



[www.gorka.poznan.pl](http://www.gorka.poznan.pl)

Diagnostyka Energetyczna Budynków  
dr inż. Andrzej Górka

---

Ocena  
jakości energetycznej  
budynków

---

# dr inż Andrzej Górka

biuro @gorka.poznan.pl

+48 609 197 151

- Fizyka budowli
- Instalacje grzewcze
- Automatyka i sterowanie w instalacjach
- Systemowe podejście do efektywności energetycznej budynków



Politechniki Poznańska  
Kierownik  
Centrum Budownictwa Pasywnego



**Komisja Europejska - Bruksela**  
Niezależny Ekspert



**ASHRAE Member - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers**



**Passivhaus Institut - Darmstadt**  
Certyfikacja, szkolenia — przez PIBPiEO



**Air Infiltration and Ventilation Centre**  
Członek Zarządu - Polska



**Zrzeszenie Audytorów Energetycznych**  
Audytor energetyczny



**Diagnostyka Energetyczna Budynków**  
Termografia, szczelność budynków

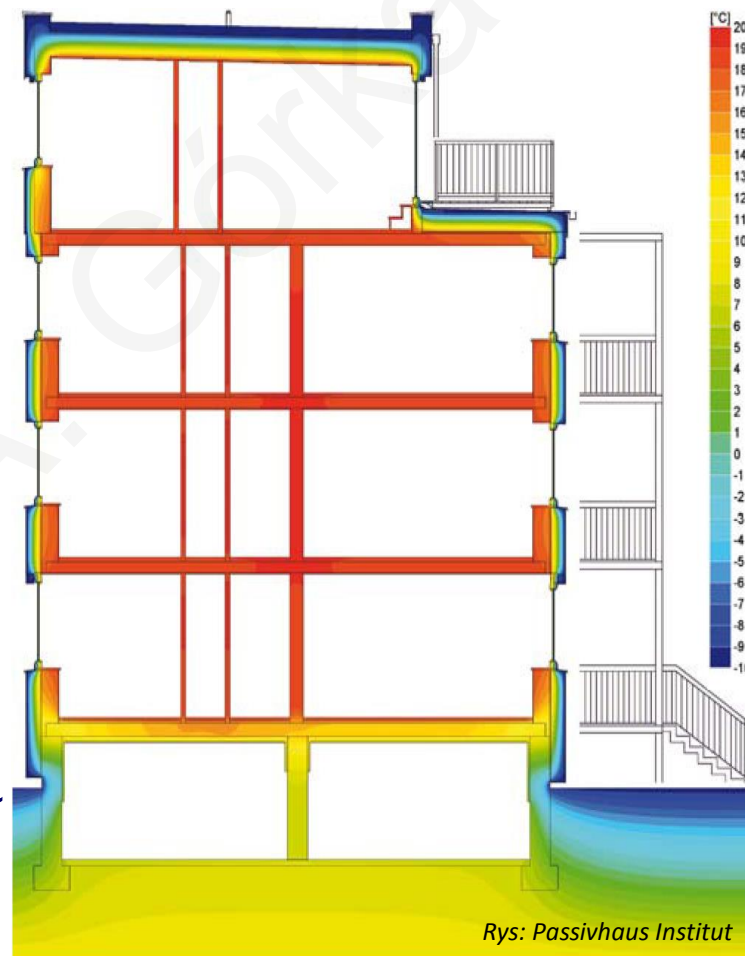
# Ocena jakości energetycznej budynków

- Izolacja termiczna i mostki cieplne, termografia
- Pomiary jakości środowiska wewnętrznego w budynku
- Wykorzystanie danych z systemów BMS
- Szczelność powietrzna budynku



# Izolacja termiczna i mostki cieplne, termografia

- **ocena budynku na etapie projektu** —  
obliczanie i optymalizacja mostków cieplnych
- **ocena jakościowa** —  
badanie termograficzne budynków od zewnątrz i od wewnątrz
- **ocena ilościowa** —  
pomiar wartości liczbowej współczynnika przenikania ciepła  $U$  na przegród





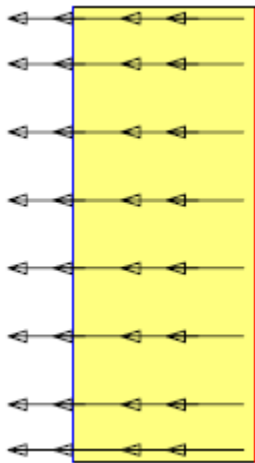
# Ocena budynku na etapie projektu

obliczanie i optymalizacja  
mostków cieplnych

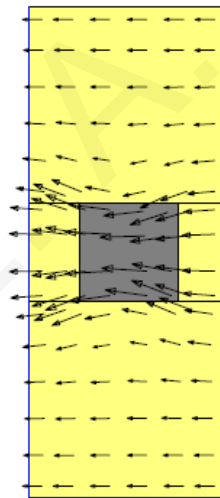
# Mostki cieplne — co to?

Mostek cieplny to miejsce, w którym wektory gęstości strumienia ciepła nie są równoległe.

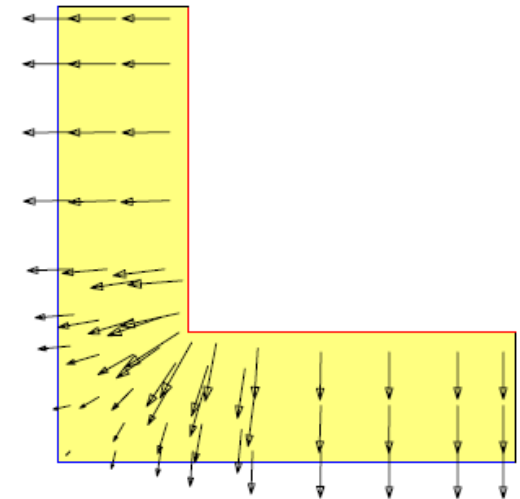
W mostkach cieplnych przepływ ciepła nie może być traktowany jako jednowymiarowy.



Bez mostków cieplnych

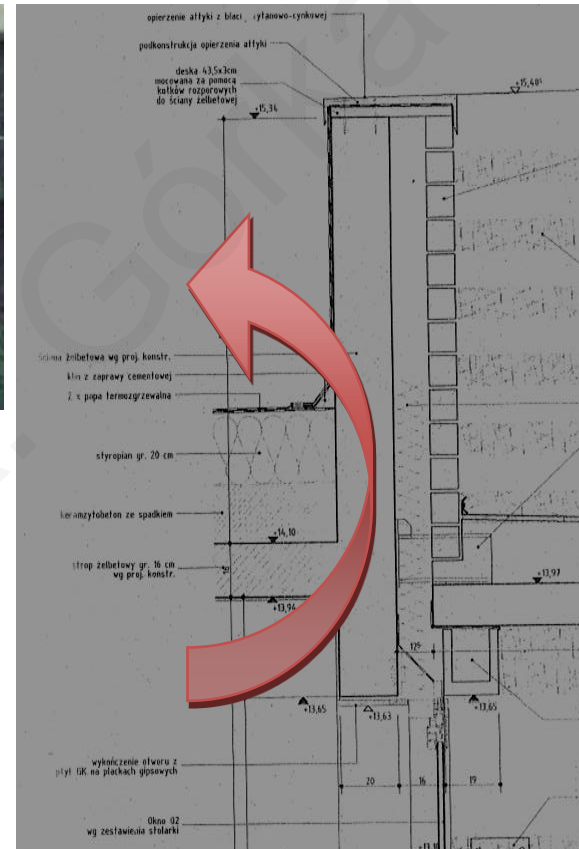
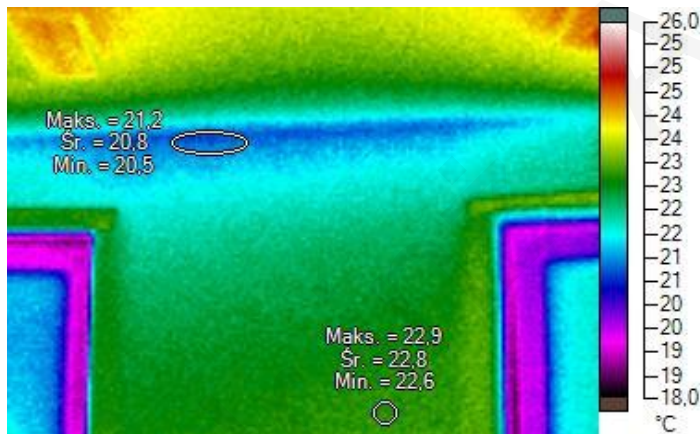
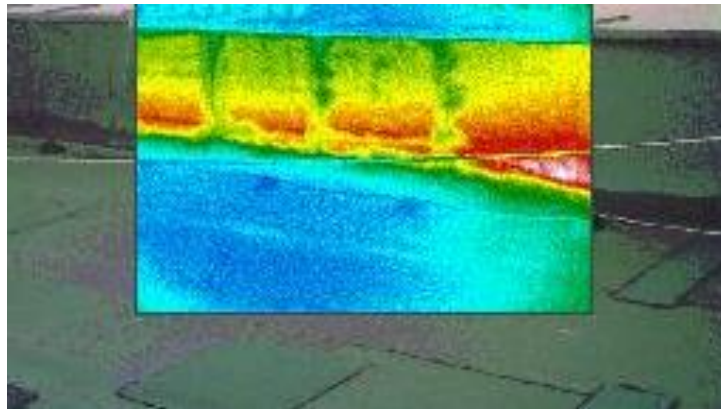


Materiałowy mostek cieplny



Geometryczny mostek cieplny

# Po co uwzględniać mostki cieplne?



Uwzględnienie mostków cieplnych często zmienia wynik obliczeń cieplnych o kilkanaście lub więcej procent.

# Po co uwzględniać mostki cieplne?

- Obliczenia projektowego obciążenia cieplnego
  - Obliczenia charakterystyki energetycznej budynków
- 
- Obliczenia cieplne budynków NF15 i NF 40
  - Obliczenia cieplne i optymalizacja budynków pasywnych
  - ...

# Jak obliczać mostki cieplne?

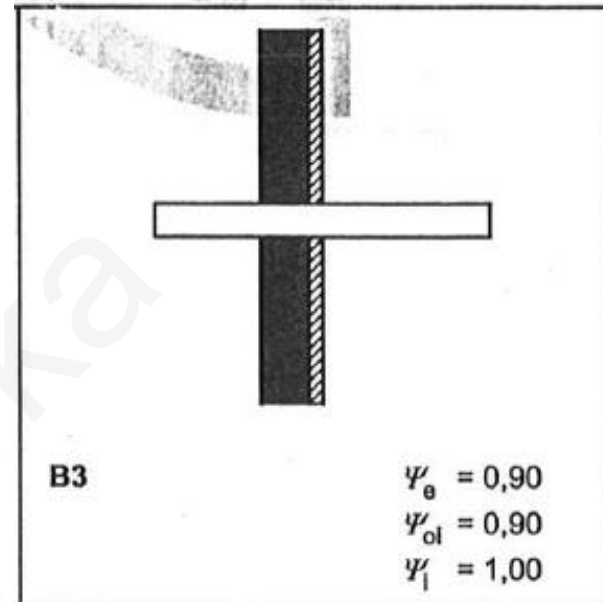
Współczynniki strat ciepła przez przenikanie należy obliczać ze wzoru:

$$H_{tr} = \sum_i [b_{tr,i} \cdot (A_i \cdot U + \sum_i l_i \cdot \Psi_i)] \text{ W/K}$$

$l_i$	długość i-tego liniowego mostka cieplnego	m
$\Psi_i$	liniowy współczynnik przenikania ciepła mostka cieplnego przyjęty wg <u>PN-EN ISO 14683:2008</u> lub obliczony zgodnie z <u>PN-EN ISO 10211:2008</u>	W/(mK)

# Mostki cieplne wg PN-EN ISO 14683

## Mostki cieplne w budynkach Liniowy współczynnik przenikania ciepła Metody uproszczone i wartości orientacyjne



Wartości orientacyjne  $\Psi$  w Tabelicy A.2 są oparte na dwuwymiarowych obliczeniach komputerowych z zastosowaniem parametrów z Tabelicy A.1.

Powyższe parametry należy tak wybrać, aby otrzymać wartości orientacyjne  $\Psi$ , które są zbliżone do maksymalnych, co prawdopodobnie występuje w praktyce, i dlatego są powodem przeszacowania efektów mostków cieplnych, tj. nie będą niedoszacowywać przenoszenia ciepła przez te mostki cieplne.



































# Źródła wartości $\psi$ a dokładność obliczeń

- Wartości orientacyjne wg PN-EN ISO 14683 0% ÷ 50%
- Obliczenia wzorami przybliżonymi  $\pm 20\%$
- Katalogi mostków cieplnych  $\pm 20\%$
- Indywidualne obliczenia komputerowe  $\pm 5\%$   
+ możliwość optymalizacji detali

# Oprogramowanie – przykłady

[www.physibel.be](http://www.physibel.be)

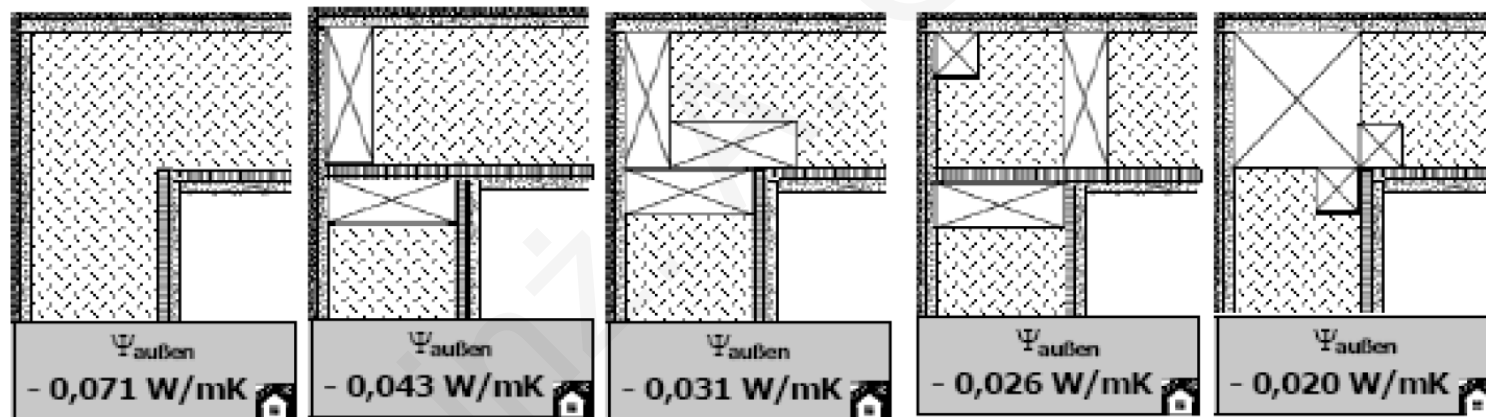
[www.mostkicieplne.pl](http://www.mostkicieplne.pl)

 <b>BISCO</b>	 2D	 free form	 steady	solar absorption	ventilation trick		optimised for EN ISO 10077-2	DXF BMP input	RADCON OPTION
 <b>BISTRA</b>	 2D	 free form	 transient	 solar proc.	 ventilation		$\lambda, c = f(\theta)$ $\lambda, h = f(t)$	DXF BMP input	RADCON INCLUDED
 <b>TRISCO</b>	 3D	 rectangular	 steady	solar absorption	ventilation trick		optimised for EN ISO 10211	TRISCO syntax + DXF + BMP + BISCO input	RADCON OPTION
 <b>VOLTRA</b>	 3D	 rectangular	 transient	 solar proc.	 ventilation	 $\theta$ control	$\lambda, c = f(\theta)$ $\lambda, h = f(t)$	TRISCO syntax + BISCO input	RADCON OPTION
 <b>SOLIDO</b>	 3D	 free form	 steady	solar absorption	ventilation trick			SOLIDO syntax + STL input	RADCON OPTION
 <b>CAPSOL</b>	 1D	linear radiation	 transient	 solar proc.	 ventilation	 $\theta$ control		CAPSOL syntax	
 <b>GLASTA</b>	 1D	Glaser method	 steady					GLASTA syntax	

