

Marek Przetocki

BILANS ENERGETYCZNY BUDYNKU

Streszczenie

W artykule podjęto próbę powiązania strat cieplnych budynku ze środowiskiem. Przedstawiono wszystkie problemy związane z tym zagadnieniem oraz możliwości zmniejszenia zużycia energii na pokrycie strat ciepła pomieszczeń. Dokonano także przeglądu metod polskich i zagranicznych.

Summary

A test of join of warmth losses with environment are taken on. All problems related with this issue and the possibility of reduction of energetic losses in buildings are described. Also the review of Polish and foreign methods are presented.

Wstęp

Bilans energetyczny budynku, o którym będzie mowa, nie jest typowym zestawieniem strat i zysków czy tylko strat ciepła, z określonym wynikiem (liczbowym) nasuwającym pewne wnioski i rozwiązania. Chodzi raczej o bilans i przedstawienie wszystkich zagadnień związanych ze stratami energetycznymi pomieszczeń, omówienie sposobów ich zmniejszenia i metod ograniczenia zużycia energii pierwotnej (surowców energetycznych) potrzebnej na ich pokrycie. Jest to także próba powiązania problemów typowo ogrzewniczych (i związanych z fizyką budowli) ze środowiskiem oraz wykazania ich ścisłej współzależności, wskazującej na konieczność pełnego, zdaniem autora, bilansu energetycznego budynku. Efektem tego bilansu byłoby wydatne zmniejszenie zużycia surowców naturalnych i ujemnych zjawisk przy ich przeróbce na ciepło, a także zmniejszenie emisji ciepła do środowiska (atmosfery i wody).

Wpływ bilansu cieplnego budynku na środowisko

Zagadnienie wpływu bilansu strat ciepła budynku, a więc rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych, na środowisko można rozpatrywać w trzech aspektach.

Pierwszy z nich to aspekt wynikający z wykorzystywania paliw — surowców energetycznych. Ich zasoby mimo wielkiego bogactwa są skończone; stanowią też część środowiska, usunięcie której może mieć poważne następstwa ekologiczne. Jest to problem znany od zarania dziejów, bo na przykład wyrzeźbienie lasów spowodowało erozję i wymycie gruntów ornych (urodzajnych). Tak też wydobywanie węgla kamiennego i brunatnego bardzo mocno oddziałuje na środowisko. W przypadku kopalni odkrywkowych powstają wyrobiska o charakterze pustynnym, hałdowane niesorty węglowe i odpadki zanieczyszczają otoczenie i niszczą je.

Węgiel (mowa przede wszystkim o nim, bo stanowi on 74,6% światowych surowców energetycznych) eksploatuje się od 1860 r. i wobec zasobów jego dotychczasowy ubytek jest nieznaczący. Dotychczas wydobyto $130 \cdot 10^9$ t, z czego $100 \cdot 10^9$ t węgla kamiennego. Jest to 1,5% całkowitych zasobów i 19% w stosunku do sumy zasobów wykorzystanych i będących jeszcze do dyspozycji [7]. Obecna produkcja to $3 \cdot 10^9$ t rocznie (w tym $2,2 \cdot 10^9$ t węgla kamiennego) i obserwuje się tendencję do jej podwajania co 40 lat. I nawet gdyby ten czas uległ skróceniu do 25 — 30 lat zasobów węgla starczy na długo.

Według przewidywanego wzrostu zaludnienia (w roku 2000 ludność świata ma liczyć ok. 6,5 mld, a Polski 39 mln) i wzrostu zapotrzebowania człowieka na energię (z 12 tpu/a·M do 20 tpu/a·M), przy obecnych technologiach wykorzystywania zasobów paliw kopalnych, energii jądrowej, wodnej i geotermicznej wyczerpalibyśmy zasoby w 2060 r., a przy podwojeniu zasobów (co jest możliwe) do 2100 roku. W rzeczywistości brak potencjału wydobywczego nie dopuści do takiej sytuacji. Zasoby węgla będą więc eksploatowane jeszcze kilkaset lat (zapotrzebowanie w roku 2000 ma wynosić ok. $30 — 35 \cdot 10^9$ tpu/a) ale deficyt energii rozpocząłby się wcześniej, gdyby nie energia jądrowa i fuzji wodorowej [7]. Kryterium zużycia paliw i energii pierwotnej w kraju jest ich zużycie na jednostkę dochodu narodowego. W Polsce wynosi ono 3,48 kg pu/dolar, w Europie zachodniej 2,0 — 2,8 kg pu/dolar. Poziom ten osiągniemy w latach 1976 — 1980 [7].

Obecna struktura bezpośredniego zapotrzebowania na energię uświadamia wpływ bilansu strat ciepła budynku na zużycie surowców energetycznych. 30% tego zapotrzebowania używana jest na ogrzewanie pomieszczeń (również 30% na technologię). Dąży się, by w 2050 roku mimo globalnie większego zapotrzebowania, tylko 11% paliw używane było na pokrycie strat ciepła w budownictwie, a 48% na technologię [7]. Taką zmianę, przy obecnie bardzo szybkim wzroście kubatury mieszkalnej można uzyskać jedynie poprzez obniżenie strat ciepła budowli. W Polsce

rocznie zużywa się 45 mln tpu na cele grzewcze. Podwaja się to co 10 — 12 lat.

Drugi, nie mniej ważny aspekt zagadnienia, to zanieczyszczenie środowiska związkami emitowanymi do otoczenia podczas produkcji ciepła (wiążący się więc bezpośrednio ze stratami ciepła budynku).

Są to:

- zwiększenie ilości dwutlenku węgla w powietrzu, jakkolwiek nieszkodliwe dla organizmów żywych, powoduje nie dający się skompensować, a jedynie zmniejszyć poprzez duże powierzchnie terenów zielonych, wzrost jego zawartości w atmosferze. Ma to duży wpływ na wymianę ciepła między słońcem, ziemią i przestrzenią kosmiczną,
- coraz większe zużycie tlenu zawartego w powietrzu, nie odtwarzanego w całości przez procesy biologiczne,
- powstawanie tlenku węgla (najczęściej w małych kotłowniach i piecach domowych). Powoduje on szkody biologiczne oraz straty przy spalaniu paliw,
- emisja związków siarki: dwu- i trójlenku siarki (kwasów siarkowego i siarkawego) powodujących nieodwracalne zmiany w środowisku. Wysokie kominy (300 m) nie są skutecznym rozwiązaniem gdyż rozpraszają i dekoncentrują związki nie zmniejszając ich ilości opadających na ziemię,
- emisja tlenków azotu tworzących smog, węglowodorów aromatycznych, które są substancjami rakotwórczymi oraz zanieczyszczeń pyłowych podrażniających błonę śluzową i wpływających na pogorszenie estetyki miast.

Zadymianie i zapylenie atmosfery jest bardzo istotne przy budownictwie niskim. Strefa rozcieńczania spalin jest tu niewielka, a stosowane paliwa odpadowe i niskokaloryczne posiadają zazwyczaj duży procent siarki.

Bardzo ważnym uszkodzeniem środowiska kształtowanego przez człowieka jest emisja ciepła do wody i atmosfery. Wpływa ona na systemy ekologiczne i biologiczne na ziemi. Każdy obiekt, w którym występują straty ciepła jest właśnie emitorem tego „zanieczyszczenia”. Według danych amerykańskich emisja ciepła ze sztucznych źródeł jest obecnie równa energii słonecznej docierającej do naszego globu i jest uważana za jego zanieczyszczenie.

Odprowadzanie w elektrowniach kondensacyjnych wody chłodzącej kondensatory do licznych cieków (wód powierzchniowych) powoduje straty energii i przede wszystkim zmiany w środowisku, bo podgrzane wody są szkodliwe dla wielu organizmów.

Przy obecnej skali zużycia (a więc i produkcji) energii następuje minimalne lecz stałe podnoszenie temperatury atmosfery. Budzi to pewne obawy co do konsekwencji środowiskowych tego zjawiska [4].

Należy więc chronić środowisko przed zbędnymi zyskami ciepła i ta ochrona MUSI wejść w skład kompleksowego planu jego kształtowania.

