

# Oddziaływanie temperaturą na płyty obudowy ściennej

Mgr inż. Anna Szymczak-Graczyk, Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań, Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska, Katedra Mechaniki Budowli i Budownictwa Rolniczego

## 1. Wprowadzenie

Wiele obiektów budowlanych narażonych jest na oddziaływanie termiczne. Według PN-EN 1991-1-5:2005 „Eurokod 1, Oddziaływanie na konstrukcję, Część 1–5: Oddziaływanie ogólne, oddziaływanie termiczne” konstrukcje, które stykają się z gazami, cieczami lub materiałami o różnej temperaturze należy obliczać z uwzględnieniem klimatycznych oddziaływań termicznych spowodowanych zmianami temperatury powietrza w cieniu i promieniowania słonecznego oraz rozkładu temperatury powstałego w warunkach normalnego i wyjątkowego sposobu użytkowania obiektu, jak również efektów wynikających z wzajemnego oddziaływania między konstrukcją a znajdującą się w niej zawartością podczas zmian temperatury. Oddziaływanie termiczne należy klasyfikować jako zmienne o charakterze pośrednim oraz należy określać je dla każdej sytuacji obliczeniowej.

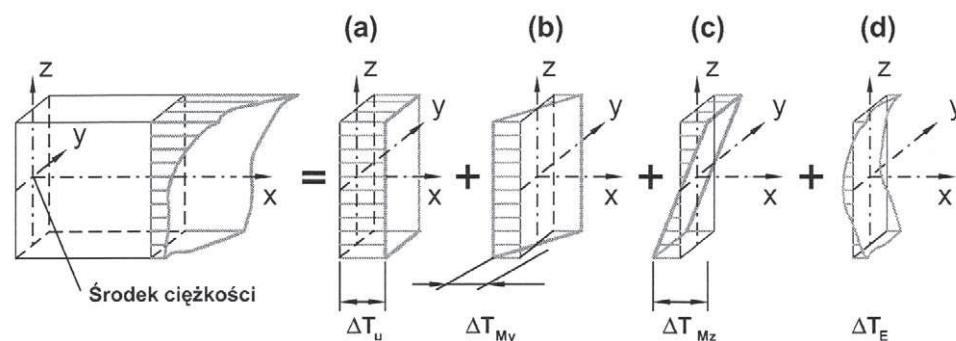
Na podstawie normy PN-EN 1991-1-5:2005, na rysunku 1 przedstawiono składowe rozkłady temperatury.

Rozkład temperatury w przekroju poprzecznym pojedynczego elementu konstrukcji można rozdzielić na cztery podstawowe składowe, które pokazano na rysunku 1. Pierwszą z nich jest składowa równomierna temperatura oznaczona na rysunku 1a jako  $\Delta T_u$ , będąca temperaturą w środku ciężkości przekroju. Drugą jest składowa liniowo zmienna różnicy temperatury względem osi z-z oznaczona na rysunku 1b jako  $\Delta T_{My}$ , będąca różnicą temperatury na przeciwległych krawędziach przekroju wzdłuż osi y-y. Trzecia to składowa liniowo zmienna różnicy temperatury względem osi y-y oznaczona

na rysunku 1c jako  $\Delta T_{Mz}$ , będąca różnicą temperatury na przeciwległych krawędziach przekroju wzdłuż osi z-z oraz czwarta będąca składową nieliniowo zmiennej różnicy temperatury oznaczona na rysunku 1d jako  $\Delta T_E$ , wywołująca powstawanie naprężeń samorównoważących się, które nie powodują dodatkowego obciążenia elementu.