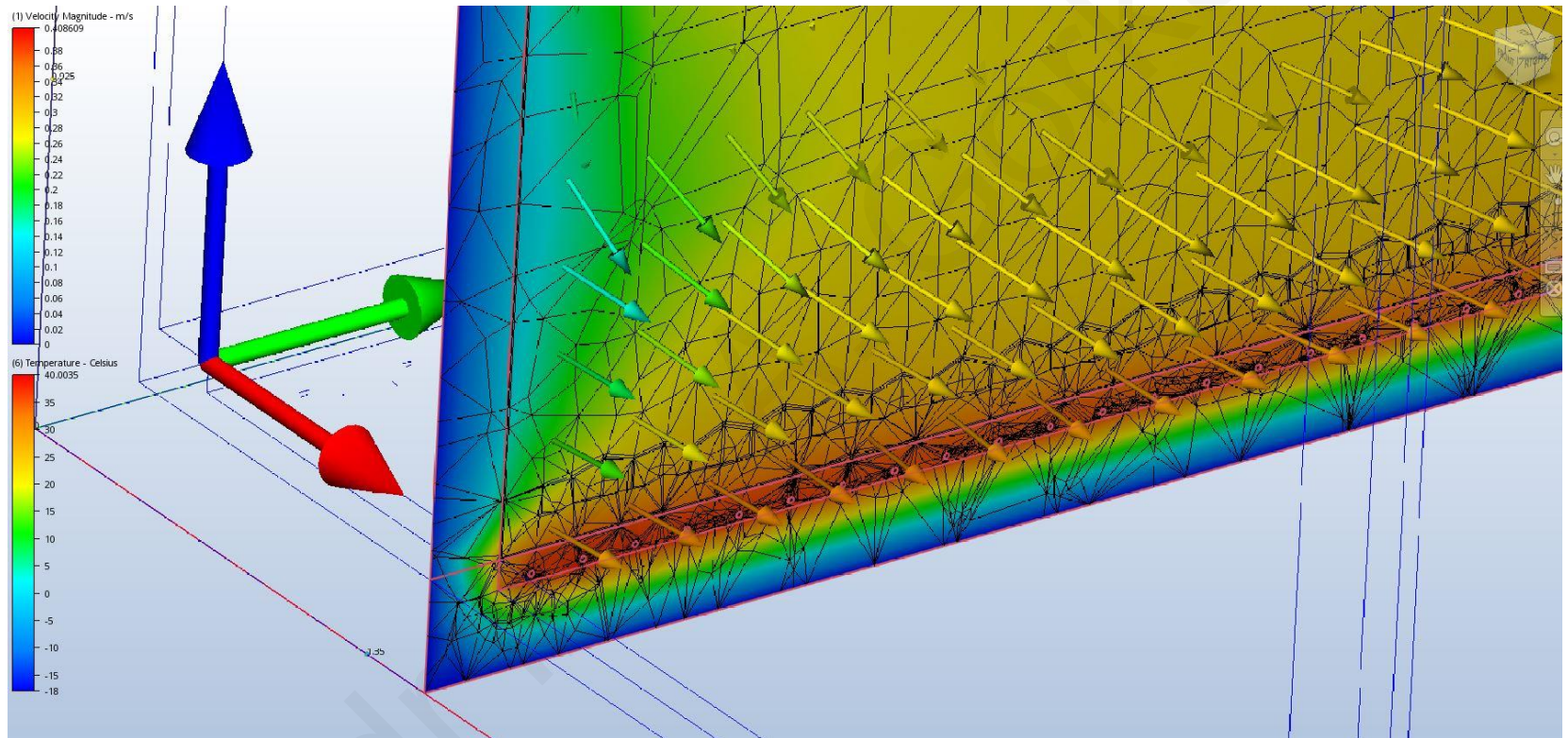


# MOSTKI CIEPLNE – PRZYKŁADOWE WARTOŚCI $\psi$

Połączenie ścian zewnętrznych w konstrukcji drewnianej



# Obliczenia 3D



# Optymalizacja mostków cieplnych 3D w praktyce — pierwszy na świecie kościół pasywny, Nowy Targ

[www.architekturapasywna.pl](http://www.architekturapasywna.pl)

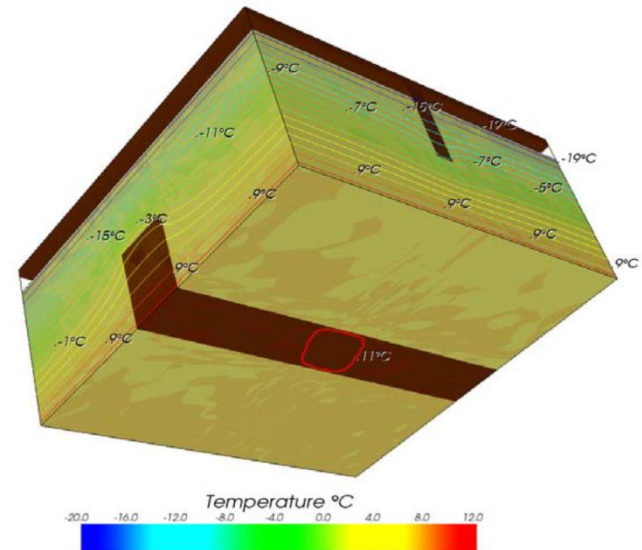
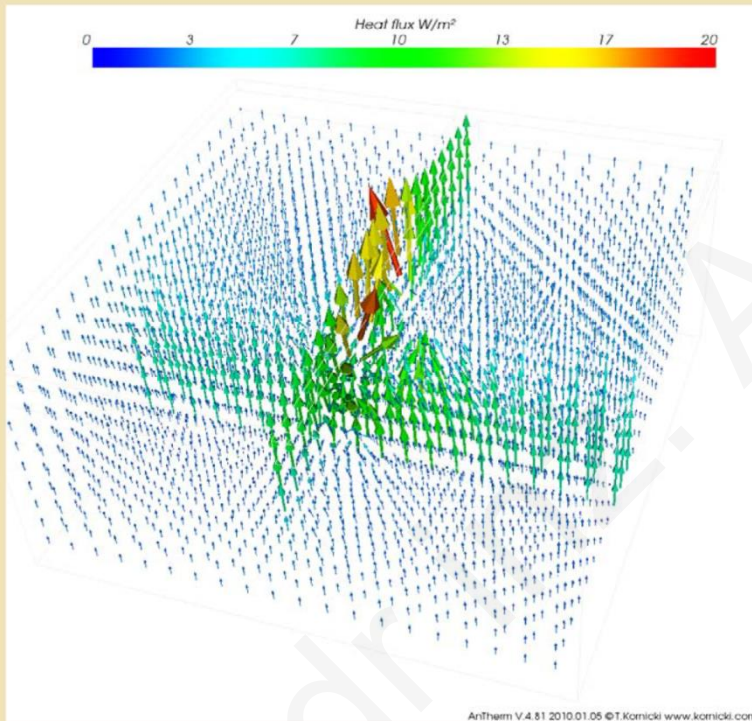




# Optimalizacja mostków cieplnych 3D w praktyce

– pierwszy na świecie kościół pasywny, Nowy Targ

## SKRZYŻOWANIE KROKWI I PŁATWI W KONSTRUKCJI DACHU

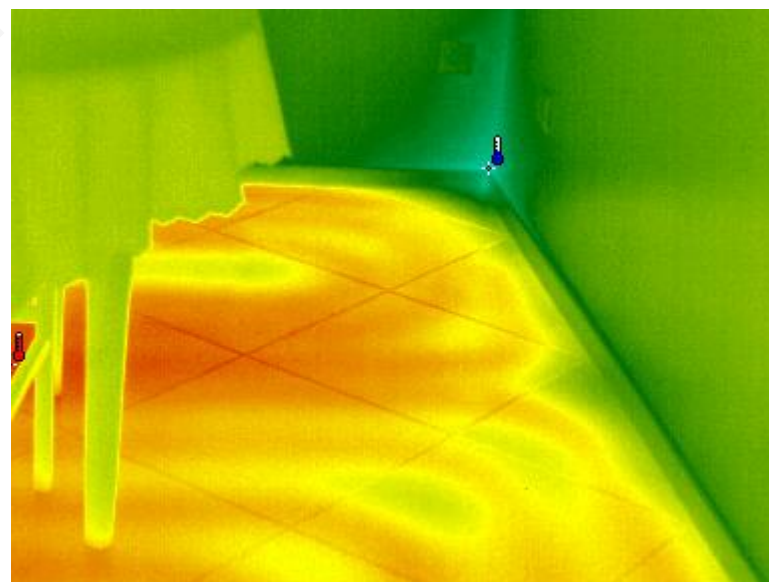
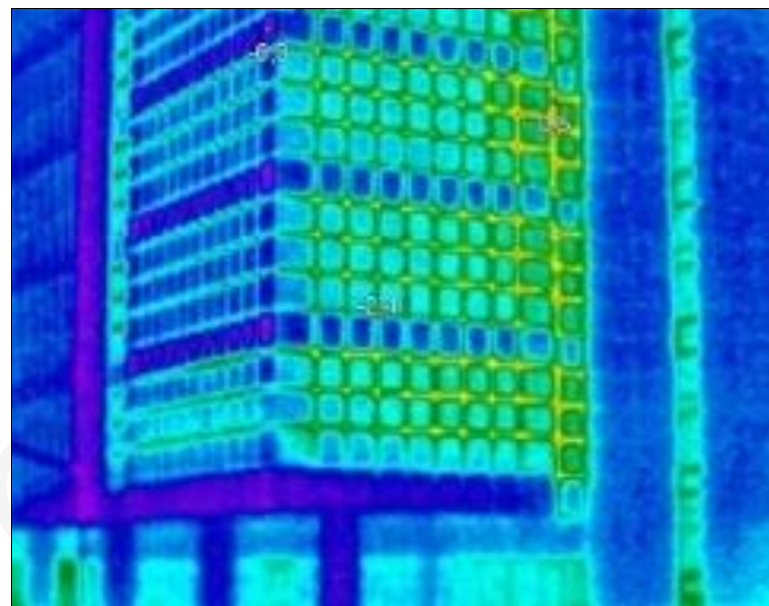
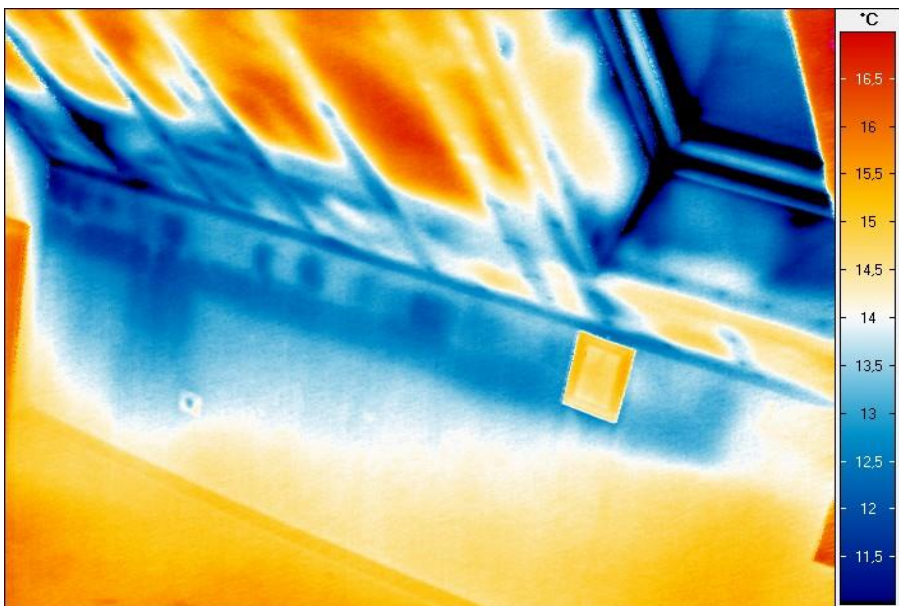


Rysunek przedstawia gęstość strumienia energii cieplnej. Wyświetlone wektory na powierzchni analizowanego wycinka obrazują wzmożony przepływ ciepła wynikający z niejednorodności materiałowej przegrody.

# Ocena jakościowa

badanie termograficzne budynków  
od zewnątrz i od wewnątrz





# Termografia

—  
przykłady zastosowań w budownictwie

# Kontrola termograficzna budynku

Polski Komitet  
Normalizacyjny

**PN-EN 13187**

czerwiec 2001

## **Właściwości cieplne budynków – Jakościowa detekcja wad cieplnych w obudowie budynku – Metoda podczerwieni**

### **1 Zakres normy**

W niniejszej normie opisano jakościową metodę wykrywania wad cieplnych w obudowie budynku badaniami termograficznymi. Metodę tę stosuje się do wstępnej identyfikacji wielu rodzajów zmian właściwości cieplnych, włączając szczelność na przenikanie powietrza, komponentów tworzących obudowę budynków.

Niniejsza norma ma zastosowanie do określania miejsc niejednorodności cieplnych i dróg wypływu powietrza przez obudowę. Niniejsza norma nie ma zastosowania do ilościowego określania izolacyjności cieplnej i szczelności konstrukcji na przenikanie powietrza. Do takich określeń wymagane są badania innymi metodami.

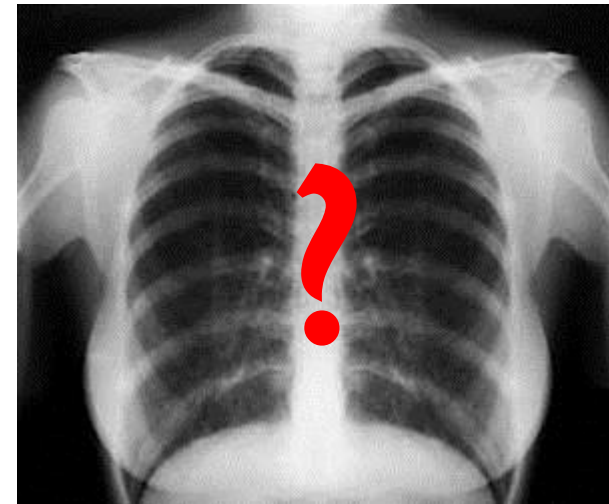


# PN-EN 13187

Na kontrolę termograficzną elementów budynków składają się:

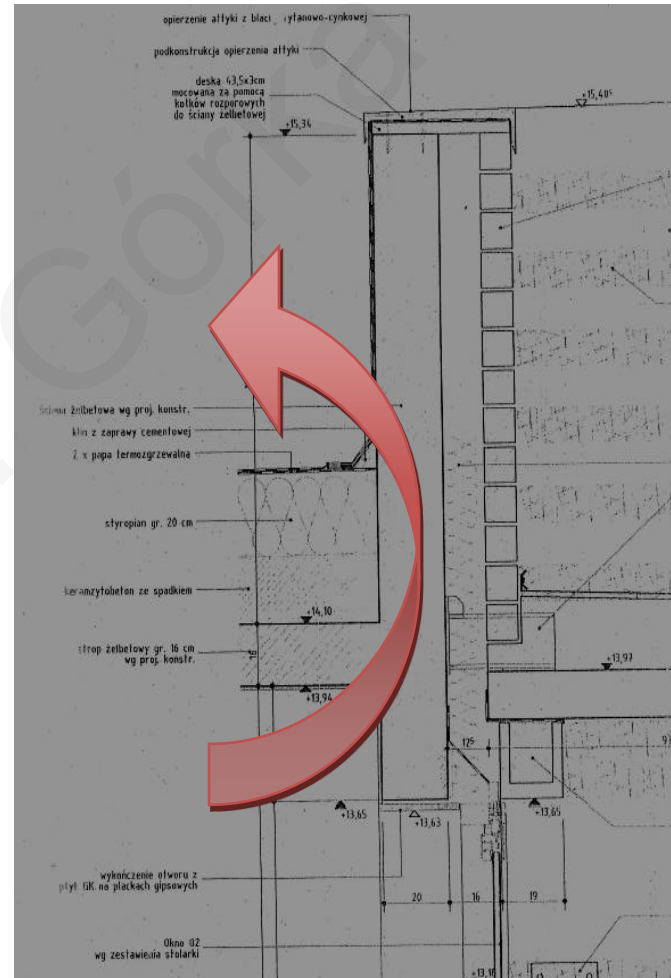
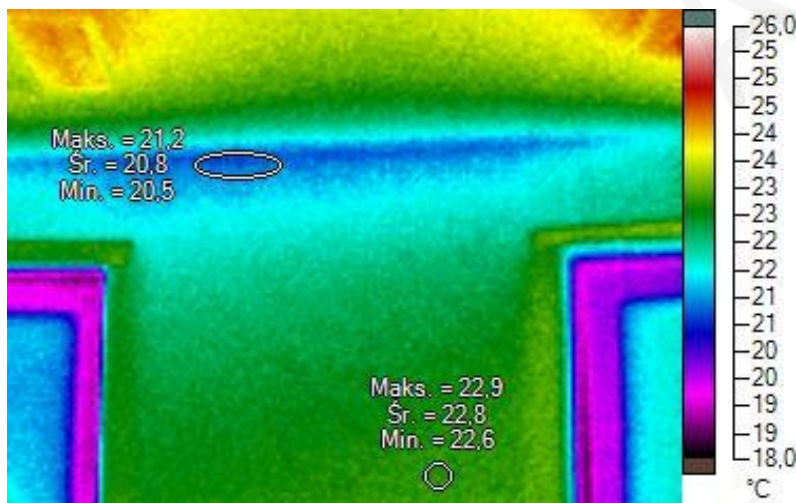
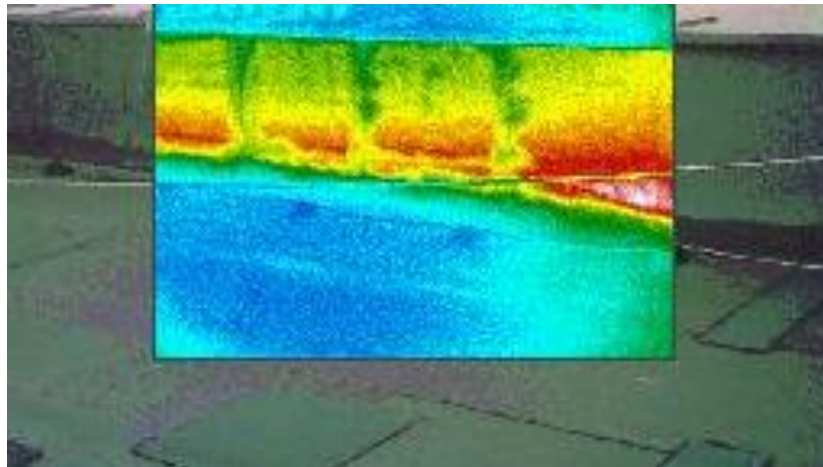
- a) określenie rozkładu temperatury powierzchni na części obudowy budynku z rozkładu pozornej temperatury promieniowania otrzymanego z użyciem systemu detekcji promieniowania podczerwonego;
- b) stwierdzenie, czy ten rozkład temperatury powierzchni jest 'nieprawidłowy', na przykład w wyniku defektów izolacji, zawilgocenia i/lub wypływu powietrza;
- c) jeżeli tak, oszacowanie typu i stopnia występowania defektów.

