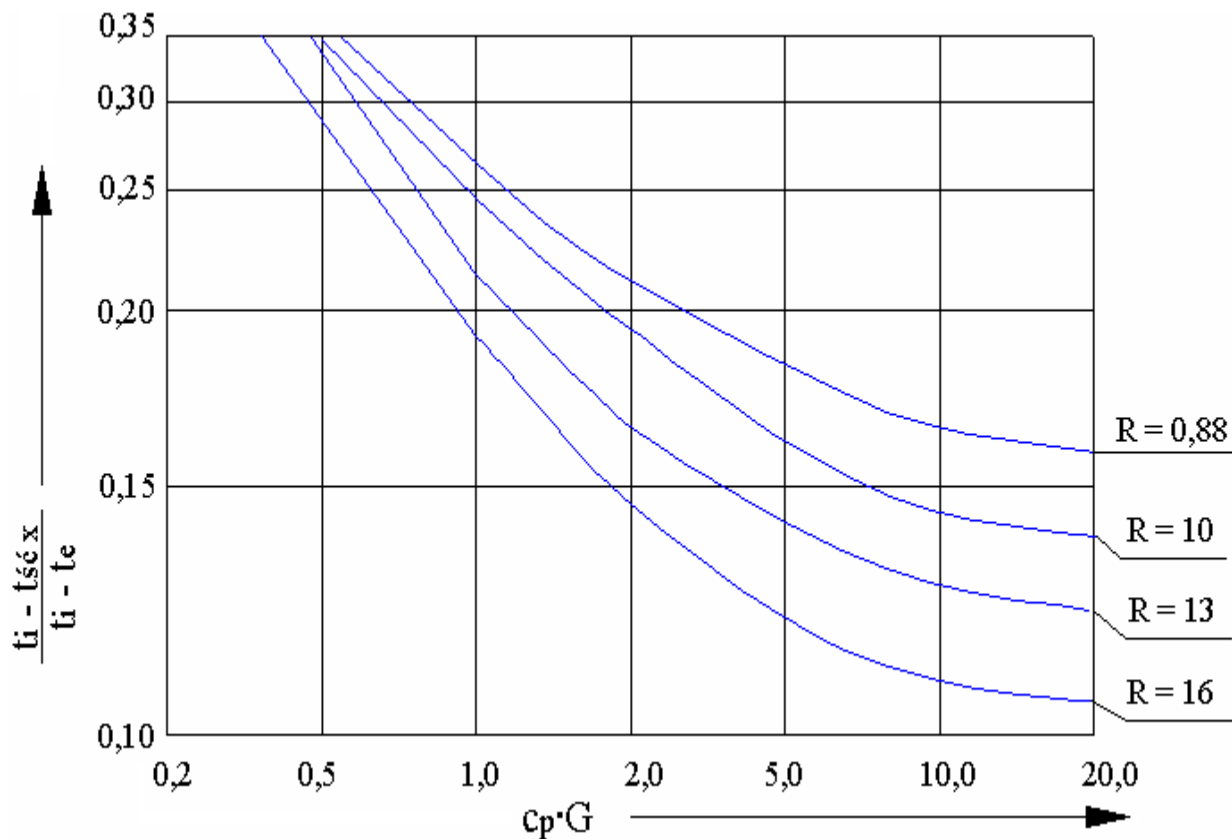


**Dodatkowe straty ciepła wywołane infiltracją powietrza w ilości przez szczelinę, odniesione do 1 mb styku płyt można wyznaczyć, wyrażając ogólne straty ciepła za pomocą pojemności cieplnej przepływającego powietrza, ze wzoru:**

$$\Delta q_{\text{inf,sz}} = A_{\text{sz}} \cdot \dot{G} \cdot c_p (t_i - t_e)$$

$A_{\text{sz}}$  – współczynnik uwzględniający podgrzanie powietrza zewnętrznego, przepływającego przez połączenie płyt - szybę (szczelinę), kosztem podstawowych strat ciepła przegrody ( $A_{\text{sz}} \sim 0,7$ )



**Zmiany temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu przepływu powietrza szczeliną, gdzie R – opory cieplne przegrody**

# Przenikanie ciepła przez nieszczelne okna

Zazwyczaj konstrukcje okien w pewnym stopniu umożliwiają przepływ powietrza. Poprzez szpary i na połączeniach szkła z ramą okienną powietrze zewnętrzne przedostaje się do przestrzeni między szybami, gdzie nagrzewa się do temperatury szczeliny powietrznej. Z kolei przez nieszczelności wewnętrznego oszklenia powietrze przedostaje się do pomieszczenia. Wzrost strat ciepła przez nieszczelne okna wywołany jest z jednej strony nagrzewaniem się przepływającego powietrza, a z drugiej obniżeniem temperatury wewnętrznego oszklenia. Dodatkowe straty ciepła (w postaci dodatkowego strumienia ciepła  $\Delta q$  odniesionego do 1 m<sup>2</sup> okna), wywołane nieszczelnością okna, równe są:

$$\Delta q = \Delta q_{t_{sc}} + \Delta q_G = \frac{t_{sc,i} - (t_{sc,i})_{inf}}{R_i} + c_p \dot{G}(t_i - t_{sc})$$

$t_{sc,i} - (t_{sc,i})_{inf}$  - obniżenie temperatury powietrza szkła wewnętrznego przy infiltracji