Zagadnienie wpływu bilansu energetycznego budynku na środowisko należy poszerzyć o jego wpływ na zdrowie człowieka czyli o zabezpieczenie człowieka przed niekorzystnymi wpływami otoczenia. Cel ten spełniają pomieszczenia bytowe, a przede wszystkim sposób materiałowo-konstrukcyjnego ich rozwiązania. Pośród wielu bodźców, na przykład biologicznych, akustycznych, chemicznych, fotoaktywnych, elementy termiczno-wilgotnościowe mikroklimatu pomieszczenia (temperatura, wilgotność, ruch powietrza, promieniowanie) mają zasadniczy wpływ na utrzymanie homeostazy ustroju. Tak więc należyta izolacyjność termiczna, stateczność cieplna i odporność na niskie temperatury przegrody zewnętrznej decydują o dobrym samopoczuciu i zdrowiu człowieka. Nie spełnienie tych wymogów wywołuje ujemne skutki somatyczne, a nawet genetyczne.

Sposoby ograniczenia zużycia paliw

Z powyższych rozważań wynika, że należy maksymalnie (lecz zgodnie z rozsądkiem) ograniczyć zużycie paliw. Można to uczynić:

- poprzez poprawę sprawności zamiany energii pierwotnej na użytkową. Straty w tym względzie wynoszą obecnie w skali światowej 1 mld tpu/a, a w roku 2000, mimo planowanej poprawy sprawności urządzeń grzewczych o 10%, wyniosą około 6 mld tpu/a [7]. Od sposobu wytwarzania ciepła zależy jego koszt jednostkowy;
- poprzez prawidłowy, ujednolicony sposób przydziału opału, który zmusi użytkownika instalacji do prawidłowego i oszczędnego nim gospodarowania. Najskuteczniejsza wydaje się tu być metoda stopniodni (stopniodzień — iloczyn 1 dnia i różnicy między temperaturą wewnętrzną a zewnętrzną, równej 1°C — jest to jeden dzień ogrzewania z temperaturą o 1°C niższą od średniej temperatury wewnętrznej budynku) stosowana z powodzeniem w USA, Anglii, Francji, Holandii, RFN, Szwajcarii [11], [12], [13]. Liczbę stopniodni określa się dla danych warunków klimatycznych, a ilość opału przypadającą (spalaną) na 1 stopniodzień wyznacza się doświadczalnie dla danego rodzaju budynku. Po sezonie grzewczym, na podstawie konkretnych danych roku można obliczyć ilość opału, którą należało spalić i zwiększyć bądź zmniejszyć przydział. Taki przydział opału spowoduje oszczędności i wyeliminuje przegrzewanie bądź niedogrzewanie mieszkań. Należy też zwrócić uwagę na spalanie paliwa lokalnie najtańszego

- czyli miejscowego (np. w niektórych okęgach jest nim gaz ziemny). W pierwszym sezonie grzewczym (po oddaniu budynku do eksploatacji) naleŹy przewidzieć wiêkszà iloŹcà paliwa na osuszanie murów;
- poprzez zastosowanie wlaŹciwej automatycznej regulacji w wêzłach ciepłnych lub przy indywidualnych odbiornikach (termostatyczne zawory grzejnikowe), pamiećtajàc o jej strefowaniu na obwody regulujàce ciŹnienie, wpływ infiltracji oraz wpływ wiatru i nasłonecznienia na efekt działania centralnego ogrzewania. Automatyzacja ma na celu wlaŹnie racjonalizowanie gospodarki energià ciepłnà w instalacjach c.o. oraz poprawne funkcjonowanie instalacji pod wzglêdem hydraulicznym. Według danych holenderskich [20] moŹna tym sposobem zaoszczêdzić 20 — 30% energii;
 - poprzez zmniejszenie strat ciepła budynków. Wpływa ono bezpoŹrednio na zmniejszenie zuŹycia opału, a takŹe na zmniejszenie instalacji czyli oszczêdnoŹci w armaturze.

Ponad czterokrotna podwyŹka cen paliw płynnych na Źwiecie zwiêkszyła popyt na paliwo stałe (wêgiel), wzrosła wiêc i cena wêgla, czyli wzrosły w Polsce koszty ogrzewania budynków. Ponadto eksport paliw przyniesi Polsce 20% ogólnych wpływów dewizowych.

Bilans energetyczny budynku prowadzàcy do zmniejszenia strat energetycznych i zuŹycia wêgla jest wiêc sprawà aktualnà i pilnà.

Charakterystyka ciepłna budynku

Z bilansem energetycznym (strat ciepła) budynku wiàŹe siê charakterystyka ciepłna budynku okreŹlajàca straty ciepła odniesione do jego kubatury ($\text{kcal/m}^3\text{h}$) lub kubatury i róŹnicy temperatur wewnêtrznej i zewnêtrznej ($\text{kcal/m}^3\text{h}^\circ\text{C}$). Według analizy wskaźników charakterystyk ciepłnych budynki jedenastokondygnacyjne majà charakterystkê ciepłnà korzystniejszà od pięciokondygnacyjnych, które z kolei górujà nad budownictwem jednorodzinnym. Budynki punktowe majà wskaźniki wiêksze niŹ wieloklatkowe, zdarza siê teŹ, Źe obiekty o jednakowej kubaturze i zbliŹonej charakterystyce majà straty ciepła róŹniàce siê do 25% [8].

Wniosek stàd taki, Źe charakterystyka ciepłna nie uwzglêdniajàca stosunku powierzchni zewnêtrznej do kubatury, udziału okien i dachów w powierzchni zewnêtrznej oraz charakteru fizykalnego materiałw przegród zewnêtrznych nie moŹe być kryterium izolacyjnoŹci przegrody, bo straty ciepła malejà relatywnie ze wzrostem kubatury, zaleŹà teŹ od kształtu rzutu poziomego budynku (sà najmniejsze przy kwadratowej podstawie obiektu).

Powyższe warunki spełnia wskaźnik charakterystyki cieplnej budynku zaproponowany przez E. Maszczyńskiego [8]:

$$q_o = K_{\text{śr}} \frac{S}{V} \text{ kcal/m}^3\text{h}^\circ\text{C}$$

w którym:

- $K_{\text{śr}}$ — średni współczynnik przenikania ciepła 1 m² „powierzchni sprwadzonej” przegrody zewnętrznej,
 S — całkowita powierzchnia przegród zewnętrznych,
 V — ogrzewana kubatura budynku.

$$K_{\text{śr}} = \frac{1}{100} \left[K_1 \cdot S + K_2 \cdot O + K_3 \cdot d + K_4 \cdot p \frac{t_w - t'}{t_w - t_z} \right]$$

gdzie:

- S — procentowy udział ścian zewnętrznych o współczynniku przenikania ciepła K_1 kcal/m²h[°]C,
 O — procentowy udział okien i drzwi zewnętrznych o współczynniku przenikania K_2 kcal/m²h[°]C,
 d — procentowy udział dachu lub stropodachu o współczynniku przenikania ciepła K_3 kcal/m²h[°]C,
 p — procentowy udział stropu nadpiwnicznego lub podłogi na gruncie przy budynku niepodpiwniczonym o współczynniku przenikania ciepła K_4 kcal/m²h[°]C,
 t' — temperatura w piwnicy lub średnia temperatura podłoża ziemi, °C,
 t_z — zewnętrzna temperatura obliczeniowa, °C,
 t_w — wewnętrzna temperatura obliczeniowa, °C.

Wskaźnik ten (q_o) można obliczyć i sprawdzić już we wstępnej fazie projektu.

Podział powierzchni przegród zewnętrznych (F) i strat ciepła przez nie (Q) ilustruje poniższe zestawienie opracowane dla budynku pięciokondygnacyjnego trzyklatkowego (wg [8]):

Ściany zewnętrzne	F (%) 49	Q (%) 39
Otwory okienne i drzwiowe	16	39
Stropodach	17,5	11
Strop nadpiwniczny	17,5	11

Podział ten zmienia się odpowiednio wraz ze zmianą wysokości budynku — udział strat ciepła przez ściany zewnętrzne, okna i drzwi maleje wraz ze zmniejszaniem się wysokości budynku, rosną zaś straty ciepła przez stropodach i strop nad piwnicami.

Wydaje się, że aby obliczyć rzeczywiste zapotrzebowanie ciepła należy wskaźnik charakterystyki pomnożyć przez mnożniki dodatków sto-

sowane przy obliczaniu strat ciepła pomieszczeń według PN-56/B-03406 (PN-74/B-03406) w zależności od położenia budynku, strefy klimatycznej, w której się on znajduje oraz przerw w działaniu ogrzewania.