Aby ocenić, czy dany rozkład temperatur jest „prawidłowy”, czy „nieprawidłowy”, należy porównać go ze **spodziewanym rozkładem temperatur.**



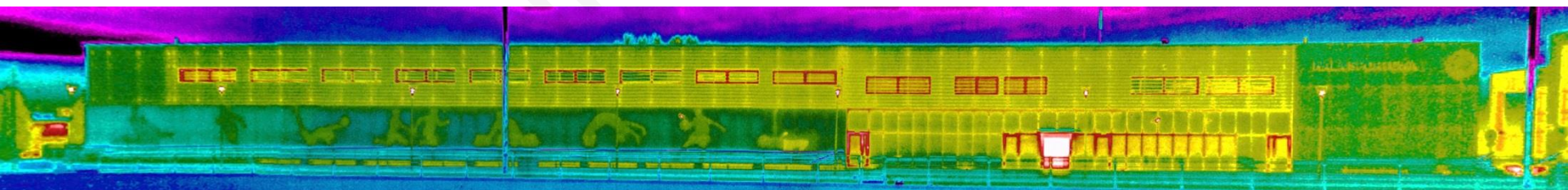


# Przykłady



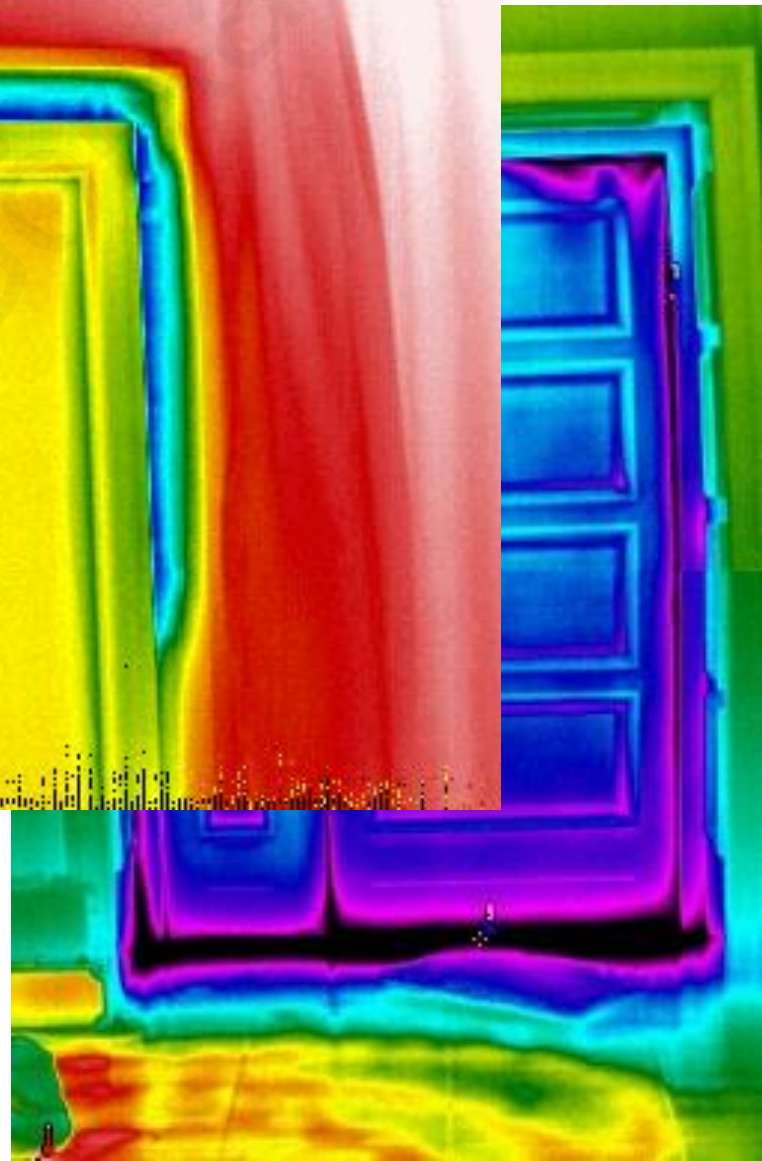
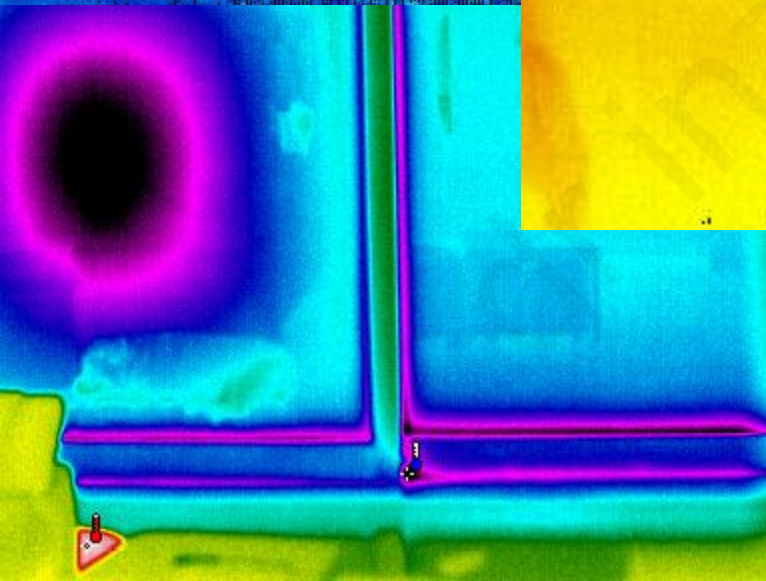
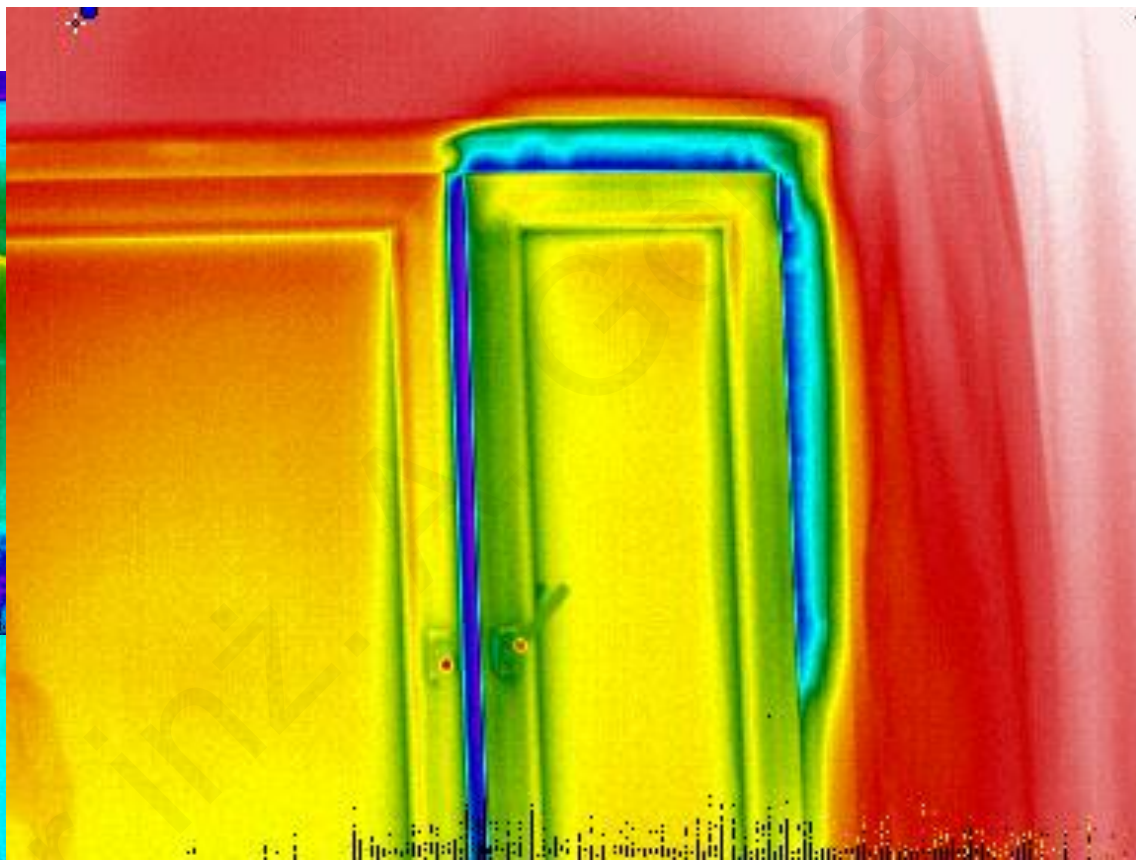
# Termografia od wewnątrz czy od zewnątrz?

- Od wewnątrz
  - kilka razy większa dokładność odczytu
  - metoda mało wrażliwa na warunki pogodowe
  - skuteczna dla wszystkich przegród – również wentylowanych (np. dachy)
- Od zewnątrz
  - wielokrotnie szybciej
  - nie trzeba wchodzić do pomieszczeń
  - ładniejsze „obrazki”

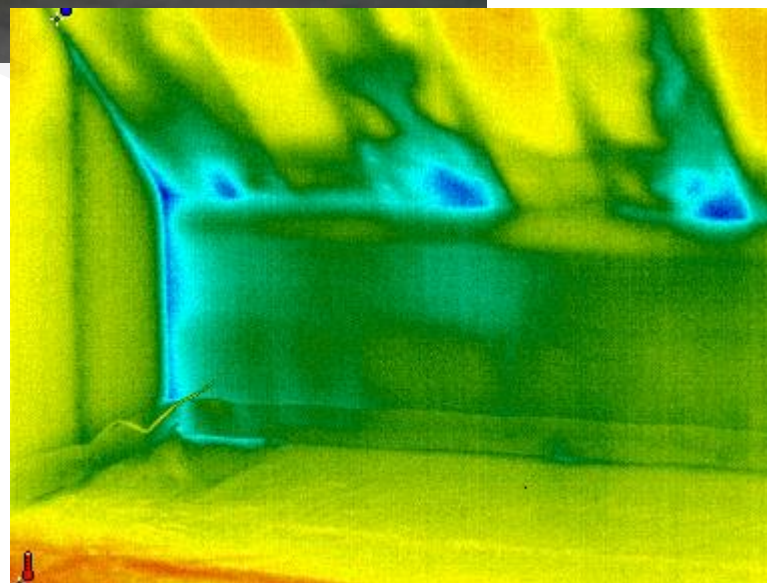
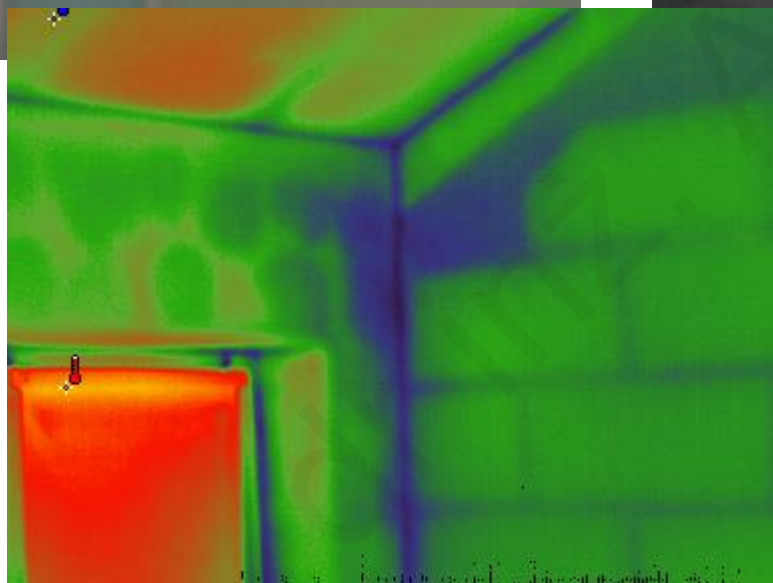
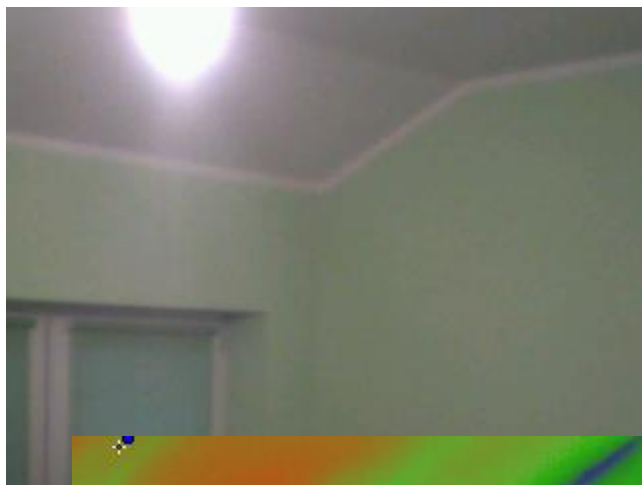