$t_{sz}$  - temperatura powietrza w przestrzeni między szybami

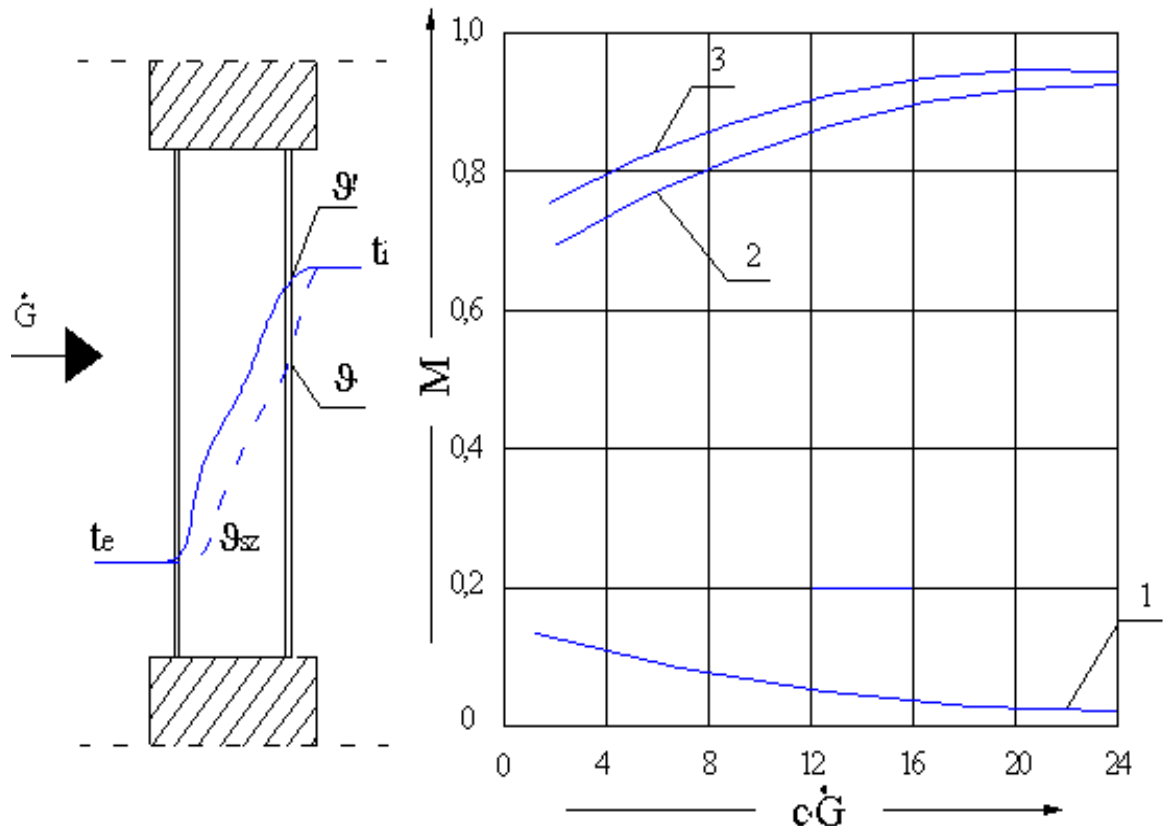
Wielkość  $\Delta q$  można również wyrazić w zależności od obliczeniowej różnicy temperatur ( $t_i - t_e$ ), wprowadzając współczynniki:

$$A_G = \frac{t_i - t_{sz}}{t_i - t_e} \qquad A_{t_{sc}} = \frac{t_{sc,i} - (t_{sc,i})_{inf}}{R_i c_p \dot{G}(t_i - t_e)}$$

Zależność określająca stopień wzrostu strat ciepła przy infiltracji ze względu na ogrzewanie powietrza oraz na skutek obniżenia temperatury szyby wewnętrznej:

$$\Delta q = c_p \dot{G} A_{t_{sc}} (t_i - t_e) + c_p \dot{G} A_G (t_i - t_e) = A_{ok} c_p \dot{G} (t_i - t_e)$$

$A_{ok}$  – współczynnik określający udział w całkowitych stratach ciepła ilości ciepła wykorzystanego na podgrzewanie powietrza, tj. dodatkowe zapotrzebowanie ciepła wynikające z nieszczelności okna



**Wpływ infiltracji na wzrost strat ciepła przy jego przenikaniu przez okno.**

$\vartheta'$  – temperatura na wewnętrznej powierzchni oszklenia, bez udziału infiltracji powietrza,  $\vartheta$  - jw. ale z uwzględnieniem infiltracji,  $\vartheta_{sz}$  – temperatura powietrza w przestrzeni międzyszybowej, 1 i 2 – współczynniki określające dodatkowe straty ciepła, wynikające ze spadku temperatury na wewnętrznej powierzchni oszklenia, **3 – sumaryczny współczynnik** (określający udział ciepła, wykorzystanego na podgrzanie infiltrującego powietrza)

