



# **Skuteczność izolacji termicznych**

**Opracowanie**

**Polskiego Stowarzyszenia Wykonawców Izolacji Przemysłowych**

**Warszawa, marzec 2014 rok**

**1.1. Rola izolacji termicznych.** W naszych warunkach klimatycznych izolacje termiczne ciepłochronne i zimnochronne stanowią nieodłączny element w procesie powstawania i modernizacji budynków, urządzeń przemysłowych, zbiorników magazynowych i instalacji energetycznych. Wynika to z faktu, że spełniają one bardzo ważną rolę w zabezpieczaniu warunków komfortu cieplnego w miejscu zamieszkania, utrzymują niezbędną temperaturę dla zapewnienia należytego przebiegu procesu technologicznego zachodzącego w instalacjach przemysłowych i urządzeniach energetycznych; stanowią ochronę energii cieplnej zabezpieczając ją przed stratami ciepła na etapie jego wytwarzania i przesyłu na odległość. Zadaniem bowiem techniki izolacyjnej jest zmniejszanie gęstości przepływającego strumienia ciepła poprzez zastosowanie pomiędzy ciałami przewodzącymi ciepło właśnie odpowiednich materiałów, charakteryzujących się właściwościami zmniejszania przepływu ciepła od elementu lub obszaru o wyższej temperaturze do elementu lub obszaru o niższej temperaturze. Izolacje termiczne z reguły stosowane są tam, gdzie istnieje potrzeba ograniczenia niepożądanego przepływu ciepła, czyli jego ochrona, lub zabezpieczenie przed niepożądanym pozyskiwaniem nadmiaru ciepła. Zjawisko przepływu ciepła jest zjawiskiem powszechnie występującym w przyrodzie i odbywa się zawsze pomiędzy ciałami o różnych temperaturach. Jest ono realizowane trzema różnymi sposobami: poprzez przewodzenie, przejmowanie ciepła drogą konwekcji i promieniowanie cieplne. Izolacje jako ciała fizyczne zbudowane są z cząsteczek posiadających energię związaną z ruchem, jaki one wykonują lub poddawane są oddziaływaniu innych cząsteczek taką energię posiadających. Funkcją sumy wewnętrznej energii kinetycznej ciał zbudowanych z cząsteczek jest temperatura. Jej przyrost oznacza zawsze zwiększenie prędkości ruchu wszystkich cząsteczek, a spadek temperatury oznacza zmniejszenie prędkości tego ruchu.

**1.2. Przewodzenie ciepła** polega na przekazywaniu właśnie energii kinetycznej ruchu cząsteczek ciał stykających się bezpośrednio ze sobą lub na przekazywaniu energii między różnymi obszarami tego samego ciała. Przebiega ono zgodnie z prawem Fouriera, które określa gęstość przewodzonego strumienia ciepła, jako proporcjonalną do gradientu temperatury między stykającymi się obszarami. Przewodzenie ciepła polega zawsze na przekazywaniu energii między cząsteczkami ciała stałego, cieczy i gazów, spowodowanym różnicą temperatur. Przewodność cieplna rozpatrywanego ciała jest miarą jego zdolności przekazywania energii wewnętrznej. Liczbową miarą tej zdolności jest współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda$ . Jest to wielkość zależna od wielu różnych czynników: od struktury wewnętrznej ciała, jego gęstości, ciśnienia, temperatury, wilgotności. Przewodzenie ciepła odnosi się do ciał stałych, obejmując zarówno ich klasyczny i kwantowy model, przewodzenie sieciowe i przewodzenie elektronowe, a także do cieczy i gazów.

**1.3. Przekazywanie ciepła na drodze promieniowania** polega zaś na przemianie energii wewnętrznej ciała w energię fal elektromagnetycznych, która po przejściu przez ośrodek je oddzielający, ulega ponownej przemianie na energię wewnętrzną innego ciała. Promieniowanie cieplne emitują wszystkie ciała mające temperaturę wyższą od zera

bezwzględnego. Prędkość rozchodzenia się promieniowania w próżni wynosi  $2,9979 \times 10^8$  m/s. W innych ośrodkach jest mniejsza i zależy od ich gęstości optycznej. Powierzchnie ciał stałych w zależności od ich rodzaju, częściowo pochłaniają promieniowanie termiczne, częściowo odbijają, a częściowo przepuszczają padające na nie promienie. Zjawisko to jest zwane absorpcyjnością, refleksyjnością i przepuszczalnością danego ciała. Pod względem zdolności do emitowania promieniowania, powierzchnie charakteryzowane są przez emisyjność.

