

mgr inż. Dariusz Tomaszewicz¹⁾

Oddziaływanie obciążeń stałych i zmiennych w czasie na elewacyjną warstwę fakturową w systemie OWT-67/N

Impact of fixed and variable load during the elevation layer of textured in OWT-67/N system

DOI: 10.15199/33.2015.01.14

Streszczenie. Tematem artykułu jest wpływ obciążeń stałych i zmiennych w czasie na ściany trójwarstwowe budynków w systemie OWT-67/N. Problem ten dotyczy przede wszystkim zewnętrznej elewacyjnej warstwy fakturowej, która jest narażona na oddziaływanie atmosferycznych czynników zewnętrznych. Do najbardziej destrukcyjnych należy zaliczyć siłę ssania wiatru oraz obciążenie temperaturą. W artykule zebrano wymienione obciążenia elewacyjnej warstwy fakturowej, stworzono model obserwacji na podstawie kwadratu łańciskowego z uwzględnieniem analizy wariancji, a następnie wyznaczono funkcję regresji, na podstawie której założono model obserwacji. Oceniono również jakość modelu oraz obliczono współczynnik determinacji, który informuje nas o tym, ile procent obserwowanego w próbie zróżnicowania zostało wyjaśnione liniową regresją. Przeprowadzono też alternatywną ocenę jakości modelu oraz próbę optymalizacji modelu.
Słowa kluczowe: obciążenia stałe, obciążenia zmienne, warstwa fakturowa, układ krzyżowy budynku, system OWT-67/N.

Abstract. Topic of the article is the impact of fixed and variable loads during the three-layered walls of buildings constructed in the system OWT-67/N. This problem relates primarily to the outer cladding layer of the invoice, which is exposed to the effects of weathering external factors, which include the invoice or the layer most destructive factors, namely the influence of wind suction and temperature load. Collect the aforesaid invoice charge cladding layer, and then create a model based on the observation with regard to a Latin-square analysis of variance and regression function is then determined based on the established model of observation. Rated the quality of the model and calculated the coefficient of determination, which informs us how many percent of the observed variation in the sample is explained linear regression. Also conducted an alternative assessment of the quality of the model and attempt to optimize the model.

Keywords: fixed load, variable load, layer of textured, cross layout building, OWT-67/N system.

Ważnym aspektem eksploatacji ścian trójwarstwowych w budynkach wielopłytowych jest wpływ obciążeń na elewacyjną warstwę fakturową. Skutkuje to obniżeniem jej trwałości głównie przez destrukcyjne działanie siły ssania wiatru i obciążenie od temperatury.

Zebranie i obliczenie obciążeń oddziałujących na warstwę fakturową

Obciążenie od ciężaru własnego. Na podstawie dokumentacji projektowej [1] warstwowych elementów prefabrykowanych dokonano zestawienia masy poszczególnych warstw w płytach (tabela 1). Przyjęto, że 1 m³ betonu waży ok. 2300 kg i określono masę warstw fakturowych poszczególnych płyt:

- **plyta ścienna szczytowa** – 0,75 m³ · 2300 kg = 1725 kg;
- **plyta podłużna długa** – 0,336 m³ · 2300 kg = 772,80 kg;
- **plyta podłużna krótka** – 0,184 m³ · 2300 kg = 423,20 kg;
- **plyta klatki schodowej** – 0,334 m³ · 2300 kg = 768,20 kg;
- **plyta balkonowa** – 0,298 m³ · 2300 kg = 685,40 kg;

Obciążenie od siły ssania wiatru. Siłę oddziaływania wiatru wyznaczono zgodnie z normą [2]:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q(z_e) \cdot A_{ref} \quad (1)$$

gdzie:

A_{ref} – powierzchnia oddziaływania wiatru w odniesieniu do 1 m² płyty;

¹⁾ Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska; Wyższa Szkoła Agrobiznesu w Łomży, Wydział Techniczny; e-mail: d.tomaszewicz@doktoranci.pb.edu.pl lub dariusz-tomaszewicz@wp.pl

$c_s c_d$ – współczynnik konstrukcyjny, którego wartość dla fragmentów ścian osłonowych można przyjmować jako 1,00;
 c_f – współczynnik oporu aerodynamicznego wg Eurokodu 4 PN-EN 1991-1-4:2008

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_f \quad (2)$$

$c_{f,0}$ – współczynnik siły aerodynamicznej, określony na podstawie rysunku 7.23 wg Eurokodu 4 PN-EN 1991-1-4:2008.