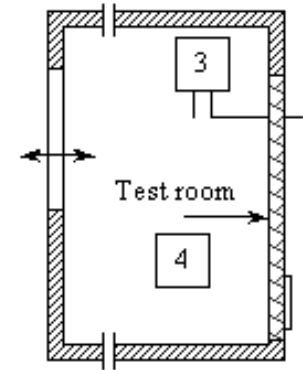
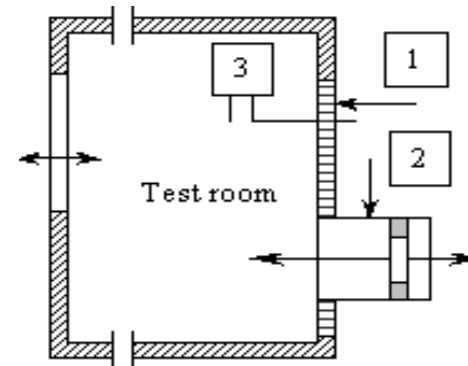
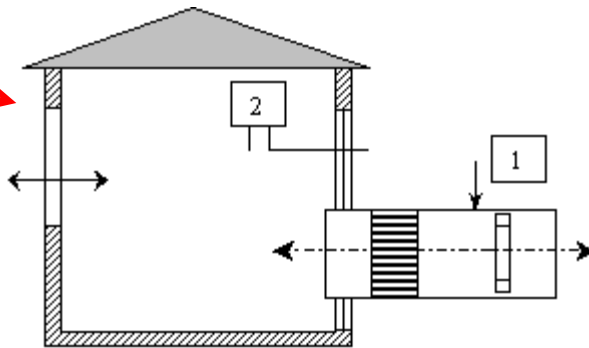
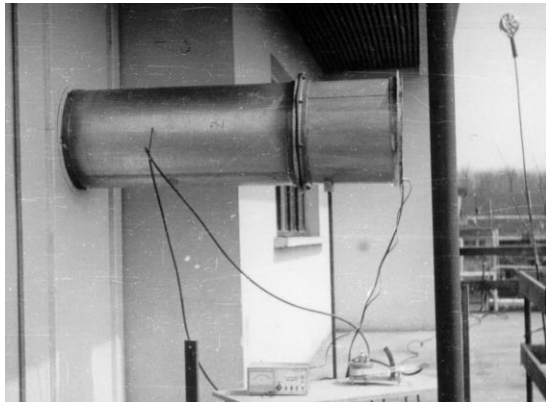
# Przepływy i wymiana powietrza

Decydujące znaczenie dla ruchu powietrza w budynkach ma szczelność ich powłoki zewnętrznej oraz rodzaj i rozwiązanie wentylacji

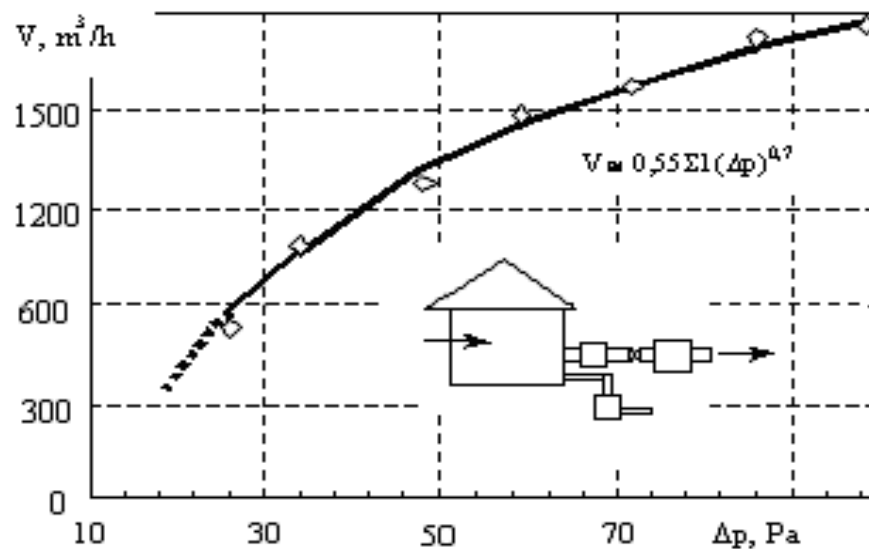
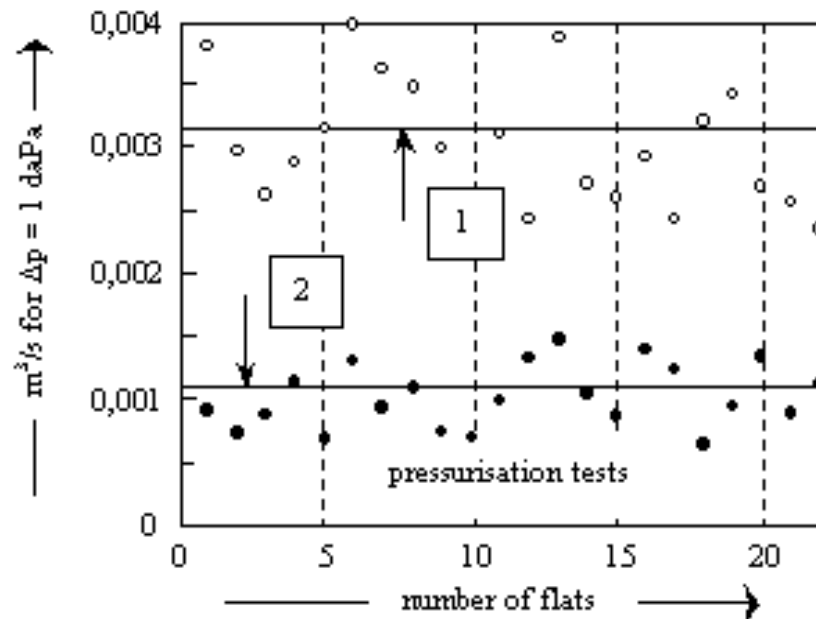
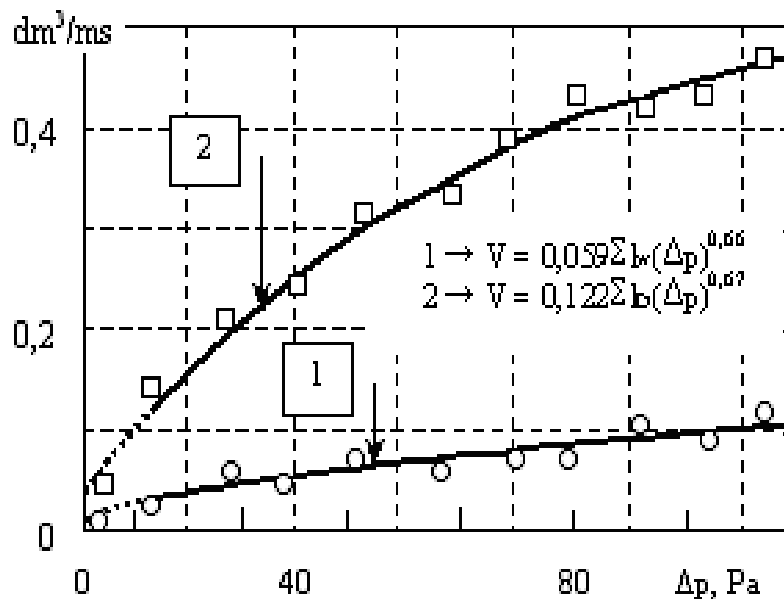
Szczelność budynku (połączeń elementów budowlanych, pięter, mieszkań, pomieszczeń, itp.) może być (i powinna – normy polskie) mierzona za pomocą testów ciśnieniowych i znacznikowych

