frac{0.09 \cdot 1026{,}00}{72000 \cdot 27 \cdot 10^{-5}}} = \text{ok. } 0{,}86 < 1{,}89$$

$k_p < k_o$

$$x = \left(\frac{1}{0{,}86} - \frac{1}{1{,}89}\right) 0{,}09 = 0{,}0572 \text{ m}$$

Przyjęto supremę grubości x = 5 cm, zatem z (10)

$$k = \frac{1}{\frac{x}{\lambda_x} + \frac{1}{k_o}} = \frac{1}{\frac{0{,}05}{0{,}09} + 0{,}529} = 0{,}922$$

$k_m = k_p : \beta = 0{,}86 : 1{,}15 = 0{,}749$

$\beta' = k : k_m = 0{,}922 : 0{,}749 = 1{,}23$

$$\mu = 0{,}5\left(\beta' + \frac{1}{\beta'}\right) - 1 = 0{,}5\left(1{,}23 + \frac{1}{1{,}23}\right) - 1 = 0{,}022 < 0{,}03$$

$\mu' < 0{,}03$, więc przyjęcie x = 5 cm jest właściwe.

4.3. Zaprojektować izolację termiczną stropodachu o konstrukcji gęstożebrowej Akermana o następujących warstwach izolacyjnych:

2 x papa na lepiku (grubość 2 . 2 + 2 . 3),
warstwa wyrównawcza 4 cm,
żużel paleniskowy $\gamma = 1000\ kg/m^3$,
2 x papa na lepiku (paroizolacja).

Dane:

$\lambda_p = \lambda_1 = 0{,}15$ $\qquad$ $r = 130$ zł/m

$\lambda_b = 1{,}35$ $\qquad$ $\lambda_s = 3{,}38\ \frac{kcal}{m^2\ h\ 1^oC}$

$\lambda_ż = 0{,}30$

Pozostałe dane jak w pkt. 4.1.

$$\frac{1}{k_o} = \frac{1}{20} + \frac{1}{7} + \frac{1}{3{,}38} + \frac{0{,}01}{0{,}65} + \frac{(2.3 + 2.2)2.10^{-3}}{0{,}15} + \frac{0{,}04}{1{,}35} = 0{,}664$$

$k_o = 1{,}50$

t_w - jest mierzone na wysokości 1,5 m od podłogi, można zatem przyjąć zgodnie z [4], że pod sufitem temperatura wyniesie ($t_w + 2^oC$), czyli:

$H = 24 \cdot 200(18 + 2 - 3) = 81500$

$$k_p = 0{,}336 \cdot 1{,}02 \cdot 1{,}15\sqrt{\frac{0{,}30 \cdot 130}{81500 \cdot 27 \cdot 10^{-5}}} = 0{,}525 < 1{,}50$$

$$x = \left(\frac{1}{0{,}525} - \frac{1}{1{,}50}\right) 0{,}30 = 0{,}37\ m$$

Przyjęto warstwę żużla grubości x = 35 cm

$$k = \frac{1}{\frac{0,35}{0,30} + 0,664} = 0,547$$

$$k_m = 0,525 : 1,15 = 0,457$$

$$\beta' = 0,547 : 0,457 = 1,20$$

$$\mu' = 0,5(1,20 + \frac{1}{1,20}) - 1 = 0,017 < 0,03$$

Zatem może pozostać x = 35 cm.

4.4. Zaprojektować izolację termiczną stropodachu o konstrukcji żelbetowej płytowej żużlobetonowej o ciężarze objętościowym γ= 1400 kg/m^3 i grubości 11 cm z supremy, ułożoną na paraizolacji (2 x papa), na supremie będzie wykonana gładź cementowa 2 cm, a do niej przyklejona 2 x papa.

Dane:

$$\lambda_p = \lambda_1 = 0,15$$

$$\lambda_ż = 0,60$$

$$\lambda_s = 0,09$$

$$r = 1026,00 \text{ zł/m}$$

$$t_w = 18^o + 2^o = 20^oC$$

Pozostałe dane jak w pkt 4.1

$$\frac{1}{k_o} = \frac{1}{20} + \frac{1}{7} + \frac{0,02}{1,35} + \frac{0,01}{0,65} + \frac{(2 \cdot 3 + 2 \cdot 2)2 \cdot 10^{-3}}{0,15} + \frac{0,11}{0,60} =$$

$$= 0,354 + 0,183 = 0,537$$

$k_o = 1,86$

$H = 24 \cdot 200(18 + 2 - 3) = 81500$

$$k_p = 0,336 \cdot 1,02 \cdot 1,15\sqrt{\frac{0,09 \cdot 1026,00}{81500 \cdot 27 \cdot 10^{-5}}} = 0,806 < 2,46$$

$$x = \left(\frac{1}{0,806} - \frac{1}{1,86}\right) 0,09 = 0,060 \text{ m, przyjęto } x' = 5 \text{ cm}$$

$$k' = \frac{1}{\frac{0,05}{0,09} + 0,537} = 0,915$$

$k_m = 0,806 : 1,15 = 0,702$

$\beta' = 0,915 : 0,702 = 1,302$

$$\mu' = 0,5\left(1,302 + \frac{1}{1,302}\right) - 1 = 0,036 > 0,03$$

a) przyjmujemy $x'' = 7$ cm

$$k'' = \frac{1}{\frac{0,07}{0,09} + 0,537} = 0,761 < k_p$$

$\beta'' = 0,761 : 0,702 = 1,084$

$$\mu'' = 0,5\left(1,084 + \frac{1}{1,084}\right) - 1 = 0,0035 < 0,01$$

Czyli μ'' nie mieści się w granicach 0,01 ÷ 0,03, można pozostawić grubość supremy 7 cm, lepiej będzie przyjąć grubszą płytę i cieńszą supremę.