## 2. Charakterystyka obiektu, opis uszkodzeń

W niniejszym artykule odniesiono się do konkretnego przypadku obciążenia temperaturą elementów obudowy ściennej hali magazynowej. Obliczono składową równomierną temperaturę, która jest stała na wysokości przekroju poprzecznego oraz powoduje rozszerzanie i skracanie się konstrukcji lub jej elementów. Omawiana w artykule hala znajduje się w Wielkopolsce w okolicach Poznania. Konstrukcję hali stanowią słupy żelbetowe oraz stalowe wraz ze stalową konstrukcją kratownicową dachu. Obudowę stanowią poziome płyty warstwowe ścienne Arctherm 1003B o grubości 60 mm, z widocznym mocowaniem, z rdzeniem ze sztywnej pianki poliuretanowej w okładzinach z blachy stalowej o szerokości 1000 mm. Kolor płyt elewacyjnych zaprojektowano jako niebieski, który zgodnie z paletą kolorystyczną opisano jako kolor RAL 5012. Płyty obudowy o długości 6 m zamocowane zostały w układzie dwuprzęsłowym, co 3 m. Na ścianie elewacji południowej podczas niespełna dwuletniej eksploatacji obiektu nastąpiły uszkodzenia płyt obudowy. Przedstawione na zdjęciach uszkodzenia obejmują występowanie pęcherzy, przełamań i wgnieceń.



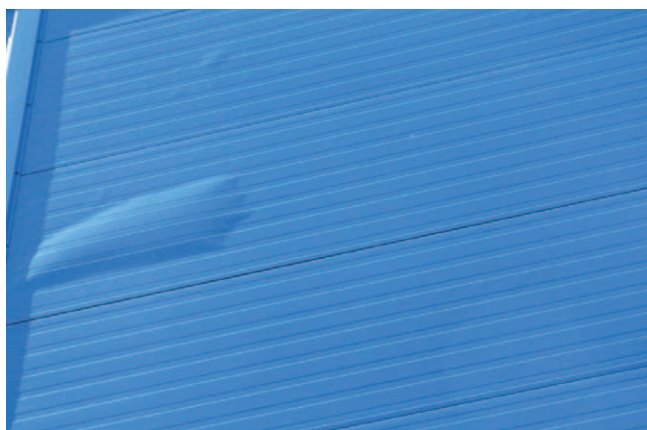
**Rys. 1.**  
Schematyczne przedstawienie składowych rozkładów temperatury według PN-EN 1991-1-5:2005



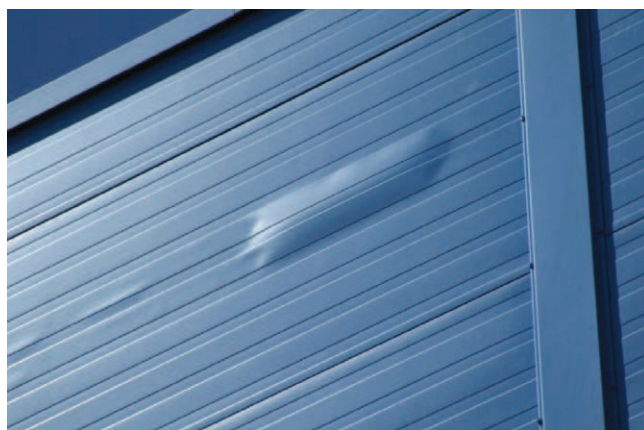
Rys. 2. Uszkodzenia płyty obudowy



Rys. 3. Uszkodzenia płyty obudowy



Rys. 4. Uszkodzenia płyty obudowy



Rys. 5. Uszkodzenia płyty obudowy

### 3. Oddziaływanie termiczne, składowa równomierna temperatura

W artykule odniesiono się do uszkodzeń w postaci pęcherzy powstałych na skutek oddziaływania temperaturą. Próbując określić, jaka była przyczyna wystąpienia pęcherzy na okładzinie płyt, wyliczono składową równomierną temperaturę elementu konstrukcji  $\Delta T_U$ . Przyjmuje się ją według wzoru:

$$\Delta T_U = T - T_0 \quad (1)$$

gdzie:

$T$  – średnia temperatura elementu konstrukcji wywołana temperaturami naturalnymi w sezonie zimowym lub letnim i temperaturami wynikającymi z eksploatacji obiektu,

$T_0$  – temperatura początkowa elementu.