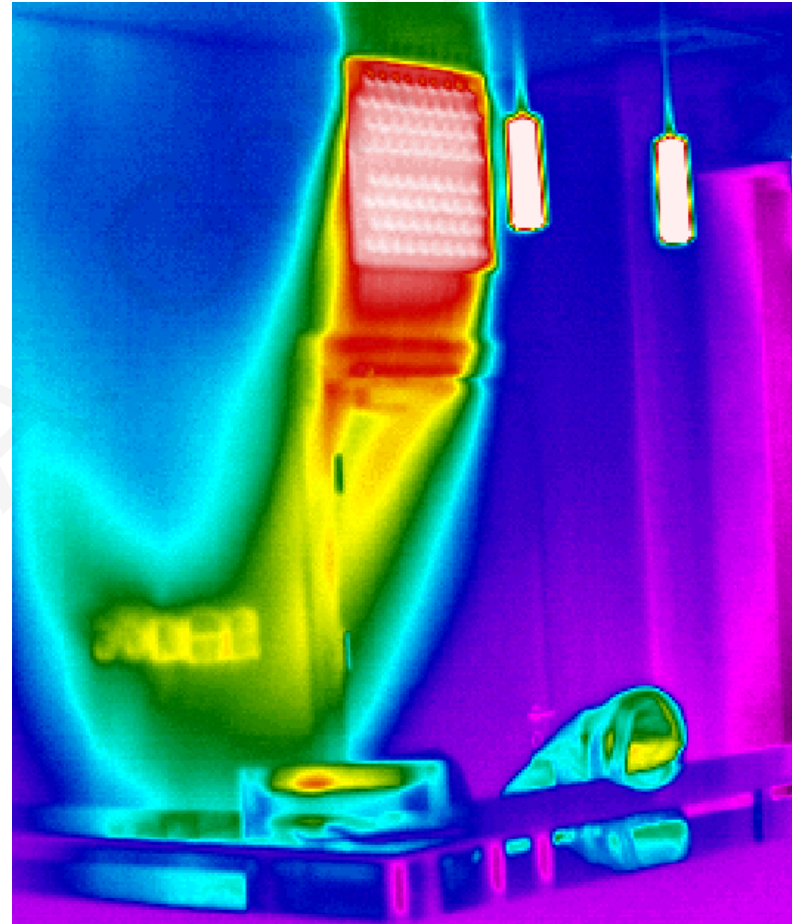
# Przykłady



# Przykłady



# Termografia – sprawdzanie pracy wentylacji



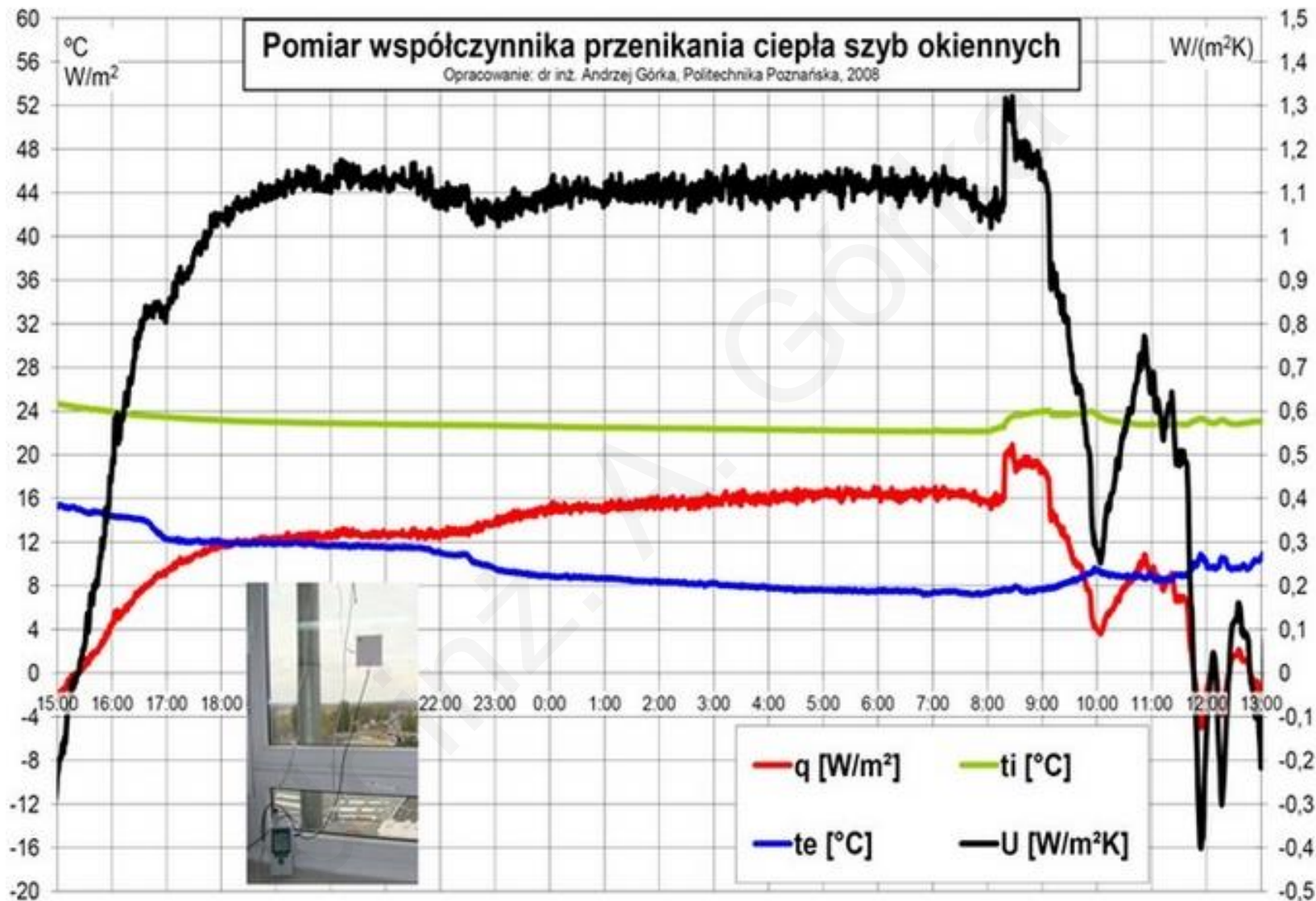
# Ocena ilościowa

pomiar wartości liczbowej  
współczynnika przenikania ciepła  $U$  na przegród



# Pomiar współczynnika przenikania ciepła U







# Pomiar jakości środowiska wewnętrznego w budynku



## **PN-EN 15251:2012P** Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego dotyczące projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków, obejmujące jakość powietrza wewnętrznego, środowisko cieplne, oświetlenie i akustykę

Zakres normy: W niniejszej Normie Europejskiej określono parametry środowiska wewnętrznego, które wywierają wpływ na charakterystykę energetyczną budynków. W normie podano, jak ustala się wejściowe parametry środowiska wewnętrznego do projektowania systemów w budynku i obliczania charakterystyki energetycznej. W normie określono metody długoterminowej oceny środowiska wewnętrznego, uzyskanej w wyniku obliczeń lub pomiarów. W normie określono kryteria pomiarów, które należy stosować, jeśli wymagane jest pomiarowe sprawdzenie zgodności. W normie podano parametry, które należy stosować do monitorowania i eksponowania środowiska wewnętrznego w istniejących budynkach. Normę stosuje się głównie do budynków nieprzemysłowych, w których kryteria środowiska wewnętrznego ustala się na podstawie warunków przebywania ludzi oraz w których produkcja lub proces nie wywiera istotnego wpływu na środowisko wewnętrzne. Normę tę stosuje się więc do takich typów budynków, jak: budynki jednorodzinne, budynki wielorodzinne, biura, budynki szkolne, szpitale, hotele i restauracje, obiekty sportowe, budynki handlu hurtowego i detalicznego. W normie podano, w jaki sposób można stosować różne kategorie kryteriów środowiska wewnętrznego, nie wymaga jednak stosowania określonych kryteriów. Jest to zależne od krajowych przepisów lub poszczególnych specyfikacji projektowych. Kryteria zalecane w niniejszej normie można stosować także w krajowych metodach obliczeń, które mogą się różnić od metod opisanych tutaj. W normie nie zalecono metod projektowania, lecz podano parametry wejściowe do projektowania budynków oraz systemów ogrzewania, chłodzenia, wentylacji i oświetlenia. W normie nie zamieszczono kryteriów dotyczących czynników dyskomfortu miejscowego, takich jak przeciąg, asymetria temperatury promieniowania, pionowa różnica temperatury powietrza i temperatura powierzchni podłogi.

# Pomiary środowiska cieplnego dla PN-EN 15251

- Kategorię pomieszczenia ocenia się na podstawie czasowego lub przestrzennego rozkładu temperatury w pomieszczeniu
- Długość pomiaru – np. 10 dni
- W większych budynkach – pomiar 5-10% reprezentatywnych pomieszczeń
- Dopuszcza się limitowane w czasie odchyłki od wymagań
- Punkty pomiarowe i przyrządy wg PN-EN ISO 7726 (PN-EN 12599)

# Pomiar parametrów komfortu cieplnego



# Systemy BMS

jako narzędzie dla  
długoterminowej analizy funkcjonowania budynku

# Dlaczego BMS?

Dostarcza informacji o działaniu, konserwacji, obsłudze i zarządzaniu budynkiem w odniesieniu do zarządzania energią:

- pomiary,
- określanie harmonogramów,
- rejestracja trendów,
- możliwość alarmowania oraz
- diagnozy niepotrzebnego zużycia energii.







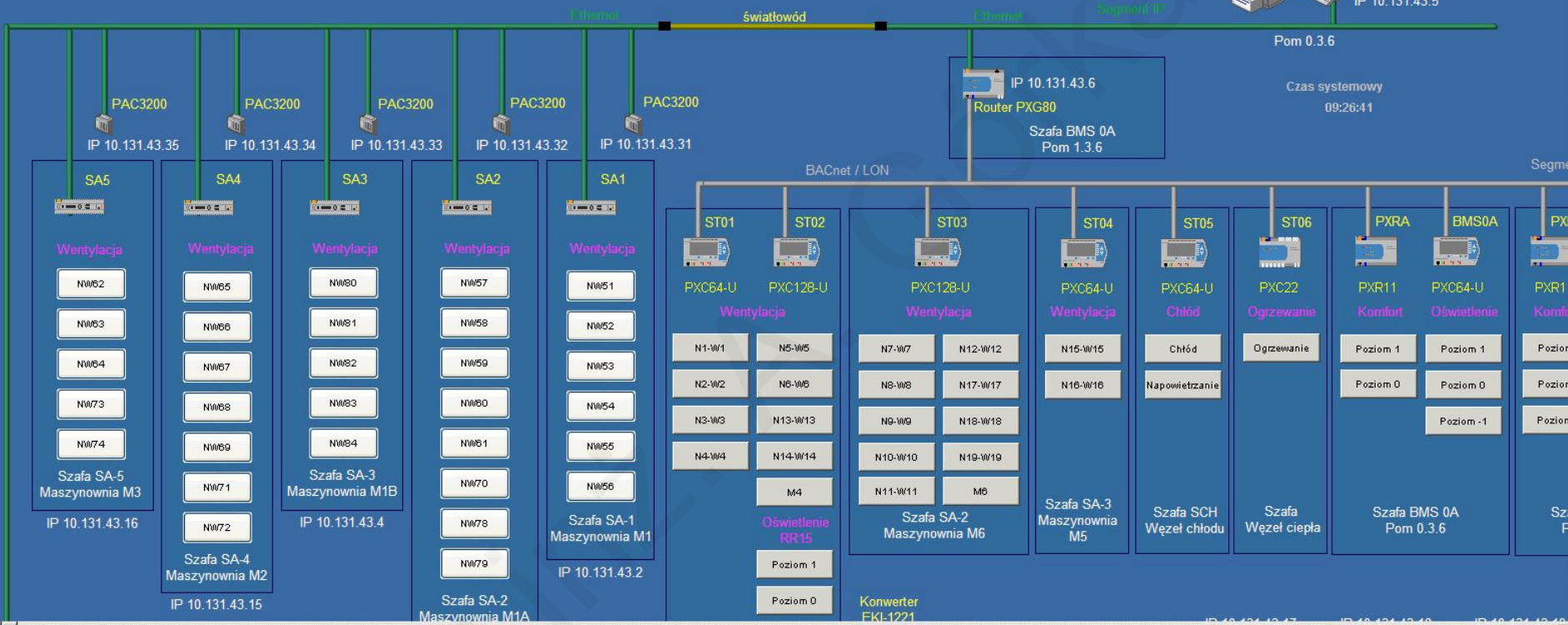


# Topologia systemu

Stacja BMS  
Designo Insight



-3.8 °C

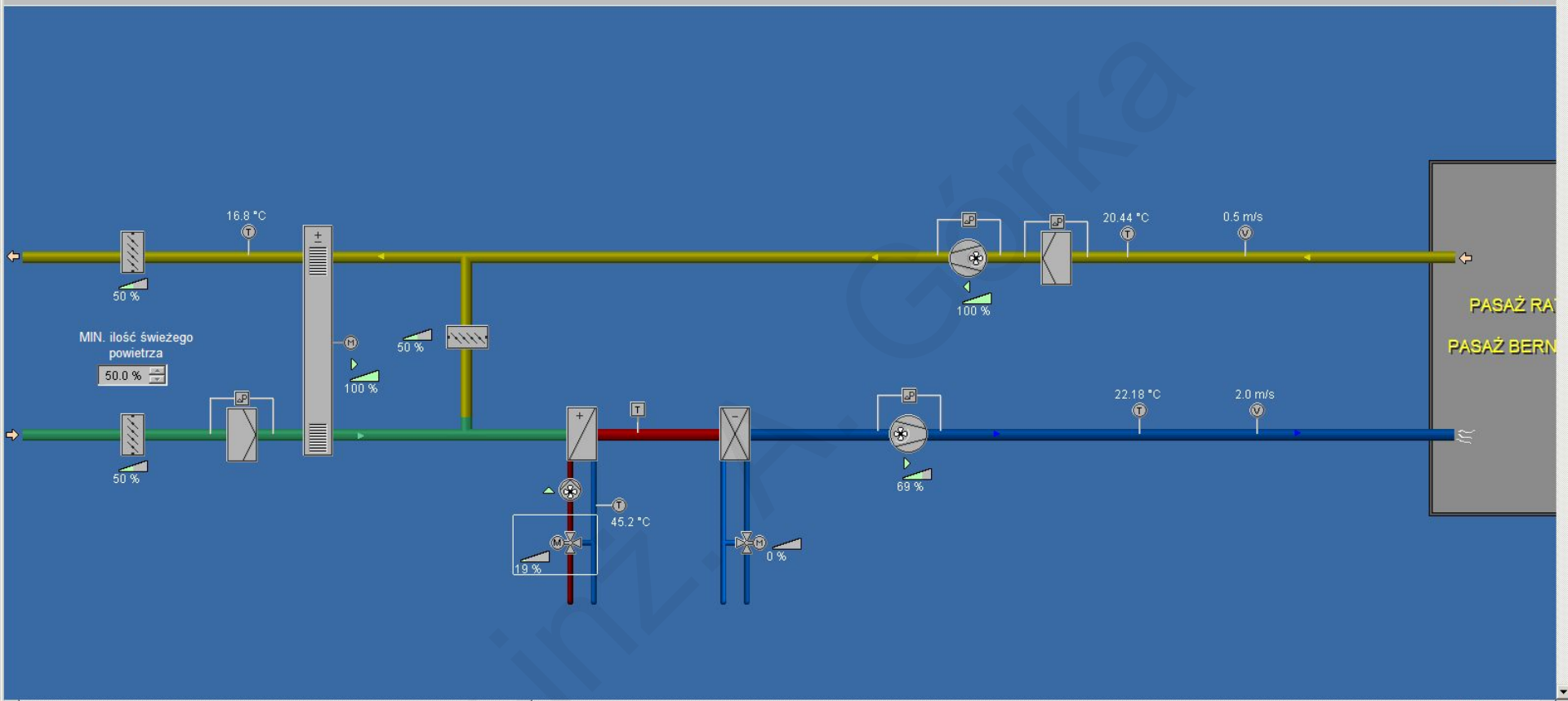






# CENTRALA NW62

Bibli  
Polite



# Szczelność powietrzna budynków

współpraca:

dr R. Górzeński, dr. M. Szymański



# Szczelność powietrzna budynków

1. Przepływ powietrza w budynku
2. Wpływ nieszczelności powietrznych na budynek
3. Elementy budynku wpływające na jego szczelność powietrzną
4. Metody pomiaru szczelności powietrznej budynków
5. Wskaźniki charakteryzujące szczelność powietrzną budynku
6. Wymagania w zakresie szczelności powietrznej budynków
7. Przykłady pomiarów szczelności powietrznej małych i dużych budynków
8. Podsumowanie i wnioski



# Szczelność powietrzna budynków

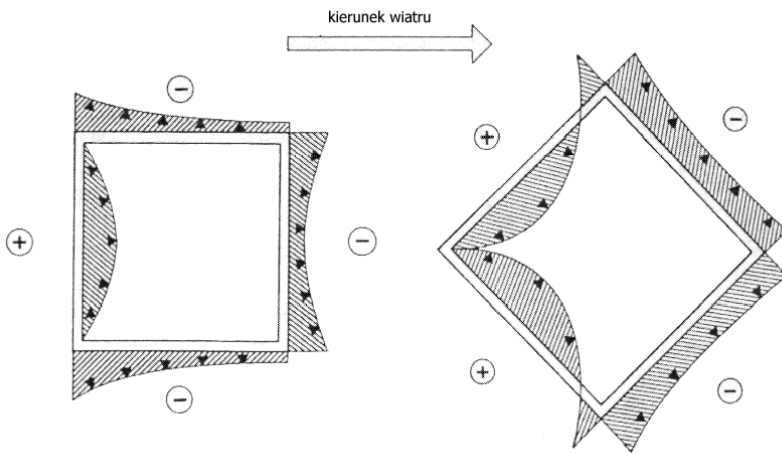
1. Przepływ powietrza w budynku
2. Wpływ nieszczelności powietrznych na budynek
3. Elementy budynku wpływające na jego szczelność powietrzną
4. Metody pomiaru szczelności powietrznej budynków
5. Wskaźniki charakteryzujące szczelność powietrzną budynku
6. Wymagania w zakresie szczelności powietrznej budynków
7. Przykłady pomiarów szczelności powietrznej małych i dużych budynków
8. Wnioski

# Przepływ powietrza w budynku

- Jest wymuszany przez różnicę ciśnień powietrza
- Różnica ciśnień powstaje na skutek:
  - Naporu wiatru
  - Wyporu termicznego
  - Pracy wentylatorów
- Przepływ powietrza jest laminarny lub turbulentny, w zależności od rodzajów otworów/nieszczelności