Tabela 1. Zestawienie wymiarów i masy poszczególnych płyt warstwowych w systemie OWT-67/N

Table 1. Statement of dimensions and weights of individual sandwich panels in the OWT-67/N system

Nazwa elementu	Wymiar [m]	Masa elementu [kg]	Objętość elementu [m ³]	
Płyta ścienna szczytowa	4,97 x 2,76	5780	beton	1,73
			styropian	0,70
			faktura	0,75
Płyta podłużna krótka	2,68 x 1,29	1350	beton	0,365
			styropian	0,173
			faktura	0,184
Płyta podłużna długa	5,38 x 1,29	2650	beton	0,72
			styropian	0,367
			faktura	0,336
Płyta balkonowa	5,38 x 1,29	2350	beton	0,65
			styropian	0,32
			faktura	0,298
Płyta klatki schodowej	2,68 x 2,76	1720	beton	0,361
			styropian	0,347
			faktura	0,334

W celu określenia ilorazu długości i wysokości płyt a/b przyjęto zalecaną normową wartość dla elementów bez swobodnego opływu końca $c_{f,0} = 2,0$.

Ψ_f – współczynnik redukcji współczynnika oporu aerodynamicznego elementów o przekroju kwadratowym z zaokrąglonymi narożnikami $c_f = 2,0 \cdot 0,5 = 1,0$

$q(z_e)$ – wartość szczytowa ciśnienia prędkości wiatru

$$q(z_e) = C_e(z) \cdot q_b \quad (3)$$

$C_e(z) = 2,8 \cdot (z/10)^{0,19}$ – współczynnik ekspozycji dla I kategorii terenu; (4)

q_b – wartość bazowa ciśnienia prędkości obliczana wg wzoru:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (5)$$

$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ – zalecana wartość gęstości powietrza;

v_b – bazowa prędkość wiatru wg Eurokodu 4.

Siła oddziaływania wiatru na 1 m^2 płyty ściany szczytowej i płyty klatki schodowej:

$$F_w = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 6,631 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,0 \text{ m}^2 = 6,63 \text{ kN}$$

Siła oddziaływania wiatru na 1 m^2 płyty podłużnej krótkiej i długiej oraz płyty balkonowej:

$$F_w = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 5,738 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,0 \text{ m}^2 = 5,74 \text{ kN}$$

Ciśnienie wiatru na powierzchni zewnętrznej konstrukcji:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \text{ [kN/m}^2] \quad (6)$$

Obciążenie od parcia i ssania wiatru w przypadku poszczególnych płyt w budynku przedstawiono w tabeli 2.

Obciążenie termiczne od temperatury. Obciążenie termiczne wyznaczono zgodnie z normą [3]. Uwzględniono średnią temperaturę występującą w kraju oraz przypadki występowania ekstremalnych warunków pogodowych.

$$T(x) = T_{in} - \frac{R(x)}{R_{tot}} \cdot (T_{in} - T_{out}) \quad (7)$$

gdzie:

T_{in} – temperatura powietrza środowiska wewnętrznego;

$R(x)$ – opór cieplny na powierzchni wewnętrznej i elementu od powierzchni wewnętrznej powyżej punktu x .

w przypadku ściany osłonowej:

$$T(x) = 25 \text{ }^\circ\text{C} - \frac{0,247 \text{ m}^2\text{K/W}}{0,287 \text{ m}^2\text{K/W}} \cdot (25 \text{ }^\circ\text{C} - 15 \text{ }^\circ\text{C}) = 16,39 \text{ }^\circ\text{C} \approx 16,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T(x) = 22 \text{ }^\circ\text{C} - \frac{0,247 \text{ m}^2\text{K/W}}{0,287 \text{ m}^2\text{K/W}} \cdot (22 \text{ }^\circ\text{C} - 15 \text{ }^\circ\text{C}) = 15,98 \text{ }^\circ\text{C} \approx 16,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

w przypadku ściany osłonowej:

$$T(x)_{\max} = 16,4 \text{ }^\circ\text{C} \cdot 4 = 65,6 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$T(x)_{\min} = 16,0 \text{ }^\circ\text{C} - 35 \text{ }^\circ\text{C} = -19,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tabela 2. Obciążenie od parcia i ssania wiatru na płaszczyznę poszczególnych płyt

Table 2. Gathering loads of pressure and suction of wind on the plane of individual slabs

