

## Izolacja termiczna zbiorników LNG

Prawo Fouriera

$$\mathbf{q} = -\lambda \operatorname{grad} T = -\lambda \nabla T \quad \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

$$\operatorname{grad} T \equiv \nabla T = \frac{\partial T}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial T}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial T}{\partial z} \mathbf{k}$$

$$\mathbf{Q} = A\mathbf{q}$$

$\mathbf{q}$  – wektor gęstości strumienia ciepła [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

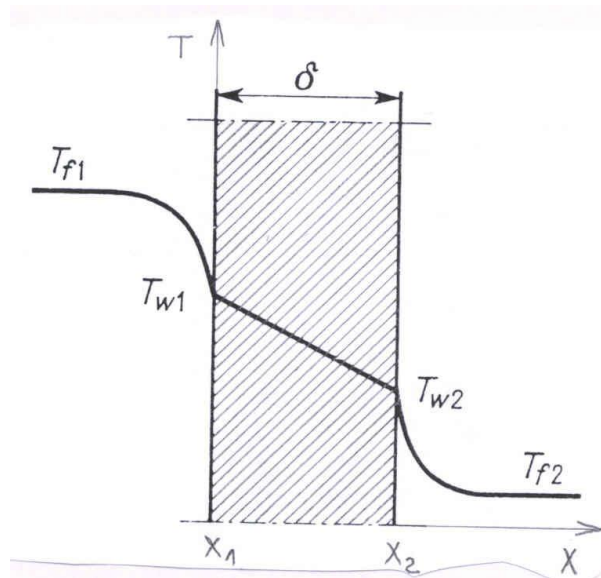
$\mathbf{Q}$  – wektor strumienia ciepła [ $\text{W}$ ]

gdzie  $\lambda \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$  współczynnik przewodzenia ciepła (przewodność cieplna)

$T$  – temperatura [ $\text{K}$ ]

Dla płaskiej ścianki jednowarstwowej

$$Q = Aq = \frac{A\lambda}{\delta} (T_{w1} - T_{w2})$$



Cienką ściankę cylindryczną, tzn. o stosunku  $D/d$  bliskim jedności, można traktować w obliczeniach jako ściankę płaską.

Dla płaskiej ścianki wielowarstwowej

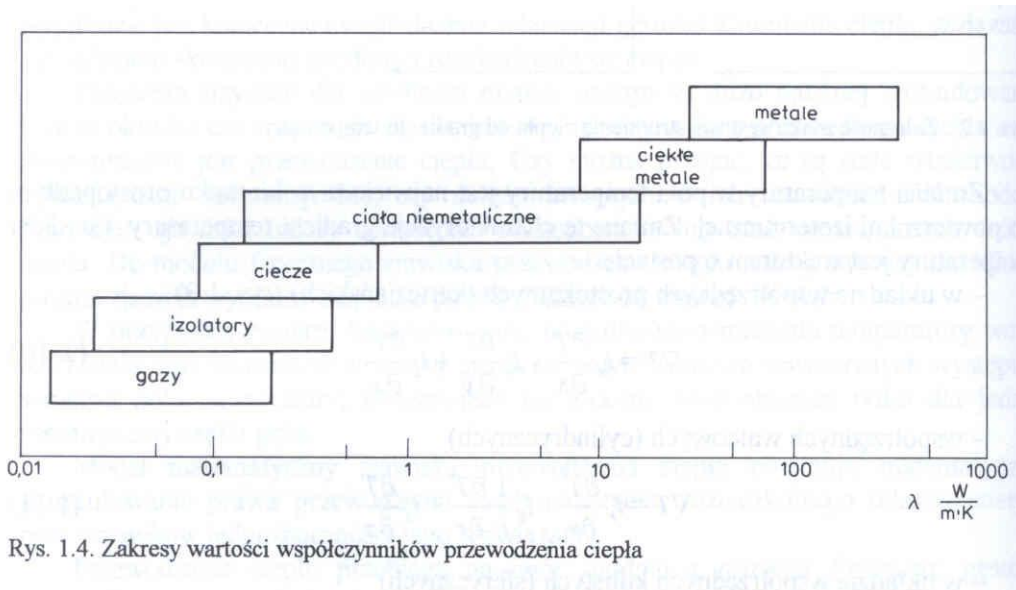
$$Q = \frac{A\lambda_z}{\delta} (T_{w1} - T_{w2})$$

gdzie:

$\lambda_z$  - zastępczy współczynnik przewodzenia ciepła

$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots$  - całkowita grubość ścianki wielowarstwowej

$$\lambda_z = \frac{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \dots}$$