# Czynniki wywołujące przepływ powietrza w budynku:

## Napór wiatru



$$\Delta p_w = C \frac{w^2 \rho_e}{2}$$

33 km/h  $\Rightarrow$  50 Pa

104 km/h  $\Rightarrow$  500 Pa



Część fasady	Osłonięcie od wiatru	Współczynnik aerodynamiczny $C_p$ (bezwymiarowy)				
		Strona nawietrzna $C_{p1}$	Strona zawietrzna $C_{p2}$	Dach (w zależności od kąta pochylenia) $C_{p3}$		
				< 10°	10° do 30°	> 30°
niska	Otwarte	+ 0,50	- 0,70	- 0,70	- 0,60	- 0,20
	Normalne	+ 0,25	- 0,50	- 0,60	- 0,50	- 0,20
	Osłonięte	+ 0,05	- 0,30	- 0,50	- 0,40	- 0,20
średkowa	Otwarte	+ 0,65	- 0,70	- 0,70	- 0,60	- 0,20
	Normalne	+ 0,45	- 0,50	- 0,60	- 0,50	- 0,20
	Osłonięte	+ 0,25	- 0,30	- 0,50	- 0,40	- 0,20
wysoka	Otwarte	+ 0,80	- 0,70	- 0,70	- 0,60	- 0,20

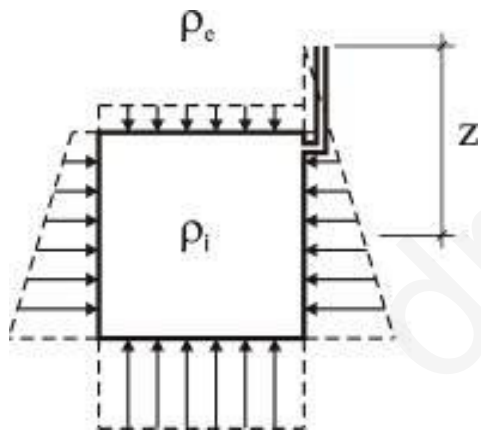
# Czynniki wywołujące przepływ powietrza w budynku:

## Wypór termiczny

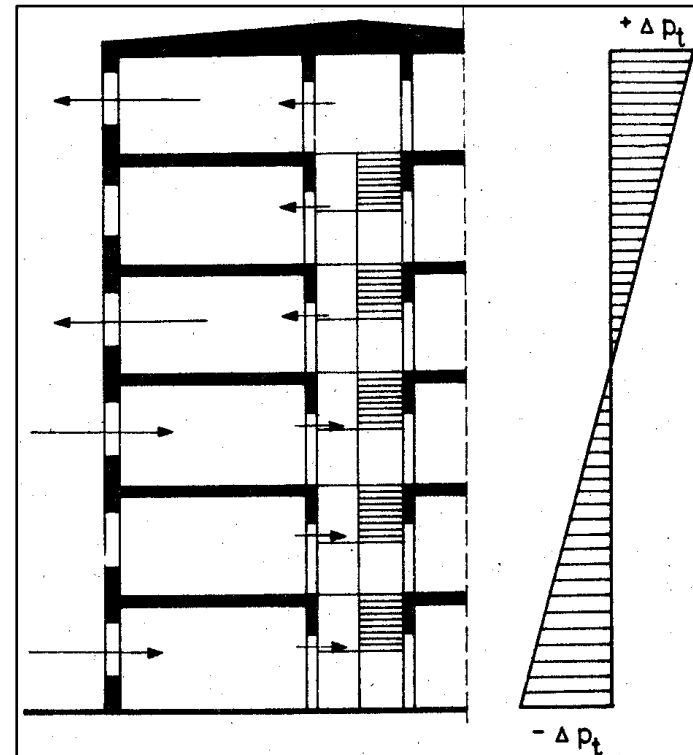
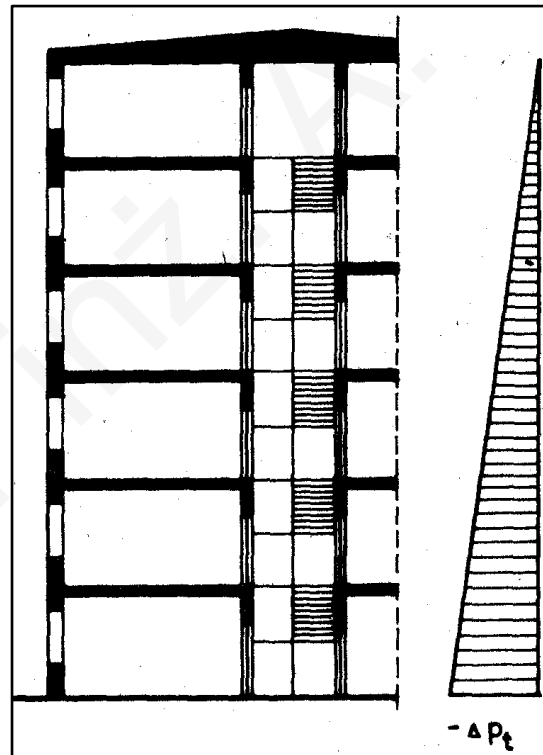
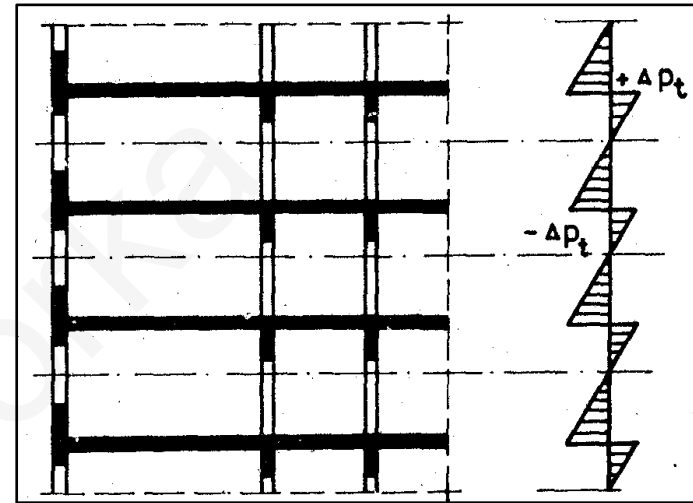
$$\Delta H = 50\text{m}$$

$$\Delta t = 30^\circ\text{C}$$

$$\Delta p = 66\text{Pa}$$



$$\Delta p_s = (\rho_e - \rho_i) \cdot z \cdot g$$



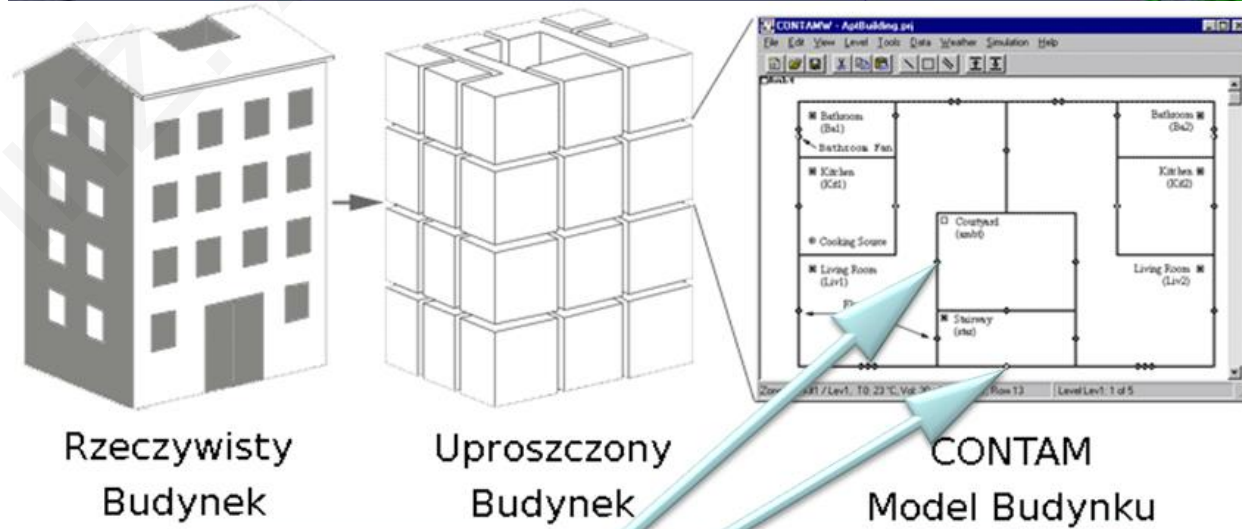
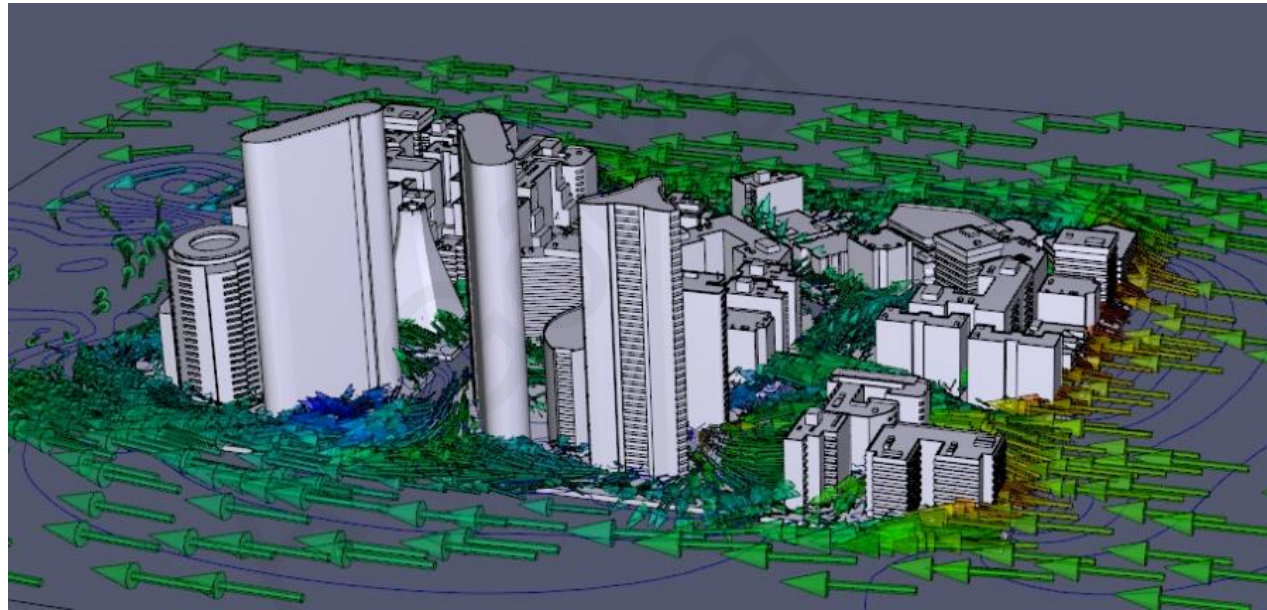


# Ocena infiltracji powietrza w budynku

1. Prosty wzór empiryczny

$$n_{inf} = n_{50}/20$$

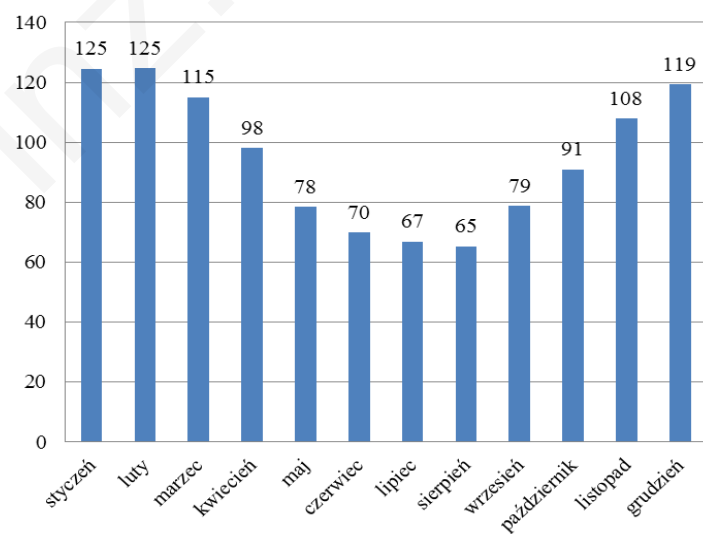
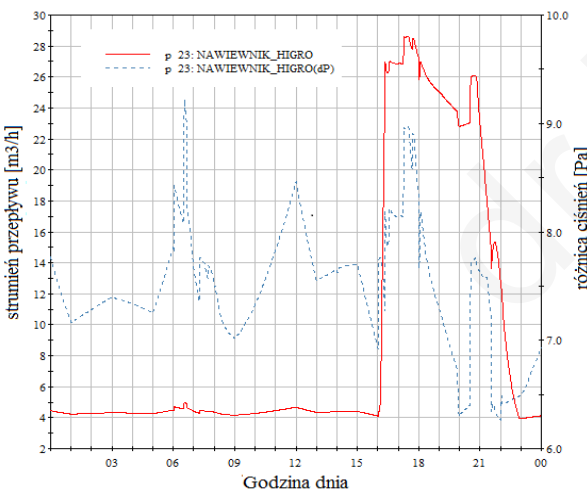
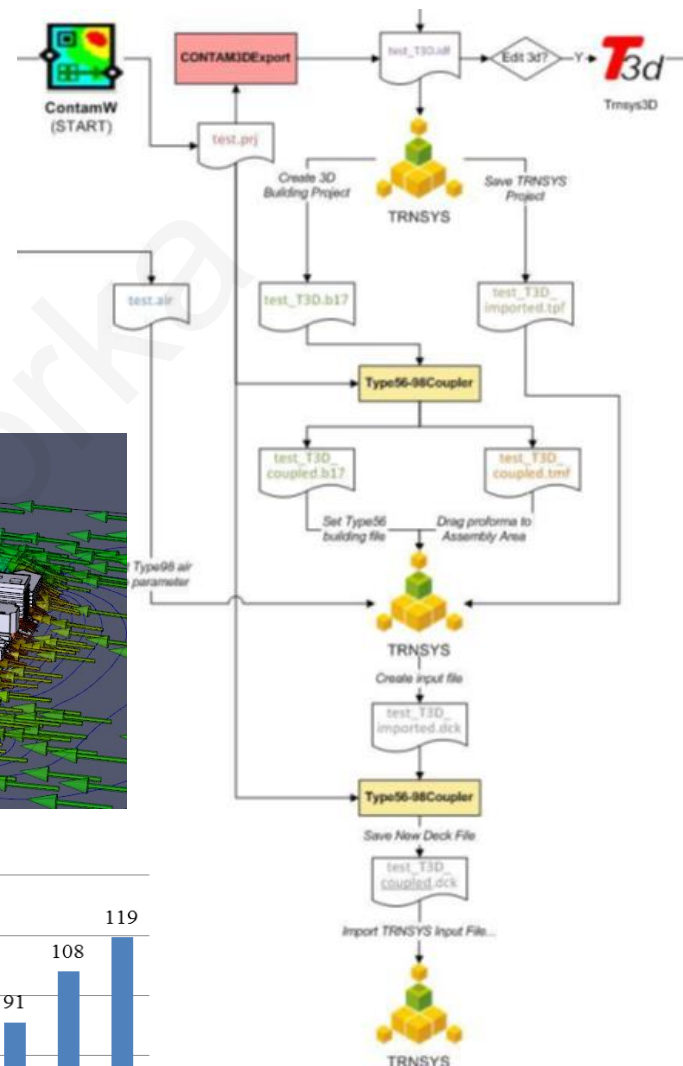
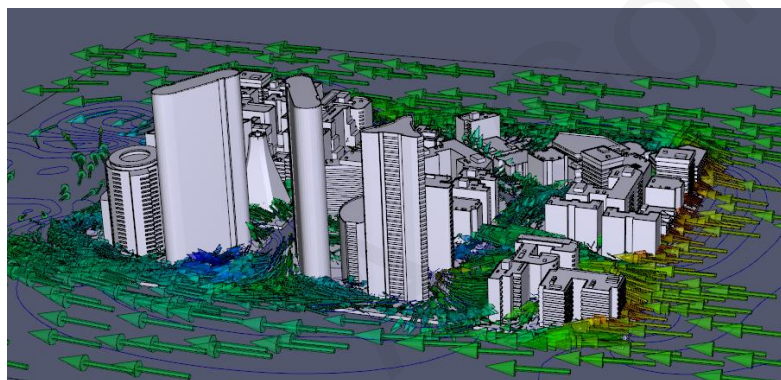
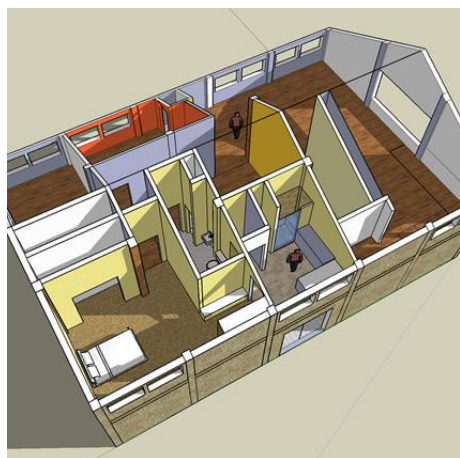
2. Model wielostrefowy  
- szczegółowe obliczenia dla poszczególnych pomieszczeń