Wartość temperatury początkowej  $T_0$  na terenie Polski według PN-EN 1991-1-5:2005 wraz ze zmianą PN-EN 1991-1-5:2005/AC należy przyjmować  $T_0 = +10^\circ\text{C}$ , załącznik krajowy do normy PN-EN 1991-1-5:2005/NA podaje wartość  $T_0 = +8^\circ\text{C}$ . Zaleca się, aby temperatura początkowa była przyjmowana jako temperatura ele-

mentu konstrukcji w odpowiednim stanie ograniczenia swobody odkształceń.

Wielkość temperatury  $T$  należy określać jako temperaturę elementu konstrukcji w środku ciężkości przekroju dla pory letniej i zimowej na podstawie rozkładu temperatury. W przypadku elementu warstwowego jest ona średnią temperaturą poszczególnej warstwy. Jeżeli analizowane są elementy tylko jednej warstwy i gdy warunki środowiskowe po obu stronach są podobne, to  $T$  może być określane w sposób przybliżony jako wartość średnia z wewnętrznej ( $T_{in}$ ) i zewnętrznej ( $T_{out}$ ) temperatury środowiska. Temperaturę środowiska wewnętrznego  $T_{in}$  podano według PN-EN 1991-1-5:2005 w tabeli 1.

**Tabela 1.** Zalecane temperatury środowiska wewnętrznego  $T_{in}$  według PN-EN 1991-1-5:2005

Pora roku	Temperatura $T_{in}$
Lato	$T_1^*$
Zima	$T_2^*$

\*Wartości  $T_1$  i  $T_2$  mogą być określone w załączniku krajowym. Jeśli dane są niedostępne, to zaleca się stosowanie wartości  $T_1 = 20^\circ\text{C}$  i  $T_2 = 25^\circ\text{C}$ .

Temperatura środowiska zewnętrznego  $T_{out}$  powinna być określona inaczej dla części obiektu powyżej powierzchni terenu oraz dla części podziemnych. W sezonie letnim temperatura  $T_{out}$  zależy od współczynnika absorpcji powierzchni i od usytuowania powierzchni. Wartości maksymalne są zwykle osiągnięte na powierzchniach usytuowanych od strony zachodniej, południowo-zachodniej oraz na powierzchniach poziomych. Minimalne temperatury o wartości około połowy temperatury maksymalnej osiągnięte są zwykle na powierzchniach usytuowanych od strony północnej. Norma PN-EN 1991-1-5:2005 dopuszcza możliwość stosowania danych z załącznika krajowego, jeśli w normie europejskiej brak jest danych dla regionu położonego między równoleżnikami 45°N i 55°N, w tym na terenie Polski. W tabeli 2 podano zalecaną temperaturę  $T_{out}$  dla budowli usytuowanych powyżej powierzchni terenu.

**Tabela 2.** Zalecane temperatury  $T_{out}$  dla budowli usytuowanych powyżej powierzchni terenu według PN-EN 1991-1-5:2005

Pora roku	Uwzględniony czynnik		Temperatura $T_{out}$ [°C]
Lato	względny współczynnik absorpcji zależny od koloru powierzchni	0,5 – powierzchnia jasna, lśniąca	$T_{max} + T_3$
		0,7 – powierzchnia kolorowa, lśniąca	$T_{max} + T_4$
		0,9 – powierzchnia ciemna	$T_{max} + T_5$
Zima			$T_{min}$

Wartości maksymalnej temperatury powietrza w cieniu  $T_{max}$ , minimalnej temperatury powietrza w cieniu  $T_{min}$ , oraz efekty promieniowania słonecznego  $T_4$ ,  $T_3$ ,  $T_5$  mogą być określone w załączniku krajowym. Jeżeli brak jest danych dla regionu położonego między równoleżnikami 45° N i 55° N, w tym na terenie Polski, to zaleca się stosowanie wartości:

Dla elementów konstrukcji o powierzchni usytuowanej od strony północno-wschodniej,

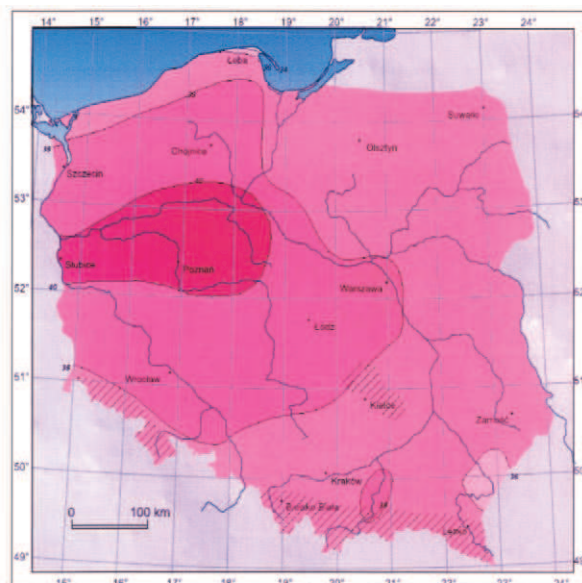
$$T_3 = 0^{\circ}\text{C}, T_4 = +2^{\circ}\text{C}, T_5 = +4^{\circ}\text{C}.$$

Dla elementów konstrukcji o powierzchni usytuowanej od strony południowo-zachodniej lub położonych poziomo,

$$T_3 = +18^{\circ}\text{C}, T_4 = +30^{\circ}\text{C}, T_5 = +42^{\circ}\text{C}.$$

#### 4. Obliczenia

Dla omawianej hali przyjęto następujące założenia. Temperaturę początkową przyjęto  $T_0 = +8^{\circ}\text{C}$ . Wielkość temperatury  $T$  przyjęto jako wartość średnią z wewnętrznej  $T_{in}$  i zewnętrznej  $T_{out}$  temperatury środowiska, gdzie  $T_{in}$  zgodnie z tabelą nr 1 dla pory letniej wynosi  $T_{in} = +20^{\circ}\text{C}$ . Natomiast  $T_{out}$  zgodnie z tabelą 2 oraz



**Rys. 6.** Rozkład temperatury  $T_{max}$  na terenie Polski według PN-EN 1991-1-5:2005/NA

przy założeniu, że powierzchnia elewacji jest kolorowa oraz lśniąca przyjęto  $T_{out} = T_{max} + T_4$ . Rozkład temperatury  $T_{max}$  na terenie Polski umieszczony jest w formie mapy w załączniku krajowym do normy PN-EN 1991-1-5:2005/NA wrzesień 2010. Z zamieszczonej mapy dla okolic Poznania odczytano  $T_{max} = +40^{\circ}\text{C}$ .

Zatem  $T_{out} = 40^{\circ}\text{C} + 30^{\circ}\text{C} = 70^{\circ}\text{C}$  oraz  $T = (T_{in} + T_{out})/2 = (20 + 70)/2 = 45^{\circ}\text{C}$ .

Składowa równomierna temperatury elementu konstrukcji wynosi:

$$\Delta T_U = 45^{\circ}\text{C} - 8^{\circ}\text{C} = 37^{\circ}\text{C}$$

Obliczona dla omawianej hali wartość temperatury spowoduje wydłużenie okładziny płyty o wartość wyznaczoną ze wzoru:

$$\Delta l = \alpha_t \cdot l \cdot \Delta T_U$$

gdzie:

$\Delta l$  – wydłużenie elementu,

$\alpha_t$  – współczynnik rozszerzalności termicznej (dla stali  $\alpha_t = 12 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ),

$l$  – długość elementu,

$\Delta T_U$  – wyliczona składowa równomierna temperatury.