Według przeprowadzonych badań [13] wskaźniki charakterystyki cieplnej budynków istniejących wahają się w granicach $0,96-0,28 \text{ kcal/m}^3 \text{ h}^\circ\text{C}$ i należy zmniejszyć je o $0,06-0,02 \text{ kcal/m}^3 \text{ h}^\circ\text{C}$, w zależności od wielkości, kształtu i konstrukcji obiektu. W budownictwie jednorodzinym wskaźnik ten wynosi $50-28 \text{ kcal/hm}^3$, po ociepleniu ścian $37-19 \text{ kcal/hm}^3$ jednak ze względu na brak stateczności cieplnej tego rodzaju obiektów konieczne jest dwukrotne w ciągu doby palenie [24].

Elementy komfortu cieplnego.

Czynniki powodujące straty ciepła w budownictwie

Komfort cieplny pomieszczenia jest istotnym, choć niewymiernym elementem bilansu energetycznego budynku w ujęciu ekologicznym. Jest to zespół czynników — temperatura wewnętrzna (t_w), temperatura wewnętrznej powierzchni przegród zewnętrznych (t_{wz}), wilgotność powietrza (φ) oraz jego ruch — wpływających na dobre samopoczucie człowieka przebywającego w danym pomieszczeniu.

Obecnie stosowane maksymalne wartości współczynnika przenikania ciepła K_{\max} [27] określone są właśnie z podstawowego wymogu komfortu cieplnego, a mianowicie z nie wykraplania się pary wodnej na wewnętrznych powierzchniach przegród zewnętrznych, to znaczy nie obniżania temperatury tych powierzchni poniżej temperatury punktu rosy powietrza znajdującego się w pobliżu. Zagadnienie to związane jest bezpośrednio z temperaturą zewnętrzną, temperaturą wewnętrzną i współczynnikiem ciepła K przegrody, postulując więc zwiększenie izolacyjności przegrody (ekonomicznie uzasadnione) dążymy do efektów oszczędnościowych, a także zwiększamy komfort cieplny pomieszczenia poprawiając jego mikroklimat.

Według danych B. Kalińskiego [6] dla prawidłowego komfortu temperatura t_{wz} winna wynosić $16-17^\circ\text{C}$, inne źródła [17] określają zaś różnicę temperatur $t_w - t_{wz}$ jako równą maksymalnie $2,5^\circ\text{C}$. Efekty takie można uzyskać przez dodatkowe specjalne ogrzewanie pomieszczenia lub poprawę izolacyjności przegród (z uwzględnieniem okien). Przytoczone powyżej dane dotyczą wyłącznie przegród ciężkich o dużej stateczności cieplnej, której miernikiem jest wartość akumulacji cieplnej czyli zdolność utrzymywania ciepła, a więc stałej temperatury wewnętrznej. Przy przegrodach lekkich (o małej akumulacji ciepła) komfort cieplny pomieszczenia zapewnia się poprzez ich duży opór termiczny ($2 \text{ m}^2 \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$),

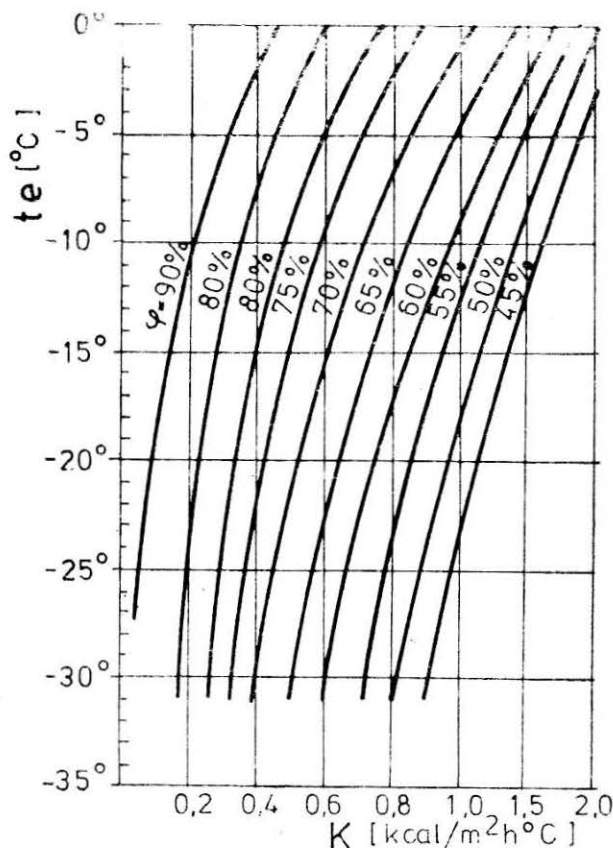
a dąży się do uzyskania stateczności cieplnej całego pomieszczenia (przegrody wewnętrzne, sprzęty). W zagadnieniu tym poważną rolę odgrywa stopień przeszklenia. Izolując cieplnie ściany i stropodachy zmniejsza się energetyczne straty pomieszczenia i podwyższa się komfort. Decyduje o tym wielkość współczynnika przenikania ciepła przegrody, który stanowi kryterium optymalnej grubości izolacji.

Jednocześnie z obniżeniem wartości współczynnika K obniża się temperaturę zewnętrznych części przegród. Ułatwia to powstawanie kondensacji pary wodnej, jeśli droga dyfuzji pary do zimnej przegrody nie jest zamknięta, a właśnie wilgotność materiałów oraz wilgotność powietrza w pomieszczeniu mają duży wpływ na wartość izolacyjności przegrody. Woda wypełniająca zawilgoconą ścianę ma około 20 razy większy współczynnik przewodności cieplnej niż powietrze [27], [28].

PN-64/B-03404 zakłada, przy określeniu maksymalnego współczynnika przenikania ciepła K_{\max} , największą wilgotność powietrza w pomieszczeniu równą 60%, tymczasem w pomieszczeniach dwóch ostatnich kondygnacji wilgotność z reguły wynosi 80%, a w pozostałych izbach w zależności od sposobu i częstotliwości wietrzenia, stopnia zaludnienia oraz intensywności prania, gotowania, suszenia itp., też bardzo często przekracza 60% [2], [6], [14]. Najniekorzystniejsze pod tym względem warunki panują w budynkach nowych, niewysuszonych. Wzrost wilgotności względnej powietrza powoduje wzrost temperatury punktu rosy, a więc potencjalną możliwość wykraplania się pary wodnej na powierzchniach przegród zewnętrznych. Należy więc oprócz specjalnego ich dogrzewania stosować wzmoczoną wentylację lub absorpcję wilgoci.

Zawilgocenie budynku zmienia się wraz z porą roku, w zależności od rodzaju materiałów przegrody i układu ich warstw w zetknięciu z różnym klimatem wewnątrz. Należy więc wyznaczyć obszary opłacalnego stosowania poszczególnych materiałów budowlanych, przy danym ich zawilgoceniu [2]. W przypadku przegród warstwowych częste jest też zjawisko wzajemnego destrukcyjnego oddziaływania niektórych materiałów, zwłaszcza przy podwyższonej wilgotności. Wilgotne mury posiadają dużo mniejszą izolacyjność cieplną, następuje ich przemarzanie, obniżanie trwałości i stopniowe niszczenie, a także znaczne pogorszenie warunków sanitarno-higienicznych w pomieszczeniu.

Powyższe wnioski należy wziąć pod uwagę przy projektowaniu przegród budowlanych, a ustalając ich własności fizyczne trzeba pamiętać o realnej ocenie zawilgocenia materiałów konstrukcyjnych oraz o związku wilgotności względnej powietrza wewnętrznego i temperatury wewnętrznej oraz zewnętrznej z wartością współczynnika przenikania K zabezpieczającą przed wykraplaniem pary (rys. 1).



Rys. 1. Wykres wymaganego współczynnika przenikania ciepła K w zależności od wilgotności względnej powietrza wewnętrznego φ oraz temperatury zewnętrznej t_e , przy temperaturze wnętrza $t_i=20^\circ\text{C}$ i współczynniku poprawkowym $m=1,3$ (30% zapasu dla zmiennych parametrów mikroklimatu wnętrza), wg [2]

Dalsze zwiększenie rzeczywistych (eksploatacyjnych) wartości współczynnika przenikania ciepła powodują błędy wykonawstwa:

- mostki cieplne na złączach bloków kanałowych ($K = 1,54 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$)
 - można to zlikwidować stosując przekładki ocieplające lub łączenie płyt na styk [6], [3],
- pozlepiana z kawałków, a nie jednolita warstwa gazobetonu ($K = 1,667 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$) [3],
- różne od zaprojektowanych materiały budowlane (np. gazobeton 700 kG/m^3 zamiast 500 kG/m^3) — $K = 1,004 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ zamiast $K = 0,827 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ [3].