Szczegółowy opis każdej nieszczelności



# Całoroczna symulacja przepływu ciepła i powietrza w budynku: TRNSYS + Contam



# Szczelność powietrzna budynków

1. Przepływ powietrza w budynku
- 2. Wpływ nieszczelności powietrznych na budynek**
3. Elementy budynku wpływające na jego szczelność powietrzną
4. Metody pomiaru szczelności powietrznej budynków
5. Wskaźniki charakteryzujące szczelność powietrzną budynku
6. Wymagania w zakresie szczelności powietrznej budynków
7. Przykłady pomiarów szczelności powietrznej małych i dużych budynków
8. Wnioski

# Wpływ nieszczelności powietrznych na budynek

Niekontrolowany przepływ powietrza przez budynek:

- Zwiększone zapotrzebowanie ciepła i chłodu
- Szkody budowlane
- Niższy komfort klimatyczny:
  - komfort cieplny
  - komfort akustyczny
  - jakość powietrza

# Równoważna energetycznie wymiana powietrza

$$Q_{\text{Hnd}} = f(n_e, \Delta T, \text{czas})$$

$$n_e = n_v + n_{\text{inf}}$$

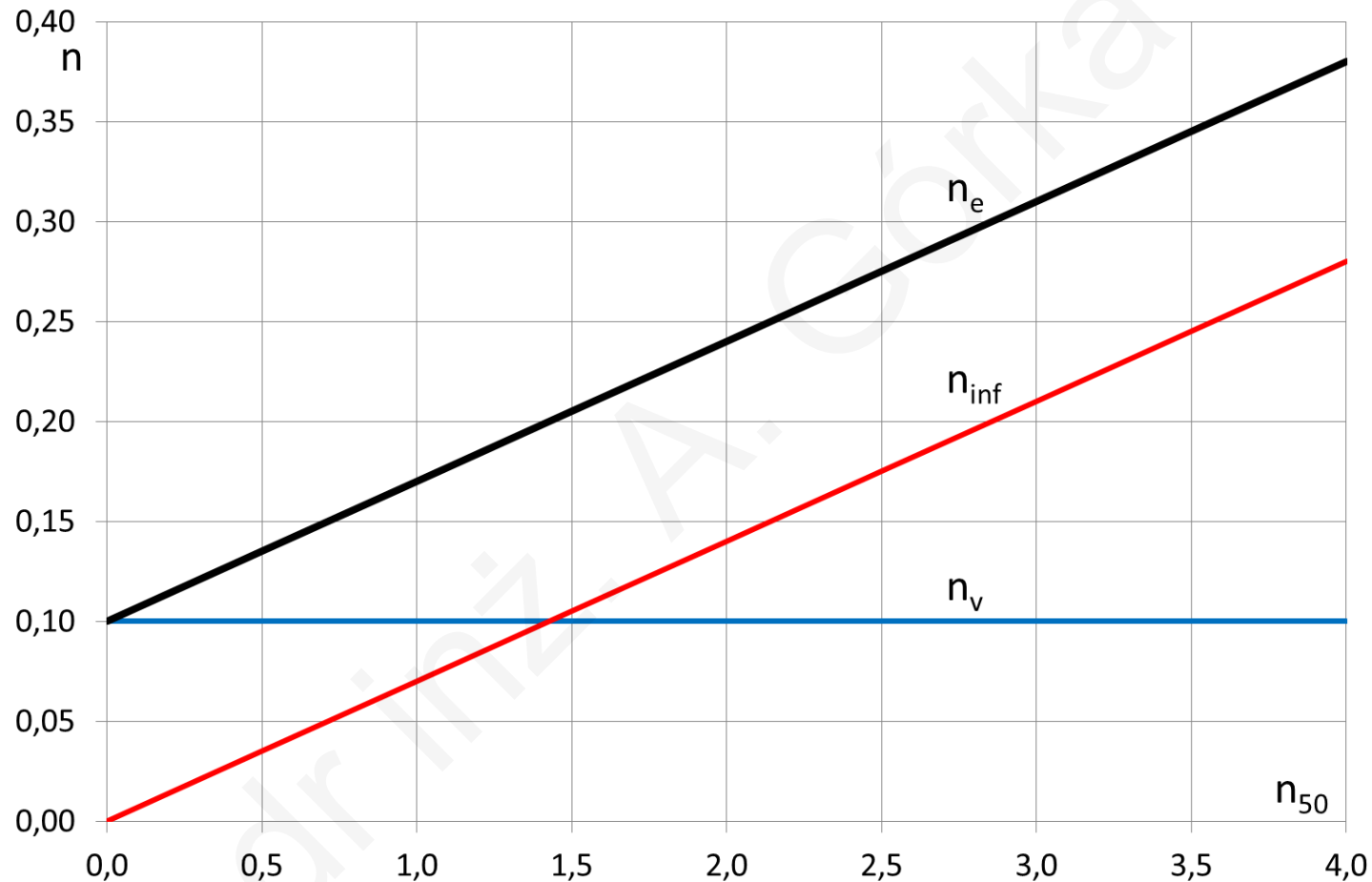
- Część wynikająca z pracy instalacji wentylacyjnej z odzyskiem ciepła

$$n_v = n_f \cdot (1 - \eta_{oc})$$

- Część wynikająca z infiltracji przez nieszczelności obudowy budynku

$$n_{\text{inf}} = n_{50}/N$$

# Składniki równowaznej energetycznie wymiany powietrza



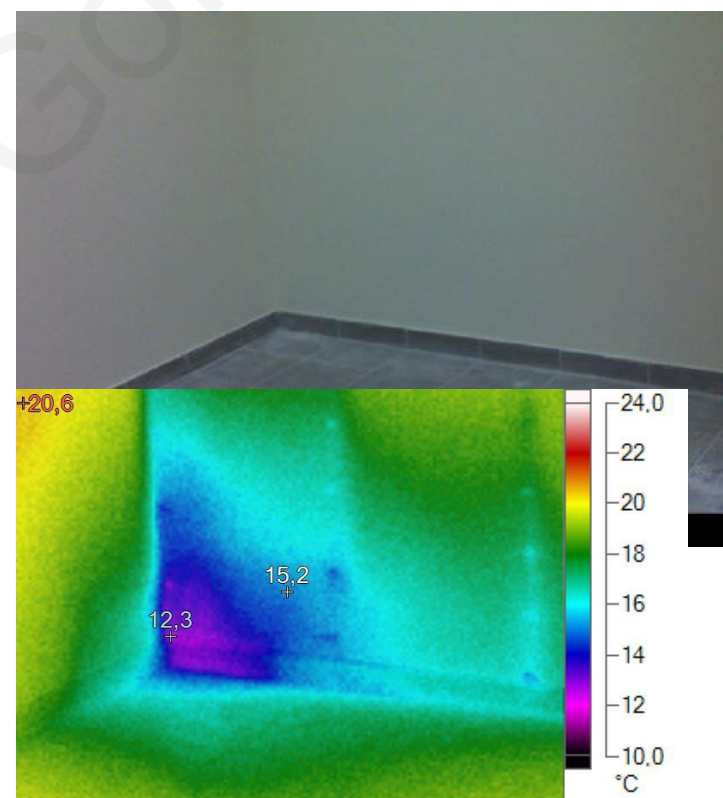
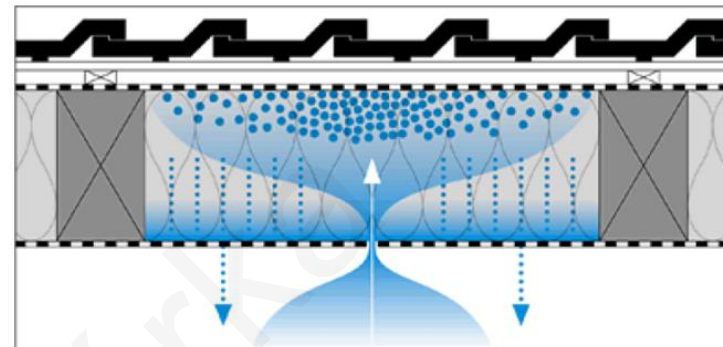
# Szkody budowlane

- **Eksfiltracja:**

Ciepłe powietrze podczas przenikania przez przegrody z budynku na zewnątrz osiąga temperaturę punktu rosy. Wykraplająca się woda prowadzi często do trwałego zawilgocenia przegród.

- **Infiltracja**

Zimne powietrze podczas przenikania z zewnątrz do budynku wychładza przegrody, co może prowadzić do kondensacji pary wodnej na wewnętrznych powierzchniach tych przegród.



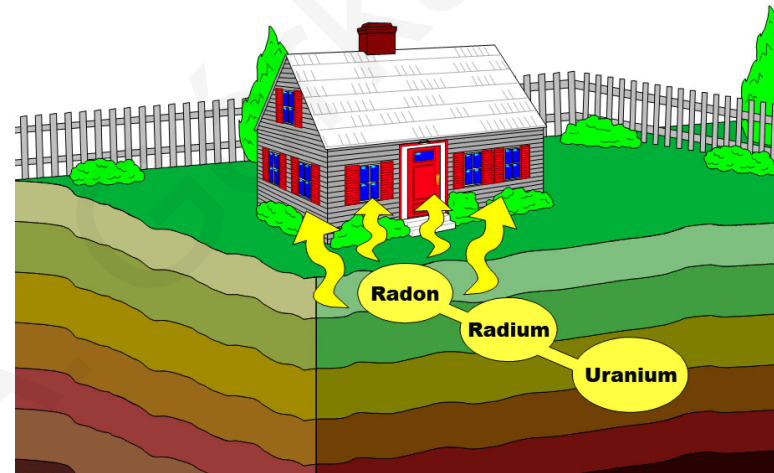
# Komfort klimatyczny

- Nietrzywanie parametrów termicznych w pomieszczeniach — obniżenie klasy środowiska wewnętrznego w pomieszczeniu
- Zwiększenie pionowego gradientu temperatury powietrza
- Odczucie przeciągu
- Nieprawidłowo działająca wentylacja naturalna/hybrydowa
- Zmniejszenie izolacyjności akustycznej przegród



# Niekontrolowany przepływ zanieczyszczeń

- Przedostawanie się radonu do budynku
- Napływ zanieczyszczonego powietrza w miastach
- Przepływ zanieczyszczonego powietrza z garażu do części mieszkalnej budynku



# Szczelność powietrzna budynków

1. Przepływ powietrza w budynku
2. Wpływ nieszczelności powietrznych na budynek
3. **Elementy budynku wpływające na jego szczelność powietrzną**
4. Metody pomiaru szczelności powietrznej budynków
5. Wskaźniki charakteryzujące szczelność powietrzną budynku
6. Wymagania w zakresie szczelności powietrznej budynków
7. Przykłady pomiarów szczelności powietrznej małych i dużych budynków
8. Wnioski

# Wpływ elementów budynku na jego szczelność powietrzną

- Wpływ zasad projektowania
- Wpływ elementów obudowy: okna, połączenia przegród
- Wpływ instalacji — przejścia przez obudowę i wewnętrzne zamknięcia
- Wpływ jakości wykonania na szczelność powietrzną budynku

# Elementy powłoki budynku o określonej szczelności/przepuszczalności powietrznej

- **Okna i drzwi**

PN-EN 12207:2001 Okna i drzwi - Przepuszczalność powietrza — Klasyfikacja

- **Bramy**

PN-EN 12426:2002 Bramy - Przepuszczalność powietrza — Klasyfikacja

- **Ściany osłonowe**

PN-EN 12152:2004 Ściany osłonowe - Przepuszczalność powietrza - Wymagania eksploatacyjne i klasyfikacja

- **Komponenty budowlane**

PN-EN 12114:2003 Właściwości cieplne budynków - Przepuszczalność powietrza komponentów budowlanych i elementów budynków — Laboratoryjna metoda badania

# Przepuszczalność powietrzna okien

Przepuszczalność powietrza w stosunku do długości linii stykowej i powierzchni całkowitej przy 100 Pa i maksymalne ciśnienia próbne dla klas 1 - 4

Klasa	Przepuszczalność powietrzaw stosunku do linii stykowej przy 100 Pa ( $m^3/m \cdot h$ )	Przepuszczalność powietrzaw stosunku do powierzchni całkowitej przy 100 Pa ( $m^3/m^2 \cdot h$ )	Maksymalne ciśnienie próbne (Pa)
I	II	III	IV
1	12,50	50	150
2	6,75	27	300
3	2,25	9	600
4	0,75	3	600



# Połączenia przegród, wpływ jakości wykonania na szczelność



# Zapewnienie szczelności powietrznej na połączeniach komponentów





# Wpływ instalacji budowlanych na szczelność powietrzną budynku

- Szczelność przepustnic wentylacyjnych
- Przejścia przewodów przez osłonę budynku



# Szczelne przejścia instalacyjne



# Szczelność powietrzna budynków

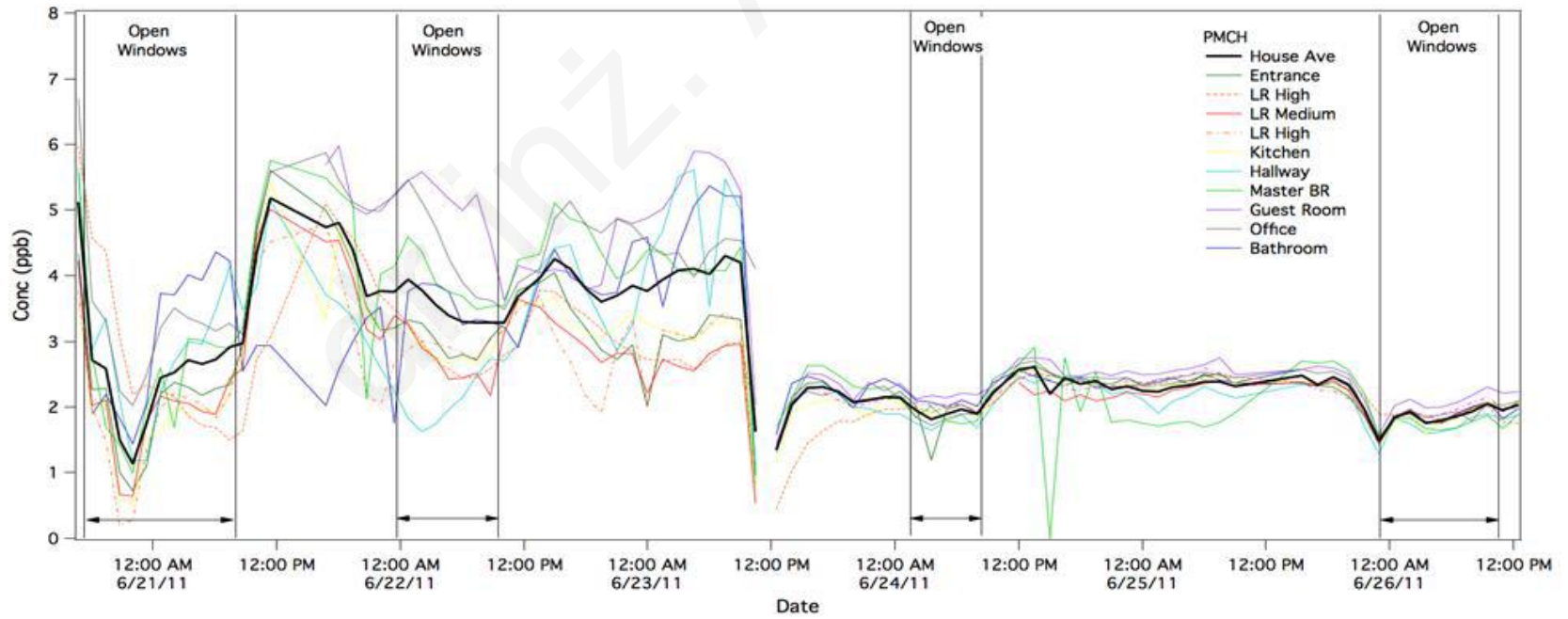
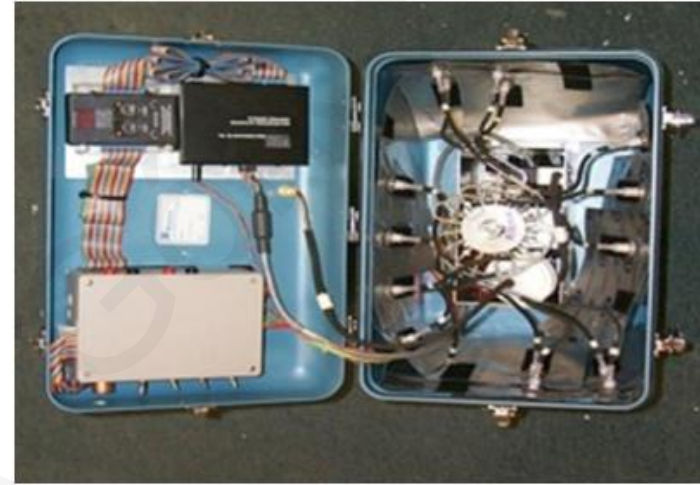
1. Przepływ powietrza w budynku
2. Wpływ nieszczelności powietrznych na budynek
3. Elementy budynku wpływające na jego szczelność powietrzną
- 4. Metody pomiaru szczelności powietrznej budynków**
5. Wskaźniki charakteryzujące szczelność powietrzną budynku
6. Wymagania w zakresie szczelności powietrznej budynków
7. Przykłady pomiarów szczelności powietrznej małych i dużych budynków
8. Wnioski