PN-EN ISO13829:2002

Testy ciśnieniowe

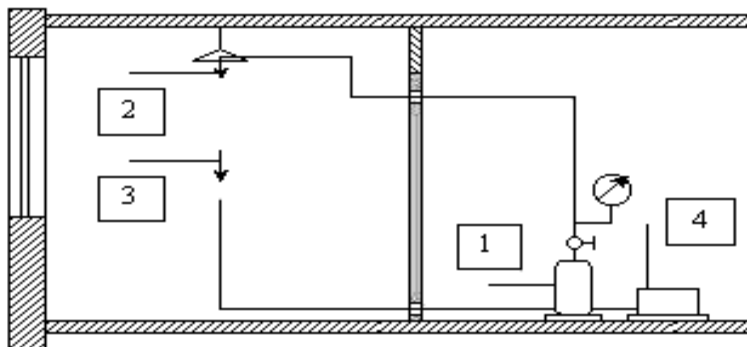


# Wybrane wyniki pomiarów metodą testów ciśnieniowych

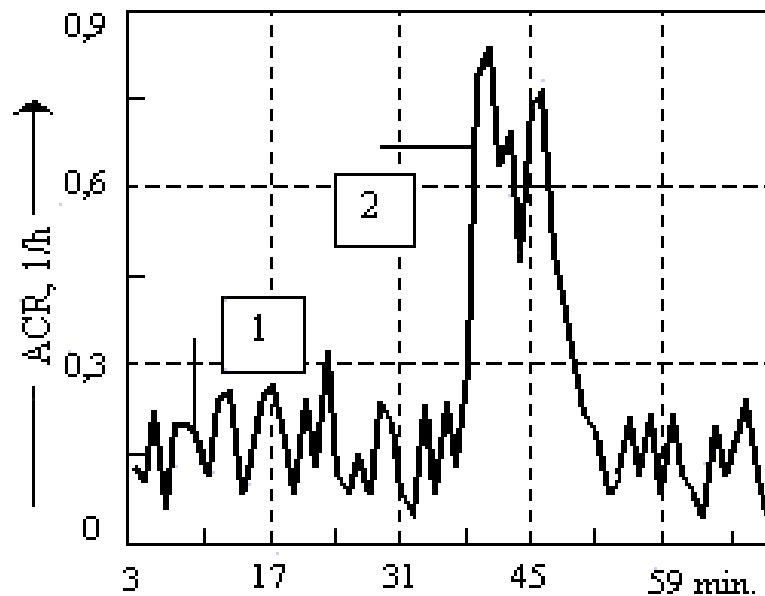
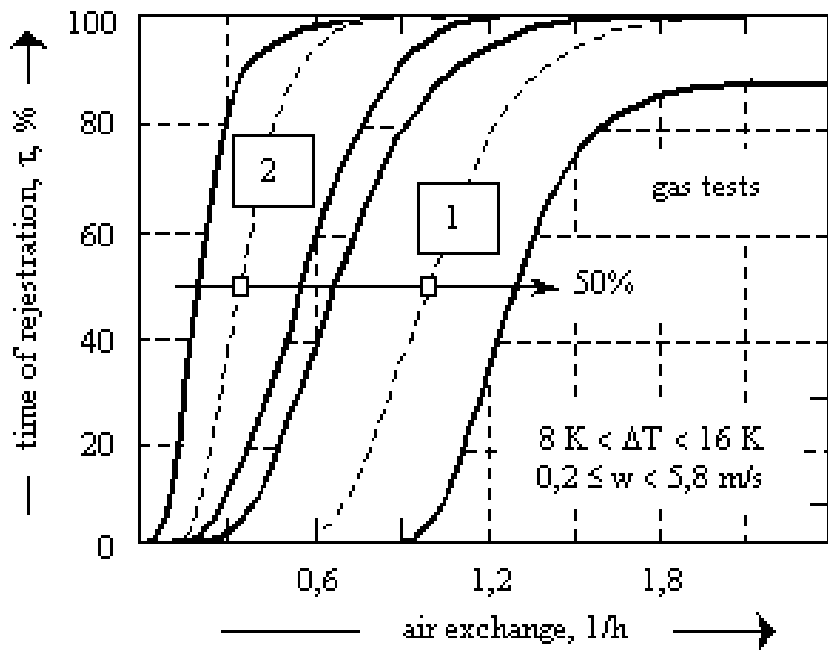


