

dr inż. Jan Gierczak*

Badania jednoprzęsłowych płyt warstwowych

W laboratorium Politechniki Wrocławskiej przeprowadzono badania płyt warstwowych w skali naturalnej produkcji Kingspan sp. z o.o. Płyty pracowały jako wolnopodparte o rozpiętości 6,0 m, statycznie obciążone równomiernie rozłożonym obciążeniem. Celem badań było określenie nośności granicznej płyt warstwowych oraz wyznaczenie ścieżki równowagi statycznej (obciążenie – przemieszczenie). Badano następujące rodzaje płyt:

- XD 70 blacha trapezowa grubości 0,7 mm (3 szt.);
- XD 70 blacha trapezowa grubości 0,9 mm (3 szt.).

Płyty warstwowe KS1000 XD z rdzeniem izolacyjnym z pianki poliuretanowej przeznaczane są do stosowania jako przekrycia dachowe w połączeniu z wierzchnią warstwą wodoszczelną. Warstwa wodoszczelna może być wykonana z membrany PVC i EPDM mocowanej mechanicznie lub z papy bitumicznej zgrzewalnej. Płyty te mają zastosowanie w układach konstrukcyjnych dachu z płatwiami lub w systemie bezpłatwiowym o minimalnym spadku dachu 2%. Ponadto płyty te można stosować w obiektach, których minimalna temperatura wewnętrzna jest większa od 5 °C.

Do produkcji płyt KS1000 XD jest używana blacha stalowa ocynkowana ze stali S250GD+Z275 wg PN-EN 10326:2005 pokryta od strony widocznej powłoką poliesterową grubości 25 μm, a od strony rdzenia zabezpieczona jest lakierem podkładowym zwiększającym przyczepność do izolacji, tzn. poliuretanu. Przyczepność ta jest niezbędna w celu usztywnienia półściskanych przed wyboczeniem lokalnym.

Opis stanowiska badawczego i badanych elementów

Stanowisko badawcze do pierwszych 6 modeli składa się z dwóch stalowych kozłów rozstawionych w odległości 6,0 m. Dwie płyty oparte są na całej kra-

wędzi prostopadłej do fałd blachy trapezowej, tj. na szerokości 2,00 m. Oparcie płyty na kozle oporowym wynosiło 65 mm. Czujniki pomiarowe były rozmieszczone w środku rozpiętości, co drugą fałdę oraz przy podporze. Dodatkowo sprawdzano kąt obrotu podpory za pomocą dwóch czujników zegarowych. Odczyty przemieszczeń były wykonywane z dokładnością do 0,001 mm.

Obciążanie płyt fałdowych z poliuretanem odbywało się etapami (rysunek 1). Jako obciążenie zastosowano woreczki z piaskiem o wadze 10 kg. Badane płyty były obciążane zgodnie z rysunkiem i w rzędach po 7 woreczków, co 30 cm (fotografia). Rząd pierwszy był od podpory 15 cm. Rzędy od 2 do 10 po 7 woreczków były kolejno układane od pierwszego rzędu, co 30 cm. Od rzędu 11 do 19 układano po 6 woreczków pomiędzy rzędami pierwszym a drugim. Rząd 19 był pomiędzy rzędami 9 i 10, natomiast rząd 19,5 był zrealizowany przez ustawienie na płycie sześciu woreczków na środku płyty.

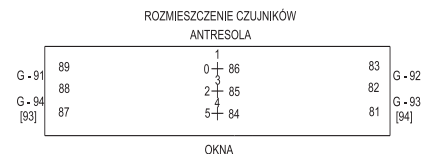
Badania przeprowadzono w laboratorium w następujących modelach:

- 1) **P6.1, P6.2, P6.3** – XD 70 – 0,7 mm (108) $I_0 = 6,000$ m;
- 2) **P6.4, P6.5, P6.6** – XD 70 – 0,9 mm (108) $I_0 = 6,000$ m.