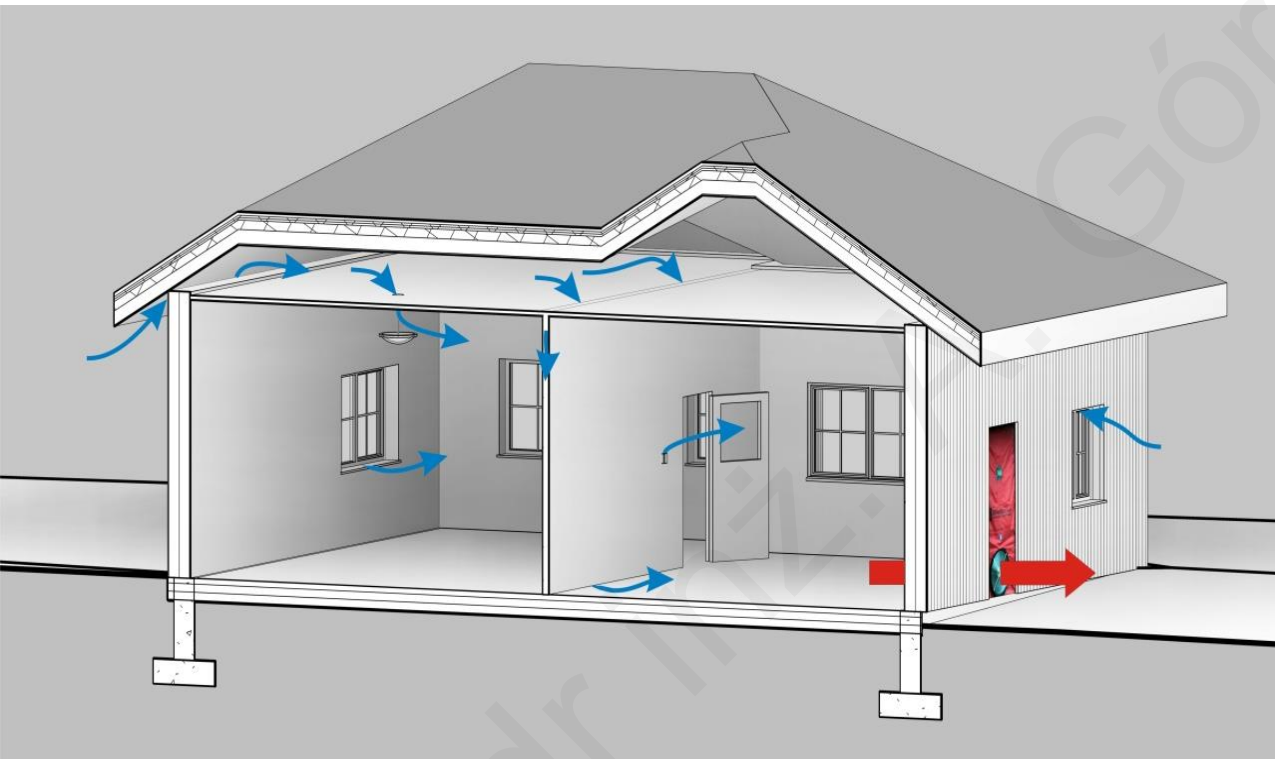
# Metody pomiaru szczelności powietrznej

- Gaz znacznikowy
- Wentylatory pomiarowe małe
- Wentylatory pomiarowe duże
- Zabudowane instalacje wentylacyjne
- Inne metody

# Gaz znacznikowy np. SF<sub>6</sub>



# Pomiar ciśnieniowy z użyciem wentylatora

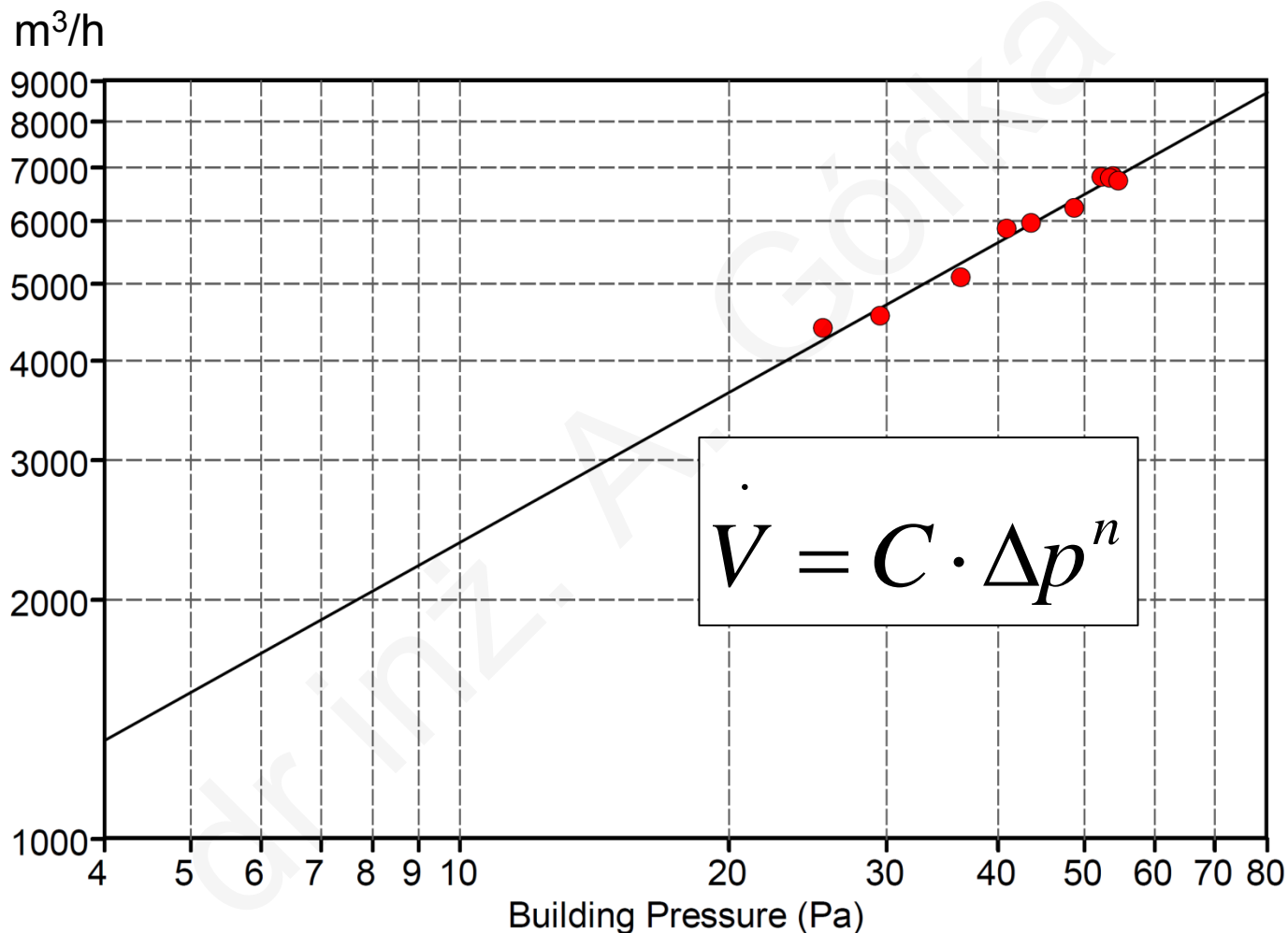


PN-EN 13829 Właściwości cieplne budynków — Określanie przepuszczalności powietrznej budynków — Metoda pomiaru ciśnieniowego z użyciem wentylatora

# Metody pomiaru A i B

- Pomiar metodą A — badanie użytkowanego budynku  
Odpowiada stanowi budynku w trakcie jego eksploatacji
- Pomiar metodą B — badanie powłoki budynku  
Zamknąć wszystkie nastawne otwory w obudowie budynku,  
zaślepić wszystkie pozostałe celowo wykonane otwory

# Wyniki ciśnieniowego pomiaru szczelności

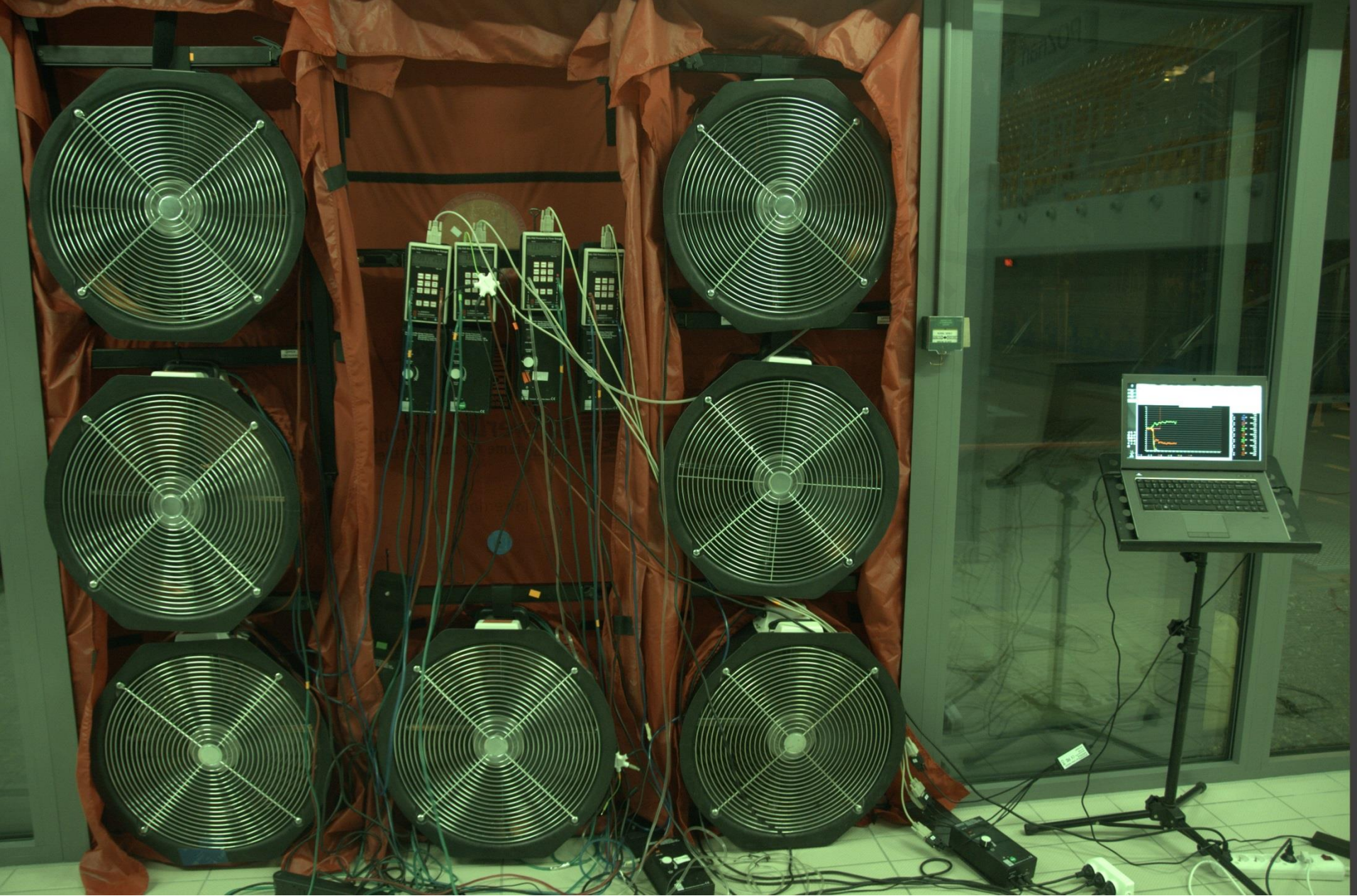




# Duże budynki









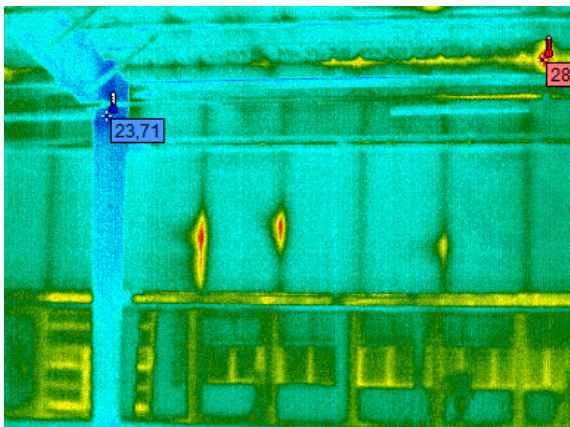
# Przeprowadzenie pomiaru dużego budynku

- Uzgodnienie terminu pomiaru
- Przygotowanie budynku
- Przeprowadzenie pomiaru wartości  $n_{50}$
- Detekcja nieszczelności

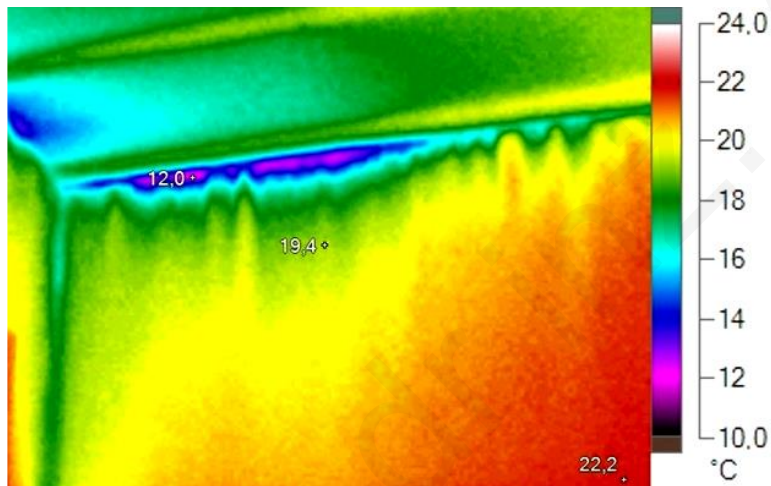
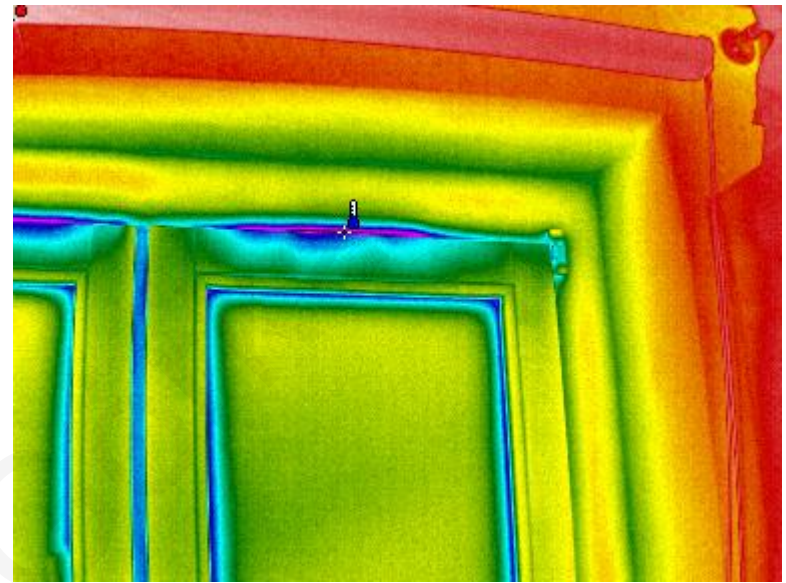
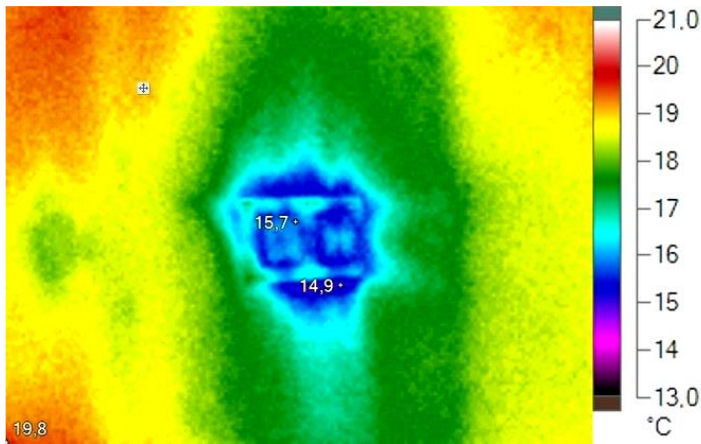