Zatem wielkość wydłużenia dla płyt obudowy o długości 6 m wynosi:

$$\Delta l = \alpha_t \cdot l \cdot \Delta T_U = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 6000 \cdot 37 = 2,66 \text{ mm}$$

#### 5. Podsumowanie

Występujące uszkodzenia płyt nie powodowały zagrożenia bezpieczeństwa użytkownika obiektu. Stany granicz-





Rys. 7. Ściana budynku po wymianie płyt

ne nośności i użyteczności nie zostały przekroczone. Występowanie uszkodzeń nie wpływało na funkcjonowanie obiektu. Jednakże wydłużenie termiczne płyt obudowy spowodowało powstanie pęcherzy i wyrzuteń. Po niespełna dwóch latach eksploatacji oczekiwany przez właściciela długotrwały efekt estetyczny nie był spełniony. Wobec dużej ilości uszkodzonych płyt ściennych, właściciel obiektu zgodnie z posiadaną gwarancją uzyskał od wykonawcy wymianę uszkodzonych płyt na nowe. Z pewnością wpływ na uszkodze-

nia miał kolor elewacji pochłaniający promieniowanie słoneczne oraz schemat statyczny płyty, przyjęty jako dwuprzęsłowy. W ramach gwarancji dokonano wymiany uszkodzonych płyt. Dokonano zmiany schematu statycznego na płyty jednoprzęsłowe, swobodnie podparte o długości 3 m, zapewniając tym samym swobodę odkształceń i przemieszczeń. Na rysunku 7 pokazano ścianę budynku po wymianie płyt.

Oddziaływanie termiczne spowodowane klimatycznymi zmianami temperatury jest obciążeniem występującym podczas całego okresu użytkowania obiektów. Zgodnie z normą PN-EN 1991-1-5:2005 „Eurokod 1, Oddziaływanie na konstrukcję, Część 1-5: Oddziaływanie ogólne, oddziaływanie termiczne” obciążenie pochodzenia klimatycznego należy stosować do wszelkich budowli lądowych i wodnych, dla których uwzględnienie obciążenia temperaturą jest niezbędne. Nie można bagatelizować oddziaływania temperaturą zarówno dla elementów konstrukcji, jak i obudowy. Należy wykonać sprawdzenie czy przemieszczenia termiczne nie spowodują powstania dodatkowych sił wewnętrznych powodujących przekroczenie nośności elementów konstrukcji oraz czy zapewniona jest swoboda przemieszczeń w wyniku zastosowania dylatacji lub przyjęcia odpowiedniego układu statycznego.

## XXI Ogólnopolska Interdyscyplinarna Konferencja Naukowo-Techniczna „EKOLOGIA A BUDOWNICTWO”

10–12 października 2013 r., Bielsko-Biała

Zakres tematyczny Konferencji obejmuje tematykę ekologii i zrównoważonego rozwoju budownictwa, w tym m.in.:

- problemy ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju w Unii Europejskiej,
- zadania administracji państwowej i samorządowej oraz uczestników procesu budowlanego w ochronie środowiska,
- proekologiczne materiały i wyroby budowlane – materiały odnawialne, recykling i wykorzystanie odpadów,
- skutki techniczne, ekonomiczne i społeczne skażenia obiektów budowlanych i sposoby ich neutralizacji,
- ekologia terenów zurbanizowanych, aspekty społeczne i psychologiczne,
- kształcenie ekologiczne w działalności budowlanej,
- ekologiczne aspekty projektowania i użytkowania budownictwa,
- rewitalizacja obiektów, terenów przemysłowych i innych,
- problemy korozji biologicznej,
- problemy projektowania, utrzymania obiektów budowlanych w strategii zrównoważonego rozwoju,
- sposoby pozyskiwania i użytkowania energii ze źródeł naturalnych w budownictwie.

### Adres Organizatorów:

PZITB Oddział w Bielsku-Białej  
ul. 3 Maja 10/14, 43-300 Bielsko-Biała  
tel.: (48 33) 816 68 34  
tel./faks: (48 33) 822 02 94  
e-mai: biuro@pzitb.bielsko.pl