Badane płyty usytuowano na kozłach stalowych na wysokości ok. 1,0 m. W płytach jednoprzęsłowych rozmieszczono czujniki w środku rozpiętości zgodnie z rysunkiem 2 oraz pod podporami. Dodatkowo mierzono obrót płyty na podporze

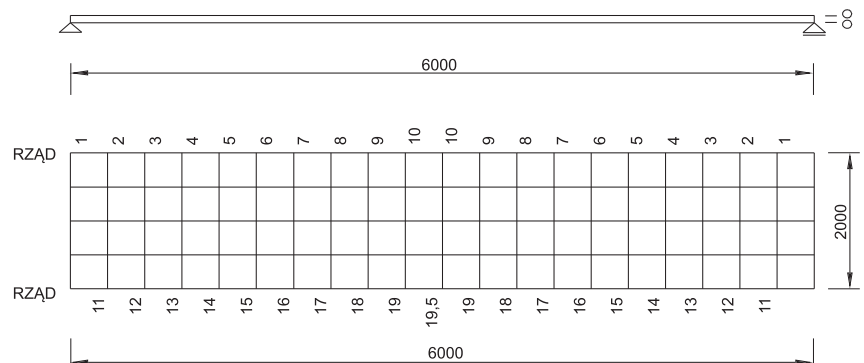


Symulowane obciążenie równomierne woreczkami wypełnionymi piaskiem



Rys. 2. Rozmieszczenie czujników zegarowych

czujnikami umieszczonymi poziomo i oddalonymi od siebie ok. 160 mm. W płytach jednoprzęsłowych rozmieszczono 6 tensometrów do pomiaru odkształceń, tj. 0 1 oraz 4 5 w dolnej fałdzie blachy trapezowej w środku rozpiętości oraz w górnej fałdzie czujniki oznaczone 2 3. Każdorazowo badano dwie płyty (XD 70) szerokości 2 x 1000 mm. Płyty na długości



Rys. 1. Schemat statyczny stanowiska badawczego płyty jednoprzęsłowej

* Politechnika Wroclawska

były łączone wkrętami. Parametry płyt podano za zleceniodawcą w tabeli 1. Blacha trapezowa grubości 0,7 i 0,9 mm była wykonana ze stali o granicy plastyczności $R_e = 220$ MPa. Płyta trapezowa ma wysokość 108 mm, półka górna jest szerokości 183 mm o usztywnieniu szerokości 128 mm, natomiast półka dolna szerokości 40 mm. Środek tworzy z płaszczyzną pionową kąt 117° i jest usztywniony co 36 mm. Poliuretan ma grubość 70 mm mierzoną od półki górnej.

Tabela 1. Parametry wytrzymałościowe badanej płyty

Stal	Gatunek	S220GD+Z275
Pianka rdzenia	Gęstość nominalna	43,0±3 kg/m ³
	Wytrzymałość na ściskanie (wartość średnia)	277,65 kPa
	Wytrzymałość na ściskanie (wartość minimalna)	178,20 kPa
	Wytrzymałość na ściskanie przy 10% odkształceniu (wartość średnia)	273,50 kPa
	Wytrzymałość na ściskanie przy 10% odkształceniu (wartość minimalna)	187,90 kPa
	Moduł sprężystości przy ściskaniu – średni	6,61 MPa
	Moduł sprężystości przy ściskaniu – minimalny	4,53 MPa
	Wytrzymałość na rozciąganie – średnia	94,3 kPa
	Wytrzymałość na rozciąganie – minimalna	39,9 kPa

Wyniki

Wyniki badań zestawiono na wykresach obciążenie – przemieszczenie. Obciążenie zamieniono na równoważne obciążenie równomiernie rozłożone zgodnie z tabelą 2. Za wyczerpanie nośności granicznej przyjęto pojawienie się pierwszego załomu plastycznego widocznego nieuzbrojonym okiem. Za stan graniczny użytkowania przyjęto przekroczenie przemieszczeń $L/200$, tj. 30 mm. Opis zniszczenia badanego modelu zamieszczono w tabeli 3.

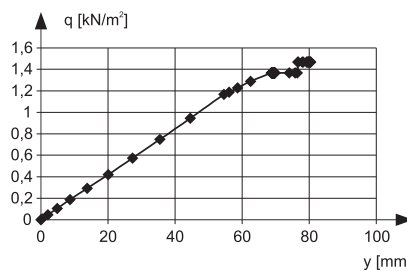
Na rysunku 3 pokazano ścieżkę równowagi statycznej w przypadku modelu P6.1. Z tabeli 3 wynika, że dla SGU jest duża zgodność modeli w poszczególnych grupach, natomiast dla SGN ta zgodność w przypadku modeli P6.1-3 wynosi 22%, a modeli P6.4-6 – 6,6%. W tabeli 4 porównano nośność uzyskaną podczas badań oraz zgodnie z teoretycznymi modelami obliczeniowymi. Oszacowanie teoretycz-