**1.4. Przenikanie ciepła na drodze konwekcji** polega na przepływie ciepła pomiędzy powierzchnią ciała stałego, a opływającym tę powierzchnię płynem lub powietrzem. Wiąże się ono z makroskopowym ruchem cząstek płynu lub powietrza, zwanym konwekcją. Jej intensywność zaś związana jest z właściwościami tego otoczenia, jak również ze zjawiskami dynamicznymi występującymi w otoczeniu, takimi jak temperatura, prędkość wiatru, oddziaływanie czynników zewnętrznych, charakter ruchu powietrza (laminarny lub turbulentny), itp. Gęstość strumienia ciepła  $q$  przenoszona podczas konwekcyjnego przejmowania określona jest prawem Newtona :

$$q = h (T_s - T_e),$$

gdzie  $h$ -współczynnik przejmowania ciepła  $W/m^2K$ ;  $T_e$  - temperatura otoczenia;  $T_s$  - temperatura ścianki zewnętrznej. Obydwie temperatury mierzone są w skali Kelwina.

**1.5. Całkowite przenikanie ciepła przez przegrodę** oznacza wielkość ciepła, przepływającego przez przegrodę z ciała stałego, na drodze przewodzenia, z uwzględnieniem zjawiska powierzchniowego przejmowania ciepła po stronie wewnętrznej i zewnętrznej drogą promieniowania i konwekcji.

**1.6. O wyborze rodzaju i grubości izolacji decyduje wiele czynników**, które da się zakwalifikować do następujących grup:

- czynniki cieplne,
- czynniki techniczne wynikające z warunków zastosowania,
- czynniki technologiczne,
- czynniki ekonomiczne .

**1.7. Aby jednak należycie spełniały swoją rolę**, izolacje termiczne muszą odznaczać się

- efektywnością cieplną wynikającą z cech samej izolacji,
- stabilnością właściwości cieplnych w czasie,
- niską zawartością wilgoci i małą zdolnością jej adsorpcji,
- odpornością na gwałtowne zmiany temperatur.

**1.8. Inne cechy materiałów izolacyjnych decydujące o ich skuteczności zastosowania w określonych przypadkach są następujące:**

- gęstość materiału izolacyjnego,
- właściwości wytrzymałościowe,
- łatwość uzyskiwania próżni w tych materiałach,
- rozszerzalność objętościowa,
- odporność na wsiąkanie wilgoci.

**1.9. Efektywność energetyczną izolacji określa w zasadzie strumień ciepła przepływający przez izolację uzależniony od:**

- współczynnika przewodności cieplnej  $\lambda$
- grubości warstwy izolacyjnej  $g$
- pola powierzchni przepływu ciepła  $F$

Przy wykorzystaniu tych danych, całkowitą ilość ciepła przepływającego przez przegrodę izolacyjną określa następująca zależność :

$$Q = F \frac{\lambda}{g} \Delta T,$$

gdzie  $\Delta T = T_2 - T_1$  , czyli różnica temperatur na powierzchniach dowolnych zewnętrznych warstw izolacyjnych , a opór cieplny jednej warstwy izolacji wyraża się wzorem :

$$R = \frac{g}{\lambda}$$

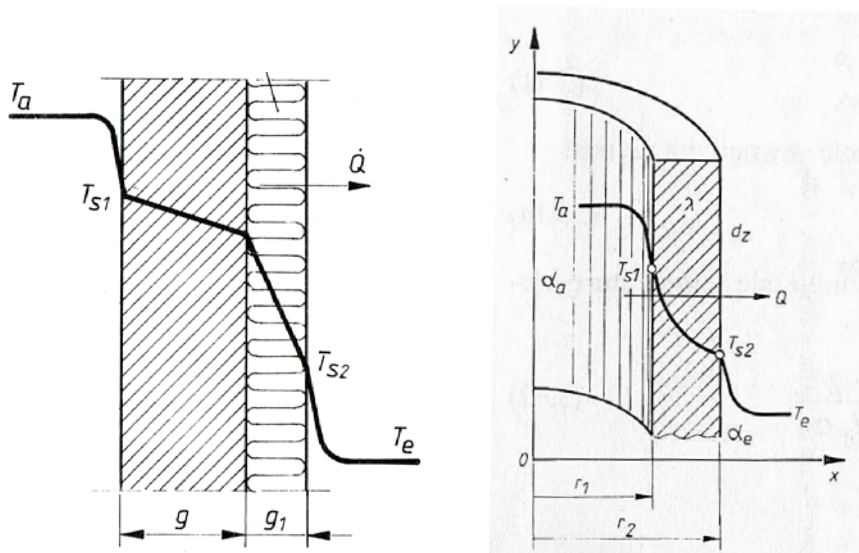
Ważną rolę w opisie skuteczności izolacji odgrywa jej objętościowa pojemność cieplna  $C$ , wyrażona wzorem:

$$C = c_m \rho ,$$

gdzie  $c_m$  – ciepło właściwe materiału izolacyjnego w kJ ,  $\rho$  – gęstość materiału w  $\text{kg/m}^3$   
 Od pojemności cieplnej materiału izolacyjnego zależy przyspieszenie lub spowolnienie procesu nagrzewania lub schładzania obiektu izolowanego w czasie .