Element	Obszar	$q_{p(ze)}$	$C_{pe,10}$	Wartość charakterystyczna [kN/m ²]	Wartość obliczeniowa [kN/m ²]
Płyta ścienna szczytowa i płyta klatki schodowej	D*	6,63	parcie + 0,7 ssanie - 0,3	4,64	6,96
	E**			-1,99	-2,99
Płyta podłużna krótka i długa oraz płyta balkonowa	D*	5,74	parcie + 0,7 ssanie - 0,3	4,02	6,03
	E**			-1,72	-2,58

* obszar parcia; ** obszar ssania

Analogicznie obliczenia wykonano w przypadku ściany szczytowej. Ekstremalne warunki pogodowe (zwiększenie lub zmniejszenie temperatury o 25%):

• w przypadku ściany osłonowej:

$$1,25 \cdot T(x)_{\max} = 1,25 \cdot 65,6 \text{ }^\circ\text{C} = 82,0 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$1,25 \cdot T(x)_{\min} = 1,25 \cdot (-19,0 \text{ }^\circ\text{C}) = -23,75 \text{ }^\circ\text{C} \approx -23,8 \text{ }^\circ\text{C};$$

• w przypadku ściany szczytowej:

$$1,25 \cdot T(x)_{\max} = 1,25 \cdot 64,4 \text{ }^\circ\text{C} = 80,5 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$1,25 \cdot T(x)_{\min} = 1,25 \cdot (-19,2 \text{ }^\circ\text{C}) = -24,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

Model obliczeniowy

Model obliczeniowy opracowano na podstawie [4, 5, 6]. Badanie i plan eksperymentu zaplanowano zależnie od funkcji regresji trzech czynników: **A** – ciężar własny płyt warstwy fakturowej; **B** – obciążenie od ssania wiatru; **C** – obciążenie termiczne warstwy fakturowej. Uwaga: w obliczeniach nie uwzględniono płyty klatki schodowej z uwagi na bardzo zbliżony ciężar płyty w porównaniu z długą płytą podłużną. Wyniki w postaci macierzowej układu kwadratu łacińskiego przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki w postaci macierzowej układu kwadratu łacińskiego

Table 3. Summary of the results in the form of the Latin square matrix

Czynnik	A ₁			A ₂			A ₃			Y _j	Y ² _j			
B ₁	C ₁			C ₃			C ₂			6,31	39,82			
	1,73	0,77	0,42	0,69	0,87	0,39	0,21	0,35	0,43	0,19	0,11	0,17		
B ₂	C ₂			C ₁			C ₃			41,73	1741,39			
	6,63	5,74	5,74	5,74	3,32	2,87	2,87	2,87	1,66	1,44	1,44	1,44		
B ₃	C ₃			C ₂			C ₁			270,80	73332,64			
	16,4	16,0	16,1	15,8	65,6	-19,0	64,4	-19,2	82,0	-23,8	80,5	-24,0		
Y _j	91,80			105,48			121,56			Y... = 318,84				
Y ² _j	8427,24			11126,03			14776,83			ΣY ² _j = 73332,64 ΣY ² _j = 34330,10				

Macierz zbudowano na trzech poziomach zmienności. Obliczono w pierwszym poziomie ciężar własny płyt, w kolejnym połowy płyty i w ostatnim ćwiartki płyty. Podobnie rozplanowano oddziaływanie wiatru. Natomiast jeśli chodzi o wpływ temperatury, to został on zróżnicowany w przypadku temperatury dodatniej jako czterokrotna wartość średniej temperatury obliczonej dla pierwszego poziomu zmienności, zaś w przypadku temperatury ujemnej przejście nastąpiło po zróżnicowaniu temperatury dodatniej o -35°C. Trzeci poziom zmienności to uwzględnienie temperatury ekstremalnej na powierzchni warstwy fakturowej ściany trójwarstwowej. Tę temperaturę zwiększono o 25% w porównaniu z temperaturą, która wystąpi w rzeczywistości.