# Testy znacznikowe

PN-EN  
ISO13829:2002



## Wybrane wyniki pomiarów metodą testów znacznikowych



**Wyniki testów  
wskaźnikowych  
dokonywane w  
wybranych  
pomieszczeniach  
poszczególnych  
mieszkań budynku (w  
warunkach sezonu  
grzewczego)**



**Widok budynku**



Nr. piętra	WP, 1/h (a ≈ 1 m <sup>3</sup> /mh dla 1 daPa)		
	Pokoje (P)	Kuchnie (K)	Łazienki (Ł)
3 piętro	0,14	0,08	0,00
	0,19	0,10	0,09
	0,41	0,36	0,12
	0,28	0,31	0,17
2 piętro	0,21	0,24	0,15
	0,34	0,19	0,16
	0,16	0,07	0,00
	0,23	0,14	0,08
1 piętro	0,38	0,29	0,17
	0,18	0,08	0,04
	0,27	0,33	0,16
	0,08	0,06	0,00
parter	0,34	0,29	0,15
	0,25	0,31	0,19
	0,09	0,05	0,00
	0,12	0,08	0,00

# POTRZEBY CIEPLNE

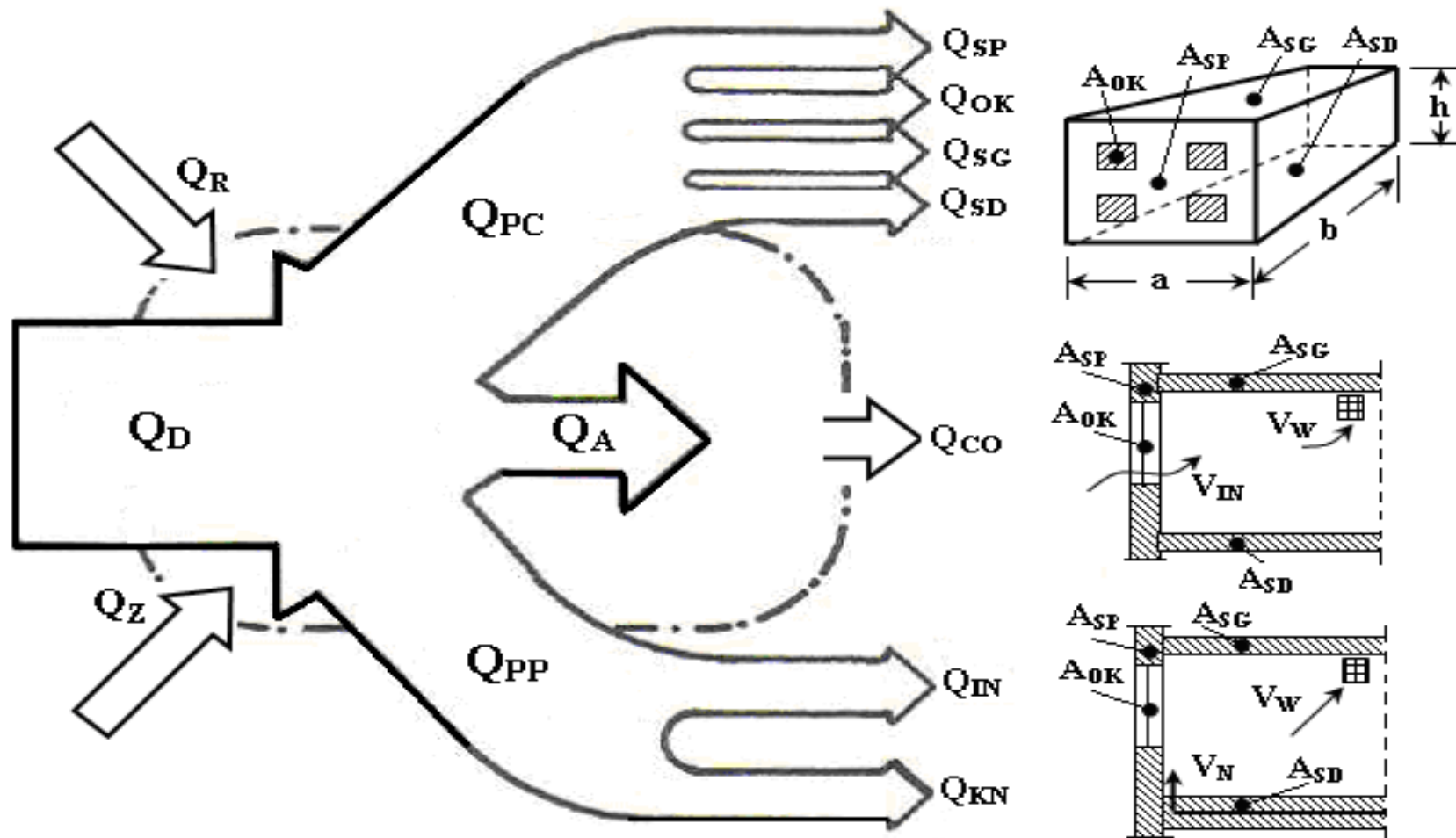
Dla przestrzeni bilansowanych w budownictwie oraz stawianych im wymagań w zakresie klimatu wewnętrznego podstawowe potrzebą w okresie zimowym jest doprowadzenie określonych ilości ciepła. Ilości ciepła powinny zrównoważyć strumienie ciepła tracone przez otaczającą daną przestrzeń przegrody budowlane a także nakłady cieplne na podgrzanie powietrza, jakie należy do niej doprowadzić

Zmienność parametrów zewnętrznych w okresie zimowym nie charakteryzuje gwałtownych zmian, a wpływ promieniowania słonecznego w większości tego okresu jest niewielki (parametry wewnętrzne są bardziej ustabilizowane niż ma to miejsce w okresie letnim)