**2.0. Przewodność cieplna , która wyraża się współczynnikiem przewodzenia ciepła jest wielkością zmienną i zależy od rodzaju ciała zastosowanego do izolacji, jego struktury, gęstości , ciśnienia, wilgotności , temperatury i innych wielu jeszcze innych czynników.**

**2.1. Wymiana ciepła między otoczeniem rozdzielonym przegrodą wykonaną z ciała stałego nazywana jest przenikaniem ciepła. Przenikanie ciepła składa się zasadniczo z przewodzenia przez przegrodę oraz z przejmowania ciepła między otoczeniem a zewnętrznymi powierzchniami przegrody po obu jej stronach. Zjawisko to dokładnie ilustrują poniższe rysunki :**



Strumień ciepła przepływający na drodze przejmowania przez powierzchnię wewnętrzną ciała stałego określa wzór Newtona:

$$Q_1 = F \alpha (T_\alpha - T_{s1}),$$

gdzie  $T_\alpha$  oznacza temperaturę otoczenia po stronie wewnętrznej ( wyższą ),  $T_{s1}$  – temperaturę na ścianie przegrody po stronie wewnętrznej,  $T_{s2}$  – temperaturę po stronie zewnętrznej,  $T_e$  – temperatura otoczenia zewnętrznego.  $\alpha_a$  – współczynnik przejmowania ciepła po stronie wewnętrznej,  $\alpha_e$  – współczynnik przejmowania ciepła po stronie zewnętrznej.

Oznacza to, że różnica między otoczeniem wewnętrznym i zewnętrznym przegrody płaskiej wynosi :

$$T_{\alpha} - T_e = q \left( \frac{1}{\alpha_{\alpha}} + \frac{g}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e} \right) ,$$

gdzie  $\alpha_{\alpha}$ - współczynnik przejmowania wewnętrznego,  $\alpha_e$ - współczynnik przejmowania zewnętrznego.

Podobnie można obliczyć różnicę dotyczącą przegrody walcowej, kulistej i przegrody o innych kształtach np. prostokątnym (jak kanały spalin).

**2.2. Te ogólne zasady przenikania ciepła przez powierzchnię izolowaną** sprawiają, że temperatura na powierzchni zewnętrznej jest na ogół niższa niż po stronie wewnętrznej, ale wyższa niż temperatura otoczenia zewnętrznego. Część ciepła przenika bowiem przez izolowaną przegrodę, a część ciepła pozostaje wewnątrz pomieszczenia, rurociągu, kuli lub przewodu o przekroju prostokątnym. Na tym polega właśnie istota izolacji termicznej. Ilość ciepła pozostającego powinna być znacząco wyższa niż ilość ciepła przenikającego. Bardzo ważnym czynnikiem w tym procesie ochrony ciepła jest temperatura zewnętrznej ściany płaszcza izolowanego obiektu. Jest to ważne ze względu na ochronę ciepła jak i ze względu na sprawy bezpieczeństwa. Przyjmuje się, że temperatura zewnętrzna izolowanego płaszcza nie powinna przekraczać 60°C. Tak więc skuteczność zastosowanej izolacji termicznej w określonych warunkach wyraża się ilością zatrzymanego ciepła i wielkością temperatury powłoki zewnętrznej izolacji, czyli o tyle  $T_{s_2}$  jest mniejsze od  $T_{s_1}$ . Ma na to wpływ różnica temperatur między  $T_{\alpha}$  i  $T_e$ .