b) Przyjęto grubość płyty 13 cm i supremę grubości 5 cm

$$\frac{1}{k_o} = 0{,}354 + \frac{0{,}13}{0{,}60} = 0{,}571$$

$$k = \frac{1}{\frac{0{,}05}{0{,}09} + 0{,}571} = 0{,}887$$

$$\beta''' = 0{,}887 : 0{,}702 = 1{,}26$$

$$\mu''' = 0{,}5(1{,}26 + \frac{1}{1{,}26}) - 1 = 0{,}027 < 0{,}03$$

$0{,}01 < \mu''' < 0{,}03$, czyli przyjęcie w (b) jest ekonomiczne.

5. Uwaga końcowa

W celu wprowadzenia przedstawionego sposobu do projektowania przegród budowlanych należy ustalić urzędowo stopę oprocentowania kapitału (p), ceny (wskaźniki) 1 kcal ciepła (e) oraz ceny (wskaźniki) przegród - izolacji termicznych (r),

LITERATURA

[1] CAEMMERER W.: Der Einfluss des Wärmeschutzes auf die Wirtschftlichkeit von Wohn - und Bürogebauden. Gesundheits - Ingenieur Nr 4, T. 80, 1959 r.

[2] HOTTINGER M.: Theoretische Betrachtungen praktischer Beispiele aus der Lüftungs - und Wärmeschutztechnik. Gesundheits - Ingenieur T. 42. 1919 r.

[3] Komisja Planowania przy Radzie Ministrów: Instrukcja ogólna w sprawie metodyki badań ekonomicznej efektywności inwestycji. Warszawa, 1962 r.

[4] KOŁODZIEJCZYK ST.: Fizyka konstrukcji budowlanych. PWN Warszawa, 1958 r.

[5] MIELNICKI I.S.: Techniczno - ekonomiczne podstawy projektowania izolacji termicznej ścian zewnętrznych w budownictwie. "Inwestycje i Budownictwo" Nr 1/1961 r.

[6] OSSOWIECKI M.: Ściany osłonowe. Arkady, Warszawa 1964 r.

[7] RIETSCHEL/RAISS: Podręcznik ogrzewania i wietrzenia. Arkady, Warszawa 1963 r.

[8] SKOCZEK WŁ., SANECKI J.: Studium nad zależnością kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych budynku mieszkalnego od wartości izolacyjnej jego ścian zewnętrznych przy różnych systemach ogrzewania. I.B.M. Zakład Badania Kosztów i Cen w Budownictwie. Materiały i Dokumentacja seria B. Zeszyt 3/89/59, Warszawa, 1959 r.

[9] ŻENCZYKOWSKI W.: Budownictwo ogólne tom IV. Arkady, Warszawa 1960 r.

[10] KOMITET BUDOWNICTWA URBANISTYKI I ARCHITEKTURY. DEPARTAMENT NORM BUDOWLANO-MONTAŻOWYCH: a) Zestawienie cen jednostkowych elementów i robót budowlano-montażowych, Cz. 2 Budownictwo ogólne W.K. i C. Warszawa 1963 r.
b) Cennik materiałów budowlanych do celów kosztorysowania. Wyd. III, W.K. i C. Warszawa 1963 r.

[11] PN-59/B-02402: Temperatury obliczeniowe pomieszczeń mieszkalnych.

[12] PN-57/B-02403: Najniższe temperatury obliczeniowe otoczenia budynków i nieogrzewanych przestrzeni zamykanych.

[13] PN-57/B-02405: Współczynniki przenikania ciepła k dla przegród budowlanych. Wartości liczbowe.

[14] Pn-57/B-03404: Współczynniki przenikania ciepła k. Dane do obliczeń k dla przegród budowlanych.

Wpłynęło do Redakcji 22.V.1965 r.

О ПРОЕКТИРОВАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАГРАЖДЕНИЙ
В ТЕРМИЧЕСКО-ЭКОНОМИЧЕСКИМ ОТНОШЕНИИ
В ПРИМЕНЕНИИ К ПОЛЬСКИМ УСЛОВИЯМ

Р е з ю м е

В статьи подано способ подбирания строительных заграждений в термическо-экономическим отношении в применении к польским условям. Определено интервал экономического коэффициента теплопроводности заграждений в зависимости от: стоимости заграждений и доставляемой теплоты, внешней и внутренной температуры, термических свойств заграждений и отопительного периода, периода длительности стройки, эксплуатации здания и процентной нормы капитала.

Обращено внимание на второстепенное влияние периода амортизации на экономический эффект заграждений жилищных и комунальных зданий.

SPERRWANDE PROJEKTIERUNG IM TERMISCH EKONOMISCHEN BETREFF IN POLNISCHEN VERHÄLTNISSEN

Z u s a m m e n f a s s u n g

Im Artikel sind angegeben die Methoden der Auswahl von Sperrwanden im termisch ökonomischen Betreff, in polnischen Verhältnissen. Man bezeichnete den Intervall des ökonomischen Wärmeleitfähigkeitsfaktor im Abhang von: Sperrwandkosten und geliferten Wärme, inn und aussen Temperatur, termischen Eigenschaften der Sperrwand und Beheizungszeitdauer, Bau und Betriebsdauer, sowie Kapitaliinsfuss. Man gab einen Hinweis auf den sekundären Einfuss der Tilgungsdauer auf der ökonomischen Effekt der Sperrwände in Wohn - und Komunalhäusern.