Zwiększa je także przyjęcie w obliczeniach uśrednionych współczynników napływu i odpływu ciepła, co w wielu przypadkach nie jest słuszne (np. przy silnych wiatrach). Rzeczywiste wartości współczynników K wy-

noszą 1,1 — 1,28 (1,35) kcal/m²h°C [6], [20], [26], a w budownictwie przemysłowym izolacyjność jest nawet dwukrotnie gorsza [20]. Powoduje to wykraplanie pary wodnej na wewnętrznych powierzchniach przegród i przemarzanie ścian w czasie mrozów oraz wykraplanie się pary w narożach nawet przy małych spadkach temperatur.

Prędkość wiatru wpływa także na zwiększoną infiltrację powietrza zewnętrznego do pomieszczenia czyli obniża jego temperaturę wewnętrzną [9]. Odbywa się to prawie wyłącznie przez nieszczelności drzwi i okien, bo prawidłowo wykonana i otynkowana ściana „przepuszcza” 0,5—3,0% ogólnej wymiany powietrza, nieprawidłowo zaś wykonana i bez tynku do 25% (!) [4]. Należy więc przede wszystkim zadbać o prawidłową jakość stolarki okiennej oraz przez strefową regulację instalacji centralnego ogrzewania pokryć straty energetyczne spowodowane infiltracją zimnego powietrza. Przebieg zapotrzebowania tego ciepła jest inny od zapotrzebowania ciepła na pokrycie strat przez przenikanie, ponadto jest zróżnicowany w zależności od kondygnacji; największy jest wpływ wiatru na najwyższych kondygnacjach przy wyższych temperaturach zewnętrznych, a dla niższych przy niższych. Nie można więc stosować jednolitego centralnego systemu regulacji źródła ciepła [9].

Elementem konstrukcyjnym mającym olbrzymi wpływ na bilans energetyczny budynku są okna. Powierzchnia przeszklenia w warunkach polskich wynosi 20—50%, straty ciepła przez nie wynoszą 35—70% ciepła traconego przez wszystkie przegrody zewnętrzne [16]. Najlepsze okna powodują straty 4—5 razy większe niż dobrze ocieplone ściany. Zyski (w lecie) są natomiast kilkanaście razy większe [16]. Okna nie mają żadnej stateczności cieplnej czyli przegrzewanie lub oziębianie pomieszczeń przez nie odbywa się natychmiast po zaistnieniu niekorzystnych warunków. Ważne jest też, że koszt okna jest wyższy niż ściany i wymaga ono częstszych remontów.

Zmniejszenie strat ciepła przez otwory okienne można uzyskać:

- zmniejszając powierzchnię okna,
- stosując prawidłowo wykonaną (szczelną) stolarkę okienną,
- stosując okna o podwyższonej izolacyjności lub o potrójnym szkleniu.

Pierwsza metoda nie jest zbyt korzystna choć obecne powierzchnie okien przekraczają znacznie wielkości uzasadnione potrzebami oświetlenia naturalnego. W budownictwie mieszkaniowym proponuje się [20] zmniejszyć przeszklenie o 20%, w budownictwie użyteczności publicznej 30%, a w przemysłowym 40%. Według danych niemieckich [20] zmniejszenie stopnia przeszklenia z 50% do 25% daje zyski (obniżenie strat ciepła) w wysokości 50% (przy jednakowym ociepleniu przegród zewnętrznych). Nieszczelność stolarki mogąca spowodować nawet dwukrotny

wzrost strat ciepła przez okno można wyeliminować jedynie poprzez precyzyjne wykonanie i montaż.

Okna o podwyższonej izolacyjności mają współczynnik przenikania ciepła prawie równy przegrodom budowlanym. Straty ciepła przez nie są czterokrotnie mniejsze niż przez okna obecnie stosowane. Szkło termoizolacyjne (o najmniejszej emisyjności i największej refleksyjności) jest to szkło z wewnętrzną powierzchnią pokrytą cienką warstwą materiału przezroczystego dla promieniowania widzialnego i silnie odbijającego promienie podczerwone (np. warstwę 10 nm SnO_2 lub In_2O_3). Dodatkowo warstwę między takimi szybami wypełnia się gazem ciężkim szlachetnym o współczynniku przewodności cieplnej mniejszym od współczynnika przewodności cieplnej warstwy powietrza. Otrzymuje się w ten sposób termoizolacyjne, hermetyczne zestawy szklane (thzs) [16]. Szkło termoizolacyjne jest bardzo drogie, należy więc, jak na razie przede wszystkim zmniejszać straty ciepła przez przegrody zewnętrzne.

Metody ekonomicznego doboru przegród zewnętrznych

Kryterium oceny izolacyjności przegrody jest jej opór cieplny czyli współczynnik przenikania ciepła K , gdyż z nim wiążą się bezpośrednio straty ciepła przez przegrodę.

Przecież:

$$Q = F \cdot K \cdot \Delta t \quad \text{kcal/h}$$

F — powierzchnia przegrody, m^2 ,

Δt — różnica między obliczeniowymi temperaturami wewnętrzną i zewnętrzną, $^{\circ}\text{C}$.

Wobec powyższego współczynnik K stał się też kryterium doboru ekonomicznie uzasadnionej izolacyjności ścian i stropodachów.

W Szwecji od dawna stosuje się przegrody o oporze cieplnym 2—3 razy większym niż w Polsce. W USA, RFN, Holandii i Francji wprowadzono to dopiero po kryzysie energetycznym [20]. W USA zmniejszono w ten sposób straty ciepła o 50%, w RFN o 40% przy 1,1% wzrostu nakładów inwestycyjnych, co dało obniżkę łącznych kosztów nakładów i eksploatacji o 2,3 — 7%. W Niemczech podjęto też próbę poprawy bilansu cieplnego budynków istniejących [20].

W Polsce sprawy izolacyjności przegród zewnętrznych są na etapie projektów i obliczeń. Autorzy zajmujący się tą tematyką, na podstawie badań i wyliczeń ekonomicznych dochodzą do wielkości współczynnika K równej 0,35—0,50 $\text{kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$ (tabela 1). Wielkości takie uzyskać można stosując przegrody warstwowe (np. dwuwarstwowe z zastosowaniem ke-

**ZESTAWIENIE STOSOWANYCH I PROPONOWANYCH WARTOŚCI
WSPÓŁCZYNNIKA PRZENIKANIA CIEPŁA K (kcal/m²h°C)
DLA PRZEGRÓD BUDOWLANYCH**

Zródło Rodzaj przegrody	J. Bogacz [2]	B. Kaliński [6]	Z. Pieniążek [18], [19]	Dane USA [20]	Wł. Płoński [20]	J. Wasowski [24]	J. Wójcicki [25]	PN-64/B- -03404 [27]	PN-76/B- -03404 [28]
Ściany zewnętrzne	0,35—0,50	0,40	średnio 0,30—0,50	średnio 0,35—0,50	0,35—0,50	0,60	0,50	1,0—1,25*	1,0**
Stropodachy	0,30—0,40				0,35	0,30	0,50	0,75	0,60
Stropy nad piwnicami					0,30	0,50	1,0	1,0	
Stropy nad poddaszem i podłogi na gruncie	0,35—0,50				0,50 nie opłaca się	0,45	0,50	0,90—1,0 0,80—1,0	0,80 1,0

* w zależności od strefy klimatycznej,

** przy stosowaniu mnożnika zmniejszających zależnych od rodzaju ściany (jednorodna, warstwowa) i jej ciężaru (współczynnik = 1,0 — 0,7).

ramyżu [22]). Ciekawe efekty daje zastosowanie gazobetonu o ciężarze objętościowym 450—550 kG/m³ zamiast gazobetonu 700 kG/m³. Dzięki takiej zamianie uzyskuje się bez zwwyżki kosztów poprawę izolacyjności przegrody o 35% [20].