Potrzeby cieplne budynków wyrazić można za pomocą zależności:

$$Q_d = \underbrace{Q_p + Q_w}_{\text{Straty ciepła}} - \underbrace{(Q_i + Q_R)}_{\text{Zyski ciepła}}$$





Instalacja grzewcza ( $Q_D$ ) oraz zyski ( $Q_R + Q_Z$ ) pokrywają straty ciepła przez **przenikanie** ( $Q_{PC}$ ) i infiltrację ( $Q_{IN}$ ) lub doprowadzenie powietrza układami mechanicznymi ( $Q_V$ ); należy tu jednak zwrócić uwagę, że pewna jego część zostaje akumulowana w przegrodach wewnętrznych oraz wyposażeniu wnętrza ( $Q_A$ )

# Straty ciepła

Zasadnicze straty ciepła są sumą strumieni ciepła traconych drogą jego przenikania ( $Q_p$ ) oraz ciepła niezbędnego do podgrzania powietrza wentylacyjnego dla wszystkich pomieszczeń zlokalizowanych w budynku (i) oraz występujących w nich rodzajów przegród budowlanych i miejsc napływu powietrza zewnętrznego (j)

$$Q_S = \sum_{i,j} Q_{S_{i,j}} = \sum_{i,j} \left( Q_{p_{i,j}} + Q_{w_{i,j}} \right)$$

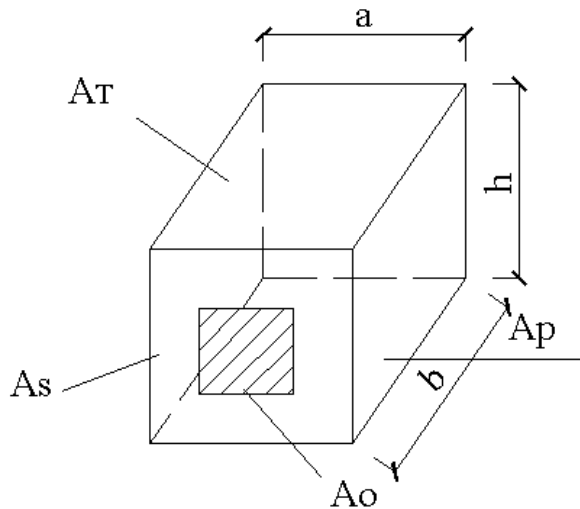
## Straty ciepła związane z jego przenikaniem ( $Q_p$ )

Są one zależne od wartości współczynników przenikania ciepła ( $U_j$ ) przez poszczególne przegrody (lub ich oporów cieplnych –  $R_j$ ), ich powierzchni ( $A_j$ ) oraz różnicy temperatur powietrza wewnętrznego i zewnętrznego ( $\Delta T_j$ )

$$Q_p = \sum_j Q_{p_i} = \sum_j \left( U_j \times A_j \times \Delta T_j \right) = \sum_j \frac{A_j \times \Delta T_j}{R_j}$$

Najistotniejszy jest tu związek izolacyjności cieplnej zewnętrznej powłoki z wymiarami geometrycznymi przegród i budynku

# Kształty i wymiary budynków



Każdy budynek można potraktować jako przestrzeń ograniczoną pionowymi przegrodami pełnymi (o powierzchni  $A_s$ ), przegrodami oszklonymi ( $A_o$ ) oraz przegrodami poziomymi, tzn. stropami nad piwnicami ( $A_p$ ) i najwyższymi piętrami ( $A_T$ ).

Przy założeniu wymiarów gabarytowych budynku  $A$  – długość,  $b$  – szerokość,  $h$  – wysokość, kubaturę określić można zależnością:  $K_B = a \times b \times h$

## a powierzchnie poszczególnych przegród

**pionowych pełnych**  $\Rightarrow A_s + A_o = 2h(a + b)$  **poziomych**  $\Rightarrow A_p = A_T = ab$

**sumaryczna powierzchnia wynosi**  $\Rightarrow A_e = A_s + A_o + A_p + A_T$

**przeszklenie pionowych ścian pełnych**  $\Rightarrow \varphi = \frac{A_o}{(A_s + A_o)}$  **przeszklenie sumarycznej powierzchni**  $\Rightarrow \varphi_o = \frac{A_o}{A_e}$

**Udziały powierzchni poszczególnych rodzajów przegród**  $\Rightarrow \varphi_{s,o,p,T} = \frac{A_j}{A_e}$

Dla tak zdefiniowanego budynku można określić straty ciepła związane z jego przenikaniem; wynoszą one:

$$\dot{Q}_p = U_m A_e \Delta T \quad \text{gdzie } U_m \text{ jest średnią wartością współczynnika przenikania ciepła odniesionego do całej powłoki zewnętrznej budynku}$$

Dla obliczenia wartości średniego współczynnika przenikania ciepła ( $U_m$ ) konieczne jest zwrócenie uwagi na położenie przegród zewnętrznych, ponieważ różnica temperatur ( $\Delta T$ ) ma dla nich różną wartość. Dlatego też wartość ta przyjmowana do analiz powinna być inna dla różnych przegród. Z wyróżnionych przegród zewnętrznych tylko dwie kontaktują się bezpośrednio z otoczeniem zewnętrznym (ściany pełne pionowe, oszklone), a dwie pozostałe (poziome) kontaktują się z przestrzeniami nie ogrzewanymi (np. stropadachem, piwnicą). Uwzględniają to współczynniki  $\psi = \Delta t_j / \Delta t_o$ , gdzie  $\Delta t_j$  – jest różnicą temperatur dla danej przegrody, zaś  $\Delta t_o$  – to różnica temperatur wewnętrznej ( $t_{im} \approx +20^\circ\text{C}$ ) i temperatury zewnętrznej (np.  $t_o = -20^\circ\text{C}$ ,  $\Delta T_o = 40\text{K}$ )

$$U_m = \sum_j \psi_j \times U_j \times \Delta T_o \quad \text{przykładowo } \psi_s, \psi_o = 1,0: \quad \psi_T = 0,75; \psi_P = 0,5$$