Zestawienie średnich obiektywych wg kwadratu łacińskiego:

• czynnik A:

$$\bar{y}_{1..} = \frac{91,80}{3 \cdot 4} = 7,65 \quad \bar{y}_{2..} = \frac{105,48}{3 \cdot 4} = 8,79 \quad \bar{y}_{3..} = \frac{121,56}{3 \cdot 4} = 10,13$$

• czynnik B:

$$\bar{y}_{.1.} = \frac{6,31}{3 \cdot 4} = 0,53 \quad \bar{y}_{.2.} = \frac{41,73}{3 \cdot 4} = 3,48 \quad \bar{y}_{.3.} = \frac{270,80}{3 \cdot 4} = 22,57$$

• czynnik C:

$$\bar{y}_{..1} = \frac{101,40}{3 \cdot 4} = 8,45 \quad \bar{y}_{..2} = \frac{140,40}{3 \cdot 4} = 11,70 \quad \bar{y}_{..3} = \frac{77,16}{3 \cdot 4} = 6,43$$

Na podstawie średnich obiektowych czynników A, B, C założono model obserwacji:

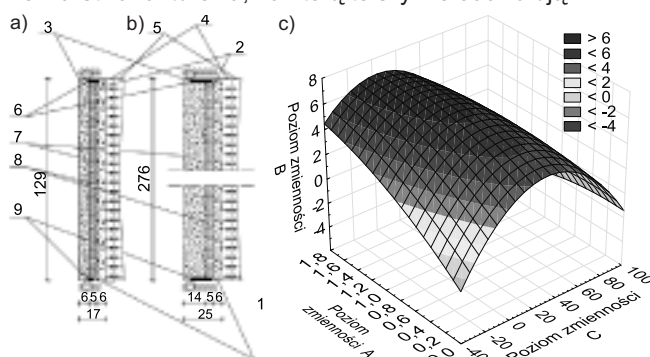
$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_{11}x_1^2 + b_2x_2 + b_{22}x_2^2 + b_3x_3 + b_{33}x_3^2 \quad (8)$$

Po dokonaniu obliczeń macierzy czynników składowych (tabela 3) i wprowadzeniu jej do programu komputerowego otrzymano model obserwacji:

$$\hat{y} = 4,271 + 1,242x_1 + 11,020x_1^2 - 2,424x_2 + 0,094x_2^2 + 8,068x_3 - 1,283x_3^2$$

Na rysunku przedstawiono schematy statyczne konstrukcyjnych płyt ściany osłonowej i szczytowej oraz ich odpowiedź na obciążenie.

Uwaga: w schematach statycznych ścian trójwarstwowych systemu OWT-67/N pominięto obciążenia obliczeniowe pochodzące od płyt stropowych, gdyż tematem artykułu jest tylko warstwa fakturowa, na którą te siły nie oddziałują.



Schematy statyczne konstrukcyjnych płyt ściany: a) osłonowej; b) szczytowej oraz c) ich odpowiedź na obciążenie wymienionymi w badaniu czynnikami; 1 – warstwa fakturowa; 2 – warstwa ocieplenia; 3 – warstwa konstrukcyjna; 4 – oddziaływanie wiatru; 5 – oddziaływanie temperatury; 6 – mimośród górny; 7 – oś obojętna; 8 – oś geometryczna; 9 – mimośród dolny
Static structural schemas wall slabs: a) curtain wall slabs; b) the top wall slabs and c) its response to the other specified in the study of the factors; 1 – layer of textured; 2 – insulation layer; 3 – structural layer; 4 – the effect of wind; 5 – temperature effect; 6 – eccentricity of the top; 7 – neutral axis; 8 – geometry axis; 9 – eccentricity of the bottom

Ocena jakości modelu:

$$\begin{aligned} SSC &= \sum_{i=1}^{n=4} (y_i - \bar{y})^2 = \left(\frac{37}{41} - \frac{62}{7}\right)^2 + \left(\frac{37}{82} - \frac{62}{7}\right)^2 + \dots \\ &+ \left(\frac{459}{20} - \frac{62}{7}\right)^2 + \left(\frac{1147}{40} - \frac{62}{7}\right)^2 = \frac{15185}{16} \\ SSE &= \sum_{i=1}^{n=4} (y_i - \hat{y})^2 = \left(\frac{37}{41} - \frac{122}{93}\right)^2 + \left(\frac{159}{56} - \left(-\frac{117}{49}\right)\right)^2 + \dots \\ &+ \left(\frac{459}{20} - \frac{1495}{64}\right)^2 + \left(\frac{1147}{40} - \frac{1731}{67}\right)^2 = \frac{2883}{68} \\ SSR &= \sum_{i=1}^{n=4} (\hat{y} - \bar{y})^2 = \left(\frac{122}{93} - \frac{62}{7}\right)^2 + \left(-\frac{117}{49} - \frac{62}{7}\right)^2 + \dots \\ &+ \left(\frac{1495}{64} - \frac{62}{7}\right)^2 + \left(\frac{1731}{67} - \frac{62}{7}\right)^2 = \frac{2720}{3} \end{aligned}$$