**2.3. Ale taki sposób podejścia do oceny skuteczności izolacji**, jako jedyny, jest w dużej mierze znacznym uproszczeniem. Bo ta temperatura zewnętrzna zależy nie tylko od wielkości strat ciepła podczas procesu jego przenikania przez warstwę izolacji, ale także od innych czynników takich jak; temperatura otoczenia, siła wiatru, prędkość wiatru, występowanie klimatyzacji lub wentylacji w pomieszczeniu otaczającym obiekt izolowany, od stopnia zawilgocenia materiału izolacyjnego, odległości wspomnianej ścianki zewnętrznej płaszcza od innego źródła ciepła, usytuowania izolowanego obiektu w stosunku do otoczenia. Dotyczy to np. rurociągu mającego na estakadzie odpowiednie położenie, centralne lub inne, przykładowo skrajne. Dlatego właściwego pomiaru skuteczności izolacji dokonujemy za pomocą odpowiednich przyrządów, przy wykorzystaniu metody termowizyjnej, przez należycie przygotowanych fachowców. Pomiarów tych nie można dokonywać w miejscach występowania technicznie uzasadnionych mostków cieplnych, jak np. w pobliżu włazów, wzierników, kompensatorów, zawieszń i podpór, w miejscach styku z konstrukcją nośną, w miejscach występowania konstrukcji wsporczej izolacji w styku z płaszczem ochronnym, gdzie gęstość strumienia przepływającego ciepła jest znacząco wyższa niż w innych punktach warstwy izolacyjnej, a więc także w sąsiedztwie elementów wbudowanych np. zawory, zasuwy, urządzenia pomiarowe, styki, podpory. W tych punktach zawsze temperatura zewnętrzna będzie wyższa i nie wyraża ona dokładnie skuteczności wykonanej i założonej izolacji. Skuteczność izolacji pozwalają więc ocenić obiektywnie tylko te miejsca, które nie są związane z występującymi przypadkami zwiększonego punktowego przepływu strumienia ciepła, jak inne mostki cieplne, sposób prowadzenia przewodów, rodzaj i parametry transportowanego nośnika ciepła lub inne wyżej wymienione przypadki.

**2.4. Efektywność cieplna izolacji nie zależy więc tylko i wyłącznie od jej grubości** , obliczeniowej temperatury powierzchni zewnętrznej, gęstości strumienia ciepła przenikającego przez zaprojektowaną i wykonaną izolację. Ona zależy także od takich czynników jak ; poziom temperatury panującej na zewnątrz otoczenia izolowanego obiektu , porowatości ( gęstości ) izolacji, ciśnienia gazu w porach, właściwości cieplnych składnika stałego izolacji, właściwości cieplnych czynnika gazowego przegrody izolacyjnej, wilgotności, struktury warstwy izolacyjnej. Ogólnie przy wzroście temperatury wzrasta również strumień ciepła przepływający przez izolację. Przyczynami wzrostu strumienia na ogół jest wówczas wzrost udziału promieniowania w przewodnictwie przepływającego ciepła, oraz wzrost przewodności cieplnej gazu wypełniającego pory izolacji. Wpływ pozostałych czynników na przewodność izolacji wynika ze zmiany w relacjach ilościowych między poszczególnymi mechanizmami przepływu ciepła. Tak więc skuteczność izolacji zależy od usytuowania izolowanego obiektu w stosunku do zewnętrznego ich ułożenia, działania wiatru, lub innych czynników wymuszonego ruchu powietrza, jak wentylacja, klimatyzacja, sąsiedztwo z innymi izolowanymi obiektami.

#### **2.5. Podsumowanie:**

Aby dokonać więc oceny autentycznej skuteczności wykonanej izolacji należy:

- potwierdzić efektywność cieplną zastosowanego materiału izolacyjnego pod względem współczynnika przewodności cieplnej, oceny stopnia porowatości materiału, ciężaru objętościowego, stopnia zawilgocenia , stabilności właściwości termicznych, łatwości uzyskiwania i zachowywania próżni , stałości ciepła właściwego w czasie,
- uwzględnić rzeczywistą temperaturę otoczenia,
- uwzględnić inne, pozostałe czynniki atmosferyczne mogące mieć wpływ na utrzymanie trwałości temperatury i wielkości przewodzenia ciepła,
- uwzględnić oddziaływanie siły wiatru i występowania klimatyzacji otoczenia,
- uwzględnić miejsce występowania izolowanego obiektu, biorąc pod uwagę odległość od innych ogrzewanych obiektów,
- uwzględnić położenie izolowanego obiektu np. na estakadzie- centryczne lub zewnętrzne,
- dokonać termowizyjnego pomiaru izolacji,
- w trakcie pomiaru uwzględnić miejsca ich przeprowadzania, pomijając występujące mostki cieplne np. konstrukcje wsporcze ,odległość od włazów , występowanie styków, wzierników, konstrukcji nośnej, występowanie podpór, zawiesznień,
- uwzględnić obecność w izolacji elementy wbudowane jak kompensatory, zawory, zasowy urządzenia pomiarowe itp.

## **Literatura:**

- 1). W. Gogół: Wymiana ciepła. Tablice i wykresy. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1982.
- 2). E. Kostowski: Przepływ ciepła. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 1991.
- 3). S. Wiśniewski : Wymiana ciepła. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa 1979.
- 4). J. Górzyński : przemysłowe izolacje cieplne. Sorsus. Poznań 1996.
- 5). Opracowania i spostrzeżenia własne. PSWIP.
- 6) Encyklopedia fizyki współczesnej. Państwowe Wydawnictwo Naukowe ,Warszawa1983.
- 7) Zallen R. Fizyka ciał amorficznych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa1994.