Można określić jednostkowe straty ciepła odniesione do  $\Delta T=1\text{K}$ , a następnie odnieść je także do kubatury ( $\text{W}/\text{m}^3\text{K}$ ):

$$\dot{q}_p = \frac{\dot{Q}_p}{\Delta T \times K_B} = U_m \frac{A_e}{K_B} = U_m \times D$$

Określanie związków między współczynnikami przenikania ciepła, wymiarami i kształtami budynków jest zagadnieniem optymalizacyjnym. Polega ono na poszukiwaniu minimum funkcji opisującej straty ciepła:

$$\frac{\partial(Q_p / \Delta T)}{\partial a} = \frac{\partial(Q_p / \Delta T)}{\partial b} = \frac{\partial(Q_p / \Delta T)}{\partial h} = 0$$

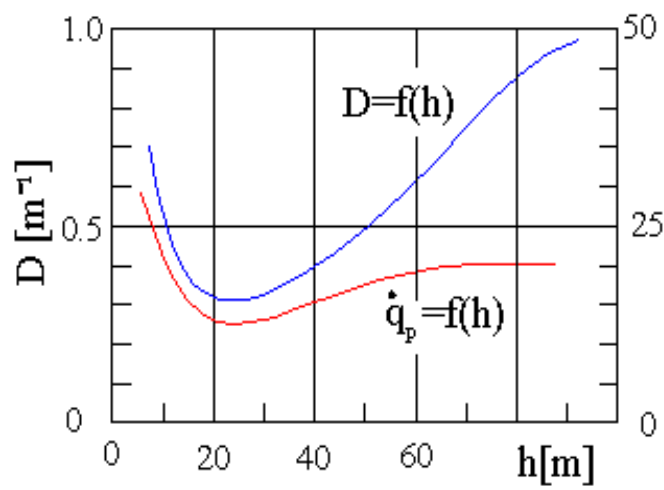
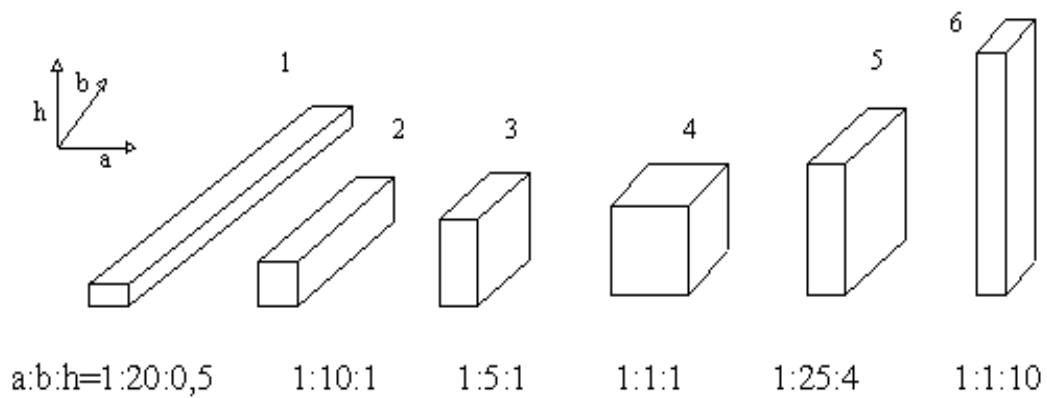
Rozwiązanie tej funkcji prowadzi do uzyskania zależności:

$$\mathbf{K} = \mathbf{a}^2 \mathbf{h}$$

$$\mathbf{h} = \sqrt[3]{\frac{(\mathbf{U}_p + \mathbf{U}_T)^2 (1 + \varphi_o)^2}{4(\mathbf{U}_s + \varphi \cdot \mathbf{U}_o)^2}} \mathbf{K}_B \quad \mathbf{q}_P = 4(\mathbf{U}_s + \varphi \cdot \mathbf{U}_o) \frac{\sqrt{\mathbf{K}h}}{1 + \varphi_o} + (\mathbf{U}_p + \mathbf{U}_T) \frac{\mathbf{K}_B}{h}$$

Wprowadzony tu geometryczny współczynnik kształtu budynku ( $\mathbf{D} = \mathbf{Ae}/\mathbf{K}_B$ ) ma kluczowe znaczenie w analizie wpływu kształtu i wielkości budynków na ich straty ciepła (jest on stosunkowo duży dla niskich budynków jednorodzinnych –  $\mathbf{D} \approx 0,9 \div 1,1/\text{m}$  oraz mały dla budynków wysokich -  $\mathbf{D} \approx 0,2 \div 0,3/\text{m}$  ). Znalazło to również wyraz w polskim ustawodawstwie, gdzie wprowadzono wskaźnik  $\mathbf{E}$  sezonowego zapotrzebowania na ciepło