Największe zyski z dodatkowego ocieplania przegród budowlanych można uzyskać w budownictwie rozproszonym i niskim. Zależnie od rodzaju izolacji i jednostkowego kosztu ciepła mogą one sięgać nawet 40% oszczędności paliw [20], choć inne źródła podają ten zysk jako maksymalnie 20% [23]. Jest to szczególnie ważne, gdyż w roku 1990 udział budownictwa indywidualnego w zabudowie mieszkaniowej ma wynosić około 30—50% [17], [23].

O bilansie energetycznym budynku decyduje również cena ciepła. Najtańsze — z elektrociepłowni kosztuje około 250 zł/Gcal, najdroższe — ogrzewanie piecowe, gazem lub elektryczne akumulacyjne — około 500—600 zł/Gcal [5], [10], [23], [25]. Najwyższy jest więc koszt ogrzewania budynków jednorodzinnych. Nie zmienia tego nawet próba podłączenia ich do miejskiej sieci ciepłej zasilanej z elektrociepłowni. Okazuje się [10], że w takim przypadku, ze względu na małą gęstość odbioru ciepła, jego cena wyniesie 427 zł/Gcal, gdy tymczasem ogrzewając z tej samej sieci budynki pięciokondygnacyjne — 241 zł/Gcal.

Koszty ogrzewania budynku są ogólnie bardzo duże i zwiększyły się znacznie po kryzysie energetycznym; zwrócono więc uwagę na budynek od strony jego eksploatacji, gdyż oprócz remontów i napraw w grę wchodzi jego ogrzewanie. Koszt budynku zaczęto kalkulować jako łączny koszt nakładów i użytkowania (ogrzewania) i na tym oparto poszukiwania optymalnej grubości muru (ewentualnie warstwy izolacyjnej), przy której byłby on minimalny. Jednocześnie zwrócono uwagę na zagadnienia ciepłno-wilgotnościowe związane z ogrzewanymi pomieszczeniami. Okazało się też, że zyski (ograniczenie zużycia paliw) można uzyskać również bez podwyższania nakładów inwestycyjnych, w drodze doboru najefektywniejszych materiałów do konstrukcji przegród ciepłych — głównie ścian zewnętrznych. Wyłoniło się pojęcie efektywności budowlanej — określającej właściwości wytrzymałościowe i ciepłno-wilgotnościowe charakteryzujące najodpowiedniejszy materiał budowlany lub konstrukcyjny

$$EB = \frac{\gamma \cdot \lambda}{R_w}$$

EB — efektywność budowlana,

γ — ciężar objętościowy materiału, kG/m³,

λ — współczynnik przewodności cieplnej materiału, kcal/mh°C,

R_w — marka wytrzymałości materiału.

oraz efektywności produkcyjnej, określającej który z materiałów o podobnej efektywności budowlanej można wytworzyć przy najmniejszym łącznym nakładzie pracy społecznej uprzedmiotowionej i żywej [10]. Obu kryterium odpowiadają betony komórkowe — pianogazosylikaty i betony belitowe.

St. Michotek [10] traktując budynek jako zakład produkcyjny zużywający w toku eksploatacji paliwo dochodzi do następującej zależności:

$$\Delta J < 6,7 \Delta S$$

gdzie:

ΔJ — przyrost nakładu inwestycyjnego,

ΔS — obniżenie kosztów ponoszonych w czasie eksploatacji surowców i materiałów,

z której wynika, że granicą nakładów inwestycyjnych na cele polepszenia izolacyjności przegród budynków mieszkalnych jest około 7-krotna wartość (pieniężna) paliwa zaoszczędzonego w okresie jednego roku eksploatacji. Wzór, z którego autor [10] korzystał i powyższy wniosek nie są proste i przejrzyste w zastosowaniu.

Najlepsza wydaje się być metoda optymalizacji współczynnika przenikania K polegająca na minimalizacji łącznych nakładów inwestycyjnych i eksploatacyjnych obliczanych w stosunku rocznym dla 1 m² przegrody [18], [19]:

$$S = \frac{P_B}{100} \cdot K_B + \frac{P_G}{100} \cdot K_G + 24 \cdot 10^{-6} \cdot G \cdot K \cdot E$$

S — całkowity roczny koszt eksploatacji 1 m² przegrody, zł/m²,

P_B — roczne odsetki od budowlanych nakładów inwestycyjnych, %,

K_B — budowlane nakłady inwestycyjne na 1 m² przegrody, zł/m²,

$$K_B = a + b \cdot \delta$$

a — koszt inwestycyjny warstw niezależnych od izolacji termicznej, zł/m²,

b — koszt inwestycyjny m³ izolacji, zł/m³,

δ — grubość izolacji, m,

P_G — roczne odsetki od nakładów na urządzenie grzewcze, %,

K_G — nakłady inwestycyjne na urządzenia grzewcze w przeliczeniu na 1 m² przegrody, zł/m²,

$$K_G = c + d \cdot K \cdot \Delta t \max$$

c — koszt inwestycyjny części instalacji grzewczej niezależnej od strat ciepła budynku, zł/m²,

d — koszt inwestycyjny części instalacji grzewczej uzależnionej od strat cieplnych, zł · h/kcal,

Δt_{\max} — maksymalna różnica temperatur wewnętrznej i zewnętrznej, °C,

G — liczba stopniodni okresu grzewczego, °C doba,

K — współczynnik przenikania ciepła przegrody, kcal/m²h°C,

E — koszt ogrzewania z uwzględnieniem bieżących napraw, zł/Gcal,

Przyrównując $\frac{dS}{d\delta} = 0$ (szukanie minimum) i uwzględniając

$$\frac{dK}{d\delta} = -\frac{1}{\lambda} \cdot K^2 \text{ otrzymujemy:}$$

$$K_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{\frac{P_B}{100} \cdot \sigma \cdot \lambda}{\frac{P_G}{100} \cdot d \cdot \Delta t_{\max} + 24 \cdot 10^{-6} \cdot G \cdot E}} \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

Wzór ten uwzględnia optymalizację jedynie warstwy izolacyjnej. W praktyce K_{opt} musi oznaczać średni współczynnik przenikania ciepła K_{sr} , uwzględniający stopień przeszklenia:

$$K_{\text{opt}} = K_{\text{sr}} = K_{\text{ściany}} + Y (K_{\text{okien}} - K_{\text{ściany}})$$

K_{sr} musi wynosić 1,50—1,80 kcal/m²h°C, by mówić o ekonomice ogrzewania. Duży wpływ na to ma przeszklenie (współczynnik Y), o czym była już mowa poprzednio. Powyższe obliczenia można ująć graficznie przedstawiając K_B , K_G (według poprzednich oznaczeń) i K_N (koszt przestrzeni zajętej przez ścianę) w funkcji współczynnika przenikania K (rys. 2).

J. Wójcicki [25] posługuje się również metodą minimalizacji kosztów rocznych:

$$\text{koszt roczny} = K_r + K_c + r \cdot J$$

K_c — średnie roczne koszty strat ciepła przez przegrody budowlane,

J — nakłady inwestycyjne na przegrody budowlane i instalację grzewczą budynku,

r — rata rozszerzonej reprodukcji (sprowadzona do wielkości stałej w każdym roku suma stóp amortyzacji i oprocentowania ponoszonych nakładów inwestycyjnych)

$$r = \frac{p/1 + p^n}{/1 + p^n - 1}$$

p — stosowane oprocentowanie środków trwałych,

n — okres eksploatacji obiektu (budynku).