# Metody detekcji nieszczelności

- Kamera termowizyjna
- Wytwornica dymu
- Termoanemometr



# 3 przykłady nieszczelności



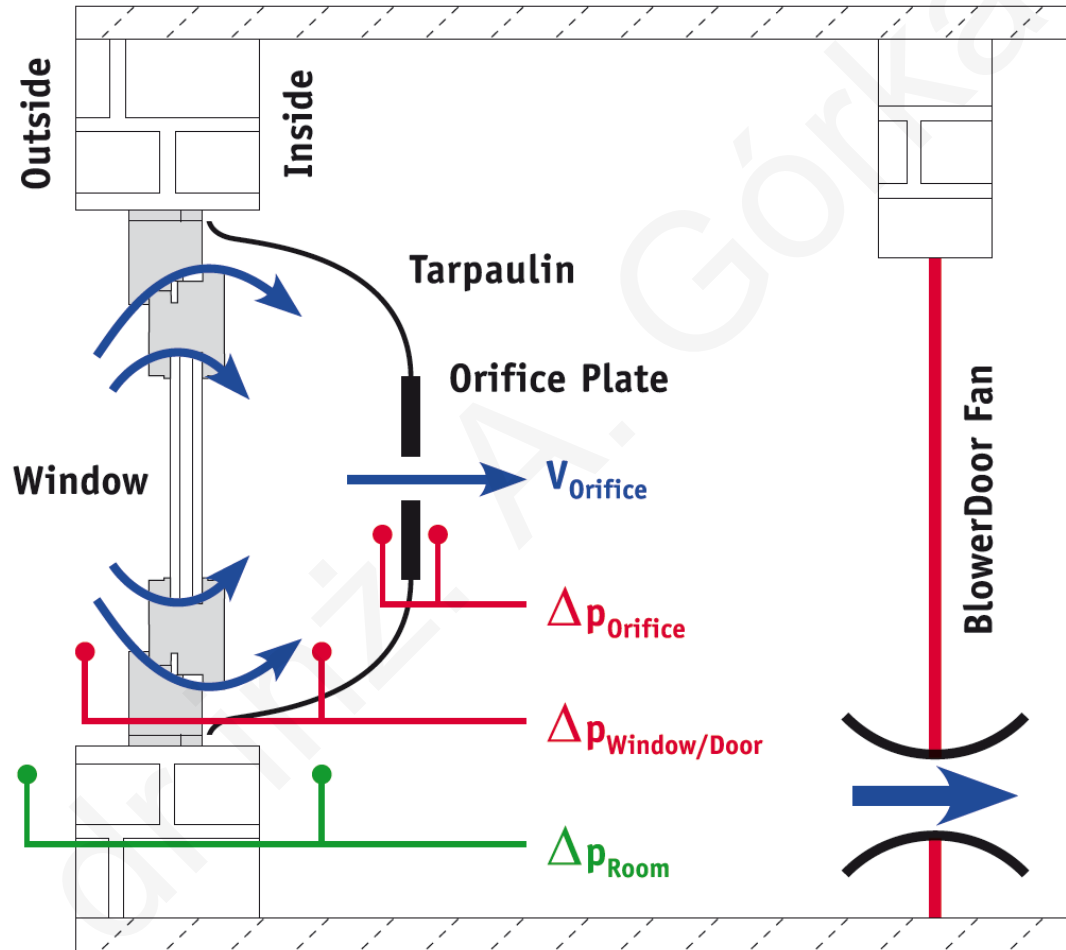
## Szczelne gniazdo elektryczne

A diagram and a photograph of an airtight electrical outlet. The diagram shows a cross-section of a wall with insulation (wavy lines) and a window frame. An electrical outlet is shown with arrows indicating air leakage from the wall. The dimensions 2, 25, 30, and 1 are marked at the bottom. The photograph shows a physical orange electrical outlet with a grey cable plugged in.

W celu osiągnięcia w budynku pasywnym możliwie najwyższej szczelności powietrznej montowane są specjalne powietrznoszczelne gniazda wtykowe.



# Pomiar szczelności powietrznej okien, drzwi i fragmentów elewacji





# Szczelność powietrzna budynków

1. Przepływ powietrza w budynku
2. Wpływ nieszczelności powietrznych na budynek
3. Elementy budynku wpływające na jego szczelność powietrzną
4. Metody pomiaru szczelności powietrznej budynków
5. **Wskaźniki charakteryzujące szczelność powietrzną budynku**
6. Wymagania w zakresie szczelności powietrznej budynków
7. Przykłady pomiarów szczelności powietrznej małych i dużych budynków
8. Wnioski



# Wskaźniki szczelności powietrznej budynku

- $V_{50}$   $[m^3/h]$
- $n_{50} = V_{50}/V_i$   $[m^3/h / m^3] = [h^{-1}]$
- $q_{50} = V_{50}/A_e$   $[m^3/h / m^2]$
- $w_{50} = V_{50}/A_f$   $[m^3/h / m^2]$

$$n_{50} \rightarrow q_{50}$$

# Szczelność powietrzna budynków

1. Przepływ powietrza w budynku
2. Wpływ nieszczelności powietrznych na budynek
3. Elementy budynku wpływające na jego szczelność powietrzną
4. Metody pomiaru szczelności powietrznej budynków
5. Wskaźniki charakteryzujące szczelność powietrzną budynku
- 6. Wymagania w zakresie szczelności powietrznej budynków**
7. Przykłady pomiarów szczelności powietrznej małych i dużych budynków
8. Wnioski

# Warunki techniczne...

(Rozp. Min. ds. budownictwa)

## 2.3. Szczelność na przenikanie powietrza

2.3.1. W budynku mieszkalnym, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej i produkcyjnym przegrody zewnętrzne nieprzezroczyste, złącza między przegrodami i częściami przegród (między innymi połączenie stropodachów lub dachów ze ścianami zewnętrznymi), przejścia elementów instalacji (takie jak kanały instalacji wentylacyjnej i spalinowej przez przegrody zewnętrzne) oraz połączenia okien z ościeżami, należy projektować i wykonywać pod kątem osiągnięcia ich całkowitej szczelności na przenikanie powietrza.

2.3.2. W budynkach niskich, średniowysokich i wysokich, przepuszczalność powietrza dla okien i drzwi balkonowych przy ciśnieniu równym 100 Pa wynosi nie więcej niż  $2,25 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{h})$  w odniesieniu do długości linii stykowej lub  $9 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  w odniesieniu do pola powierzchni, co odpowiada klasie 3 Polskiej Normy dotyczącej przepuszczalności powietrza okien i drzwi. Dla okien i drzwi balkonowych w budynkach wysokościowych przepuszczalność powietrza przy ciśnieniu równym 100 Pa wynosi nie więcej niż  $0,75 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{h})$  w odniesieniu do długości linii stykowej lub  $3 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  w odniesieniu do pola powierzchni, co odpowiada klasie 4 Polskiej Normy dotyczącej przepuszczalności powietrza okien i drzwi.

# Warunki techniczne dla budynków

2.3.3. **Zalecana** szczelność powietrzna budynków wynosi:

- 1) w budynkach z wentylacją grawitacyjną lub hybrydową -  $n_{50} < 3,0$  l/h;
- 2) w budynkach z wentylacją mechaniczną lub klimatyzacją -  $n_{50} < 1,5$  l/h.

2.3.4. Zalecane jest, by po zakończeniu budowy budynek mieszkalny, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej i produkcyjny został poddany próbie szczelności przeprowadzonej zgodnie z Polską Normą dotyczącą określania przepuszczalności powietrznej budynków w celu uzyskania zalecanej szczelności budynków określonej w pkt 2.3.3.

# Inne wartości graniczne

Budynki pasywne:

$$n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$$

Budynki w standardzie NF15:

$$n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$$

Budynki w standardzie NF40:

$$n_{50} \leq 1,0 \text{ h}^{-1}$$

Wymagania inwestorów:

$$n_{50} \leq 0,6 \dots 1,5 \text{ h}^{-1}$$



# Szczelność powietrzna budynków

1. Przepływ powietrza w budynku
2. Wpływ nieszczelności powietrznych na budynek
3. Elementy budynku wpływające na jego szczelność powietrzną
4. Metody pomiaru szczelności powietrznej budynków
5. Wskaźniki charakteryzujące szczelność powietrzną budynku
6. Wymagania w zakresie szczelności powietrznej budynków
7. Przykłady pomiarów szczelności powietrznej małych i dużych budynków
8. Wnioski

# Domy jednorodzinne, małe budynki



# Budynki wielorodzinne - przykłady

- 47 mieszkań, wentylacja naturalna
- 107 mieszkań, wentylacja mechaniczna





# Duże, skomplikowane budynki

CDWTCh PP Poznań



$A_f = 20.100 \text{ m}^2$   
 $V_f = 57.600 \text{ m}^3$   
 $n_{50} = 1,00 \text{ h}^{-1}$

Poznań – Termy Maltańskie



$A_f = 20.000 \text{ m}^2$   
 $V_f = 220.000 \text{ m}^3$   
 $n_{50} = 0,70 \text{ h}^{-1}$

CMBiN PP Poznań



$A_f = 14.000 \text{ m}^2$   
 $V_f = 50.700 \text{ m}^3$   
 $n_{50} = 0,30 \text{ h}^{-1}$

Kościół Nowy Targ



$V_f = 10.700 \text{ m}^3$   
 $n_{50} = 0,60 \text{ h}^{-1}$

AMI Mikstat



$A_f = 2.200 \text{ m}^2$   
 $V_f = 6.600 \text{ m}^3$   
 $n_{50} = 0,20 \text{ h}^{-1}$

# Ile kosztuje szczelność powietrzna budynku?

Przykład: pasywna hala sportowa — Słomniki  $n_{50} = 0,12 \text{ h}^{-1}$

## Kosztorys powykonawczy

Izolacje termiczne: + 6,5%

Okna: + 3%

Instalacje: + 2%

Szczelność powietrzna: +0,5%

Razem: +12%





# Szczelność powietrzna budynków

1. Przepływ powietrza w budynku
2. Wpływ nieszczelności powietrznych na budynek
3. Elementy budynku wpływające na jego szczelność powietrzną
4. Metody pomiaru szczelności powietrznej budynków
5. Wskaźniki charakteryzujące szczelność powietrzną budynku
6. Wymagania w zakresie szczelności powietrznej budynków
7. Przykłady pomiarów szczelności powietrznej małych i dużych budynków
8. Podsumowanie i wnioski

# Szczelność powietrzna - podsumowanie, wnioski 1/2

- Szczelność powietrzna w budownictwie nabiera coraz większej wagi.
- Dla uzyskania standardu budynku niskoenergetycznego konieczna jest kontrolowana szczelność powietrzna budynku.
- W budynkach z wentylacją mechaniczną z odzyskiem ciepła lub z klimatyzacją niezbędne jest projektowanie i staranne wykonanie warstwy zapewniającej szczelność powietrzną.
- W budynkach o lekkiej konstrukcji trudniej uzyskać szczelność powietrzną, a tam jest ona szczególnie ważna.

# Szczelność powietrzna - podsumowanie, wnioski 2/2

- Problem szczelności powietrznej budynków dotychczas nie jest doceniany w praktyce budowlanej, przebadano prawdopodobnie niewielki ułamek procenta nowych budynków w Polsce.
- Bardzo mała liczba publikacji na temat szczelności powietrznej budynków w polskich czasopismach.
- Wielkość  $q_{50}$  jest lepszym wyznacznikiem szczelności powietrznej, niż  $n_{50}$ .
- Jedyną wiarygodną metodą oceny jego szczelności powietrznej jest pomiar szczelności powietrznej wzniesionego budynku.

# Literatura

## Badanie szczelności powietrznej dużych budynków

Pomiar szczelności jest już obowiązkowy dla nowo budowanych budynków energooszczędnych i pasywnych, dla których inwestorzy starają się o dotację z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

dr inż. Andrzej Górka  
dr inż. Radosław Górzeński  
dr inż. Michał Szymański

W związku z dążeniem do wznoszenia w przyszłości budynków „niedługoenergetycznych” stosowanie badania szczelności w budownictwie będzie coraz szersze.

Badanie szczelności powietrznej budynku jest jednym z badań odbiorczych budynku, podobnie jak np. badanie termowizyjne. O ile jednak w badaniu termowizyjnym otrzymuje się jedynie wyniki jakościowe w postaci barwnych termogramów – o tyle w wyniku badania szczelności otrzymuje się konkretny wynik liczbowy, który można porównać z wartościami odniesienia. Wynik ten świadczy o jakości zaprojektowania i wykonania budynku; jest on też przydatny do precyzyjnego obliczenia przyszłego zużycia energii na cele ogrzewania i chłodzenia budynku. Dla budynków pasywnych oraz dla budynków energooszczędnych dotowanych przez NFOŚiGW [1] takie badanie jest obowiązkowe.



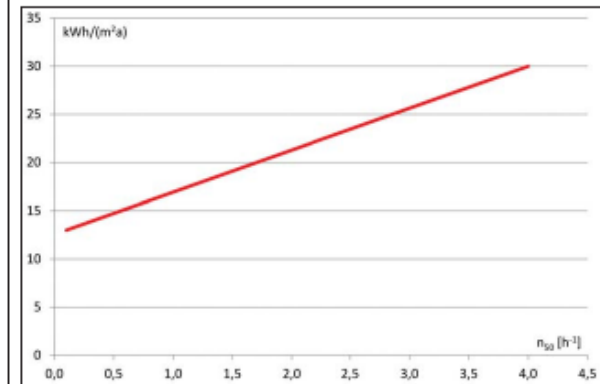
Rys. 1 Ciągłość izolacji cieplnej i powłoki szczelnej powietrznej (autor Mario Bodem)

### Po co budować szczelne budynki?

Budynek powinien mieć ciągłą izolację cieplną i powinien być szczelny powietrznie, aby nie dopuszczać do jego niepotrzebnego wychłodzenia zimą i przegrzewania latem.

Można jednak zapytać: po co budować szczelny budynek, skoro i tak trzeba umożliwić dopływ powietrza zewnętrznego, które jest konieczne użytkownikom do oddychania? Jeżeli w istniejącym budynku występuje wentylacja naturalna bez urządzeń regulacyjnych, to wystarczy dopilnować, by w budynku nie występowały wyraźne nieszczelności, a troszkę o zlikwidowanie mniejszych przecieków powietrza nie jest konieczne. Jednak gdy w bu-

dynku ilość powietrza wentylacyjnego może być regulowana, a szczególnie w wypadku gdy występuje wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła, to budynek powinien być szczelny, ponieważ w przeciwnym wypadku powietrze napływające i odpływające przez nieszczelności omija układ odzysku ciepła, przez co znacznie pogarsza wynikową sprawność odzysku ciepła w budynku. W nieszczelnych budynkach – szczególnie podczas silnych wiatrów – występują okresy, gdy przez budynek przepływa znacznie więcej powietrza niż potrzeba. Powyższe zjawiska uniemożliwiają osiągnięcie wysokich standardów energetycznych w nieszczelnych budynkach (rys. 2). Ponadto budynki, których przegrody



Rys. 2 Zapotrzebowanie energii użytkowej w przykładowym budynku pasywnym, w funkcji jego szczelności powietrznej  $n_{50}$  – obliczenia w programie PHPP [2], efektywność odzysku ciepła w centrali wentylacyjnej wynosi 92%



NR 02 (103) | LUTY

PL ISSN 1732-3428

MIESIĘCZNIK POLSKIEJ IZBY INŻYNIERÓW BUDOWNICTWA

# Dziękuję za uwagę !