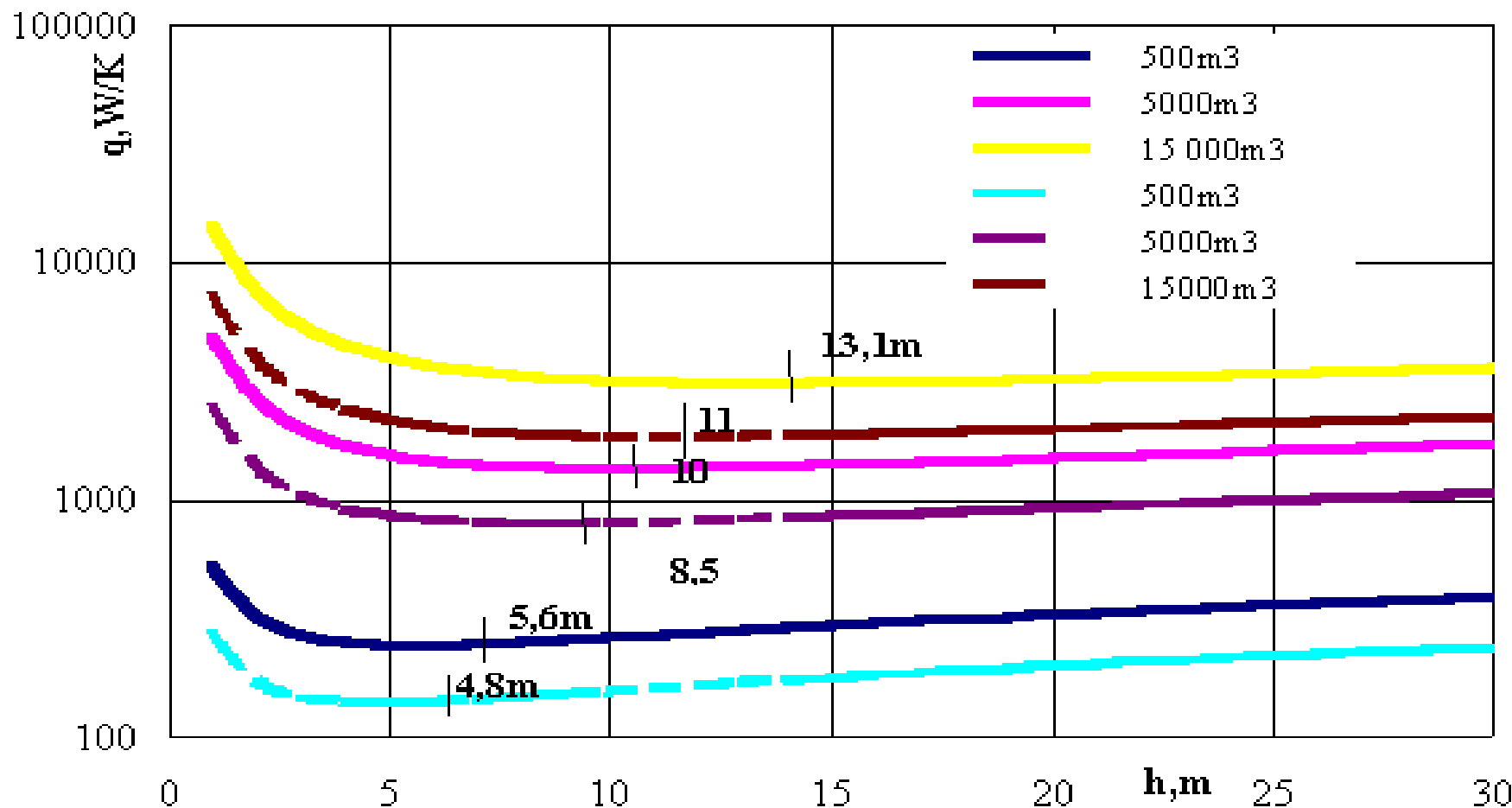
Warunek określony wzorem  $K=a^2h$  oznacza, że podstawą budynku powinien być kwadrat. Z uwagi na zarówno technologie realizacji obiektów, jak i funkcjonalność rozplanowania pomieszczeń wewnętrznych spełnienie tego warunku w większości budynków jest utrudnione. Duże znaczenie ma również kształt bryły budynku; straty mogą być wydatnie ograniczone przez dobór kształtu i wymiarów zewnętrznych obiektów



Kształt	$D[m^2]$	$q_p [W/m^2K]$
1	0,61	0,39
2	0,42	0,30
3	0,34	0,27
4	0,28	0,24
5	0,33	0,36
6	0,41	0,51

Przy założeniu jednakowej kubatury wszystkich analizowanych kształtów zewnętrznych wymiarów budynków przy małej izolacyjności cieplnej ich przegród. Najmniejsze straty będzie miał budynek o podstawie kwadratowej zbliżony do sześcianu (4).

**Wynik analizy dla budynków: jednorodzinnego ( $K_B = 500\text{m}^3$ ) oraz wielorodzinnych ( $5000\text{m}^3$  i  $15000\text{m}^3$ ), przy wybranych wartościach współczynników przenikania ciepła**



**Uwaga: kolory linii oznaczają zmieniający się poziom izolacyjności cieplnej przegród (narzucany aktami prawnymi)**

# Wnioski główne

- zwiększenie izolacyjności cieplnej przegród prowadzi do znacznego obniżenia optymalnej wysokości budynku,
- podobny wpływ będzie miało oczywiście zmniejszenie przeszklenia przegród,
- zwiększając wysokości ponad wartości optymalne zaobserwować można mniejszy wzrost potrzeb cieplnych niż przy wysokościach niższych od optymalnej,
- wysokości optymalne są także mniejsze (znacznie mniejsze dla budynków wielorodzinnych) niż wymiary podstawy, co **stawia to pod znakiem zapytania sensowność budowy wysokich budynków**