Koszty roczne winny być sprowadzone na przykład do 1 m² powierzchni ścian, powierzchni użytkowej lub 1 m³ kubatury.

$$K_c = Q \cdot k_c$$

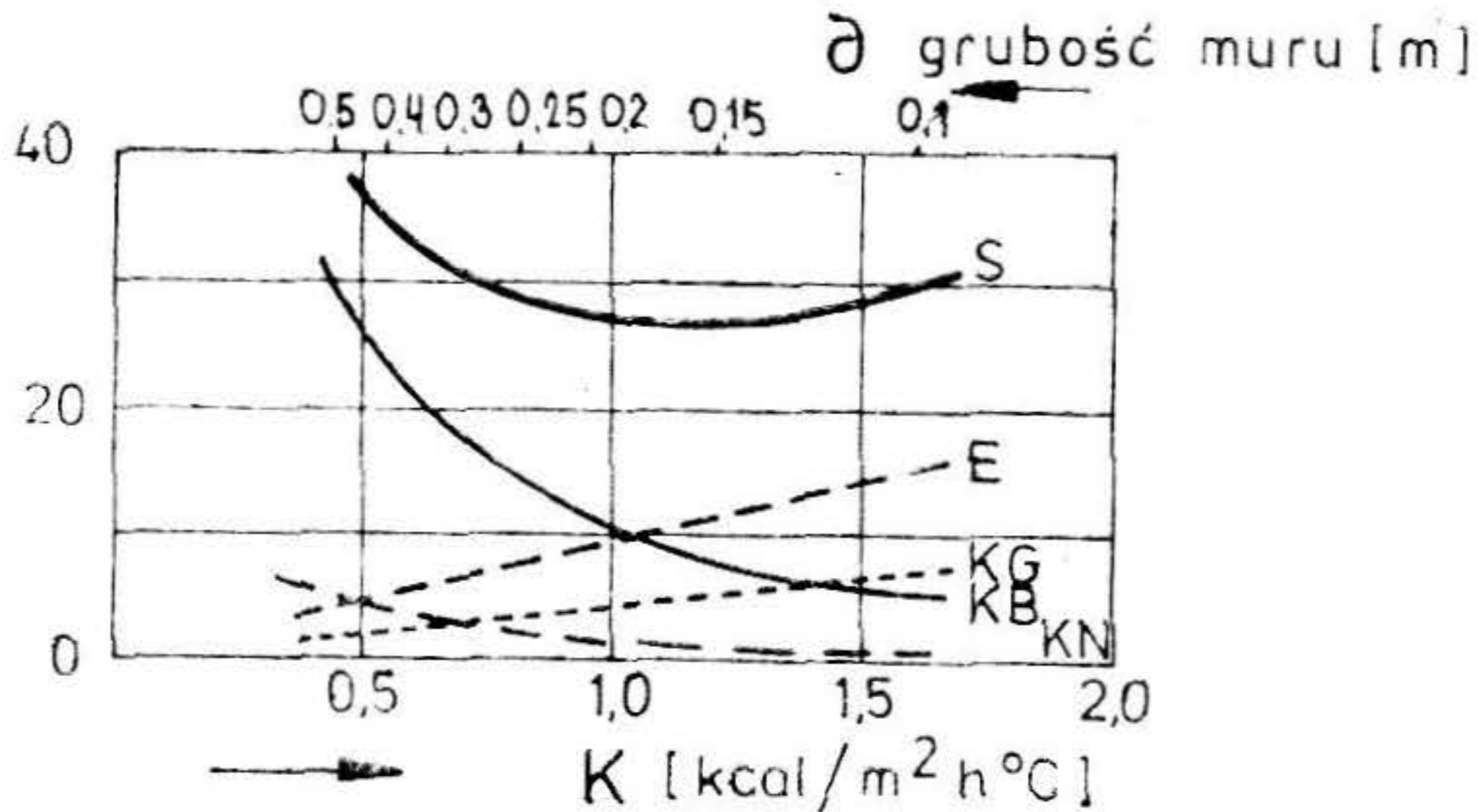
Q — roczne zużycie ciepła, Gcal/rok,

k_c — jednostkowy koszt ciepła, zł/Gcal,

$$k_r = q \cdot T \cdot k_c + r \cdot J$$

k_r — roczny koszt dostawy ciepła związany ze stratami przez 1 m²,

q — maksymalne straty ciepła przez 1 m² przegrody,



Rys. 2. Zależność oporów złoża filtracyjnego h od prędkości filtracji V_f dla dwóch sposobów płukania

T — roczny czas użytkowania maksymalnego zapotrzebowania ciepła,

J — nakłady inwestycyjne na wybudowanie 1 m² przegrody budowlanej

$$J = \sum_1^i (A_i + B_i \cdot g_i)$$

i — liczba warstw materiału, z których zbudowano przegrodę,

A_i, B_i — wielkości stałe dla danego rodzaju materiału,

$$q = \frac{m (t_w - t_z)}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum_1^i \frac{g_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_o}}$$

m — współczynnik uwzględniający wpływ spoin na wielkość współczynnika przenikania ciepła (np. dla ściany z cegły $m = 1,25$)

t_w — temperatura obliczeniowa wewnątrz pomieszczenia,

t_z — temperatura obliczeniowa zewnętrzna,

α_n, α_o — współczynniki napływu i odpływu ciepła,

λ_i — współczynniki przewodzenia ciepła poszczególnych warstw.

$$k_r = \frac{m(t_w - t_z)}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum_1^i \frac{g_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_o}} T \cdot k_c + r \cdot J_n + r \sum_1^i (A_i + B_i \cdot g_i)$$

J_n — nakłady inwestycyjne na instalację grzewczą w budynku na jednostkę maksymalnych strat ciepła budynku.

Przy ścianach wielowarstwowych szukamy grubości tylko jednej warstwy (izolacyjnej):

$$\frac{dk_r}{dg_1} = 0 \text{ tj.}$$

$$\frac{\frac{1}{\lambda_1} \cdot m(t_w - t_z)(T \cdot k_c + rJ_n)}{\left(\frac{1}{\alpha_n} + \sum_1^i \frac{g_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_o}\right)^2} - r \cdot B_i =$$

Należy generalnie przyjąć, że nie opłaca się pogrubiać ścian jednowarstwowych. Opłaca się natomiast stosowanie ścian wielowarstwowych o niskich współczynnikach przewodności cieplnej. Opierając się na powyższym rachunku i zakładając realizację w latach 1976—1990 około 1600 mln m³ nowej kubatury oraz nakłady dodatkowe na 1 m³ kubatury — 12 do 24 zł (na izolację), otrzymamy wydatek 25 · 10⁹ zł. Jednocześnie zmniejszy to zapotrzebowanie ciepła o około 14 · 10⁶ Gcal/a czyli średnio o 3,5 · 10⁹ zł/a.

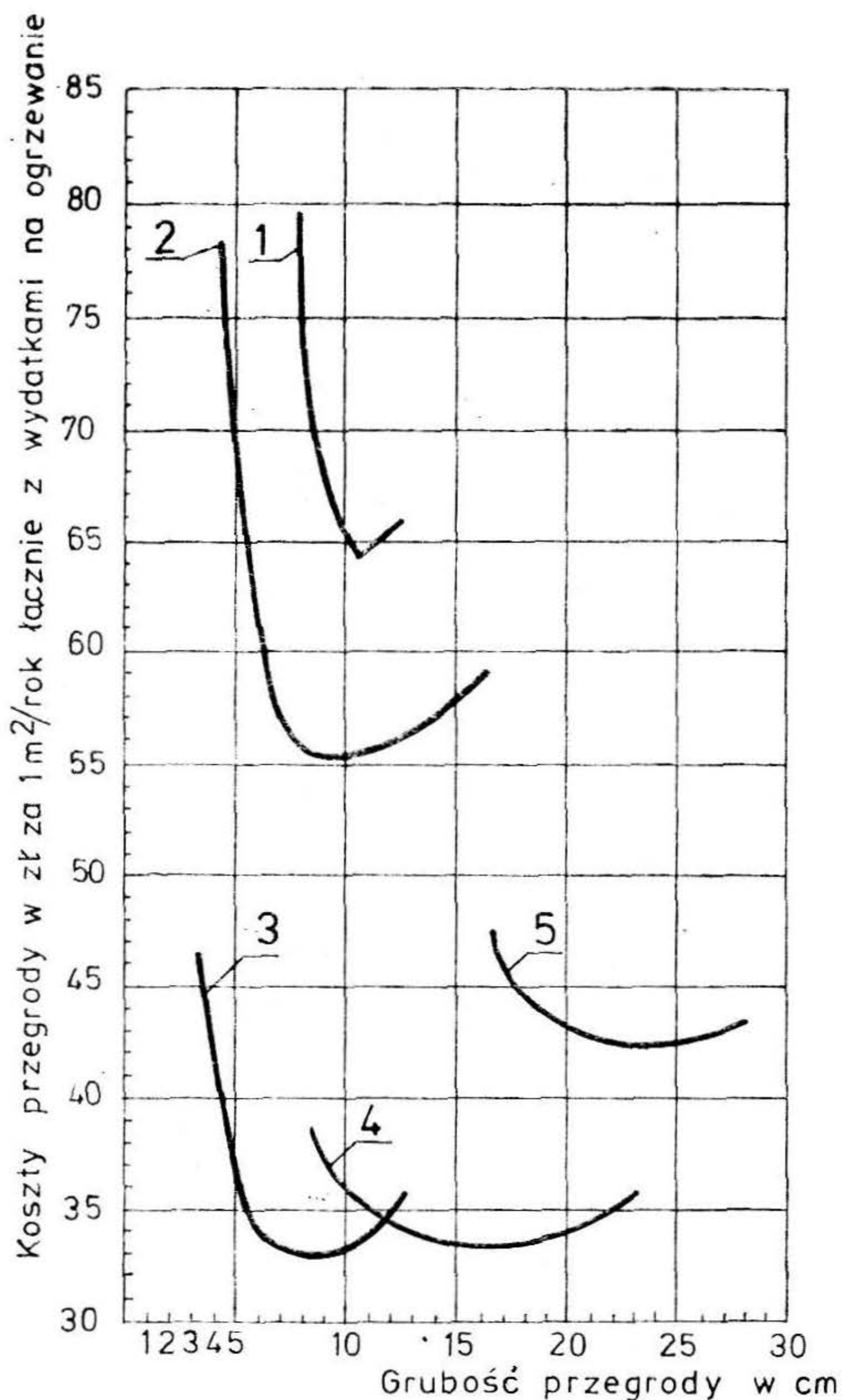
Czas zwrotu kosztów poniesionych na izolację wyniesie 7,2 lat, co skraca się wobec ciągłego wzrostu cen paliw. Dodatkowe ocieplenie przegród zewnętrznych pozwala zaoszczędzić około 2,7 mln tpu/a w budownictwie mieszkaniowym i ok. 1,5 mln tpu/a w budownictwie przemysłowym i wiejskim [25].