Tabela 2. Równoważne obciążenie równomiernie rozłożone

Belka jednoprzęsłowa			
Obciążenia od rzędu 1 do i	Obciążenie równomiernie rozłożone [kN/m ²]	Obciążenia od rzędu 1 do i	Obciążenie równomiernie rozłożone [kN/m ²]
1	0,012	12	1,227
2	0,047	13	1,287
3	0,105	14	1,367
4	0,187	15	1,467
5	0,292	16	1,587
6	0,420	17	1,727
7	0,572	18	1,887
8	0,747	19	2,067
9	0,945	19,5	2,162
10	1,167	20	2,257
11	1,187		

Tabela 3. Zestawienie wyników badań doświadczalnych

Model	Opis zniszczenia	SGN [kg/m ²]	SGU [kg/m ²]
P6.1		137,04,5	57,2
P6.2	Zniszczeniu uległa płyta trapezowa w środku rozpiętości, na której są widoczne trwałe załomy plastyczne	168,0	57,2
P6.3		159,0	57,2
P6.4		237,0	74,7
P6.5		226,0	74,7
P6.6		241,0	74,7



Rys. 3. Ścieżka równowagi statycznej dla modelu P6.1

Tabela 4. Porównanie wyników badań z teoretycznymi modelami obliczeniowymi

Model	SGN z badań q_d [kg/m ²]	SGN q_t [kg/m ²]	Błąd [%]	SGU q_d [kg/m ²]	SGU q_t [kg/m ²]	Błąd [%]
P6.1-3	154,7±8,6%	112,5 (153,4)	37,5 (0,8)	57,2	59	3,1
P6.4-6	234,7±3,7%	135,0 (184,1)	73,9 (27,5)	74,7	71	5,2

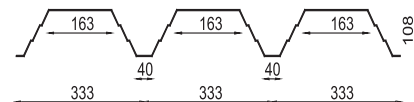
q_d – obciążenie uzyskane z doświadczenia

q_t – obciążenie uzyskane teoretycznie

SGN, SGU – odpowiednio stan graniczny nośności i użytkowania

ne ugięć i nośności dla modeli P6.1-P6.6 obliczono przy założeniu, że nie następuje redukcja pólk ściskanych wg teorii Wintera w blasze trapezowej (rysunek 4). Założono, że poliuretan grubości 70 mm zabezpiecza ściskane półki blachy trapezowej przed wyboczeniem lokalnym. W obliczeniach nie uwzględniano współpracy poliuretanu w przenoszeniu obciążeń. Ta-

kie podejście pozwala jedynie dokładnie oszacować ugięcia płyt (oszacowanie błędu jest jednocyfrowe). Natomiast nieoszacowana wartość nośności jest z błędem dwucyfrowym. Wynika to z przyjęcia do obliczeń granicy plastyczności $f_y = 220$ MPa zamiast granicy doraźnej $f_u = 300$ MPa. Dokładność oszacowania nośności modeli można zwiększyć, wykorzystując granicę doraźną blachy f_u w celu uwzględnienia wzmocnienia stali po przejściu granicy plastyczności f_y . Świadczyć to może, że po przekroczeniu granicy plastyczności w półkach blachy trapezowej nie następuje odpajanie blachy od poliuretanu.



Rys. 4. Przekrój poprzeczny blachy trapezowej

Wnioski i zalecenia

Na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych i obserwacji stwierdzono, że: płyty jednoprzęsłowe XD-70 mają ścieżkę równowagi statycznej nieliniowo-sprężysto-plastyczną, a o obciążeniu granicznym decyduje stan graniczny użytkowania o dopuszczalnym ugięciu $L/200 = 30$ mm. Zaproponowane oszacowanie nośności i przemieszczeń płyt jest poprawne i pozwala określić ich wartość z wystarczającą dokładnością do celów inżynierskich, przy założeniu, że poliuretan zabezpiecza ścianki przed utratą niestaczejności miejscowej.

Literatura

[1] Biegus A., Nośność graniczna ściskanych blach fałdowych, Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1983.

[2] Gierczak J., Badania laboratoryjne płyt warstwowych KINGSPAN w Akredytowanym Laboratorium Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Raport serii SPR.../2006. PWr., 2006.