Współczynnik determinacji:

$$R^2 = \frac{SSR}{SSC} = \frac{906,67}{949,06} = 0,9553 \quad (0 < R < 1)$$

Współczynnik korelacji wielorakiej

$$R = \sqrt{R^2} = 0,9774$$

Uzyskana wartość R^2 informuje, że ok. 95,53% obserwowanego w próbie zróżnicowania zostało wyjaśnione liniową regresją, a pozostałe 4,47% jest wynikiem oddziaływania innych czynników niekontrolowanych w trakcie badania. Zróżnicowanie to traktowane jest jako losowe. Współczynnik korelacji wielorakiej informuje o tym, jak skorelowana jest zmienna zależna ze wszystkimi zmiennymi niezależnymi jednocześnie.

Próba optymalizacji modelu:

$$\frac{\partial \bar{y}}{\partial x_1} = \frac{\partial (4,271 + 1,242x_1 + 11,02x_1^2 - 2,424x_2 + 0,094x_2^2 + 8,068x_3 - 1,283x_3^2)}{\partial x_1} = 5,51x_1 + 1,242$$

$$\frac{\partial \bar{y}}{\partial x_2} = \frac{\partial (4,271 + 1,242x_1 + 11,02x_1^2 - 2,424x_2 + 0,094x_2^2 + 8,068x_3 - 1,283x_3^2)}{\partial x_2} = 0,047x_2 - 2,424$$

$$\frac{\partial \bar{y}}{\partial x_3} = \frac{\partial (4,271 + 1,242x_1 + 11,02x_1^2 - 2,424x_2 + 0,094x_2^2 + 8,068x_3 - 1,283x_3^2)}{\partial x_3} = -0,642x_3 + 8,068$$

$$\begin{aligned} 5,51x_{1, \text{optym}} + 1,242 &= 0 \Rightarrow x_{1, \text{optym}} = -0,225 \\ 0,047x_{2, \text{optym}} - 2,424 &= 0 \Rightarrow x_{2, \text{optym}} = 51,574 \\ -0,642x_{3, \text{optym}} + 8,068 &= 0 \Rightarrow x_{3, \text{optym}} = 12,567 \end{aligned}$$

Podsumowanie

W artykule przeprowadzono zestawienie obliczeń czynników, które mają wpływ na degradację najbardziej narażonej na oddziaływanie czynników zewnętrznych elewacyjnej warstwy fakturowej. Pokazano, w jaki sposób poszczególne czynniki wpływają na trwałość tej warstwy. Zestawiono wszystkie czynniki składowe, poczynając od ciężaru własnego płyt, który swym obciążeniem wywołuje naprężenia w prętach zespajających warstwę fakturową i warstwę ocieplenia z warstwą konstrukcyjną. Uwzględniono także dwa bardzo istotne parametry, które dotyczyły oddziaływania siły wiatru oraz wpływu temperatury, czyli oddziaływań termicznych na elewacyjną warstwę fakturową. Na podstawie tych trzech składowych stworzono model obliczeniowy oddziaływań poszczególnych czynników na lico przegrody pionowej. Badania przeprowadzono, stosując analizę regresji. Wyniki badań okazały się zadowalające, gdyż spośród grupy zróżnicowanych czynników składowych i ich zmiennych (oddziaływanie wiatru i temperatury) skuteczność oszacowania wpływu tych czynników na proces degradacji płyty warstwy fakturowej była niemal stu procentowa.

Literatura

[1] Dokumentacja Centralnego Ośrodka Badawczo-Projektowego Budownictwa Ogólnego.
 [2] PN-EN 1991-1-4:2008, Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wiatru, Warszawa 2008.
 [3] PN-EN 1991-1-5:2005, Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-5: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania termiczne, Warszawa 2005.
 [4] Jańczewski D., Różycki C., Synoradzki L., Projektowanie procesów technologicznych. Matematyczne metody planowania eksperymentów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2010.
 [5] Muciek A., Wyznaczanie modeli matematycznych z danych eksperymentalnych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012.
 [6] Korzyński M., Metodyka eksperymentu. Planowanie, realizacja i statystyczne opracowanie wyników eksperymentów technologicznych. Wydawnictwo Nauk Technicznych WNT, Warszawa 2013.