Trzeci sposób obliczania rocznych kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych zaproponowany został przez J. Bogacza [5]:

$$S = 0,01 \cdot r \cdot g \cdot e + K(t_i - t_{e\text{sr}}) \cdot Z \cdot G$$

- S — suma kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych w roku, zł/m²,
 r — odsetki procentowe kapitału i amortyzacji oraz konserwacji i remontu, %/rok,
 g — koszt budowy 1 m³ przegrody, zł,
 e — grubość przegrody, m,
 K — współczynnik przenikania ciepła, kcal/m²h°C,
 t_i — temperatura wewnętrzna w ogrzewanych pomieszczeniach, °C,
 $T_{e\text{sr}}$ — średnia temperatura powietrza zewnętrznego w okresie ogrze-

tradycyjnych bez docieplania mają rację bytu wyłącznie przy jednostkowych cenach ciepła niższych od 250 zł/Gcal.



Rys. 3. Krzywe ekonomiczne optymalnych grubości izolacji cieplnej dla różnych materiałów; 1 — szkło piankowe, 2 — korek, 3 — styropian, 4 — wełna żużlowa, 5 — płyty wiórowo-cementowe, wg [5]

wania, °C,

Z — liczba godzin grzewczych w sezonie opalowym,

G — koszt kilokalorii mierzonej na urządzeniu grzewczym, zł.

$$S \text{ będzie najmniejsza gdy } \frac{dS}{de} = 0$$

optymalna grubość przegrody:

$$e = \sqrt{\frac{(t_i - t_{e\text{sr}}) \cdot Z \cdot G \cdot \lambda}{0,01 \cdot r \cdot g}} - 0,19 \cdot \lambda,$$

jeśli przegroda jest dwuwarstwowa

$$e = \sqrt{\frac{(t_i - t_{e\text{sr}}) \cdot Z \cdot G \cdot \lambda}{0,01 \cdot r \cdot g}} - (0,19 + R_z)$$

R_z — opór cieplny warstwy konstrukcyjnej, $\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{kcal}$,

Dla danych: $r = 12\%$, g — wg cenników, $Z = 5376$,

$$G = 355 \cdot 10^{-6} \text{ zł}, \quad t_i - t_{e\text{sr}} = 20^\circ\text{C}$$

sporządzono krzywe ekonomiczne optymalnych grubości izolacji cieplnej dla różnych materiałów (rys. 3).

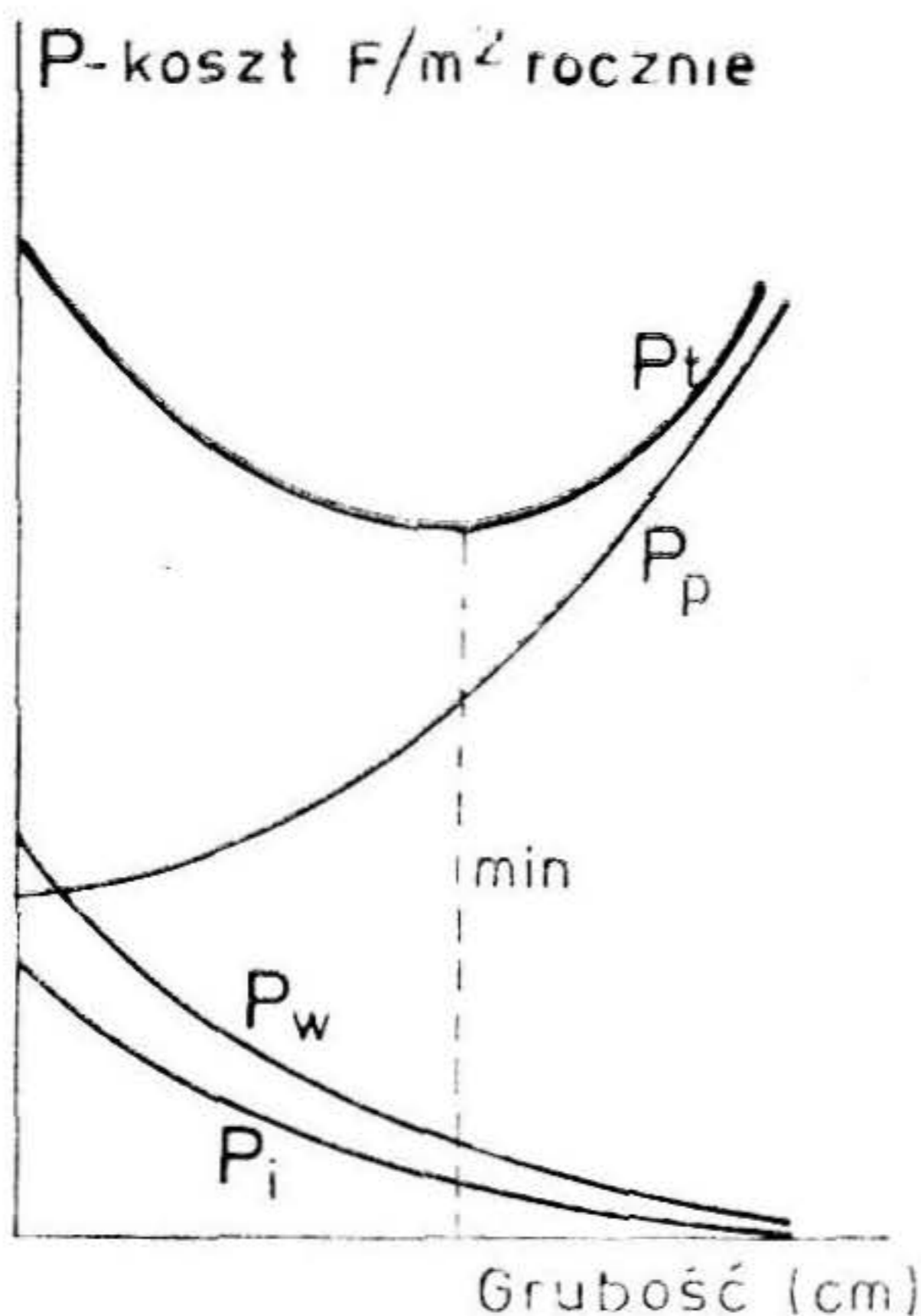
Jest rzeczą oczywistą, że łączny koszt inwestycyjny i eksploatacyjny (z ogrzewaniem) zależy od zastosowanych materiałów izolacyjnych i grubości przegrody. Z badań J. Bogacza [5] wynika, że ściany z materiałów

Tendencje światowe

W RFN zaleca się stosować opór cieplny przegród zewnętrznych $R = 1,2 - 3,5 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{kcal}$. Opracowano tam wykres zależności pomiędzy kosztami ogrzewania a oporem cieplnym ścian zewnętrznych (przy 25, 50, 75% udziału okien). Wynika z niego, że im mniejsze przeszklenie i wyższy opór cieplny przegrody, tym mniejszy koszt ogrzewania: można np. odczytać 40% oszczędności opału przy $R = 2,8 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{kcal}$ i 25% przeszklenia [6]. Opracowano również wykres rocznych nakładów na ogrzewanie 1 m^2 powierzchni mieszkania w zależności od współczynnika przenikania ciepła K i liczby stopniodni ogrzewania. Według tego wykresu przy obniżeniu współczynnika K z $1,7 \text{ kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ do $0,85 \text{ kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ koszty maleją również o połowę [6].