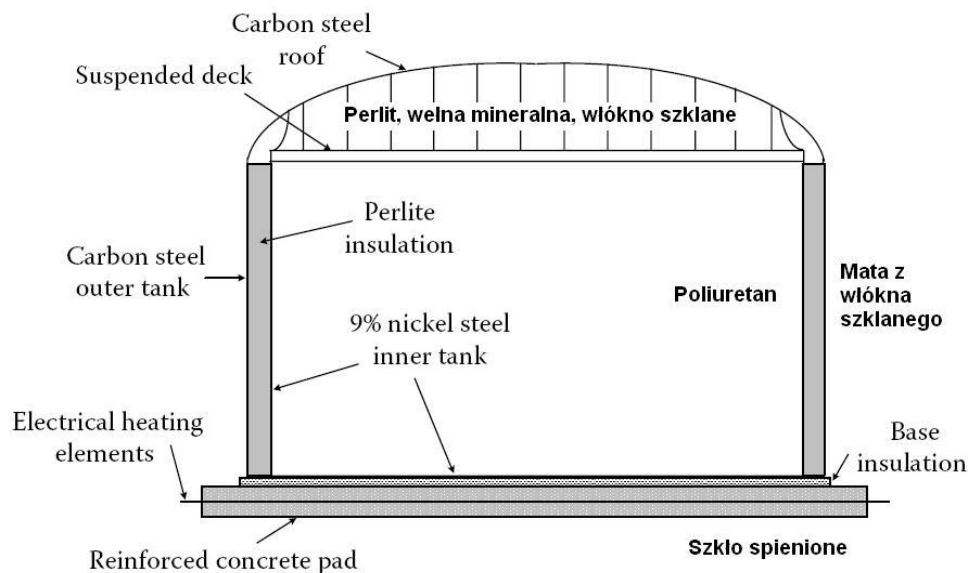


Rys. 1.4. Zakresy wartości współczynników przewodzenia ciepła

Materiały izolacyjne stosowane w zbiornikach LNG powinny się charakteryzować jak najniższą przewodnością cieplną, aby ograniczyć ilość odparowywanego LNG. Zbiorniki z pojedynczą ścianką izoluje się zwykle poliuretanem. W zbiornikach z podwójną ścianką materiałem izolacyjnym jest perlit wsypywany pomiędzy ścianki. Zawieszony wewnętrzny dach zbiornika jest izolowany perlitem, wełną mineralną i włóknem szklanym.

Poniżej przedstawiono sposób zaizolowania typowego zbiornika metalowego (średnica zbiornika około 44 m).

Przestrzeń pomiędzy ściankami zbiornika wewnętrznego i zewnętrznego wypełniona jest perlitem ekspandowanym ( $\lambda = 0,025 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ) w formie granulatu. Wewnętrzna ścianka zbiornika jest od zewnątrz zaizolowana poliuretanem ( $\lambda = 0,032 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ), który jest na nią natryskiwany. Zewnętrzna ściana zbiornika jest pokryta matą z włókna szklanego o grubości 0,25 m ( $\lambda = 0,046 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ). Płaski dach wewnętrzny zaizolowany jest włóknem szklanym (warstwa 2 m) lub perlitem ekspandowanym. Dno zbiornika jest pokryte szkłem spienionym ( $\lambda = 0,042 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ).



Zbiornik stalowy

### Perlit

Perlit to granulata lawy z erupcji wulkanów podmorskich. Perlit w swojej strukturze zawiera krople wody uwięzione w zamkniętych komórkach.

Wydobyty ze złoża perlit zostaje zmielony do odpowiedniej granulacji, a następnie wprowadzony na kilka sekund do pieca, w którym panuje temperatura 900 - 1000 °C. Zamknięte w ziarenkach krople wody wytwarzają parę o ciśnieniu wystarczającym do rozkruszenia materiału do wielkości od kilkudziesięciu  $\mu\text{m}$  do kilku  $\text{mm}$ . Równoległe przebiega proces spiekania szkliwa wulkanicznego i tworzą się, w zdecydowanej większości, wewnątrz puste i trochę nieregularne, szkliste banieczki. Proces ten nosi nazwę ekspansji (spęczania), a otrzymany produkt o białawej barwie – perlitu ekspandowanego. Objętość ziaren zwiększa się od 5 do 20 razy. Perlit ekspandowany jest łamliwy i łatwo się kruszy. Gęstość perlitu surowego wynosi od 1,0 do 1,50  $\text{kg}/\text{dm}^3$ , natomiast perlitu ekspandowanego od 0,025 – 0,18  $\text{kg}/\text{dm}^3$ . Współczynnik przewodnictwa cieplnego perlitu ekspandowanego wynosi od 0,025 do 0,059  $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ . Perlit jest całkowicie niepalny.

Typical examples of insulation materials	Location in tank						
	Tank base	Single tank outside of shell	Double tank inside of outer shell	Double tank outside of inner shell	Double tank inner/outer shell interspace	Suspended deck	Single tank roof
Cellular glass	×	×		×			×
Perlite concrete	×						
Foamed or aerated concrete	×						
Plastics foam (e.g. polystyrene) concrete	×						
Timber	×						
Polyvinyl chloride foam		×	×	×			×
Polyisocyanurate foam		×	×	×			×
Phenolic foam		×	×	×			×
Polystyrene foam		×	×	×			×
Polyurethane foam		×	×	×			×
Glass reinforced polyurethane foam		×	×	×			
Mineral wool or glass fibre blankets				× <sup>1)</sup>		×	
Loose fill insulants; expanded perlite or vermiculite					×	× <sup>2)</sup>	

<sup>1)</sup> Used in combination with loose fill insulants normally for its mechanical properties.  
<sup>2)</sup> Normally used in bagged form.

Cellular Glass – szkło komórkowe

Perlite concrete - beton perlitowy (piasek w betonie zastąpiony perlitem)

Foamed or aerated concrete – beton spieniony lub beton napowietrzony

Polyisocyanurate foam – pianka z poliizocyjanuratu, udoskonalonej wersji poliuretanu

Phenolic foam – pianka fenolowa

wysoka termoizolacyjność ok.  $\lambda = 0,023$  (W/m·K)

Timber - drewno

Wermikulit,  $(Mg,Fe,Al)_3(Al,Si)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$ , – minerał ilasty