W RFN wprowadzono też uśredniony globalny współczynnik przenikania ciepła K_m dla ścian sprecyzowany dla stosunków powierzchni ścian zewnętrznych do kubatury budynku oraz maksymalny współczynnik przenikania ścian i okien równy $1,6 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$, co zwraca uwagę na stopień przeszklenia i stanowi o prostocie obliczeń. Posunięcia te mają dać obniżkę zużycia paliw o 30%.

W ZSRR [6] uzależniono koszty produkcji (i montażu) elementów ścian zewnętrznych od ich grubości, a następnie koszty ogrzewania od grubości elementów. W efekcie uzyskano możliwości doboru kosztów wykonania i eksploatacji, zbilansowania ich i wyboru najtańszych rozwiązań. Na przykład, zwiększenie grubości płyt warstwowych do 32—34 cm



Rys. 4. Nakłady roczne na ogrzewanie przypadające na 1 m^2 powierzchni ściany zewnętrznej w zależności od jej grubości, wg [6] (oznaczenia w tekście)

podnosi ich efektywność ekonomiczną o 10%, przy zwiększeniu nakładów o 10% i obniżce kosztów eksploatacyjnych o 50%.

We Francji [6] opracowano uproszczoną wykreślną metodę określania optymalnej (ekonomicznie) izolacji ścian zewnętrznych.

Rysując krzywe:

- rocznych kosztów 1 m^2 powierzchni ściany zewnętrznej — P_p ,
- rocznych kosztów ogrzewania przy stosowaniu ścian o różnej grubości (na 1 m^2 ściany) — P_w ,
- rocznych kosztów inwestycyjnych na instalację centralnego ogrzewania (na 1 m^2 ściany w skali rocznej) — P_i ,

i sumując je otrzymujemy całkowite roczne koszty ogrzewania przypadające na 1 m^2 powierzchni ściany — P_t (rys. 4).

W Austrii [18] opracowano metodę, której głównym kryterium jest osiągnięcie w każdym przypadku najniższych łącznych kosztów inwestycyjnych (budowlanych i na instalację grzewczą). Udowodniono na przykład, że łączny koszt izolacji i instalacji grzewczej jest najmniejszy przy grubości płyty z wełny mineralnej 5 cm, a nie 3 cm. Uzyskuje się w ten sposób zyski inwestycyjne, eksploatacyjne oraz wyższy komfort cieplny.

Podsumowanie

Celowość stosowania optymalnej grubości izolacji budowlanych przegród zewnętrznych nie podlega dyskusji, należy tylko przy jej obliczaniu i doborze uwzględnić wszystkie omówione zagadnienia ciepłno-wilgotnościowe oraz powiązanie powstawania, ogrzewania i eksploatacji obiektów ze środowiskiem. Trzeba więc utworzyć nowy, poszerzony bilans energetyczny i na jego podstawie przeprowadzić ekonomiczną optymalizację współczynnika przenikania ciepła, z określeniem cech być może nowej termoizolacji, powodującej rzeczywiście najmniejsze straty energii.

Autor wyraża serdeczne podziękowanie prof. dr St. Kołaczkowskiemu za pomoc okazaną przy opracowywaniu i redakcji niniejszego artykułu.

SPIS LITERATURY

- [1]. Arendowski J. i in., *Przykłady zastosowania aparatury AGA-THERMO-VISION T 50*. Przegląd Budowlany nr 2/1976.
- [2]. Bogacz J., *Z zagadnień ochrony cieplnej budynków*. Przegląd Budowlany nr 12/1972.
- [3]. Brandt K. S., *Przemarzanie ścian z prefabrykowanych bloków kanałowych*. Przegląd Budowlany nr 6/1974.
- [4]. Ciborowski A., *Kształtowanie i ochrona środowiska a rozwój społeczno-gospodarczy kraju*. Inwestycje i Budownictwo nr 3/1975.
- [5]. Gładki J., Bogacz J., *Ekonomiczny dobór ścian zewnętrznych*. Przegląd Budowlany nr 4/1971.
- [6]. Kaliński B., *Efektywniejsza izolacja termiczna — niższe koszty ogrzewania budynków*. Przegląd Budowlany nr 10/1974.
- [7]. Kopecki K., *Człowiek w świecie energii*. Książka i Wiedza, Warszawa 1976.
- [8]. Maszczyński E., *W sprawie właściwego wskaźnika charakterystyk cieplnej ogrzewanych budynków*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna (GWiTS) nr 5/1966.
- [9]. Maszczyński E., *Zapotrzebowanie ciepła na ogrzanie powietrza infiltrującego na skutek działania wiatru*. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja (COW) nr 2/1969.
- [10]. Michotek St., *Wpływ projektowania i wykonawstwa budownictwa mieszkaniowego na zużycie paliw*. Przegląd Budowlany nr 2/1965.
- [11]. Mielnicki J. S., *Klimatyczne podstawy obliczania oczekiwanego zużycia opałowego dla urządzeń centralnego ogrzewania*. GWiTS nr 10/1966.
- [12]. Mielnicki J. S., *Normalizacja obliczania zapotrzebowania paliwa do ogrzewania budynków*. Przegląd Informacyjny Ciepłownictwo nr 2/1968.

- [13]. Mielnicki J. S., *Charakterystyka cieplna budynku i wyznaczanie strat ciepła budynków w czasie eksploatacji*. Przegląd Informacyjny Ciepłownictwo nr 4/1969.
- [14]. Mielnicki J. S., *Uwagi o wilgoci w budynku*. Przegląd Informacyjny Ciepłownictwo nr 4/1965.
- [15]. Mielnicki J. S., *Metody określania minimalnej grubości ścian zewnętrznych w budynkach ogrzewanych*. Inżynieria i Budownictwo nr 1/1960.
- [16]. Niedbała R., *O możliwościach ograniczenia strat energetycznych przez otwory okienne*. COW nr 11/1975.
- [17]. Pełczyńska T., Rezeźniak Z., *Zagadnienie komfortu cieplnego w małokubaturowym budownictwie mieszkaniowym*. Przegląd Budowlany nr 9/1974.
- [18]. Pieniążek Z., Kisielewicz J., *Problem ekonomicznej wartości współczynnika przenikania ciepła K we współczesnym budownictwie mieszkaniowym*. COW nr 6/1975.
- [19]. Pieniążek Z., Kisielewicz J., *Problem ochrony cieplnej obiektów budownictwa ogólnego na tle światowego kryzysu energetycznego*. Przegląd Budowlany nr 7—8/1975.
- [20]. Płoński Wł., *Możliwości zmniejszenia strat ciepła w budownictwie*. Przegląd Budowlany nr 9/1975.
- [21]. Pogorzelski A. J., *Wpływ mostków termicznych pewnego typu na izolacyjność cieplną przegród zewnętrznych*. Przegląd Budowlany nr 6/1976.
- [22]. Roszak W., *Ściany warstwowe z zastosowaniem keramzytu*. Przegląd Budowlany nr 1/1976.
- [23]. Schally S., Gulbicki Z., *Oplacalność stosowania dodatkowej izolacji cieplnej w niskim budownictwie rozproszonym*. COW nr 10/1976.
- [24]. Wasowski J., Szymańska J., *Problematyka ogrzewnicza w budownictwie jednorodzinym*. GWiTS nr 9/1966.
- [25]. Wójcicki J., *Granica opłacalności zwiększania izolacyjności przegród budowlanych w kompleksowym ujęciu bilansu cieplnego budynków i miast*. COW nr 2/1975.
- [26]. — . — *Rozwiązania budowlane i techniczno-sanitarne w budownictwie mieszkaniowym i ich wpływ na zdrowie człowieka*. GWiTS nr 12/1970.
- [27]. PN-64/B-03404 — *Współczynniki przenikania ciepła K dla przegród budowlanych*.
- [28]. PN-74/B-03404 — *Współczynniki przenikania ciepła K dla przegród budowlanych*